



Gemeinde Metelen

Kläranlage Metelen

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie
Mai 2015 | 1. Ausfertigung
Projektnummer 0445 076






Kläranlage Metelen

4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen

Machbarkeitsstudie
Mai 2015 | 1. Ausfertigung
Projektnummer 0445 076



Bearbeitet durch:
Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf
M.Sc. Fernando Urueta

Aufgestellt:
Bochum, im Mai 2015
bie-uru-ko

Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

Gesamtinhaltsverzeichnis

I Textteil

- Erläuterungsbericht
- Anlagen

II Zeichnungen

Blatt	Titel	Maßstab	Verwaltungsnummer
1	Lageplan, Variante 1 PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle	1 : 250	030 007 01 00
2	Lageplan, Variante 2 GAK-Filtration	1 : 250	030 007 02 00
3	Lageplan, Variante 3 Ozonung mit Tuchfiltration und nachgeschaltetem Festbettreaktor	1 : 250	030 007 03 00

Auftraggeber:

Gemeinde Metelen
Abwasserwerk
Postfach 11 60
48625 Metelen

Telefon: 02561 720
Telefax: 02561 72100

Projektleiter:

Herr Stefan Weßling

Telefon: 02556 89-40
stefan.wessling@metelen.de

Herr Herbert Meiring

Telefon: 02556 7241
mail@abwasserwerk-metelen.de

Bearbeitung durch:

TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH
Universitätsstraße 74
44789 Bochum

Telefon: 0234 33305-0
Telefax: 0234 33305-11
info@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	2
3	Belastungsdaten Hydraulik	2
4	Reinigungsanforderungen	3
5	Anlagenbestand	3
5.1	Zulauf	4
5.1.1	Mechanische Reinigungsstufe	4
5.2	Biologische Reinigungsstufe	4
5.3	Schlammbehandlung	5
6	Spurenstoffe im Wasserkreislauf	5
6.1	Einleitung.....	5
6.2	Charakterisierung des Verhaltens von anthropogenen Spurenstoffen.....	6
6.3	Screening im Zu- und Ablauf der Kläranlage Metelen	7
7	Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen	10
7.1	Überblick	10
7.2	Adsorption	10
7.2.1	Grundlagen.....	10
7.2.2	Einsatz von Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination.....	15
7.2.2.1	Pulveraktivkohle	15
7.2.2.2	Granulierte Aktivkohle.....	16
7.3	Ozonung.....	18
7.3.1	Grundlagen.....	18
7.3.1.1	Einsatz und Wirkung von Ozon.....	18
7.3.1.2	Ozonanwendung.....	19
7.3.2	Einsatz von Ozon in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination	20
8	Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen	21
8.1	Beschickungsmenge.....	21
8.2	Verfahrensfestlegung.....	25
8.3	Randbedingungen	25
8.4	Varianten	25

8.4.1	Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle	25
8.4.1.1	Allgemein.....	25
8.4.1.2	Ausführung	26
8.4.2	Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle.....	28
8.4.2.1	Allgemeines	28
8.4.2.2	Ausführung	29
8.4.3	Variante 3: Ozonung mit Tuchfiltration und nachgeschaltetem Festbettreaktor.....	31
8.4.3.1	Allgemeines	31
8.4.3.2	Ausführung	32
8.5	Ergebnisübersicht Varianten.....	34
9	Kosten	35
9.1	Allgemein.....	35
9.2	Investitionskosten	35
9.3	Betriebskosten	35
9.4	Jahreskosten	37
9.5	Sensitivitätsanalyse	38
10	Bewertung.....	39
11	Zusammenfassung.....	41
	Literaturverzeichnis	43

Bildverzeichnis

Bild 1:	Ablaufvolumenstrom der Kläranlage Metelen.....	2
Bild 2:	Verfahrensschema Abwasser- und Schlammbehandlung Kläranlage Metelen.....	3
Bild 3:	Auswertung der Screening-Ergebnisse im Zulauf der KA Metelen	8
Bild 4:	Auswertung der Screening-Ergebnisse im Ablauf der KA Metelen.....	8
Bild 5:	Vergleich der Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf mit Literaturwerten	9
Bild 6:	Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Kläranlage Metelen	9
Bild 7:	Verfahren zur Spurenstoffelimination (Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013)	10
Bild 8:	Grundbegriffe der Adsorption.....	11
Bild 9:	Teilschritte der Adsorption (Breitbach und Bathen, 2001)	11
Bild 10:	Isotherme Adsorption Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen NaCl-Konzentrationen (Cooney 1998)	12
Bild 11:	Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber (DVGW W 239).....	13
Bild 12:	Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit (Sontheimer u. a., 1985) ..	14
Bild 13:	Durchbruchskurve eines Adsorptivgemisches (Worch 2004, modifiziert)	14
Bild 14:	Schema Ozonerzeugung (Gujer 1999, modifiziert)	19
Bild 15:	Ergebnisse Elimination Spurenstoffe ARA Regensdorf (Abegglen u. a. 2009)	21
Bild 16:	Wirkungsgrade bei Vollstrombehandlung (Konzentration beispielhaft).....	22
Bild 17:	Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)	22
Bild 18:	Beispielhaft grafische Darstellung der Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung	23
Bild 19:	Summenhäufigkeitskurve für die Ablaufwassermenge im Untersuchungszeitraum.....	24
Bild 20:	Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination	24
Bild 21:	Blockschema Variante 1 - PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle.....	26
Bild 22:	Schnitt eines Tuchfilters, Ausführungsbeispiel (Quelle: Mecana).....	27
Bild 23:	Lageplanausschnitt Variante 1 - PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle	28
Bild 24:	Blockschema Variante 2 - GAK-Filtration.....	29
Bild 25:	Lageplanausschnitt Variante 2 - GAK-Filtration	30
Bild 26:	Blockschema Variante 3: Ozonung mit Tuchfiltration und nachgeschaltetem Festbettreaktor	31
Bild 27:	Lageplanausschnitt Variante 3 - Ozonung mit Tuchfiltration und nachgeschaltetem Festbettreaktor.....	33
Bild 28:	Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten	38

Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Auslegung Varianten 1 bis 3	2
Anlage 2:	Investitionskosten Varianten 1 bis 3.....	3
Anlage 3:	Betriebskosten Varianten 1 bis 3	4
Anlage 4:	Jahreskosten	5
Anlage 5:	Screening-Ergebnisse der Kläranlage Metelen	6

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

Mit der Studie soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, um die Auswahl eines möglichen Verfahrens durch die Gemeinde Metelen 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;
- Auswertung der Ergebnisse der Spurenstoffanalytik;
- 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:

- Ablaufwerte im Zeitraum von Oktober 2013 bis Oktober 2014 (.xls),
- Genehmigungsentwurf für die Erweiterung der Zentralkläranlage Metelen, TUTTAHS & MEYER, März 1994,
- Betriebsanweisung Kläranlage Metelen, TUTTAHS & MEYER, Mai 2012,
- Lageplan Kläranlage Metelen (.dgn), TUTTAHS & MEYER, Februar 2012,
- Kostenansätze (analog), 1. Projektbesprechung am 17.09.2014,
- Ermittlung der Jahresschmutzwassermenge Kläranlage Metelen (analog), November 2014.

3 Belastungsdaten Hydraulik

Die Bemessungswerte der Kläranlage sind im Folgenden aufgeführt:

Trockenwetterzufluss	Q_T	=	233 m ³ /h	≈	64,7 l/s
Mischwasserabfluss	Q_M	=	466 m ³ /h	≈	129,5 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 Stundenwerte für den Zeitraum Oktober 2013 bis Oktober 2014 dar. Die mittlere Ablaufmenge beträgt 86 m³/h. Maximal wurden 560 m³/h im Betrachtungszeitraum abgeleitet.

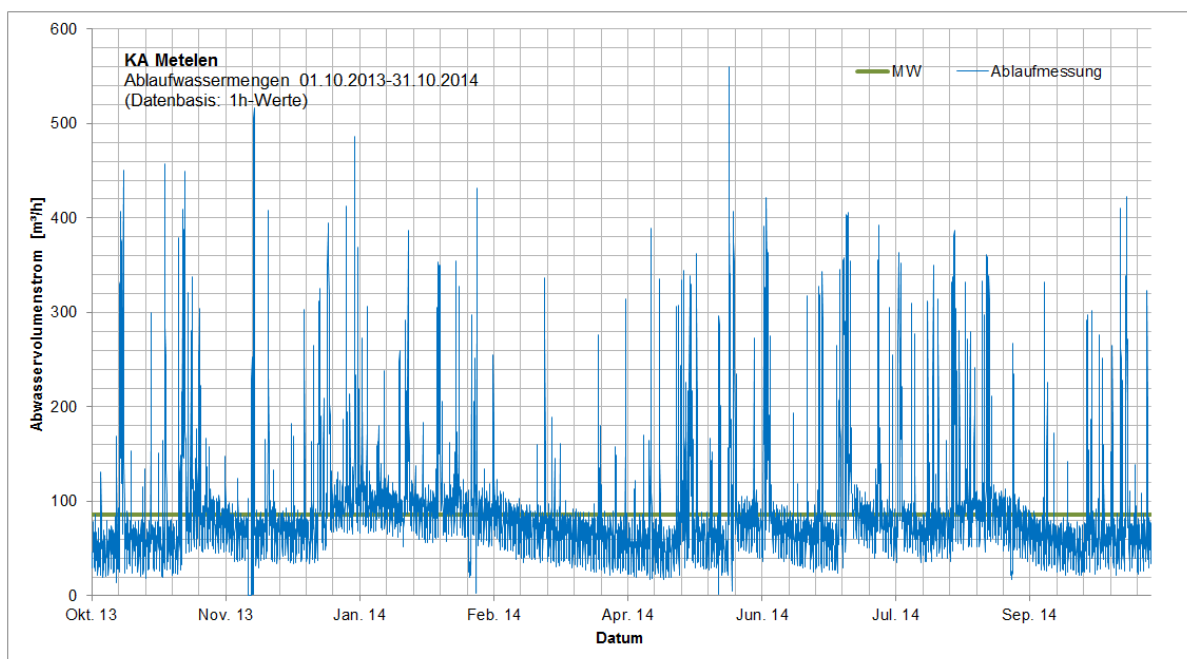


Bild 1: Ablaufvolumenstrom der Kläranlage Metelen

4 Reinigungsanforderungen

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

Folgende Überwachungswerte sind gemäß Erlaubnisbescheid vom 03.12.2009 einzuhalten:

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB):	56 mg/l
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB ₅):	10 mg/l
Stickstoff, anorganisch (N _{anorg}):	17 mg/l (≥ 12 °C)
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N):	3 mg/l (≥ 12 °C)
Phosphor, gesamt (P _{ges}):	1 mg/l

5 Anlagenbestand

Bild 2 zeigt das aktuelle Verfahrensschema für die Abwasser- und Schlammbehandlung auf der Kläranlage Metelen.

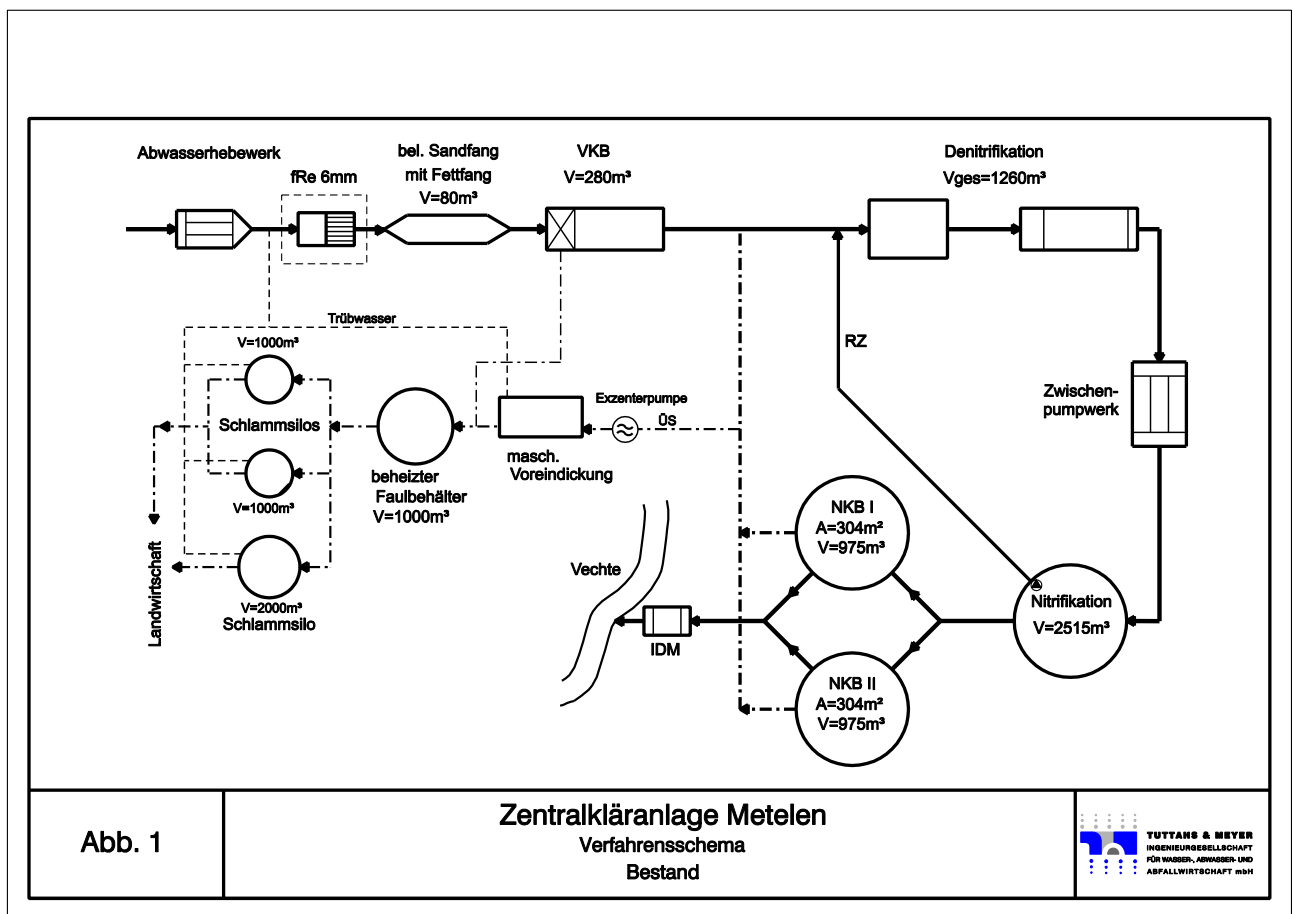


Bild 2: Verfahrensschema Abwasser- und Schlammbehandlung Kläranlage Metelen

5.1 Zulauf

Zulaufhebewerk

Über einen Zulaufsammler DN 800 gelangt das Abwasser in das Zulaufhebewerk und wird dort von zwei Förderschnecken auf das Höhenniveau der Kläranlage gehoben.

5.1.1 Mechanische Reinigungsstufe

Rechenanlage

Rechen sollen Grobstoffe zurückhalten, damit diese in der Kläranlage keine Betriebsstörungen verursachen. Installiert ist ein Feinrechen mit Rechengutpresse und Rechengutwäscher. Der Abwurf des Rechengutes erfolgt in einen Container. Die gesamte Anlage inklusive Container ist in der Rechenhalle untergebracht.

Belüfteter Sand- und Fettfang

Mineralische, feinkörnige Bestandteile werden im belüfteten Sandfang gesammelt und vom Sandwaschklassierer getrennt. Zusätzlich werden Fette sowie Schwimmschlamm in der über eine Tauchwand abgetrennten Fettfangkammer gesammelt und abgezogen.

Vorklärung

Die mechanische Reinigungsstufe wird durch die Vorklärung abgeschlossen. Hier setzen sich sedimentierbare Stoffe ab, die anschließend aus dem Vorklärbeckentrichter als Primärschlamm abgezogen und in den Faulbehälter verbracht werden.

5.2 Biologische Reinigungsstufe

Belebungsstufe

Die gesamte Belebungsstufe ist in mehreren Reaktoren ausgeführt. Als erste Verfahrensstufe schließt die sogenannte Denitrifikation als biologische Reinigungsstufe, bestehend aus zwei Denitrifikationsbecken, an die Vorklärung an. Im Anschluss der Denitrifikationsbecken wird das Abwasser über ein Zwischenhebewerk in das Nitrifikationsbecken gehoben. Aus der Nitrifikationszone fließt das Abwasser-Schlammgemisch zu den Nachklärbecken.

Nachklärung

Die Trennung von Klarwasserphase und Schlamm (Phasenseparation) findet in der Nachklärung statt. Ein Schwimmschlammräumschild entfernt den aufschwimmenden Schwimmschlamm. Während die Klarwasserphase dem Ablauf der Anlage zugeleitet wird, wird der Rücklaufschlamm der biologischen Reinigungsstufe zurückgeführt und der dabei anfallende Überschussschlamm weiterbehandelt.

Chemische P-Elimination

Unterstützend kann an verschiedenen Stellen der biologischen Reinigungsstufe Phosphor chemisch durch die Zugabe von Eisen-III-Chlorid (FeCl_3) gefällt werden. Das daraus entstehende Fällprodukt wird größtenteils im Schlamm eingelagert und mit diesem aus dem Abwasser entfernt.

Mengenmess- und Probenahmeschacht

Der Ablauf aus der Nachklärung wird in den Mengenmess- und Probenahmeschacht geleitet. Die Abwassermenge wird über eine magnetisch-induktive Durchflussmessung erfasst.

Einleitungsbauwerk

Das in der Zentralkläranlage Metelen gereinigte Abwasser fließt hinter dem Mengenmess- und Probenahmeschacht über eine mit natürlichem Gefälle von 1 : 500 verlegte Betonrohrleitung DN 1000 dem Einleitungsbauwerk zu. Nach diesem Bauwerk wird das gereinigte Abwasser über ein offenes Gerinne in die Vechte geleitet.

5.3 Schlammbehandlung

Überschussschlammeindickung

Der Überschussschlamm der Belebungsbecken wird über die Überschussschlammpumpe, die im Rücklaufschlammschacht installiert ist, der maschinellen Überschussschlammeindickung zugeführt.

Faulbehälter

Der Faulbehälter dient der Aufnahme des maschinell eingedickten Überschussschlammes, des Primärschlammes aus der Vorklärstufe, des Fettes und des Schwimmschlammes des Sandfanges.

Schlammstilo 1, 2 und 3

Zur Stapelung des ausgefaulten Schlammes sind drei Schlammstilos errichtet, die den bei der Faulbehälterbeschickung verdrängten, ausgefaulten Schlamm aufnehmen. Gleichzeitig dienen die Schlammstilos als Vorlage für die mobile Schlammmentwässerung.

Gasverwertung

Das in der anaeroben Faulung entstehende Klärgas wird über ein außen aufgestelltes Blockheizkraftwerk (BHKW) thermisch und elektrisch verwertet. Ein Gasbehälter dient als Puffervolumen zwischen Gasanfall und Gasverbrauch. Als Sicherheitseinrichtung ist eine Gasfackel installiert. Die BHKWs können im Bedarfsfall auch mit Erdgas betrieben werden.

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 Mikroschadstoffe.

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 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 erwähnt – Unterschiede hinsichtlich der Elimination bei verschiedenen Stoffen ergeben.

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

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

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

Polarität bezeichnet in der Chemie unterschiedliche Ladungsschwerpunkte innerhalb eines Moleküls. Dieses ist somit gegenüber seiner Umgebung nicht mehr elektrisch neutral. Polare Stoffe weisen eine bessere Wasserlöslichkeit auf. Unpolare Stoffe sind schlechter wasserlöslich; sie werden auch

als hydrophob bezeichnet. In wässrigen Lösungen liegen die Spurenstoffe mitunter in dissoziierter Form vor. Dies bedeutet, dass das Molekül eine Ladung angenommen hat. Zu beachten ist, dass diese Ladung pH-Wert-abhängig sein kann.

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

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

6.3 Screening im Zu- und Ablauf der Kläranlage Metelen

Die Untersuchung von Wasserproben auf ausgewählte Spurenstoffe wurde von der OWL Umweltanalytik GmbH durchgeführt.

Im Zulauf wurde eine mehrtägige, zeitproportionale Mischprobe (24.11-27.11.2014) analysiert. Die Ergebnisse des Screenings sind im **Bild 3** dargestellt. Die magentafarbene Umrandung hebt die Spurenstoffe mit auffällig hohen Konzentrationen im Zulauf hervor. Als Referenzwerte wurden die Orientierungswerte der sogenannten „D4-Liste“ herangezogen.

Im Ablauf wurde eine mehrtägige, volumenstromproportionale Mischprobe (24.11. bis 27.11.2014) analysiert. Die Screening-Ergebnisse sind im **Bild 4** dargestellt.

Bild 5 zeigt ein Diagramm der gemessenen Spurenstoffkonzentrationen im Vergleich zu Literaturwerten. Ein Balken stellt den Bereich zwischen der niedrigsten und höchsten gemessenen Konzentration dar. Die Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage Metelen entsprechen größtenteils den Literaturwerten und überschreiten mit Ausnahme vom Röntgenkontrastmittel Iopamidol nicht die Maximalwerte aus der Literatur. Bei den schraffierten Balken handelt es sich um Konzentrationen, die bei der Laboruntersuchung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen.

Das Konzentrationsniveau der untersuchten Stoffe im Ablauf der Kläranlage Metelen ist vergleichbar mit anderen Kläranlagen, deren Ablauf im Rahmen der Studien „4. Reinigungsstufe“ untersucht wurde. Auffällig sind die vergleichsweise hohen Konzentrationen des Röntgenkontrastmittels Iopamidol und der Stereoidhormone 17- β -Estradiol und Estron.

Bezeichnung	Parameter	Einheit	mehrtägige-Mischprobe vom 24.11-27.11.2014	Orientierungswert aus: Anlage D4: Umweltqualitätsnormen und Orientierungswerte	Anmerkung
a	Bezafibrat	µg/l	0,69	0,10	
b	Diclofenac	µg/l	2,20	0,10	
c	Naproxen	µg/l	0,30	0,10	
d	Phenazon	µg/l	<0,05	0,11	
e	Carbamazepin	µg/l	0,68	0,50	
f	Atenolol	µg/l	<0,5	0,10	
g	Bisoprolol	µg/l	0,35	0,10	
h	Metroprolol	µg/l	2,30	7,30	
i	Sotalol	µg/l	0,32	0,10	
j	Clarithromycin	µg/l	0,22	0,02	
k	Sulfamethoxazol	µg/l	0,33	0,15	
l	Oxazepam	µg/l	<0,05	0,10	
m	Amidotrizoensäure	µg/l	1,40	0,10	
n	lomeprol	µg/l	<0,5	0,10	
o	Iopamidol	µg/l	3,20	0,10	
p	Iopamid	µg/l	<0,5	0,100	
q	Diuron	µg/l	<0,05	0,200	UQN (J-MW)
r	Isoproturon	µg/l	<0,05	0,300	UQN (J-MW)
s	Terbutryn	µg/l	0,09	0,065	
t	Benzotriazol	µg/l	11,00	10,000	
v	17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	<5	0,04	als Ethinylestradiol gefunden
w	17-beta-Estradiol	ng/l	130,00	0,40	als Estradiol gefunden
x	Estron	ng/l	32,00		OW nicht gefunden

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

BG Bestimmungsgrenze
 OW Orientierungswert
 MW Messwert
 UQN Umweltqualitätsnorm

Quelle Tabelle Orientierungswerte: Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer Teil D des MKULNV NW
 Link: http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Leitfaden_Monitoring_Oberfl%C3%A4chengew%C3%A4sser_Teil_D/_Anlage_4

Bild 3: Auswertung der Screening-Ergebnisse im Zulauf der KA Metelen

Bezeichnung	Parameter	Einheit	mehrtägige-Mischprobe vom 24.11-27.11.2014	Orientierungswert aus: Anlage D4: Umweltqualitätsnormen und Orientierungswerte	Anmerkung
a	Bezafibrat	µg/l	0,13	0,10	
b	Diclofenac	µg/l	1,80	0,10	
c	Naproxen	µg/l	<0,05	0,10	
d	Phenazon	µg/l	<0,05	0,11	
e	Carbamazepin	µg/l	0,68	0,50	
f	Atenolol	µg/l	<0,05	0,10	
g	Bisoprolol	µg/l	0,08	0,10	
h	Metroprolol	µg/l	0,35	7,30	
i	Sotalol	µg/l	0,41	0,10	
j	Clarithromycin	µg/l	0,18	0,02	
k	Sulfamethoxazol	µg/l	0,14	0,15	
l	Oxazepam	µg/l	<0,05	0,10	
m	Amidotrizoensäure	µg/l	1,60	0,10	
n	lomeprol	µg/l	<0,05	0,10	
o	Iopamidol	µg/l	3,60	0,10	
p	Iopromid	µg/l	<0,05	0,100	
q	Diuron	µg/l	<0,05	0,200	UQN (J-MW)
r	Isoproturon	µg/l	<0,05	0,300	UQN (J-MW)
s	Terbutryn	µg/l	<0,05	0,065	
t	Benzotriazol	µg/l	3,90	10,000	
v	17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	1,00	0,04	als Ethinylestradiol gefunden
w	17-beta-Estradiol	ng/l	19,00	0,40	als Estradiol gefunden
x	Estron	ng/l	20,00		OW nicht gefunden

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

BG Bestimmungsgrenze
 OW Orientierungswert
 MW Messwert
 UQN Umweltqualitätsnorm

Quelle Tabelle Orientierungswerte: Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer Teil D des MKULNV NW
 Link: http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Leitfaden_Monitoring_Oberfl%C3%A4chengew%C3%A4sser_Teil_D/_Anlage_4

Bild 4: Auswertung der Screening-Ergebnisse im Ablauf der KA Metelen

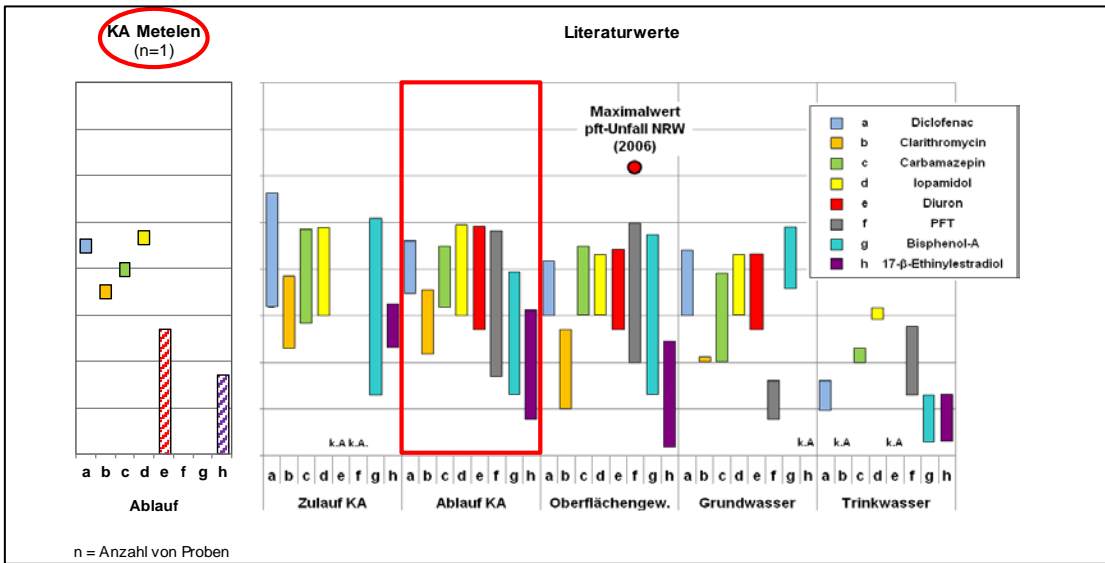


Bild 5: Vergleich der Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf mit Literaturwerten

Im **Bild 6** sind die Konzentrationen der untersuchten Spurenstoffe im Zu- und Ablauf der Kläranlage Metelen dargestellt. Die Y-Achse weist eine logarithmische Skala auf. Bei den schraffierten Balken handelt es sich um Stoffe, deren Konzentrationen bei der Laboruntersuchung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Der helle Balken gibt den Orientierungswert nach der sogenannten „D4-Liste“ an. Da die Beprobung im Zulauf im Gegensatz zum Ablauf aufgrund der örtlichen Randbedingungen zeitproportional erfolgte, können aus den Zulauf- und Ablaufkonzentrationen keine Eliminationsgrade hergeleitet werden.

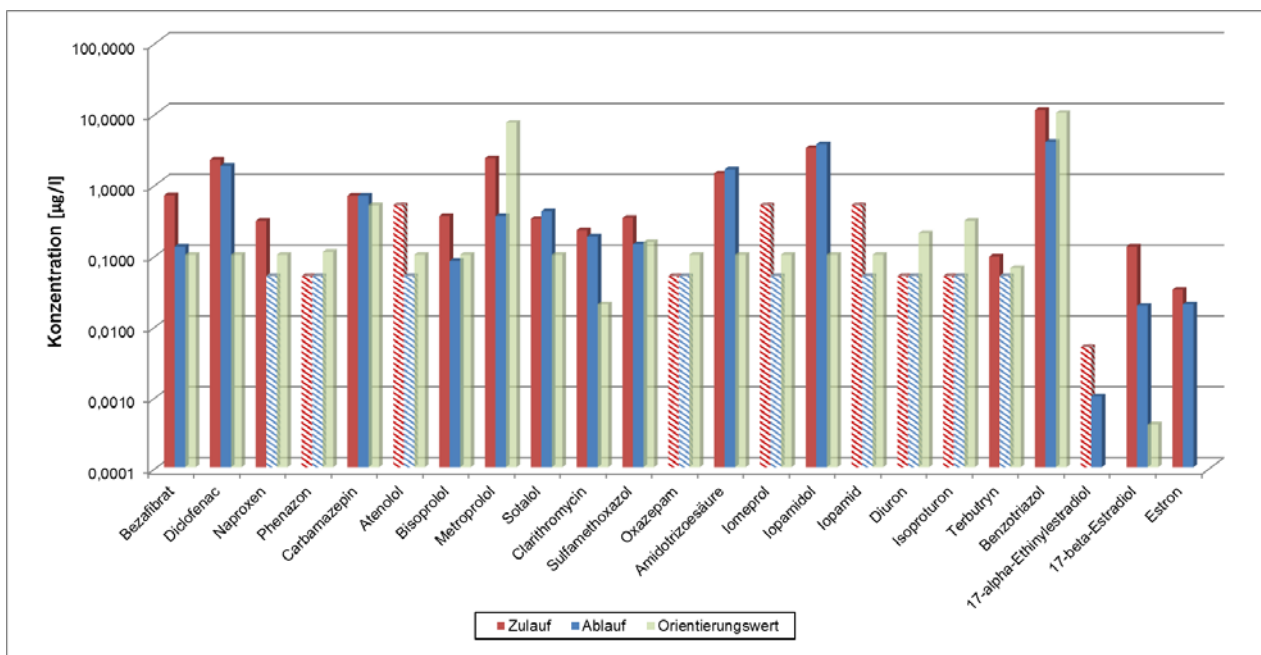


Bild 6: Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Kläranlage Metelen

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 Metelen 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).

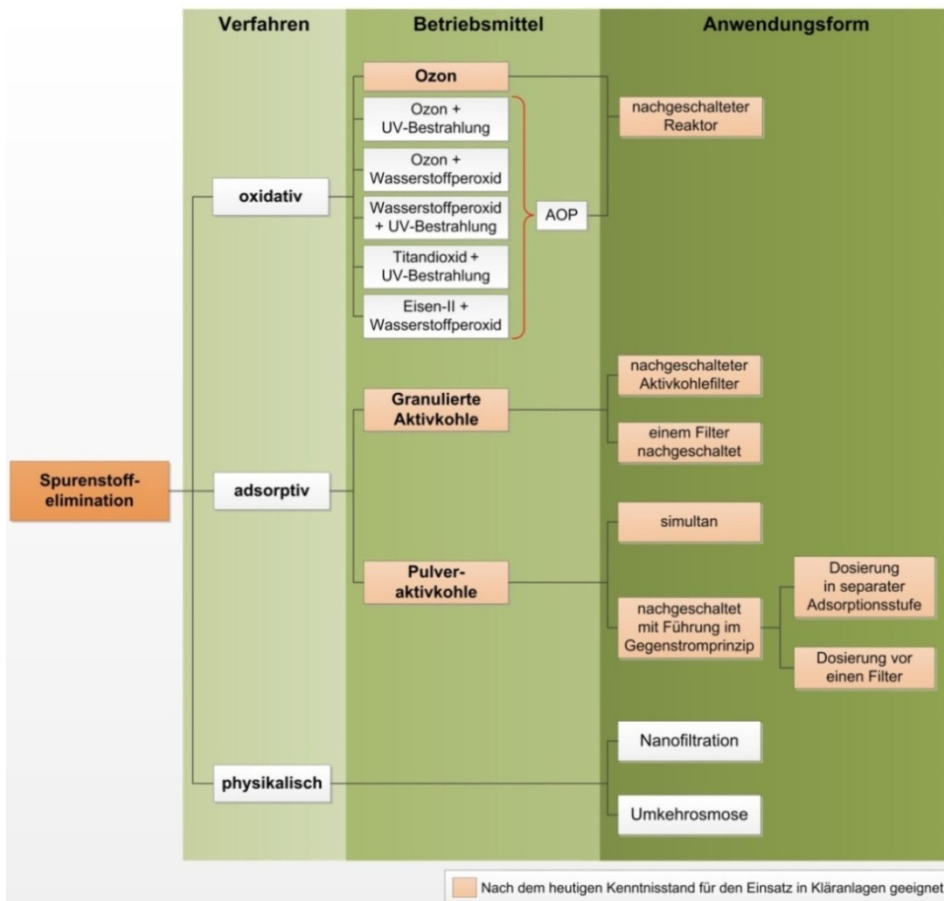


Bild 7: Verfahren zur Spurenstoffelimination (Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013)

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 8** sind schematisch die Zusammenhänge dargestellt.

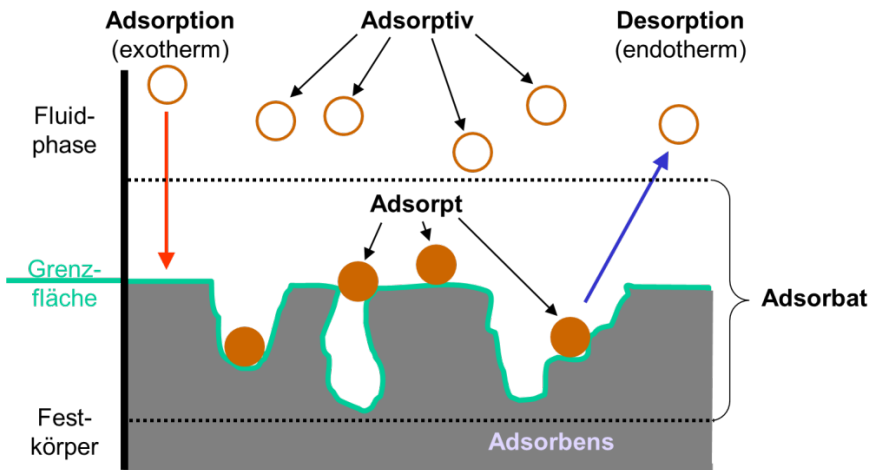


Bild 8: Grundbegriffe der Adsorption

Die Adsorption erfolgt in mehreren Teilschritten auch an der inneren Oberfläche des Adsorbens. Dies ist im **Bild 9** dargestellt.

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

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

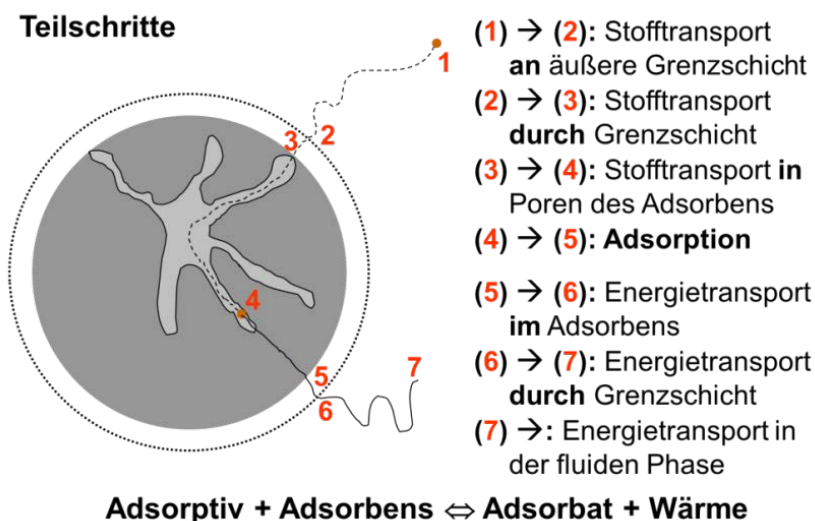


Bild 9: Teilschritte der Adsorption (Breitbach und Bathen, 2001)

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 10**, ist die Adsorption von Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen Konzentrationen von NaCl in der fluiden Phase dargestellt. Durch die Salzionen werden die gleichsinnig geladenen Gruppen des Adsorpt (Phenol) neutralisiert und eine höhere Packungsdichte auf dem Adsorbens erreicht (Cooney 1998).

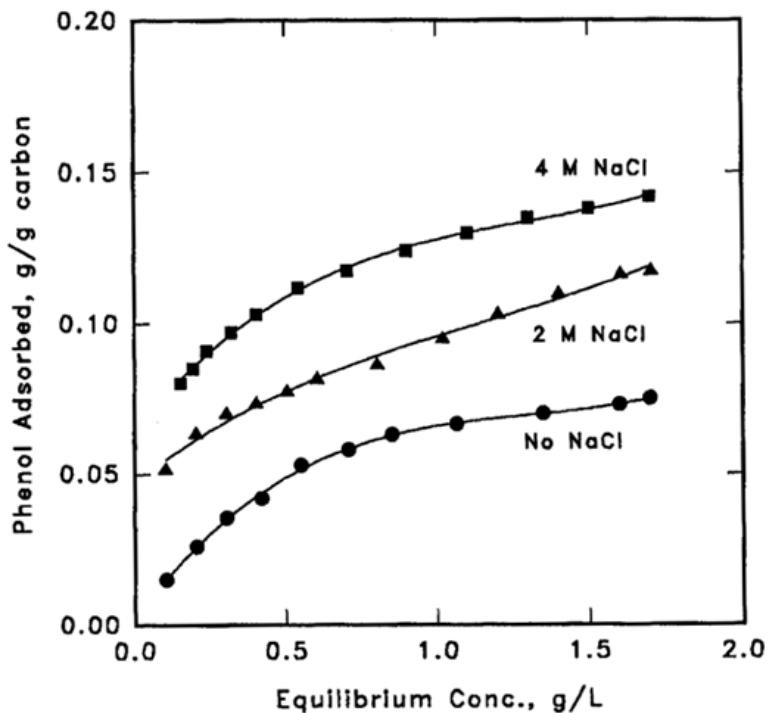


Bild 10: Isotherme Adsorption Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen NaCl-Konzentrationen (Cooney 1998)

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 11** ist dies für zwei unterschiedlich adsorbierbare Stoffe dargestellt.

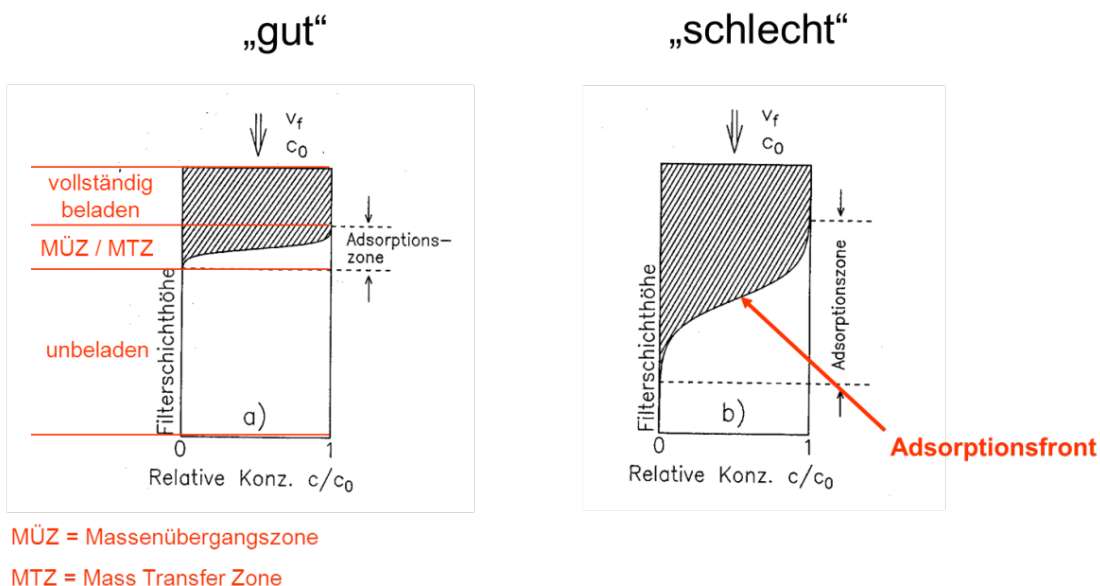


Bild 11: Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber (DVGW W 239)

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 12** 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 13** ist der Zusammenhang dargestellt. Dieses Verhalten wird „Chromatografie-Effekt“ genannt.

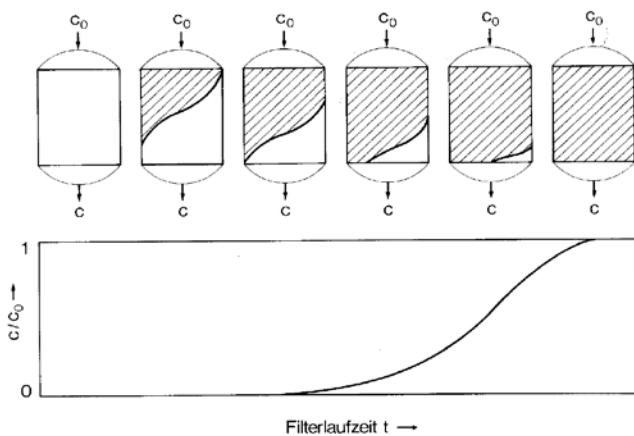


Bild 12: Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit (Sontheimer u. a., 1985)

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

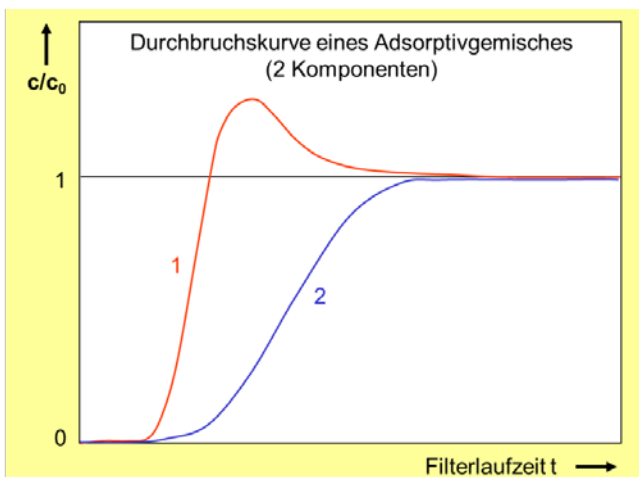


Bild 13: Durchbruchskurve eines Adsorptivgemisches (Worch 2004, modifiziert)

7.2.2 Einsatz von Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination

7.2.2.1 Pulveraktivkohle

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

1. Pulveraktivkohle in den Filterüberstau

Bei dem ersten Verfahren wird die Pulverkohle direkt in den Ablauf der Nachklärung vor der Filtration dosiert. Als Kontaktraum zwischen Kohle und Abwasser dient der Filterüberstau. Über die Filterlaufzeit reichert sich die Kohle im Filter und in der Schüttung an. Hier kann weiterhin eine Adsorption erfolgen. Bei der Rückspülung der Filter wird die beladene Kohle aus dem Filterbett entfernt. Über das Schlammwasser wird diese in den Zulauf der Kläranlage geführt. Dort kann eine weitere Beladung auf einem höheren Konzentrationsniveau erfolgen. In der Vorklärung wird die Kohle abgetrennt und mit dem Primärschlamm der Schlammbehandlung zugeführt. Dieses Verfahren wurde von Meyer (2008) vorgeschlagen.

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

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

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

2. Pulveraktivkohle mit Rückführung

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

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

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

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

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

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

- optimierte PAK-Dosierung: 10 mg/l.
- Feststoffgehalt im Kontaktbecken: ca. 4 g TS/l.
- Einsatz von Fällmittel (Me-Salzen) und Flockungshilfsmittel (0,3 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 Adsorptionstufe 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

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 Festbettdenitri-

fikation) in der Kläranlage „Obere Lutter“ bessere Ergebnisse als mit dem Austausch des Filtermaterials in der bestehenden Filtration, wie in Düren, erzielt.

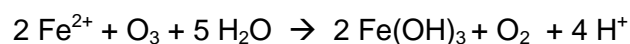
7.3 Ozonung

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 (OH^*). 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 Karbonat-Ionen (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.

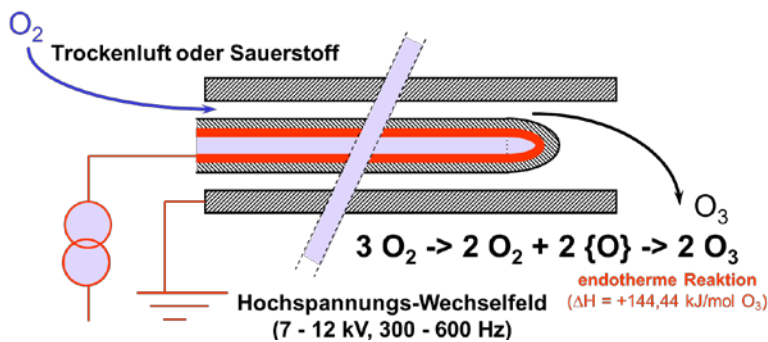


Bild 14: Schema Ozonerzeugung (Gujer 1999, modifiziert)

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 O₃, 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 O₃-Erzeugung, Kühlung und Restozonvernichtung; so ergibt sich ein Bedarf an elektrischer Energie von 10...11 kWh/kg O₃. Für den Eintrag des Ozons werden im Abwasserbereich heute zwei Verfahren vorwiegend genutzt.

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

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

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

7.3.2 Einsatz von Ozon in der Abwassertechnik zur Spurenstoffelimination

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

Ternes u. a. (2003) führten Untersuchungen im halbtechnischen Maßstab mit dem Ablauf der Kläranlage Braunschweig durch. Bei einer Ozondosis von 10 mg/l wurden von den 23 untersuchten Arzneimittelwirkstoffen 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 15**, 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.

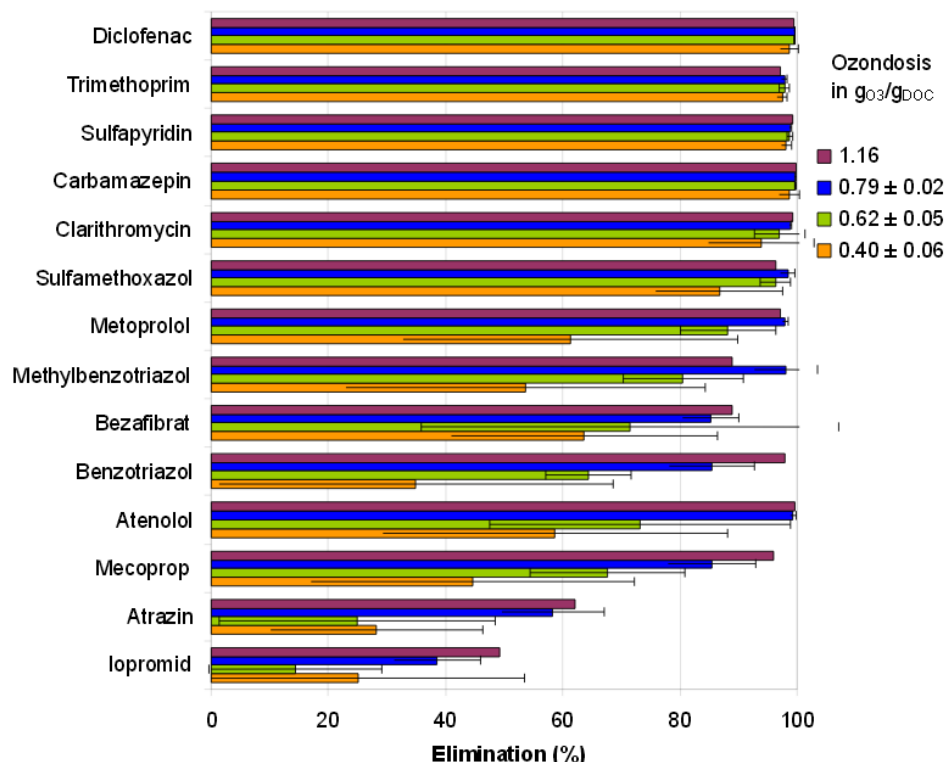


Bild 15: Ergebnisse Elimination Spurenstoffe ARA Regensburg (Abegglen u. a. 2009)

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

In Nordrhein-Westfalen wurden die kommunalen Kläranlagen Bad Sassendorf, Schwerte und Duisburg-Vierlinden mit einer Ozonstufe ausgerüstet. Bei den Kläranlagen Bad Sassendorf und Vierlinden wird der Ablauf ozoniert. Die Ergebnisse beider Anlagen entsprechen sich (Grünebaum u. a., 2012). Die notwendigen Ozondosen, die in Duisburg-Vierlinden und Bad Sassendorf zur Eliminierung notwendig waren, bewegen sich auf dem Niveau der Werte von Regensburg. Zu berücksichtigen ist, dass der DOC im Ablauf der Nachklärung in Bad Sassendorf ebenfalls auf einem niedrigen Niveau liegt.

8 Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen

8.1 Beschickungsmenge

Im Hinblick auf eine wirtschaftliche Auslegung der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination ist eine Betrachtung zur Teilstrombehandlung erforderlich. Der Teilstrom wird so gewählt, dass ein Großteil der jährlichen Abflusssituationen darüber abgedeckt wird. Zudem muss sichergestellt sein, dass eine

ausreichende Spurenstoffelimination in der Gesamtanlage (bestehende Anlage + 4. Reinigungsstufe) erfolgt.

Im Folgenden wird dies am Beispiel des Arzneimittels Diclofenac dargestellt. Für diesen Stoff kann in der bestehenden mechanisch/biologischen Reinigungsstufe ein Eliminationsgrad von 25 % angesetzt werden (**Siegrist 2013, Bsp. Diclofenac**). In der weitergehenden Abwasserreinigung wird von einer zusätzlichen Eliminationsrate von 80 % in dieser Reinigungsstufe ausgegangen. Unter diesen Rahmenbedingungen kann bei einer Vollstrombehandlung ein Gesamtwirkungsgrad von 85 % erreicht werden. Bei einer Teilstrombehandlung von 90 % der gesamten Abwassermenge können Eliminationsarten von 79 % erzielt werden. Schematische Darstellungen dazu siehe **Bild 16** und **Bild 17**. Stellt man den Zusammenhang zwischen den Anteilen Teilstrombehandlung und Eliminationsgrad unter den oben genannten Annahmen grafisch dar, so ergibt sich der im **Bild 18** gezeigte Zusammenhang.

Beispiel Vollstrombehandlung

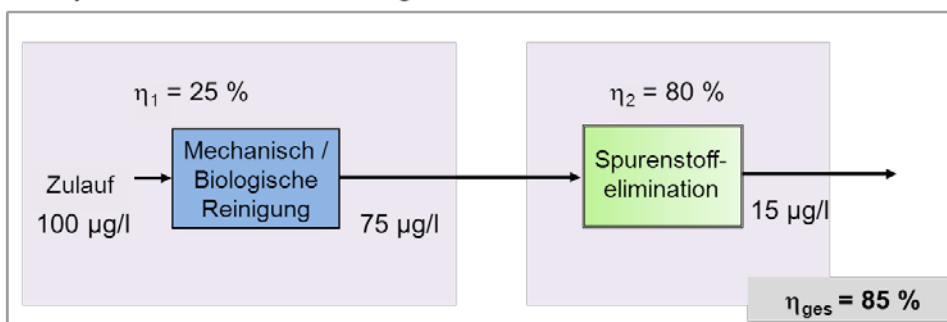


Bild 16: Wirkungsgrade bei Vollstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)

Beispiel Teilstrombehandlung

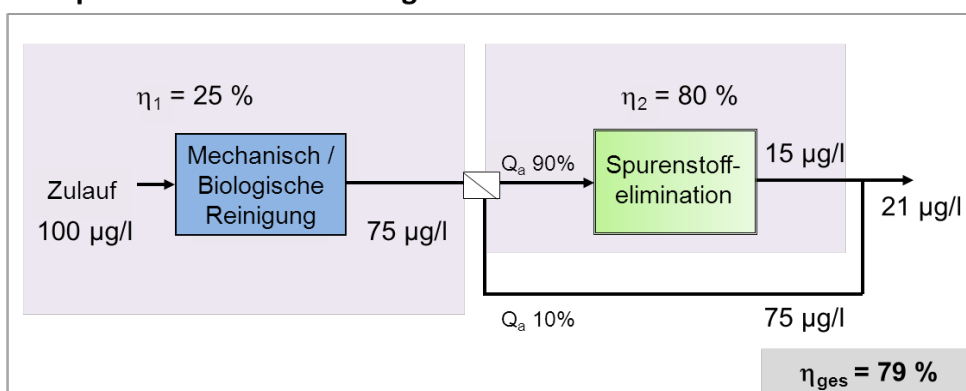


Bild 17: Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung (Konzentration beispielhaft)

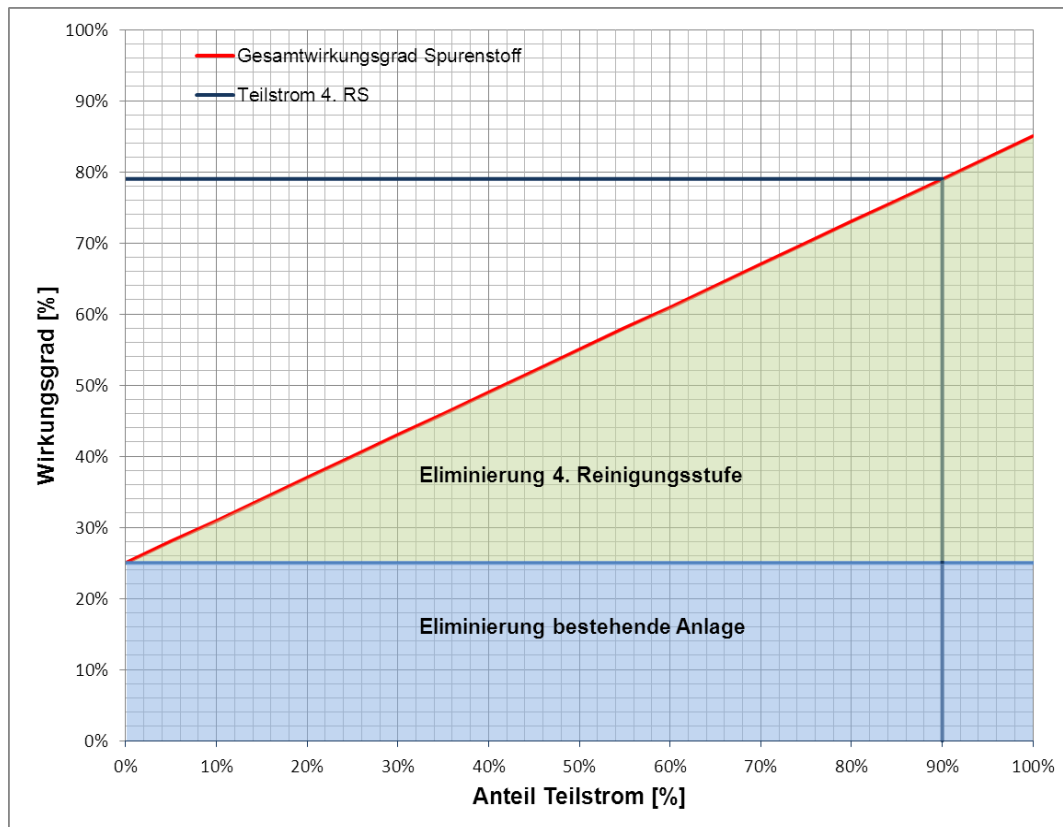


Bild 18: Beispielhaft grafische Darstellung der Wirkungsgrade bei Teilstrombehandlung

Die Bemessung der 4. Reinigungsstufe erfolgt auf Basis der Ablaufmessung der Kläranlage Metelen für den Zeitraum Oktober 2013 bis Oktober 2014 (**Kapitel 3**). Für eine Vollstrombehandlung müsste auf der Kläranlage eine Kapazität zur Behandlung von 466 m³/h (Q_M) vorgehalten werden. Die berechnete Gesamtabwassermenge nach dieser Auswertung beträgt 732.850 m³/a. Die Mengen beziehen sich auf die eigene Auswertung der Stundenwerte von 10/2013 bis 10/2014.

Bild 19 stellt die Summenhäufigkeit der einzelnen Teilstrommengen dar. Wenn die Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination auf 160 m³/h ausgelegt wird, werden ca. 90 % der Jahresabwassermenge behandelt. Unter den gewählten Ansätzen kann somit eine Elimination von ca. 80 % erreicht werden. Die Verfahrensstufe kann so bei einer Behandlung von 91 % der Jahresabwassermenge im Vergleich zur Vollstrombehandlung um ca. 66 % kleiner ausgeführt werden.

Auffällig ist bei der Auswertung der Ablaufwerte, dass der mittlere Ablaufvolumenstrom 86 m³/h beträgt. Dieser ausgewertete Wert liegt deutlich unter dem Trockenwetterzufluss von 233 m³/h. Von daher ist es sinnvoll, wenn in der Teilstrommenge noch eine hydraulische Reserve enthalten ist. Bei einem Teilstrom von 160 m³/h wird eine Abwassermenge von rund **664.244 m³/a** in der vierten Reinigungsstufe behandelt. Basierend auf dem Vorschlag von TUTTAHS & MEYER für die Teilstrommenge (03.12.2014) wurde die 4. Reinigungsstufe für einen Teilstrom von **160 m³/h** ausgelegt.

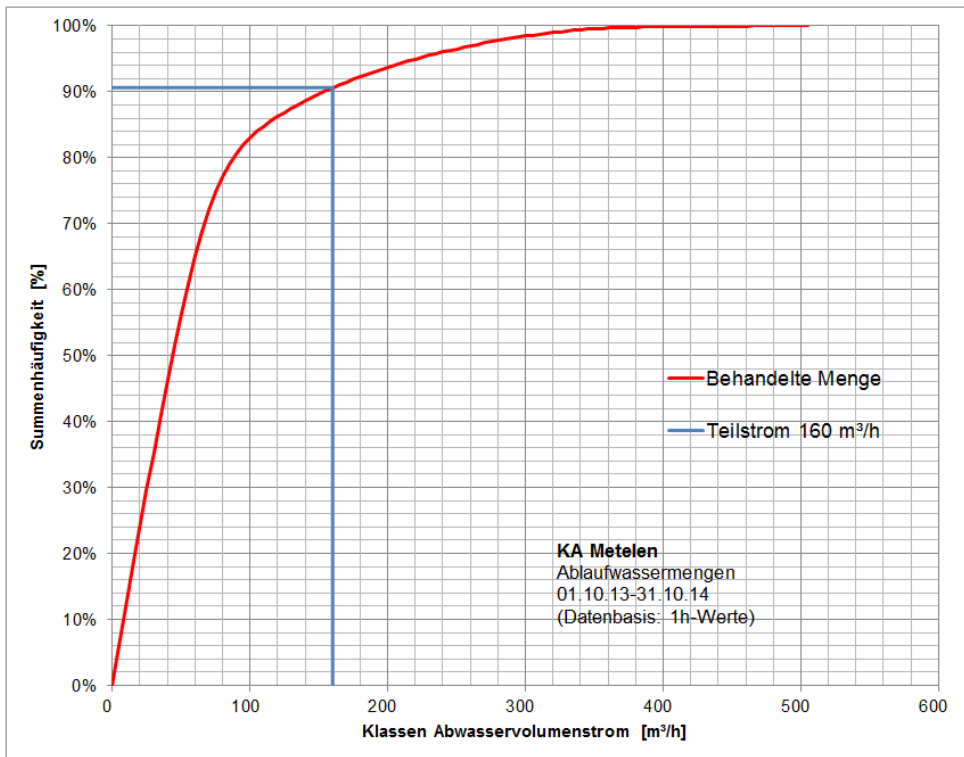


Bild 19: Summenhäufigkeitskurve für die Ablaufwassermenge im Untersuchungszeitraum

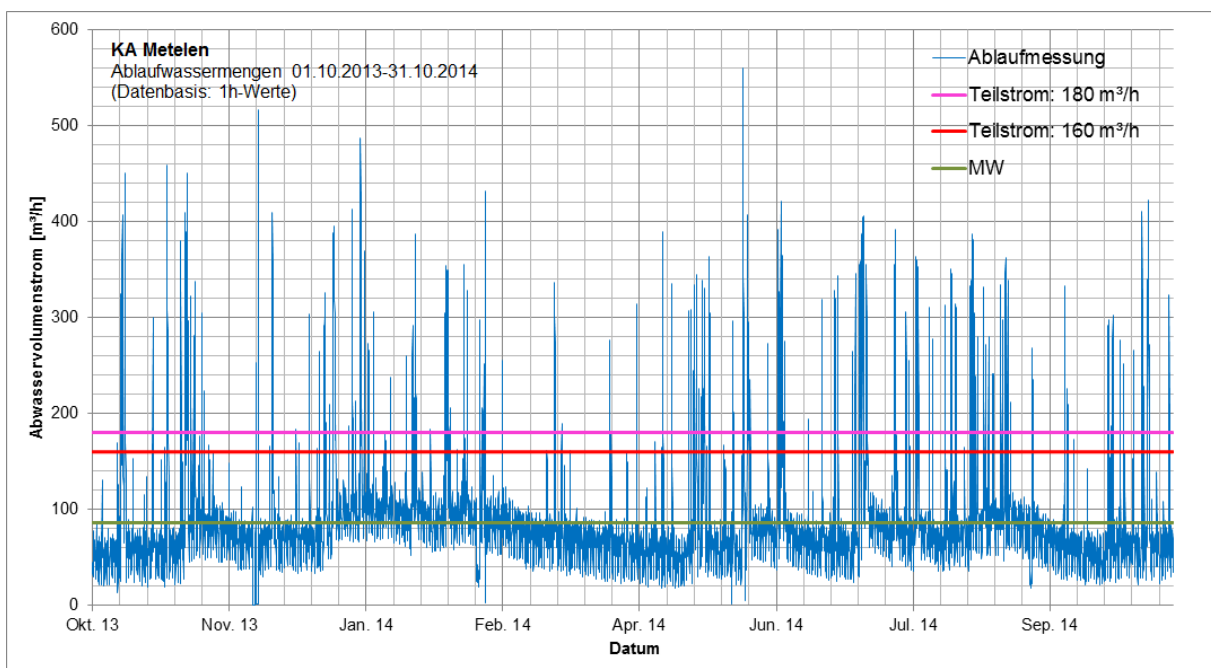


Bild 20: Behandelte Abwassermenge in Abhängigkeit des Bemessungszuflusses der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination

8.2 Verfahrensfestlegung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die folgenden drei Verfahrenskombinationen untersucht:

1. **Pulverkohle mit Rücklaufkohleführung.** Abtrennung der PAK in einem Absetzbecken und in der nachgeschalteten Tuchfiltration,
2. **Filtration über granulierten Aktivkohle.** Festbettadsorber werden der bestehenden Anlage nachgeschaltet,
3. **Ozonung mit Tuchfiltration und nachgeschaltetem Festbettreaktor.** Der Ablauf der Nachklärung wird über einen Tuchfilter geführt und anschließend mit Ozon behandelt. Als biologisch aktive Stufe wird der Ozonung ein mit Lavasteinen gefülltes offenes Gerinne nachgeschaltet.

8.3 Randbedingungen

- Es werden 3 Neubauvarianten untersucht. Eine Nutzung der vorhandenen Becken ist nicht vorgesehen.
- Der Anschluss der 4. Reinigungsstufe erfolgt an den Ablauf der Nachklärung.
- Die Erweiterungsfläche (Obstwiese) steht hierfür zur Verfügung.
- Eine Nutzung des vorhandenen Teiches ist aufgrund der ungünstigen Lage im dichten Baumbestand nicht sinnvoll. Der Teich ist auch nicht an den Ablauf der Kläranlage angeschlossen.

8.4 Varianten

8.4.1 Variante 1: PAK mit Rücklaufkohle

8.4.1.1 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 Metelen würde dies bedeuten, dass ein Kontakt- und ein Absetzbecken sowie eine Filtration gebaut werden müssen. Weiterhin ist ein Silo einschließlich der Dosiertechnik für die Pulveraktivkohle notwendig. Fällmittel wird über die bestehende Anlage bezogen.

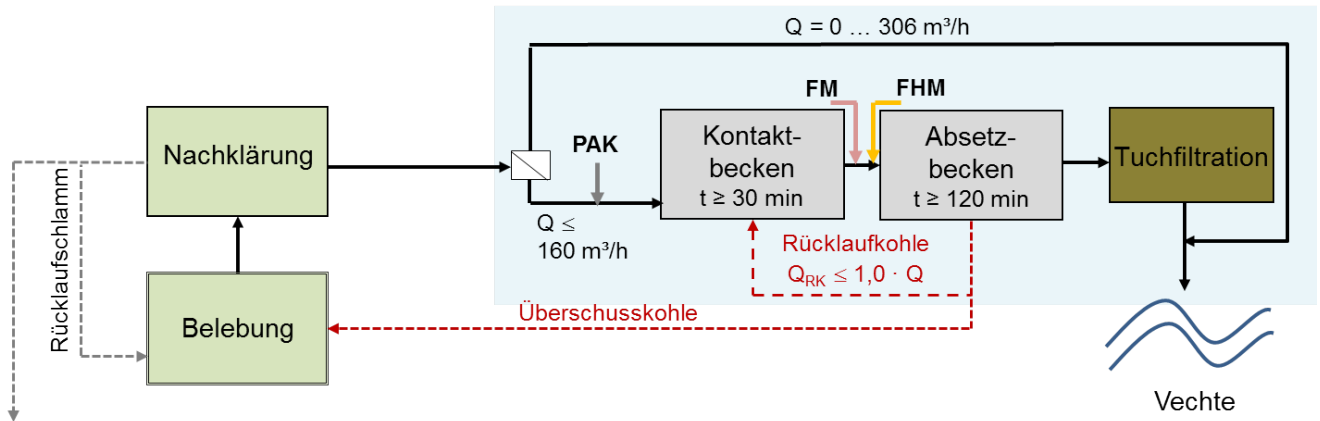


Bild 21: Blockschema Variante 1 - PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

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 $160 \text{ m}^3/\text{h}$ 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.

8.4.1.2 Ausführung

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

Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der PAK-Stufe erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen drei Pumpen mit einem Volumenstrom von je $80 \text{ m}^3/\text{h}$ zur Verfügung. Eine der drei Pumpen dient als Reserve.

Kontaktbecken

Es wird nur ein Kontaktbecken eingesetzt. Das Kontaktbecken ist als quadratisches Becken mit einer Wasserspiegelhöhe von $3,3 \text{ m}$ ausgeführt. Bei einer Innenkantenlänge von 5 m ergibt sich ein Volumen von ca. 83 m^3 . Die Aufenthaltszeit liegt bei maximalem Zufluss bei etwa 31 Minuten. Des Weiteren ist die Rücklaufkohleföhrung auf ein Rückführverhältnis von 1 ausgelegt. Insgesamt ist durch diese Maßnahmen sichergestellt, dass die Adsorptionskapazität der eingesetzten Kohle sehr gut genutzt werden kann. Das Kontaktbecken ist mit einem Vertikalrührwerk ausgestattet.

Absetzbecken

Das Absetzbecken ist längsdurchströmt. Die Beckenbreite beträgt 5 m und die Länge 20 m. Die Randwassertiefe liegt bei 3,2 m. Es ergibt sich ein Gesamtvolumen von 320 m³. Für die Räumung des anfallenden Schlammes in den Abzugstrichter wird ein Bandräumer vorgesehen. Der in den Abzugstrichtern gesammelte Schlamm wird mittels einer Pumpe wieder in den Zulauf des Kontaktbeckens zurückgeführt. Die Überschussskohle wird ebenfalls aus diesem Schacht entnommen und der Vorklärung bzw. Belebung zur weiteren Beladung zugeführt. Der Zulauf vom Kontaktbecken zum Absetzbecken wird jeweils über ein Gerinne realisiert.

Tuchfiltration

Dem Absetzbecken wird eine Filtrationsstufe zur Suspensa-Restentfernung nachgeschaltet. Es wird hier ein Tuchfilter mit 6 Scheiben à 5 m² vorgesehen. Damit ergibt sich eine Gesamtfiltrationsfläche von 30 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. 5 a) erneuert und jährlich einer Intensiv-Reinigung unterzogen werden müssen. Im **Bild 22** ist ein Tuchfilter im Schnitt dargestellt.

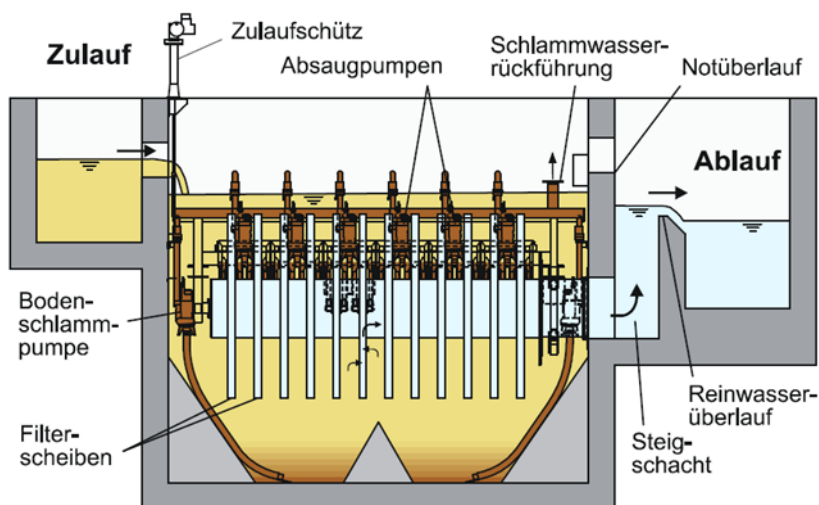


Bild 22: Schnitt eines Tuchfilters, Ausführungsbeispiel (Quelle: Mecana)

Der Ablauf der Tuchfilter wird über ein Gerinne wieder in die Ablaufleitung der Kläranlage zurückgeführt.

PAK-Silo

Zur Lagerung der Aktivkohle ist ein Silo mit einem Inhalt von 80 m³ vorgesehen.

Flockungs- und Flockungshilfsmittel

Als Flockungsmittel wird die Dosierung von FeCl_3 vorgesehen. Das Fällmittel wird der bestehenden Anlage auf der Kläranlage entnommen. Die bestehende Dosieranlage wird dazu um eine zusätzliche Dosierpumpe erweitert. Die Bereitungsanlage für das Flockungshilfsmittel wird im Bereich des PAK-Silos errichtet und mit einer Einhausung versehen.

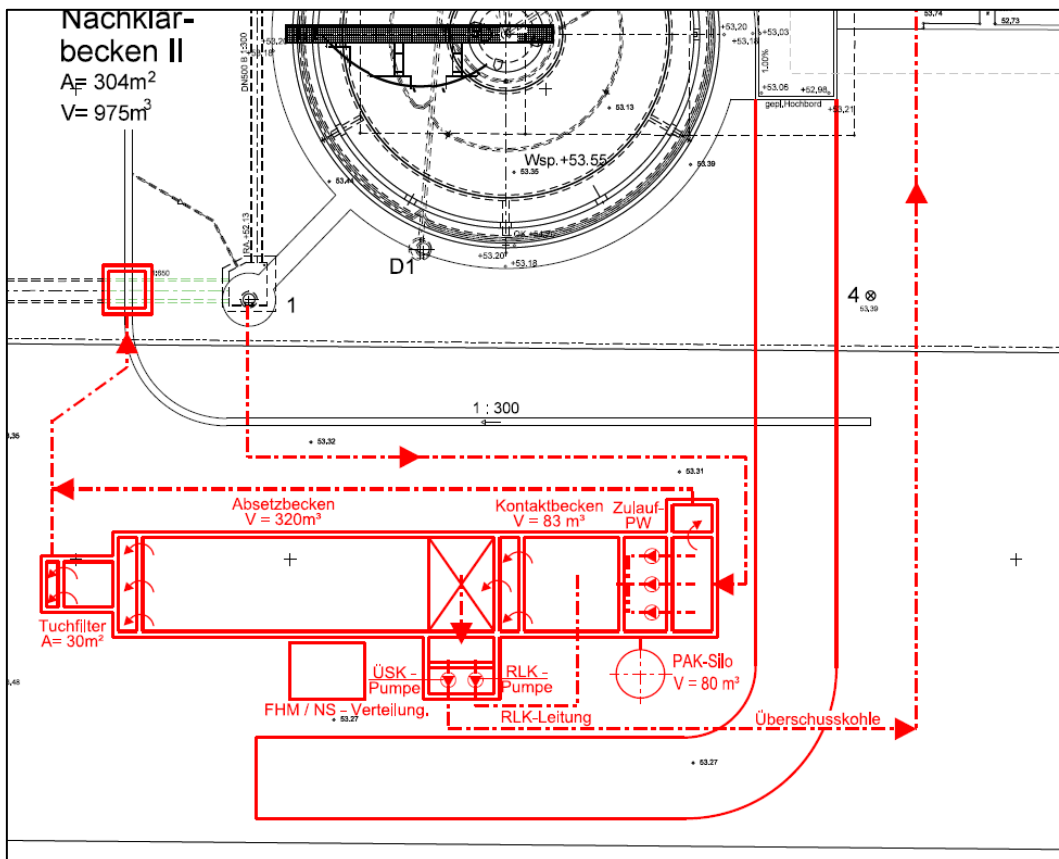


Bild 23: Lageplanausschnitt Variante 1 - PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

8.4.2 Variante 2: Filtration über granulierte Aktivkohle

8.4.2.1 Allgemeines

Der ausgewählte Teilstrom (Ablauf Nachklärung) von maximal $160 \text{ m}^3/\text{h}$ wird über die 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:	4 Stück
Bethöhe GAK:	2,5 m
Leerbettkontaktzeit (EBCT):	30 min
Filterfläche gesamt:	32 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.

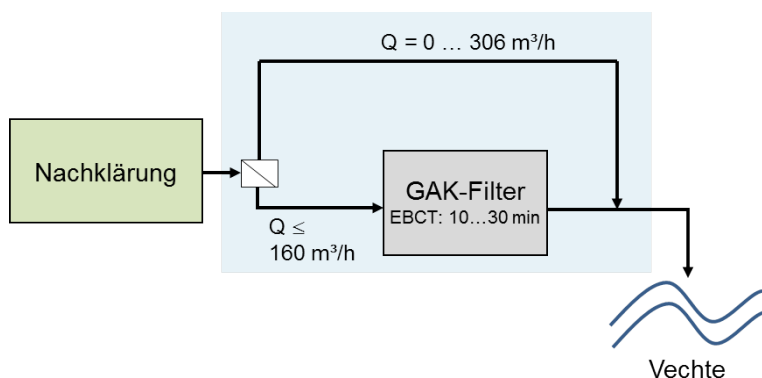


Bild 24: Blockschema Variante 2 - GAK-Filtration

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.

8.4.2.2 Ausführung

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

Filterblock

Der Filterblock besteht aus vier abwärtsdurchströmten offenen Filtern. Jede Filterkammer weist eine Fläche von 8 m² auf. Die Abmessungen einer Filterkammer liegen bei einer Breite von 2 m und einer Länge von 4 m.

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

Spülwasserspeicher

Das Filtrat der Adsorptionsstufe wird in einer Spülwasservorlage mit 100 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.

Spülabwasserspeicher

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

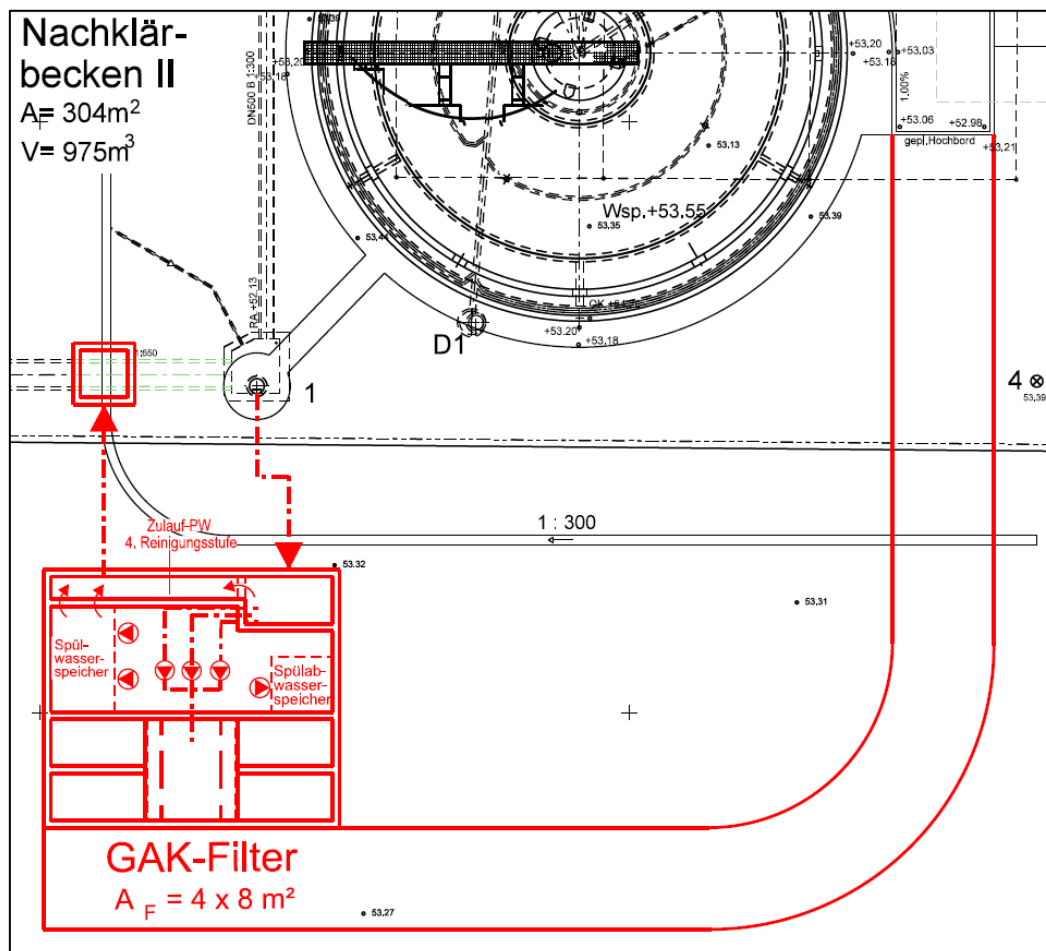


Bild 25: Lageplanausschnitt Variante 2 - GAK-Filtration

8.4.3 Variante 3: Ozonung mit Tuchfiltration und nachgeschaltetem Festbettreaktor

8.4.3.1 Allgemeines

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

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

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

Ozondosis: 2...10 g/m³

Kontaktzeit im Reaktionsbehälter: 10...30 min

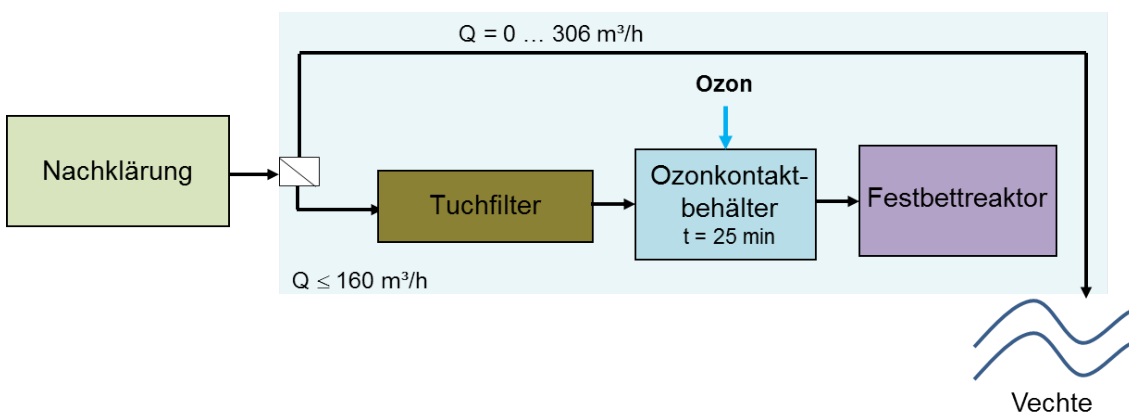


Bild 26: Blockschaema Variante 3: Ozonung mit Tuchfiltration und nachgeschaltetem Festbettreaktor

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 mg O₃/l

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

8.4.3.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt **Blatt 3** der Planunterlagen dar. Die Ozonung mit Ozonerzeuger und Kontaktbecken ist zweistraßig ausgeführt. Bei geringem Durchfluss (z. B. in der Nacht) kann eine Straße außer Betrieb genommen werden.

Pumpwerk 4. Reinigungsstufe

Die Beschickung der Ozonung erfolgt über das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe. Insgesamt stehen drei Pumpen mit einem Volumenstrom von je 80 m³/h zur Verfügung. Diese Variante ist zweistraßig ausgeführt; daher werden jeder Straße (Kontaktbecken) zwei Pumpen zugeordnet. Die dritte Pumpe dient als Reserve für beide Straßen.

Tuchfiltration

Der Tuchfilter entspricht in dieser Variante der Variante 1 (siehe **Kapitel 8.4.1.2**).

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 die nachgeschalteten Sandfilter geführt.

Ozonerzeugung

Die Ozonerzeuger weisen eine Leistung von 2 x 800 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.

Festbettreaktor

Als biologisch aktive Stufe wird ein mit Lavasteinen gefüllter Festbettreaktor eingesetzt. Dieser ist als offenes Betonbecken mit einer Aufenthaltszeit von 30 Minuten ausgeführt. Die Oberfläche der Lavasteine dient der Ausbildung eines Biofilms, der mögliche toxische Transferprodukte eliminiert, die während der Ozonierung entstehen können. Das Becken hat eine Breite von 2,8 m und eine Länge von 18 m. Die Tiefe des Beckens beträgt ca. 1,8 m.

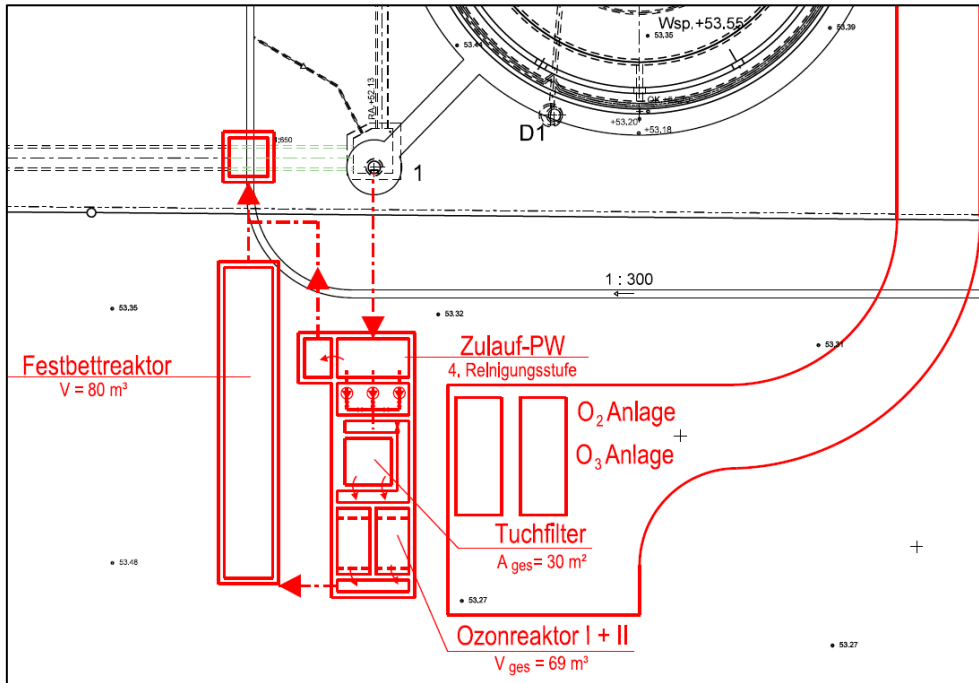


Bild 27: Lageplanausschnitt Variante 3 - Ozonung mit Tuchfiltration und nachgeschaltetem Festbettreaktor

8.5 Ergebnisübersicht Varianten

	Variante 1 Pulverkohle mit Rücklaufkohle	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonung mit Tuchfiltration und nachgeschaltetem Festbettreaktor
Anlagenkomponenten	<p>Kontaktbecken: $t_A = 30 \text{ min}$, $V_{\text{ges}} = 83 \text{ m}^3$</p> <p>Absetzbecken: $L = 20 \text{ m}$, $b = 5 \text{ m}$ $A_{\text{ges}} = 100 \text{ m}^2$, $V = 320 \text{ m}^3$</p> <p>Tuchfiltration: $A_{F,\text{ges}} = 30 \text{ m}^2$</p> <p>PAK-Silo: $V = 80 \text{ m}^3$</p>	<p>GAK-Filtration: 4 Filter, $B \times L = 2 \times 4 \text{ m}$ $A = 32 \text{ m}^2$; $H_{FB} = 2,5 \text{ m}$; $V = 80 \text{ m}^3$</p>	<p>Tuchfiltration: $A_{F,\text{ges}} = 30 \text{ m}^2$</p> <p>Flüssigsauerstoff: Tankanlage und Verdampfer</p> <p>Ozonerzeuger: 2 x 800 g O_3/h</p> <p>Reaktionsbehälter: 2 Straßen, je $L = 3,4 \text{ m}$; $B = 1,7 \text{ m}$; $V_{\text{ges}} = 69 \text{ m}^3$</p> <p>Festbettreaktor: $B \times L = 2,8 \times 18 \text{ m}$ $V = 80 \text{ m}^3$</p>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> keine Bildung von Reaktionsprodukten Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig sehr guter Suspensarückhalt im AB und durch Filtration sehr gute Reduzierung P_{ges} und CSB Mehrfachbeladung der PAK 	<ul style="list-style-type: none"> keine Bildung von Reaktionsprodukten Wirkungsweise der Stoffelimination eindeutig sicherer und einfacher Betrieb Suspensarückhalt durch Filtration 	<ul style="list-style-type: none"> geringe Wirkung auf CSB und P_{ges} guter Suspensarückhalt durch vorgeschaltete Filtrationsstufe
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> höhere Schlammanfall als bei den anderen Varianten betreuungsintensiv, da Dosierung von PAK, FHM und FM 	<ul style="list-style-type: none"> GAK-Austausch Hoher Kohlebedarf in Vergleich zu anderen Varianten 	<ul style="list-style-type: none"> hohe Sicherheitsanforderungen an den Arbeitsschutz, da Ozon toxisch und als Reizstoff wirkt derzeit noch keine breite Referenzbasis für den nachgeschalteten Festbettreaktor

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 E-/MSR-Technik, ermittelt. Die genaue Zusammenstellung enthält **Anlage 2**.

Grundlage der eingesetzten Preise waren aktuelle Ausschreibungsergebnisse in vergleichbaren Projekten sowie Richtpreisangebote von Herstellern. Als Baunebenkosten wurden 20 % der Nettoinvestitionssumme angesetzt. In nachfolgender Tabelle sind die Kosten zusammengestellt:

Tabelle 1: Investitionskosten für die Varianten 1 bis 3

Pos.-Nr	Text		Variante 1	Variante 2	Variante 3
			PAK m. Rücklaufk.	GAK-Filtration	Tuchfilter + Ozon + Festbettreaktor
1	Bautechnik	EUR	426.237,90	442.076,30	356.945,60
2	Maschinentechnik	EUR	565.267,50	364.560,00	532.560,00
3	EMSR-Technik	EUR	242.843,63	182.280,00	228.024,00
Summe Herstellungskosten, netto		EUR	1.234.349,03	988.916,30	1.117.529,60
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	246.869,81	197.783,26	223.505,92
Summe Baukosten, netto		EUR	1.481.218,83	1.186.699,56	1.341.035,52
Mehrwertsteuer		EUR	234.526,31	187.894,10	212.330,62
Summe Baukosten, brutto		EUR	1.715.745,14	1.374.593,66	1.553.366,14
Anteil			125%	100%	113%

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

9.3 Betriebskosten

Für die Berechnung der Betriebskosten wurden folgende Werte angenommen:

Strombezugskosten	0,17 EUR/kWh, netto
Verbrennung Schlamm	62,5 EUR/Mg Nassschlamm, netto
<i>Entwässerungsergebnis</i>	25 %
	250 EUR/Mg TS, netto
Personal	40.000 EUR/(MA·a), netto
Pulveraktivkohle	1.500 EUR/Mg, netto
Flockungshilfsmittel	3.500 EUR/kg WS, netto
Sauerstoff inkl. Tankmiete	0,25 EUR/kg, netto
Entwässerungskosten Schlamm	50 EUR/Mg TS, 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) notwendig. In der Summe ist jedoch keine zusätzliche Menge notwendig, da die Dosierung der Fällmittel von der Belebung (Simultanfällung) in die Adsorptionsstufe verlagert wird. Insgesamt ergeben sich damit keine erhöhten Kosten für den Einsatz von Me-Salzen als Fäll- und Flockungsmittel. Wie die Anlage in Sindelfingen zeigt, ist mit einem Mehranfall an Schlamm zu rechnen. Zum einen ist dies die dosierte Pulverkohle. Zum anderen ist dies Schlamm, der aus den zusätzlich gefällten Stoffen (Phosphor, CSB u. Ä.) gebildet wird. Hierfür wurde für die Betriebskostenermittlung folgender Ansatz gewählt. Der Schlamm setzt sich zu einem Drittel aus der PAK und zu 2/3 aus Organika (CSB, AFS) und Fällprodukten zusammen.

Neben den Entsorgungskosten des Schlammes fallen im Rahmen der Schlammbehandlung noch die Entwässerungskosten auf der Kläranlage an. Diese wurden mit 47,2 EUR/Mg TS, netto berücksichtigt. Bei Variante 1 ist in jedem Fall der Einsatz von Flockungshilfsmitteln notwendig. Es wurden spezifische Kosten von 3.500 EUR/Mg Wirkstoff angesetzt. Weitere Werte sind der Betriebskostenberechnung in **Anlage 3** zu entnehmen.

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

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

Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten Personal- und Wartungs-/Instandhaltungskosten. Die verbrauchsgebundenen Kosten setzen sich aus den Energie-, den Chemikalien- und den Schlamm-entwässerungs- sowie Schlammentsorgungskosten zusammen.

Tabelle 2: Betriebskosten für die Varianten 1 bis 3

		PAK mit RLK	GAK-Filtration	Tuchfilter + Ozonung + Festbettreaktor
Betriebsgebundene Kosten	EUR	55.729,95	38.648,76	49.432,34
Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	27.808,77	46.605,85	25.380,31
Summe Betriebskosten, netto	EUR	83.538,72	85.254,61	74.812,65
Mehrwertsteuer: 19%	EUR	15.872,36	16.198,38	14.214,40
Summe Betriebskosten, brutto	EUR	99.411,08	101.452,99	89.027,05
Anteil		112%	114%	100%

Die Betriebskosten liegen für die Varianten 1 und 2 auf einem vergleichbaren Niveau von rund 10.000 EUR/a, brutto. Die Betriebskosten für die Variante 3 sind mit ca. 90.000 EUR/a brutto am geringsten.

9.4 Jahreskosten

Die Jahreskosten wurden anhand folgender Vorgaben berechnet:

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

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

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

		PAK mit RLK	GAK-Filtration	Tuchfilter + Ozonung + Festbettreaktor
Kapitalgebundene Kosten	EUR	110.160,66	84.551,88	100.956,31
Betriebsgebundene Kosten	EUR	55.729,95	38.648,76	49.432,34
Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	27.808,77	46.605,85	25.380,31
Summe Jahresskosten, netto	EUR	193.699,38	169.806,50	175.768,95
Mehrwertsteuer: 19%	EUR	36.802,88	32.263,23	33.396,10
Summe Jahreskosten, brutto	EUR	230.502,27	202.069,73	209.165,06
Anteil		114%	100%	104%
Spezifische Kosten bezogen auf die behandelte Abwassermenge in der 4. Reinigungsstufe				
spez. Kosten, netto	ct/m ³ Abwasser	29	26	26
spez. Kosten, brutto	ct/m³ Abwasser	35	30	31
Spezifische Kosten bezogen auf die gebührenrelevante Jahresschmutzwassermenge im Jahr 2014 (554.104 m³)				
spez. Kosten, netto	ct/m ³ Abwasser	35	31	32
spez. Kosten, brutto	ct/m³ Abwasser	42	36	38

Die niedrigsten Jahreskosten wurden für die Variante 2 (GAK-Filtration) und Variante 3 (Tuchfilter + Ozonung + Festbettreaktor) mit ca. 202.000 bzw. 209.000 EUR/a brutto ermittelt. Die Variante 1 (PAK-Dosierung mit RLK) weist mit rund 231.000 EUR/a, brutto die höchsten Jahreskosten auf.

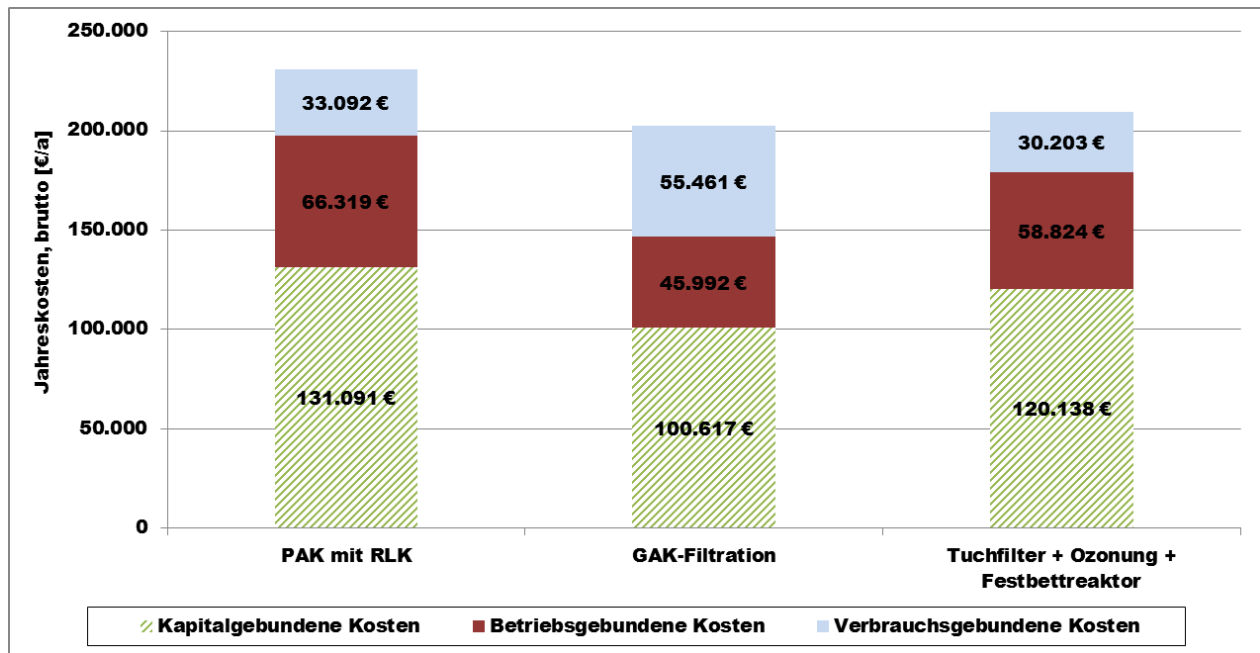


Bild 28: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten

9.5 Sensitivitätsanalyse

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

- Steigerung der Energiekosten (elektrisch) um 20 % auf 0,2 EUR/kWh, netto (0,24 EUR/kWh, brutto),
- Steigerung Bezugskosten für Aktivkohle und Flüssigsauerstoff um 10 %,
- Reduzierung Dosierung Pulverkohle und Ozon um 20 % bzw. Verlängerung der Standzeit der GAK um 20 %.

In **Tabelle 4** sind die prozentualen Steigerungen bzw. Reduzierungen der Jahreskosten dargestellt. Rot und gelb deuten auf eine hohe bzw. mittlere Sensitivität hin, während grün einer niedrigen Sensitivität entspricht. Die **Steigerung des Bezugspreises für elektrische Energie** um 20 % führt auch bei der energieintensiven Variante 3 (Ozonung) zu einer Steigerung der Jahreskosten von rund 3.500 EUR/a, brutto bzw. +1,7 %. Bei Variante 2 (GAK-Filtration) ist die Kostensteigerung mit 800 EUR/a, brutto am geringsten; dies entspricht einer Steigerung von +0,4 %. Variante 1 (PAK-Dosierung mit RLK) weist eine Jahreskostentsteigerung von ca. 2.000 EUR/a, brutto bzw. +0,8 % auf.

Die **Steigerung der Bezugskosten** um 10 % für die Aktivkohle steigert die Jahreskosten von den Varianten 1 und 2 um 1.400 EUR/a, brutto bzw. 5.100 EUR/a, brutto. Die Preissteigerung für Flüssigsauerstoff führt bei Variante 3 zu einer Erhöhung der Jahreskosten um rund 1.300 EUR/a, brutto. Bei den Jahreskosten ergeben sich somit Steigerungen von +2,5 % bei Variante 2 (GAK-Filtration) sowie +0,6 % bei den Varianten 1 und 3.

Die **Reduzierung der Dosiermengen** um etwa 20 % hat große Einflüsse auf die Jahreskosten. Bei Variante 1 (PAK) würden die Jahreskosten durch Reduzierung der Aktivkohlemenge um ca. 2.800 EUR/a, brutto (-1,2 %) sinken. Bei der Variante 3 (Ozonung) würde sich eine Einsparung von rund 4.300 EUR/a, brutto (-2,1 %) ergeben. Die Verlängerung der GAK-Standzeit verringert die Jahreskosten der Variante 2 um rund 8.600 EUR/a, brutto (-4,2 %).

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 4: Prozentuale Erhöhung bzw. Verminderung der Jahreskosten unter sensitiver Betrachtung der Energie- und Bezugskosten sowie Einsatzmenge

	Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Tuchfilter + Ozonung + Festbettreaktor
Energiekosten (+20%)	0,8%	0,4%	1,7%
Bezugskosten (+10%)	0,6%	2,5%	0,6%
Einsatzmenge(-20%)	-1,2%	-4,2%	-2,1%

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 5: Bewertungsmatrix für die Varianten 1 bis 3

Kriterium	Wichtung	Wertung					
		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.		Variante 2 GAK-Filtration		Variante 3 Tuchfilter + Ozonung + Festbettreaktor	
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,35	4	1,4	5	1,75	5	1,75
Reinigungsleistung P_{ges}/CSB (zusätz. Reduk.)	0,20	5	1	4	0,8	4	0,8
Bildung Nebenprodukte	0,05	5	0,25	5	0,25	3	0,15
Erfahrungen/Referenzen	0,10	5	0,5	4	0,4	3	0,3
Betriebs- und Wartungsaufwand	0,10	4	0,4	5	0,5	4	0,4
Betriebssicherheit	0,10	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Sensitivität Kostensteigerungen	0,05	4	0,2	3	0,15	4	0,2
CO ₂ -Bilanz	0,05	4	0,2	4	0,2	4	0,2
Summe	1,00	35	4,35	34	4,45	31	4,20

Wertung nach Punkten
(steigende Punkte → bessere Wertung)

1 = ungenügend
5 = sehr gut

Die **Jahreskosten** werden mit einer Wichtung von 35 % eingestuft. Wie schon im **Kapitel 9.4** dargestellt, sind die Jahreskosten bei Variante 2 (GAK-Filtration) und 3 (Ozonung) am geringsten, bei der

Variante 1 (PAK) am höchsten. Die Varianten 2 und 3 bekommen aufgrund der geringen Kosten fünf Punkte und die Variante 1 nur vier Punkte.

Die **Reinigungsleistung P_{ges} und CSB** wurde in Metelen ebenfalls mit 20 % gewichtet. Sehr gute Ergebnisse hat die Variante 1 (PAK mit RLK) in Sindelfingen für P_{ges} erzielt. Bei Variante 3 ist durch die vorgeschaltete Tuchfiltration eine Reduktion von den Parametern CSB und P_{ges} zu erwarten. Dieser Effekt ist bei Variante 2 auch vorhanden. Daher werden vier Punkte für Variante 2 und 3 vergeben. Allein Variante 1 erhält fünf Punkte in diesem Kriterium.

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 den Varianten 2 und 3. Um der besonderen Bedeutung dieses Punktes Rechnung zu tragen, wurden die Ozonvarianten (2 und 3) hier mit vier Punkten bewertet und Variante 1, wo keine Abbauprodukte entstehen können, mit fünf Punkten.

Für die vorgestellten Varianten ist die Situation hinsichtlich **Erfahrungen und Referenzen** unterschiedlich. Für die Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle), die bislang in Baden-Württemberg bevorzugt umgesetzt wurde, liegen derzeit schon sehr gute Erfahrungen vor. Derzeit sind Anlagen bis 1.000 l/s in Betrieb. Größere sind in Planung. Daher werden hier fünf Punkte vergeben. Auch für die GAK-Filtration liegen schon einige Erfahrungen aus Referenzanlagen vor, sodass diese Variante vier Punkte erhält. Die Kombination Tuchfilter + Ozonung + Festbettreaktor bei Variante 3 wurde bisher in keiner bekannten Studie untersucht. Daher werden für Variante 3 nur drei Punkte vergeben.

Beim Punkt **Betriebssicherheit** wird das Verhalten des Verfahrens beim Ausfall eines Aggregates bewertet, auch inwieweit durch redundante Anlagenteile ein Weiterbetrieb und die Einhaltung der Reinigungsziele möglich sind. Die Auswirkungen auf weitere Anlagenteile werden in die Beurteilung einbezogen. Aufgrund der verschiedenen Aggregate und Pumpen, die für die Dosierung von PAK, Me-Salzen und Flockungshilfsmittel sowie die Rücklaufkohleförderungen erforderlich sind, wird die Betriebssicherheit mit vier Punkten bewertet. Die Varianten 2 und 3 (Ozonung) 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 2 (GAK-Filtration) mit 4,45 Punkten am besten ab. Gefolgt von Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) mit 4,35 Punkten. Die Variante 3 (Tuchfilter + Ozonung + Festbettreaktor) hat mit 4,20 Punkten die niedrigste Bewertung.

11 Zusammenfassung

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

Im Rahmen der Studie zur Ertüchtigung und Erweiterung der Kläranlage Metelen 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: Tuchfiltration mit Ozonung und nachgeschaltetem Festbettreaktor.

Die ausgewählten Varianten wurden auf ihre Umsetzbarkeit geprüft und zeichnerisch in Lageplanausschnitten dargestellt. Basierend auf den Abschätzungen der Betriebs- und Investitionskosten wurden die Jahreskosten ermittelt. Die Bewertung der einzelnen Varianten erfolgte anhand einer Entscheidungsmatrix, in der neben den Jahreskosten noch weitere Kriterien berücksichtigt wurden. Maximal konnte eine Punktzahl von 5 Punkten erreicht werden.

Die höchste Punktzahl erreicht Variante 2 (GAK-Filtration) mit 4,45 Punkten; Variante 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle) kommt auf den zweiten Platz mit 4,35 Punkten. Die Ozonung mit Tuchfilter und nachgeschaltetem Festbettreaktor (Variante 3) liegt mit 4,20 Punkten auf dem dritten Platz. Bei den Jahreskosten liegt Variante 2 (GAK-Filtration) mit ca. 202.000 EUR/a, brutto vorn, gefolgt von Variante 3 (Tuchfilter + Ozonung + Festbettreaktor) mit rd. 209.000 EUR/a, brutto. Die Variante 1 (PAK-Dosierung mit RLK) liegt mit 230.000 EUR/a, brutto auf dem dritten Platz.

Für die GAK-Filtration (Variante 2) sprechen die hohe Betriebssicherheit, die niedrigen Jahreskosten und der einfache Betrieb. Die relativ geringe prognostizierte Standzeit der Aktivkohle im Filter führt allerdings zu hohen Betriebskosten. Variante 2 ist zudem sehr empfindlich gegenüber Kostensteigerungen. Bei der GAK-Filtration ist grundsätzlich neben dem beschriebenen Einsatz von Frischkohlen bzw. reaktivierten Kohlen auch der Einsatz von vorbeladenen Kohlen aus der Trinkwasseraufbereitung möglich. Das Konzentrationsniveau der Spurenstoffe ist in der Trinkwasseraufbereitung i. d. R. niedriger als im Abwasserbereich, sodass diese Kohlen in der vierten Reinigungsstufe weiterbeladen werden könnten. Die Eignung sollte vor dem Einsatz in jedem Fall durch Versuche bzw. eine Pilotierung untersucht werden. In Abhängigkeit von den erreichbaren Standzeiten dieser Kohlen ist dann die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes zu bewerten.

Variante 1 (PAK mit Rücklaufkohle) lag in der Bewertungsmatrix auf dem zweiten 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 sicherer Betrieb möglich ist. Durch die Rückführung der Aktivkohle ist eine gute Nutzung der Adsorptionskapazität der Kohle gegeben. Dadurch reduziert sich insgesamt der benötig-

te Kohlebedarf. Das Verfahren reagiert damit auf Preisschwankungen bei der Aktivkohle weniger sensitiv. Das Verfahren führt neben der Spurenstoffelimination noch zu Reduzierungen bei den Parametern CSB und P_{ges} .

Variante 3 (Tuchfilter + Ozonung + Festbettreaktor) lag in der Bewertungsmatrix auf dem letzten Platz. Die Jahreskosten für dieses Verfahren sind niedrig, jedoch von der Ozondosis stark 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. Für diese Verfahrenskombination liegen derzeit noch keine Erfahrungswerte vor.

Die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH empfiehlt, die Varianten 2 (GAK-Filtration) und 1 (PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung) für weitere Untersuchungen auf der Kläranlage Metelen zu berücksichtigen.

Literaturverzeichnis

Abegglen u. a. 2009

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

ATV-A 203

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

Bornemann u. a. 2012

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

Breitbach u. Bathen 2001

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

Cooney 1998

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

DVGW W 239

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

DWA 2008

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

Grünebaum u. a. 2012

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

Joss u. a. 2005

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

Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013

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

Kümmel u. Worch 1990

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

Meyer 1979

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

Meyer 2008

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

MUNLV 2004

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

Nahrstedt u. a. 2011

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

Palmowski u. a. 2011

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

Pinnekamp u. a. 2010

Pinnekamp, Johannes; Keyers, Christoph; Montag, David; Veltmann, Karin: Elimination von 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**

KA Metelen**Projektnummer: 0445 076****4. Reinigungsstufe****Auslegungsdaten Hydraulik**

Ausbaugröße		17.500 E
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q _t	64,72 l/s
		233 m ³ /h
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>		
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q _{Teil,max}	160 m ³ /h
		44 l/s
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q _{Teil,a}	664.244,00 m ³ /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q _{Teil,d}	1.820 m ³ /d

KA Metelen**Projektnummer: 0445 076****PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung****Auslegung Zwischenhebewerk**

Ausbaugröße		17.500	E
Volumenstrom, gesamt	Q_Teil,max	160	m³/h
Anzahl Straßen	n_Str	1	
Volumenstrom, je Straße	Q_Teil,max,Str	160	m³/h
Förderhöhe, abgeschätzt, zusätzlich	h_gesch	3,0	m
spez. Energiebedarf		7	Wh/(m³·m)
<i>Bemessung</i>			
Energiebedarf		13.949	kWh/a

Auslegung Kontaktbecken

Ausbaugröße		17.500	E
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t_a,min	30	min
<i>Bemessung</i>			
erforderliches Gesamtvolumen KB	V_KB,erf,ges	80	m³
Anzahl Becken	n_KB,ist	1	Stück
Kantenlänge Becken	l_KB,ist	5,00	m
Höhe Wasserspiegel	h_WS,KB,ist	3,30	m
Volumen eines KB	V_KB,ist,n	83	m³
Gesamtvolumen KB	V_KB,ist,ges	83	m³
<i>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</i>			
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t_a,ist	31,13	min

Auslegung Rührwerk Kontaktbecken

<i>Vorgaben</i>			
Energieeintrag		7,00	W/m³
Anzahl Rührwerke, insgesamt	n_RW	1	
Laufzeit, anteilig		24	h/d
<i>Bemessung</i>			
Leistungsbedarf	P_RW,KB	0,58	kW
Energiebedarf Rührwerke		14	kWh/d
		5.090	kWh/a

Auslegung Rücklaufkohlepumpwerk

<i>Vorgaben</i>			
Rückführverhältnis	RV	1,00	
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch	0,5	m
spez. Energiebedarf		7	Wh/(m³·m)
<i>Bemessung</i>			
Volumenstrom Rücklaufkohle	Q_RLK	160	m³/h
Energiebedarf		2.325	kWh/a

KA Metelen**Projektnummer: 0445 076****PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung****Auslegung Überschussskohleentnahme**

<i>Vorgaben</i>			
TS-Gehalt Schlamm			8,00 kg/m ³
Tagesschlammmenge	V_ÜS		7,55 m ³ /d
angenommene Laufzeit			5,00 h/d
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch		2,00 m
spez. Energiebedarf			7 Wh/(m ³ ·m)
<i>Bemessung</i>			
berechnete Fördermenge	Q_ber		1,51 m ³ /h
Gewählte Fördermenge	Q_gew		2,00 m ³ /h
Energiebedarf			51 kWh/a

Pulverkohledosierung

<i>Vorgaben</i>			
min. Dosierkonzentration	c_PAK,min		5,0 g/m ³
max. Dosierkonzentration	c_PAK,max		20,0 g/m ³
max. Dosierung			10,0 kg/h
<i>gewählte Dosiersysteme</i>			
1 Dosiergerät, (Ger. 1)	m▪_Dos, Ger_1		5,0 kg/h
1 Dosiergerät, (Ger. 2)	m▪_Dos, Ger_2		2,5 kg/h
<i>PAK-Bedarf</i>			
mittlere PAK-Dosierkonzentration im Jahr	c_PAK,a		12,0 g/m ³
Tagesbedarf	m_PAK,d		22 kg/d
Jahresbedarf	m_PAK,a		8 Mg/a
<i>PAK-Silo</i>			
gewähltes Silo-Volumen	V_Silo		80 m ³
Nutzvolumen (2/5)	V_Silo,Nutz		32 m ³
Lagerungsdichte PAK	rho_B,PAK		400 kg/m ³
Masse PAK, nutzbar	m_PAK,nutz		13 Mg
Intervall Nachfüllung Silo			1,6 a
			586 d

Pumpen Treibwasser für PAK-Dosierung

<i>Vorgaben</i>			
spez. Energiebedarf			0,3 kWh/(a·E)
Energiebedarf			5.250 kWh/a

KA Metelen**Projektnummer: 0445 076****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	53	kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	19	Mg/a
<i>FM-Tank</i>			
gewähltes Volumen	V_Tank,FM	20	m ³
Nutzvolumen (4/5)	V_Tank,Nutz	16	m ³
Dichte FM	rho_FM	1.430	kg/m ³
Masse PAK, nutzbar	m_FM,nutz	22.880	kg
Intervall Nachfüllung Tank		434	d

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	0,4	kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	0,13	Mg/a

KA Metelen**Projektnummer: 0445 076****PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung****Auslegung Tuchfiltration**

Vorgaben			
Filtergeschwindigkeit, maximal	v_F,max	8	m/h
Feststoffflächenbelastung	BA,max	0,250	kg/(m ² ·h)
max. xTS-Konzentration im Zulauf	xTS.max,zu	35	mg/l
Bemessung			
erforderliche Filterfläche, gesamt nach V_F,max	A_F,erf,ges,vF	20	m ²
erforderliche Filterfläche, gesamt nach BA,max	A_F,erf,ges,BA	22	m ²
Anzahl Filterstraßen	n_Filt,ist	1	
<i>gewählter Filtertyp (Beispielfabrikat)</i>			
Anzahl Scheiben je Filter	n_Scheiben	6	
Filterfläche je Filter	A_F,ist,Str	30	m ²
Filterfläche, gesamt	A_F,ist,ges	30	m ²
Nachweise bezogen auf Q_Teil,max			
Filtergeschwindigkeit, maximal	v_F,ist,max	5,33	m/h
Feststoffflächenbelastung, maximal	BA,ist,max	0,187	kg/(m ² ·h)
Spülwasseranfall und -förderung			
spez. Spülwasseranfall bezogen auf Filtratmenge		2%	
Schlammwasseranfall pro Tag	V_Schlammwas,d	36	m ³ /d
Schlammwasseranfall pro Jahr	V_Schlammwas,a	13.285	m ³ /a
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	2	m
spez. Energiebedarf		7	Wh/(m ³ ·m)
Energiebedarf		0,38	kWh/d
		139	kWh/a

KA Metelen**Projektnummer: 0445 076****PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung****Auslegung Absetzbecken**

Beckentyp		Rechteckbecken
Schlammräumung (Schildräumung/Saugräumung)		Schildräumung
Durchströmung (vertikal/horizontal)		horizontal
Anzahl der Becken	n	1 Stück
wirksame Beckenlänge	l	20 m
Beckenbreite	b	5 m
Oberfläche	A	100 m ²
Mind. Randbeckentiefe	$h_{\text{Rand,min}}$	3,00 m
Beckenrandtiefe	$h_{\text{Rand,ist}}$	3,20 m
Beckenvolumen	V_{Sed}	320 m ³

Festlegung der Bemessungsdaten

Max. Zulauf je Becken	Q_{max}	160 m ³ /h 44 l/s
Rücklaufverhältnis	RV	1,00
Min. Aufenthaltszeit Sedimentation	$t_{\text{v,Sed, min}}$	2,00 h
max. Oberflächenbeschickung	$q_{\text{a,max}}$	1,8 m/h
Schlammvolumen	ISV	80,0 ml/g
TS-Gehalt im Kontaktbecken	TS	4,0 g/l

Nachweis Flächenbeschickung und Aufenthaltszeit

Flächenbeschickung	q_{A}	$Q_{\text{max}}/A =$	1,6 m/h
Aufenthaltszeit	$t_{\text{v,sed}}$	$V_{\text{Sed}}/Q_{\text{max}} =$	2,00 h

KA Metelen**Projektnummer: 0445 076****GAK-Filtration****Auslegung Zwischenhebewerk**

Ausbaugröße		17.500 E
Volumenstrom, gesamt	Q_Teil,max	160 m³/h
Anzahl Straßen	n_Str	1
Volumenstrom, je Straße	Q_Teil,max,Str	160 m³/h
Förderhöhe, abgeschätzt, zusätzlich	h_gesch	3,5 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m³·m)
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf		16.274 kWh/a

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
Anzahl Filter	n_Filter	4
Schüttdichte GAK	rho_Schütt	400 kg/m³
<i>Bemessung Filter</i>		
erforderliches Leerbettvol., ber. über EBCTgew	V_GAK	80 m³
erforderliche Filterfläche, ber. über EBCTgew	A_Filter,erf	32,00 m²
Fläche Filter, berechnet	A_Filter,erf,n	8,00 m²
Länge Filter, gewählt	l_Filter,gew	4,00 m
Bereite Filter, gewählt	b_Filter,gew	2,00 m
Filterfläche, gewählt je Filter	A_Filter,gew	8,00 m²
Filterfläche, gewählt, gesamt	A_Filter,ges	32,00 m²
Leerbettvolumen, gewählt, gesamt	V_GAK,ges	80,00 m³
Masse GAK, gesamt	M_GAK,ges	32,00 Mg
<i>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</i>		
Filtergeschwindigkeit	v_F,ist	5,00 m/h
Filtergeschwindigkeit, bei (n-1) Filter	v_F,ist,n-1	6,67 m/h
tatsächliche Kontaktzeit im Filterbett	EBCT, ist	30,00 min
Kontaktzeit bei (n-1) Filter	EBCT,ist,n-1	22,50 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	240 m³/h
Volumenstrom Spülwasserpumpe, gewählt	Q_Spül,W,gew	240 m³/h

KA Metelen**Projektnummer: 0445 076****GAK-Filtration****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	560 m³/h
Volumenstrom Spülluftgebläse, gewählt	Q_Spül,L,gew	560 m³/h

Rückspülregime

<i>Vorgaben</i>		
Spülintervall, gewählt		24 h
		7 /Woche
Spülprogramm		
Luftspülung	t_Spül,L,gew	90 s
		1,5 min
Wasserspülung	t_Spül,L,gew	300 s
		5,0 min
<i>Berechnung</i>		
Spülwasserbedarf pro Spülung (rechnerisch)		20 m³/Spül.
Spülwasserbedarf (rechnerisch)		560 m³/Wo.
		80 m³/d
Spülwasserspeicher (Gewählt)	V_Spülsp,GAK	100 m³
Energiebedarf je Spülung (mit RF Schlammwasser)		2,56 kWh
Bedarf Spülluftgebläse		0,44 kWh
Bedarf Spülwasserpumpen		1,16 kWh
Bedarf Schlammwasserförderungen		0,96 kWh
Energiebedarf pro Woche		72 kWh/Wo
Energiebedarf pro Jahr		932,17 kWh/a
Bedarf Spülluftgebläse		160,07 kWh/a
Bedarf Spülwasserpumpen		421,14 kWh/a
Bedarf Schlammwasserförderungen		350,95 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	352 d
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Volumen	V_GAK,a	83,0 m³/a
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Masse	M_GAK,a	33,21 Mg/a

KA Metelen**Projektnummer: 0445 076****Tuchfiltration + Ozonung + Festbettreaktor****Auslegung Zwischenhebewerk**

Ausbaugröße		18.000 E
Volumenstrom, gesamt	Q_Teil,max	160 m ³ /h
Anzahl Straßen	n_Str	2
Volumenstrom, je Straße	Q_Teil,max,Str	80 m ³ /h
Förderhöhe, abgeschätzt, zusätzlich	h_gesch	4,0 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m ³ ·m)
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf		18.599 kWh/a

Auslegung Kontaktreaktor Ozon

<i>Vorgaben</i>		
Kontaktzeit (Bereich)	t_KR	10...30 min
Kontaktzeit, gewählt	t_KR,ges,gew	25 min
davon im Kontaktreaktor		20 min
in der Ausgasungszone		5 min
Straßen	n_Str	2
<i>Bemessung Reaktor</i>		
erforderliches Volumen	V_KR,ges	67 m ³
davon im Kontaktreaktor		53 m ³
in der Ausgasungszone		13 m ³
<i>Geometrie</i>		
Straßen	n_Str	2
Wasserspiegelhöhe	h_WS	6,00 m
Länge (innen)	l_KR,gew	3,40 m
Breite (innen), Straße	b_KR,gew	1,70 m
Volumen,ist,Str	V_KR,ist,Str	35 m ³
Volumen,ist,ges	V_KR,ist,ges	69 m ³
<i>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</i>		
tatsächliche Kontaktzeit im Reaktor	t_KR,ist	26,01 min
Kontaktzeit bei (n-1) Straßen	t_KR,ist,n-1	13,01 min

KA Metelen**Projektnummer: 0445 076****Tuchfiltration + Ozonung + Festbettreaktor****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.		9,1	kWh/kgO3
<i>Bemessung</i>			
O3-Bedarf bei max. O3-Dosis und Q_Teil,max		1,60	kg O3/h
gewählte Anlage		1,60	kg O3/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		13	kg O3/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		4.650	kg O3/a
<i>Sauerstoffbedarf</i>			
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max		15	kg O2/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		1.820	kg O2/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		43.473	kg O2/a
<i>Energiebedarf</i>			
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max		15	kWh
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		116	kWh/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		42.312	kWh/a

Pumpen Kühlwasser Ozonerzeuger

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

KA Metelen**Projektnummer: 0445 076****Tuchfiltration + Ozonung + Festbettreaktor****Auslegung Festbettreaktor**

<i>Vorgaben</i>		
Aufenthaltszeit (Bereich)	t_FB	30,00 min
erforderliches Volumen	V_FB,ges	80 m ³
<i>Geometrie</i>		
Straßen	n_Str	1
Wasserspiegelhöhe	h_WS	1,80 m
Länge (innen)	l_FB,gew	18,00 m
Breite (innen), Straße	b_FB,gew	2,80 m
Volumen,ist,Str	V_FB,ist,Str	91 m ³
Volumen,ist,ges	V_FB,ist,ges	91 m ³
<i>Nachweis</i>		
tatsächliche Kontaktzeit im Reaktor	t_FB,ist	34,02 min
<i>Bemessung Tropfkörper</i>		
Fläche Festbettreaktor	F_FB	50,4 m ²
Schichthöhe	h_TK	0,500 m
Volumen Tropfkörper	V_TK	25,20 m ³

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	20 m ²
erforderliche Filterfläche, gesamt nach BA,max	A_F,erf,ges,BA	22 m ²
Anzahl Filterstraßen	n_Filt,ist	1
<i>gewählter Filtertyp (Beispielfabrikat)</i>		
Anzahl Scheiben je Filter	n_Scheiben	6
Filterfläche je Filter	A_F,ist,Str	30 m ²
Filterfläche, gesamt	A_F,ist,ges	30 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	36 m ³ /d
Schlammwasseranfall pro Jahr	V_Schlammwas,a	13.285 m ³ /a
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	2 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m ³ ·m)
Energiebedarf		0,38 kWh/d
		139 kWh/a

KA Metelen

Projektnummer: 0445 076

Energiebedarf

Pos.	Bezeichnung		PAK mit RLK	GAK-Filtration	Tuchfilter + Ozonung + Festbettreaktor
1.0	Pumpen	kWh/a	27.145,8	16.695,1	37.134,3
1.1	Beschickungspumpen	kWh/a	13.949,1	16.274,0	18.598,8
1.2	Rücklaufkohlepumpe	kWh/a	2.324,9		
1.3	Überschussskohlepumpe	kWh/a	51,1		
1.4	Dosierpumpen	kWh/a	5.431,2		
	Flockungsmittel (Me-Salze)	kW	0,1		
	Flockungshilfsmittel	kW	0,5		
	Laufzeit	h/d	24,0		
1.5	Spülwasserpumpe	kWh/a		421,1	
1.6	Schlammwasserpumpe	kWh/a	139,5		139,5
1.7	Treibwasser für PAK-Dosierung	kWh/a	5.250,0		
1.8	Kühlwasser für Ozonerzeuger	kWh/a			18.396,0
2.0	Gebläse	kWh/a		160,1	
2.1	Spülluftgebläse	kWh/a		160,1	
3.0	Räumer	kWh/a	4.380,0		
	Anzahl Räumer		1,0		
3.1	Räumer Absetzbecken	kWh/a	4.380,0		
	Antrieb	kW	0,5		
	Laufzeit	h/d	24,0		
4.0	Rührwerke	kWh/a	5.089,6		
4.1	Rührwerke Kontaktbecken	kWh/a	5.089,6		
5.0	Doiserggerät PAK	kWh/a	5.781,6		
	Anzahl Dosiergeräte		2,0		
5.1	Antrieb Dosierschnecke	kWh/a	2.890,8		
	Antrieb	kW	0,6		
	Auslastung		0,6		
	Laufzeit	h/d	24,0		
6.0	Ozonanlage	kWh/a			42.312,3
6.1	Ozonerzeugung				42.312,3

KA Metelen

Projektnummer: 0445 076

Energiebedarf

7.0	Tuchfilter	kWh/a	2.597,0		2.597,0
	Anzahl Filter		1,0		1,0
7.1	Betrieb Filter		823,1		823,1
7.1.1	Antrieb Filter	kWh/a	823,1		823,1
	Antrieb	kW	0,6		0,6
	Laufzeit	h/d	4,1		4,1
7.2	Rückspülung Filter		1.773,9		1.773,9
7.2.1	Filterabsaugpumpen	kWh/a	1.708,2		1.708,2
	Antrieb	kW	1,8		1,8
	Anzahl	n	2,0		2,0
	Laufzeit	h/d	1,3		1,3
7.2.2	Bodenschlammumpen	kWh/a	65,7		65,7
	Antrieb	kW	1,8		1,8
	Anzahl	n	1,0		1,0
	Laufzeit	h/d	0,1		0,1
8.0	Messtechnik	kWh/a	3.321,2	3.321,2	3.321,2
	pauschal	0,005 kWh/m ³	3.321,2	3.321,2	3.321,2
	Summe 1: Pumpen	kWh/a	27.145,8	16.695,1	37.134,3
	Summe 2: Gebläse	kWh/a	-	160,1	-
	Summe 3: Räumler	kWh/a	4.380,0	-	-
	Summe 4: Rührwerke	kWh/a	5.089,6	-	-
	Summe 5: Dosiergerät PAK	kWh/a	5.781,6	-	-
	Summe 6: Ozonanlage	kWh/a	-	-	42.312,3
	Summe 7: Tuchfilter	kWh/a	2.597,0	-	2.597,0
	Summe 8: Messtechnik	kWh/a	3.321,2	3.321,2	3.321,2
	Gesamtsumme	kWh/a	48.315,1	20.176,4	85.364,9

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

KA Metelen**Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe****Projekt-Nr.: 0445 076****Zusammenstellung Investitionskosten**

Pos.-Nr	Text		Variante 1 PAK m. Rücklaufk.	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Tuchfilter + Ozon + Festbettreaktor
1	Bautechnik	EUR	426.237,90	442.076,30	356.945,60
2	Maschinentchnik	EUR	565.267,50	364.560,00	532.560,00
3	EMSR-Technik	EUR	242.843,63	182.280,00	228.024,00
Summe Herstellungskosten, netto		EUR	1.234.349,03	988.916,30	1.117.529,60
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	246.869,81	197.783,26	223.505,92
Summe Baukosten, netto		EUR	1.481.218,83	1.186.699,56	1.341.035,52
Mehrwertsteuer		EUR	234.526,31	187.894,10	212.330,62
Summe Baukosten, brutto		EUR	1.715.745,14	1.374.593,66	1.553.366,14
Anteil			125%	100%	113%

KA Metelen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 0445 076

Variante: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
1	Baustelleneinrichtung (10 % Bautechnik) (5 % Maschinentchnik)				38.748,90 €		26.917,50 €	65.666,40 €
2	Erdarbeiten Bodenaushub Kombibecken Bodenwiederanfüllung Kombibecken Bodenabfuhr Kombibecken	1.504,00 668,80 835,20	m³ m³ m³	15,00 € 15,00 € 15,00 €	22.560,00 € 10.032,00 € 12.528,00 €			45.120,00 €
3	Kontaktbecken Kontaktbecken Rührwerke Schlosserarb. (Bediengang + Treppe) Absenkschieber mit Antrieb	83,00 1,00 1,00 1,00	m³ St psch St	370,00 € 13.000,00 € 20.000,00 € 9.000,00 €	30.710,00 € 20.000,00 €	13.000,00 € 9.000,00 €		72.710,00 €
4	Absetzbecken Absetzbecken Schlosserarb. (Bediengang + Treppe) Räumer Ablaufrinne VA Absenkschieber mit Antrieb	320,00 1,00 1,00 5,00 1,00	m³ psch St m St	300,00 € 30.000,00 € 85.000,00 € 850,00 € 9.000,00 €	96.000,00 € 30.000,00 €	85.000,00 € 4.250,00 € 9.000,00 €		224.250,00 €
5	PAK-Silo 80 m³ Silo mit Dosiereinrichtung Pumpe Treibwasser m. Verrohr Kompressor mit Lufttrocknung Steuerung	1,00 1,00 1,00 1,00	St psch St St	110.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 € 30.000,00 €		110.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €	30.000,00 €	156.000,00 €
6	Tuchfiltration Becken Tuchfilter I Schlosserarbeiten Absenkschieber mit Antrieb Steuung + VOST Tuchfilter Tuchfilter Montage + IBN Filter Ablaufgerinne Tuchfilter	20,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 3,00	m³ psch St psch St psch m	550,00 € 8.000,00 € 9.000,00 € 15.000,00 € 70.000,00 € 14.000,00 € 750,00 €	11.000,00 € 2.250,00 €	8.000,00 € 9.000,00 € 70.000,00 € 14.000,00 €	15.000,00 €	129.250,00 €
7	Pulveraktivkohle (Erstbefüllung) Aktivkohle	13,00	Mg	1.500,00 €		19.500,00 €		19.500,00 €
8	Flockungsmitteldosierung (Me-Salze) Dosierpumpen mit Dosierleit. Dosierleitungen (Schutzrohr + Schlauch)	1,00 100,00	psch m	50.000,00 € 110,00 €		50.000,00 € 11.000,00 €		61.000,00 €
9	Flockungshilfsmitteldosierung Bereitungsanlage mit Dosierleitungen Dosierleitungen Einhausung FHM	1,00 10,00 1,00	psch m psch	30.000,00 € 60,00 € 20.000,00 €	20.000,00 €	30.000,00 € 600,00 €		50.600,00 €
10	Pumpen Pumpenvorlage u. Zulaufschacht Zulaufpumpen mit Arm. + Verrohr. Pumpe Rücklaufkohle ÜS-Kohlepumpe mit Verrohrung Schlammwasserpumpe mit Verrohrung	75,00 3,00 1,00 1,00 1,00	m³ St St St St	350,00 € 14.000,00 € 14.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €	26.250,00 €	42.000,00 € 14.000,00 € 8.000,00 € 8.000,00 €		72.000,00 €
11	Erdverlegte Rohrleitungen Zulauf. PE 100 SDR 17 355*21,1 Rohrgraben PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke Abltg PE 100 SDR 17 355*21,1 Rohrgraben PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke RLK Rohrleitung VA incl. Formstücke ÜS-Kohle KB PE 100 SDR 17 90*5,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4 Formstücke Schlammwasser TF PE 100 SDR 17 90*5,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4 Formstücke	43,00 43,00 3,00 48,00 48,00 3,00 1,00 75,00 75,00 2,00 20,00 20,00 2,00	m m St m m St psch m m St m m St	64,00 € 200,00 € 800,00 € 64,00 € 200,00 € 2.000,00 € 3.000,00 € 18,00 € 15,00 € 150,00 € 18,00 € 15,00 € 150,00 €	2.752,00 € 8.600,00 € 2.400,00 € 3.072,00 € 9.600,00 € 6.000,00 € 3.000,00 € 1.350,00 € 1.125,00 € 300,00 € 360,00 € 300,00 € 300,00 €			39.159,00 €

KA Metelen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 0445 076

Variante: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle

12	Kabelschächte/Leerrohre	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €		12.000,00 €
13	Hausinstallation/Entwässerung	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €		12.000,00 €
14	Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen	1	psch	40.000,00 €	40.000,00 €		40.000,00 €
15	Inbetriebnahme/Dokumentation	1,00	psch	3.000,00 €	3.000,00 €		11.000,00 €
	Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00	psch	8.000,00 €		8.000,00 €	
16	EMSR-Technik						197.843,63 €
	Pauschal (35 % der MT)	1,00	psch	197.843,63 €		197.843,63 €	
	Summe Herstellungskosten, netto				426.237,90 €	565.267,50 €	242.843,63 €
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	85.247,58 €	113.053,50 €	48.568,73 €
	Summe Baukosten, netto				511.485,48 €	678.321,00 €	291.412,35 €
	Mehrwertsteuer			19%			234.526,31 €
	Summe Baukosten, brutto						1.715.745,14 €

Wartung- und Instandhaltungskosten (bezogen auf Herstellungskosten, ohne NK)				
1,0 %/a der Herstellungskosten für Bau und erdverlegte Rohrleitungen		4.262,38 €		
4,0 %/a der Herstellungskosten für technische Installationen			22.610,70 €	
2,0 %/a der Herstellungskosten für EMSR-Technik				4.856,87 €
Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto		4.262,38 €	22.610,70 €	4.856,87 €
				31.729,95 €

Kapitalkosten	Nebenkosten	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
Anfall Nebenkosten	30				
Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren		30			
Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren			15		
Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren				10	
Zinssatz i	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)					
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik		0,05102			
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik			0,08377		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik				0,11723	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Nebenkosten	0,05102				
Summe Kapitalkosten/a, netto	12.595,11 €	21.746,34 €	47.350,53 €	28.468,68 €	110.160,66 €

KA Metelen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 0445 076

Variante: GAK-Filtration

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
1	Baustelleneinrichtung (10 % Bautechnik) (5 % Maschinenteknik)				37.663,30 €		17.360,00 €	55.023,30 €
2	Erdarbeiten Bodenaushub Kombibecken Bodenwiederanfüllung Kombibecken Bodenabfuhr Kombibecken	926,00 376,00 550,00	m³ m³ m³	15,00 € 15,00 € 15,00 €	13.890,00 € 5.640,00 € 8.250,00 €			27.780,00 €
3	Filterbauwerk mit Vorlage u Speicher Bauwerk mit Abdachung Pumpen Filterboden mit Düsen Schlosserarbeiten (Bediengang + Treppe)	1,00 32,00 1,00	psch m² psch	300.000,00 € 900,00 € 45.000,00 €	300.000,00 €		28.800,00 € 45.000,00 €	373.800,00 €
4	Filtermaterial (Erstbefüllung) Aktivkohle Stützschiicht	32,00 10,00	Mg m³	1.300,00 € 280,00 €			41.600,00 € 2.800,00 €	44.400,00 €
5	Rohrtech. Installation Filter Rohrleitung VA incl. Formstücke Armaturen Antriebe Armaturen	1,00 1,00 1,00	psch psch psch	45.000,00 € 40.000,00 € 42.000,00 €			45.000,00 € 40.000,00 € 42.000,00 €	127.000,00 €
6	Pumpen Zulaufpumpen mit Arm. + Verrohr. Spülwasserpumpe mit Verrohrung Schlammwasserpumpe + Verrohrung	3,00 2,00 1,00	St St St	14.000,00 € 14.000,00 € 8.000,00 €			42.000,00 € 28.000,00 € 8.000,00 €	78.000,00 €
7	Gebälse Spülluftgebläse mit Verrohrung	1,00	St	16.000,00 €			16.000,00 €	16.000,00 €
8	Erdverlegte Rohrleitungen Zulauf. PE 100 SDR 17 355*21,1 Rohrgraben PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke Abltgg PE 100 SDR 17 355*21,1 Rohrgraben PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke Schlammwasser TF PE 100 SDR 17 90*5,4 Rohrgraben PE 100 SDR 17 90*5,4 Formstücke	9,00 9,00 2,00 7,00 7,00 1,00 73,00 73,00 4,00	m m St m m St m m St	64,00 € 200,00 € 800,00 € 64,00 € 200,00 € 800,00 € 18,00 € 15,00 € 150,00 €	576,00 € 1.800,00 € 1.600,00 € 448,00 € 1.400,00 € 800,00 € 1.314,00 € 1.095,00 € 600,00 €			9.633,00 €
9	Kabelschächte/Leerrohre	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			12.000,00 €
10	Hausinstallation/Entwässerung	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			12.000,00 €
11	Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen	1	psch	40.000,00 €	40.000,00 €			40.000,00 €
12	Inbetriebnahme/Dokumentation Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	3.000,00 € 8.000,00 €	3.000,00 €		8.000,00 €	11.000,00 €
13	EMSR-Technik Pauschal (50 % der MT)	1,00	psch	182.280,00 €			182.280,00 €	182.280,00 €
	Summe Herstellungskosten, netto				442.076,30 €	364.560,00 €	182.280,00 €	988.916,30 €
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	88.415,26 €	72.912,00 €	36.456,00 €	197.783,26 €
	Summe Baukosten, netto				530.491,56 €	437.472,00 €	218.736,00 €	1.186.699,56 €
	Mehrwertsteuer			19%				187.894,10 €
	Summe Baukosten, brutto							1.374.593,66 €
	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				4.420,76 €	14.582,40 €	3.645,60 €	
	Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto				4.420,76 €	14.582,40 €	3.645,60 €	22.648,76 €
	Kapitalkosten							
	Anfall Nebenkosten	30						
	Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren		30					
	Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren			15				
	Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren					10		
	Zinssatz i	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	
	Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n) Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik Kapitalwiedergewinnungsfaktor Nebenkosten	0,05102			0,05102	0,08377	0,11723	
	Summe Kapitalkosten/a, netto				10.090,76 €	22.554,41 €	30.537,94 €	21.368,78 €
								84.551,88 €

KA Metelen

Projekt: Studie 4. Reinigungsstufe

Projekt-Nr.: 0445 076

Variante: Tuchfiltration + Ozonung + Festbettreaktor

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
1	Baustelleneinrichtung (10 % Bautechnik) (5 % Maschinenteknik)				25.047,60 €		25.360,00 €	50.407,60 €
2	Erdarbeiten Bodenaushub Kombibecken Bodenwiederanfüllung Kombibecken Bodenabfuhr Kombibecken	1.122,40 560,00 562,40	m³ m³ m³	15,00 € 15,00 € 15,00 €	16.836,00 € 8.400,00 € 8.436,00 €			245.422,00 €
3	Pumpen Pumpenvorlage u. Zulaufschacht Zulaufpumpen mit Arm. + Verrohr.	90,00 3,00	m³ St	350,00 € 14.000,00 €	31.500,00 €	42.000,00 €		73.500,00 €
4	Tuchfiltration Becken Tuchfilter I Schlosserarbeiten Absenkschieber mit Antrieb Steuerung + VOST Tuchfilter Tuchfilter Montage + IBN Filter Ablaufgerinne Tuchfilter	20,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 7,00	m³ psch St psch St psch m	550,00 € 8.000,00 € 9.000,00 € 15.000,00 € 70.000,00 € 20.000,00 € 750,00 €	11.000,00 €		15.000,00 € 70.000,00 € 20.000,00 €	138.250,00 €
5	Reaktionsbehälter Behälter, gasdicht + Verteilschacht Installation VA (RL) allgemein Armaturen Antriebe Armaturen Schlosserarbeiten (Bediengang + Treppe) Ablaufgerinne Filter I und II	69,00 1,00 1,00 1,00 1,00 5,00	m³ psch psch psch psch m	780,00 € 30.000,00 € 20.000,00 € 9.000,00 € 15.000,00 € 780,00 €	53.820,00 € 15.000,00 €	30.000,00 € 20.000,00 € 9.000,00 €		131.720,00 €
6	Ozonanlage Anlage Ozonerzeuger (2*2,25kg/h) Einsatzgasversorgung Instrumentenluft u. N ₂ -Zudosierung Wärmetauscher Kühlwasser Eintragssystem (32 Diffusoren) Restozonvernichter Raumluftüberwachung Ozongasüberwachung im Ozongas Ozommessung 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. incl. incl. psch St psch	200.000,00 € incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. 50.000,00 € 3.000,00 € 18.000,00 €		200.000,00 €		274.000,00 €
7	Aufstellung O2/O3-Anlage m. Halle Einhausung Ozonanlage-NSV Fundament O2-Anlage	1,00 1,00	psch psch	30.000,00 € 8.000,00 €	30.000,00 € 8.000,00 €			38.000,00 €
8	Festbettreaktor Becken Tropfkörperlava (Lieferung) Ablaufgerinne Absenkschieber Zulauf mit Antrieb Schlosserarbeiten (Bediengang + Treppe)	80,00 26,00 5,00 1,00 1,00	m³ m³ m St psch	320,00 € 200,00 € 780,00 € 12.000,00 € 20.000,00 €	25.600,00 € 3.900,00 €	5.200,00 € 12.000,00 €		66.700,00 €
9	Erdverlegte Rohrleitungen Zulauf. PE 100 SDR 17 355*21,1 Rohrgraben PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke Abbltg PE 100 SDR 17 355*21,1 Rohrgraben PE 100 SDR 17 355*21,1 Formstücke	14,00 14,00 2,00 40,00 40,00 3,00	m m St m m St	64,00 € 200,00 € 800,00 € 64,00 € 200,00 € 800,00 €	896,00 € 2.800,00 € 1.600,00 € 2.560,00 € 8.000,00 € 2.400,00 €			18.256,00 €
10	Kabelschächte/Leerrohre	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			12.000,00 €
11	Hausinstallation/Entwässerung	1,00	psch	12.000,00 €	12.000,00 €			12.000,00 €
12	Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen	1	psch	45.000,00 €	45.000,00 €			45.000,00 €
13	Inbetriebnahme/Dokumentation Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	3.000,00 € 8.000,00 €	3.000,00 €	8.000,00 €		11.000,00 €
14	EMSR-Technik Pauschal (40 % der MT)	1,00	psch	213.024,00 €			213.024,00 €	213.024,00 €
	Summe Herstellungskosten, netto				356.945,60 €	532.560,00 €	228.024,00 €	1.117.529,60 €
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	71.389,12 €	106.512,00 €	45.604,80 €	223.505,92 €
	Summe Baukosten, netto				428.334,72 €	639.072,00 €	273.628,80 €	1.341.035,52 €
	Mehrwertsteuer			19%				212.330,62 €
	Summe Baukosten, brutto							1.553.366,14 €

KA Metelen**Projekt:** Studie 4. Reinigungsstufe**Projekt-Nr.:** 0445 076**Variante:** Tuchfiltration + Ozonung + Festbettreaktor

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 Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto	3.569,46 €	21.302,40 €	4.560,48 €	
	3.569,46 €	21.302,40 €	4.560,48 €	29.432,34 €

Kapitalkosten	Nebenkosten	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
Anfall Nebenkosten	30				
Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren		30			
Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren			15		
Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren				10	
Zinssatz i	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)					
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik		0,05102			
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik			0,08377		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik				0,11723	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Nebenkosten	0,05102				
Summe Kapitalkosten/a, netto	11.403,11 €	18.211,10 €	44.610,73 €	26.731,37 €	100.956,31 €

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

KA Metelen**Projektnummer: 0445 076****Zusammenstellung Betriebskosten**

		PAK mit RLK	GAK-Filtration	Tuchfilter + Ozonung + Festbettreaktor
Betriebsgebundene Kosten	EUR	55.729,95	38.648,76	49.432,34
Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	27.808,77	46.605,85	25.380,31
Summe Betriebskosten, netto	EUR	83.538,72	85.254,61	74.812,65
Mehrwertsteuer: 19%	EUR	15.872,36	16.198,38	14.214,40
Summe Betriebskosten, brutto	EUR	99.411,08	101.452,99	89.027,05
Anteil		112%	114%	100%

KA Metelen
Projektnummer: 0445 076
Betriebskosten

Pos.	Bezeichnung		PAK mit RLK	GAK-Filtration	Tuchfilter + Ozonung + Festbettreaktor
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	110.160,66	84.551,88	100.956,31
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	55.729,95	38.648,76	49.432,34
1.0	Personalkosten	EUR/a	24.000,00	16.000,00	20.000,00
	Menge	MA/a	0,60	0,40	0,50
	spez. Preis	EUR/MA	40.000,00	40.000,00	40.000,00
			24.000,00	16.000,00	20.000,00
2.0	Wartungs- und Instandhaltungskosten	EUR/a	31.729,95	22.648,76	29.432,34
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	27.808,77	46.605,85	25.380,31
1.0	Energiekosten	EUR/a	8.213,57	3.429,99	14.512,03
	Menge	kWh/a	48.315,12	20.176,41	85.364,86
	spez. Preis	EUR/kWh	0,17	0,17	0,17
			8.213,57	3.429,99	14.512,03
2.0	Chemikalienkosten	EUR/a	12.421,36	43.175,86	10.868,29
2.1	PAK/GAK	Menge	Mg/a	7,97	33,21
		spez. Preis	EUR/Mg	1.500	1.300
				11.956,39	43.175,86
2.2	Fäll-/Flockungsmittel	Menge	Mg/a	19,25	
		spez. Preis	EUR/Mg	127,00	
					<i>kein Bedarf</i>
2.3	Flockungshilfsmittel	Menge	Mg/a	0,13	
		spez. Preis	EUR/Mg	3.500,00	
				464,97	
2.4	Sauerstoff (flüssig) inkl. Tankmiete	Menge	kg/a		43.473,14
		spez. Preis	EUR/kg		0,25
					10.868,29
3.0	Schlammverbrennungs-/Entsorgungskosten		7.173,84		
3.1	zusätzlicher Schlamm d. PAK	Menge	Mg/a	23,91	
	Entsorgungskosten (Verbrennung)	spez. Preis	EUR/Mg	62,5	
	Entwässerungsergebnis			0,25	
	Entwässerungskosten	spez. Preis	EUR/Mg	50,00	
				7.173,84	
	<i>Annahmen:</i> <i>1 kg PAK = 3 kg TS</i>				
	Summe A: Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	110.160,66	84.551,88	100.956,31
	Summe B: Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	55.729,95	38.648,76	49.432,34
	Summe C: Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	27.808,77	46.605,85	25.380,31
	Gesamtsumme Jahreskosten, netto	EUR/a	193.699,38	169.806,50	175.768,95
	Mehrwertsteuer	19%	36.802,88	32.263,23	33.396,10
	Summe Jahreskosten, brutto		230.502,27	202.069,73	209.165,06

Anlage 4: Jahreskosten

KA Metelen

Projektnummer: 0445 076

Zusammenstellung Jahreskosten

		PAK mit RLK	GAK-Filtration	Tuchfilter + Ozonung + Festbettreaktor
Kapitalgebundene Kosten	EUR	110.160,66	84.551,88	100.956,31
Betriebsgebundene Kosten	EUR	55.729,95	38.648,76	49.432,34
Verbrauchsgebundene Kosten	EUR	27.808,77	46.605,85	25.380,31
Summe Jahreskosten, netto	EUR	193.699,38	169.806,50	175.768,95
Mehrwertsteuer: 19%	EUR	36.802,88	32.263,23	33.396,10
Summe Jahreskosten, brutto	EUR	230.502,27	202.069,73	209.165,06
Anteil		114%	100%	104%

Spezifische Kosten bezogen auf die behandelte Abwassermenge in der 4. Reinigungsstufe

spez. Kosten, netto	ct/m ³ Abwasser	29	26	26
spez. Kosten, brutto	ct/m³ Abwasser	35	30	31

Spezifische Kosten bezogen auf die gebührenrelevante Jahresschmutzwassermenge im Jahr 2014 (554.104 m³)

spez. Kosten, netto	ct/m ³ Abwasser	35	31	32
spez. Kosten, brutto	ct/m³ Abwasser	42	36	38

Anlage 5: Screening-Ergebnisse der Kläranlage Metelen

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 12.01.2015 JB

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Kläranlage Metelen

Probenahmestelle: (1) Zulauf nach Sandfang

Entnahme: mehrtägige Mischprobe: 24.11.2014 10:00 Uhr - 27.11.2014 10:00 Uhr Laboreingang: 28.11.2014

Analysennummer:		51809 164866	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Blei (Pb)	mg/l	< 0,01	DIN EN ISO 11885 (E 22)
Cadmium (Cd)	mg/l	< 0,001	DIN EN ISO 11885 (E 22)
Nickel (Ni)	mg/l	< 0,01	DIN EN ISO 11885 (E 22)
Quecksilber (Hg)	mg/l	< 0,001	DIN EN 1483 (E 12-4)
Hexabromcyclododecan	ng/l	< 0,01	LRMS
Chloralkane C10-C13	µg/l	< 1	EPA 8270 GC/MS (NCI)
1,2-Dichlorethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4)
Dichlormethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4)
Trichlormethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4)
Benzol	µg/l	< 0,5	DIN 38407-9 (F 9)
Anthracen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(a)pyren	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(b)fluoranthen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(ghi)perylen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(k)fluoranthen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Fluoranthen	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Naphthalin	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 17993 (F 18)
gPFOS (Perfluorooctansulfons.)	µg/l	< 0,05	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Bisphenol A	mg/l	0,00052	DIN EN 12673 (F 15)
para-tert-Octylphenol	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 18857-2 (F 32)
Pentachlorphenol	µg/l	< 0,4	DIN EN 12673 (F 15)
p-Nonylphenol	µg/l	< 1	DIN EN ISO 18857-2 (F 32)
1,2,3-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	keine Angabe
1,2,4-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	keine Angabe
1,3,5-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	keine Angabe

bitte wenden

Analysenummer:		51809 164866	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Hexachlorbenzol (HCB)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Pentachlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
BDE 154 2,2",4,4",5,6"-Hexabr...	ng/l	< 25	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-100 2,3",4,4",6-Pentabrom...	ng/l	< 25	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-153 2,2",4,4",5,5"-Hexabr...	ng/l	< 25	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-183 2,2",3,4,4",5",6-Hepta...	ng/l	< 25	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-209 Decabromdiphenylether	ng/l	< 250	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-28 2,4,4"-Tribromdiphenylet.	ng/l	< 25	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-47 2,2",4,4"-Tetrabromdiph..	ng/l	< 25	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-99 2,2",4,4",5-Pentabromdi..	ng/l	< 25	EPA 8270 GC/MS (NCI)
Bis(2-ethylhexyl)Phthalat (DEHP)	µg/l	< 2	EPA 8270
Tributylzinn	µg/l	< 0,01	DIN EN ISO 17353 (F 13)
Atrazin	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Diuron	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 11369 (F 12)
gamma-HCH	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Isoproturon	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Simazin	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 11369 (F 12)
1,2,3,4,6,7,8 Hepta	ng/l	< 0,025	ISO 18073
1,2,3,4,6,7,8 Hepta CDF	ng/l	< 0,02	ISO 18073
1,2,3,4,7,8 Hexa CDD	ng/l	< 0,005	ISO 18073
1,2,3,4,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,006	ISO 18073
1,2,3,4,7,8,9 Hepta CDF	ng/l	< 0,015	ISO 18073
1,2,3,6,7,8 Hexa CDD	ng/l	< 0,005	ISO 18073
1,2,3,6,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,006	ISO 18073
1,2,3,7,8 Penta CDD	ng/l	< 0,006	ISO 18073
1,2,3,7,8 Penta CDF	ng/l	< 0,005	ISO 18073
1,2,3,7,8,9 Hexa CDD	ng/l	< 0,005	ISO 18073
1,2,3,7,8,9 Hexa CDF	ng/l	< 0,005	ISO 18073
2,3,4,6,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,005	ISO 18073
2,3,4,7,8 Penta CDF	ng/l	< 0,005	ISO 18073
2,3,7,8 Tetra CDD	ng/l	< 0,005	ISO 18073
2,3,7,8-Tetra CDF	ng/l	< 0,005	ISO 18073
Octa CDD	ng/l	< 0,05	ISO 18073
Octa CDF	ng/l	< 0,05	ISO 18073
PCDD,PCDF Summe	ng/l	n.b.	ISO 18073
TE (TCDD-Toxizitätsäquivalente)	ng TE/l	< 1	EPA 1613B / Berechnung ..
PCB (28)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (52)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (77)	ng/l	0,17	ISO 18073
PCB (81)	ng/l	< 0,013	ISO 18073
PCB (101)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (105)	ng/l	0,6	ISO 18073
PCB (114)	ng/l	< 0,12	ISO 18073
PCB (118)	ng/l	2	ISO 18073

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:		51809 164866	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
PCB (123)	ng/l	< 0,18	ISO 18073
PCB (126)	ng/l	< 0,006	ISO 18073
PCB (126)	ng/l	< 0,006	ISO 18073
PCB (138)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (153)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (156)	ng/l	0,3	ISO 18073
PCB (157)	ng/l	< 0,13	ISO 18073
PCB (167)	ng/l	< 0,19	ISO 18073
PCB (180)	µg/l	< 0,01	DIN 38407-3 (F 3)
PCB (189)	ng/l	< 0,12	ISO 18073

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.

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 12.01.2015 JB

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Kläranlage Metelen

Probenahmestelle: (1) Zulauf nach Sandfang

Entnahme: mehrtägige Mischprobe: 24.11.2014 10:00 Uhr - 27.11.2014 10:00 Uhr Laboreingang: 28.11.2014

Analysennummer:		51810 164869	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Wassermenge in 72 h	m ³	5145,49	
Bezafibrat	µg/l	0,690	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diclofenac	µg/l	2,20	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Naproxen	µg/l	0,300	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Phenazon	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	0,680	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Atenolol	µg/l	< 0,5	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Bisoprolol	µg/l	0,350	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	2,30	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	0,320	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	0,220	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	0,330	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Oxazepam	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Amidotrizoessäure	µg/l	1,40	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lomeprol	µg/l	< 0,5	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lopamidol	µg/l	3,20	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lopromid	µg/l	< 0,5	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diuron	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Isoproturon	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Terbutryn	µg/l	0,094	DIN 38407-35 ^a
Benzotriazol	µg/l	11,0	Hausmethode (LC-MS-MS)
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
17-beta-Estradiol	ng/l	130	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	ng/l	32	Fl.-Extr., GC-MSD É

bitte wenden

<i>Analysennummer:</i>		51810 164869	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren

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

OWL Umweltanalytik
Master of Science Brauer

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

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 12.01.2015 JB

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Kläranlage Metelen

Probenahmestelle: (1) Ablauf

Entnahme: mehrtägige Mischprobe: 24.11.2014 10:00 Uhr - 27.11.2014 10:00 Uhr Laboreingang: 28.11.2014

Analysennummer:		51814 164873	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Wassermenge in 72 h	m ³	5145,49	
Bezafibrat	µg/l	0,130	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diclofenac	µg/l	1,80	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Naproxen	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Phenazon	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	0,680	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Atenolol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Bisoprolol	µg/l	0,082	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	0,350	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	0,410	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	0,180	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	0,140	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Oxazepam	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Amidotrizoessäure	µg/l	1,60	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lomeprol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lopamidol	µg/l	3,60	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lopromid	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diuron	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Isoproturon	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Terbutryn	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Benzotriazol	µg/l	3,90	Hausmethode (LC-MS-MS)
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
17-beta-Estradiol	ng/l	19	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	ng/l	20	Fl.-Extr., GC-MSD É

bitte wenden

<i>Analysennummer:</i>		51814 164873	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren

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

OWL Umweltanalytik
Master of Science Brauer

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

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 19.01.2015 JB

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum

Entnahmestelle: Kläranlage Metelen

Probenahmestelle: (1) Ablauf

Entnahme: mehrtägige Mischprobe: 24.11.2014 10:00 Uhr - 27.11.2014 10:00 Uhr Laboreingang: 28.11.2014

Analysennummer:		51813 164872	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Wassermenge in 72 h	m ³	5145,49	
1,2 - Dichlorethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4)
Dichlormethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4)
Hexachlorbutadien	µg/l	< 0,2	DIN EN ISO 10301 (F 4)
Trichlormethan	µg/l	< 0,5	DIN EN ISO 10301 (F 4)
Benzol	µg/l	< 0,5	DIN 38407-9 (F 9)
Anthracen	µg/l	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Benzo(a)pyren	µg/l	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Benzo(b)fluoranthen	µg/l	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Benzo(ghi)perylene	µg/l	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Benzo(k)fluoranthen	µg/l	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Fluoranthen	µg/l	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Naphthalin	µg/l	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Blei (Pb) - gelöst	mg/l	< 0,003	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Cadmium (Cd) - gelöst	mg/l	< 0,0005	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Nickel (Ni) - gelöst	mg/l	< 0,005	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Quecksilber (Hg) - gelöst	mg/l	< 0,0002	DIN EN 1483 (E 12-4)
gPFOS (Perfluorooctansulfons.)	µg/l	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
4-Nonylphenol	µg/l	< 0,2	DIN EN ISO 18857-2 (F 32)
Bisphenol A	µg/l	< 0,05	DIN EN 12673 (F 15)
Hexabromcyclododecan	µg/l	< 0,01	LRMS
t-Octylphenol	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 18857-2 (F 32)
Pentachlorphenol	µg/l	< 0,1	DIN EN 12673 (F 15)
1,2,3-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
1,2,4-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)

bitte wenden

Analysennummer:		51813 164872	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
1,3,5-Trichlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Hexachlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Pentachlorbenzol	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
BDE-183 2,2",3,4,4",5",6-Hepta...	µg/l	< 0,001	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-153 2,2",4,4",5,5"-Hexabr...	µg/l	< 0,001	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE 154 2,2",4,4",5,6"-Hexabr...	µg/l	< 0,001	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-99 2,2",4,4",5-Pentabromd...	µg/l	< 0,001	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-47 2,2",4,4"-Tetrabromdiph..	µg/l	< 0,001	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-100 2,3",4,4",6-Pentabrom...	µg/l	< 0,001	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-28 2,4,4"-Tribromdiphenyl...	µg/l	< 0,001	EPA 8270 GC/MS (NCI)
BDE-209 Decabromdiphenylether	µg/l	< 0,01	EPA 8270 GC/MS (NCI)
Bis-(2-ethylhexyl)Phthalat (DEHP)	µg/l	< 1	EPA 8270
Tributylzinn	µg/l	< 0,01	DIN EN ISO 17353 (F 13)
Aclonifen	µg/l	< 0,03	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Alachlor	µg/l	< 0,025	EN ISO 11369 (mod.)
alpha-Endosulfan	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Atrazin	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Bifenox	µg/l	< 0,03	EN ISO 11369 (mod.)
Chloralkane C10-C13	µg/l	< 0,5	EPA 8270 GC/MS (NCI)
Chlorfenvinphos	µg/l	< 0,05	keine Angabe
Chlorpyriphos-ethyl	µg/l	< 0,05	keine Angabe
cis-Heptachlorepoxyd	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Cybutryn (Irgarol)	µg/l	< 0,03	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Cypermethrin	µg/l	< 0,03	DIN 38407-2 (F 2)
Dichlorvos	µg/l	< 0,05	keine Angabe
Dicofol	µg/l	< 0,03	DIN 38407-2 (F 2)
Diuron	µg/l	< 0,05	DIN EN ISO 11369 (F 12)
gamma-HCH (Lindan)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Heptachlor	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Isoproturon	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Quinoxyfen	µg/l	< 0,03	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Simazin	µg/l	< 0,1	DIN EN ISO 11369 (F 12)
Terbutryn	µg/l	< 0,05	Hausmethode GC/MS
trans-Heptachlorepoxyd	µg/l	< 0,05	DIN 38407-2 (F 2)
Trifluralin	µg/l	< 0,05	Hausmethode GC/MS
1,2,3,4,6,7,8 Hepta CDD	ng/l	< 0,012	EPA 1613B / Berechnung ..
1,2,3,4,6,7,8 Hepta CDF	ng/l	< 0,006	EPA 1613B / Berechnung ..
1,2,3,4,7,8,9 Hepta CDF	ng/l	< 0,006	EPA 1613B / Berechnung ..
1,2,3,4,7,8 Hexa CDD	ng/l	< 0,002	EPA 1613B / Berechnung ..
1,2,3,4,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	EPA 1613B / Berechnung ..
1,2,3,6,7,8 Hexa CDD	ng/l	< 0,002	EPA 1613B / Berechnung ..
1,2,3,6,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	EPA 1613B / Berechnung ..
1,2,3,7,8,9 Hexa CDD	ng/l	< 0,002	EPA 1613B / Berechnung ..
1,2,3,7,8,9 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	EPA 1613B / Berechnung ..

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:		51813 164872	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
1,2,3,7,8 Penta CDD	ng/l	< 0,002	EPA 1613B / Berechnung ..
1,2,3,7,8 Penta CDF	ng/l	< 0,002	EPA 1613B / Berechnung ..
2,3,4,6,7,8 Hexa CDF	ng/l	< 0,002	EPA 1613B / Berechnung ..
2,3,4,7,8 Penta CDF	ng/l	< 0,002	EPA 1613B / Berechnung ..
2,3,7,8 Tetra CDD	ng/l	< 0,002	EPA 1613B / Berechnung ..
2,3,7,8 Tetra CDF	ng/l	< 0,002	EPA 1613B / Berechnung ..
Octa CDD	ng/l	< 0,052	EPA 1613B / Berechnung ..
Octa CDF	ng/l	< 0,02	EPA 1613B / Berechnung ..
PCDD,PCDF Summe	ng/l	n.b.	EPA 1613B / Berechnung ..
TE (TCDD-Toxizitätsäquivalente)	ng TE/l	n.b.	EPA 1613B / Berechnung ..
PCB (28)	µg/l	< 0,02	ISO 18073
PCB (52)	µg/l	< 0,005	ISO 18073
PCB (77)	ng/l	< 0,13	ISO 18073
PCB (81)	ng/l	< 0,007	ISO 18073
PCB (101)	µg/l	< 0,005	ISO 18073
PCB (105)	ng/l	< 0,25	ISO 18073
PCB (114)	ng/l	< 0,05	ISO 18073
PCB (118)	ng/l	< 0,5	ISO 18073
PCB (123)	ng/l	< 0,05	ISO 18073
PCB (126)	ng/l	< 0,005	ISO 18073
PCB (138)	µg/l	< 0,005	ISO 18073
PCB (153)	µg/l	< 0,005	ISO 18073
PCB (156)	ng/l	< 0,011	ISO 18073
PCB (157)	ng/l	< 0,05	ISO 18073
PCB (167)	ng/l	< 0,08	ISO 18073
PCB (169)	ng/l	< 0,005	ISO 18073
PCB (180)	µg/l	< 0,005	ISO 18073
PCB (189)	ng/l	< 0,05	ISO 18073
TE NATO/CCMS (upper bound)	ng TE/l	0,006012	EPA 1613B / Berechnung ..
TE n. WHO	ng TE/l	n.b.	Berechnung

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.

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum
 Entnahmestelle: Kläranlage Metelen
 Probenahmestelle: Zulauf nach Sandfang
 Auftrag: 51810

Mischprobe von 24.11.2014
 bis 27.11.2014

Konzentrationen

Gruppe	Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
	Wassermenge in 72 h	m ³	5145,49	Ihre Angabe
Lipidsenker	Bezafibrat	ng/l	690	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Diclofenac	ng/l	2200	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Naproxen	ng/l	300	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Phenazon	ng/l	<50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antiepileptikum	Carbamazepin	ng/l	680	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Atenolol	ng/l	<500	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Bisoprolol	ng/l	350	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Metoprolol	ng/l	2300	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Sotalol	ng/l	320	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Clarithromycin	ng/l	220	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	ng/l	330	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Psychopharmakon	Oxazepam	ng/l	<50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	ng/l	1400	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iomeprol	ng/l	<500	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopamidol	ng/l	3200	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopromid	ng/l	<500	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
PSM	Diuron	ng/l	<50	DIN 38407-35 ^a
PSM	Isoproturon	ng/l	<50	DIN 38407-35 ^a
PSM	Terbutryn	ng/l	94	DIN 38407-35 ^a
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	ng/l	11000	Hausmethode (LC-MS-MS)
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	ng/l	130	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	Estron	ng/l	32	Fl.-Extr., GC-MSD É

Frachten

Mischprobe von 24.11.2014
 bis 27.11.2014

Gruppe	Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
	Wassermenge in 72 h	m ³	5145,49	Ihre Angabe
Lipidsenker	Bezafibrat	g	3,55	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Diclofenac	g	11,3	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Naproxen	g	1,54	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Phenazon	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antiepileptikum	Carbamazepin	g	3,5	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Atenolol	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Bisoprolol	g	1,80	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Metoprolol	g	11,8	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Sotalol	g	1,65	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Clarithromycin	g	1,1	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	g	1,7	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Psychopharmakon	Oxazepam	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	g	7,2	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iomeprol	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopamidol	g	16,5	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopromid	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
PSM	Diuron	g	n.b.	DIN 38407-35 ^a
PSM	Isoproturon	g	n.b.	DIN 38407-35 ^a
PSM	Terbutryn	g	0,48	DIN 38407-35 ^a
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	g	56,6	Hausmethode (LC-MS-MS)
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	g	n.b.	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	g	0,67	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	Estron	g	0,16	Fl.-Extr., GC-MSD É

Auswertung

Kunde: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum
 Anlage: Kläranlage Metelen
 Probenahmestelle: Zulauf nach Sandfang

Entnahme: 24.11.2014
 bis 27.11.2014

	Probe:	164869 [ng/l]	Anzahl Messungen	Anzahl > BG	Mittelwert [ng/l]	Maximum [ng/l]
Lipidsenker	Bezafibrat	690	6	6	667	880
Schmerzmittel	Diclofenac	2200	6	6	3100	5200
Schmerzmittel	Naproxen	300	6	6	2397	6000
Schmerzmittel	Phenazon	<50	6	4	224	470
Antiepileptikum	Carbamazepin	680	6	6	1177	2400
Betablocker	Atenolol	<500	6	1	490	490
Betablocker	Bisoprolol	350	6	6	610	1300
Betablocker	Metoprolol	2300	6	6	2517	4000
Betablocker	Sotalol	320	6	5	511	910
Antibiotikum	Clarithromycin	220	6	4	196	280
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	330	6	5	646	1000
Psychopharmakon	Oxazepam	<50	6	5	198	350
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	1400	6	4	4900	15000
Kontrastmittel	Iomeprol	<500	6	4	55450	84000
Kontrastmittel	Iopamidol	3200	6	4	16650	55000
Kontrastmittel	Iopromid	<500	6	4	4723	16000
PSM	Diuron	<50	9	2	56	61
PSM	Isoproturon	<50	9	0	-	-
PSM	Terbutryn	94	6	5	163	310
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	11000	10	10	14016	35000
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	< 5	6	0	-	-
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	130	6	6	69	130
Steroidhormon	Estron	32	6	6	56	110

BG = Bestimmungsgrenze

 Ergebnis der Probe liegt oberhalb des Mittelwertes

 Ergebnis der Probe erreicht/liefert den aktuellen Maximalwert

Auftraggeber: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum
 Entnahmestelle: Kläranlage Metelen
 Probenahmestelle: Ablauf
 Auftrag: 51814

Mischprobe von 24.11.2014
 bis 27.11.2014

Konzentrationen

Gruppe	Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
	Wassermenge in 72 h	m ³	5145,49	Ihre Angabe
Lipidsenker	Bezafibrat	ng/l	130	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Diclofenac	ng/l	1800	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Naproxen	ng/l	<50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Phenazon	ng/l	<50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antiepileptikum	Carbamazepin	ng/l	680	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Atenolol	ng/l	<50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Bisoprolol	ng/l	82	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Metoprolol	ng/l	350	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Sotalol	ng/l	410	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Clarithromycin	ng/l	180	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	ng/l	140	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Psychopharmakon	Oxazepam	ng/l	<50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	ng/l	1600	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iomeprol	ng/l	<50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopamidol	ng/l	3600	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopromid	ng/l	<50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
PSM	Diuron	ng/l	<50	DIN 38407-35 ^a
PSM	Isoproturon	ng/l	<50	DIN 38407-35 ^a
PSM	Terbutryn	ng/l	<50	DIN 38407-35 ^a
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	ng/l	3900	Hausmethode (LC-MS-MS)
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	ng/l	19	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	Estron	ng/l	20	Fl.-Extr., GC-MSD É

Frachten

Mischprobe von 24.11.2014
 bis 27.11.2014

Gruppe	Parameter	Einheit	Messwert	Verfahren
	Wassermenge in 72 h	m ³	5145,49	Ihre Angabe
Lipidsenker	Bezafibrat	g	0,67	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Diclofenac	g	9,3	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Naproxen	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Schmerzmittel	Phenazon	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antiepileptikum	Carbamazepin	g	3,5	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Atenolol	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Bisoprolol	g	0,42	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Metoprolol	g	1,8	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Betablocker	Sotalol	g	2,11	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Clarithromycin	g	0,9	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	g	0,7	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Psychopharmakon	Oxazepam	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	g	8,2	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iomeprol	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopamidol	g	18,5	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Kontrastmittel	Iopromid	g	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
PSM	Diuron	g	n.b.	DIN 38407-35 ^a
PSM	Isoproturon	g	n.b.	DIN 38407-35 ^a
PSM	Terbutryn	g	n.b.	DIN 38407-35 ^a
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	g	20,1	Hausmethode (LC-MS-MS)
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	g	n.b.	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	g	0,10	Fl.-Extr., GC-MSD É
Steroidhormon	Estron	g	0,10	Fl.-Extr., GC-MSD É

Auswertung

Kunde: Tuttahs und Meyer Ingenieurgesellschaft, Bochum
Anlage: Kläranlage Metelen
Probenahmestelle: Ablauf

Entnahme: 24.11.2014
bis 27.11.2014

	Probe:	164873 [ng/l]	Anzahl Messungen	Anzahl > BG	Mittelwert [ng/l]	Maximum [ng/l]
Lipidsenker	Bezafibrat	130	79	65	235	800
Schmerzmittel	Diclofenac	1800	115	105	2096	5300
Schmerzmittel	Naproxen	<50	79	60	215	1400
Schmerzmittel	Phenazon	<50	79	62	173	1300
Antiepileptikum	Carbamazepin	680	114	104	1082	3500
Betablocker	Atenolol	<50	79	58	853	41000
Betablocker	Bisoprolol	82	79	71	442	2900
Betablocker	Metoprolol	350	115	105	1912	5100
Betablocker	Sotalol	410	115	103	449	1500
Antibiotikum	Clarithromycin	180	115	96	213	1300
Antibiotikum	Sulfamethoxazol	140	115	100	593	9100
Psychopharmakon	Oxazepam	<50	64	55	179	1500
Kontrastmittel	Amidotrizoesäure	1600	109	100	3090	28000
Kontrastmittel	Iomeprol	<50	109	79	4527	86000
Kontrastmittel	Iopamidol	3600	109	88	2963	50000
Kontrastmittel	Iopromid	<50	58	27	2711	21000
PSM	Diuron	<50	92	25	92	250
PSM	Isoproturon	<50	77	8	9514	75000
PSM	Terbutryn	<50	66	12	145	500
Korrosionsinhibitor	Benzotriazol	3900	107	100	5835	24000
Steroidhormon	17-alpha-Ethinylestradiol	< 1	66	5	58	140
Steroidhormon	17-beta-Estradiol	19	66	1	19	19
Steroidhormon	Estron	20	66	1	20	20

BG = Bestimmungsgrenze

 Ergebnis der Probe liegt oberhalb des Mittelwertes

 Ergebnis der Probe erreicht/liefert den aktuellen Maximalwert