



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

Kläranlage Rheine-Nord

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie
Februar 2015 | 1. – 7. Ausfertigung
Projektnummer 1539 001



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





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



Kläranlage Rheine-Nord

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie
Februar 2015 | 1. – 7. Ausfertigung
Projektnummer 1539 001

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

Aufgestellt:
Bochum, im Februar 2015
bie-ka-uru-ko

Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

Gesamtinhaltsverzeichnis

I Textteil

- Erläuterungsbericht
- Anlagen

II Zeichnungen

Blatt	Titel	Maßstab	Verwaltungsnummer
1	Lageplan, Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle/ Umbau Belebungsbecken	1 : 250	030 007 01 00
2	Lageplan, Variante 2 GAK-Filtration	1 : 250	030 007 02 00
3	Lageplan, Variante 3 Ozonung + Sandfilter	1 : 250	030 007 03 00

Auftraggeber:

Technische Betriebe Rheine
Am Bauhof 2 - 10
48431 Rheine

Telefon: 05971 939 561
Telefax: 05971 939 573

Projektleiter:

Herr Dipl.-Ing. Udo Eggert

Telefon: 05971 939 583
udo.eggert@tbrheine.de

Herr Jürgen Schütze

Telefon: 05971 9873 50
juergen.schuetze@tbrheine.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

Herr M.Sc. Fernando Urueta

Telefon: 0234 33305-64
f.urueta@tum-bochum.de

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Zugrunde liegende Unterlagen.....	1
3	Belastungsdaten Hydraulik	2
4	Reinigungsanforderungen.....	2
5	Anlagenbestand	3
5.1	Kurzbeschreibung	3
6	Spurenstoffe im Wasserkreislauf.....	4
6.1	Einleitung	4
6.2	Charakterisierung des Verhaltens von anthropogenen Spurenstoffen	4
6.3	Screening im Ablauf der Kläranlage Rheine	5
7	Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen.....	7
7.1	Überblick	7
7.2	Adsorption.....	7
7.2.1	Grundlagen	7
7.2.2	Einsatz Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination	13
7.2.2.1	Pulveraktivkohle (PAK).....	13
7.2.2.2	Granulierte Aktivkohle (GAK).....	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	19
8.1	Beschickungsmenge	19
8.2	Verfahrensfestlegung	23
8.3	Randbedingungen.....	23
8.3.1	Variante 1: Pulveraktivkohle mit Rücklaufkohle (PAK)	24
8.3.1.1	Allgemein	24
8.3.1.2	Ausführung.....	25
8.3.2	Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle (GAK).....	27
8.3.2.1	Allgemeines.....	27
8.3.2.2	Ausführung.....	28
8.3.3	Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter	29
8.3.3.1	Allgemeines.....	29
8.3.3.2	Ausführung.....	29
8.4	Ergebnisübersicht Varianten.....	32
9	Kosten.....	33

9.1	Allgemein	33
9.2	Investitionskosten.....	33
9.3	Betriebskosten	33
9.4	Jahreskosten.....	35
9.5	Einfluss der Förderung auf die Jahreskosten.....	36
9.6	Sensitivitätsanalyse.....	37
10	Bewertung.....	38
11	Zusammenfassung.....	40
	Literaturverzeichnis.....	42

Bildverzeichnis

Bild 1:	Volumenstrom Ablauf KA Rheine-Nord	2
Bild 2:	Vergleich der Spurenstoffkonzentrationen in der Kläranlage Rheine und in anderen Kläranlagen	7
Bild 3:	Verfahren zur Spurenstoffelimination (Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013).....	8
Bild 4:	Grundbegriffe der Adsorption	8
Bild 5:	Teilschritte der Adsorption (Breitbach und Bathen, 2001).....	9
Bild 6:	Isotherme Adsorption Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen NaCl-Konzentrationen (Cooney 1998).....	10
Bild 7:	Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber (DVGW W 239)	11
Bild 8:	Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit (Sontheimer u. a., 1985).....	12
Bild 9:	Durchbruchkurve eines Adsorptivgemisches (Worch 2004, modifiziert).....	12
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 Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung	21
Bild 15:	Summenhäufigkeit der behandelten Abwassermenge.....	22
Bild 16:	Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination	22
Bild 17:	Baufeld 4. Reinigungsstufe.....	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	26
Bild 21:	Blockschema Variante 2: GAK-Filtration.....	27
Bild 22:	Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration	28
Bild 23:	Blockschema Variante 3.....	29
Bild 24:	Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Dyna-Sandfilter ..	30
Bild 25:	Dyna-Sandfilter: links: Prinzipdarstellung, rechts: Anordnung im Betonbecken (Quelle: Nordic-Water)	31
Bild 26:	Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten.....	36
Bild 27:	Vergleich Jahreskosten mit und ohne Förderung	37

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 Rheine-Nord

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

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

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

Nicht zuletzt lassen die Aktivitäten im Umweltausschuss des Europäischen Parlaments mit der Aufnahme von erstmals drei Pharmaka-Wirkstoffen in die sogenannte „Watch-List“ darauf schließen, dass die 4. Reinigungsstufe zukünftig Pflicht werden könnte.

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

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

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

Mit der Studie soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, um die Auswahl eines möglichen Verfahrens durch die TBR zu unterstützen. Neben den technischen Aspekten werden auch die Wirtschaftlichkeit und weitere Punkte, wie z. B. die Nachhaltigkeit, bewertet.

Die Machbarkeitsstudie gliedert sich in folgende Punkte auf:

- Datenauswertung mit Ermittlung der für die Auslegung maßgeblichen Teilstrommenge;
- Auslegung der insgesamt drei Verfahrenskombinationen;
- Darstellung der Varianten im Lageplan und im Blockfließbild;
- Beschreibung und Bewertung der Verfahren;
- wirtschaftliche Bewertung der Konzepte anhand der Jahreskosten; dazu werden die Investitionskosten und die Betriebskosten abgeschätzt;
- Zusammenfassung der Bewertung in einer Entscheidungsmatrix.

2 Zugrunde liegende Unterlagen

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

- 1-h-Werte Ablaufmessung KA Rheine-Nord, Januar bis Dezember 2013,
- Lageplan KA Rheine-Nord im DWG-Format, Juli 2014,
- Genehmigungsentwurf Erweiterung KA Rheine-Nord, Ingenieurbüro Frilling, November 2011,

- Genereller Längsschnitt Abwasserlinie KA Rheine-Nord, Ingenieurbüro Wiefering u. Frilling, Oktober 1990,
- R+I-Fließschema Erweiterung KA Rheine-Nord, Ingenieurbüro Frilling, September 2005.

3 Belastungsdaten Hydraulik

Die Bemessungswerte der Kläranlage Rhein-Nord sind im Folgenden aufgeführt:

Trockenwetterzufluss	$Q_{T,2h,max}$	=	2.710 m ³ /h	≈	752,8 l/s
Mischwasserabfluss	Q_M	=	4.493 m ³ /h	≈	1248,1 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 als 1-h-Werte für den Zeitraum Januar bis Dezember 2013 dar. Die mittlere Ablaufmenge beträgt 1.031,46 m³/h. Maximal wurden 3.760 m³/h im Betrachtungszeitraum abgeleitet. An 100 h im Betrachtungszeitraum lag die Abflussmenge oberhalb von 3.000 m³/h.

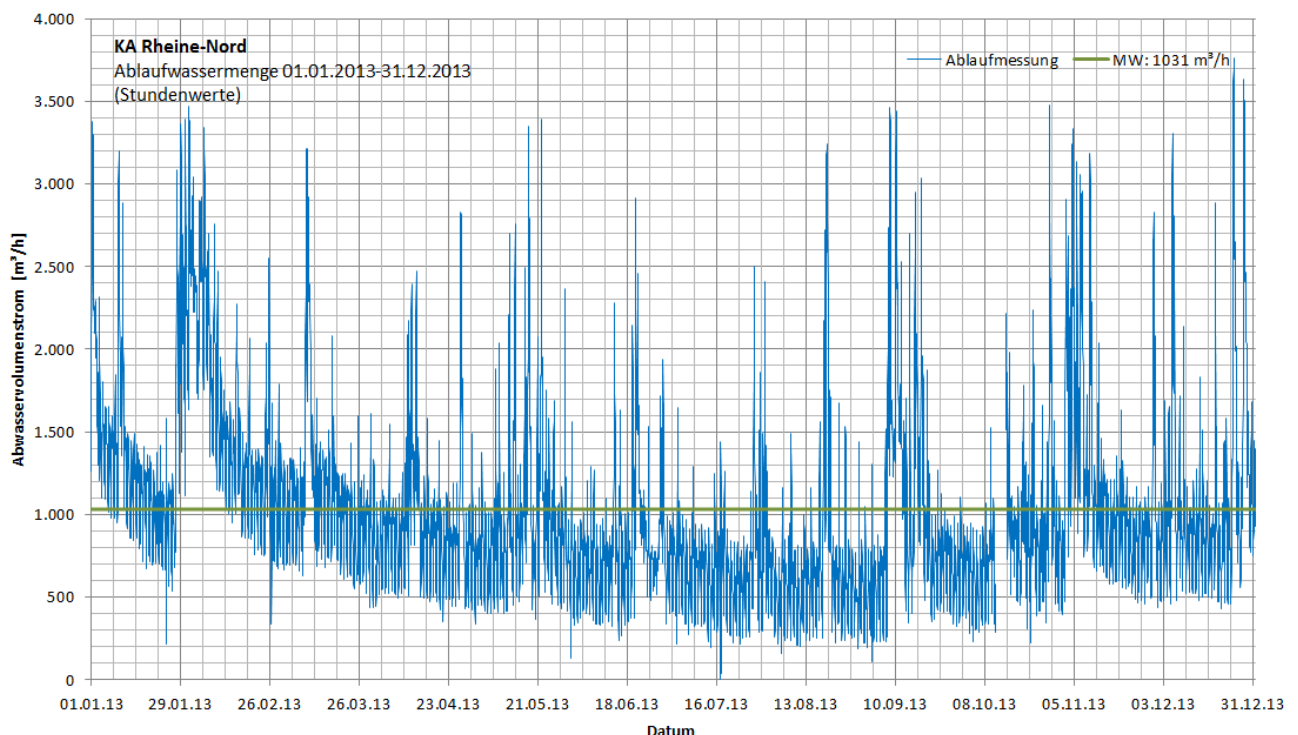


Bild 1: Volumenstrom Ablauf KA Rheine-Nord

4 Reinigungsanforderungen

Die Überwachungswerte für die Kläranlage Rheine-Nord sind für die Parameter CSB; Ammoniumstickstoff; Gesamt-Stickstoff, anorganisch und Gesamt-Phosphor festgelegt.

Folgende Überwachungswerte sind einzuhalten:

Chemischer Sauerstoffbedarf:	65 mg/l
Biochemischer Sauerstoffbedarf:	10 mg/l
Stickstoff, anorganisch:	13 mg/l (≥ 12 °C)
Ammonium-Stickstoff:	3 mg/l (≥ 12 °C)
Phosphor, gesamt:	1 mg/l

5 Anlagenbestand

5.1 Kurzbeschreibung

Die Kläranlage Rheine-Nord wurde in den Jahren 2011/2012 letztmalig umfangreich erweitert. Die Anlage ist auf eine Anschlussgröße von 251.000 EW ausgelegt und gliedert sich in eine mechanische und eine biologische Reinigungsstufe. Das Einzugsgebiet der Kläranlage beträgt aktuell 2.190 ha.

Der Mischwasserabfluss gelangt im freien Gefälle in eine Grobrechenanlage. Unmittelbar nach der Grobrechenanlage befindet sich ein Trennbauwerk. Dort wird der Abwasseranteil oberhalb des in die Kläranlage zu übernehmenden Anteils abgeschlagen und in ein Regenüberlaufbecken geführt. Der zweistraßigen Feinrechenanlage ist das Hauptpumpwerk vorgeschaltet. Die Pumpen werden frequenzgeregelt betrieben. Das Abwasser aus der Feinrechenanlage gelangt in den zweistraßigen belüfteten Sandfang. Dort erfolgt die Rückhaltung von mineralischen Abwasserinhaltsstoffen.

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

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

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

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

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

6 Spurenstoffe im Wasserkreislauf

6.1 Einleitung

Mit Spurenstoffe 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 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 als eine Teilgruppe 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 vier 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 Reaktionsseigenschaften 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 Rheine

Die Untersuchung von Abwasserproben auf ausgewählte Spurenstoffe wurde von der OWL Umweltanalytik GmbH durchgeführt. Es wurde an drei unterschiedlichen Wochentagen eine zeitproportionale 24-Stunden-Mischprobe analysiert. Die Ergebnisse des Screening-Vorgangs sind in **Tabelle 1** aufgeführt.

Tabelle 1: Untersuchungsbefund Ablauf Kläranlage Rheine

Bezeichnung	Parameter	Einheit	mehrtägige-Mischprobe vom 10.08-13.08.2014	mehrtägige-Mischprobe vom 01.09-04.09.2014	mehrtägige-Mischprobe vom 15.09.2014	Orientierungswert aus: Anlage D4: Umweltqualitätsnormen und Orientierungswerte	Anmerkung
a	Bezafibrat	µg/l	0,18	0,21	0,07	0,10	
b	Diclofenac	ng/l	1800,00	1500,00	1500,00	100,00	
c	Naproxen	ng/l	<10	160,00	42,00	100,00	
d	Phenazon	ng/l	110,00	52,00	96,00	110,00	
e	Carbamazepin	ng/l	540,00	500,00	870,00	500,00	
f	Atenolol	ng/l	120,00	86,00	130,00	100,00	
g	Bisoprolol	ng/l	550,00	500,00	650,00	100,00	
h	Metoprolol	ng/l	1400,00	2300,00	2700,00	7300,00	
i	Sotalol	ng/l	280,00	190,00	510,00	100,00	
j	Clarithromycin	ng/l	330,00	280,00	260,00	20,00	
k	Sulfamethoxazol	ng/l	270,00	240,00	650,00	150,00	
l	Oxazepam	µg/l	0,13	0,15	0,26	0,10	
m	Amidotrizesäure	ng/l	3600,00	6900,00	4800,00	100,00	
n	lomeprol	ng/l	63,00	<500	890,00	100,00	
o	Iopamidol	ng/l	400,00	1900,00	2100,00	100,00	
p	Iopamid	ng/l	5000,00	5000,00	4100,00	100,00	
q	Diuron	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	1,80	
r	Isoproturon	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	1,00	
s	Terbutryn	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	0,34	
t	Benzotriazol	µg/l	6,90	7,70	7,10	10	
v	17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	<10	<10	<10	0,04	
w	17-beta-Estradiol	ng/l	<10	<10	<10	0,40	
x	Estron	ng/l	<10	<10	<10		OW nicht gefunden

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	

BG
OW
MW

Bestimmungsgrenze
Orientierungswert
Messwert

Quelle Tabelle Orientierungswerte: Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer Teil D des MKULNV NW
Link:

http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Leitfaden_Monitoring_Oberflaechengewae_sser_Teil_D_1_Anlage_4

Als Referenz wurden die Orientierungswerte der sogenannten D4-Liste (www.flussgebiete.nrw.de, Stand: April 2014) herangezogen. In besonders hohen Konzentrationen fanden sich folgende Stoffe:

- Diclofenac,
- Clarithromycin,
- Amidotrizesäure,
- Iopamidol,
- Iopamid.

Bild 2 zeigt ein Diagramm mit den gemessenen Spurenstoffkonzentrationen in anderen Kläranlagen und entsprechenden Literaturwerten. Bei den schraffierten Balken handelt es sich um Konzentrationen, die unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Im Vergleich zu anderen Anlagen konnte keine signifikante Abweichung von den zu erwartenden Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage festgestellt werden.

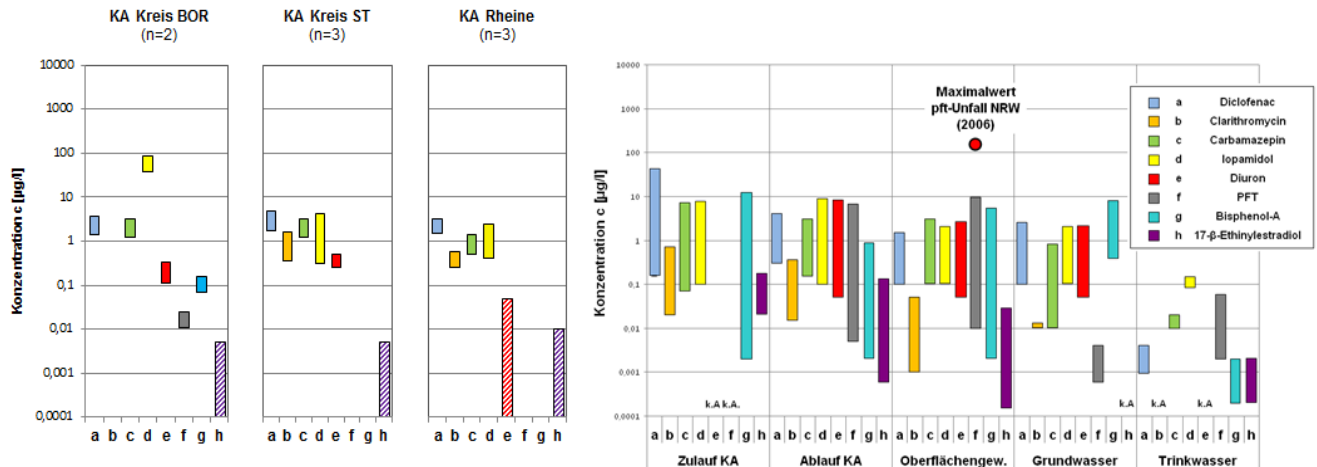


Bild 2: Vergleich der Spurenstoffkonzentrationen in der Kläranlage Rheine und in anderen Kläranlagen

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 Rheine-Nord werden die Anwendung von Ozon und Pulveraktivkohle 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).

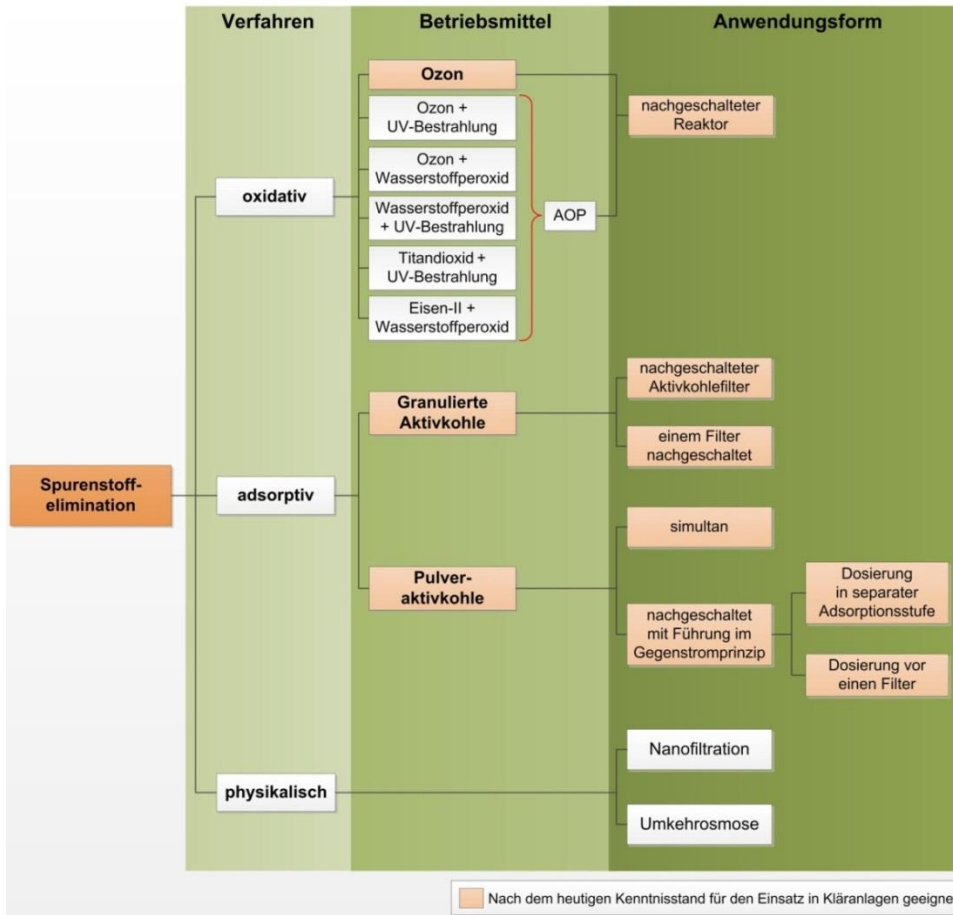


Bild 3: Verfahren zur Spurenstoffelimination (Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013)

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.

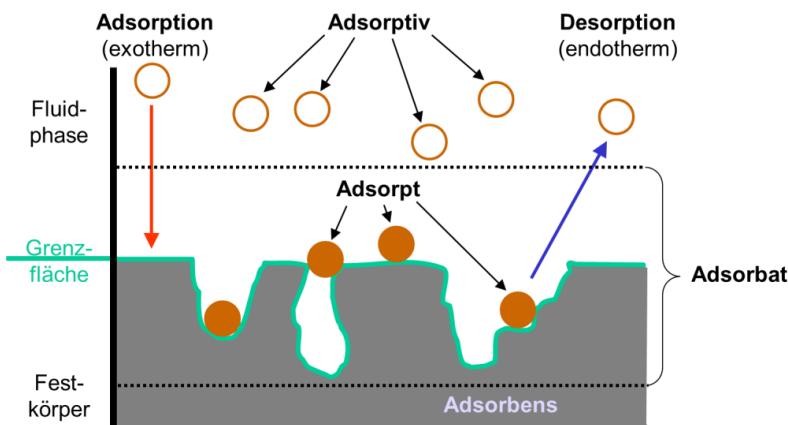


Bild 4: Grundbegriffe der Adsorption

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-Deer-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.

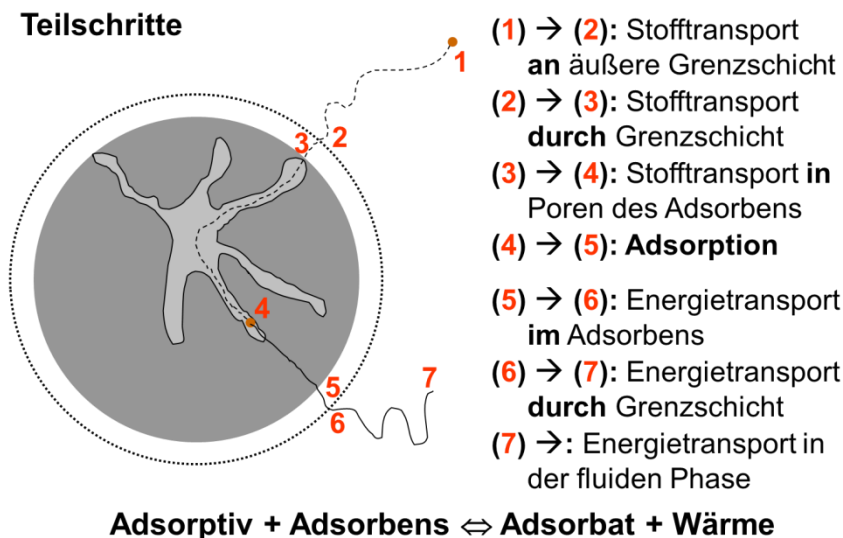


Bild 5: Teilschritte der Adsorption (Breitbach und Bathen, 2001)

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).

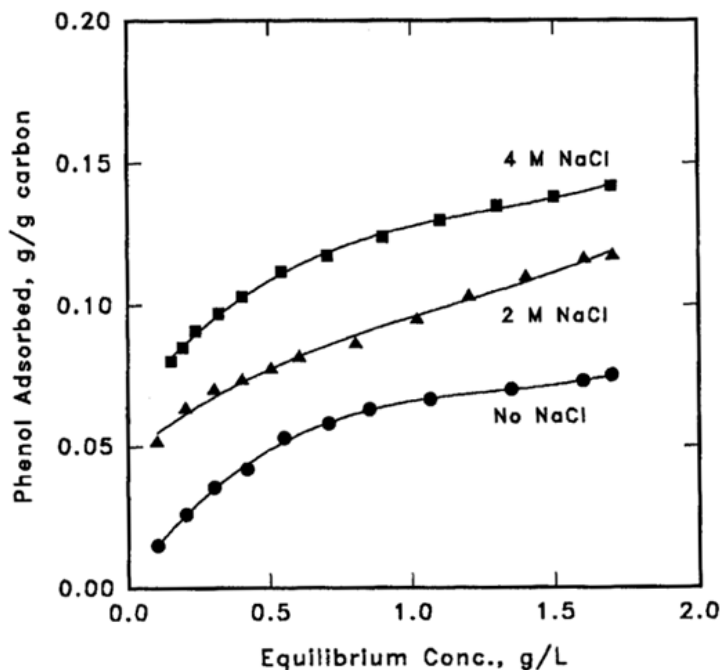


Bild 6: Isotherme Adsorption Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen NaCl-Konzentrationen (Cooney 1998)

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:

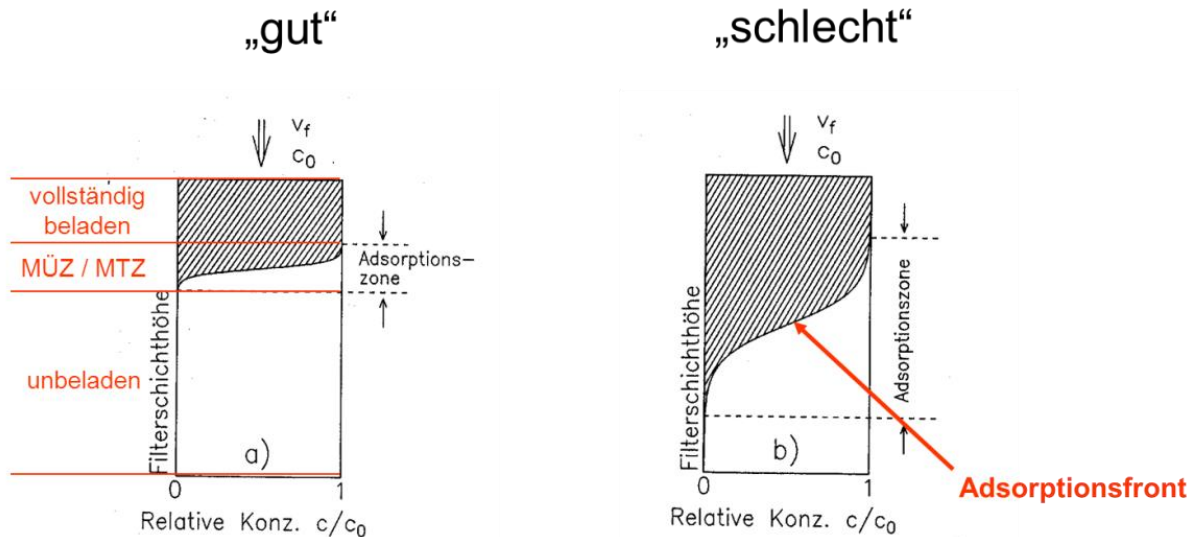
- Pulverkohlen (PAC = powdered activated carbon) weisen einen Durchmesser von weniger als 0,05 mm auf;
- Kornkohlen (GAC = granulated activated carbon) liegen im Durchmesser zwischen 0,5 und 4 mm.

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.

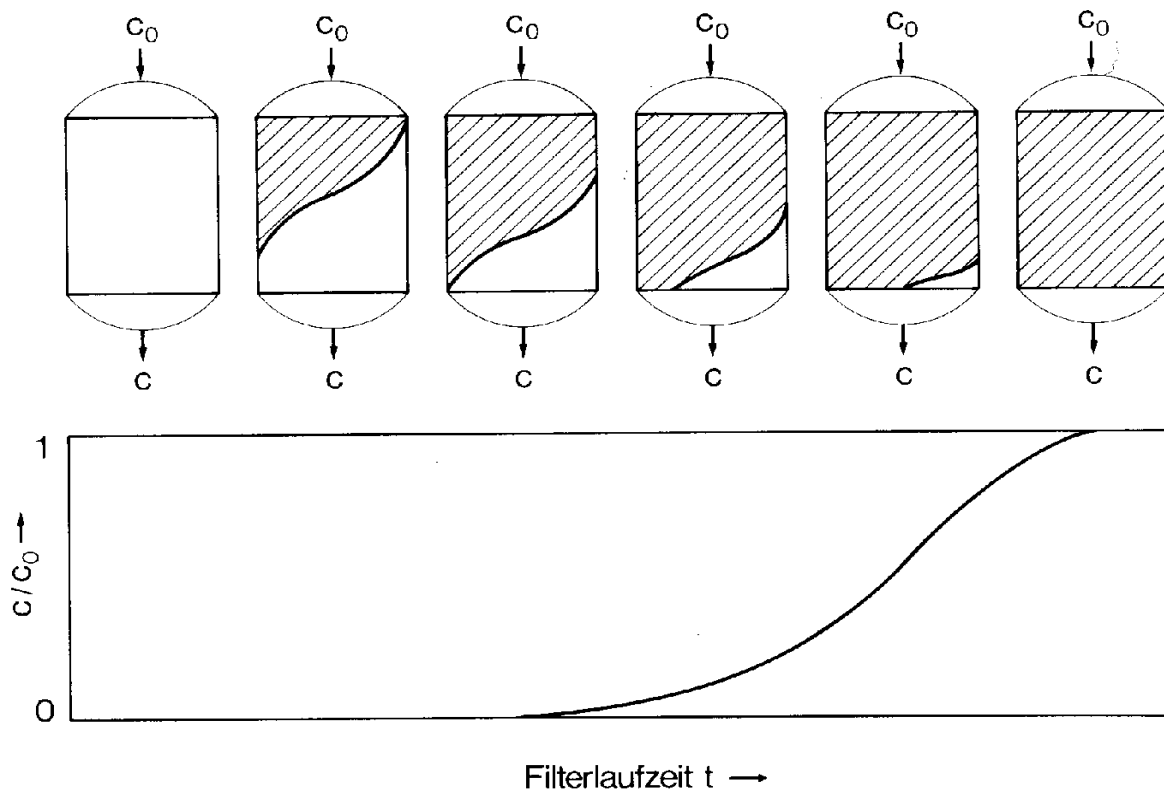


Bild 8: Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit (Sontheimer u. a., 1985)

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

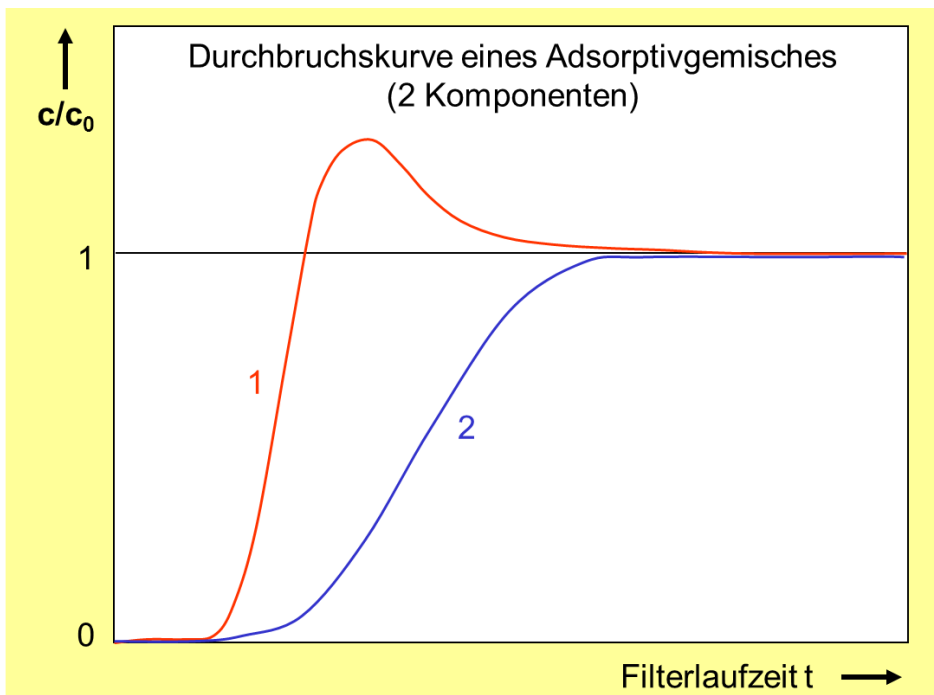


Bild 9: Durchbruchkurve eines Adsorptivgemisches (Worch 2004, modifiziert)

7.2.2 Einsatz von Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination

7.2.2.1 Pulveraktivkohle (PAK)

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 Rest-Adsorptionskapazität 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 g/m³) 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 Bezafirbat, Diclofenac, Naproxen, Fenifibrinsäure, Carbamazepin, Metoprolol, Iohexol, Iomeprol, Iopromid. Die Entnahme liegt bei ca. 10 % für das Antibiotikum Sulfamethoxazol.
- Stellenanteil Adsorptionsstufe ca. 0,65 MA/Monat.

7.2.2.2 Granulierte Aktivkohle (GAK)

Der Einsatz von granulierter Aktivkohle in Festbettfiltern wurde in großtechnischen Versuchen in Nordrhein-Westfalen auf der Kläranlage Düren und der Kläranlage Obere Lutter untersucht.

In Düren wurde in einer vorhandenen Filterkammer die bestehende Schüttung (Zweischichtfilter) gegen granulierten Aktivkohle (GAK) ausgetauscht. Innerhalb eines Forschungsprojektes wurden zwei GAK-Füllungen untersucht (Bornemann u. a., 2012).

Die erste Kohle wies mit 1,4 bis 2,5 mm eine Körnung auf, die der oberen Schicht des ursprünglichen Zweischichtfilters entsprach. Die Füllhöhe betrug 1,2 m. Zusätzlich verblieben 0,4 m des alten Filtermaterials als untere Schicht im Filter. Die zweite GAK hatte mit 0,5 bis 2,5 mm eine feinere Körnung. Die Füllhöhe betrug 1,5 m. Das alte Filtermaterial wurde bis auf die Stüttschicht beräumt.

Die Filterkammer wurde analog zu den restlichen Filtern mit der regulären Filtergeschwindigkeit betrieben. Diese unterliegt der normalen Dynamik des Filterzulaufs. Bei einer Elimination von rund 78 % können für die **erste GAK** folgende ausgetauschte Bettvolumina (BV) angesetzt werden:

Carbamazepin:	500 BV
Diclofenac:	900 BV
Metoprolol:	5.700 BV

Bei der **zweiten Aktivkohle** mit der feineren Körnung wurden folgende Ergebnisse erzielt:

Carbamazepin:	2.500 BV
Diclofenac:	4.000 BV
Metoprolol:	4.600 BV

Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass sich die Rückspülintervalle bei der zweiten Aktivkohle auf 6 h reduzierten. Bei der ersten Kohle unterschied sich die Rückspülhäufigkeit nicht von den restlichen Filtern.

Auf der Kläranlage „Obere Lutter“ wurde eine Filterkammer der bestehenden Filtration mit GAK ausgerüstet (Nahrstedt u. a. 2011). Der Filtration vorgeschaltet ist eine Festbettdenitrifikation. Die Schütthöhe betrug 2,5 m bei einer Filtergeschwindigkeit von 2 m/h. Dies entspricht einer Leerbettkontaktzeit (EBCT) von 75 min. Über eine Laufzeit von ca. 9.000 BV konnten sehr gute Eliminationsgrade für viele Spurenstoffe erzielt werden. Parallel dazu wurden Untersuchungen mit Versuchssäulen durchgeführt, die mit einer Filtergeschwindigkeit von 10 m/h durchflossen wurden. Die EBCT lag damit bei 15 min. Über eine Betriebszeit von etwa 9.000 Bettvolumina konnten für eine Auswahl von Spurenstoffen folgende mittlere Eliminationsgrade erreicht werden:

Ibuprofen:	59 %
Bezafibrat:	77 %
Diclofenac:	79 %
Carbamazepin:	90 %
Metoprolol:	91 %

Für CSB wurde eine mittlere Elimination von 45 % erzielt.

Hinsichtlich der erzielbaren Eliminationsgrade und Standzeiten der Filter wurden mit den nachgeschalteten GAK-Filtern (nach Festbettdenitrifikation) in der Kläranlage „Obere Lutter“ bessere Ergebnisse als mit dem Austausch des Filtermaterials in der bestehenden Filtration, wie in Düren, erzielt.

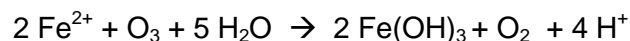
7.3 Ozonung

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 Zwischenprodukte 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.

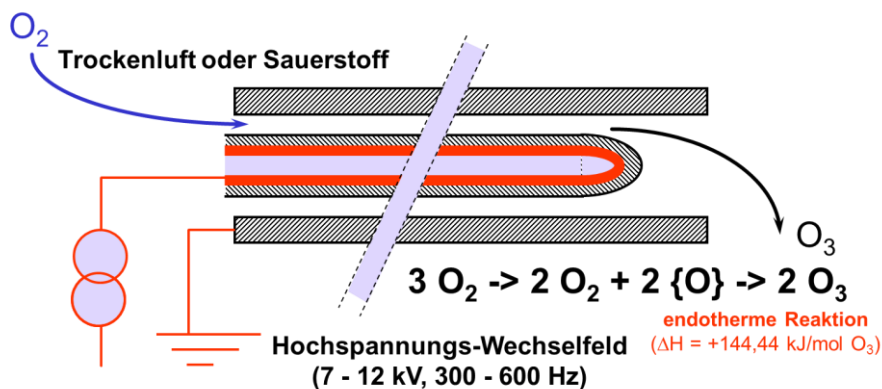


Bild 10: Schema Ozonerzeugung (Gujer 1999, modifiziert)

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. Einbauen 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.

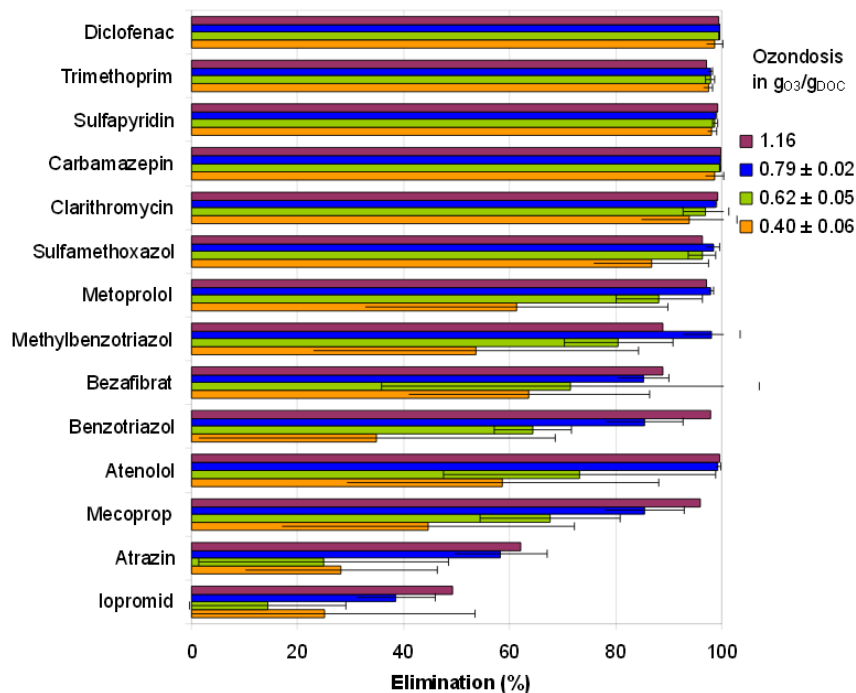


Bild 11: Ergebnisse Elimination Spurenstoffe ARA Regensdorf (Abegglen u. a. 2009)

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 Regensdorf handelte es sich um einen Dyna-Sandfilter, 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 Regensdorf. 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 Eliminationsraten 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

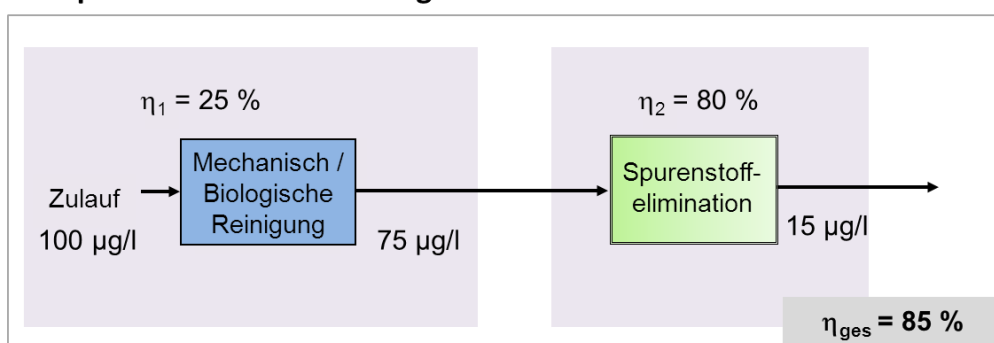


Bild 12: Wirkungsgrade bei Vollstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)

Beispiel Teilstrombehandlung

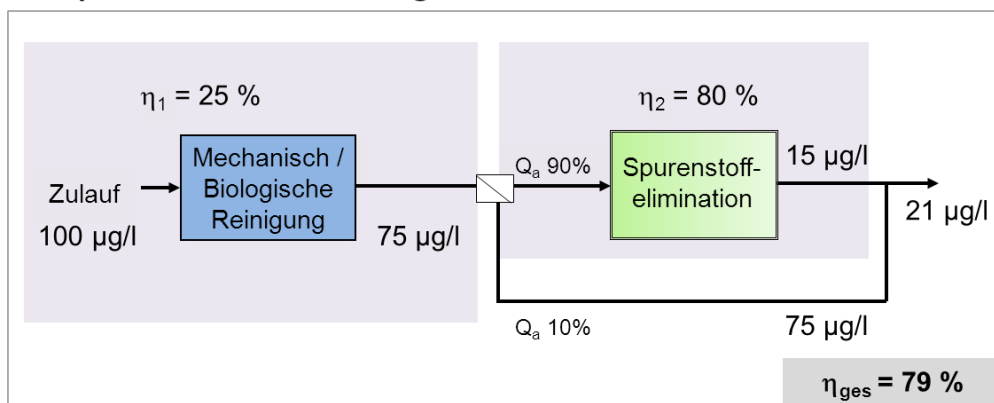


Bild 13: Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)

Die Bemessung der 4. Reinigungsstufe erfolgt auf Basis der Ablaufwerte der Kläranlage Rheine-Nord für den Zeitraum Januar 2013 bis Dezember 2013 (**Kapitel 3**). Für eine Vollstrombehandlung müsste auf der Kläranlage Rheine-Nord eine Kapazität zur Behandlung von 4.493 m³/h vorgehalten werden.

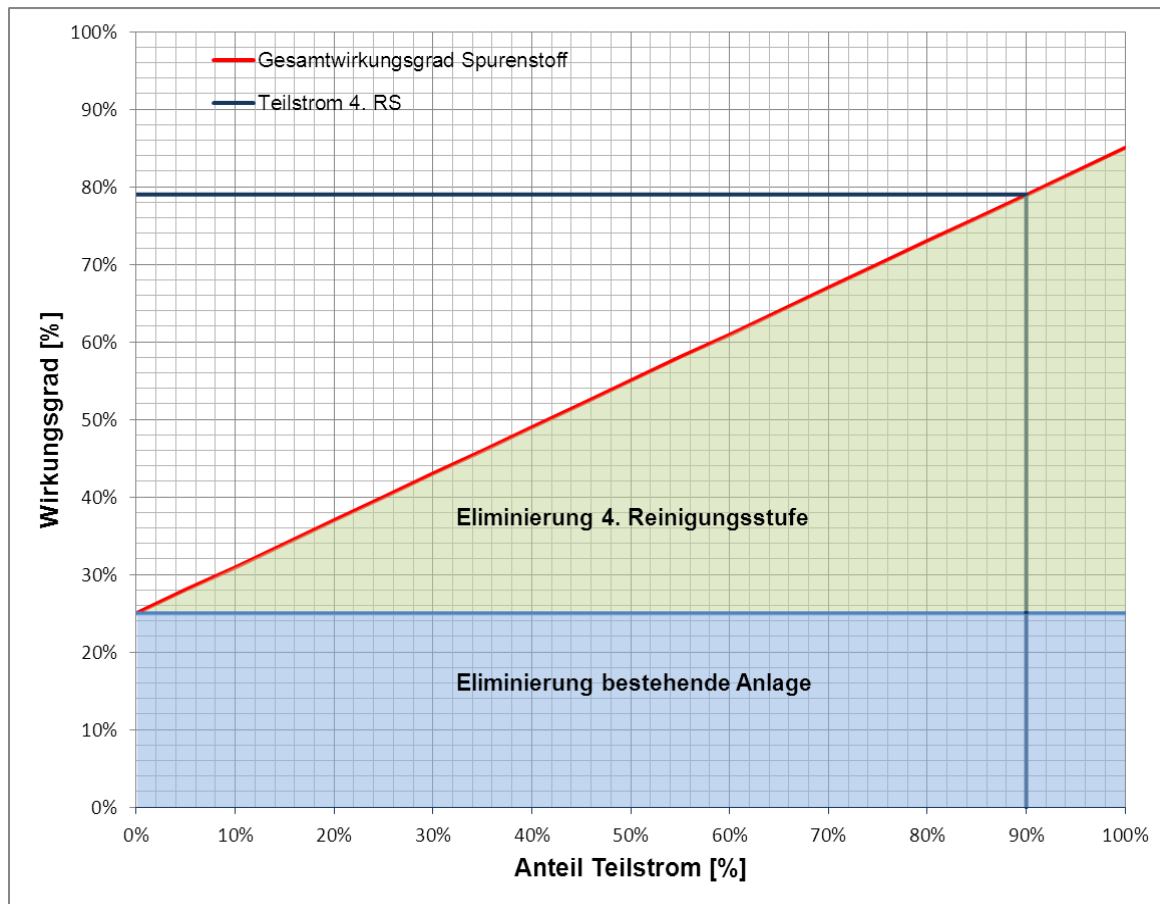


Bild 14: Beispielhaft grafische Darstellung Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung

Bild 15 stellt die Summenhäufigkeit der einzelnen Teilstrommengen dar. Die berechnete Gesamtabwassermenge nach dieser Auswertung beträgt **8.752.920 m³/a (Vollstrom)**. Wenn die Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auf **1.600 m³/h** ausgelegt wird, werden **92,43 %** der gesamten Jahresabwassermenge behandelt; dies entspricht **8.090.400 m³/a**. Unter den gewählten Ansätzen kann somit eine Elimination von 82 % erreicht werden. Die Verfahrensstufe kann so bei einer Behandlung von 92,4 % der Jahresabwassermenge im Vergleich zur Vollstrombehandlung um ca. 64 % kleiner ausgeführt werden.

Bei einer Teilstrommenge von **1.500 m³/h** würden **90,22 %** der Jahresabwassermenge behandelt. Die Stufe könnte hydraulisch um etwa 66 % kleiner ausgeführt werden, als bei einer Auslegung für den Vollstrom. Bei einem Teilstrom von 1.500 m³/h würde eine Abwassermenge von rund **7.896.680 m³/a** in der vierten Reinigungsstufe behandelt werden. Die Teilstrombehandlung wurde basierend auf dem Vorschlag von TUTTAHS & MEYER auf einen Volumenstrom von **1.600 m³/h** (≈ 444 l/s) ausgelegt. Die Mengen beziehen sich auf die eigene Auswertung der 1-h-Werte der Ablaufmessung von 01/2013 bis 12/2013.

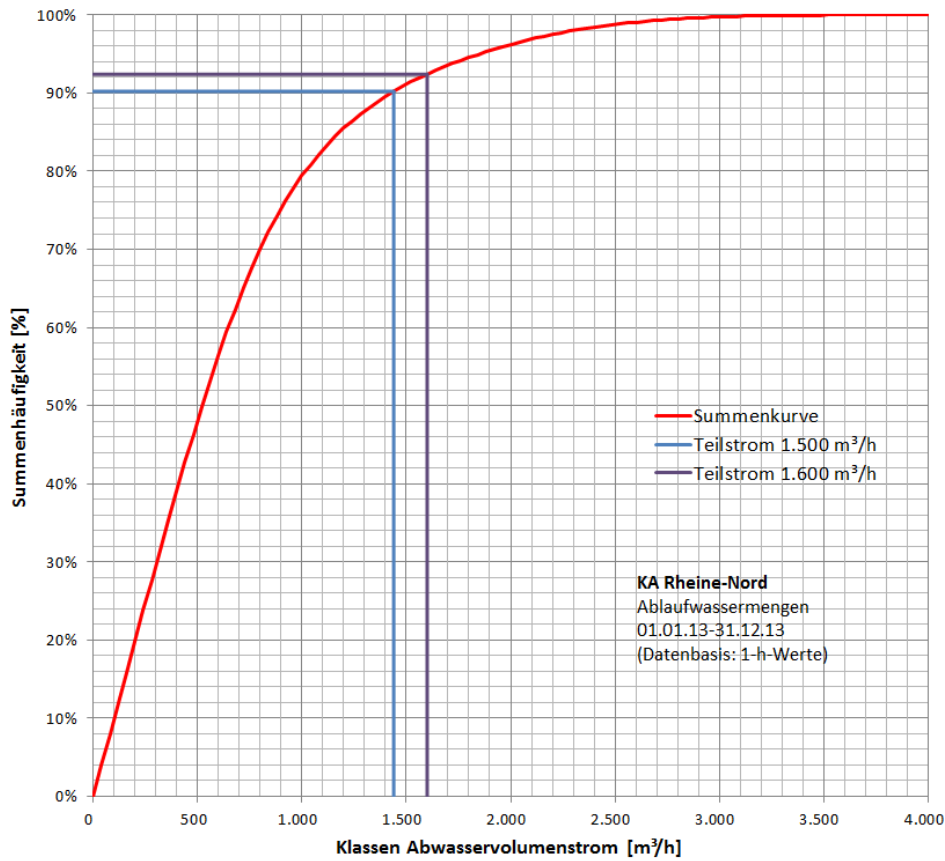


Bild 15: Summenhäufigkeit der behandelten Abwassermenge

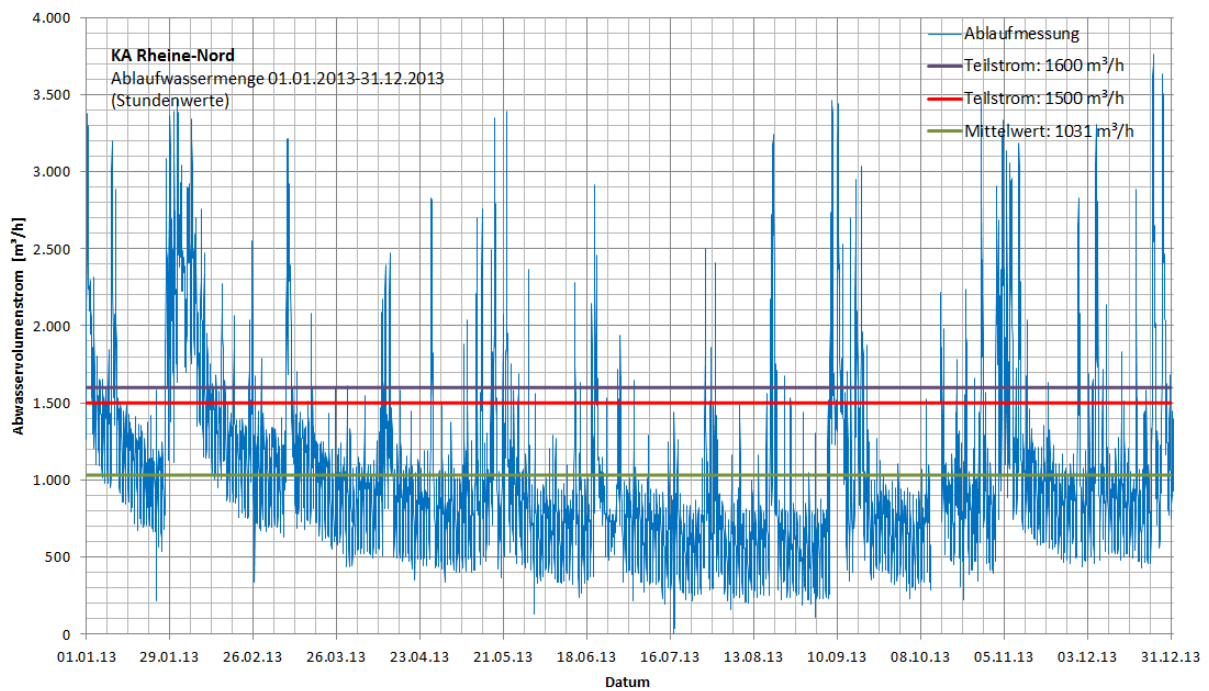


Bild 16: Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination

8.2 Verfahrensfestlegung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die folgenden drei Verfahrenskombinationen untersucht:

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

8.3 Randbedingungen

- Als Baufeld für die 4. Reinigungsstufe stehen Flächen im Westen der Anlage neben der Ablaufmessung sowie zwischen den beiden Belebungsbeckengruppen zur Verfügung. Vom Arbeitgeber wurde ein Belebungsbecken zur Umnutzung für die 4. Reinigungsstufe vorgeschlagen.
- Aufgrund der hohen Wasserspiegellage in den Nachklärbecken soll die 4. Reinigungsstufe so ausgelegt werden, dass sie im freien Gefälle durchfließen wird. Für die Teilung des Abwasserstroms ist anstatt eines Zulaufpumpwerkes, eine Verteilrinne vorgesehen.

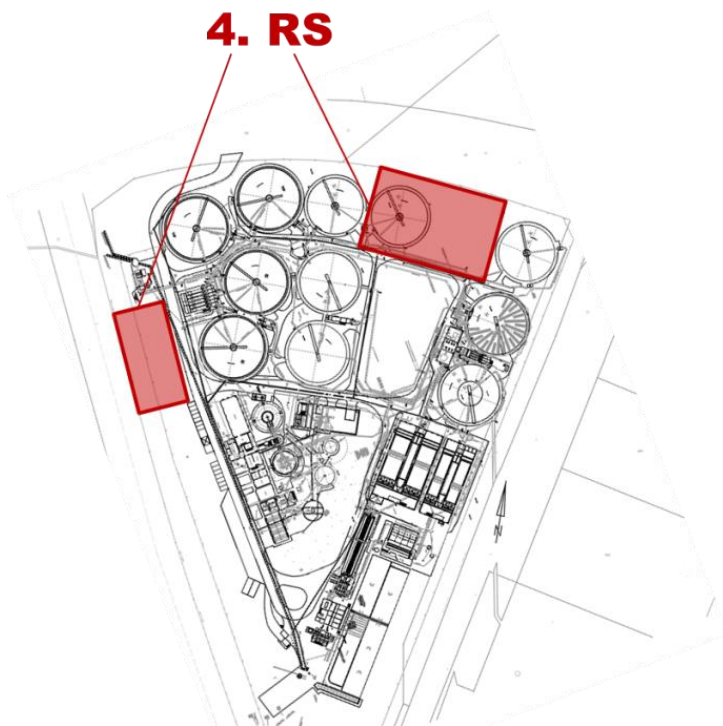


Bild 17: Baufeld 4. Reinigungsstufe

8.3.1 Variante 1: Pulveraktivkohle mit Rücklaufkohle (PAK)

8.3.1.1 Allgemein

Dieses Verfahren wurde, wie schon im **Kapitel 7.2.2.1** 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 ausnutzen zu können.

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

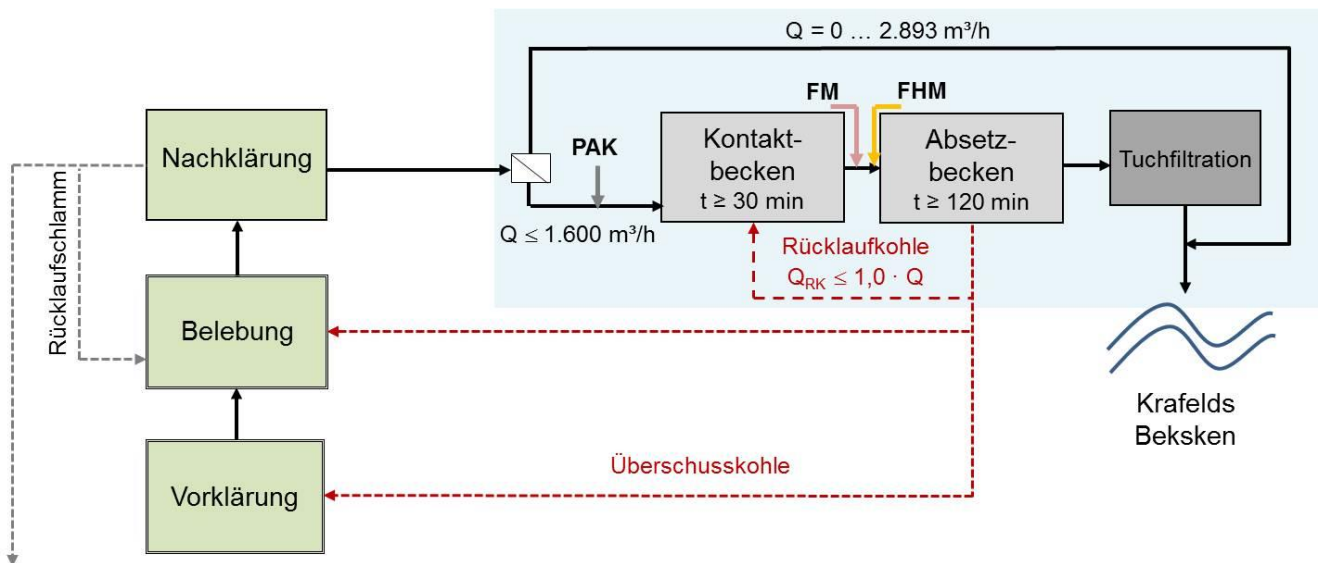


Bild 18: Blockschema Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

Diese Variante hat neben der Elimination der Spurenstoffe auch einen großen Einfluss auf die Parameter CSB, P_{ges} und abfiltrierbare Stoffe im Teilstrom. Insgesamt ist davon auszugehen, dass auch bei diesen Parametern deutlich geringere Ablaufwerte zu erwarten sind. Zu beachten ist, dass jeweils immer nur ein Teilstrom von maximal $1.600 \text{ m}^3/\text{h}$ behandelt wird.

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

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

8.3.1.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt **Blatt 1** der Planunterlagen dar.

Kontaktbecken

Es werden drei Kontaktbecken eingesetzt. Jedes Kontaktbecken ist als quadratisches Becken mit einer Wasserspiegelhöhe von 3,5 m ausgeführt. Bei einer Innenkantenlänge von 10 m ergibt sich ein Volumen von 350 m³ je Kontaktbecken. Die Aufenthaltszeit ist größer als 39 Minuten. Des Weiteren ist die Rücklaufkohleführung auf ein Rückführverhältnis von 1 ausgelegt. Insgesamt ist durch diese Maßnahmen sichergestellt, dass die Adsorptionskapazität der eingesetzten Kohle sehr gut genutzt werden kann. Jedes Kontaktbecken ist mit einem Vertikalrührwerk ausgestattet. Die Kontaktbecken werden in Reihe durchflossen.

Absetzbecken

Das derzeitige Belebungsbecken II wird als Absetzbecken für die PAK-Sedimentation umgenutzt. Da es sich um ein ehemaliges Nachklärbecken handelt, bietet es sich für die Umwidmung an. Der Innendurchmesser des Beckens beträgt 34 m. Die Beckentiefe im 2/3-Punkt liegt bei 3 m. Es ergibt sich ein Gesamtvolumen von 2.655 m³. Damit ergibt sich eine Aufenthaltszeit von 100 Minuten. Dies liegt unterhalb der Bemessungsempfehlung aus Baden-Württemberg von 120 Minuten. Diesem Umstand wird begegnet, indem die Kontaktbecken größer ausgeführt werden (ca. 40 Min. statt 30 Min. Aufenthaltszeit) und die Rücklaufkohleführung auf ein Rücklaufverhältnis von 1 ausgelegt wird.

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

Tuchfiltration

Dem Absetzbecken wird eine Filtrationsstufe (vier Tuchfilter) zur Suspensa-Restentfernung nachgeschaltet. Es wird hier eine Filterfläche von 75 m² je Tuchfilter vorgesehen. Damit ergibt sich eine Gesamtfiltrationsfläche von 300 m². Die Tuchfiltration wurde in Bezug auf die Abtrennung von Aktivkohle in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht. Derzeit wird auf der Kläranlage Lahr die erste Anlage im technischen Maßstab umgesetzt. Vorteile der Tuchfiltration sind der geringe Platzbedarf und die geringen Energiekosten im Betrieb (Rückspülung und hydraulische Verluste) gegenüber Raumfiltern. Zu beachten ist, dass die Filtertücher in regelmäßigen Abständen (ca. alle 5 a) erneuert und jährlich einer Intensiv-Reinigung unterzogen werden müssen. Im **Bild 19** ist ein Tuchfilter im Schnitt dargestellt.

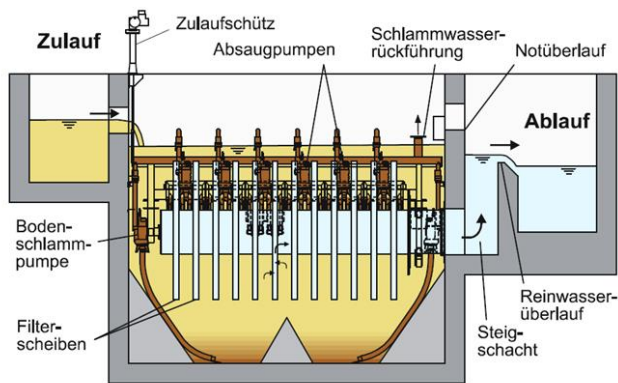


Bild 19: Schnitt eines Tuchfilters, Ausführungsbeispiel (Quelle: Mecana)

PAK-Silo

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

Flockungs- und Flockungshilfsmittel

Als Flockungsmittel wird die Dosierung von FeCl₃ vorgesehen. Das Fällmittel wird der bestehenden Anlage auf der Kläranlage entnommen. Die bestehende Dosieranlage wird dazu um eine zusätzliche Dosierpumpe erweitert. Die Bereitungsanlage für das Flockungshilfsmittel wird im Bereich des PAK-Silos errichtet.

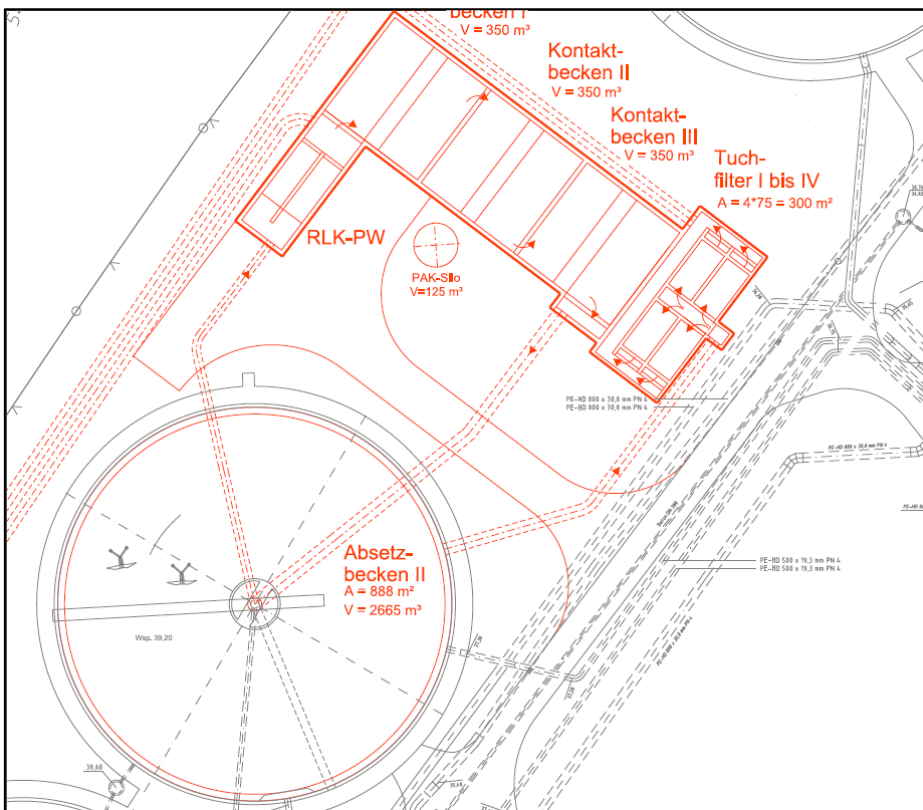


Bild 20: Lageplanausschnitt Variante 1: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

8.3.2 Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle (GAK)

8.3.2.1 Allgemeines

Der ausgewählte Teilstrom von maximal 1.600 m³/h wird über Aktivkohlefilter geführt.

Die Filterstufe wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

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

Folgende Werte wurden gewählt:

Anzahl Filter:	6 Stück
Bethöhe GAK:	2,5 m
Leerbettkontaktzeit (EBCT):	30 min
Filterfläche gesamt:	330 m ²

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

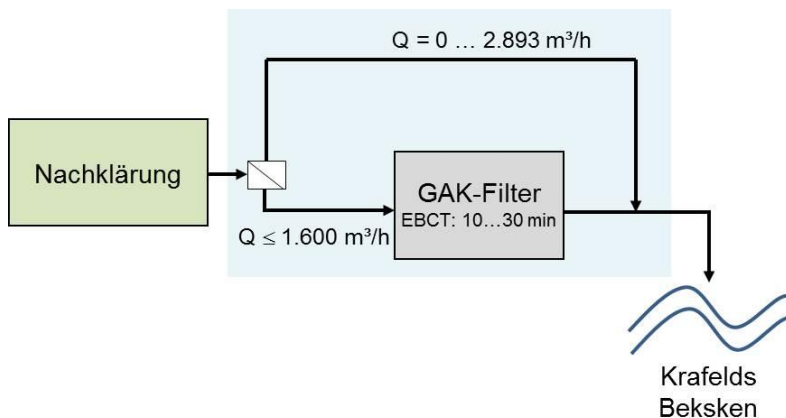


Bild 21: Blockschema Variante 2: GAK-Filtration

Zu beachten ist, dass die Aktivkohlefilter neben der adsorptiven Wirkung auch Suspensa zurückhalten. Daher wird von einer täglichen Spülung der Filter ausgegangen. Die Rückspülgeschwindigkeiten sind geringer als bei Mehrschichtfiltern.

Sontheimer u. a. (1985) nennen folgende Werte:

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

Die Filter werden für eine Durchlaufspülung ausgelegt. Die Spülwasserableitung erfolgt über eine Rinne. Die Standzeit der granulierten Aktivkohle in den Filtern wird mit 8.000 Bettvolumina (BV) angesetzt. Dieser Wert ist vergleichsweise günstig für das Verfahren gewählt, wenn man bedenkt, dass die Adsorption der Spurenstoffe in Konkurrenz zur Restorganik erfolgt, die noch im Ablauf der Nachklärung enthalten ist.

8.3.2.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt **Blatt 2** der Planunterlagen dar.

Filterblock

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

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

Spülwasserspeicher/Spülabwasserspeicher

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

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

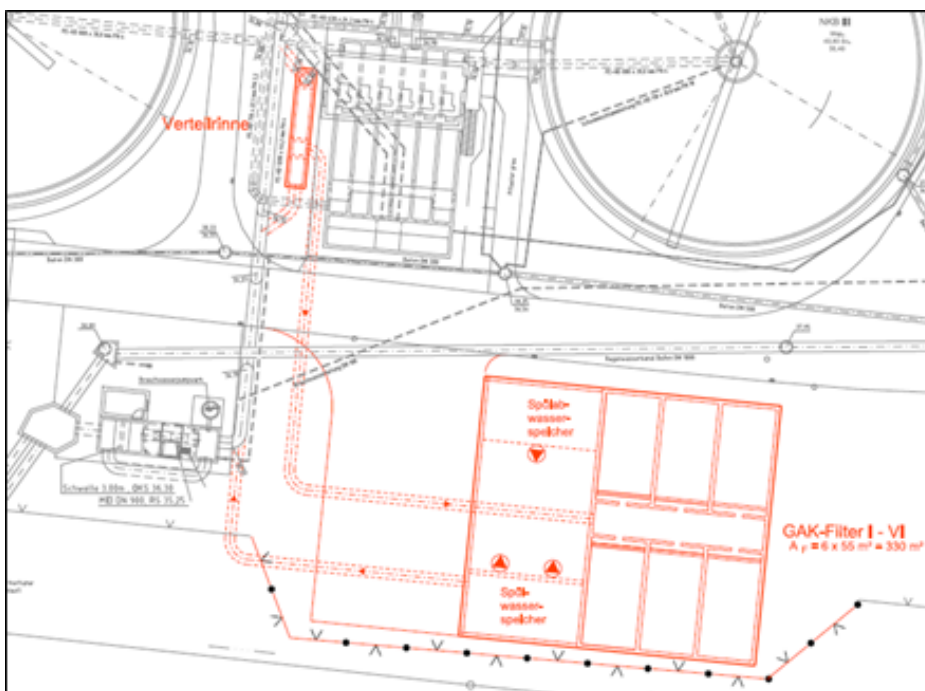


Bild 22: Lageplanausschnitt Variante 2: GAK-Filtration

8.3.3 Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter

8.3.3.1 Allgemeines

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

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

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

Ozondosis: 2...10 g/m³

Kontaktzeit im Reaktionsbehälter: 10...30 min

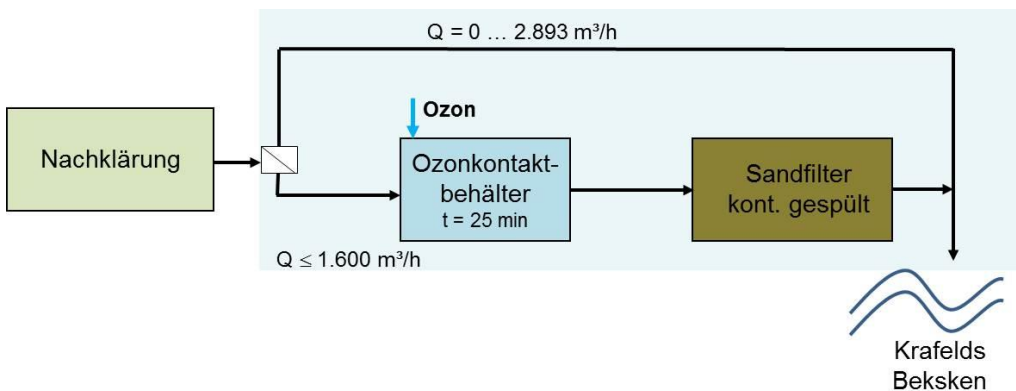


Bild 23: Blockschema Variante 3

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 Betrieb der Anlage ein Optimierungspotenzial ergibt.

8.3.3.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt **Blatt 3** der Planunterlagen dar. Die Anlagenteile gliedern sich in Ozon-Kontaktbecken, Sandfilter sowie Ozon- und Sauerstofftankanlagen.

Die Ozonung mit Ozonerzeuger und Kontaktbecken ist zweistraßig ausgeführt. Bei geringem Durchfluss (z. B. in der Nacht) kann eine Straße außer Betrieb genommen werden.

Kontaktbehälter

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

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

Ozonerzeugung

Die Ozonerzeuger weisen eine Leistung von $2 \times 8.000 \text{ g/h}$ auf. Als Prozessgas ist flüssiger Sauerstoff vorgesehen. Die Kühlung erfolgt über einen Nass/Nass-Wärmeübertrager, der ebenfalls im Container untergebracht ist. Das benötigte Kühlwasser im Sekundärkreislauf wird über zwei Pumpen (eine Reserve) bereitgestellt. Die Erzeuger werden mit der zugehörigen Schaltanlage in Containern untergebracht.

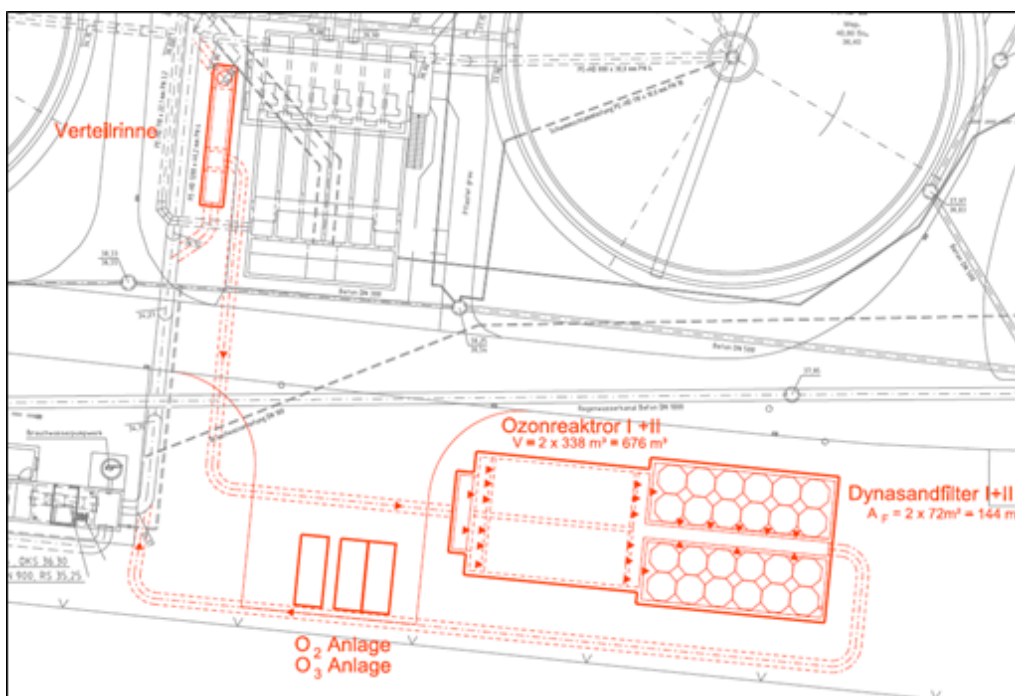


Bild 24: Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit nachgeschaltetem Dyna-Sandfilter

Sandfilter (kontinuierlich gespült)

Als Nachreaktor wird ein kontinuierlich arbeitender Sandfilter (Dyna-Sandfilter) eingesetzt (siehe **Bild 25**). Das Sandbett im Filter wird von unten nach oben durchströmt. Die im Abwasser enthaltenen Suspensa werden im Sand zurückgehalten. Über eine Mammutpumpe wird der verunreinigte Sand aus dem Filterbett von unten nach oben transportiert. In einem Sandwäscher wird dieser Sand mit Filtrat gereinigt. Der gereinigte Sand fällt auf das Filterbett zurück. Das anfallende Schlammwas-

ser aus dem Sandwäscher fließt über den Waschwasserablauf ab. Für den Betrieb der Mammutpumpe ist eine Druckluftversorgung (Kompressor) notwendig. Rückspülpumpen werden nicht benötigt. Es sind insgesamt 24 Filter aufgeteilt auf zwei Straßen vorgesehen. Jeder Filter weist eine Filterfläche von 6 m² auf, sodass sich eine Gesamterfläche von 144 m² ergibt. Jeweils 12 Filter werden in ein Betonbecken eingebaut. Der Zulauf auf die einzelnen Filterstraßen erfolgt über Gerinne. Jede Straße kann über ein Schütz abgeschiebert werden.

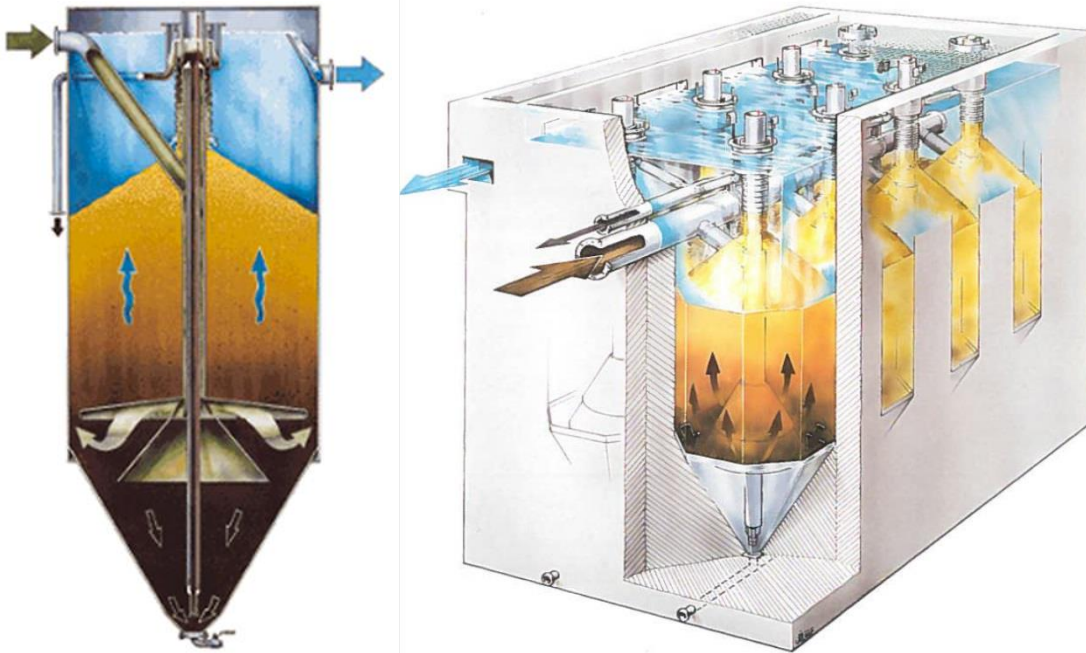


Bild 25: Dyna-Sandfilter: links: Prinzipdarstellung, rechts: Anordnung im Betonbecken (Quelle: Nordic-Water)

8.4 Ergebnisübersicht Varianten

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

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 (Investitions- und Betriebskosten) 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 EMSR-Technik, ermittelt. Die genaue Zusammenstellung enthält **Anlage 1**.

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 mit Sandfilter
1-1	Bautechnik	EUR	1.161.561,62	1.309.041,00	1.125.323,18
1-2	Erdverlegte Rohrleitungen	EUR	235.943,40	66.178,20	72.349,20
2	Maschinenteknik	EUR	1.804.961,89	1.367.520,00	1.665.930,00
3	EMSR-Technik	EUR	605.488,57	683.760,00	499.779,00
Summe Herstellungskosten, netto		EUR	3.807.955,47	3.426.499,20	3.363.381,38
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	761.591,09	685.299,84	672.676,28
Summe Baukosten, netto		EUR	4.569.546,56	4.111.799,04	4.036.057,66
Mehrwertsteuer		EUR	868.213,85	781.241,82	766.850,95
Summe Baukosten, brutto		EUR	5.437.760,41	4.893.040,86	4.802.908,61
Anteil			113%	102%	100%

Am teuersten ist Variante 1. Für Variante 3 sind die Investitionskosten am günstigsten, gefolgt von Variante 2.

9.3 Betriebskosten

Für die Berechnung der Betriebskosten wurden folgende Werte mit TBR abgestimmt (Stand 2013):

Strombezugskosten:	0,163 EUR/kWh, netto
Entsorgungskosten (Transport + Mitverbrennung):	46,58 EUR/Mg Nassschlamm, netto
Entwässerungsergebnis:	26 %
	180 EUR/Mg TS, netto
Entwässerungskosten Schlamm:	30 EUR/Mg Nassschlamm, netto

Folgende Werte wurden seitens T&M angenommen:

Personal:	40.000 EUR/(MA·a), netto
Pulveraktivkohle:	1.500 EUR/Mg, netto
Granulierte Aktivkohle:	1.300 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 1** herangezogen.

Für die Variante 1 ist die Dosierung von Flockungs- bzw. Fällmitteln (Me-Salzen) erforderlich. 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 Sinfeldingen 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 30 EUR/Mg Nassschlamm, netto berücksichtigt. Bei Variante 1 ist in jedem Fall der Einsatz von Flockungshilfsmitteln notwendig. Es wurden spezifische Kosten von 3.500 EUR/Mg Wirksubstanz 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
Maschinentechnik:	4,0 % der Investitionskosten/a
EMSR-Technik:	2,0 % der Investitionskosten/a

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

	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonung + SF
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	124.283,30	102.128,19	112.609,50
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	292.669,37	529.304,26	240.876,62
Summe Betriebskosten, netto		EUR/a	416.952,67	631.432,45	353.486,12
Mehrwertsteuer: 19%		EUR/a	79.221,01	119.972,17	67.162,36
Summe Betriebskosten, brutto		EUR/a	496.173,68	751.404,61	420.648,49
Anteil			118%	179%	100%

Die Betriebskosten liegen für Variante 1 bei rund 500.000 und für Variante 2 bei 750.000 EUR/a, brutto. Die Betriebskosten für Variante 3 (Ozonung + SF) sind mit ca. 420.000 EUR/a, brutto am niedrigsten.

9.4 Jahreskosten

Die Nutzungsdauern wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber wie folgt angenommen:

Betrachtungszeitraum	39 a
Nutzungsdauer Bautechnik	39 a
Nutzungsdauer Erdverlegte Rohrleitungen	39 a
Nutzungsdauer Maschinenteknik	13 a
Nutzungsdauer E-/MSR-Technik	13 a
Realzinssatz	3,26 %

Die Nutzungsdauer der erdverlegten Rohrleitungen wird im Rahmen dieser Studie mit 39 a angesetzt. Bei den TBR wird von einer Nutzungsdauer von 67 a ausgegangen. In der Studie wurde mit 39 a ein Wert gewählt, der der Nutzung der Bautechnik entspricht. Um die Berechnung der Kapitalkosten übersichtlich auszuführen, ist es notwendig, dass die jeweiligen Nutzungsdauern ein gemeinsames Vielfaches darstellen. Daraus ergeben sich nach dem Ansatz des dynamischen Kostenvergleiches unter Berücksichtigung der kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten folgende Jahreskosten für die Varianten 1 bis 3:

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

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

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

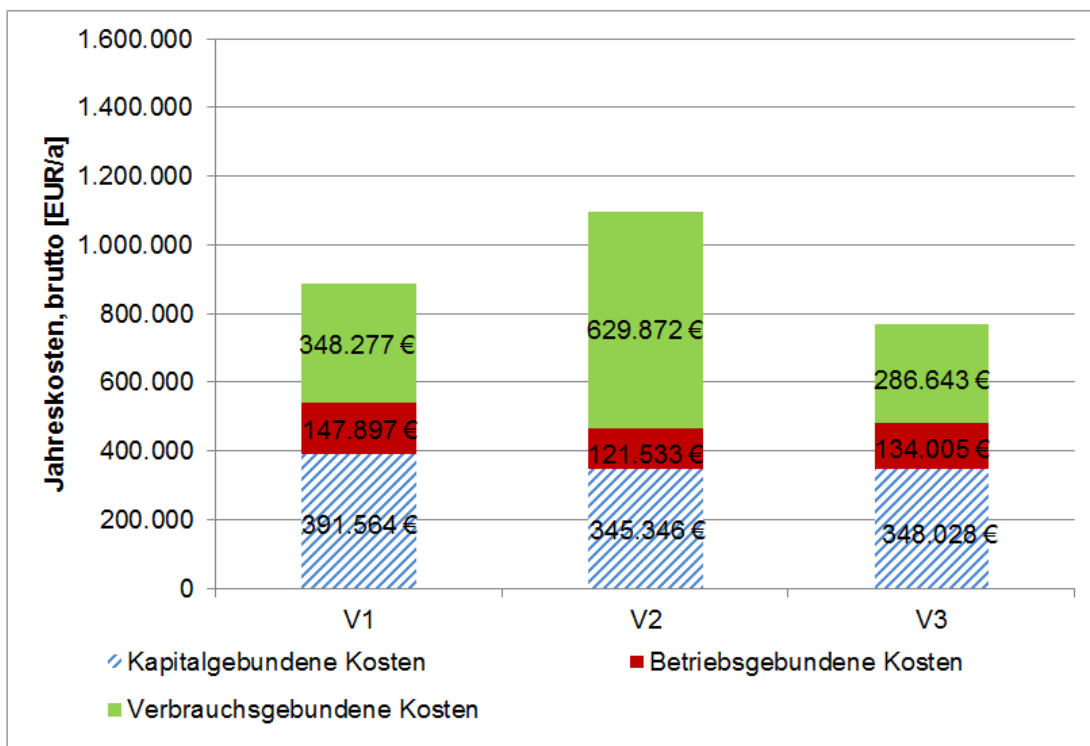


Bild 26: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten

Aus der im **Bild 26** dargestellten Aufteilung der Jahreskosten ist erkennbar, dass Variante 1 den höchsten Anteil an kapitalgebundenen Kosten aufweist.

9.5 Einfluss der Förderung auf die Jahreskosten

Das Land Nordrhein-Westfalen fördert die Umrüstung von öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen mit innovativen Reinigungsverfahren. Auf der Basis der Förderrichtlinien „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung“ werden Maßnahmen zur Elimination von Mikroschadstoffen bis zu 70 % gefördert. Für das Jahr 2015 ist mit einer 60%igen Förderung zu rechnen. Bei einer Förderung der Erstinvestition reduzieren sich die Jahreskosten aller Varianten (siehe **Bild 27**).

Tabelle 5: Zusammenstellung der Jahreskosten mit und ohne 60%iger Förderung

		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.		Variante 2 GAK-Filtration		Variante 3 Ozonung + Sandfilter	
		ohne Förderung	mit Förderung Erstinvest 60%	ohne Förderung	mit Förderung Erstinvest 60%	ohne Förderung	mit Förderung Erstinvest 60%
Summe Projektkostenbarwerte	EUR	13.011.949	10.270.221	15.702.232	13.235.153	11.284.670	8.863.036
KAFKR (Kapitalwiedergewinnungsfaktor)		0,06278		0,06278		0,06278	
Jahreskosten, netto	EUR/a	816.889	644.764	985.785	830.902	708.451	556.421
Mehrwertsteuer: 19%	EUR/a	155.209	122.505	187.299	157.871	134.606	105.720
Summe Jahreskosten, brutto	EUR/a	972.098	767.269	1.173.084	988.773	843.056	662.141
Anteil (ohne Förderung)	%	115%		139%		100%	
Anteil (mit Förderung)	%	116%		149%		100%	

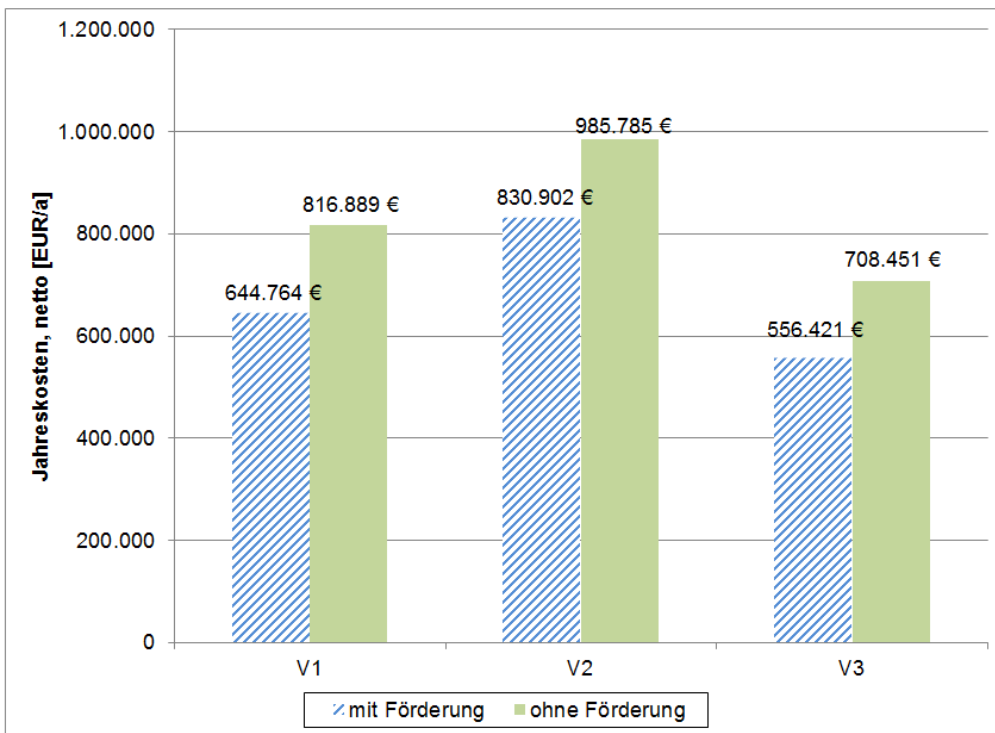


Bild 27: Vergleich Jahreskosten mit und ohne Förderung

9.6 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 0,2 EUR/kWh, netto (0,23 EUR/kWh, brutto),
- Steigerung Bezugskosten für Aktivkohle (PAK) und Flüssigsauerstoff um 10 %,
- Reduzierung Dosierung Pulverkohle und Ozon um 10 %.

In **Tabelle 6** sind die prozentualen Steigerungen bzw. Reduzierungen der Betriebskosten 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 Betriebskosten von rund 6 % bzw. 21.700 EUR/a, netto. Bei Variante 2 (GAK) ist die Kostensteigerung mit 2.500 EUR/a, netto am geringsten; dies entspricht einer Steigerung von 0,4 %. Die Betriebskosten erhöhen sich bei Variante 1 (PAK) um 5,7 % bzw. um 23.800 EUR/a, netto.

Die **Steigerung der Bezugskosten** um 10 % für die Aktivkohle und den Flüssigsauerstoff steigert die Betriebskosten von Variante 1 und 3 um 11.900 EUR/a, netto bzw. 12.900 EUR/a, netto. Die Preissteigerung hat bei Variante 2 mit rund 51.300 EUR/a, netto den größten Einfluss. Bei den Jahreskosten ergeben sich so Steigerungen von 8,1 % bei Variante 2 (Ozonung + Sandfilter) sowie 2,8 % und 3,6 % bei den Varianten 1 und 3.

Die **Reduzierung der Dosiermengen** um etwa 20 % hat große Einflüsse auf die Betriebskosten. Bei Variante 1 (PAK) würden durch die Reduzierung der Aktivkohlemenge die Betriebskosten um ca. 33.600 EUR/a, netto (-8 %) sinken. Bei der Variante 3 (Ozonung + Sandfilter) würde sich bei der Reduzierung der Ozondosis von 7 mg/l auf 5,6 mg/l eine Einsparung von rund 42.800 EUR/a, netto (-12,1 %) ergeben. Die Verlängerung der GAK-Standzeit von 8.000 BV auf 9.600 BV führt zu einer Senkung der Betriebskosten für Variante 2 um rund 85.500 EUR/a, netto (-13,5 %).

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

Tabelle 6: Prozentuale Erhöhung bzw. Verringerung der Betriebskosten unter sensitiver Betrachtung der Energie- und Bezugskosten sowie Einsatzmenge

	Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonung + Filtration
Energiekosten (+20%)	5,705%	0,402%	6,131%
Bezugskosten (+10%)	2,841%	8,129%	3,655%
Einsatzmenge (-20%)	-8,068%	-13,548%	-12,102%

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 7: Bewertungsmatrix für die Varianten 1 bis 3

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

Wertung nach Punkten
(steigende Punkte → bessere Wertung)

1 = ungenügend
5 = sehr gut

Die **Jahreskosten** werden mit einer Wichtung von 30 % eingestuft. Wie schon im **Kapitel 9.4** dargestellt, sind die Jahreskosten bei Variante 3 (Ozonung + Sandfilter) am geringsten, bei der Variante 2 (GAK) am teuersten. Die Varianten 1 und 3 bekommen aufgrund der geringen Kosten vier bzw. fünf Punkte und die Variante 1 nur 2 Punkte.

Die **Reinigungsleistung P_{ges}** und **CSB** wurde für die KA Rheine-Nord ebenfalls mit 30 % gewichtet. Sehr gute Ergebnisse hat die Variante 1 (PAK mit RLK) in Sindelfingen für P_{ges} erzielt. Bei den anderen Varianten ist auch eine geringe Reduktion von den Parametern CSB und P_{ges} zu erwarten. Daher werden fünf Punkte für Variante 1 und vier Punkte für die Varianten 2 und 3 vergeben.

Die **Bildung von Transformationsprodukten** 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. Dies erfolgt auch in der Variante 3. Um der besonderen Bedeutung dieses Punktes Rechnung zu tragen, wurde die Ozonvariante hier mit vier Punkten bewertet. Variante 1 und Variante 2 (wo keine Abbauprodukte entstehen) bekamen fünf Punkte.

Für die vorgestellten Varianten ist die Situation hinsichtlich **Erfahrungen und Referenzen** ähnlich. 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. Auch für die Ozonung liegen schon einige Erfahrungen aus Referenzanlagen vor (z. B. Regensdorf, Duisburg-Vierlingen, Bad Sassendorf). Daher werden alle Varianten mit fünf Punkten bewertet.

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 Varianten 2 und 3 werden ebenfalls mit vier Punkten bewertet.

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 vier Punkten bewertet. Die Variante 3 folgt und erhält ebenfalls vier Punkte, da die Abweichungen gering sind. Die Variante 2 reagiert am empfindlichsten auf Kostensteigerungen. Deshalb werden hier drei 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 4,50 Punkten am besten ab. Gefolgt von Variante 3 (Ozonung + Sandfilter) mit 4,40 Punkten. Die Variante 2 (GAK) hat mit 3,50 Punkten die niedrigste Bewertung.

11 Zusammenfassung

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

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

Variante 1: Pulverkohledosierung mit Rücklaufkohle,

Variante 2: GAK-Filtration,

Variante 3: Ozonierung mit nachgeschaltetem Sandfilter.

Die ausgewählten Varianten wurden auf ihre Umsetzbarkeit geprüft und zeichnerisch in Lageplanausschnitten dargestellt. Basierend auf den Abschätzungen der Betriebs- und Investitionskosten wurden die Jahreskosten ermittelt. Die Bewertung der einzelnen Varianten erfolgte anhand einer Entscheidungsmatrix, in der neben den Jahreskosten noch weitere Kriterien berücksichtigt wurden. Maximal konnte eine Punktzahl von fünf Punkten erreicht werden.

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

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

Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) lag in der Bewertungsmatrix auf dem ersten Rang. Sie stellt das derzeit verbreitetste Verfahren zur Spurenstoffelimination dar (in Baden-Württemberg derzeit sieben Anlagen in Betrieb, weitere in Planung und Bau). Neben der Pulverkohle wird in diesem Verfahren

noch Flockungs- und Flockungshilfsmittel dosiert. Auf der einen Seite führt dies zu einem erhöhten Betriebsaufwand; auf der anderen Seite kann damit auch direkt auf eine Veränderung der Rohwasserbeschaffenheit bzw. der Ablaufziele reagiert werden. Die Erfahrungen aus Baden-Württemberg zeigen, dass ein sehr sicherer Betrieb möglich ist.

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

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

Die Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter (Variante 3) lag in der Bewertungsmatrix auf dem zweiten Platz. Die Jahreskosten dieses Verfahrens sind stark von der angewandten Ozondosis abhängig. In der Berechnung wurde derzeit von einer vergleichsweise hohen Dosis ausgegangen. Sollte sich zeigen, dass diese reduziert werden kann, so wird dieses Verfahren wirtschaftlich noch interessanter. Die weiteren Forschungsergebnisse hinsichtlich der Bildung von Transferprodukten sollten in die Entscheidungsfindung einfließen. Der Einsatz von Ozon bedingt einen hohen Energiebedarf auf der Kläranlage für die Erzeugung des Ozons. Damit reagieren die Ozonvarianten generell sensitiver auf Kostensteigerungen beim Strombezug.

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

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

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

Gujer 1999

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

Herbst u. a. 2011

Herbst, H.; Kaufmann, M.; Türk, J.; Launer, M.: Abwasserzonierung 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**

TBR**Kläranlage Rheine-Nord****Projekt:****Studie 4. Reinigungsstufe****Projektnummer:****1539 001****Variante:****PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung****Auslegungsdaten Hydraulik**

<i>Gesamtzufluss Kläranlage</i>			
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q _t	752,8 l/s 2.710 m ³ /h	
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q _m	1248,1 l/s 4.493 m ³ /h	
Jahresabwassermenge Auswertung Studie		8.752.920 m ³ /a	
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>			
Min. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q _{Teil,min}	100 m ³ /h	
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q _{Teil,max}	1600 m ³ /h 444 l/s	
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q _{Teil,a}	7.896.680 m ³ /a	
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q _{Teil,d}	21.635 m ³ /d	

Auslegung Kontaktbecken

<i>Vorgaben</i>			
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t _{a,min}	30 min	
<i>Bemessung</i>			
erforderliches Gesamtvolumen KB	V _{KB,erf,ges}	624,0 m ³	
Anzahl Becken	n _{KB,ist}	3	
Kantenlänge Becken	l _{KB,ist}	10,00 m	
Höhe Wasserspiegel	h _{WS,KB,ist}	3,50 m	
Volumen eines KB	V _{KB,ist,n}	350,0 m ³	
Gesamtvolumen KB	V _{KB,ist,ges}	1050,0 m ³	
<i>Nachweise bezogen auf Q_{Teil,max}</i>			
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t _{a,ist}	39,38 min	

Auslegung Rührwerk Kontaktbecken

<i>Vorgaben</i>			
Energieeintrag		3,00 W/m ³	
Anzahl Rührwerke	n _{RW}	3	
Laufzeit, anteilig		24 h/d	
<i>Bemessung</i>			
Leistungsbedarf, gesamt	P _{RW,KB,ges}	64,90 kW	
Energiebedarf Rührwerke		1558 kWh/d	
Energiebedarf Rührwerke, Jahr		568.561 kWh/a	

Auslegung Rücklaufkohlepumpwerk

<i>Vorgaben</i>			
Rückführverhältnis	RV	1,00	
Förderhöhe, abgeschätzt	h _{gesch}	1,0 m	
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m ³ ·m)	
<i>Bemessung</i>			
Volumenstrom Rücklaufkohle	Q _{RLK}	1600 m ³ /h	
Energiebedarf		55.277 kWh/a	

TBR**Kläranlage Rheine-Nord****Projekt:****Studie 4. Reinigungsstufe****Projektnummer:****1539 001****Variante:****PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung****Auslegung Überschussskohleentnahme**

<i>Vorgaben</i>			
Schlammmenge je Straße	V_ÜS,Str	49,78	m ³ /d
angenommene Laufzeit		5,00	h/d
Gewählte Fördermenge		9,00	m ³ /h
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch	5,00	m
spez. Energiebedarf		7	Wh/(m ³ ·m)
<i>Bemessung</i>			
berechnete Fördermenge	Q_ber	8,98	m ³ /h
Gewählte Fördermenge	Q_gew	9,00	m ³ /h
Energiebedarf		639	kWh/a

Pulverkohledosierung

<i>Vorgaben</i>			
min. Dosierkonzentration	c_PAK,min	5,00	g/m ³
max. Dosierkonzentration	c_PAK,max	10,00	g/m ³
max. Dosierung		16,00	kg/h
<i>gewählte Dosiersysteme</i>			
1 Dosiergerät, (Ger. 1)	m*_Dos,Ger_1	16,00	kg/h
1 Dosiergerät, (Ger. 2)	m*_Dos,Ger_2	8,00	kg/h
Regelbereich je Dosiergerät		0,10	
min. c_PAK bei Q_Str,min (Ger. 1)		16,00	g/m ³
max. c_PAK bei Q_Str,max (Ger. 1)		10,00	g/m ³
min c_PAK bei Q_Str,min (Ger. 2)		8,00	g/m ³
max c_PAK bei Q_Str,max (Ger. 2)		5,00	g/m ³
<i>PAK-Bedarf</i>			
mittlere PAK-Dosierkonzentration im Jahr	c_PAK,a	10,00	g/m ³
Tagesbedarf	m_PAK,d	216,35	kg/d
Jahresbedarf	m_PAK,a	78,97	Mg/a
<i>PAK-Silo</i>			
gewähltes Silo-Volumen	V_Silo	125,00	m ³
Nutzvolumen	V_Silo,Nutz	50,00	m ³
Lagerungsdichte PAK	rho_B,PAK	400,00	kg/m ³
Masse PAK, nutzbar	m_PAK,nutz	20,00	Mg
Intervall Nachfüllung Silo		0,25	a

Pumpen Treibwasser für PAK-Dosierung

<i>Vorgaben</i>			
Volumenstrom	Q_Treib	5	m ³ /h
Förderhöhe, abgeschätzt (inkl. Verluste)	h_gesch	55	m
spez. Energiebedarf		7	Wh/(m ³ ·m)
Laufzeit, anteilig		24	h/d
<i>Bemessung</i>			
Energiebedarf		16.863	kWh/a

TBR**Kläranlage Rheine-Nord****Projekt:****Studie 4. Reinigungsstufe****Projektnummer:****1539 001****Variante:****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 FeCl im FM		0,138	kg Fe/kg FM
<i>FM-Bedarf</i>			
Tagesbedarf	m_FM,d	627	kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	229	Mg/a
<i>FM-Tank</i>			
Dichte FM	rho_FM	1.430	kg/m ³
FM-Mengenbedarf pro Jahr		160	m ³ /a

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	4,3	kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	1,58	Mg/a

Auslegung Tuchfiltration

<i>Vorgaben</i>			
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
<i>Bemessung</i>			
erforderliche Filterfläche, gesamt nach V_F,max	A_F,erf,ges,vF	200	m ³
erforderliche Filterfläche, gesamt nach BA,max	A_F,erf,ges,BA	224	m ³
Anzahl Filterstraßen	n_Filt,ist	4	
<i>gewählter Filtertyp (Beispielfabrikat)</i>			
<i>Meccana SF 15/75</i>			
Anzahl Scheiben je Filter	n_Scheiben	15	
Filterfläche je Filter	A_F,ist,Str	75	m ²
Filterfläche, gesamt	A_F,ist,ges	300	m ²
<i>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</i>			
Filtergeschwindigkeit, maximal	v_F,ist,max	5,33	m/h
Feststoffflächenbelastung, maximal	BA,ist,max	0,187	kg/(m ² ·h)
<i>Spülwasseranfall und -förderung</i>			
spez. Spülwasseranfall bezogen auf Filtratmenge		2%	
Schlammwasseranfall pro Tag	V_Schlammwas,d	433	m ³ /d
Schlammwasseranfall pro Jahr	V_Schlammwas,a	157.934	m ³ /a
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	2	m
spez. Energiebedarf		7	Wh/(m ³ ·m)
Energiebedarf		7	kWh/d
Spülwasserförderung		1.658	kWh/a

Legende

Eingabefelder
Berechnungsfelder

TBR**Kläranlage Rheine-Nord****Projekt:****Studie 4. Reinigungsstufe****Projektnummer:****1539 001****Variante:****PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung****Bemessung Absetzbecken**

Beckentyp		Rundbecken
Schlammräumung (Schildräumung/Saugräumung)		Schildräumung
Durchströmung (vertikal/horizontal)		horizontal
Anzahl der Becken	n	1 Stück
Innendurchmesser Becken	D_i	34,00 m
Außendurchmesser Becken	D_A	34,80 m
Außendurchmesser Königstuhl	$D_{KS,a}$	5,00 m
Oberfläche	A	888 m ²
Beckentiefe im 2/3-Punkt	$h_{2/3} = h_{ges}$	3,00 m
Beckenrandtiefe	h_{Rand}	2,62 m
Neigung der Sohle	I_s	0,07
Beckenvolumen	V_{Sed}	2.665 m ³

Festlegung der Bemessungsdaten

Max. Zulauf	Q_{max}	1.600 m ³ /h
		444 l/s
Rücklaufverhältnis	RV	1,00
Min. Aufenthaltszeit Sedimentation	$t_{v,Sed, min}$	2,00 h
max. Oberflächenbeschickung	$q_{a,max}$	1,8 m/h
Schlammvolumen	ISV	100,0 ml/g
TS-Gehalt im Kontaktbecken	TS	4,0 g/l

Nachweis Flächenbeschickung und Aufenthaltszeit

Flächenbeschickung	q_A	$Q_{max}/A =$	1,80 m/h
Aufenthaltszeit	$t_{v, sed}$	$V_{Sed}/Q_{max} =$	1,67 h

Legende

Eingabefelder
Berechnungsfelder

TBR**Kläranlage Rheine-Nord****Projekt:****Studie 4. Reinigungsstufe****Projektnummer:****1539 001****Variante:****GAK-Filtration****Auslegungsdaten Hydraulik**

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>		
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q _t	752,78 l/s 2.710 m ³ /h
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q _m	1248,06 l/s 4.493 m ³ /h
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>		
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q _{Teil,max}	1600 m ³ /h 444 l/s
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q _{Teil,a}	7.896.680 m ³ /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q _{Teil,d}	21.635 m ³ /d

Auslegung Zwischenhebewerk

<i>Vorgaben</i>		
Volumenstrom	m ³ /h	1600 m ³ /h
Förderhöhe, abgeschätzt	h _{gesch}	0,0 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m ³ ·m)
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf pro Jahr		0 kWh/a

TBR**Kläranlage Rheine-Nord****Projekt:****Studie 4. Reinigungsstufe****Projektnummer:****1539 001****Variante:****GAK-Filtration****Auslegung GAK-Filter**

<i>Vorgaben</i>		
Leerbettkontaktzeit (Bereich)	EBCT	10...30 min
Leerbettkontaktzeit, gewählt	EBCT, gew	30 min
Filtergeschwindigkeit (Bereich)	v_F	5...20 m/h
Filtergeschwindigkeit, gewählt	v_F,gew	5,00 m/h
Filterbetthöhe GAK (Bereich)		1,5...3,0 m
Filterbetthöhe GAK, gewählt	h_GAK,gew	2,50 m
Gesamthöhe Filteraufbau	h_Filter,ges	2,80 m
Verlusthöhe	h_v	1,41 m
Anzahl Filter	n_Filter	6
Schüttdichte GAK	rho_Schütt	400 kg/m ³
<i>Bemessung Filter</i>		
erforderliches Leerbettvol., ber. über EBCTgew	V_GAK	800 m ³
erforderliche Filterfläche, ber. über EBCTgew	A_Filter,erf	320,00 m ²
Fläche Filter, berechnet	A_Filter,erf,n	53,33 m ²
Länge Filter, gewählt	l_Filter,gew	11,00 m
Breite Filter, gewählt	b_Filter,gew	5,00 m
Filterfläche, gewählt je Filter	A_Filter,gew	55,00 m ²
Filterfläche, gewählt, gesamt	A_Filter,ges	330,00 m ²
Leerbettvolumen, gewählt, gesamt	V_GAK,ges	825,00 m ³
Masse GAK, gesamt	M_GAK,ges	330,00 Mg
<i>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</i>		
Filtergeschwindigkeit	v_F,ist	4,85 m/h
Filtergeschwindigkeit, bei (n-1) Filter	v_F,ist,n-1	5,82 m/h
tatsächliche Kontaktzeit im Filterbett	EBCT, ist	30,94 min
Kontaktzeit bei (n-1) Filter	EBCT,ist,n-1	25,78 min

Auslegung Spülwasserpumpe

<i>Vorgaben</i>		
Spülgeschwindigkeit (Bereich)	v_Spül,W	25...35 m/h
Spülgeschwindigkeit gewählt	v_Spül_W,gew	30 m/h
<i>Bemessung</i>		
Volumenstrom Spülwasser	Q_Spül,W	1650 m ³ /h
Volumenstrom Spülwasserpumpe, gewählt	Q_Spül,W,gew	1200 m ³ /h

Auslegung Spülluftgebläse

<i>Vorgaben</i>		
Spülgeschwindigkeit (Bereich)	v_Spül,L	60...80 m/h
Spülgeschwindigkeit gewählt	v_Spül_L,gew	70 m/h
<i>Bemessung</i>		
Volumenstrom Spülluft	Q_Spül,L	3850 m ³ /h
Volumenstrom Spülluftgebläse, gewählt	Q_Spül,L,gew	2800 m ³ /h

TBR**Kläranlage Rheine-Nord****Projekt:****Studie 4. Reinigungsstufe****Projektnummer:****1539 001****Variante:****GAK-Filtration****Rückspülregime**

<i>Vorgaben</i>		
Spülintervall, gewählt		24 h
		7 /Woche
<i>Spülprogramm</i>		
Luftspülung	t_Spül,L,gew	90 s
		1,5 min
Wasserspülung	t_Spül,L,gew	300 s
		5,0 min
<i>Berechnung</i>		
Spülwasserbedarf pro Spülung (rechnerisch)		138 m ³ /Spül.
Spülwasserbedarf (rechnerisch)		4200 m ³ /Wo.
		600 m ³ /d
Spülwasserspeicher (Gewählt)	V_Spülsp,GAK	200 m ³
Energiebedarf je Spülung (mit RF Schlammwasser)		17,61 kWh
Bedarf Spülluftgebläse		3,02 kWh
Bedarf Spülwasserpumpen		7,95 kWh
Bedarf Schlammwasserförderungen		6,63 kWh
Energiebedarf pro Woche		739 kWh/Wo
Energiebedarf pro Jahr		38452 kWh/a
Bedarf Spülluftgebläse		6603 kWh/a
Bedarf Spülwasserpumpen		17372 kWh/a
Bedarf Schlammwasserförderungen		14477 kWh/a

Filterlaufzeit/GAK-Bedarf

<i>Berechnung über ausgetauschte Bettvolumina</i>		
Bettvolumina bis Durchbruch (Bereich)		5.000....30.000
Bettvolumina bis Durchbruch	BVgew	8.000
Standzeit Füllung GAK	t_Stand	305 d
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Volumen	V_GAK,a	987 m ³ /a
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Masse	M_GAK,a	395 Mg/a

Eingabefelder

Berechnungsfelder

TBR**Kläranlage Rheine-Nord****Projekt:****Studie 4. Reinigungsstufe****Projektnummer:****1539 001****Variante:****Ozon mit nachgeschaltetem Filter**
(kontinuierlich gespült)**Auslegungsdaten Hydraulik***Gesamtzulauf Kläranlage*

Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q _t	752,78 l/s 2.710 m ³ /h
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q _m	1248,06 l/s 4.493 m ³ /h

Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)

Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q _{Teil,max}	1600 m ³ /h 444 l/s
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q _{Teil,a}	7.896.680 m ³ /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q _{Teil,d}	21.635 m ³ /d

Auslegung Zwischenhebewerk*Vorgaben*

Volumenstrom, gesamt	Q _{Teil,max}	1.600 m ³ /h
Anzahl Straßen	n _{Str}	2
Volumenstrom, je Straße	Q _{Teil,max,Str}	800 m ³ /h
Förderhöhe, abgeschätzt, zusätzlich	h _{gesch}	0,00 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m ³ ·m)

Bemessung

Energiebedarf		0 kWh/a
---------------	--	---------

Auslegung Kontaktreaktor Ozon*Vorgaben*

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

Bemessung Reaktor

erforderliches Volumen	V _{KR,ges}	667 m ³
davon im Kontaktreaktor		533 m ³
in der Ausgasungszone		133 m ³

Geometrie

Straßen	n _{Str}	2
Wasserspiegelhöhe	h _{WS}	6,00 m
Länge (innen)	l _{KR,gew}	12,00 m
Breite (innen), Straße	b _{KR,gew}	4,70 m
Volumen,ist,Str	V _{KR,ist,Str}	338 m ³
Volumen,ist,ges	V _{KR,ist,ges}	677 m ³

Nachweise bezogen auf Q_{Teil,max}

tatsächliche Kontaktzeit im Reaktor	t _{KR,ist}	25,38 min
Kontaktzeit bei (n-1) Straßen	t _{KR,ist,n-1}	12,69 min

TBR**Kläranlage Rheine-Nord****Projekt:****Studie 4. Reinigungsstufe****Projektnummer:****1539 001****Variante:****Ozon mit nachgeschaltetem Filter**

(kontinuierlich gespült)

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		16,00 kg O3/h
gewählte Anlage		16,00 kg O3/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		151 kg O3/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		55.277 kg O3/a
<i>Sauerstoffbedarf</i>		
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max		150 kg O2/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		1.416 kg O2/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		516.818 kg O2/a
<i>Energiebedarf</i>		
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max		150 kWh
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		1.424 kWh/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		519.602 kWh/a

Pumpen Kühlwasser Ozonerzeuger

<i>Vorgaben</i>		
Volumenstrom	Q_Kühl	17 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		31.273 kWh/a

TBR**Kläranlage Rheine-Nord****Projekt:****Studie 4. Reinigungsstufe****Projektnummer:****1539 001****Variante:****Ozon mit nachgeschaltetem Filter
(kontinuierlich gespült)****Auslegung Filtration (kontinuierlich gespülter Sandfilter)**

<i>Vorgaben</i>		
AFS im Zulauf	xTS_AN	< 20 mg/l
Oberflächenbelastung		12,5 m/h
Filterfläche, erforderlich	A_F,erf	128,0 m ²
Filterfläche, gesamt	A_F,ges	144,0 m ²
Anzahl Filter	n_Filter	24
Filterfläche je Filter, gewählt	A_F,n	6,0 m ²
Spülwassermenge	Q_Spül,max	80,0 m ³ /h
Spülwassermenge im Mittel		2...3 % des Zulaufs
Spülwassermenge im Mittel gewählt		3%
Förderhöhe Schlammwasser abgeschätzt		10 m
spez. Energiebedarf Schlammwasserförd.		7 Wh/(m ³ ·m)
Luftbedarf maximal	Q_Luft,max	220 m ³ /h
Luftbedarf normal	Q_Luft,normal	60 m ³ /h
Luftbedarf, mittel, gew		60 m ³ /h
Energiebedarf Druckluft		0,11 kWh/m ³
<i>Bemessung</i>		
Spülwasseranfall im Mittel pro Tag	Q_Spül,mittel,d	649 m ³ /d
Spülwasseranfall im Mittel pro Jahr	Q_Spül,mittel,a	236.900 m ³ /a
Druckluftbedarf pro Tag (mittlerer Bedarf)		1.440 m ³ /d
Druckluftbedarf pro Jahr (mittlerer Bedarf)		525.600 m ³ /a
<i>Energiebedarf</i>		
Drucklufterzeugung (ohne Adsorptionstrockner)		158 kWh/d
Drucklufterzeugung (ohne Adsorptionstrockner)		57.816 kWh/a
Schlammförderung		16.583 kWh/a

Eingabefelder

Berechnungsfelder

TBR

Kläranlage Rheine-NordProjekt: **Studie 4. Reinigungsstufe**Projektnummer: **1539 001****Energiebedarf Varianten**

Pos.	Bezeichnung		Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonung + Sandfilter
1.0	Pumpen	kWh/a	78.210	31.849	47.856
1.1	Beschickungspumpen	kWh/a	0	0	0
1.2	Rücklaufkohlepumpe	kWh/a	55.277		
1.3	Überschussskohlepumpe	kWh/a	639		
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		17.372	
1.6	Schlammwasserpumpe	kWh/a		14.477	16.583
1.7	Treibwasser für PAK-Dosierung	kWh/a	16.863		
1.8	Kühlwasser für Ozonerzeuger	kWh/a			31.273
2.0	Gebälse	kWh/a		6.603	
2.1	Spülluftgebläse	kWh/a		6.603	
3.0	Räumer	kWh/a	4.380		
	Anzahl Räumer		1		
3.1	Räumer Absetzbecken	kWh/a	4.380,0		
	Antrieb	kW	0,50		
	Laufzeit	h/d	24		
4.0	Rührwerke	kWh/a	568.561		
4.1	Rührwerke Kontaktbecken	kWh/a	568.561		
5.0	Doisiergerät PAK	kWh/a	5.782		
	Anzahl Dosiergeräte		2		
5.1	Antrieb Dosierschnecke	kWh/a	2.891		
	Antrieb	kW	0,55		
	Auslastung		60%		
	Laufzeit	h/d	24		

TBR

Kläranlage Rheine-NordProjekt: **Studie 4. Reinigungsstufe**Projektnummer: **1539 001****Energiebedarf Varianten**

6.0	Ozonanlage	kWh/a			519.602
6.1	Ozonerzeugung				519.602
7.0	Tuchfilter	kWh/a	33.292		
	Anzahl Filter		4		
7.1	Betrieb Filter		2.738,6		
7.1.1	Antrieb Filter	kWh/a	2.738,6		
	Antrieb	kW	1,83		
	Laufzeit	h/d	4,1		
7.2	Rückspülung Filter		5.584,5		
7.2.1	Filterabsaugpumpen	kWh/a	5.518,8		
	Antrieb	kW	1,80		
	Anzahl	n	6		
	Laufzeit	h/d	1,4		
7.2.2	Bodenschlammumpen	kWh/a	65,7		
	Antrieb	kW	1,80		
	Anzahl	n	2		
	Laufzeit	h/d	0,05		
8.0	Sandfilter, kontinuierlich gespült	kWh/a			57.816
8.1	Druckluftversorgung	kWh/a			57.816
9.0	Messtechnik	kWh/a	39.483	39.483	39.483
	pauschal	0,005 kWh/m ³	39.483	39.483	39.483
	Summe 1: Pumpen	kWh/a	78.210	31.849	47.856
	Summe 2: Gebläse	kWh/a	0	6.603	0
	Summe 3: Räumler	kWh/a	4.380	0	0
	Summe 4: Rührwerke	kWh/a	568.561	0	0
	Summe 5: Dosiergerät PAK	kWh/a	5.782	0	0
	Summe 6: Ozonanlage	kWh/a	0	0	519.602
	Summe 7: Tuchfilter	kWh/a	33.292	0	0
	Summe 8: Sandfilter, kont. gespült	kWh/a	0	0	57.816
	Summe 9: Messtechnik	kWh/a	39.483	39.483	39.483
	Gesamtsumme	kWh/a	729.708	77.935	664.757

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

TBR Rheine
Kläranlage Rheine-Nord

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer: 1539 001

Zusammenstellung Investitionskosten

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozon + Sandfilter
1-1	Bautechnik	EUR	1.161.561,62	1.309.041,00	1.125.323,18
1-2	Erdverlegte Rohrleitungen	EUR	235.943,40	66.178,20	72.349,20
2	Maschinentechnik	EUR	1.804.961,89	1.367.520,00	1.665.930,00
3	EMSR-Technik	EUR	605.488,57	683.760,00	499.779,00
Summe Herstellungskosten, netto		EUR	3.807.955,47	3.426.499,20	3.363.381,38
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	761.591,09	685.299,84	672.676,28
Summe Baukosten, netto		EUR	4.569.546,56	4.111.799,04	4.036.057,66
Mehrwertsteuer		EUR	868.213,85	781.241,82	766.850,95
Summe Baukosten, brutto		EUR	5.437.760,41	4.893.040,86	4.802.908,61
Anteil			113%	102%	100%

TBR
Kläranlage Rheine-Nord

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer: 1539 001
Variante: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Erdverl. RL	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
1	Baustelleneinrichtung (10 % Bautechnik) (5 % Maschinentechnik)				100.645,00 €	21.449,40 €	85.950,57 €		208.044,97 €
2	Erdarbeiten Bodenaushub Becken Bodenwiederanfüllung Becken Bodenabfuhr Becken Bodenaushub Tuchfilter Bodenwiederanfüllung Tuchfilter Bodenabfuhr Tuchfilter	1.100,95 262,75 838,20 714,60 299,38 415,22	m³ m³ m³ m³ m³ m³	15,00 € 15,00 € 15,00 € 15,00 € 15,00 € 15,00 €	16.514,31 € 3.941,31 € 12.573,00 € 10.719,00 € 4.490,64 € 6.228,36 €				21.438,00 €
3	Abtrennung Teilstrom Verteilgerinne, Schächte	1,00	psch	80.000,00 €	80.000,00 €				80.000,00 €
4	Kontaktbecken I+II mit Schächten Kontaktbecken I+II mit Schächten Rührwerke Schlosserarb. (Bediengang + Treppe) Absenkschieber Zulauf mit Antrieb Schieber Rücklaufkohle	1.050,00 3,00 1,00 3,00 2,00	m³ St psch St St	250,00 € 13.000,00 € 50.000,00 € 12.000,00 € 9.000,00 €	262.500,00 € 50.000,00 €		39.000,00 € 36.000,00 € 18.000,00 €		405.500,00 €
5	Umbau Belebungsbecken-Absetzbecken Ablaufrinne Zulaufleitung unter Beckensohle Umgestaltung Königstuhl Anbindung Räumer	106,81 1,00 1,00 1,00 1,00	m psch psch psch St	800,00 € 60.000,00 € 35.000,00 € 50.000,00 € 180.000,00 €	35.000,00 € 50.000,00 €		85.451,32 € 60.000,00 €		410.451,32 €
6	Tuchfiltration Becken Tuchfilter I-IV Schlosserarbeiten (Bediengang + Treppe) Absenkschieber mit E-Antrieb Steuerung + VOST Tuchfilter Tuchfilter Montage + IBN Filter Ablaufgerinne Tuchfilter	462,00 1,00 4,00 1,00 4,00 1,00 25,00	m³ psch St psch St psch m	600,00 € 25.000,00 € 12.000,00 € 18.000,00 € 170.000,00 € 32.000,00 € 750,00 €	277.200,00 € 25.000,00 €		48.000,00 € 18.000,00 € 680.000,00 € 32.000,00 €		1.098.950,00 €
7	PAK-Silo 125 m³ Fundament Silo Silo mit Dosiereinrichtung Pumpe Treibwasser m. Verrohr Kompressor mit Lufttrocknung Steuerung	1,00 1,00 1,00 1,00 1,00	psch St psch St St	8.000,00 € 285.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 € 46.000,00 €	8.000,00 €		285.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €	46.000,00 €	355.000,00 €
8	Pulveraktivkohle (Erstbefüllung) Aktivkohle	20,00	Mg	1.500,00 €			30.000,00 €		30.000,00 €
9	Flockungsmitteldosierung (Me-Salze) Dosierpumpen Dosierleitungen (Schutzrohr + Schlauch)	1,00 92,00	psch m	25.000,00 € 130,00 €			25.000,00 € 11.960,00 €		36.960,00 €
10	Flockungshilfsmitteldosierung Bereitungsanlage mit Dosierleitungen Dosierleitungen	1,00 10,00	psch m	30.000,00 € 60,00 €			30.000,00 € 600,00 €		30.600,00 €
11	Pumpen Schnecken-PW Rücklaufkohle ÜS-Kohlepumpe mit Verrohrung	2,00 1,00	St St	60.000,00 € 10.000,00 €			120.000,00 € 10.000,00 €		130.000,00 €
12	Erdverlegte Rohrleitungen Zulauf. PE 100 SDR 800*47,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 800*47,4 Formstücke Ablauf. PE 100 SDR 17 800*47,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 800*47,4 Formstücke RLK PE 100 SDR 17 800*47,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 800*47,4 Formstücke Schlammwasserleitung PE 100 SDR 17 90*5,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4 Formstücke	250,00 250,00 3,00 250,00 250,00 3,00 48,00 48,00 3,00 100,00 100,00 9,00	m m psch m m psch m m psch m m psch	308,00 € 66,00 € 600,00 € 308,00 € 66,00 € 600,00 € 308,00 € 66,00 € 600,00 € 18,00 € 20,00 € 38,00 €		77.000,00 € 16.500,00 € 1.800,00 € 77.000,00 € 16.500,00 € 1.800,00 € 14.784,00 € 3.168,00 € 1.800,00 € 1.800,00 € 2.000,00 € 342,00 €			214.494,00 €
13	Kabelschächte/Leerrohre	1,00	psch	20.000,00 €	20.000,00 €				20.000,00 €
14	Hausinstallation/Entwässerung	1,00	psch	15.000,00 €	15.000,00 €				15.000,00 €
15	Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen	1,00	psch	160.000,00 €	160.000,00 €				160.000,00 €
16	Inbetriebnahme/Dokumentation Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	5.000,00 € 12.000,00 €	5.000,00 €		12.000,00 €		17.000,00 €
17	EMSR-Technik Pauschal (30 % der MT)	1,00	psch	541.488,57 €				541.488,57 €	541.488,57 €
	Summe Herstellungskosten, netto				1.161.561,62 €	235.943,40 €	1.804.961,89 €	605.488,57 €	3.807.955,47 €
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	232.312,32 €	47.188,68 €	360.992,38 €	121.097,71 €	761.591,09 €
	Summe Baukosten, netto				1.393.873,94 €	283.132,08 €	2.165.954,26 €	726.586,28 €	4.569.546,56 €
	Mehrwertsteuer			19%					868.213,85 €
	Summe Baukosten, brutto								5.437.760,41 €

TBR
 Kläranlage Rheine-Nord

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
 Projektnummer: 1539 001
 Variante: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Erdverl. RL	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis	
	Wartung- und Instandhaltungskosten (bezogen auf Herstellungskosten, ohne NK)									
	1,0 %/a der Herstellungskosten für Bau und erdverlegte Rohrleitungen				11.615,62 €	2.359,43 €				
	4,0 %/a der Herstellungskosten für technische Installationen						72.198,48 €			
	2,0 %/a der Herstellungskosten für EMSR-Technik							12.109,77 €		
	Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto				11.615,62 €	2.359,43 €	72.198,48 €	12.109,77 €	98.283,30 €	
	Kapitalkosten									
	Anfall Nebenkosten	39								
	Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren				39					
	Nutzungsdauer erdverl. Rohrleitungen					39				
	Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren						13			
	Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren							13		
	Zinssatz i	3,3%			3,3%	3,3%	3,3%	3,3%		
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)									
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik				0,04567					
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor erdverlegte Rohrleitungen					0,04567				
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik						0,09560			
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik							0,09560		
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Nebenkosten	0,04567								
	Summe Kapitalkosten/a, netto				34.781,95 €	53.048,65 €	10.775,56 €	172.554,18 €	57.884,65 €	329.045,00 €

TBR
Kläranlage Rheine-Nord

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
Projektnummer 1539 001
Variante GAK-Filtration

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Erdverl. RL	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis	
1	Baustelleneinrichtung (10 % Bautechnik) (5 % Maschinenteknik)				119.003,73 €	6.016,20 €	65.120,00 €		190.139,93 €	
2	Erdarbeiten Bodenaushub Filtergebäude Bodenwiederanfüllung Filtergebäude Bodenabfuhr Filtergebäude	4.501,24 1.195,54 3.305,70	m³ m³ m³	15,00 € 15,00 € 15,00 €	67.518,64 € 17.933,10 € 49.585,54 €				135.037,27 €	
3	Abtrennung Teilstrom Verteilgerinne, Schächte	1,00	psch	80.000,00 €	80.000,00 €				80.000,00 €	
4	Filterbauwerk mit Vorlage u Speicher Bauwerk mit Abdachung Pumpen Filterboden mit Düsen Schlosserarbeiten (Gitterrost/Geländer)	1,00 330,00 1,00	psch m² psch	820.000,00 € 900,00 € 90.000,00 €	820.000,00 € 90.000,00 €		297.000,00 €		1.117.000,00 €	
5	Filtermaterial (Erstbefüllung) Aktivkohle Stüttschicht	330,00 330,00	Mg m³	1.300,00 € 280,00 €			429.000,00 € 92.400,00 €		521.400,00 €	
6	Rohrtech. Installation Filter Rohrleitung VA incl. Formstücke Armaturen Antriebe Armaturen	1,00 1,00 1,00	psch psch psch	95.000,00 € 90.000,00 € 91.000,00 €			95.000,00 € 90.000,00 € 91.000,00 €		276.000,00 €	
7	Pumpen Spülwasserpumpe mit Verrohrung Schlammwasserpumpe + Verrohrung	4,00 2,00	St St	26.000,00 € 16.000,00 €			104.000,00 € 32.000,00 €		104.000,00 €	
8	Gebälse Spülluftgebläse mit Verrohrung	2,00	St	30.000,00 €			60.000,00 €		60.000,00 €	
9	Erdverlegte Rohrleitungen Zulauf. PE 100 SDR 800*47,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 800*47,4 Formstücke Ablauf. PE 100 SDR 17 800*47,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 800*47,4 Formstücke Schlammwasserleitung PE 100 SDR 17 90*5,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4 Formstücke	65,00 65,00 3,00 65,00 65,00 3,00 200,00 200,00 9,00	m m psch m m psch m m psch	308,00 € 66,00 € 600,00 € 308,00 € 66,00 € 600,00 € 18,00 € 20,00 € 38,00 €		20.020,00 € 4.290,00 € 1.800,00 € 20.020,00 € 4.290,00 € 1.800,00 € 3.600,00 € 4.000,00 € 342,00 €		60.162,00 €		
10	Kabelschächte/Leerrohre	1,00	psch	20.000,00 €	20.000,00 €				20.000,00 €	
11	Hausinstallation/Entwässerung	1,00	psch	15.000,00 €	15.000,00 €				15.000,00 €	
12	Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen	1,00	psch	20.000,00 €	25.000,00 €				25.000,00 €	
13	Inbetriebnahme/Dokumentation Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	5.000,00 € 12.000,00 €	5.000,00 €		12.000,00 €		17.000,00 €	
14	EMSR-Technik Pauschal (50 % der MT)	1,00	psch	683.760,00 €			683.760,00 €		683.760,00 €	
	Summe Herstellungskosten, netto				1.309.041,00 €	66.178,20 €	1.367.520,00 €	683.760,00 €	3.426.499,20 €	
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	261.808,20 €	13.235,64 €	273.504,00 €	136.752,00 €	685.299,84 €	
	Summe Baukosten, netto				1.570.849,20 €	79.413,84 €	1.641.024,00 €	820.512,00 €	4.111.799,04 €	
	Mehrwertsteuer			19%					781.241,82 €	
	Summe Baukosten, brutto								4.893.040,86 €	
	Wartung- und Instandhaltungskosten (bezogen auf Herstellungskosten, ohne NK)									
	1,0 %/a der Herstellungskosten für Bau und erdverlegte Rohrleitungen 4,0 %/a der Herstellungskosten für technische Installationen 2,0 %/a der Herstellungskosten für EMSR-Technik				13.090,41 €	661,78 €	54.700,80 €	13.675,20 €		
	Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto				13.090,41 €	661,78 €	54.700,80 €	13.675,20 €	82.128,19 €	
	Kapitalkosten									
	Anfall Nebenkosten	39								
	Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren	39								
	Nutzungsdauer erdverl. Rohrleitungen	39				39				
	Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren	13					13			
	Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren	13						13		
	Zinssatz i	3,3%			3,3%	3,3%	3,3%	3,3%		
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)									
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik	0,04567								
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor erdverlegte Rohrleitungen	0,04567			0,04567					
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik	0,04567				0,09560				
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik	0,04567					0,09560			
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor Nebenkosten	0,04567								
	Summe Kapitalkosten/a, netto				31.297,72 €	59.784,05 €	3.022,37 €	130.734,78 €	65.367,39 €	290.206,31 €

TBR
 Kläranlage Rheine-Nord

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe
 Projektnummer: 1539 001
 Variante: Ozonung mit nachgeschal. Sandfilter (konti. gespült)

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Erdverl. RL	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
1	Baustelleneinrichtung (10 % Bautechnik) (5 % Maschinenteknik)				102.302,11 €	6.577,20 €		79.330,00 €	188.209,31 €
2	Erdarbeiten Bodenaushub Kontaktbehälter Bodenwiederanfüllung Kontaktbehälter Bodenabfuhr Kontaktbehälter Bodenaushub SF Bodenwiederanfüllung SF Bodenabfuhr SF	825,00 475,00 350,00 2.381,70 1100,4224 1.281,28	m³ m³ m³ m³ m³ m³	15,00 € 15,00 € 15,00 € 15,00 € 15,00 € 15,00 €	12.375,00 € 7.125,00 € 5.250,00 € 35.725,54 € 16.506,34 € 19.219,20 €				96.201,07 €
3	Abtrennung Teilstrom Verteilgerinne, Schächte	1,00	psch	80.000,00 €	80.000,00 €				80.000,00 €
4	Reaktionsbehälter Behälter, gasdicht + Verteilschacht Installation VA (RL) allgemein Armaturen Antriebe Armaturen Bediensteg	676,00 1,00 1,00 1,00 1,00	m³ psch psch psch psch	600,00 € 20.000,00 € 35.000,00 € 20.000,00 € 10.000,00 €	405.600,00 €		20.000,00 € 35.000,00 € 20.000,00 €		490.600,00 €
5	Ozonanlage Anlage Ozonerzeuger (2*8 kg/h) Einsatzgasversorgung Instrumentenluft u. N₂-Zudosierung Wärmetauscher Kühlwasser Eintragssystem (32 Diffusoren) Restozonvernichter Raumluftüberwachung Ozongasüberwachung im Ozongas Ozonmessung Wasser Anlagensteuerung Ventile und Instrumente Verrohrung und Montage Über-/Unterdrucksicherung Kontaktbeh. Pumpen + Verroh. Kühlwasser	1,00 2,00 incl. incl. 2,00 incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. 1,00 2,00 1,00	psch incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. psch St psch	620.000,00 € 90.000,00 € 4.800,00 € 240.000,00 €		620.000,00 €	90.000,00 € 9.600,00 € 240.000,00 €		959.600,00 €
6	Aufstellung O2/O3-Anlage m. Halle Einhausung Ozonanlage-NSV Fundament O2-Anlage	102,00 1,00	m³ psch	370,00 € 10.000,00 €	37.740,00 € 10.000,00 €				47.740,00 €
7	Sandfilter, kontinuierlich gespült Becken SF I + II Anbindung KB I und II Install. Sandfilter mit IBN Ablaufgerinne Filter I und II	1.152,00 1,00 1,00 16,00	m³ psch psch m	240,00 € 30.000,00 € 540.000,00 € 750,00 €	276.480,00 € 30.000,00 €		540.000,00 €		858.480,00 €
8	Erdverlegte Rohrleitungen Zulauf. PE 100 SDR 800*47,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 800*47,4 Formstücke Ablauf. PE 100 SDR 17 800*47,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 800*47,4 Formstücke Schlammwasserleitung PE 100 SDR 17 90*5,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4 Formstücke	45,00 45,00 3,00 100,00 100,00 3,00 200,00 200,00 9,00	m m psch m m psch m m psch	308,00 € 66,00 € 600,00 € 308,00 € 66,00 € 600,00 € 18,00 € 20,00 € 38,00 €		13.860,00 € 2.970,00 € 1.800,00 € 30.800,00 € 6.600,00 € 1.800,00 € 3.600,00 € 4.000,00 € 342,00 €			65.772,00 €
9	Kabelschächte/Leerrohre	1,00	psch	20.000,00 €	20.000,00 €				0,00 €
10	Hausinstallation/Entwässerung	1,00	psch	15.000,00 €	15.000,00 €				0,00 €
11	Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen	1,00	psch	20.000,00 €	25.000,00 €				25.000,00 €
12	Inbetriebnahme/Dokumentation Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	5.000,00 € 12.000,00 €	5.000,00 €		12.000,00 €		17.000,00 €
14	EMSR-Technik Pauschal (30 % der MT)	1,00	psch	499.779,00 €				499.779,00 €	499.779,00 €
	Summe Herstellungskosten, netto				1.125.323,18 €	72.349,20 €	1.665.930,00 €	499.779,00 €	3.363.381,38 €
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	225.064,64 €	14.469,84 €	333.186,00 €	99.955,80 €	672.676,28 €
	Summe Baukosten, netto				1.350.387,82 €	86.819,04 €	1.999.116,00 €	599.734,80 €	4.036.057,66 €
	Mehrwertsteuer			19%					766.850,95 €
	Summe Baukosten, brutto								4.802.908,61 €
	Wartung- und Instandhaltungskosten (bezogen auf Herstellungskosten, ohne NK) 1,0 %/a der Herstellungskosten für Bau und erdverlegte Rohrleitungen 4,0 %/a der Herstellungskosten für technische Installationen 2,0 %/a der Herstellungskosten für EMSR-Technik				11.253,23 €	723,49 €	66.637,20 €	9.995,58 €	
	Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto				11.253,23 €	723,49 €	66.637,20 €	9.995,58 €	88.609,50 €
	Kapitalkosten								
	Anfall Nebenkosten	39							
	Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren	39							
	Nutzungsdauer erdverl. Rohrleitungen			39					
	Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren						13		
	Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren							13	
	Zinssatz i	3,3%		3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n) Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik Kapitalwiedergewinnungsfaktor erdverlegte Rohrleitungen Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik Kapitalwiedergewinnungsfaktor Nebenkosten	0,04567		0,04567		0,09560	0,09560		
	Summe Kapitalkosten/a, netto				30.721,20 €	51.393,64 €	3.304,20 €	159.262,75 €	47.778,82 €
									292.460,61 €

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

TBR

Kläranlage Rheine-Nord

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projektnummer: 1539 001

Zusammenstellung Betriebskosten

	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonung + Sandfilter
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	124.283,30	102.128,19	112.609,50
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	292.669,37	529.304,26	240.876,62
Summe Betriebskosten, netto		EUR/a	416.952,67	631.432,45	353.486,12
Mehrwertsteuer: 19%		EUR/a	79.221,01	119.972,17	67.162,36
Summe Betriebskosten, brutto		EUR/a	496.173,68	751.404,61	420.648,49
Anteil			118%	179%	100%

TBR

Kläranlage Rheine-Nord

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projektnummer: 1539 001

Pos.	Bezeichnung		Variante 1 PAK mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonung + Sandfilter
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	329.045,00	290.206,31	292.460,61
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	124.283,30	102.128,19	112.609,50
1.0	Personalkosten	EUR/a	26.000,00	20.000,00	24.000,00
	Menge	MA/a	0,65	0,50	0,60
	spez. Preis	EUR/MA	40.000,00	40.000,00	40.000,00
			26.000,00	20.000,00	24.000,00
2.0	Wartungs- und Instandhaltungskosten	EUR/a	98.283,30	82.128,19	88.609,50
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	292.669,37	529.304,26	240.876,62
1.0	Energiekosten	EUR/a	118.942,41	12.703,45	108.355,42
	Menge	kWh/a	729.708,05	77.935,28	664.757,17
	spez. Preis	EUR/kWh	0,16	0,16	0,16
			118.942,41	12.703,45	108.355,42
2.0	Chemikalienkosten	EUR/a	123.977,88	513.284,20	129.204,59
2.1	PAK/GAK	Menge	Mg/a	78,97	394,83
		spez. Preis	EUR/Mg	1.500	1.300
				118.450,20	513.284,20
2.2	Fäll-/Flockungsmittel	Menge	Mg/a	228,89	
		spez. Preis	EUR/Mg	121	
				Einsparung Simultanfällung	
2.3	Flockungshilfsmittel	Menge	Mg/a	1,58	
		spez. Preis	EUR/Mg	3.500	
				5.527,68	
2.4	Sauerstoff (flüssig) inkl. Tankmiete	Menge	kg/a		516.818,38
		spez. Preis	EUR/kg		0,25
					129.204,59
3.0	Schlammverbrennungs-/Entsorgungskosten		49.749,08	3.316,61	3.316,61
3.1	zusätz. Schlamm d. PAK/Filter	Menge	Mg TS/a	236,90	15,79
	Entwässerungskosten	spez. Preis TS	EUR/Mg	30,00	30,00
	Entsorgungskosten (Verbrenn.)	spez. Preis	EUR/Mg Naßschlamm	46,58	46,58
	Entwässerungsergebnis			26%	26%
		spez. Preis TS	EUR/Mg TS	180,00	180,00
	Entwässerungskosten				
	<i>Annahmen Var. 1 (PAK): 1 Mg TR: 1/3 PAK, 2/3 AFS aus Organik und Fällung</i>			49.749,08	3.316,61
	<i>Annahmen für Var. 2 und 3: zusätzlicher Rückhalt von 2 mg AFS/l im Filter gegenüber IST- Zustand</i>				
	Summe A: Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	329.045,00	290.206,31	292.460,61
	Summe B: Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	124.283,30	102.128,19	112.609,50
	Summe C: Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	292.669,37	529.304,26	240.876,62
	Gesamtsumme Jahreskosten, netto	EUR/a	745.997,67	921.638,76	645.946,73
	Mehrwertsteuer	19%	141.739,56	175.111,36	122.729,88
	Summe Jahreskosten, brutto		887.737,22	1.096.750,12	768.676,61

Anlage 4: Jahreskosten

TBR
Kläranlage Rheine-Nord

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projektnummer: 1539 001

Zusammenstellung Jahreskosten

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

**Anlage 5:
Screening-Ergebnisse Kläranlage Rheine-Nord**

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 26.08.2014 JB

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Kläranlage Rheine-Nord

Probenahmestelle: (1) Ablauf Nachklärung (PN) - Einleitung

Entnahme: mehrtägige Mischprobe: 10.08.2014 08:00 Uhr - 13.08.2014 08:00 Uhr Laboreingang: 13.08.2014

Analysennummer:		50401 159668	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Wassermenge in 72 h	m ³	86680	
Bezafibrat	µg/l	0,18	Hausmethode
Diclofenac	ng/l	1800	Hausmethode LC/MS/MS
Naproxen	ng/l	< 10	Hausmethode LC/MS/MS
Phenazon	ng/l	110	Hausmethode LC/MS/MS
Carbamazepin	ng/l	540	Hausmethode LC/MS/MS
Atenolol	ng/l	120	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bisoprolol	ng/l	550	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metoprolol	ng/l	1400	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	280	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clarithromycin	ng/l	330	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	270	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxazepam	µg/l	0,13	Hausmethode LC/MS/MS
Amidotrizoessäure	ng/l	3600	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	ng/l	63	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopamidol	ng/l	400	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopromid	ng/l	5000	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diuron	µg/l	< 0,05	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Isoproturon	µg/l	< 0,1	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Terbutryn	µg/l	< 0,05	GC/MS nach Extraktion
Benzotriazol	µg/l	6,9	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 10	Hausmethode (GC-MS)
17-beta-Estradiol	ng/l	< 10	Hausmethode LC/MS/MS
Estron	ng/l	< 10	Hausmethode LC/MS/MS
Bromid	mg/l	< 1	DIN EN ISO 10304-1 (D19)

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>		50401 159668	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	<i>Verfahren</i>

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

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.

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.

Leopoldshöhe, 22.09.2014 JB

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Kläranlage Rheine-Nord

Probenahmestelle: (1) Ablauf Nachklärung (PN) - Einleitung

Entnahme: mehrtägige Mischprobe: 01.09.2014 07:00 Uhr - 04.09.2014 07:00 Uhr Laboreingang: 04.09.2014

Analysennummer:		50401 159669	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Wassermenge in 72 h	m ³	65274	
Bezafibrat	µg/l	0,21	Hausmethode
Diclofenac	ng/l	1500	Hausmethode LC/MS/MS
Naproxen	ng/l	160	Hausmethode LC/MS/MS
Phenazon	ng/l	52	Hausmethode LC/MS/MS
Carbamazepin	ng/l	500	Hausmethode LC/MS/MS
Atenolol	ng/l	86	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bisoprolol	ng/l	500	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metoprolol	ng/l	2300	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	190	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clarithromycin	ng/l	280	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	240	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxazepam	µg/l	0,15	Hausmethode LC/MS/MS
Amidotrizoensäure	ng/l	6900	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	ng/l	< 500	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopamidol	ng/l	1900	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopromid	ng/l	5000	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diuron	µg/l	< 0,05	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Isoproturon	µg/l	< 0,1	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Terbutryn	µg/l	< 0,05	GC/MS nach Extraktion
Benzotriazol	µg/l	7,7	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 10	Hausmethode (GC-MS)
17-beta-Estradiol	ng/l	< 10	Hausmethode LC/MS/MS
Estron	ng/l	< 10	Hausmethode LC/MS/MS
Bromid	mg/l	< 1	DIN EN ISO 10304-1 (D19)

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.

Analysennummer:		50401 159669	
Parameter:	Einheit:	(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).

Iomeprol: Die Nachweis-/Bestimmungsgrenze musste erhöht werden, da die Wiederfindung eines oder mehrerer interner Standards in der unverdünnten Analyse <10% betragen hat.

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, 26.09.2014 JB

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Kläranlage Rheine-Nord

Probenahmestelle: (1) Ablauf Nachklärung (PN) - Einleitung

Entnahme: mehrtägige Mischprobe: Uhr - Uhr Laboreingang: 15.09.2014

Analysennummer:		50401 159670	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Wassermenge in 72 h	m ³	51946	
Bezafibrat	µg/l	0,07	Hausmethode
Diclofenac	ng/l	1500	Hausmethode LC/MS/MS
Naproxen	ng/l	42	Hausmethode LC/MS/MS
Phenazon	ng/l	96	Hausmethode LC/MS/MS
Carbamazepin	ng/l	870	Hausmethode LC/MS/MS
Atenolol	ng/l	130	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bisoprolol	ng/l	650	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metoprolol	ng/l	2700	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	510	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clarithromycin	ng/l	260	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	650	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxazepam	µg/l	0,26	Hausmethode LC/MS/MS
Amidotrizoessäure	ng/l	4800	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	ng/l	890	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopamidol	ng/l	2100	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopromid	ng/l	4100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diuron	µg/l	< 0,05	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Isoproturon	µg/l	< 0,1	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Terbutryn	µg/l	< 0,05	GC/MS nach Extraktion
Benzotriazol	µg/l	7,1	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 10	Hausmethode (GC-MS)
17-beta-Estradiol	ng/l	< 10	Hausmethode LC/MS/MS
Estron	ng/l	< 10	Hausmethode LC/MS/MS
Bromid	mg/l	< 1	DIN EN ISO 10304-1 (D19)

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.

Analysennummer:		50401 159670	
Parameter:	Einheit:	(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).

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.