



Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie
November 2014 | 1. Ausfertigung
Projektnummer 0460 067





Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie
November 2014 | 1. Ausfertigung
Projektnummer 0460 067

Bearbeitet durch:
Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub
Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

Aufgestellt:
Bochum, im November 2014
bie-ka-ko

Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

Gesamtinhaltsverzeichnis

I Textteil

- Erläuterungsbericht
- Anlagen

II Zeichnungen

Blatt	Titel	Maßstab	Verwaltungsnummer
1	Lageplan, Variante 1 PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle	1 : 250	030 007 01 00
2	Lageplan, Variante 2 GAK-Filtration	1 : 250	030 007 02 00
3	Lageplan, Variante 3 Ozonung + Schönungsteich	1 : 250	030 007 03 00
4	Verfahrensschema, Variante 1 PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle	1 : -	030 083 01 00
5	Verfahrensschema, Variante 2 GAK-Filtration	1 : -	030 083 02 00
6	Verfahrensschema, Variante 3 Ozonung + Schönungsteich	1 : -	030 083 03 00

Auftraggeber:

Gemeinde Neuenkirchen
Fachbereich III – Planen und Bauen
48485 Neuenkirchen

Telefon: 05973 926-0
Telefax: 05973 926-80

Projektleiter:

Herr Christian Kipker B. Eng.

Telefon: 05973 926-72
c.kipker@neuenkirchen.de

Bearbeitung durch:

TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH
Universitätsstraße 74
44789 Bochum

Telefon: 0234 33305-0
Telefax: 0234 33305-11
info@tum-bochum.de

Herr Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub

Telefon: 0234 33305-36
jm.kaub@tum-bochum.de

Herr Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

Telefon: 0234 33305-54
n.biebersdorf@tum-bochum.de

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Zugrunde liegende Unterlagen	1
3	Belastungsdaten Hydraulik	2
4	Reinigungsanforderungen	3
5	Anlagenbestand	3
5.1	Einführung	3
6	Spurenstoffe im Wasserkreislauf	5
6.1	Einleitung.....	5
6.2	Charakterisierung des Verhaltens von anthropogenen Spurenstoffen.....	6
6.3	Screening im Ablauf der Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen	7
7	Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen	8
7.1	Überblick	8
7.2	Adsorption	8
7.2.1	Grundlagen.....	8
7.2.2	Einsatz von Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination.....	14
7.2.2.1	Pulveraktivkohle	14
7.3	Ozonung	16
7.3.1	Grundlagen.....	16
7.3.1.1	Einsatz und Wirkung von Ozon	16
7.3.1.2	Ozonanwendung	17
7.3.2	Einsatz von Ozon in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination.....	18
8	Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen	20
8.1	Beschickungsmenge	20
8.2	Verfahrensfestlegung	23
8.3	Randbedingungen	23
8.4	Varianten	23
8.4.1	Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle.....	23
8.4.1.1	Allgemein.....	23
8.4.1.2	Ausführung	25
8.4.2	Variante 2: Filtration über granuliert Aktivkohle.....	27

8.4.2.1	Allgemeines	27
8.4.2.2	Ausführung	29
8.4.3	Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich	30
8.4.3.1	Allgemeines	30
8.4.3.2	Ausführung	31
8.5	Ergebnisübersicht Varianten	34
9	Kosten	36
9.1	Allgemein	36
9.2	Investitionskosten	36
9.3	Betriebskosten	36
9.4	Jahreskosten	38
9.5	Sensitivitätsanalyse	39
10	Bewertung	40
11	Zusammenfassung	42
	Literaturverzeichnis	44

Bildverzeichnis

Bild 1:	Volumenstrom Ablauf KA Neuenkirchen/Wettringen	2
Bild 2:	Vergleich der Spurenstoffkonzentrationen in der Kläranlage Neuenkirchen/ Wettringen und in anderen Kläranlagen (Ablauf)	8
Bild 3:	Verfahren zur Spurenstoffelimination (Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013)	9
Bild 4:	Grundbegriffe der Adsorption	9
Bild 5:	Teilschritte der Adsorption (Breitbach und Bathen, 2001)	10
Bild 6:	Isotherme Adsorption Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen NaCl-Konzentrationen (Cooney 1998)	11
Bild 7:	Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber (DVGW W 239)	12
Bild 8:	Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit (Sontheimer u. a., 1985) .	13
Bild 9:	Durchbruchskurve eines Adsorptivgemisches (Worch 2004, modifiziert)	13
Bild 10:	Schema Ozonerzeugung (Gujer 1999, modifiziert)	17
Bild 11:	Ergebnisse Elimination Spurenstoffe ARA Regensdorf (Abegglen u. a. 2009).....	19

Bild 12:	Wirkungsgrade bei Vollstrombehandlung (Konzentration beispielhaft).....	20
Bild 13:	Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung (Konzentration beispielhaft).....	20
Bild 14:	Beispielhaft grafische Darstellung der Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung	21
Bild 15:	Summenhäufigkeit des Volumenstromes der behandelten Teilstrommenge	22
Bild 16:	Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination	22
Bild 17:	Baufeld in Schönungsteich II.....	23
Bild 18:	Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle	24
Bild 19:	Schnitt eines Tuchfilters, Ausführungsbeispiel (Quelle: Mecana).....	26
Bild 20:	Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle.....	27
Bild 21:	Systemskizze Variante 2: GAK-Filtration	28
Bild 22:	Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration	30
Bild 23:	Blockschema Variante 3:	31
Bild 24:	Lageplanausschnitt Variante 2: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich..	33
Bild 25:	Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten	39

Teil B: Anlagen

Anlage 1:	Auslegung Varianten 1 bis 3
Anlage 2:	Investitionskosten Varianten 1 bis 3
Anlage 3:	Betriebskosten Varianten 1 bis 3
Anlage 4:	Jahreskosten
Anlage 5:	Screening-Ergebnisse Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

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 Unterausschuss 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 Gemeinde Neuenkirchen hat die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH beauftragt, für die Kläranlage Neuenkirchen-Wettringen eine solche Studie auszuarbeiten.

Mit der Studie soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, um die Auswahl eines möglichen Verfahrens durch die Gemeinde Neuenkirchen 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 Zugrunde liegende Unterlagen

Die Grundlage der vorliegenden Planung bilden im Wesentlichen die folgenden Unterlagen:

- Stundenwerte Ablaufmessung KA Neuenkirchen, Dezember 2012 bis Dezember 2013;

- Änderungsentwurf nach § 58 (2) LWG zur Erweiterung der Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen, März 1997, TUTTAHS & MEYER Ingenieurges. mbH, Bochum;
- Lageplan KA Neuenkirchen/Wettringen, TUTTAHS & MEYER Ingenieurges. mbH, Bochum;
- Studie zur Verfahrensoptimierung der Kläranlage Düsterbach der Gemeinde Neuenkirchen, 1. September 2011, IWN - Ingenieurbüro für Abwasser- und Schlammbehandlung, Recklinghausen.

3 Belastungsdaten Hydraulik

Die Bemessungswerte der Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen sind im Folgenden aufgeführt:

Trockenwetterzufluss: $Q_{T,2h,max}$ = 630 m³/h ≈ 175 l/s

Mischwasserabfluss: Q_M = 1.159 m³/h ≈ 322 l/s

Die hydraulische Auslegung der 4. Reinigungsstufe, die nach der Nachklärung in den Reinigungsprozess eingebunden wird, basiert auf den Ablaufmengen der Kläranlage.

Bild 1 stellt die Ganglinie der Abwassermengen im Ablauf der Anlage (MID) als Stundenwerte für den Zeitraum Dezember 2012 bis Dezember 2013 dar. Die mittlere Ablaufmenge betrug 226 m³/h. Maximal wurden 963 m³/h im Betrachtungszeitraum abgeleitet. An 113 h im Betrachtungszeitraum lag die Abflussmenge oberhalb von 630 m³/h.

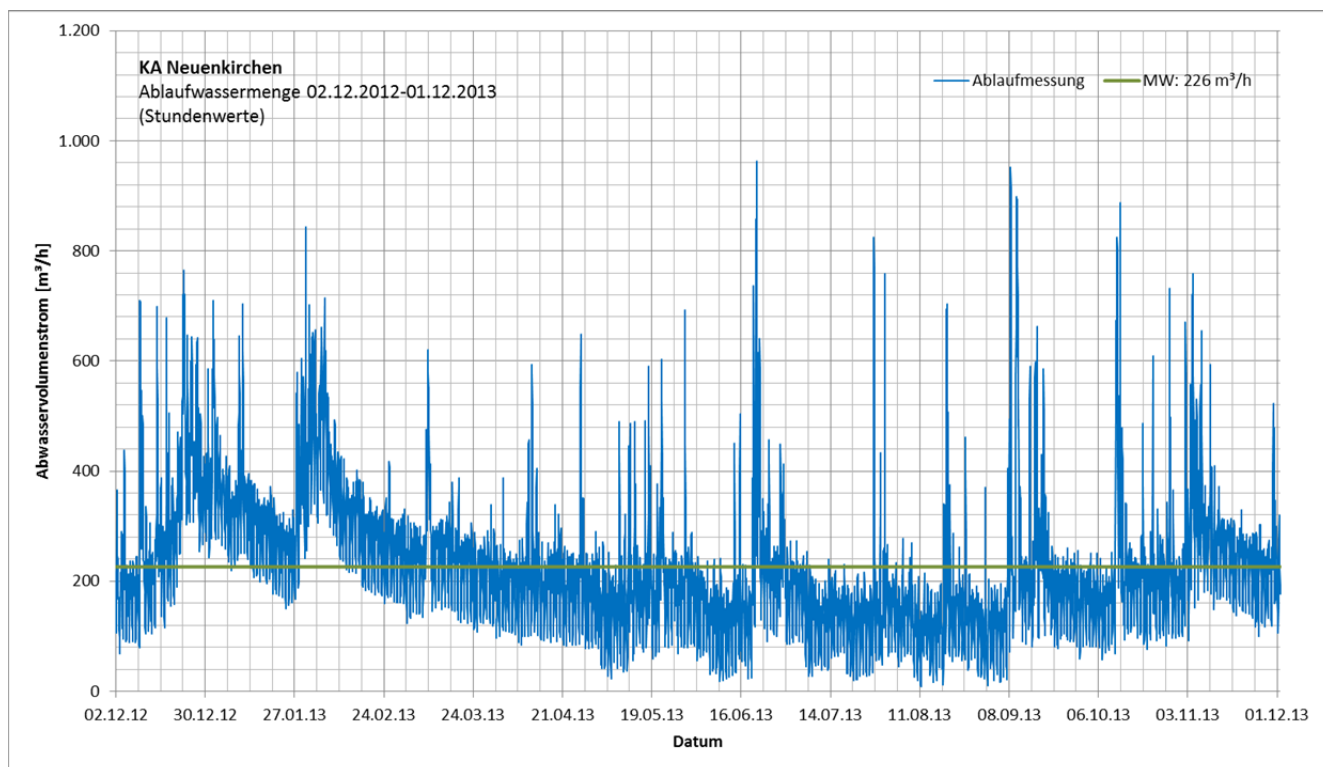


Bild 1: Volumenstrom Ablauf KA Neuenkirchen/Wettringen

4 Reinigungsanforderungen

Laut dem 3. Änderungsbescheid vom 21.11.2011 gemäß § 8 Abs. 1 i. V. mit § 10 WHG der Bezirksregierung Münster sind folgende Überwachungswerte einzuhalten:

Chemischer Sauerstoffbedarf:	90 mg/l
Biochemischer Sauerstoffbedarf:	10 mg/l
Stickstoff, anorganisch:	18 mg/l (≥ 12 °C)
Ammonium-Stickstoff:	4 mg/l (≥ 12 °C)
Phosphor, gesamt:	1,0 mg/l

Ab dem 01.01.2016 muss für den CSB ein Wert von 56 mg/l eingehalten werden.

5 Anlagenbestand

5.1 Einführung

Die Belastung der Kläranlage Neuenkirchen setzt sich aus den Anteilen der Abwässer der Gemeinden Neuenkirchen und Wettringen sowie aus den separat in die Kläranlage einleitenden Abwässern eines Molkereibetriebes zusammen. Die Abwässer des milchverarbeitenden Betriebes werden in einem Misch- und Ausgleichbehälter auf dem Kläranlagengelände zwischengespeichert.

Die Ausbaugröße der Kläranlage errechnet sich gemäß dem Entwurf aus dem Jahr 1997 zu 49.700 EW.

Basierend auf einer Studie des Ingenieurbüros für Abwasser- und Schlammbehandlung (kurz: IWN) wird die Anlage heute als einstufige Anlage mit intermittierender Belüftung betrieben.

1.1 Mechanische Reinigungsstufen

Diese Stufe besteht aus einem eingehausten Filterstufenrechen (Stababstand 6 mm) und einem belüfteten Sandfang.

Rechen: 1 Filterstufenrechen, Stababstand 6 mm

Sandfang: Belüfteter Sandfang mit Fettfang, grobblasige Belüftung
 $V = 92,4 \text{ m}^3$

1.2 Biologische Behandlungsstufen

1.2.1 Misch- und Ausgleichsbecken

Für Abwässer aus einem Textil- und einem milchverarbeitenden Betrieb steht jeweils ein Misch- und Ausgleichsbecken zur Verfügung.

M/A-Becken Textilbetrieb:	1 Rundbecken		
	V	=	1.600 m ³
	V _{Dauerstau}	=	514 m ³

Das Becken ist mit Belüftungs- und Umwälzaggregate ausgestattet. Ein Teilstrom des Rücklaufschlammes der Hochlastbelebung wird in das Becken eingeleitet.

Dieses Becken wird derzeit nicht genutzt, da der Textilbetrieb die Produktion eingestellt hat.

M/A-Becken Molkerei:	1 Rundbecken		
	V	=	800 m ³
	V _{Dauerstau}	=	250 m ³

Das Becken ist ebenfalls mit Belüftungs- und Umwälzaggregate ausgerüstet.

Um die Kohlenstoffversorgung der 2. Belebungsstufe in Schwachlastzeiten zu verbessern, kann der Ablauf dieses M/A-Beckens direkt in den Zulauf zur 2. biologischen Stufe geleitet werden.

Im Regelbetrieb gelangt der Ablauf der Misch- und Ausgleichsbecken in den Zulauf zur mechanischen Vorreinigung.

1.2.2 Hochlaststufe

Die Hochlastbelebung besteht aus einem Belebungsbecken mit nachgeschalteter Zwischenklärung.

Basierend auf dem Ergebnis der Studie des Ingenieurbüros IWN wird die Hochlaststufe (A-Stufe) nicht mehr betrieben.

Hochlastbelebung:	1 Rundbecken mit getrennter Belüftung und Umwälzung		
	V	=	300 m ³
Zwischenklärung:	1 Rundbecken (horizontaldurchflossen)		
	V	=	890 m ³

1.3 Schwachlastbelebung

Die Schwachlastbelebung verfügt über zwei Belebungsbecken und zwei Nachklärbecken.

Gemäß den Empfehlungen aus der Studie des Ingenieurbüros IWN werden beide Belebungsbecken parallel beschickt. Die Belüftung erfolgt intermittierend.

Volumen gesamt:	V _{BB}	=	5.910 m ³
Belebungsbecken I:	1 Rundbecken		
	V	=	3.200 m ³
Belebungsbecken II:	1 Rundbecken		
	D	=	25,60 m
	V	=	2.710 m ³

Der Zulauf zum Belebungsbecken II wird über das Zwischenpumpwerk angehoben.

1.4 Nachklärbecken und Rücklaufschlammumpwerk

Die Nachklärung besteht aus zwei horizontaldurchflossenen Rundbecken. Gemäß der Studie des Ingenieurbüros IWN wird das Nachklärbecken I mit Ablauf des Belebungsbecken I beaufschlagt. Das Nachklärbecken II ist dem Belebungsbecken II zugeordnet.

Nachklärbecken:	2 Rundbecken		
	D	=	32,0 m
	h_{Rand}	=	3,20 m

1.5 Schöpfungsteiche und Mengenmessung

Der Ablauf der beiden Nachklärbecken wird zusammengeführt. Hier ist die amtliche Probenahmestelle für den Kläranlagenablauf. Anschließend werden beide Schöpfungsteiche parallel beschickt. Im Ablauf der Teiche erfolgt die Mengenmessung über ein MID. Der Kläranlagenablauf wird in den Düsterbach eingeleitet.

1.6 Schlammbehandlung

Der anfallende Schlamm wird auf der Kläranlage in der vorhandenen Faulung ($V = 1.900 \text{ m}^3$) anaerob stabilisiert und über eine Kammerfilterpresse entwässert. Der überwiegende Anteil des entwässerten Schlammes wird thermisch verwertet. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass der komplette Schlamm der thermischen Verwertung zugeführt wird.

Das anfallende Faulgas wird in einem Blockheizkraftwerk verstromt.

6 Spurenstoffe im Wasserkreislauf

6.1 Einleitung

Mit Spurenstoffen werden Substanzen bezeichnet, die im Konzentrationsbereich von 10^{-9} (ng/l) bis 10^{-6} g/l ($\mu\text{g/l}$) in der aquatischen Umwelt zu finden sind.

Nach der Definition der DWA sind anthropogene Spurenstoffe organische Schadstoffe, wie Humanpharmaka, Industriechemikalien, Körperpflegemittel, Waschmittelinhaltsstoffe, Nahrungsmittelzusatzstoffe, Additive in der Abwasser- und Klärschlammbehandlung, Veterinärpharmaka, Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel sowie Futterzusatzstoffe (DWA 2008).

Andere Bezeichnungen für die genannten Substanzen sind z. B. Mikroverunreinigungen und Mikro-schadstoffe.

Die human- und ökotoxikologische Wirkung eines Teils dieser Stoffe ist nicht abschließend geklärt. Hierzu werden gegenwärtig Untersuchungen durchgeführt. Eine direkte Gefährdung für den Menschen besteht in der Regel nicht, jedoch wurden schon Wirkungen von einzelnen Spurenstoffen auf aquatische Lebewesen festgestellt. Im Sinne des Vorsorge- und Minimierungsprinzips sollte daher der Eintrag dieser Stoffe in den Wasserkreislauf minimiert werden.

Eine Hauptemissionsquelle für den Eintrag von Humanpharmaka stellen kommunale Kläranlagen dar.

Kommunale Kläranlagen sind derzeit ausgelegt für die Kohlenstoff- und, in Abhängigkeit von der Größe, auch für die Nährstoffelimination. Auf gut ausgebauten Anlagen werden organische Spurenstoffe teilweise erheblich eliminiert, wenn auch zumeist nicht vollständig, wie umfangreiche Studien belegen (MUNLV 2004; Joss 2005). Die unterschiedlichen Reinigungsleistungen lassen sich aus der chemischen Struktur der einzelnen Stoffe begründen.

Zur Verbesserung der Reinigungsleistung von Kläranlagen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die momentan auch noch Gegenstand der Forschung sind. Erste Anlagen wurden großtechnisch umgesetzt. Im weiteren Verlauf der Studie werden insgesamt drei Verfahren vorgestellt. Zu allen Verfahren liegen Ergebnisse von großtechnischen Anlagen oder zumindest Versuchen im großtechnischen Maßstab vor.

6.2 Charakterisierung des Verhaltens von anthropogenen Spurenstoffen

Die anthropogenen Spurenstoffe lassen sich, bedingt durch ihre physiko-chemischen Eigenschaften, keiner Stoffgruppe zuordnen. Daraus folgt auch, dass sich – wie schon gesagt – Unterschiede hinsichtlich der Elimination bei verschiedenen Stoffen ergeben.

Folgende Eigenschaften der Stoffe sind zur Beurteilung ihres Eliminationsverhaltens von besonderer Wichtigkeit:

- Molekülaufbau und –struktur,
- Polarität/Hydrophobie,
- Sorptionsverhalten,
- Abbaubarkeit/Persistenz.

Der Molekülaufbau kennzeichnet entscheidend das Verhalten des Stoffes. Die Bindungsformen der Atome bzw. Molekülgruppen zueinander beispielsweise beeinflussen die Abbaubarkeit und die Reaktionseigenschaften des Stoffes.

Polarität bezeichnet in der Chemie unterschiedliche Ladungsschwerpunkte innerhalb eines Moleküls. Dieses ist somit gegenüber seiner Umgebung nicht mehr elektrisch neutral. Polare Stoffe weisen eine bessere Wasserlöslichkeit auf. Unpolare Stoffe sind schlechter wasserlöslich; sie werden auch als hydrophob bezeichnet. In wässrigen Lösungen liegen die Spurenstoffe mitunter in dissoziierter Form vor. Dies bedeutet, dass das Molekül eine Ladung angenommen hat. Zu beachten ist, dass diese Ladung pH-Wert-abhängig sein kann.

Als Modellmaß für die Polarität kann der n-Octanol-Wasserverteilungskoeffizient K_{OW} herangezogen werden. Dieser beschreibt die Verteilung einer Chemikalie zwischen organischer und wässriger Phase (Worch 1997). Unter Sorption werden als Sammelbegriff Wechselwirkungen an Grenzflächen zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Phasen verstanden, die zu einer Anreicherung eines Stoffes führen. Bei der Absorption erfolgt die Anreicherung des Stoffes innerhalb der Phase, wie z. B. bei der Lösung von Gasen in Flüssigkeiten.

Persistenz bezeichnet die Beständigkeit von Stoffen gegenüber biologischen und chemischen Abbau- und Transformationsprozessen. Als persistent werden Substanzen eingestuft, die nicht oder nur sehr langsam abgebaut werden (Worch 1997). Aufgrund ihres ursprünglichen Einsatzes sind Spurenstoffe relativ persistent in der aquatischen Umwelt. So soll z. B. Röntgenkontrastmittel im menschlichen Körper keine Reaktion eingehen. Diese Persistenz beeinflusst jedoch auch die Elimination der Stoffe in der Umwelt bzw. in technischen Reinigungsprozessen.

6.3 Screening im Ablauf der Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Die Untersuchung von Wasserproben auf ausgewählte Spurenstoffe wurde von der OWL Umweltanalytik GmbH durchgeführt. Es wurde an drei unterschiedlichen Wochentagen eine zeitproportionale 24-Stunden-Mischprobe analysiert (**Anlage 5**). Die Probenahme erfolgte durch das Betriebspersonal der KA Neuenkirchen/Wettringen im Ablauf der Nachklärung. Die Ergebnisse des Screening-Vorgangs sind in **Tabelle 1** aufgeführt.

Tabelle 1: Untersuchungsbefund Ablauf Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Parameter	Einheit	24h-Mischprobe vom 02.02.2014	24h-Mischprobe vom 11.03.2014	24h-Mischprobe vom 03.04.2014	Orientierungswert nach "D4-Liste"	Anmerkung
Bezafibrat	µg/l	0,560	0,520	0,600	0,100	
Diclofenac	µg/l	1,700	2,400	3,000	0,100	
Naproxen	µg/l	<0,05	0,071	0,054	0,100	
Phenazon	µg/l	0,300	0,210	0,460	0,110	
Carbamazepin	µg/l	1,200	1,700	1,900	0,500	
Atenolol	µg/l	<0,05	0,054	0,068	0,100	
Bisoprolol	µg/l	0,910	0,810	0,820	0,100	
Metroprolol	µg/l	1,800	2,300	2,500	7,300	
Sotalol	µg/l	0,610	0,620	0,540	0,100	
Clarithromycin	µg/l	1,300	0,350	0,630	0,020	
Sulfamethoxazol	µg/l	1,100	9,100	0,860	0,150	
Oxazepam	µg/l	<0,05	0,070	0,050	0,100	
Amidotrizoesäure	µg/l	1,100	1,400	0,260	0,100	
Iomeprol	µg/l	<0,05	<0,05	0,350	0,100	
Iopamidol	µg/l	0,340	3,800	0,310	0,100	
Iopromid	µg/l	0,540	0,490	1,400	0,100	
Diuron	µg/l	<0,05	<0,05	0,250	0,200	
Isoproturon	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	0,300	
Terbutryn	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	0,065	
Benzotriazol	µg/l	3,500	4,000	3,900	10,000	
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	<5	<5	<5	0,040	unterhalb Bestimmungsgrenze
17-beta-Estradiol	ng/l	<5	<5	<5	0,400	unterhalb Bestimmungsgrenze
Estron	ng/l	<5	<5	<5		unterhalb Bestimmungsgrenze
Bromid (Br)	mg/l	<2	<2	<2		unterhalb Bestimmungsgrenze

Farbe	Beurteilung	Kriterium
	sehr gut	MW ≤ 0, 1*OW
	gut	0, 1 < MW ≤ OW
	mäßig	OW < MW ≤ 2*OW
	unbefriedigend	2*OW < MW ≤ 10*OW
	schlecht	MW > 10*OW
	keine Aussage	unter BG

BG Bestimmungsgrenze
OW Orientierungswert
MW Messwert

Die Orientierungswerte wurden der sogenannten „D4-Liste“ (www.flussgebiete.nrw.de, Stand: April 2014) entnommen. Bei den Parametern Diclofenac, Clarithromycin, Sulfamethoxazol sowie den Röntgenkontrastmitteln Amidotrizoesäure, Iopamidol und Iopromid wurde zum Teil der Orientierungswert um mehr als das Zehnfache überschritten. Die genannten Orientierungswerte sind nicht mit einer gesetzlichen Regelung gleichzusetzen.

Bild 2 zeigt ein Diagramm mit den gemessenen Spurenstoffkonzentrationen in anderen Kläranlagen und den entsprechenden Literaturwerten. Es lässt sich gut erkennen, dass beispielsweise die Diclofenac- und Iopamidol-Konzentrationen im Ablauf anderer Kläranlagen auf einem vergleichbaren (hohen) Niveau liegen. Die Konzentration des Arzneistoffes Clarithromycin ist im Ablauf der Kläranlage Wettringen höher als bei anderen Kläranlagen und auch oberhalb des Wertebereiches für Kläranlagenabläufe nach den Literaturwerten. Bei den schraffierten Balken handelt es sich um Konzentrationen die unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen.

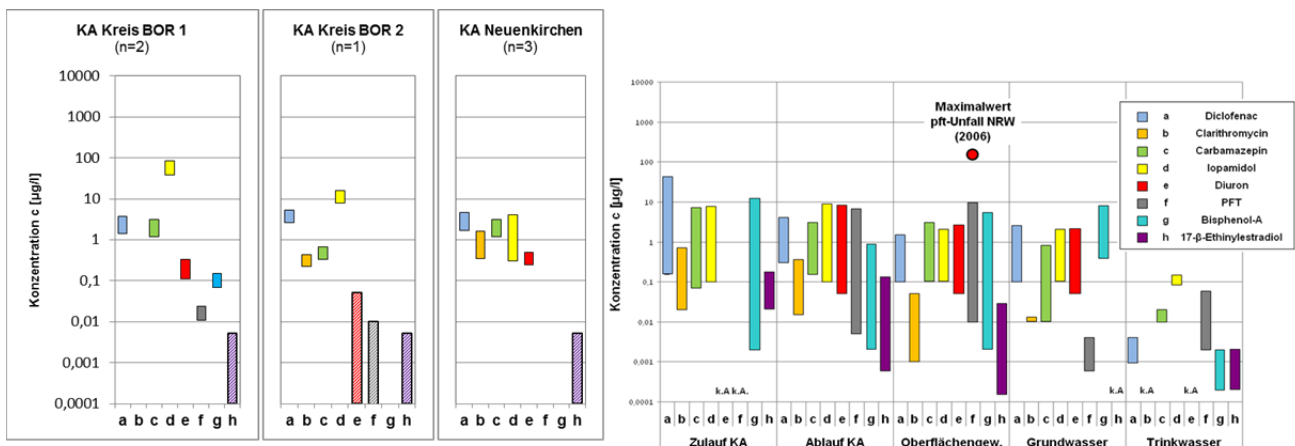


Bild 2: Vergleich der Spurenstoffkonzentrationen in der Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen und in anderen Kläranlagen (Ablauf)

7 Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen

7.1 Überblick

Die nachfolgende Grafik gibt einen schematischen Überblick über die verschiedenen Verfahren zur Elimination von anthropogenen Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen. Für die Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen werden die Anwendung von Ozon sowie Pulveraktivkohle und granulierter Aktivkohle untersucht (**Kapitel 8**). Die Grundlagen und Möglichkeiten der adsorptiven und oxidativen Verfahren werden im Folgenden kurz erläutert.

7.2 Adsorption

7.2.1 Grundlagen

Unter Adsorption wird die Anreicherung von Stoffen an der Oberfläche von Flüssigkeiten und besonders Festkörpern verstanden. Sie erfolgt durch die Wechselwirkung der aktiven, energiereichen Zentren einer Grenzfläche mit den Atomen, Molekülen oder Ionen einer benachbarten Phase (Kümmel und Worch 1990).

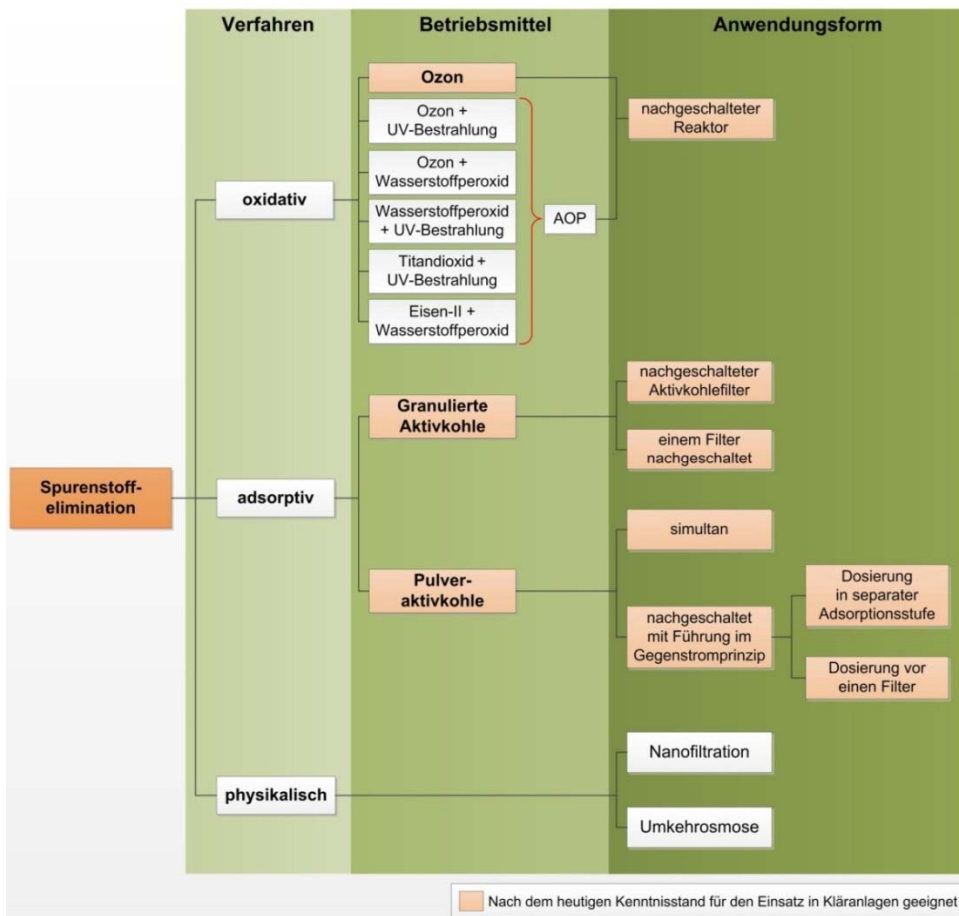


Bild 3: Verfahren zur Spurenstoffelimination (Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013)

Die adsorptionsaktive Phase, an der die Anreicherung erfolgt, wird als Adsorbens bezeichnet. An diesem lagern sich das Adsorptiv, also die Teilchen des zu adsorbierenden Stoffes an. Desorption bezeichnet die Remobilisierung bereits fixierter Teilchen. Im **Bild 4** sind schematisch die Zusammenhänge dargestellt.

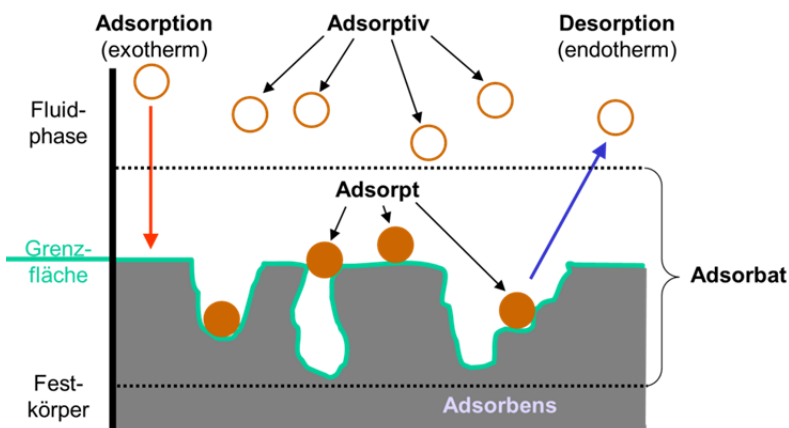


Bild 4: Grundbegriffe der Adsorption

Die Adsorption erfolgt in mehreren Teilschritten auch an der inneren Oberfläche des Adsorbens. Dies ist im **Bild 5** dargestellt.

In Abhängigkeit von der Stärke der Bindung des Adsorptivs an das Adsorbens wird zwischen Physisorption und Chemisorption unterschieden. Die physikalische Sorption ist vor allem auf Van-Der-Waalsche-Wechselwirkungen zurückzuführen. Der chemischen Sorption liegen chemische Reaktionen zwischen dem Adsorbens und dem Adsorptiv zugrunde (Kümmel u. Worch 1990).

Bei der Adsorption aus Flüssigkeiten überwiegt die Physisorption mit den relativ kleinen Bindungskräften. Die Physisorption ist reversibel; damit ist eine Reaktivierung des Adsorbens (Aktivkohle) möglich und gegebenenfalls wirtschaftlich.

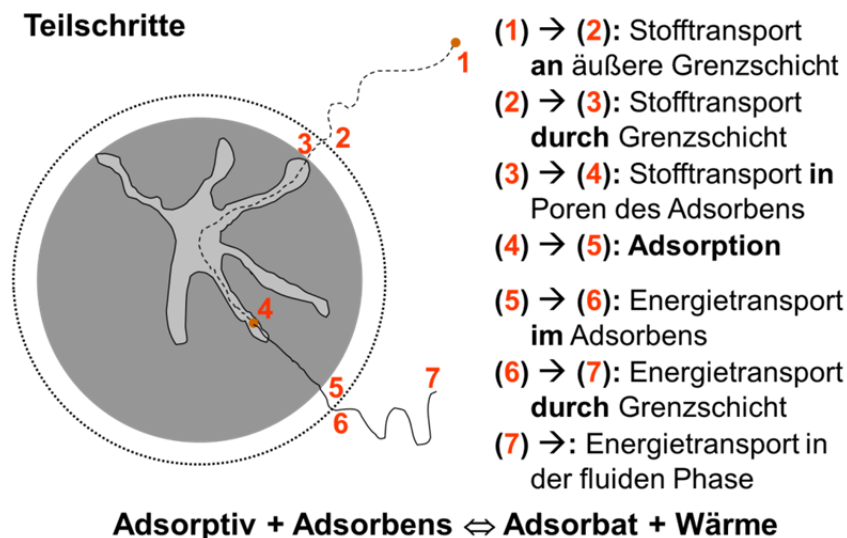


Bild 5: Teilschritte der Adsorption (Breitbach und Bathen, 2001)

Folgende Eigenschaften des Adsorptivs können nach Cooney (1998) die Physisorption beeinflussen:

- Steigende Unpolarität/Hydrophilität erhöht die Adsorbierbarkeit
- Funktionelle Gruppen
 - Hydroxyl-Gruppe (R-OH) senken die Adsorbierbarkeit
 - Amino-Gruppe (R-NH₂) senken die Adsorbierbarkeit sehr stark
 - Sulfonsäure-Gruppe (R-SO₃H) senken meistens die Adsorbierbarkeit
 - Nitro-Gruppe (R-NO₂) verbessern die Adsorbierbarkeit

Aus dem pH-Wert des Fluids können folgende Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

- Kleiner pH-Wert führt zu einer höheren Adsorbierbarkeit acider Stoffe.
- Ein hoher pH-Wert in der Lösung führt zur besseren Adsorbierbarkeit von basischen Stoffen.

Die Anwesenheit von anorganischen Salzen im Fluid führt zur einer höheren Beladung des Adsorbens (Aktivkohle). In der nachfolgenden Grafik, **Bild 6**, ist die Adsorption von Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen Konzentrationen von NaCl in der fluiden Phase dargestellt. Durch die Salzio-

nen werden die gleichsinnig geladenen Gruppen des Adsorpt (Phenol) neutralisiert und eine höhere Packungsdichte auf dem Adsorbens erreicht (Cooney 1998).

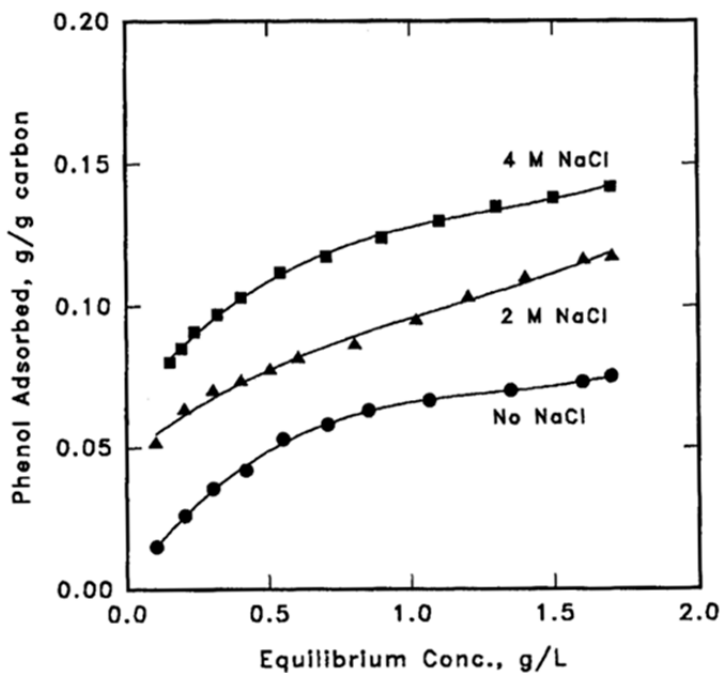


Bild 6: Isotherme Adsorption Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen NaCl-Konzentrationen (Cooney 1998)

Beim Abwasser handelt es sich um ein Mehrphasensystem. Dies bedeutet, dass die verschiedenen Adsorptive im Wasser um die Adsorptionsplätze auf dem Adsorbens konkurrieren. Dies beeinflusst die Adsorbierbarkeit der einzelnen Stoffe.

Zur Entfernung organischer Spurenstoffe wird in der Wassertechnik Aktivkohle eingesetzt, die aus Holz, Kohlen und ähnlichen Stoffen durch Aktivierung bei hohen Temperaturen und Luftabschluss, zum Teil unter Einsatz von Säuren (chemische Aktivierung), hergestellt werden. Durch die Aktivierung erhalten die Kohlen eine innere Oberfläche von $800 \dots 1.200 \text{ m}^2/\text{g} \approx 1 \text{ km}^2/\text{kg}$, an der die Adsorption erfolgt. Die äußere Oberfläche wird durch den Partikeldurchmesser bestimmt.

Hinsichtlich der Korngröße werden die Kohlen in zwei Gruppen eingeteilt:

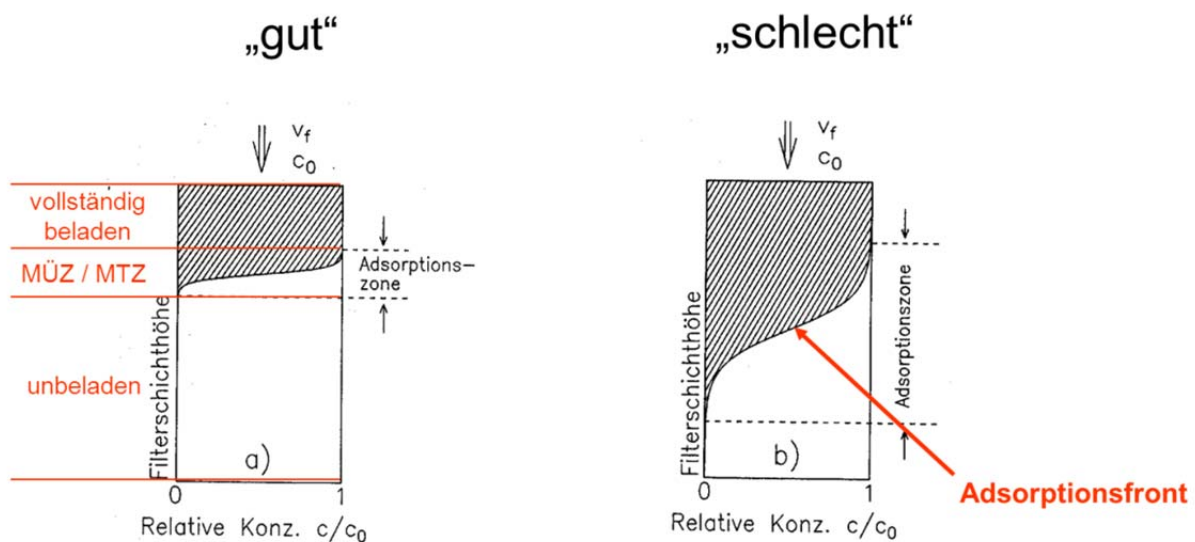
- Pulverkohlen (PAC = powdered activated carbon) weisen einen Durchmesser von weniger als 0,05 mm auf;
- Kornkohlen (GAC = granulated activated carbon) liegen im Durchmesser zwischen 0,5 und 4 mm.

Des Weiteren wird noch Formkohle angeboten. Diese weist eine zylindrische Form auf und liegt im gleichen Größenbereich wie die Kornkohlen.

Die beiden beschriebenen Kohlenarten werden in verschiedenen Reaktortypen eingesetzt – die Pulverkohle in einem Rührreaktor und die Kornkohle in einem Festbettreaktor (Filter).

Dadurch ergibt sich eine andere Kinetik. Beim Rührreaktor stellt sich eine Gleichgewichtsbeladung zwischen der Konzentration des Adsorptivs im Fluid und am Adsorbens ein. Über die Zeit nähert sich diese der maximalen Gleichgewichtsbeladung an.

Beim Einsatz der Kornkohle im Filter erfolgt die Adsorption über die Betttiefe in der sogenannten Adsorptionszone. Im **Bild 7** ist dies für zwei unterschiedlich adsorbierbare Stoffe dargestellt.



MÜZ = Massenübergangszone

MTZ = Mass Transfer Zone

Bild 7: Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber (DVGW W 239)

Zu erkennen ist, dass der gut adsorbierbare Stoff eine deutlich kürzere Übergangszone aufweist, in der das Adsorptiv bis auf die Konzentration von nahezu Null zurückgehalten wird. Beim schlechter adsorbierbaren Stoff ist die Zone größer; der Stoff bricht also früher durch.

Über die Betriebszeit verlagert sich die aktive Zone tiefer in die Schüttung des Kornkohlefilters, wie **Bild 8** zeigt. In darunterliegenden Graphen ist die Ablaufkonzentration über der Filterlaufzeit aufgetragen. Der Durchbruch des Adsorptivs erfolgt zu dem Zeitpunkt, an dem die Übergangszone den unteren Rand der Schüttung erreicht hat. Im Filter wird zu diesem Zeitpunkt ein Teil des Adsorptivs noch zurückgehalten.

Bei der Adsorption von Mehrstoffgemischen konkurrieren, wie erwähnt, verschiedene Adsorptive um die Adsorptionsplätze auf dem Adsorbens. Dies kann dazu führen, dass ein schlecht adsorbierbarer Stoff, der rasch im Filterbett die Adsorptionsplätze belegt hat, von einem guten adsorbierbaren Stoff verdrängt wird.

Infolgedessen kann die Konzentration des schlecht adsorbierbaren Stoffes im Ablauf des Filters größer sein als die Zulaufkonzentration. Im **Bild 9** ist der Zusammenhang dargestellt. Dieses Verhalten wird „Chromatografie-Effekt“ genannt.

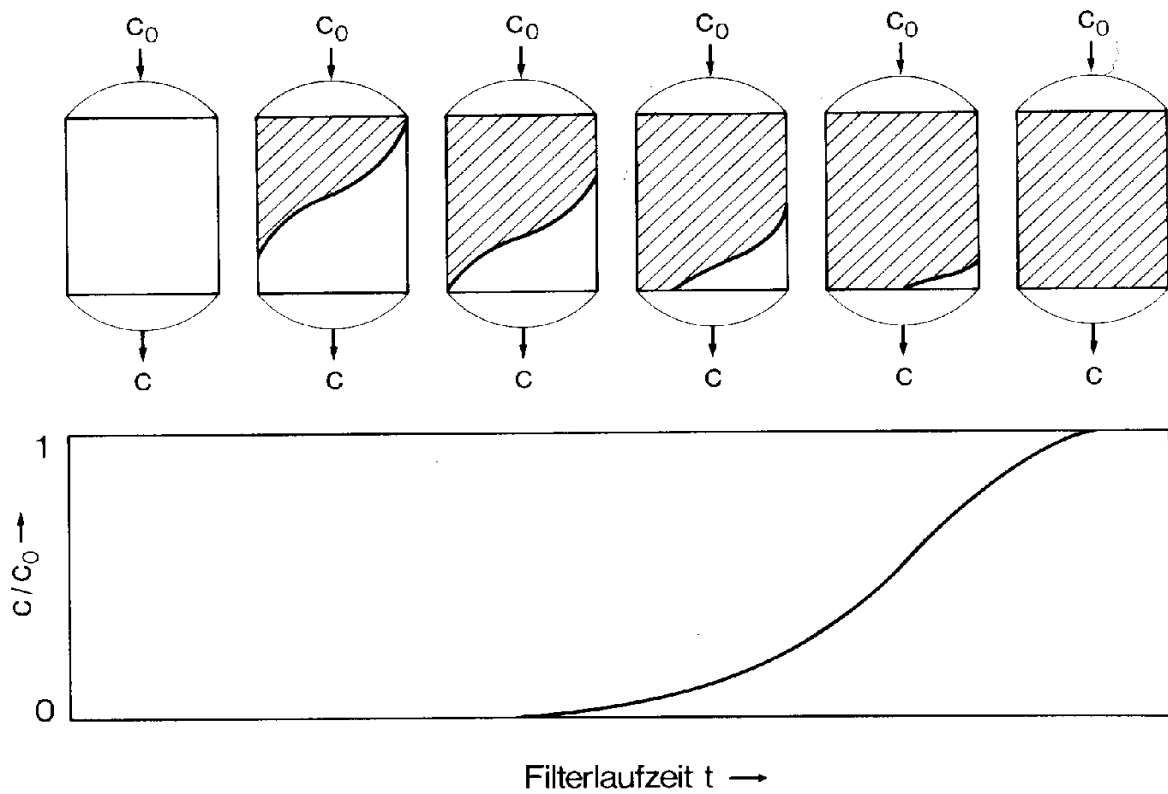


Bild 8: Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit (Sontheimer u. a., 1985)

Zu beachten ist, dass bei mehreren Kornkohlefiltern mit versetzten Laufzeiten (unterschiedlichen Beladungszuständen) der Verschnitt aller Abläufe eine bessere Qualität hat, als der Ablauf des schlechtesten (beladensten) Filters ist.

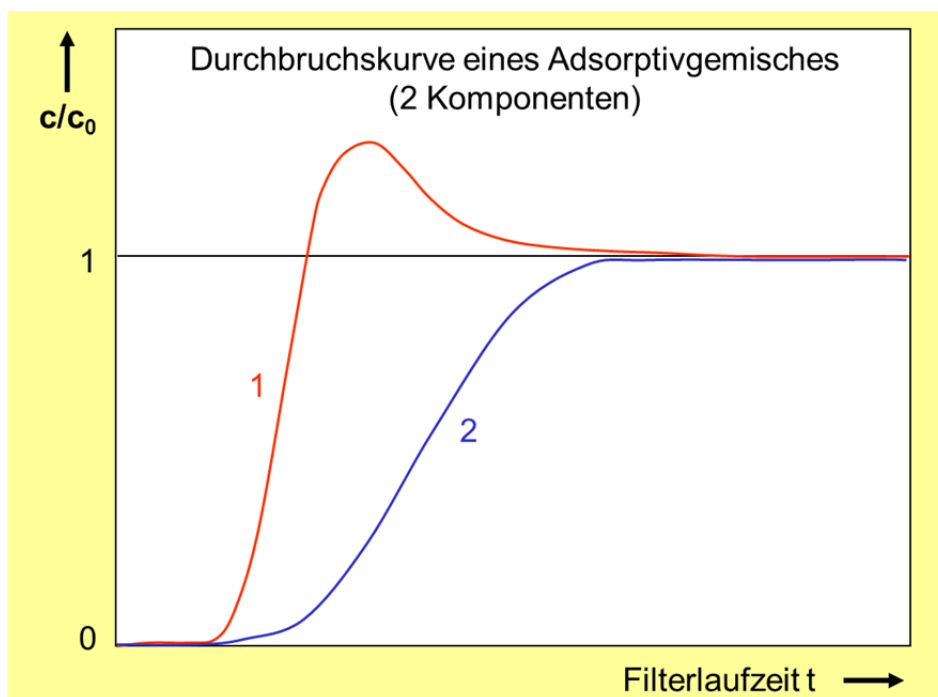


Bild 9: Durchbruchkurve eines Adsorptivgemisches (Worch 2004, modifiziert)

7.2.2 Einsatz von Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination

7.2.2.1 Pulveraktivkohle

Für die Spurenstoffelimination mittels Pulveraktivkohle als Stufe zwischen Nachklärung und Filtration liegen derzeit großtechnische Erfahrungen zu zwei Verfahren vor.

1. Pulveraktivkohle in den Filterüberstau

Bei dem ersten Verfahren wird die Pulverkohle direkt in den Ablauf der Nachklärung vor der Filtration dosiert. Als Kontaktraum zwischen Kohle und Abwasser dient der Filterüberstau. Über die Filterlaufzeit reichert sich die Kohle im Filter und in der Schüttung an. Hier kann weiterhin eine Adsorption erfolgen. Bei der Rückspülung der Filter wird die beladene Kohle aus dem Filterbett entfernt. Über das Schlammwasser wird diese in den Zulauf der Kläranlage geführt. Dort kann eine weitere Beladung auf einem höheren Konzentrationsniveau erfolgen. In der Vorklärung wird die Kohle abgetrennt und mit dem Primärschlamm der Schlammbehandlung zugeführt.

Dieses Verfahren wurde von Meyer (2008) vorgeschlagen. Auf dem Klärwerk Wuppertal-Buchenhofen wurde für einen großtechnischen Versuch eine Filterkammer ($A = 60 \text{ m}^2$) umgerüstet. Innerhalb eines Forschungsprojektes wurde der Betrieb dieser Kammer mit Pulveraktivkohledosierung über 1,5 a begleitet.

Die wesentlichen Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst. Weitere Angaben sind dem Abschlussbericht (Bornemann u. a., 2012) zu entnehmen.

- Favorisierte Dosiermenge PAK: 20 mg/l.
- Fällmitteldosierung ist erforderlich, da sonst rascher Durchbruch der Kohle durch den Filter.
- Optimierte Fällmitteldosierung (FeCl_3): 0,1...0,2 mg Fe/mg PAK.
Bei 20 mg PAK/l sind dies 2...4 mg Fe/l.
- Rückhaltung der PAK im Filterbett zu 96 %.
- Über die Rückspülung wurde die gesamte Kohle wieder aus dem Filter entfernt.
- Das Rückspülintervall des Filters lag bei einer Rückspülung in 24 d. Dies entsprach dem regulären Betrieb des Filters.
- Bei den beschriebenen Dosierungen scheint für den Standort Buchenhofen eine dauerhafte Unterschreitung des Schwellenwertes der Abwasserabgabe von 20 mg/l erreichbar.
- Eliminationsleistung im PAK-Filter für Carbamazepin, Diclofenac und Metoprolol ca. 80 %, bezogen auf Filterzulauf.
- Gesamtelimination im Klärwerk mit PAK-Filter für die Stoffe Sulfamethoxazol, Diclofenac oder Metoprolol zwischen 80 und 90 %.

2. Pulveraktivkohle mit Rückführung

Ein weiteres Verfahren stellt der Einsatz von Pulveraktivkohle in Verbindung mit einer Rückführung der Kohle dar.

Grundgedanke des Verfahrens ist die Zugabe von frischer Pulveraktivkohle (PAK) in biologisch gereinigtes Abwasser, wobei zur besseren Ausnutzung der Adsorptionskapazität der Kohle diese innerhalb der Stufe als Rücklauf im Kreislauf gefahren wird und so mehrmals mit frischem Abwasser in Kontakt kommt. Ein Teil der beladenen Kohle wird als Überschussskohle aus dem System entfernt und durch Frischkohle ersetzt. Die aus der Adsorptionsstufe abgezogene beladene Kohle kann zur weiteren Ausnutzung der Restadsorptionskapazität in die biologische Stufe rückgeführt werden. Alternativ kann sie über die Schlammbehandlung aus dem System ausgeschleust werden.

Für die eigentliche Adsorption ist ein Kontaktbecken mit einer Aufenthaltszeit von insgesamt 30 min vorgesehen. Die Abtrennung der Pulverkohle aus dem Abwasser erfolgt unter Einsatz von Flockungs- und Flockungshilfsmittel in der nachgeschalteten Sedimentation.

Restsuspensa und Kohlepartikel, die nicht in der Sedimentation der Adsorptionsstufe aus dem Wasser entfernt wurden, werden in der nachfolgenden Filtration zurückgehalten.

Dieses Verfahren wurde in Baden-Württemberg schon mehrfach umgesetzt. Als Beispiel sind folgende Kläranlagen zu nennen: Mannheim, Kressbronn-Langenargen, Stockacher Aach sowie Böblingen-Sindelfingen. Weitere Anlagen, wie Ravensburg oder Karlsruhe und Stuttgart, befinden sich im Bau bzw. in der Planung.

Die Ergebnisse aus dem Betrieb der großtechnischen Anlagen in Mannheim und Sindelfingen wurden von Schwentner u. a. (2013) veröffentlicht. Die wichtigsten Punkte werden hier wiedergegeben:

- optimierte PAK-Dosierung: 10 mg/l.
- Feststoffgehalt im Kontaktbecken: ca. 4 g TS/l.
- Einsatz von Fällmittel (Me-Salzen) und Flockungshilfsmittel ($0,3 \text{ g/m}^3$) hilfreich, um Filterdurchbruch zu verhindern.
- P_{ges} -Gehalte im Ablauf Filtration von 0,1 mg/l erreichbar, wenn nicht fällbarer P-Anteil gering.
- kein Mehrverbrauch von Fällmittel → Simultanfällung wird reduziert, erhöhte Dosierung in Adsorptionsstufe.
- Reduktion CSB-Konzentration um ca. 30 % gegenüber Ablauf Nachklärung.
- Eliminationsleistung Mikroschadstoffe in Adsorptionsstufe Kläranlage Sindelfingen größer 70 % bei 10 mg PAK/l für Bezafibrat, Diclofenac, Naproxen, Fenibrinsäure, Carbamazepin, Metoprolol, Iohexol, Iomeprol, Iopromid. Die Entnahme liegt bei ca. 10 % für das Antibiotikum Sulfamethoxazol.
- Stellenanteil Adsorptionsstufe ca. 0,65 MA/Monat.

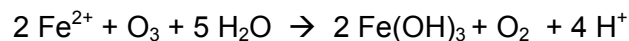
7.3 Ozonung

7.3.1 Grundlagen

7.3.1.1 Einsatz und Wirkung von Ozon

Ozon wird als starkes Oxidationsmittel in der Wassertechnik schon lange genutzt. Hier ist z. B. die Trink- und Schwimmbadwasseraufbereitung zu nennen. Ozon wurde auch in der Abwasserreinigung eingesetzt, um Abwässer mit einem hohen Anteil schwer abbaubarer CSB-Verbindungen zu behandeln. Als Beispiel kann hier die Kläranlage Ochtrup genannt werden.

Ozon wirkt als Oxidationsmittel entweder durch Transfer eines Sauerstoffatoms oder rein durch Aufnahme von Elektronen des Oxidationspartners. Bei der Oxidation wird es selbst reduziert. Im folgenden Beispiel ist dies an der Oxidation von zweiwertigem zu dreiwertigem Eisen durch Ozon dargestellt:



Das Fe^{2+} -Ion gibt ein weiteres Elektron ab und ist dann dreifach positiv geladen. Das Ozon transferiert ein Sauerstoffatom zum sich bildenden dreiwertigen Eisenhydroxid.

Im Vergleich zu molekularem Sauerstoff ist Ozon als Oxidationsmittel mit einem Redoxpotenzial von 1,24 Volt gegenüber 0,401 Volt (bezogen auf pH 14) deutlich stärker.

Ozon oxidiert Nitrit sehr rasch bis zum Nitrat. Dabei werden je g Nitritstickstoff stöchiometrisch 3,43 g Ozon benötigt. Es geht keine Reaktion mit Ammonium ein.

Die Reaktionswege des Ozons sind sehr unterschiedlich. Damit ist die Wirkung des Ozons komplex.

Zum einen kann Ozon direkt mit den anorganischen und organischen Wasserinhaltsstoffen reagieren; indirekt erfolgt die Reaktion über Hydroxid-Radikale ($\text{OH}\cdot$). Je nach Milieubedingung überwiegt eine der beiden Reaktionsweisen. Im Wasser mit neutralem pH-Wert, geringer DOC-Hintergrundbelastung und niedrigen Temperaturen dominiert die direkte Reaktion. Bei höheren pH-Werten und DOC-Konzentrationen erfolgt die Reaktion zumeist über den indirekten Weg.

Die Bildung der genannten Radikale erfolgt beispielsweise über die Anwesenheit bestimmter Wasserinhaltsstoffe, wie Huminstoffe. Die OH -Radikale reagieren sehr schnell, jedoch auch sehr unspezifisch. Zudem können sie durch sogenannte Radikalfänger (Scavenger) reduziert werden. Als Fänger können Karbonationen (Härtebildner), Huminstoffe, aber auch Ortho-Phosphat wirken. Die Radikale reagieren jedoch auch mit Wasserinhaltsstoffen, die allein mit dem Ozon nicht reagiert hätten.

Bei dem sogenannten AOP (Advanced Oxidation Process) wird die Bildung von Radikalen künstlich unterstützt. Beim Peroxon-Verfahren durch die Dosierung von Wasserstoffperoxid als zweites Oxidationsmittel oder durch eine UV-Bestrahlung parallel zur Ozondosierung.

Insgesamt oxidiert Ozon die meisten organischen Wasserinhaltsstoffe nicht bis zum CO_2 , sondern bewirkt eine Teiloxidation. Die Molekülgröße der Stoffe wird verringert. Ozon wirkt weiterhin bevorzugt auf Doppelbindungen in den Molekülen. Dies bedeutet, dass durch die Ozonbehandlung Zwi-

schenprodukte gebildet werden, die beispielsweise wieder biologisch verfügbar sind. Der Ozonbehandlung in der Trinkwasseraufbereitung wird zumeist standardmäßig eine biologisch arbeitende Stufe nachgeschaltet (z. B. biologisch aktivierter Aktivkohlefilter), um die neu gebildeten Stoffe abzubauen zu können.

Weiterhin ist die toxikologische Wirkung der gebildeten Transferprodukte zu beachten.

7.3.1.2 Ozonanwendung

Ozon ist aufgrund seiner hohen Reaktivität selbst sehr instabil. Es wird daher in der Regel am Ort der Anwendung hergestellt.

Dies erfolgt über die stille elektrische Entladung aus Sauerstoff bzw. sauerstoffhaltigem Gas (Luft) in einem Hochspannungs-Wechselfeld. In nachstehender Grafik ist dies schematisch dargestellt.

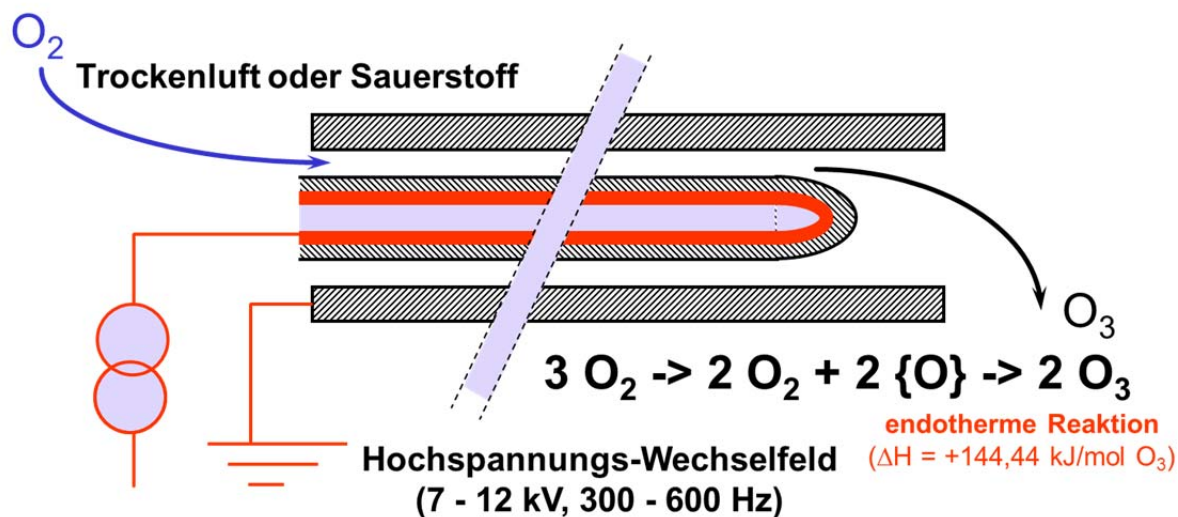


Bild 10: Schema Ozonerzeugung (Gujer 1999, modifiziert)

Die Reaktion selbst ist endotherm; es muss also Energie in Form von elektrischer Energie zum Ablauf der Reaktion von außen zugeführt werden. Theoretisch werden pro kg Ozon 0,836 kWh benötigt. In der Praxis kann dieser Wert aufgrund von Verlusten (rascher Zerfall) nicht erreicht werden. Moderne Ozonerzeuger benötigen ca. 8...10 kWh/kg O_3 , wenn technischer Sauerstoff als Prozessgas eingesetzt wird.

Die Verluste treten in Form von Wärme auf, die abgeführt werden muss. Dies bedeutet, dass der Ozonerzeuger gekühlt werden muss. Dazu sind wiederum Energieaufwendungen notwendig.

Aufgrund der gesundheitsschädlichen Wirkung des Ozons muss die Abluft aus den Reaktionsbecken vor Abgabe in die Umgebung behandelt werden. Zur sogenannten Restozonvernichtung stehen thermisch/katalytische oder thermische Verfahren zur Verfügung.

Insgesamt addiert man den Energiebedarf von O_3 -Erzeugung, Kühlung und Restozonvernichtung; so ergibt sich ein Bedarf an elektrischer Energie von 10...11 kWh/kg O_3 .

Für den Eintrag des Ozons werden im Abwasserbereich heute zwei Verfahren vorwiegend genutzt.

1. **Eintrag über Diffusoren.** Das ozonhaltige Gas wird über Domdiffusoren aus Keramik in das Abwasser eingetragen.
2. **Eintrag über Injektoren.** Ein Teilstrom des zu behandelnden Abwassers wird über Injektoren mit dem ozonhaltigen Gas versetzt. Dieser ozonhaltige Teilstrom wird nachfolgend mit dem Hauptstrom vermischt.

Für den Eintrag über Injektoren ist ein weiterer Pumpenkreislauf notwendig. Aufgrund der nur geringen Ozoneinträge für die Spurenstoffelimination stellt für diesen Anwendungsfall der Eintrag über Diffusoren das bevorzugte Eintragungssystem dar.

Der Eintrag erfolgt in beiden Systemen in Behältern mit einem Wasserspiegel zwischen 5 und 6 m. Neben dem Eintrag erfolgt in diesen Kammern auch die Reaktion des Ozons mit den Wasserinhaltsstoffen. Die Aufenthaltszeit in den Kontakt-/Traktionsbehältern liegt zwischen 15 und 30 min. Einbauten in den Behältern, mit Ausnahme einer Tauchwand im Abflussbereich, ergeben keine Verbesserungen (Herbst u. a., 2011). Der Ablauf aus dem Behälter wird, wie schon erwähnt, der Restozonbehandlung zugeführt.

7.3.2 Einsatz von Ozon in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination

Zum Einsatz von Ozon in der 4. Reinigungsstufe gibt es verschiedene Untersuchungen auch im großtechnischen Maßstab.

Ternes u. a. (2003) führten Untersuchungen im halbtechnischen Maßstab mit dem Ablauf der Kläranlage Braunschweig durch. Bei einer Ozondosis von 10 mg/l wurden von den 23 untersuchten Arzneimittel-Wirkstoffen alle bis unter die Nachweisgrenze eliminiert. Eine weitgehende Wirkung war jedoch auch schon bei einer Dosierung von 5 mg/l zu beobachten. Eliminationsgrade von über 80 % konnten bei den drei Röntgenkontrastmitteln Iopamidol, Iomeprol und Iopromid erst bei Dosierung von 15 mg/l erreicht werden. Der DOC des Kläranlagenablaufes betrug 23 mg/l; der pH-Wert lag bei 7,2. Die Kontaktzeit des Ozons lag bei 9 min.

Auf der Kläranlage Regensdorf (30.000 EW) in der Schweiz wurden im technischen Maßstab Untersuchungen durchgeführt (Abegglen u. a. 2009). Der Ablauf aus der Nachklärung der Anlage wurde mit Ozon behandelt. Dem Ozon nachgeschaltet war die (bestehende) Filtrationsanlage. Der DOC im Ablauf der Nachklärung lag mit ca. 5 mg/l auf einem niedrigen Niveau. In der Grafik, **Bild 11**, sind die erzielten Eliminationsgrade dargestellt.

In wirtschaftlicher und betrieblicher Hinsicht erwies sich in Regensdorf eine Ozondosis von 0,62 mg O₃/mg DOC als optimal. Aufgrund des geringen DOC im Ablauf der Nachklärung ergab sich daraus eine Ozondosis von 3,1 mg/l. Bei einer Übertragung auf andere Standorte mit einem gegebenenfalls höheren DOC-Gehalt im Zulauf der Ozonstufe ist dies zu berücksichtigen.

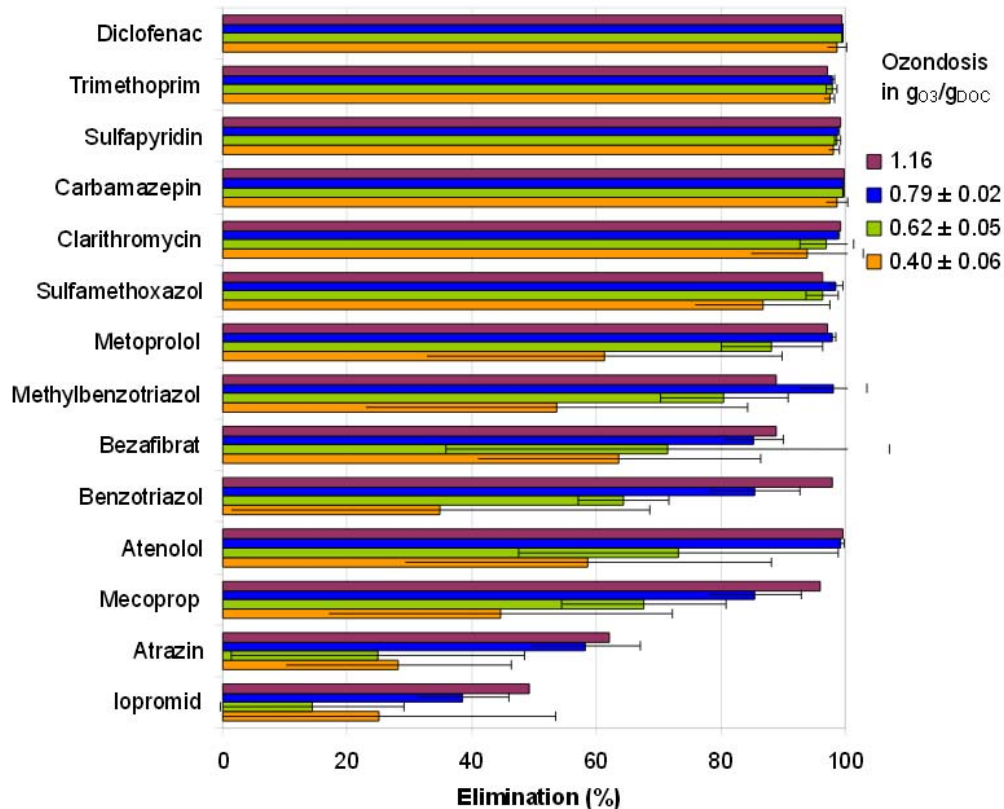


Bild 11: Ergebnisse Elimination Spurenstoffe ARA Regensburg (Abegglen u. a. 2009)

Innerhalb des Projektes wurden auch die Bildung von Transferprodukten und ihre Umweltrelevanz untersucht. Es zeigte sich, dass der Ablauf der Ozonung ein erhöhtes ökotoxikologisches Potenzial aufwies. Durch den nachgeschalteten Sandfilter wurde dieses wieder reduziert. Die Bildung von stabilen und toxikologisch relevanten Reaktionsprodukten konnte nicht festgestellt werden. In Regensburg handelte es sich um einen Dynasandfilter, der mit einer Filtergeschwindigkeit von 14,4 m/h im Trockenwetterfall betrieben wurde. Bei einer Filterbetttiefe von 1 m ergibt dies eine Aufenthaltszeit von ca. 4 min.

In Nordrhein-Westfalen wurden die kommunalen Kläranlagen Bad Sassendorf, Schwerte und Duisburg-Vierlinden mit einer Ozonstufe ausgerüstet. Bei den Kläranlagen Bad Sassendorf und Vierlinden wird der Ablauf ozoniert. Die Ergebnisse beider Anlagen entsprechen sich (Grünebaum u. a., 2012).

Die notwendigen Ozondosen, die in Duisburg-Vierlinden und Bad Sassendorf zur Eliminierung notwendig waren, bewegen sich auf dem Niveau der Werte von Regensburg. Zu berücksichtigen ist, dass der DOC im Ablauf der Nachklärung in Bad Sassendorf ebenfalls auf einem niedrigen Niveau liegt.

8 Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen

8.1 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.

Im Folgenden wird dies am Beispiel des Arzneimittels Diclofenac dargestellt. Für diesen Stoff kann in der bestehenden mechanisch/biologischen Reinigungsstufe ein Eliminationsgrad von 25 % angesetzt werden (**Siegrist 2013, Bsp. Diclofenac**). In der weitergehenden Abwasserreinigung wird von einer zusätzlichen Eliminationsrate von 80 % in dieser Reinigungsstufe ausgegangen. Unter diesen Rahmenbedingungen kann bei einer Vollstrombehandlung ein Gesamtwirkungsgrad von 85 % erreicht werden. Bei einer Teilstrombehandlung von 90 % der gesamten Abwassermenge können Eliminationsarten von 79 % erzielt werden. Schematische Darstellungen dazu siehe **Bild 12** und **Bild 13**. Stellt man den Zusammenhang zwischen den Anteilen Teilstrombehandlung und Eliminationsgrad unter den oben genannten Annahmen grafisch dar, so ergibt sich der in **Bild 14** gezeigte Zusammenhang.

Beispiel Vollstrombehandlung

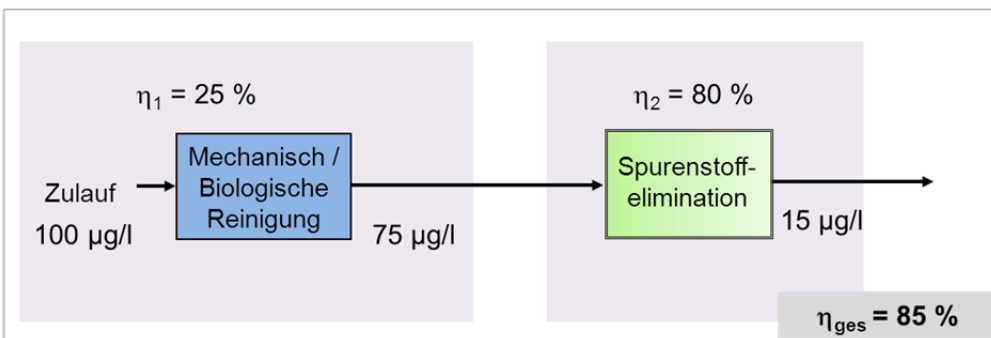


Bild 12: Wirkungsgrade bei Vollstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)

Beispiel Teilstrombehandlung

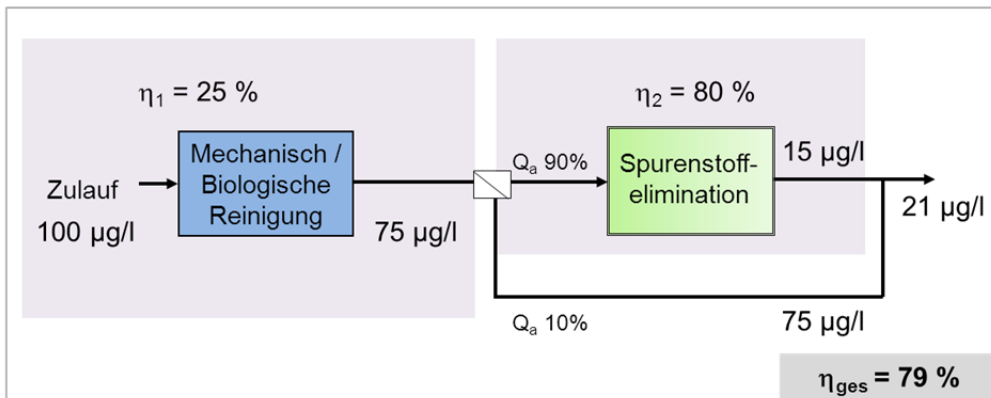


Bild 13: Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)

Die Bemessung der 4. Reinigungsstufe erfolgt auf Basis der Ablaufwerte der Kläranlage Neuenkirchen für den Zeitraum 2. Januar 2012 bis 1. Dezember 2013 (**Kapitel 3**). Für eine Vollstrombehandlung müsste auf der Kläranlage eine Kapazität zur Behandlung von 1.159 m³/h vorgehalten werden. Die Auswertung der Abwassermengen zeigt jedoch deutlich, dass bereits Abwassermengen > 600 m³/h an weniger als 172 h im Betrachtungszeitraum überschritten werden.

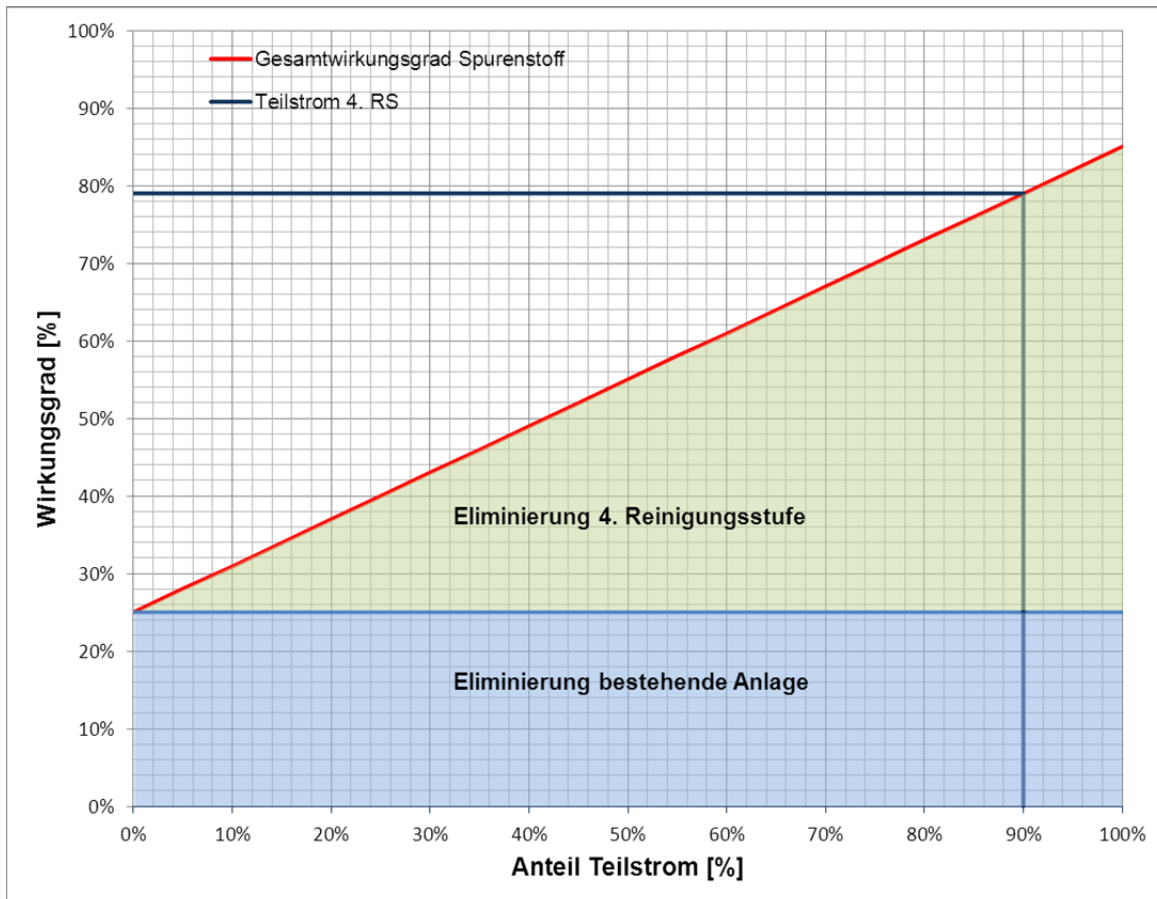


Bild 14: Beispielhaft grafische Darstellung der Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung

Bild 15 stellt die Summenhäufigkeit der einzelnen Teilstrommengen dar. Die berechnete Gesamtabwassermenge nach dieser Auswertung beträgt 1.931.310 m³/a (Vollstrom). Wenn die Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auf 310 m³/h ausgelegt wird, werden 90,7 % der gesamten Jahresabwassermenge behandelt. Dies entspricht **1.751.060 m³/a**. Unter den gewählten Ansätzen kann somit eine Elimination von 79 % erreicht werden. Die Verfahrensstufe kann so bei einer Behandlung von 90,7 % der Jahresabwassermenge im Vergleich zur Vollstrombehandlung um ca. 73 % kleiner ausgeführt werden.

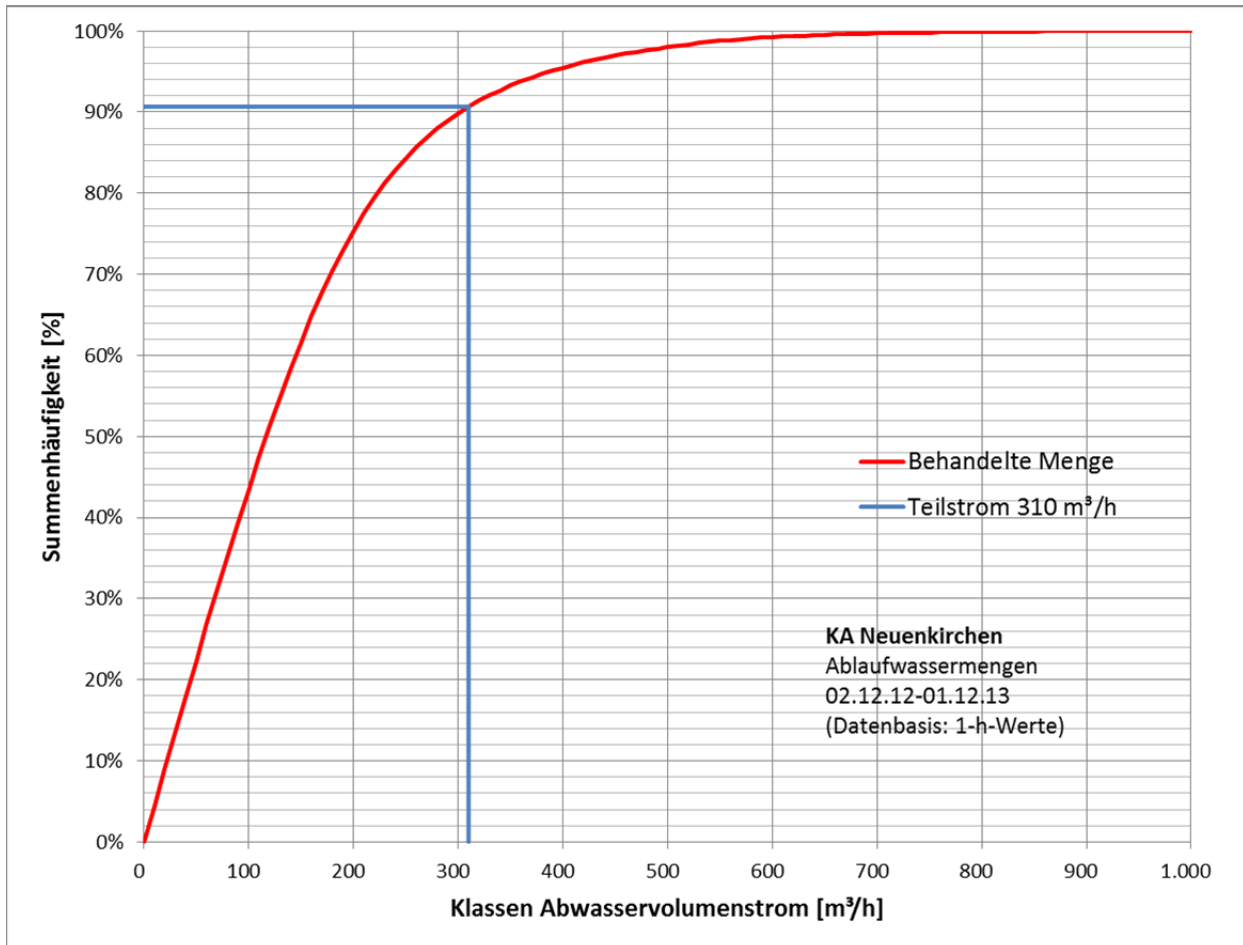


Bild 15: Summenhäufigkeit des Volumenstromes der behandelten Teilstrommenge

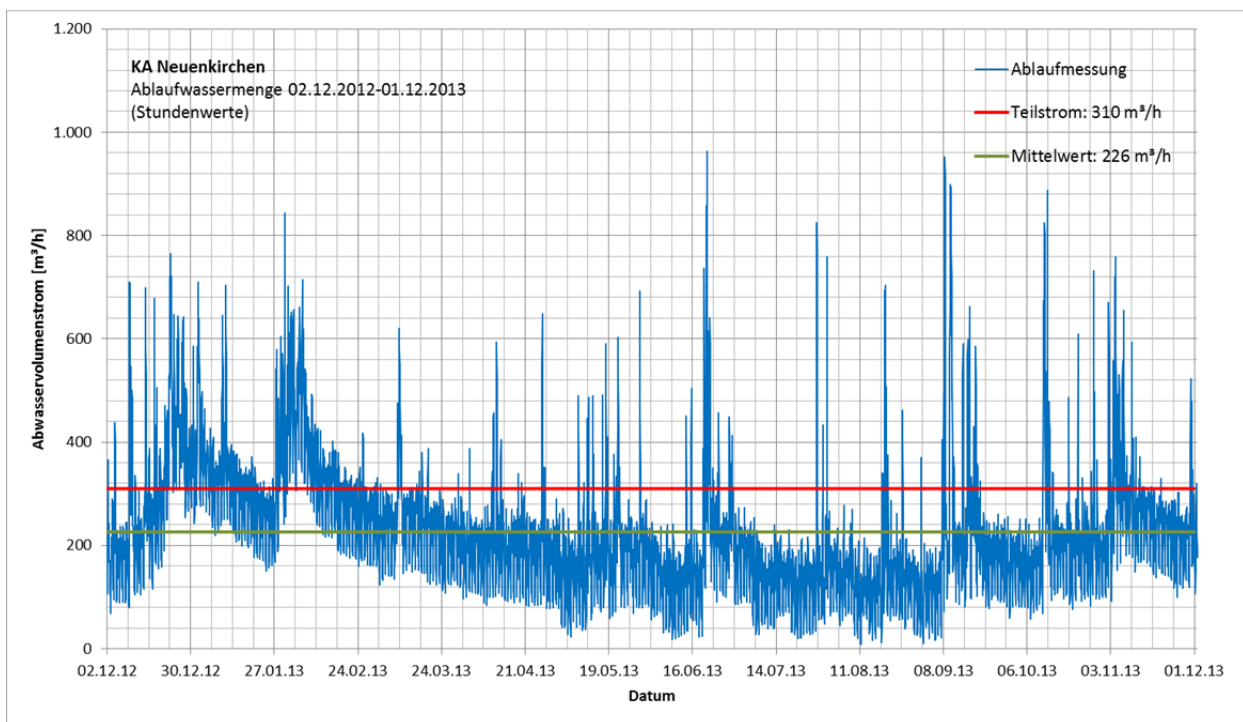


Bild 16: Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination

8.2 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 Tuchfilter.
2. **Filtration über granulierten Aktivkohle.** Ablauf der Nachklärung wird über eine GAK-Filtration geführt.
3. **Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich.** Ablauf der Nachklärung wird mit Ozon behandelt und anschließend in den vorhandenen Schönungsteich geführt.

8.3 Randbedingungen

Als Standort für die 4. Reinigungsstufe wurde der Schönungsteich II festgelegt. An dieser Stelle kann auf den Ablauf aus beiden Nachklärbecken über eine verhältnismäßig einfache Rohrleitungsführung zugegriffen werden. Schönungsteich I dient auch zur Brauchwassergewinnung. Daher sollte dieser Teich weiterhin in Betrieb bleiben. Die Zuwegung wird bei der zeichnerischen Darstellung der Varianten mitbetrachtet.



Bild 17: Baufeld in Schönungsteich II

8.4 Varianten

8.4.1 Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle

8.4.1.1 Allgemein

Dieses Verfahren wurde, wie schon im **Kapitel 7.1.2.1** beschrieben, an einigen Standorten in Baden-Württemberg umgesetzt. Für die Rückführung der Kohle ist ein Absetzbecken notwendig. Die Rücklaufkohle wird zusammen mit der Frischkohle in den Zulauf des Kontaktbeckens dem Ablauf der

Nachklärung zugegeben. In dem Absetzbecken vorgeschalteten Kontaktbecken erfolgt der eigentliche Adsorptionsvorgang. Der im Absetzbecken zurückgehaltene Kohleschlamm wird über eine Pumpe als Rücklaufkohle wieder in den Zulauf des Kontaktbeckens zurückgefördert. Entsprechend der Frischkohledosierung wird ein Teil der rückgeführten Kohle als Überschussskohle aus dem System entnommen. Besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Pulverkohle mehrfach mit dem Abwasser in Kontakt kommt, um die Beladungskapazität möglichst gut ausnützen zu können.

Für die Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen 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.

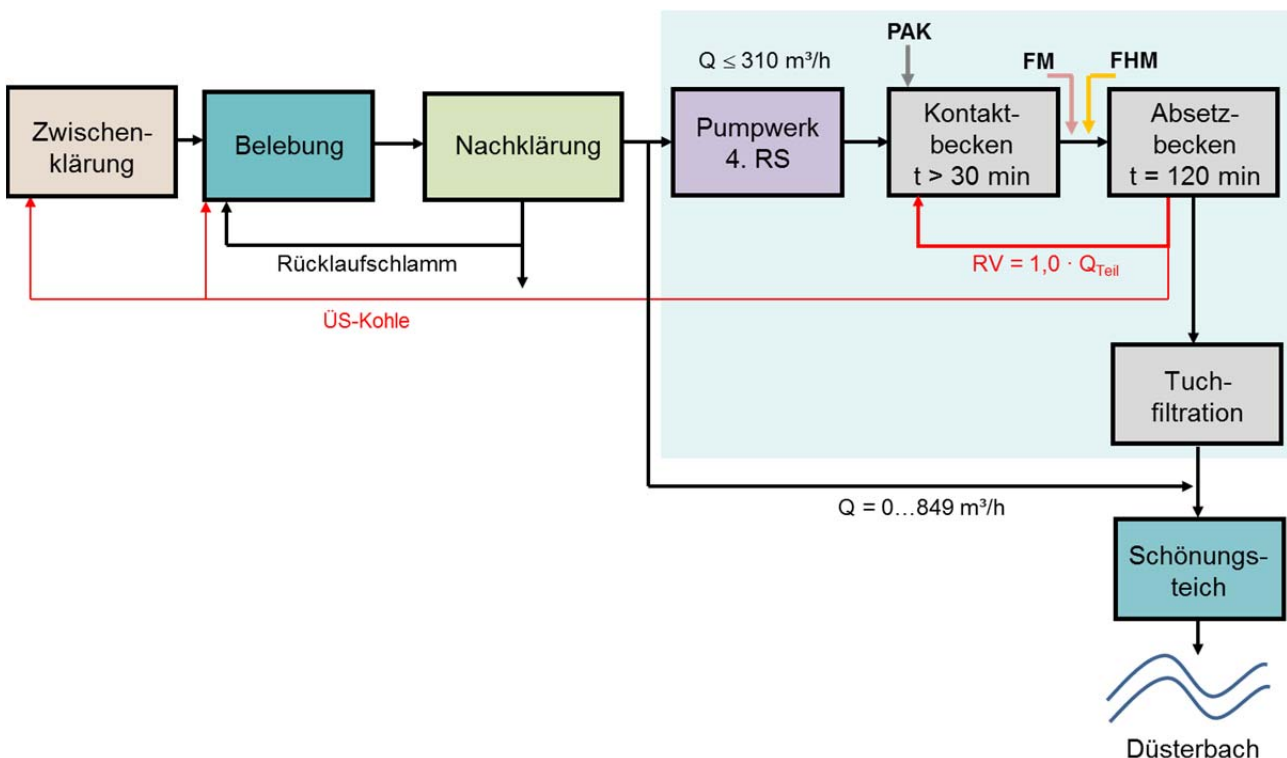


Bild 18: Blockscheema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

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 310 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.

8.4.1.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt **Blatt 1** der Planunterlagen dar. **Blatt 4** zeigt das Verfahrensschema.

Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der PAK-Stufe erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen zwei Pumpen mit einem Volumenstrom von je 155 m³/h zur Verfügung. Eine dritte Pumpe in Langzeitverpackung wird als Reserve auf Lager vorgehalten.

Der Teilstrom wird über einen Schacht aus der Zulaufleitung des Schönungsteiches I entnommen.

Kontaktbecken

Es werden zwei Kontaktbecken vorgesehen. Jedes Kontaktbecken ist als quadratisches Becken mit einer Wasserspiegelhöhe von 3,8 m ausgeführt. Bei einer Innenkantenlänge von 5 m ergibt sich ein Volumen von 95 m³ je Kontaktbecken. In der Summe liegt die Aufenthaltszeit bei maximalem Zufluss mit 36,7 min oberhalb der 30 min, die angesetzt wurden. Jedes Kontaktbecken ist mit einem Vertikalrührwerk ausgestattet.

Absetzbecken

Das rechteckige Absetzbecken ist längsdurchströmt. Die Beckenbreite beträgt 7 m und die Länge 25 m. Die Randwassertiefe liegt bei 3,6 m. Es ergibt sich ein Gesamtvolumen von 630 m³. Die Aufenthaltszeit ergibt sich damit zu 2 h. Dies entspricht den Bemessungsempfehlungen aus Baden-Württemberg.

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 Rücklaufkohleförderung wird auf ein Rückführverhältnis (RV) von 1 ausgelegt. Die Überschussskohle wird ebenfalls aus diesem Schacht entnommen und der Vor-/Zwischenklärung bzw. Belebung zur weiteren Beladung zugeführt. Der Zulauf von den Kontaktbecken zum Absetzbecken wird jeweils über ein Gerinne realisiert.

Tuchfiltration

Dem Absetzbecken wird die Tuchfiltration zur Suspensa-Restentfernung nachgeschaltet.

Es wird hier eine zweistraßige Tuchfiltration mit je 6 Scheiben à 5 m² vorgesehen. Je Straße ergibt sich eine Filterfläche von 30 m². Durch die zweistraßige Ausführung ist es möglich, eine Straße bei Wartungsarbeiten außer Betrieb zu nehmen und die 4. Reinigungsstufe noch mit vollem Durchsatz zu betreiben. Gegebenenfalls ist hier in der weiteren Planung noch eine Optimierung der Auslegung möglich, die zu geringeren Investitionskosten für die Filtrationsstufe führt.

Die Tuchfiltration wurde in Bezug auf die Abtrennung von Aktivkohle in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht. Derzeit wird auf der Kläranlage Lahr die erste Anlage im technischen Maßstab umgesetzt. Vorteile der Tuchfiltration sind der geringe Platzbedarf und die geringen Energiekosten im

Betrieb (Rückspülung und hydraulische Verluste) gegenüber Raumfiltern. Zu beachten ist, dass die Filtertücher in regelmäßigen Abständen (ca. 5 a) erneuert und jährlich einer Intensiv-Reinigung unterzogen werden müssen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Tuchfilter im Schnitt.

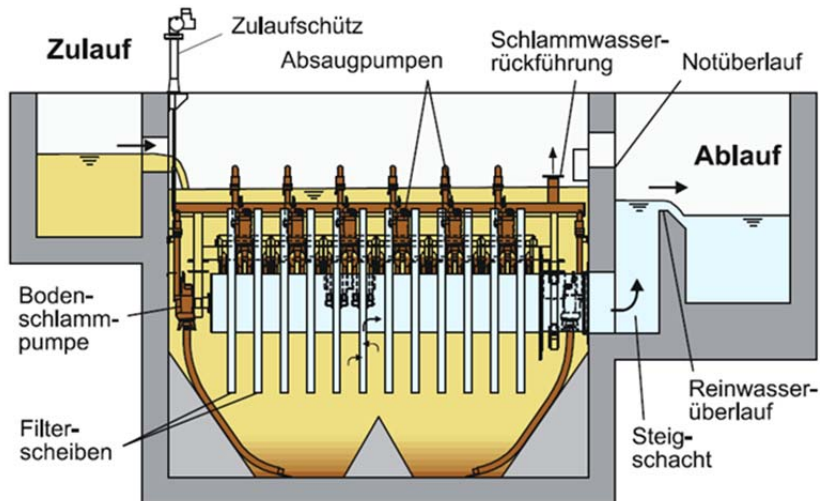


Bild 19: Schnitt eines Tuchfilters, Ausführungsbeispiel (Quelle: Mecana)

Der Ablauf der Tuchfilter kann entweder direkt in den Schönungsteich I oder über die Umlaufleitung in den Schönungsteich II bzw. den Messschacht in den Vorfluter abgegeben werden.

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.

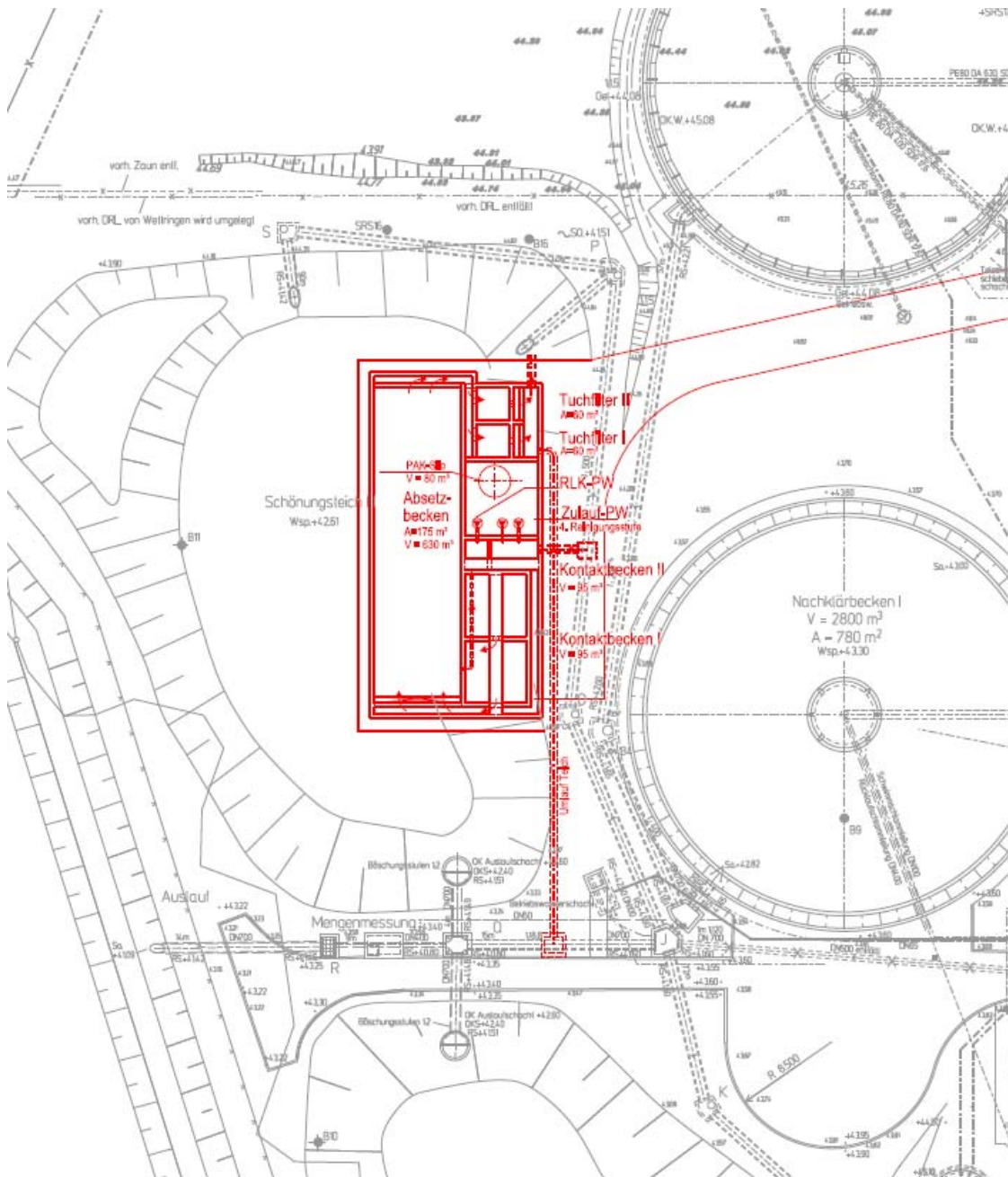


Bild 20: Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

8.4.2 Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle

8.4.2.1 Allgemeines

Der ausgewählte Teilstrom (Ablauf Nachklärung) von maximal 310 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:	64,8 m ²

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

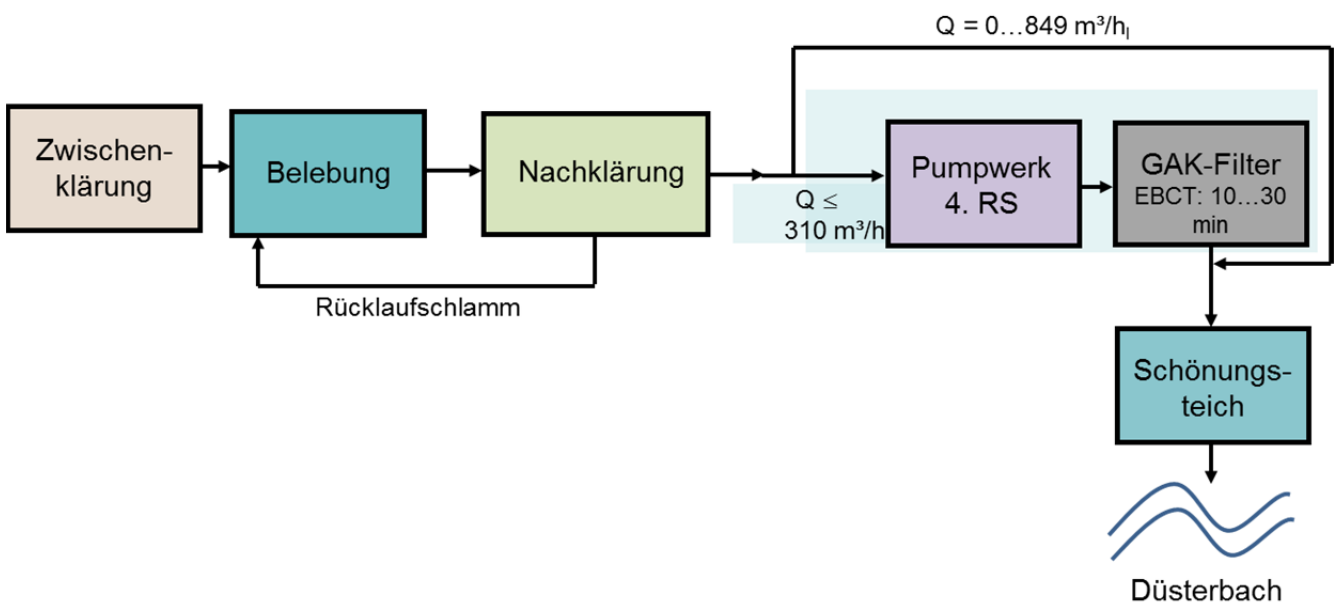


Bild 21: Systemskizze Variante 2: GAK-Filtration

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:	60...80 m/h
Spülwassergeschwindigkeit:	25...35 m/h

Die Filter werden für eine Durchlaufspülung ausgelegt. Die Spülwasserableitung erfolgt über eine Rinne.

Die Standzeit der granulierten Aktivkohle in den Filtern wird mit 8.000 Bettvolumina (BV) angesetzt. Die Wahl dieses Wertes hat großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens.

8.4.2.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt **Blatt 2** der Planunterlagen dar. **Blatt 5** zeigt das Verfahrensschema.

Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der GAK-Filtration erfolgt – wie auch bei Variante 1 – über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen zwei Pumpen mit einem Volumenstrom von je 155 m³/h zur Verfügung. Eine dritte Pumpe in Langzeitverpackung wird als Reserve auf Lager vorgehalten.

Filterblock

Der Filterblock besteht aus vier abwärtsdurchströmten offenen Filtern. Jede Filterkammer weist eine Fläche von 16,2 m² auf. Die Abmessungen einer Filterkammer liegen bei einer Breite von 2,7 m und einer Länge von 6,0 m.

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

Spülwasserspeicher

Das Filtrat der Adsorptionsstufe wird in einer Spülwasservorlage gespeichert. Der Überlauf des Spülwasserspeichers wird über eine Rohrleitung zum Ablaufschacht der Kläranlage zurückgeführt. Für die Rückspülung der Filter steht eine Rückspülpumpe zur Verfügung.

Einhausung Elektro- und Aggregate-Raum

Der Bereich oberhalb des Filtratwasserspeichers wird eingehaust, um das Spülluftgebläse sowie die Schaltanlage aufzunehmen.

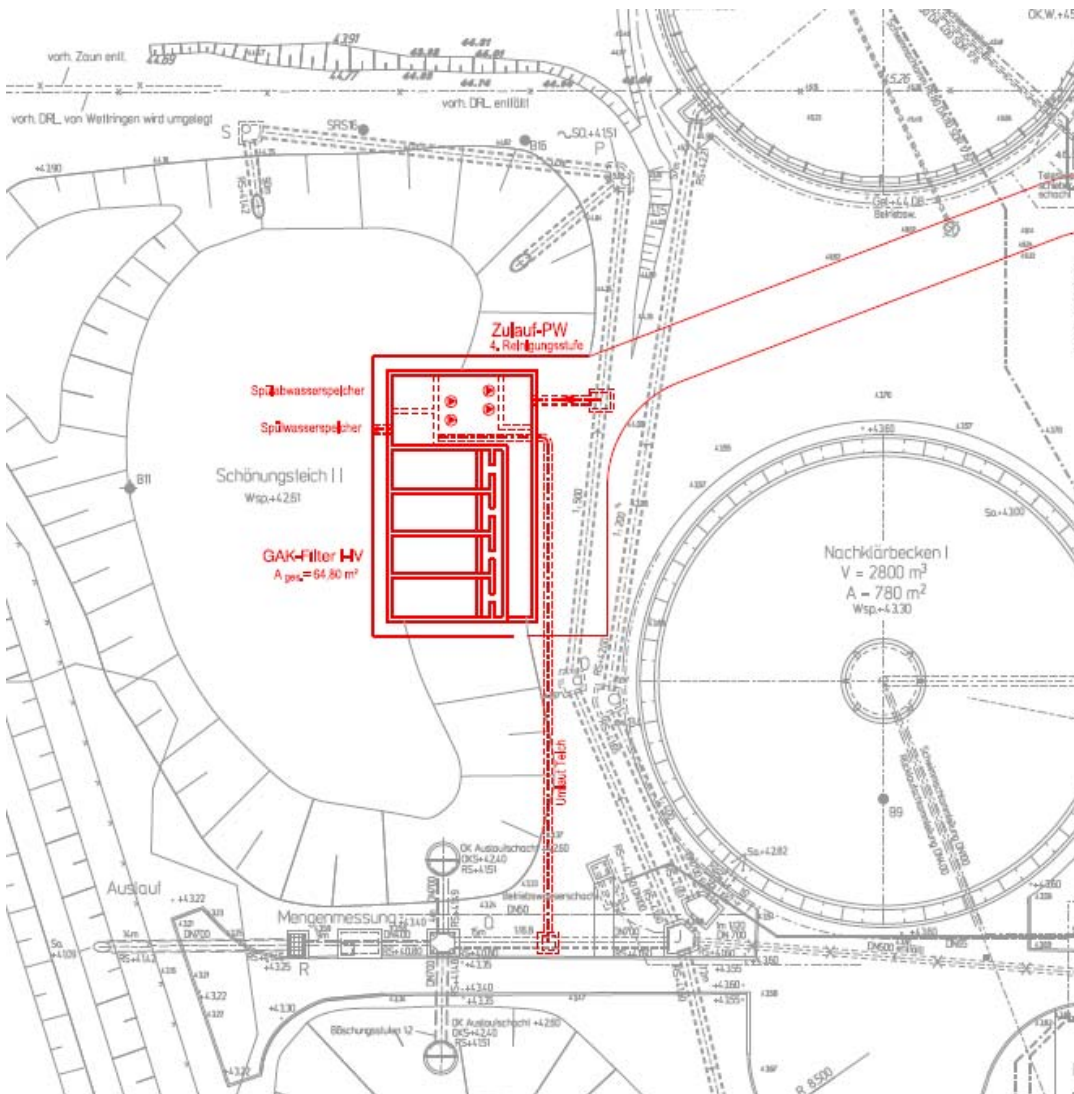


Bild 22: Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration

8.4.3 Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich

8.4.3.1 Allgemeines

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

Zu berücksichtigen ist, dass durch den Einsatz von Ozon Oxidationsprodukte gebildet werden können, die toxisch sind. Daher wird empfohlen, eine biologisch arbeitende Stufe der Ozonung nachzuschalten. Dies kann eine Filtration sein, wie Abbeglen u. a. (2009) in einem großtechnischen Versuch auf der ARA Regensdorf nachweisen konnte. In diesem Fall erfolgt der Abbau eventuell toxisch bedenklicher Stoffe im Schönungsteich auf biologischem Wege.

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

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

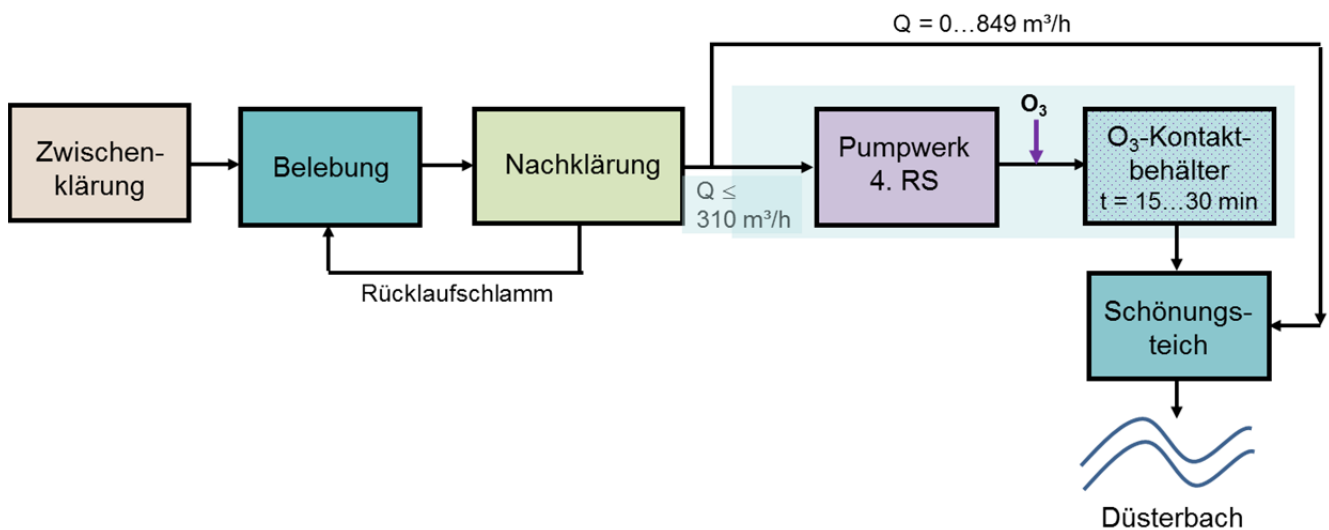


Bild 23: Blockschema Variante 3:

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Kontaktbehälter: 2 Stück

Wassertiefe Kontaktbehälter: 6 m

Es wurde eine mittlere Ozondosis angenommen von:

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

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

8.4.3.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt **Blatt 3** der Planunterlagen dar. **Blatt 6** zeigt das Verfahrensschema.

Diese Variante ist im Gegensatz zu den beiden vorstehenden Varianten nicht im Schönungsteich angeordnet. Für die Ozonung ist der Bereich zwischen den beiden Nachklärbecken ausreichend.

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 – wie auch bei den Varianten 1 und 2 – über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen zwei Pumpen mit einem Volumenstrom von je 155 m³/h zur Verfügung. Eine dritte Pumpe in Langzeitverpackung wird als Reserve auf Lager vorgehalten.

Zulaufseitig wird das Pumpwerk in die Zulaufleitung zum Teich I eingebunden.

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.

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 1.550 g/h auf. Als Prozessgas ist Flüssigsauerstoff vorgesehen. Die Kühlung erfolgt über einen Nass/Nass-Wärmeüberträger, 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.

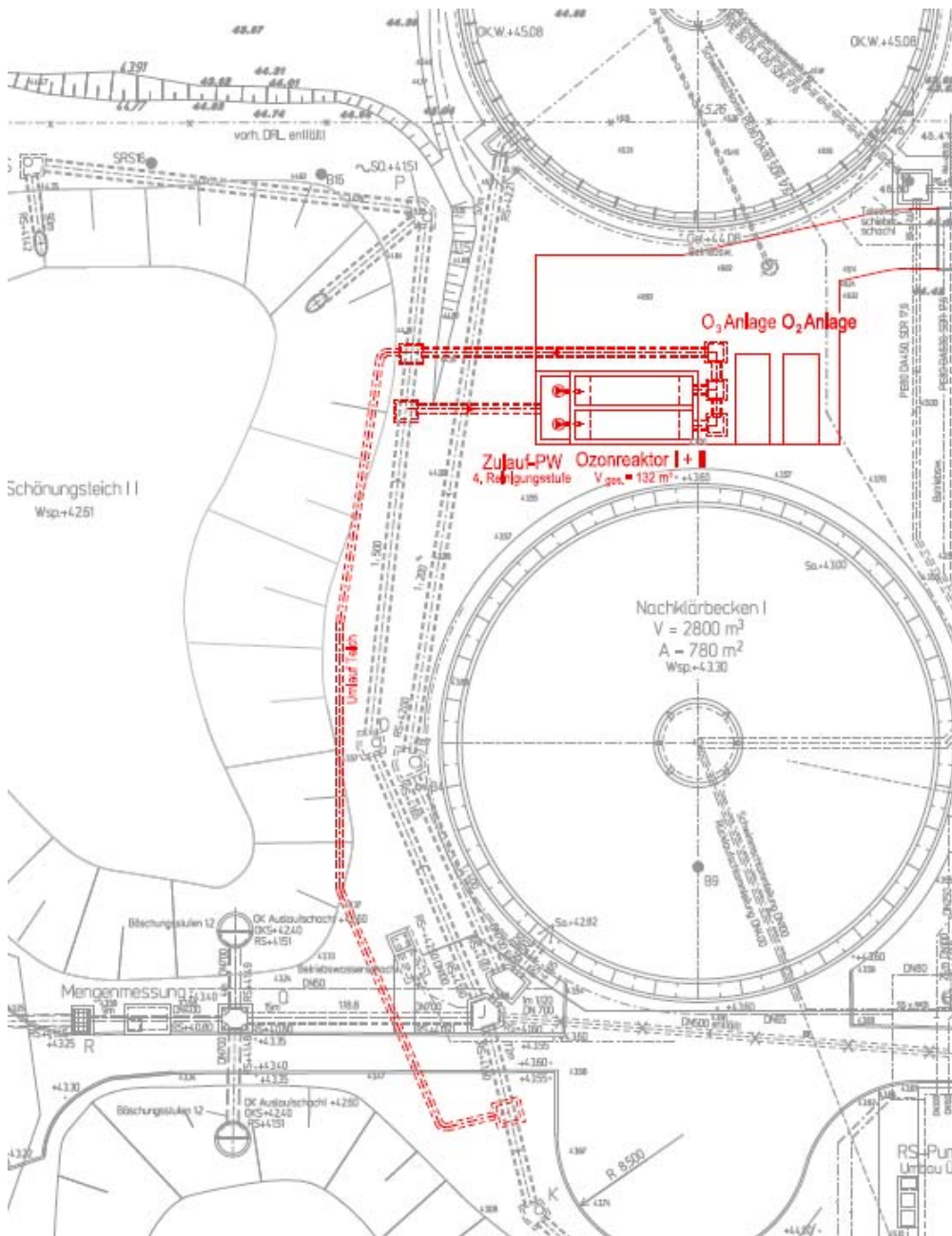


Bild 24: Lageplanausschnitt Variante 2: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich

8.5 Ergebnisübersicht Varianten

	Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonung + Schönungsteich
Anlagenkomponenten			
	<p>Kontaktbecken: $t_A = 30 \text{ min}$, $V_{\text{ges}} = 190 \text{ m}^3$</p> <p>Absetzbecken: $L = 25 \text{ m}$, $b = 7 \text{ m}$ $A_{\text{ges}} = 175 \text{ m}^2$, $V = 630 \text{ m}^3$</p> <p>Tuchfiltration (2.strassig): Je Straße: 6 Scheiben mit je 5 m^3; $A_F = 30 \text{ m}^2$ $A_{F,\text{ges}} = 60 \text{ m}^2$</p> <p>PAK-Silo: $V = 80 \text{ m}^3$</p>	<p>GAK-Filtration: 4 Filter $A = 64,8 \text{ m}^2$, $H_{\text{FB}} = 2,5 \text{ m}$, $V = 162 \text{ m}^3$</p>	<p>Flüssigsauerstoff: Tankanlage und Verdampfer</p> <p>Ozonerzeuger: 2 x 1,55 kg O_3/h</p> <p>Reaktionsbehälter: 2 Straßen, je $L = 5,5 \text{ m}$; $B = 2,0 \text{ m}$; $V_{\text{ges}} = 132 \text{ m}^3$</p>

	Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonung + Schönungsteich
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> keine Bildung von Reaktionsprodukten Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig sehr guter Suspensarückhalt im AB und durch Filtration sehr gute Reduzierung P_{ges} und CSB Mehrfachbeladung der PAK 	<ul style="list-style-type: none"> keine Bildung von Reaktionsprodukten Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig Sicherer und einfacher Betrieb Suspensarückhalt durch Filtration 	<ul style="list-style-type: none"> geringer Platzbedarf kein Eingriff in Schönungsteich I
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> höhere Schlammanfall als bei den anderen Varianten betreuungsintensiv, da Dosierung von PAK, FHM und FM Eingriff In Schönungsteich I 	<ul style="list-style-type: none"> GAK-Austausch Höherer Kohlebedarf in Vergleich zu PAK-Variante Eingriff In Schönungsteich I 	<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

9 Kosten

9.1 Allgemein

Die Wirtschaftlichkeit der drei betrachteten Varianten wird anhand der Investitions- und Betriebskostenschätzung ermittelt. Anhand der Jahreskosten werden dann die Varianten verglichen. In einer Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss einzelner Kostengruppen und der betrieblichen Einstellungen auf die Jahreskosten betrachtet. Die im Rahmen dieser Studie geschätzten Kosten können um $\pm 30\%$ von den tatsächlichen Kosten abweichen.

9.2 Investitionskosten

Anhand der Bemessungen und der Auslegung sowie der zeichnerischen Darstellung der Varianten wurden für die betrachteten Lösungen die Investitionskosten, unterteilt in die Kostengruppen Bau-, Maschinen- und E-/MSR-Technik, ermittelt. Die genaue Zusammenstellung enthält **Anlage 2**.

Grundlage der eingesetzten Preise waren aktuelle Ausschreibungsergebnisse in vergleichbaren Projekten sowie Richtpreisangebote von Herstellern.

Als Baunebenkosten wurden 20 % der Netto-Investitionssumme angesetzt.

In nachfolgender Tabelle sind die Kosten zusammengestellt:

Tabelle 2: Investitionskosten für die Varianten 1 bis 3

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozon + Teich
1	Bautechnik	EUR	844.140,00	728.810,00	504.431,50
2	Maschinentchnik	EUR	749.805,00	438.611,04	628.950,00
3	EMSR-Technik	EUR	233.000,00	264.000,00	315.000,00
Summe Herstellungskosten, netto		EUR	1.826.945,00	1.431.421,04	1.448.381,50
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	365.389,00	286.284,21	289.676,30
Summe Baukosten, netto		EUR	2.192.334,00	1.717.705,25	1.738.057,80
Mehrwertsteuer		EUR	347.119,55	271.970,00	275.192,49
Summe Baukosten, brutto		EUR	2.539.453,55	1.989.675,25	2.013.250,29
Anteil			128%	100%	101%

Am teuersten ist Variante 1. Die Varianten 2 und 3 liegen auf einem vergleichbaren Niveau.

9.3 Betriebskosten

Für die Berechnung der Betriebskosten wurden folgende Werte angenommen:

Strombezugskosten	0,187 EUR/kWh, netto
Entwässerung Schlamm	12,79 EUR/Mg Nassschlamm, netto
<i>Entwässerungsergebnis</i>	30 %
Entwässerung Schlamm	43 EUR/Mg TS, netto

Verbrennung Schlamm	54,58 EUR/Mg Nassschlamm, netto
<i>Entwässerungsergebnis</i>	30 %
Verbrennung Schlamm	182 EUR/Mg TS, netto

Weitere Werte wurden wie folgt angenommen:

Personal	40.000 EUR/(MA · a), netto
Pulveraktivkohle	1.500 EUR/Mg, netto
Flockungshilfsmittel	3.500 EUR/kg WS, netto
Sauerstoff inkl. Tankmiete	0,25 EUR/kg, netto

Die Kosten für die Aktivkohlen entstammen aus aktuellen Ausschreibungsergebnissen (PAK). Derzeit sind Preise von 1.300 EUR/Mg, netto noch gängig. Eine Steigerung des Preises für Aktivkohle wird erwartet. Daher wird für die Berechnung ein Preis von 1.500 EUR/Mg, netto angesetzt. Für alle verbrauchsgebundenen Kosten wurden die mittleren Verbrauchsmengen aus der Bemessung und Auslegung der Varianten in **Anlage 3** herangezogen.

Für die Variante 1 ist die Dosierung von Flockungs- bzw. Fällmitteln (Me-Salzen) notwendig. In der Summe ist jedoch keine zusätzliche Menge notwendig, da die Dosierung der Fällmittel von der Belebung (Simultanfällung) in die Adsorptionsstufe verlagert wird. Insgesamt ergeben sich damit keine erhöhten Kosten für den Einsatz von Me-Salzen als Fäll- und Flockungsmittel. Wie die Anlage in Sindelfingen zeigt, ist mit einem Mehranfall an Schlamm zu rechnen. Zum einen ist dies die dosierte Pulverkohle. Zum anderen ist dies Schlamm, der aus den zusätzlich gefällten Stoffen (Phosphor, CSB u. Ä.) gebildet wird. Hierfür wurde für die Betriebskostenermittlung folgender Ansatz gewählt. Der Schlamm setzt sich zu einem Drittel aus der PAK und zu 2/3 aus Organika (CSB, AFS) und Fällprodukten zusammen.

Neben den Entsorgungskosten des Schlammes fallen im Rahmen der Schlammbehandlung noch die Entwässerungskosten auf der Kläranlage an. Diese wurden mit 43 EUR/Mg TS, netto berücksichtigt. Bei Variante 1 ist in jedem Fall der Einsatz von Flockungshilfsmitteln notwendig. Es wurden spezifische Kosten von 3.500 EUR/Mg Wirkstoff angesetzt. Weitere Werte sind der Betriebskostenberechnung in **Anlage 3** zu entnehmen.

Für Wartung und Instandhaltung wurden folgende Prozentsätze der Netto-Investitionskosten angesetzt:

Bautechnik:	1,0 % der Investitionskosten/a
Maschinenteknik:	4,0 % der Investitionskosten/a
E-/MSR-Technik:	2,0 % der Investitionskosten/a

Die ermittelten Betriebskosten sind in **Tabelle 3** zusammengefasst. Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten Personal- und Wartungs-/Instandhaltungskosten. Die verbrauchsgebundenen Kosten setzen sich aus den Energie-, den Chemikalien- und den Schlamm-entwässerungs- sowie Schlamm-entsorgungskosten zusammen.

Tabelle 3: Betriebskosten für die Varianten 1 bis 3

			Variante 1	Variante 2	Variante 3
		Text	PAK m. Rücklaufk.	GAK-Filtration	Ozonung + Teich
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	75.712,32	52.135,05	59.802,78
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	62.790,48	131.073,98	67.193,15
Summe Betriebskosten, netto		EUR/a	138.502,80	183.209,03	126.995,93
Mehrwertsteuer: 19%		EUR/a	26.315,53	34.809,72	24.129,23
Summe Betriebskosten, brutto		EUR/a	164.818,33	218.018,74	151.125,15
Anteil			109%	144%	100%

Die Betriebskosten liegen für die Varianten 1 und 3 auf einem vergleichbaren Niveau von rund 151.000 bzw. 165.000 EUR/a, brutto. Die Betriebskosten für die Variante 2 (GAK) sind mit circa 218.000 EUR/a, brutto am höchsten.

9.4 Jahreskosten

Die Jahreskosten wurden anhand folgender Vorgaben berechnet:

Betrachtungszeitraum	30 a
Nutzungsdauer Bautechnik	30 a
Nutzungsdauer Maschinenteknik	15 a
Nutzungsdauer E-/MSR-Technik	10 a
Realzinssatz	3 %

Die Nutzungsdauern lehnen sich an die Vorgaben der Landesarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) an. Der nominale Zinssatz von 3 % p. a. ist seit 1986 ein Standardwert, der sich auf einer Abstimmung des Bundes und der Länder zur Beurteilung von technischen Infrastrukturmaßnahmen gründet. Er kann auf Projekte in der Siedlungswasserwirtschaft übertragen werden.

Tabelle 4: Jahreskosten und spezifische Kosten für die Varianten 1 bis 3

Pos.-Nr	Text		Variante 1	Variante 2	Variante 3
			PAK m. Rücklaufk.	GAK-Filtration	Ozonung + Teich
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	159.828,85	125.847,78	138.417,99
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	75.712,32	52.135,05	59.802,78
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	62.790,48	131.073,98	67.193,15
Summe Jahreskosten, netto		EUR/a	298.331,65	309.056,80	265.413,91
Mehrwertsteuer: 19%		EUR/a	56.683,01	58.720,79	50.428,64
Summe Jahreskosten, brutto		EUR/a	355.014,66	367.777,60	315.842,56
Anteil			112%	116%	100%

spez. Kosten, netto	EUR/m ³	0,17037	0,17650	0,15157
spez. Kosten, brutto	EUR/m³	0,20274	0,21003	0,18037

Die günstigsten Jahreskosten wurden für die Variante 3 (Ozonung + Schönungsteich) mit 316.000 EUR/a, brutto ermittelt. Die Variante 1 (PAK) liegt mit 355.000 EUR/a, brutto etwas günstiger als Variante 2 (GAK) mit rund 368.000 EUR/a, brutto.

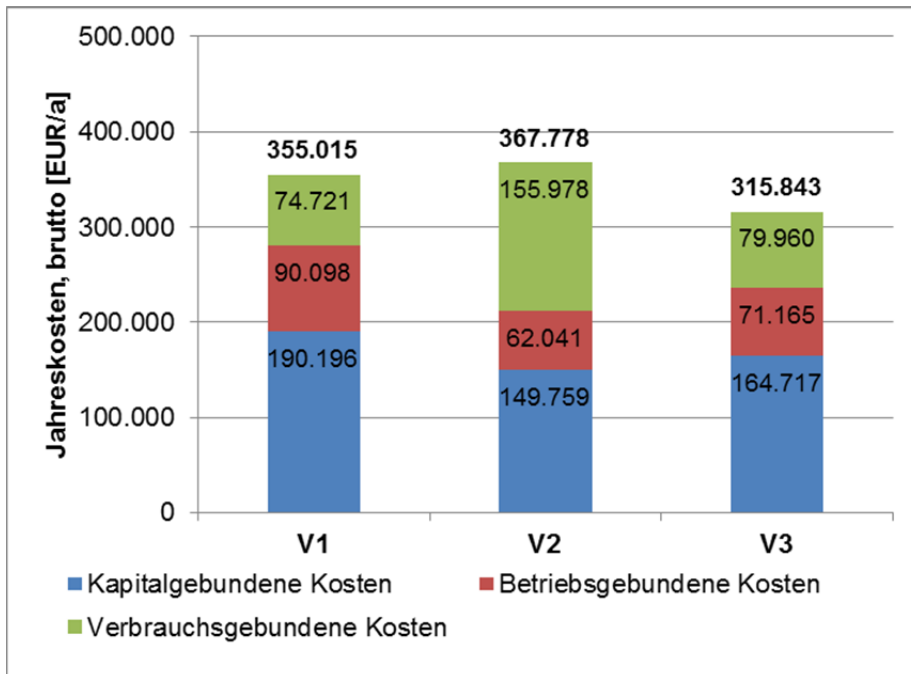


Bild 25: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten

Aus der im **Bild 25** dargestellten Aufteilung der Jahreskosten ist erkennbar, dass Variante 1 den höchsten Anteil an kapitalgebundenen Kosten aufweist.

9.5 Sensitivitätsanalyse

Die Einflüsse von geänderten Verbrauchsmengen und deren spezifischen Kosten auf die Betriebs- und damit Jahreskosten wurden untersucht. Hierbei sind die entscheidenden Parameter herauszuarbeiten und zu bewerten. Folgende Punkte werden betrachtet:

- Steigerung der Energiekosten (elektrisch) um 20 % auf 0,224 EUR/kWh, netto (0,267 EUR/kWh, brutto),
- Steigerung Bezugskosten für Aktivkohle (PAK) und Flüssigsauerstoff um 10 %,
- Reduzierung Dosierung Pulverkohle und Ozon um 20 %.

In **Tabelle 5** sind die prozentualen Steigerungen bzw. Reduzierungen der Jahreskosten dargestellt. Rot bedeutet eine hohe und Gelb eine mittlere Sensitivität, während Grün auf eine niedrige Sensitivität hindeutet. Die Steigerung des Bezugspreises für elektrische Energie um 20 % führt auch bei der energieintensiven Variante 3 (Ozonung) zu einer Steigerung der Jahreskosten von rund 2,9 % bzw. 9.440 EUR/a, brutto. Bei der GAK-Filtration ist die Kostensteigerung mit 3.738 EUR/a, brutto am geringsten; dies entspricht einer Steigerung von 1,0 %.

Die Steigerung der Bezugskosten um 10 % für die Aktivkohle und den Flüssigsauerstoff steigert die Jahreskosten bei den Varianten 1 und 3 um 3.150 EUR/a, brutto bzw. 3.450 EUR/a, brutto. Die Preissteigerung hat bei Variante 2 mit rund 14.000 EUR/a, brutto den größten Einfluss. Bei den Jahreskosten ergeben sich so Steigerungen von 0,9 % bei Variante 1 (PAK) und 1,1 % bei Variante 3 (Ozonung + Schönungsteich) sowie 3,7 % bei Variante 2 (GAK).

Die Reduzierung der Dosiermengen um etwa 20 % hat große Einflüsse auf die Jahreskosten. Bei Variante 1 (PAK) würden durch die Reduzierung der Aktivkohlemenge die Betriebskosten um ca. 8.830 EUR/a, brutto (-2,6 %) sinken. Bei der Variante 3 (Ozonung + Schönungsteich) würde sich eine Einsparung von rund 11.500 EUR/a, brutto (-3,8 %) ergeben. Bei der GAK-Filtration sind die Reduzierungen mit 21.200 EUR/a, brutto (-6,1 %) am größten.

Zu beachten ist, dass die genauen Einsatzmengen nicht exakt vorausgesagt werden können. Sie sind abhängig vom Reinigungsziel, aber auch beispielsweise von den CSB- und Suspensa-Gehalten im Ablauf der Nachklärung. Insbesondere bei den Ozon-Varianten können Reduzierungen der Dosierungen erwartet werden.

Tabelle 5: Prozentuale Veränderungen der Jahreskosten bei Variation der Energie- und Bezugskosten (Aktivkohle, Sauerstoff) sowie Einsatzmenge

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
	PAK m. Rücklaufk.	GAK-Filtration	Ozonung + Schönungsteich
Energiekosten (+20%)	1,574%	1,006%	2,904%
Bezugskosten (+10%)	0,880%	3,683%	1,079%
Einsatzmenge (-20%)	-2,553%	-6,138%	-3,783%

10 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 6: Bewertungsmatrix für die Varianten 1 bis 3

Kriterium	Wichtung	Wertung					
		Variante 1		Variante 2		Variante 3	
		PAK m. Rücklaufk. Punkte	gewichtet	GAK-Filtration Punkte	gewichtet	Ozonung + Teich Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,40	4	1,6	4	1,6	5	2
Reinigungsleistung P_{ges}/CSB (zusätz. Reduk.)	0,22	5	1,1	4	0,88	3	0,66
Bildung Nebenprodukte	0,04	5	0,2	5	0,2	3	0,12
Erfahrungen/Referenzen	0,14	5	0,7	4	0,56	5	0,7
Betriebssicherheit	0,08	4	0,32	5	0,4	4	0,32
Sensitivität Kostensteigerungen	0,08	4	0,32	2	0,16	3	0,24
CO₂-Bilanz	0,04	4	0,16	4	0,16	4	0,16
Summe	1,00	31	4,40	28	3,96	27	4,20

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

Die **Jahreskosten** werden mit einer Wichtung von 40 % eingestuft. Wie schon im **Kapitel 9.4** dargestellt, sind die Jahreskosten bei Variante 3 (Ozonung + Schönungsteich) am geringsten. Die Aktivkohlevarianten 1 (PAK) und 2 (GAK) liegen auf einem vergleichbaren Niveau. Die Variante 3 bekommt aufgrund der geringen Kosten fünf Punkte und die Varianten 1 und 2 jeweils 4 Punkte.

Die **Reinigungsleistung P_{ges}** und **CSB** wurde mit 22 % gewichtet. Sehr gute Ergebnisse hat die Variante 1 (PAK mit RLK) in Sindelfingen für P_{ges} und CSB erzielt. Dies wird mit fünf Punkten bewertet. Bei der Ozonung (Variante 3) sind nur geringe zusätzliche Effekte zu erwarten; daher werden hier drei Punkte vergeben. Bei der GAK-Filtration (V2) ist eine zusätzliche Wirkung auf den CSB zu erwarten (vornehmlich Filtration). Dies wird mit vier Punkten eingestuft.

Die **Bildung von Nebenprodukten** ist beim Einsatz von oxidativen Verfahren wie dem Ozon gegeben. In Versuchen wurde die Bildung bestätigt. Durch eine nachgeschaltete biologische Stufe können diese Produkte wieder abgebaut werden. Hinsichtlich dieser Thematik existiert derzeit noch Forschungsbedarf. Die Ozonvariante (V3) erhält daher hier drei Punkte. Die Aktivkohlevarianten, bei denen keine Abbauprodukte entstehen können, werden mit 5 Punkten bewertet.

Für die vorgestellten Varianten ist die Situation hinsichtlich **Erfahrungen und Referenzen** unterschiedlich. Für die Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle), die bislang in Baden-Württemberg bevorzugt umgesetzt wurde, liegen derzeit schon sehr gute Erfahrungen vor. Derzeit sind Anlagen bis 1.000 l/s in Betrieb. Größere sind in Planung. Daher werden hier fünf Punkte vergeben. Auch für die Ozonung liegen schon einige Erfahrungen aus Referenzanlagen vor (z. B. Duisburg-Vierlinden, Bad Sassen-dorf und Neugut). Die GAK-Filtration wird auch im großtechnischen Maßstab schon untersucht, jedoch ist die Referenzlage geringer als bei den anderen Verfahren einzustufen. Daher werden hier nur vier Punkte vergeben.

Beim Punkt **Betriebssicherheit** wird das Verhalten des Verfahrens beim Ausfall eines Aggregates bewertet, auch inwieweit durch redundante Anlagenteile ein Weiterbetrieb und die Einhaltung der Reinigungsziele möglich sind. Die Auswirkungen auf weitere Anlagenteile werden in die Beurteilung einbezogen. Aufgrund der verschiedenen Aggregate und Pumpen, die für die Dosierung von PAK, Me-Salzen und Flockungshilfsmittel sowie die Rücklaufkohleförderungen erforderlich sind, wird die Betriebssicherheit mit vier Punkten bewertet. Die Variante 3 (Ozonung) wird ebenfalls mit vier Punk-

ten bewertet. Die GAK-Filtration erhält fünf Punkte, da hier keine Dosierungen erfolgen, sondern das Wasser über die Kohle in den Festbetten geführt wird.

Die **Sensitivität** gegenüber **Kostensteigerungen** bei den Betriebsmitteln ist über die Laufzeit der Anlage zu betrachten, wie schon im **Kapitel 9.5** dargestellt. Hier zeigt die Variante 1 (PAK mit Rückführung) die geringsten Einflüsse auf Kostensteigerungen. Sie wird daher mit 4 Punkten bewertet. Die Variante 3 (Ozon) folgt und erhält 3 Punkte. Die Variante 2 (GAK) reagiert am empfindlichsten auf Kostensteigerungen. Deshalb werden hier zwei Punkte vergeben.

In letzter Zeit ist die **Nachhaltigkeit (CO₂-Emissionen)** von Verfahren gerade auch bei der 4. Reinigungsstufe immer stärker in den Fokus gerückt. Die Bewertung ist derzeit noch schwierig, da entsprechend weitreichende Untersuchungen noch nicht abgeschlossen sind. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann noch keine eindeutige Bewertung abgegeben werden (Palmowski u. a. 2011). Vor diesem Hintergrund werden alle Verfahren mit vier Punkten bewertet.

In der **Summe** schneidet Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) mit 4,40 Punkten am besten ab. Gefolgt von Variante 3 (Ozonung + Schönungsteich) mit 4,20 Punkten. Die Variante (GAK-Filtration) hat mit 3,96 Punkten die niedrigste Bewertung.

11 Zusammenfassung

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

Im Rahmen der Studie zur Ertüchtigung und Erweiterung der Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen 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: Filtration über granulierten Aktivkohle,

Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich.

Die ausgewählten Varianten wurden auf ihre Umsetzbarkeit geprüft und zeichnerisch in Lageplanausschnitten sowie in RI-Fließbildern 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 4,40 Punkten; die Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich (Variante 3) kommt auf den zweiten Platz, mit 4,20 Punkten. Die Variante 2 (GAK-Filtration) liegt mit 3,96 Punkten auf dem dritten Platz.

Bei den Jahreskosten liegt Variante 3 (Ozonung + Schönungsteich) mit 316.000 EUR/a, brutto vorn. Aufgrund der geringen verbrauchsgebundenen Kosten folgt Variante 1 (PAK mit RLK) mit 355.000 EUR/a, brutto. Die Variante 2 (GAK) liegt mit 368.000 EUR/a, brutto auf dem dritten Platz.

Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) lag in der Bewertungsmatrix auf dem ersten Rang. Sie stellt das derzeit gängigste Verfahren zur Spurenstoffelimination dar (in Baden-Württemberg zurzeit 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 GAK-Filtration (Variante 2) erreicht den dritten Rang. Für dieses Verfahren spricht die hohe Betriebssicherheit. Hinsichtlich der Jahreskosten ist es vergleichbar mit Variante 1. Bedingt durch die hohen Verbrauchskosten (Aktivkohle) reagiert dieses Verfahren sensitiv auf Kostensteigerungen bei der Aktivkohle sowie auf Veränderungen bei der Filterstandzeit.

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.

Die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH empfiehlt, Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) und Variante 3 (Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich) für weitere Untersuchungen auf der Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen 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: Er-tüchtigung 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.; Keysers, 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.: Abwasserozonierung 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 Grundstoff-industrie, 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 Mikro-schadstoffen – 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.

Anlagen

**Anlage 1:
Auslegung
Varianten 1 bis 3**

Gemeinde Neuenkirchen Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer 0460 067
Variante: Eingangsdaten

Auslegungsdaten Hydraulik

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>				
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q _t	175 l/s		
		630 m ³ /h		
Maximaler Wasserzufluss	Q _m	322 l/s		
		1.159 m ³ /h		
<i>Teilstrombehandlung 4. Reinigungsstufe</i>				
Min. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q _{Teil,min}	30 m ³ /h		Daten 2012-2013
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q _{Teil,max}	310 m ³ /h		Festlegung Projektteam
		86 l/s		
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q _{Teil,a}	1.751.060 m ³ /a		Auswert. Daten 12-13
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q _{Teil,d}	4.797 m ³ /d		

Eingabefelder

Berechnungsfelder

Gemeinde Neuenkirchen Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer 0460 067
Variante: 1
PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung

Auslegungsdaten Hydraulik

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>			
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q _t	175,00 l/s	630 m ³ /h
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q _m	322,00 l/s	1.159 m ³ /h
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>			
Min. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q _{Teil,min}	30 m ³ /h	
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q _{Teil,max}	310 m ³ /h	
		86 l/s	
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q _{Teil,a}	1.751.060 m ³ /a	
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q _{Teil,d}	4.797 m ³ /d	

Auswert. Daten 2010-13

Auslegung Zwischenhebewerk

<i>Vorgaben</i>			
Volumenstrom, gesamt	Q _{Teil,max}	310 m ³ /h	
Anzahl Straßen	n _{Str}	1	
Volumenstrom, je Straße	Q _{Teil,max,Str}	310 m ³ /h	
Förderhöhe, abgeschätzt, zusätzlich	h _{gesch}	3,2 m	
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m ³ ·m)	
<i>Bemessung</i>			
Energiebedarf		39.224 kWh/a	

Regelung Pumpen über FU

Auslegung Kontaktbecken

<i>Vorgaben</i>			
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t _{a,min}	30 min	
<i>Bemessung</i>			
erforderliches Gesamtvolumen KB	V _{KB,erf,ges}	155 m ³	
Anzahl Becken	n _{KB,ist}	2	
Kantenlänge Becken	l _{KB,ist}	5,00 m	
Höhe Wasserspiegel	h _{WS,KB,ist}	3,80 m	
Volumen eines KB	V _{KB,ist,n}	95 m ³	
Gesamtvolumen KB	V _{KB,ist,ges}	190 m ³	
<i>Nachweise bezogen auf Q_{Teil,max}</i>			
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t _{a,ist}	36,77 min	

Gemeinde Neuenkirchen Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer 0460 067
Variante: 1
PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung

Auslegung Rührwerk Kontaktbecken

<i>Vorgaben</i>		
Energieeintrag		8,00 W/m ³
Anzahl Rührwerke, insgesamt	n_RW	2
Laufzeit, anteilig		24 h/d
<i>Bemessung</i>		
Leistungsbedarf	P_RW,KB	1,52 kW
Energiebedarf Rührwerke		73 kWh/d 26.630 kWh/a

Auslegung Absetzbecken

siehe gesondertes Blatt

Auslegung Rücklaufkohlepumpwerk

<i>Vorgaben</i>		
Rückführverhältnis	RV	1,00
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch	0,8 m
spez. Energiebedarf		8 Wh/(m ³ ·m)
<i>Bemessung</i>		
Volumenstrom Rücklaufkohle	Q_RLK	310 m ³ /h
Energiebedarf		11.207 kWh/a

Regelung Pumpwerk über FU

Auslegung Überschussskohleentnahme

<i>Vorgaben</i>		
TS-Gehalt Schlamm		8,00 kg/m ³
Tagesschlammmenge	V_ÜS	19,91 m ³ /d
angenommene Laufzeit		5,00 h/d
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch	1,00 m
spez. Energiebedarf		8 Wh/(m ³ ·m)
<i>Bemessung</i>		
berechnete Fördermenge	Q_ber	3,98 m ³ /h
Gewählte Fördermenge	Q_gew	4,00 m ³ /h
Energiebedarf		581 kWh/a

Kreiselpumpe, gehärtetes Laufzeug

Steuerung über Zeit-Pausen-Schaltung

Gemeinde Neuenkirchen Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Projekt: **Studie 4. Reinigungsstufe**
Projektnummer **0460 067**
Variante: **1**
PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung

Pulverkohledosierung

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosierkonzentration	c_PAK,min	5,0 g/m ³
max. Dosierkonzentration	c_PAK,max	20,0 g/m ³
max. Dosierung		6,2 kg/h
<i>gewählte Dosiersysteme</i>		
1 Dosiergerät, (Ger. 1)	m_PAK,Dos,Ger_1	6,2 kg/h
1 Dosiergerät, (Ger. 2)	m_PAK,Dos,Ger_2	0,0 kg/h
Regelbereich je Dosiergerät		1/10
min. c_PAK bei Q_Str,min (Ger. 1)		21 g/m ³
max. c_PAK bei Q_Str,max (Ger. 1)		20 g/m ³
min c_PAK bei Q_Str,min (Ger. 2)		0 g/m ³
max c_PAK bei Q_Str,max (Ger. 2)		0 g/m ³
<i>PAK-Bedarf</i>		
mittlere PAK-Dosierkonzentration im Jahr	c_PAK,a	10,0 g/m ³
Tagesbedarf	m_PAK,d	48 kg/d
Jahresbedarf	m_PAK,a	18 Mg/a
<i>PAK-Silo</i>		
gewähltes Silo-Volumen	V_Silo	50 m ³
Nutzvolumen	V_Silo,Nutz	17 m ³
Lagerungsdichte PAK	rho_B,PAK	400 kg/m ³
Masse PAK, nutzbar	m_PAK,nutz	7 Mg
Intervall Nachfüllung Silo		0,4 a 142 d

Pumpen Treibwasser für PAK-Dosierung

<i>Vorgaben</i>		
Anzahl Dosiergeräte mit Treibstahlpumpen	n_DG	1
Volumenstrom je Dosiergerät	Q_Treib,DG	5 m ³ /h
Volumenstrom Treibwasser, gesamt	Q_Treib,ges	5 m ³ /h
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	55 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m ³ ·m)
Laufzeit, anteilig		24 h/d
Energiebedarf		16.863 kWh/a

Gemeinde Neuenkirchen Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer 0460 067
Variante: 1
PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung

Flockungsmitteldosierung (Me-Salze), gewählt: Fe(III)-Chlorid

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosierkonzentration	c_Me,min	2,0 g/m ³
max. Dosierkonzentration	c_Me,max	8,0 g/m ³
mittlere Dosierkonzentration im Jahr	c_Me,a	4,0 g/m ³
WS-Gehalt im FM		0,138 kg Fe/kg FM
<i>FM-Bedarf</i>		
Tagesbedarf	m_FM,d	139 kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	51 Mg/a
Jahresbedarf (Wirksubstanz: Me)	m_FM,Me,a	7,0 Mg Me/a
<i>FM-Silo</i>		
gewähltes Volumen	V_Tank,FM	25 m ³
Nutzvolumen	V_Tank,Nutz	20 m ³
Dichte FM	rho_FM	1.430 kg/m ³

Flockungshilfsmitteldosierung

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosierkonzentration	c_Me,min	0,1 g/m ³
max. Dosierkonzentration	c_Me,max	0,3 g/m ³
mittlere Dosierkonzentration im Jahr	c_Me,a	0,2 g/m ³
WS-Gehalt im FHM-Granulat		1,000 kg WS/kg Gr.
<i>FHM-Bedarf</i>		
Tagesbedarf	m_FM,d	1,0 kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	0,35 Mg/a

Gemeinde Neuenkirchen Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer 0460 067
Variante: 1
PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung

Auslegung Tuchfiltration

Vorgaben		
Filtergeschwindigkeit, maximal	v_F,max	8 m/h
Feststoffflächenbelastung	BA,max	0,250 kg/(m ² ·h)
max. xTS-Konzentration im Zulauf	xTS,max,zu	35 mg/l
Bemessung		
erforderliche Filterfläche, gesamt nach V_F,max	A_F,erf,ges,vF	39 m ³
erforderliche Filterfläche, gesamt nach BA,max	A_F,erf,ges,BA	43 m ³
Anzahl Filterstraßen	n_Filt,ist	2
<i>gewählter Filtertyp (Beispielfabrikat)</i>		
Anzahl Scheiben je Filter	n_Scheiben	6
Filterfläche je Filter	A_F,ist,Str	30 m ²
Filterfläche, gesamt	A_F,ist,ges	60 m ²
Nachweise bezogen auf Q_Teil,max		
Filtergeschwindigkeit, maximal	v_F,ist,max	5,17 m/h
Feststoffflächenbelastung, maximal	BA,ist,max	0,181 kg/(m ² ·h)
Spülwasseranfall und -förderung		
spez. Spülwasseranfall bezogen auf Filtratmenge		2%
Schlammwasseranfall pro Tag	V_Schlammwas,d	96 m ³ /d
Schlammwasseranfall pro Jahr	V_Schlammwas,a	35.021 m ³ /a
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	10 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m ³ ·m)
Energiebedarf		7 kWh/d
		2.451 kWh/a

Optimierung Rückspülregime in weiterer Planung und Betrieb

Eingabefelder

Berechnungsfelder

**Gemeinde Neuenkirchen
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer: 0460 067
Variante: 1
**PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung
 Bemessung Absetzbecken**

Beckentyp		Rechteckbecken
Schlammräumung (Schildräumung/Saugräumung)		Schildräumung
Durchströmung (vertikal/horizontal)		horizontal
Anzahl der Becken	n	1 Stück
wirksame Beckenlänge	l	25,00 m
Beckenbreite	b	7,00 m
Oberfläche	A	175 m ²
Mind. Randbeckentiefe	$h_{\text{Rand,min}}$	3,00 m
Beckenrandtiefe	$h_{\text{Rand,ist}}$	3,60 m
Beckenvolumen	V_{Sed}	630 m ³

Festlegung der Bemessungsdaten

Max. Zulauf je Becken	Q_{max}	310 m ³ /h
		86 l/s
Rücklaufverhältnis	RV	1,00
Min. Aufenthaltszeit Sedimentation	$t_{\text{v,Sed}}$, min	2,00 h
max. Oberflächenbeschickung	$q_{\text{a,max}}$	1,8 m/h
Schlammvolumen	ISV	100,0 ml/g
TS-Gehalt im Kontaktbecken	TS	4,0 g/l

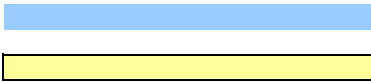
Diss. Metzger

Nachweis Flächenbeschickung und Aufenthaltszeit

Flächenbeschickung	q_A	$Q_{\text{max}}/A =$	1,8 m/h
Aufenthaltszeit	$t_{\text{v,sed}}$	$V_{\text{Sed}}/Q_{\text{max}} =$	2,03 h

Bedingung erfüllt
 Bedingung erfüllt

Legende



Eingabewerte
 Geänderte Eingabewerte
 Rechenwerte
 Hinweis, z.B. bei nicht erbrachtem Nachweis

Gemeinde Neuenkirchen Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer 0460 067
Variante: 2
GAK-Filtration

Auslegungsdaten Hydraulik

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>			
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q _t	175,00 l/s 630 m ³ /h	
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q _m	322,00 l/s 1.159 m ³ /h	
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>			
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q _{Teil,max}	310 m ³ /h 86 l/s	
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q _{Teil,a}	1.751.060 m ³ /a	
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q _{Teil,d}	4.797 m ³ /d	

Auswert. Daten 2012-13

Auslegung Zwischenhebewerk mit Durchflussmessung

<i>Vorgaben</i>			
Volumenstrom	m ³ /h	310 m/h	
Förderhöhe, abgeschätzt	h _{gesch}	5,5 m	
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m ³ ·m)	
<i>Bemessung</i>			
Energiebedarf pro Jahr		67.416 kWh/a	

Regelung Pumpe über FU

Gemeinde Neuenkirchen Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer 0460 067
Variante: 2
GAK-Filtration

Auslegung GAK-Filter

<i>Vorgaben</i>			
Leerbettkontaktzeit (Bereich)	EBCT	10...30 min	DVGW W 239 (A)
Leerbettkontaktzeit, gewählt	EBCT, gew	30 min	
Filtergeschwindigkeit (Bereich)	v_F	5...20 m/h	DVGW W 239 (A)
Filtergeschwindigkeit, gewählt	v_F,gew	5,00 m/h	
Filterbetthöhe GAK (Bereich)		1,5...3,0 m	DVGW W 239 (A)
Filterbetthöhe GAK, gewählt	h_GAK,gew	2,50 m	
Gesamthöhe Filteraufbau	h_Filter,ges	2,80 m	
Anzahl Filter	n_Filter	4	
Schüttdichte GAK	rho_Schütt	400 kg/m ³	
<i>Bemessung Filter</i>			
erforderliches Leerbettvol., ber. über EBCTgew	V_GAK	155 m ³	
erforderliche Filterfläche, ber. über EBCTgew	A_Filter,erf	62,00 m ²	
Fläche Filter, berechnet	A_Filter,erf,n	15,50 m ²	
Länge Filter, gewählt	l_Filter,gew	6,00 m	
Breite Filter, gewählt	b_Filter,gew	2,70 m	
Filterfläche, gewählt je Filter	A_Filter,gew	16,20 m ²	
Filterfläche, gewählt, gesamt	A_Filter,ges	64,80 m ²	
Leerbettvolumen, gewählt, gesamt	V_GAK,ges	162,00 m ³	
Masse GAK, gesamt	M_GAK,ges	64,80 Mg	
<i>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</i>			
Filtergeschwindigkeit	v_F,ist	4,78 m/h	
Filtergeschwindigkeit, bei (n-1) Filter	v_F,ist,n-1	6,38 m/h	
tatsächliche Kontaktzeit im Filterbett	EBCT, ist	31,35 min	
Kontaktzeit bei (n-1) Filter	EBCT,ist,n-1	23,52 min	

Auslegung Spülwasserpumpe

<i>Vorgaben</i>			
Spülgeschwindigkeit (Bereich)	v_Spül,W	25...35 m/h	Sontheimer u.a., 1985
Spülgeschwindigkeit gewählt	v_Spül_W,gew	30 m/h	
<i>Bemessung</i>			
Volumenstrom Spülwasser	Q_Spül,W	486 m ³ /h	
Volumenstrom Spülwasserpumpe, gewählt	Q_Spül,W,gew	1200 m ³ /h	

Regelung Spülwasserpumpe über FU

Gemeinde Neuenkirchen Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer 0460 067
Variante: 2
GAK-Filtration

Auslegung Spülluftgebläse

Vorgaben		
Spülgeschwindigkeit (Bereich)	v_Spül,L	60...80 m/h
Spülgeschwindigkeit gewählt	v_Spül_L,gew	70 m/h
Bemessung		
Volumenstrom Spülluft	Q_Spül,L	1134 m³/h
Volumenstrom Spülluftgebläse, gewählt	Q_Spül,L,gew	2800 m³/h

Sontheimer u.a., 1985

Regelung Gebläse über FU

Rückspülregime

Vorgaben		
Spülintervall, gewählt		24 h
		7 /Woche
Spülprogramm		
Luftspülung	t_Spül,L,gew	90 s
		1,5 min
Wasserspülung	t_Spül,L,gew	300 s
		5,0 min
Berechnung		
Spülwasserbedarf pro Spülung (rechnerisch)		41 m³/Spül.
Spülwasserbedarf (rechnerisch)		2800 m³/Wo.
		400 m³/d
Spülwasserspeicher (Gewählt)	V_Spülsp,GAK	130 m³
Energiebedarf je Spülung (mit RF Schlammwasser)		4,80 kWh
Bedarf Spülluftgebläse		0,89 kWh
Bedarf Spülwasserpumpen		2,34 kWh
Bedarf Schlammwasserförderungen		1,56 kWh
Energiebedarf pro Woche		134 kWh/Wo
Energiebedarf pro Jahr		6982 kWh/a
Bedarf Spülluftgebläse		1297 kWh/a
Bedarf Spülwasserpumpen		3411 kWh/a
Bedarf Schlammwasserförderungen		2274 kWh/a

MIKROFLOCK

MIKROFLOCK

Optimierung Rückspülregime in weiterer Planung und Betrieb

Filterlaufzeit/GAK-Bedarf

Berechnung über ausgetauschte Bettvolumina		
Bettvolumina bis Durchbruch (Bereich)		5.000...30.000
Bettvolumina bis Durchbruch	BVgew	8.000
Standzeit Füllung GAK	t_Stand	270 d
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Volumen	V_GAK,a	219 m³/a
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Masse	M_GAK,a	88 Mg/a

hohe Werte aus TWA

Annahme

Eingabefelder

Berechnungsfelder

Gemeinde Neuenkirchen Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Projekt: **Studie 4. Reinigungsstufe**
 Projektnummer: **0460 067**
 Variante: **3**
Ozon mit nachgeschaltetem Schönungsteich

Auslegungsdaten Hydraulik

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>		
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q _t	175,00 l/s 630 m ³ /h
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q _m	322,00 l/s 1.159 m ³ /h
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>		
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q _{Teil,max}	310 m ³ /h 86 l/s
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q _{Teil,a}	1.751.060 m ³ /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q _{Teil,d}	4.797 m ³ /d

Auswert. Daten 2012-13

Auslegung Zwischenhebewerk

<i>Vorgaben</i>		
Volumenstrom, gesamt	Q _{Teil,max}	310 m ³ /h
Anzahl Straßen	n _{Str}	1
Volumenstrom, je Straße	Q _{Teil,max,Str}	310 m ³ /h
Förderhöhe, abgeschätzt, zusätzlich	h _{gesch}	5,20 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m ³ ·m)
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf		63.739 kWh/a

Regelung Pumpe über FU

Gemeinde Neuenkirchen Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer 0460 067
Variante: 3
Ozon mit nachgeschaltetem Schönungsteich

Auslegung Kontaktreaktor Ozon

<i>Vorgaben</i>		
Kontaktzeit (Bereich)	t_KR	10...30 min
Kontaktzeit, gewählt	t_KR,ges,gew	25 min
davon im Kontaktreaktor		20 min
in der Ausgasungszone		5 min
Straßen	n_Str	2
<i>Bemessung Reaktor</i>		
erforderliches Volumen	V_KR,ges	129 m ³
davon im Kontaktreaktor		103 m ³
in der Ausgasungszone		26 m ³
<i>Geometrie</i>		
Straßen	n_Str	2
Wasserspiegelhöhe	h_WS	6,00 m
Länge (innen)	l_KR,gew	5,50 m
Breite (innen), Straße	b_KR,gew	2,00 m
Volumen,ist,Str	V_KR,ist,Str	66 m ³
Volumen,ist,ges	V_KR,ist,ges	132 m ³
<i>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</i>		
tatsächliche Kontaktzeit im Reaktor	t_KR,ist	25,55 min
Kontaktzeit bei (n-1) Straßen	t_KR,ist,n-1	12,77 min

Auslegung Ozonerzeuger

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosis	c_O3,min	2,0 g/m ³
max. Dosis	c_O3,max	10,0 g/m ³
mittlere Dosis im Jahr	c_O3,a	7,0 g/m ³
Prozessgas für Ozonerzeugung	Sauerstoff	
spez. O3-Konzentration bez. auf Prozessgas		0,143 kgO3/Nm ³ O2
Dichte O2 bei Standardbedingungen	rho_O2,Norm	1,337 kgO2/m ³
spez. Energiebedarf O3-Erzeugung mit Restvernicht.		9,4 kWh/kgO3
<i>Bemessung</i>		
O3-Bedarf bei max. O3-Dosis und Q_Teil,max		3,10 kg O3/h
gewählte Anlage		3,10 kg O3/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		34 kg O3/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		12.257 kg O3/a
<i>Sauerstoffbedarf</i>		
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max		29 kg O2/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		314 kg O2/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		114.603 kg O2/a
<i>Energiebedarf</i>		
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max		29 kWh
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		316 kWh/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		115.220 kWh/a

Gemeinde Neuenkirchen Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer 0460 067
Variante: 3
Ozon mit nachgeschaltetem Schönungsteich

Pumpen Kühlwasser Ozonerzeuger

<i>Vorgaben</i>			
Volumenstrom	Q_Kühl	10	m ³ /h
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	30	m
spez. Energiebedarf		7	Wh/(m ³ ·m)
Laufzeit, anteilig		24	h/d
<i>Bemessung</i>			
Energiebedarf		18.396	kWh/a

Eingabefelder

Berechnungsfelder

**Anlage 2:
Investitionskosten
Varianten 1 bis 3**

Gemeinde Neuenkirchen
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projektnumr 0460 067

Zusammenstellung Investitionskosten

Pos.-Nr	Text	Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozon + Teich
1	Bautechnik EUR	844.140,00	728.810,00	504.431,50
2	Maschinentchnik EUR	749.805,00	438.611,04	628.950,00
3	EMSR-Technik EUR	233.000,00	264.000,00	315.000,00
Summe Herstellungskosten, netto EUR		1.826.945,00	1.431.421,04	1.448.381,50
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.) EUR		365.389,00	286.284,21	289.676,30
Summe Baukosten, netto EUR		2.192.334,00	1.717.705,25	1.738.057,80
Mehrwertsteuer EUR		416.543,46	326.364,00	330.230,98
Summe Baukosten, brutto EUR		2.608.877,46	2.044.069,25	2.068.288,78
Anteil		128%	100%	101%

**Gemeinde Neuenkirchen
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projektum 0460 067

Variante: 1

PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
0	Baustelleneinrichtung (10 % Bautechnik) (5 % Maschinentechnik)				76.740,00 €	35.705,00 €		112.445,00 €
1	Vorbereitende Arbeiten Entschlammung Teich II Wasserhaltung	1,00 1,00	psch psch	20.000,00 € 30.000,00 €	20.000,00 € 30.000,00 €			50.000,00 €
2	PW 4. Reinig.-stufe im Kombi-BW Pumpenvorlage (umbauter Raum) Einhausung NS-Verteilung Schacht Anbindung bestehende RL Schlosserarbeiten (Gitterrost/Geländer)	230,00 1,00 1,00 1,00	m³ psch psch psch	350,00 € 30.000,00 € 30.000,00 € 40.000,00 €	80.500,00 € 30.000,00 € 30.000,00 € 40.000,00 €			180.500,00 €
3	Kontaktbecken im Kombi-BW Kontaktbecken (2 Stück) Rührwerke Absenkschieber Zu-/Ablauf Schlosserarb. Gerinne Umfahrung	190,00 2,00 3,00 1,00 24,00	m³ St St psch m³	350,00 € 13.000,00 € 6.000,00 € 22.000,00 € 500,00 €	66.500,00 € 22.000,00 € 12.000,00 €	26.000,00 € 18.000,00 €		132.500,00 €
4	Absetzbecken im Kombi-BW Absetzbecken mit Erdarbeiten Schlosserarb. Räumer Schürze Einlauf Ablaufrinne VA Gerinne Umfahrung Absenkschieber Zulauf mit Antrieb	630,00 1,00 1,00 1,00 20,00 7,00 1,00	m³ psch St St m m³ St	250,00 € 70.000,00 € 55.000,00 € 15.000,00 € 800,00 € 500,00 € 9.000,00 €	157.500,00 € 70.000,00 € 3.500,00 € 9.000,00 €	55.000,00 € 15.000,00 € 16.000,00 €		326.000,00 €
5	Tuchfiltration Becken Tuchfilter I + II Anbindung Ein- und Ablauf (Gerinne) Schlosserarbeiten (Bediengang + Treppe) Absenkschieber mit E-Antrieb Absenkschieber Ablaufleitung Steuerung + VOST Tuchfilter Tuchfilter Montage + IBN Filter	72,00 1,00 1,00 2,00 2,00 1,00 2,00 1,00	m³ psch psch St St psch St psch	550,00 € 13.000,00 € 12.000,00 € 9.000,00 € 6.000,00 € 15.000,00 € 90.000,00 € 14.000,00 €	39.600,00 € 13.000,00 € 12.000,00 € 180.000,00 € 14.000,00 €	18.000,00 € 12.000,00 €	15.000,00 €	303.600,00 €
6	PAK-Silo 80 m³ Silo mit Dosiereinrichtung Pumpe Treibwasser m. Verrohr Kompressor mit Lufttrocknung Steuerung	1,00 1,00 1,00 1,00	St psch St St	110.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 € 30.000,00 €		110.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €	30.000,00 €	156.000,00 €
7	Pulveraktivkohle (Erstbefüllung) Aktivkohle	18,00	Mg	1.500,00 €		27.000,00 €		27.000,00 €
8	Rohrtech. Installation <i>Rücklaufkohleleitung</i> 1 Leitung DN 300 VA Formstücke, Flansche, Einbindung etc. Armaturen (sonstige)	15,00 1,00 1,00	m psch psch	320,00 € 2.000,00 € 3.000,00 €		4.800,00 € 2.000,00 € 3.000,00 €		9.800,00 €
9	Flockungsmitteldosierung (Me-Salze) Erweiterung Dosieranlage Dosierleitungen (Schutzrohr + Schlauch)	1,00 95,00	psch m	18.000,00 € 100,00 €		18.000,00 € 9.500,00 €		27.500,00 €
10	Flockungshilfsmitteldosierung Bereitungsanlage mit Dosierleitungen Dosierleitungen	1,00 30,00	psch m	30.000,00 € 60,00 €		30.000,00 € 1.800,00 €		31.800,00 €

**Gemeinde Neuenkirchen
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projektum 0460 067

Variante: 1

PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
11	Pumpen							81.000,00 €
	RLK-Pumpe mit Arm. + Verrohrung	1,00	St	18.000,00 €		18.000,00 €		
	ÜS-Kohlepumpe mit Verrohrung	1,00	St	8.000,00 €		8.000,00 €		
	Schlammwasserpumpe mit Verrohrung	1,00	St	8.000,00 €		8.000,00 €		
	Zulaufpumpen mit Arm. + Verrohr.	2,00	St	17.000,00 €		34.000,00 €		
	Zulaufpumpe (Lager als Reserve)	1,00	St	13.000,00 €		13.000,00 €		
12	Erdverlegte Rohrleitungen							68.800,00 €
	Zulauf. PE 100 SDR 17 400*23,7	10,00	m	220,00 €	2.200,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	1.000,00 €	1.000,00 €			
	Leitung TF-> TII PE 100 SDR 17 400*23,7	5,00	m	220,00 €	1.100,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	1.000,00 €	1.000,00 €			
	Ablaufleitung TF->MID PE 100 SDR 17 400	45,00	m	220,00 €	9.900,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	6.000,00 €	6.000,00 €			
	Anbindung neue Ltg an Bestand.	1,00	psch	15.000,00 €	15.000,00 €			
	ÜS-Kohle KB PE 100 SDR 17 63*3,8	135,00	m	100,00 €	13.500,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	800,00 €	800,00 €			
	Schlammwasser TF PE 100 SDR 17 63*3,8	135,00	m	100,00 €	13.500,00 €			
	Formstücke	1,00	psch	800,00 €	800,00 €			
	Einbindung Rohrleitung (Bohrungen usw.)	1,00	psch	4.000,00 €	4.000,00 €			
13	Abdeckung Nachklärbecken 1							40.000,00 €
	Abdeckung Ablaufrinne NKB 1	1,00	psch	40.000,00 €		40.000,00 €		
14	Kabelschächte/Leerrohre	1,00	St	9.000,00 €	9.000,00 €			9.000,00 €
15	Hausinstallation/Entwässerung	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			12.000,00 €
16	Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen	1,00	psch	48.000,00 €	48.000,00 €			48.000,00 €
17	Inbetriebnahme/Dokumentation							11.000,00 €
	Dokumentation	1,00	psch	3.000,00 €	3.000,00 €			
	Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00	psch	8.000,00 €		8.000,00 €		
18	EMSR-Technik							188.000,00 €
	Pauschal (25 % der MT)	1,00	psch	188.000,00 €			188.000,00 €	
	Summe Herstellungskosten, netto				844.140,00 €	749.805,00 €	233.000,00 €	1.826.945,00 €
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	168.828,00 €	149.961,00 €	46.600,00 €	365.389,00 €
	Summe Baukosten, netto				1.012.968,00 €	899.766,00 €	279.600,00 €	2.192.334,00 €
	Mehrwertsteuer			19%				416.543,46 €
	Summe Baukosten, brutto							2.608.877,46 €

Kapitalkosten				
Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren	30			
Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren		15		
Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren			10	
Zinssatz i	3%	3%	3%	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)				
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik	0,05102			
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik		0,08377		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik			0,11723	
Summe Kapitalkosten/a, netto	51.680,88 €	75.370,32 €	32.777,65 €	159.828,85 €

Wartung- und Instandhaltungskosten				
1,0 %/a der Baukosten	10.129,68 €			
4,0 %/a der Kosten für technische Installationen		35.990,64 €		
2,0 %/a der Kosten für EMSR-Technik			5.592,00 €	
Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto	10.129,68 €	35.990,64 €	5.592,00 €	51.712,32 €

**Gemeinde Neuenkirchen
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projektum 0460 067

Variante: 2

GAK-Filtration

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
0	Baustelleneinrichtung (10 % Bautechnik) (5 % Maschinentechnik)				61.710,00 €		20.886,24 €	82.596,24 €
1	Vorbereitende Arbeiten Entschlammung Teich II Wasserhaltung	1,00 1,00	psch psch	20.000,00 € 30.000,00 €	20.000,00 € 30.000,00 €			50.000,00 €
2	Filterbauwerk mit Vorlage u Speicher Schacht Anbindung bestehende RL Bauwerk mit Abdachung Pumpen Schlosserarbeiten (Gitterrost/Geländer) Filterboden mit Düsen Einbindung Rohrleitungen	1,00 1,00 1,00 64,80 1,00	psch psch psch m² psch	30.000,00 € 390.000,00 € 65.000,00 € 900,00 € 15.000,00 €	30.000,00 € 390.000,00 € 65.000,00 €		58.320,00 €	558.320,00 €
3	Filtermaterial (Erstbefüllung) Aktivkohle Stüttschicht	64,80 29,16	Mg m³	1.300,00 € 280,00 €		84.240,00 € 8.164,80 €		92.404,80 €
4	Rohrtech. Installation Filter Rohrleitung VA incl. Formstücke Armaturen Antriebe Armaturen	1,00 1,00 1,00	psch psch psch	45.000,00 € 40.000,00 € 42.000,00 €		45.000,00 € 40.000,00 € 42.000,00 €		127.000,00 €
5	Pumpen Beschickungspumpen mit Arm. + Verrohr. Spülwasserpumpe mit Verrohrung Schlammwasserpumpe + Verrohrung Zulaufpumpe (Lager als Reserve)	2,00 1,00 1,00 1,00	St St St St	17.000,00 € 18.000,00 € 9.000,00 € 13.000,00 €		34.000,00 € 18.000,00 € 9.000,00 € 13.000,00 €		74.000,00 €
6	Gebläse Spülluftgebläse mit Verrohrung	1,00	St	16.000,00 €		16.000,00 €		16.000,00 €
7	Erdverlegte Rohrleitungen Zulauf. PE 100 SDR 17 400*23,7 Formstücke Ablaufleitung PE 100 SDR 17 400*23,7 Formstücke Anbindung neue Ltg an Bestand. Schlammw. PE 100 SDR 17 160*9,5 Formstücke Einbindung Rohrleitung (Bohrungen usw.)	10,00 1,00 45,00 1,00 1,00 135,00 1,00 1,00	m psch m psch psch m psch psch	220,00 € 1.000,00 € 220,00 € 3.000,00 € 6.000,00 € 120,00 € 800,00 € 4.000,00 €	2.200,00 € 1.000,00 € 9.900,00 € 3.000,00 € 6.000,00 € 16.200,00 € 800,00 € 4.000,00 €			21.000,00 €
8	Abdeckung Nachklärbecken 1 Abdeckung Ablaufrinne NKB 1	1,00	psch	40.000,00 €		40.000,00 €		40.000,00 €
9	Kabelschächte/Leerrohre	1,00	psch	9.000,00 €	9.000,00 €			9.000,00 €
10	Hausinstallation/Entwässerung	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			12.000,00 €
11	Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen	1,00	psch	48.000,00 €	48.000,00 €			48.000,00 €
12	Inbetriebnahme/Dokumentation Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	5.000,00 € 10.000,00 €	5.000,00 €		10.000,00 €	15.000,00 €
13	EMSR-Technik Pauschal (60 % der MT)	1,00	psch	264.000,00 €			264.000,00 €	264.000,00 €
Summe Herstellungskosten, netto					728.810,00 €	438.611,04 €	264.000,00 €	1.431.421,04 €
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)				20%	145.762,00 €	87.722,21 €	52.800,00 €	286.284,21 €
Summe Baukosten, netto					874.572,00 €	526.333,25 €	316.800,00 €	1.717.705,25 €
Mehrwertsteuer				19%				326.364,00 €
Summe Baukosten, brutto								2.044.069,25 €

**Gemeinde Neuenkirchen
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projektnum 0460 067

Variante: 2

GAK-Filtration

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
	Kapitalkosten							
	Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren	30						
	Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren					15		
	Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren						10	
	Zinssatz i	3%			3%		3%	
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)							
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik	0,05102						
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik				0,08377			
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik						0,11723	
	Zwischensumme Kapitalkosten/a, netto				44.620,02 €	44.089,14 €	37.138,62 €	125.847,78 €
	Wartung- und Instandhaltungskosten							
	1,0 %/a der Baukosten	8.745,72 €						
	4,0 %/a der Kosten für technische Installationen				21.053,33 €			
	2,0 %/a der Kosten für EMSR-Technik						6.336,00 €	
	Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto	8.745,72 €			21.053,33 €	6.336,00 €		36.135,05 €

**Gemeinde Neuenkirchen
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projektum 0460 067

Variante: 3

Ozonung mit nachgeschalteten Schönungsteich

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
0	Baustelleneinrichtung (10 % Bautechnik) (5 % Maschinentechnik)				38.194,50 €	29.950,00 €		152.436,50 €
1	Vorbereitende Arbeiten Räumung Baufeld Wasserhaltung	1,00 1,00	psch psch	6.000,00 € 30.000,00 €	6.000,00 € 30.000,00 €			36.000,00 €
2	Pumpwerk 4. Reinigungsstufe Pumpenvorlage Schacht bestehende RL Zulauf Schlosserarbeiten (Gitterrost/Geländer)	49,68 1,00 1,00	m³ psch psch	650,00 € 30.000,00 € 7.000,00 €	32.292,00 € 9.000,00 € 7.000,00 €			48.292,00 €
3	Reaktionsbehälter Behälter, gasdicht Installation VA (RL) allgemein Armaturen Antriebe Armaturen Schlosserarbeiten Schächte Ablauf	132,00 1,00 1,00 1,00 1,00 3,00	m³ psch psch psch psch St	720,00 € 15.000,00 € 26.000,00 € 9.000,00 € 8.000,00 € 17.000,00 €	95.040,00 € 8.000,00 € 51.000,00 €	15.000,00 € 26.000,00 € 9.000,00 €		204.040,00 €
4	Pumpen Beschickungspumpen mit Arm. + Verrohr. Pumpen + Verroh. Kühlwasser Zulaufpumpe (Lager als Reserve)	2,00 1,00 1,00	St psch St	17.000,00 € 12.000,00 € 13.000,00 €		34.000,00 € 12.000,00 € 13.000,00 €		59.000,00 €
5	Ozonanlage Anlage Ozonerzeuger (2*1,55 kg/h) Einsatzgasversorgung Instrumentenluft u. N₂-Zudosierung Wärmetauscher Kühlwasser Eintragungssystem (Diffusoren) Restozonvernichter Raumluftüberwachung Ozongasüberwachung im Ozongas Ozonmessung Wasser Anlagensteuerung Ventile und Instrumente Verrohrung und Montage Über-/Unterdrucksicherung Kontaktbeh.	1,00 2,00 incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. 1,00 2,00	psch incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. psch St	370.000,00 € 62.000,00 € 3.000,00 €		370.000,00 € 62.000,00 € 6.000,00 €		438.000,00 €
6	Aufstellung O2/O3-Anlage m. Halle Einhausung Ozonanlage-NSV Fundament O2-Anlage	126,00 1,00	m³ psch	370,00 € 8.000,00 €	46.620,00 € 8.000,00 €			54.620,00 €
7	Erdverl. Rohrleitungen + Schächte Zulauf. PE 100 SDR 17 400*23,7 Formstücke Ablaufleitung DN 350 VA Rohrgraben + Bettung Bitumenbinde/Coroplast Formstücke/Flansche/Verbindung Schacht Anbindung Ablauf Umlauf. Teich II PE 100 SDR 17 400*23,7 Formstücke Unterfahrung Abl.-Ltg. DN 700 Schacht Anbindung Zulauf Teich I	10,00 1,00 35,00 27,00 33,00 1,00 1,00 50,00 1,00 1,00 1,00	m psch m m m psch psch m psch psch psch	220,00 € 1.500,00 € 170,00 € 80,00 € 75,00 € 4.000,00 € 30.000,00 € 220,00 € 4.000,00 € 5.000,00 € 50.000,00 €	2.200,00 € 1.500,00 € 5.950,00 € 2.160,00 € 2.475,00 € 4.000,00 € 30.000,00 € 11.000,00 € 4.000,00 € 5.000,00 € 50.000,00 €			118.285,00 €
8	Abdeckung Nachklärbecken 1 Abdeckung Ablaufrinne NKB 1	1,00	psch	40.000,00 €		40.000,00 €		40.000,00 €
9	Kabelschächte/Leerrohre	1,00	psch	9.000,00 €	9.000,00 €			9.000,00 €
10	Hausinstallation/Entwässerung	1,00	psch	8.000,00 €	8.000,00 €			8.000,00 €
11	Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen	1,00	psch	35.000,00 €	35.000,00 €			35.000,00 €
12	Inbetriebnahme/Dokumentation Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	3.000,00 € 12.000,00 €	3.000,00 €	12.000,00 €		15.000,00 €

Gemeinde Neuenkirchen
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projektnum 0460 067

Variante: 3

Ozonung mit nachgeschalteten Schönungsteich

Investitionskostenannahme

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
14	EMSR-Technik Pauschal (50 % der MT)	1,00	psch	315.000,00 €			315.000,00 €	315.000,00 €
	Summe Herstellungskosten, netto				504.431,50 €	628.950,00 €	315.000,00 €	1.448.381,50 €
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	100.886,30 €	125.790,00 €	63.000,00 €	289.676,30 €
	Summe Baukosten, netto				605.317,80 €	754.740,00 €	378.000,00 €	1.738.057,80 €
	Mehrwertsteuer			19%				330.230,98 €
	Summe Baukosten, brutto							2.068.288,78 €

	Kapitalkosten							
	Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren				30			
	Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren					15		
	Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren						10	
	Zinssatz i				3%	3%	3%	
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)							
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik				0,05102			
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik					0,08377		
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik						0,11723	
	Zwischensumme Kapitalkosten/a, netto				30.882,87 €	63.221,99 €	44.313,13 €	138.417,99 €

	Wartung- und Instandhaltungskosten							
	1,0 %/a der Baukosten				6.053,18 €			
	4,0 %/a der Kosten für technische Installationen					30.189,60 €		
	2,0 %/a der Kosten für EMSR-Technik						7.560,00 €	
	Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto				6.053,18 €	30.189,60 €	7.560,00 €	43.802,78 €

**Anlage 3:
Betriebskosten
Varianten 1 bis 3**

**Gemeinde Neuenkirchen
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 0460 067

Zusammenstellung Betriebskosten

	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonung + Teich
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	75.712,32	52.135,05	59.802,78
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	62.790,48	131.073,98	67.193,15
Summe Betriebskosten, netto		EUR/a	138.502,80	183.209,03	126.995,93
	Mehrwertsteuer: 19%	EUR/a	26.315,53	34.809,72	24.129,23
Summe Betriebskosten, brutto		EUR/a	164.818,33	218.018,74	151.125,15
Anteil			109%	144%	100%

**Gemeinde Neuenkirchen
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer: 460 067
Laufende Kosten Varianten

Pos.	Bezeichnung		Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK	Variante 3 Ozonung + Teich
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	159.828,85	125.847,78	138.417,99
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	75.712,32	52.135,05	59.802,78
1.0	Personalkosten	EUR/a	24.000,00	16.000,00	16.000,00
	Menge	MA/a	0,60	0,40	0,40
	spez. Preis	EUR/MA	40.000,00	40.000,00	40.000,00
			24.000,00	16.000,00	16.000,00
2.0	Wartungs- und Instandhaltungskosten	EUR/a	51.712,32	36.135,05	43.802,78
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	62.790,48	131.073,98	67.193,15
1.0	Energiekosten	EUR/a	23.479,18	15.549,63	38.542,50
	Menge	kWh/a	125.557,11	83.153,12	206.109,63
	spez. Preis	EUR/kWh	0,19	0,19	0,19
			23.479,18	15.549,63	38.542,50
2.0	Chemikalienkosten	EUR/a	27.491,64	113.818,90	28.650,65
2.1	PAK/GAK	Menge spez. Preis	Mg/a EUR/Mg	17,51 1.500	87,55 1.300
			26.265,90	113.818,90	
	Kontrollrechnung GAK	Menge spez. Preis	m³/a EUR/m³	218,88 515	112.724,49
2.2	Fäll-/Flockungsmittel	Menge FeCl ₃	Mg Me/a EUR/Mg	7,00 162,00	
			Einsparung	Simultanfällung	
2.3	Flockungshilfsmittel	Menge spez. Preis	Mg/a EUR/Mg	0,35 3.500	
			1.225,74		
2.4	Sauerstoff (flüssig) inkl. Tankmiete	Menge spez. Preis	kg/a EUR/kg		114.602,59 0,25
					28.650,65
3.0	Schlammverbrennungs-/Entsorgungskosten		11.819,66	1.705,44	0,00
3.1	zusätz. Schlamm d. PAK/Filter Entwässerungskosten Entsorgungskosten (Verbrenn.) Entwässerungsergebnis Entwässerungskosten Entsorgungskosten (Verbrenn.)	Menge spez. Preis spez. Preis spez. Preis TS spez. Preis TS	Mg TS/a EUR/Mg EUR/Mg EUR/Mg TS EUR/Mg TS	52,53 12,79 54,58 30% 43,00 182,00	8,76 12,79 54,58 30% 43,00 182,00
	Annahmen Var. 1 (PAK): 1 Mg TR: 1/3 PAK, 2/3 AFS aus Organik und Fällung		11.819,66	1.705,44	
	Annahmen für Var. 2 (GAK-Filtration): zusätzlicher Rückhalt von 5 mg AFS/l im Filter gegenüber IST-Zustand				

**Gemeinde Neuenkirchen
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projektnummer: 460 067

Laufende Kosten Varianten

Pos.	Bezeichnung		Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK	Variante 3 Ozonung + Teich
	Summe A: Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	159.828,85	125.847,78	138.417,99
	Summe B: Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	75.712,32	52.135,05	59.802,78
	Summe C: Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	62.790,48	131.073,98	67.193,15
	Gesamtsumme Jahreskosten, netto	EUR/a	298.331,65	309.056,80	265.413,91
	Mehrwertsteuer	19%	56.683,01	58.720,79	50.428,64
	Summe Jahreskosten, brutto		355.014,66	367.777,60	315.842,56

**Gemeinde Neuenkirchen
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer 0460 067
Energiebedarf Varianten

Pos.	Bezeichnung		Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK	Variante 3 Ozonung + Teich
1.0	Pumpen	kWh/a	75.758	73.101	82.135
1.1	Beschickungspumpen	kWh/a	39.224	67.416	63.739
1.2	Rücklaufkohlepumpe	kWh/a	11.207		
1.3	Überschussskohlepumpe	kWh/a	581		
1.4	Dosierpumpen	kWh/a	5.431		
	Flockungsmittel (Me-Salze)	kW	0,1		
	Flockungshilfsmittel	kW	0,5		
	Laufzeit	h/d	24		
1.5	Spülwasserpumpe	kWh/a		3.411	
1.6	Schlammwasserpumpe	kWh/a	2.451	2.274	
1.7	Treibwasser für PAK-Dosierung	kWh/a	16.863		
1.8	Kühlwasser für Ozonerzeuger	kWh/a			18.396
2.0	Gebälse	kWh/a		1.297	
2.1	Spülluftgebläse	kWh/a		1.297	
3.0	Räumer	kWh/a	3.241		
	Anzahl Räumer		1		
3.1	Räumer Absetzbecken	kWh/a	3.241,2		
	Antrieb	kW	0,37		
	Laufzeit	h/d	24		
4.0	Rührwerke	kWh/a	26.630		
4.1	Rührwerke Kontaktbecken	kWh/a	26.630		
5.0	Doisiergerät PAK	kWh/a	5.782		
	Anzahl Dosiergeräte		1		
5.1	Antrieb Dosierschnecke	kWh/a	2.891		
	Antrieb	kW	0,55		
	Auslastung		60%		
	Laufzeit	h/d	24		

**Gemeinde Neuenkirchen
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer 0460 067
Energiebedarf Varianten

Pos.	Bezeichnung		Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK	Variante 3 Ozonung + Teich
6.0	Ozonanlage	kWh/a			115.220
6.1	Ozonerzeugung				
6.2	Restozonvernichtung				
7.0	Tuchfilter	kWh/a	5.391		
	Anzahl Filter		2		
7.1	Betrieb Filter		823,1		
7.1.1	Antrieb Filter	kWh/a	823,1		
	Antrieb	kW	0,55		
	Laufzeit	h/d	4,1		
7.2	Rückspülung Filter		1.872,5		
7.2.1	Filterabsaugpumpen	kWh/a	1.839,6		
	Antrieb	kW	1,80		
	Anzahl	n	2		
	Laufzeit	h/d	1,4		
7.2.2	Bodenschlammumpen	kWh/a	32,9		
	Antrieb	kW	1,80		
	Anzahl	n	1		
	Laufzeit	h/d	0,05		
8.0	Messtechnik	kWh/a	8.755	8.755	8.755
	pauschal	0,005 kWh/m ³	8.755	8.755	8.755
	Summe 1: Pumpen	kWh/a	75.758	73.101	82.135
	Summe 2: Gebläse	kWh/a	0	1.297	0
	Summe 3: Räumler	kWh/a	3.241	0	0
	Summe 4: Rührwerke	kWh/a	26.630	0	0
	Summe 5: Dosiergerät PAK	kWh/a	5.782	0	0
	Summe 6: Ozonanlage	kWh/a	0	0	115.220
	Summe 7: Tuchfilter	kWh/a	5.391	0	0
	Summe 8: Messtechnik	kWh/a	8.755	8.755	8.755
	Gesamtsumme	kWh/a	125.557	83.153	206.110

Anlage 4: Jahreskosten

**Gemeinde Neuenkirchen
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen**

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 0460 067

Zusammenstellung Jahreskosten

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonung + Teich
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	159.828,85	125.847,78	138.417,99
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	75.712,32	52.135,05	59.802,78
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	62.790,48	131.073,98	67.193,15
Summe Jahreskosten, netto		EUR/a	298.331,65	309.056,80	265.413,91
Mehrwertsteuer: 19%		EUR/a	56.683,01	58.720,79	50.428,64
Summe Jahreskosten, brutto		EUR/a	355.014,66	367.777,60	315.842,56
Anteil			112%	116%	100%

spez. Kosten, netto	EUR/m ³	0,17037	0,17650	0,15157
spez. Kosten, brutto	EUR/m³	0,20274	0,21003	0,18037

**Anlage 5:
Screening-Ergebnisse
Kläranlage Neuenkirchen/Wettringen**

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 20.02.2014 JB

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Kläranlage Düsterbach (Neuenkirchen)

Probenahmestelle: (1) Ablauf Nachklärung (PN)

Entnahme: (1) 02.02.2014 Laboreingang: 03.02.2014

Analysennummer:		42979 147087	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>			
Wassermenge in 24 Stunden	m ³	5284	
<i>Messungen im Labor</i>			
Bezafibrat	µg/l	0,560	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diclofenac	µg/l	1,70	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Naproxen	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Phenazon	µg/l	0,300	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	1,20	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Atenolol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Bisoprolol	µg/l	0,910	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	1,80	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	0,610	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	1,30	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	1,10	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Oxazepam	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Amidotrizoesäure	µg/l	1,10	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lomeprol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lopamidol	µg/l	0,340	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lopromid	µg/l	0,540	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diuron	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Isoproturon	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Terbutryn	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Benzotriazol	µg/l	3,50	Hausmethode (LC-MS-MS)
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
17-beta-Estradiol	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
Bromid (Br)	mg/l	< 2	DIN EN ISO 10304-2 (D20)

bitte wenden

<i>Analysennummer:</i>		42979 147087	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14289-01-00).

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14170-01-00).

OWL Umweltanalytik
Master of Science Brauer

Dieser Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 28.03.2014 JB

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Kläranlage Düsterbach (Neuenkirchen)

Probenahmestelle: (1) Ablauf Nachklärung (PN)

Entnahme: (1) 11.03.2014 24h-Mischprobe: 08:30 Uhr - 08:30 Uhr Laboreingang: 12.03.2014

Analysennummer:		42979 147088	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>			
Wassermenge in 24 Stunden	m ³	4650	
<i>Messungen im Labor</i>			
Bezafibrat	µg/l	0,520	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diclofenac	µg/l	2,40	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Naproxen	µg/l	0,071	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Phenazon	µg/l	0,210	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	1,70	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Atenolol	µg/l	0,054	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Bisoprolol	µg/l	0,810	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	2,30	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	0,620	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	0,350	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	9,10	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Oxazepam	µg/l	0,070	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Amidotrizoesäure	µg/l	1,40	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lomeprol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lopamidol	µg/l	3,80	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lopromid	µg/l	0,490	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diuron	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Isoproturon	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Terbutryn	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Benzotriazol	µg/l	4,00	Hausmethode (LC-MS-MS)
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
17-beta-Estradiol	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
Bromid (Br)	mg/l	< 2	DIN EN ISO 10304-2 (D20)

bitte wenden

<i>Analysennummer:</i>		42979 147088	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14289-01-00).

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14170-01-00).

OWL Umweltanalytik
Master of Science Brauer

Dieser Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 23.04.2014 RN

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Kläranlage Düsterbach (Neuenkirchen)

Probenahmestelle: (1) Ablauf Nachklärung (PN)

Entnahme: (1) 03.04.2014 24h-Mischprobe: 08:30 Uhr - 08:30 Uhr Laboreingang: 03.04.2014

Analysennummer:		42979 147089	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>			
Wassermenge in 24 Stunden	m ³	3935	
<i>Messungen im Labor</i>			
Bezafibrat	µg/l	0,600	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diclofenac	µg/l	3,00	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Naproxen	µg/l	0,054	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Phenazon	µg/l	0,460	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	1,90	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Atenolol	µg/l	0,068	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Bisoprolol	µg/l	0,820	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	2,50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	0,540	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	0,630	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	0,860	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Oxazepam	µg/l	0,050	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Amidotrizoesäure	µg/l	0,260	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lomeprol	µg/l	0,350	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lopamidol	µg/l	0,310	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lopromid	µg/l	1,40	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diuron	µg/l	0,250	DIN 38407-35 ^a
Isoproturon	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Terbutryn	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Benzotriazol	µg/l	3,90	Hausmethode (LC-MS-MS)
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
17-beta-Estradiol	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
Bromid (Br)	mg/l	< 2	DIN EN ISO 10304-2 (D20)

bitte wenden

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

<i>Analysennummer:</i>		42979 147089	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14289-01-00).

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14170-01-00).

OWL Umweltanalytik
Dr. Noll

Dieser Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.