



**ERK  
EL  
ENZ**

Alles klar!

# **Abwasserreinigungsanlage Erkelenz-Mitte Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination**

Erläuterungsbericht  
Mai 2022  
Projektnummer: 1225 001





**ERK  
EL  
ENZ**

Alles klar!

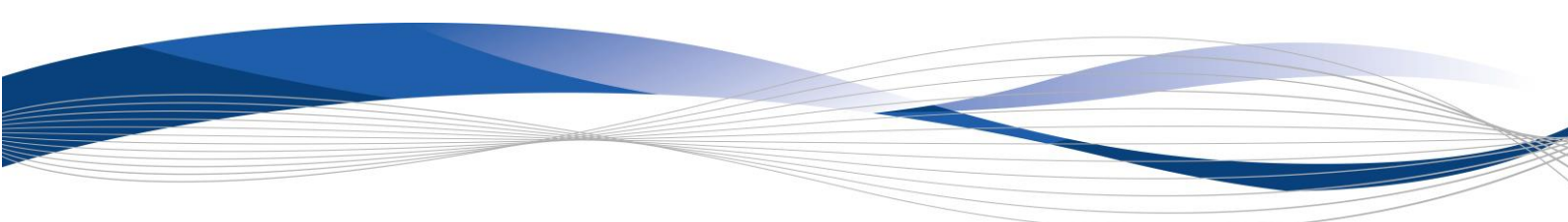
**Abwasserreinigungsanlage  
Erkelenz-Mitte  
Machbarkeitsstudie zur  
Mikroschadstoffelimination**

April 2022  
Projektnummer 1225 001

Bearbeitet durch:  
Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf  
Dr.-Ing. Jan. M. Kaub,  
Amirreza, Tabrizi M. Sc.

Aufgestellt:  
Bochum, Mai 2022

Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf



**Auftraggeber:**

Stadt Erkelenz - Abwasserbetrieb

Johannismarkt 17  
41812 Erkelenz

Herr Dipl.-Ing. Bernhard Rembarz (Amtsleiter)

Telefon: 02431 85-285  
bernhard.rembarz@erkelenz.de

Sebastian Louis, B. Eng.

Telefon: 02431 805 12 80  
sebastian.louis@erkelenz.de

Herr Manfred Fischer (Betriebsleitung)

Telefon: 02431 75-281  
ara-erkelenz@erkelenz.de

**Zuständige Behörde:**

Bezirksregierung Köln

Herr Daniel Trumm

Telefon: 0221 147-2588  
daniel.trumm@bezreg-koeln.nrw.de

**Bearbeitung durch:**

TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH  
Universitätsstraße 74  
44789 Bochum

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

Herr Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

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

Herr Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub

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

Herr Amirreza Karimzadeh Tabrizi, M. Sc.

Telefon: 0234 33305-46  
a.tabrizi@tum-ingenieure.de

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Aufgabenstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Zu Grunde liegende Unterlagen</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Belastungsdaten Hydraulik</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Reinigungsanforderungen</b> .....	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Kurzdarstellung der Verfahrenstechnik</b> .....	<b>7</b>
5.1	Zulauf .....	8
5.1.1	Einlaufbauwerk Freigefälle.....	8
5.1.2	Einlaufbauwerk Druckleitungsnetz .....	8
5.2	Mechanische Reinigungsstufe .....	8
5.2.1	Rechen .....	8
5.2.2	Sand- und Fettfang .....	8
5.2.3	Steuermessanlage für Belebungsstufe .....	8
5.2.4	Vorklärbecken.....	8
5.3	Biologische Reinigungsstufe .....	9
5.3.1	Bio-P-Becken.....	9
5.3.2	Denitrifikationsbecken.....	9
5.3.3	Zwischenpumpwerk biologische Stufe .....	9
5.3.4	Nitrifikationsbecken.....	9
5.3.5	Gebälsestation.....	9
5.3.6	Zirkulationswasserverteilerschacht .....	10
5.3.7	Verteilerschacht der Nachklärbecken.....	10
5.3.8	Nachklärbecken .....	10
5.4	Weitergehende Reinigung .....	10
5.4.1	Klarwasserpumpwerk .....	10
5.4.2	Klarwassernitrifikation .....	10
5.4.3	Fällmittelstation.....	10
5.4.4	DynaSand® Sandfilter .....	10
5.4.5	Abflussmessschacht .....	11
5.5	Weitere Becken .....	11
5.5.1	Puffer- und Speicherbecken .....	11

5.5.2	Fäkalannahmestation und -speicherbecken.....	11
5.5.3	Fremdschlamm Speicher.....	11
5.5.4	Prozesswasserbecken.....	11
5.6	Schlammbehandlung.....	11
<b>6</b>	<b>Mikroschadstoffe im Wasserkreislauf.....</b>	<b>13</b>
6.1	Einleitung.....	13
6.2	Charakterisierung des Verhaltens von anthropogenen Mikroschadstoffen.....	13
<b>7</b>	<b>Analytik.....</b>	<b>15</b>
7.1	Umfang der Analytik.....	15
7.2	Screening Mikroschadstoffe.....	18
7.2.1	Bewertung der Messwerte.....	20
7.2.1.1	Erweitertes Monitoring.....	20
7.2.1.2	Datenverdichtung.....	28
7.2.2	Gewässer.....	30
7.2.3	Beeinflussung des Gewässers anhand abgeschätzter Eliminationsraten.....	34
7.3	Allgemeine chemische Parameter (ACP).....	37
7.3.1	Bewertung der Messwerte.....	37
7.3.1.1	ACP bei erweitertem Monitoring.....	38
7.3.1.2	ACP bei Datenverdichtung.....	38
7.3.2	Beeinflussung des Gewässers anhand abgeschätzter Eliminationsraten.....	39
7.4	Zusammenfassung.....	40
<b>8</b>	<b>Verfahren zur Elimination von Mikroschadstoffen.....</b>	<b>41</b>
8.1	Überblick.....	41
8.2	Adsorption.....	42
8.2.1	Grundlagen.....	42
8.2.2	Einsatz Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Mikroschadstoffelimination.....	46
8.2.2.1	Pulveraktivkohle.....	46
8.2.2.2	Granulierte Aktivkohle.....	47
8.3	Ozonung.....	49
8.3.1	Grundlagen.....	49
8.3.1.1	Einsatz und Wirkung von Ozon.....	49
8.3.1.2	Ozonanwendung.....	50

8.3.2	Einsatz von Ozon in der Abwassertechnik zur Mikroschadstoffelimination.....	51
<b>9</b>	<b>Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen.....</b>	<b>53</b>
9.1	Beschickungsmenge.....	53
9.2	Verfahrensfestlegung.....	56
9.3	Randbedingungen .....	57
9.4	Flächenbedarf.....	57
9.5	Redundanzen .....	58
9.6	Varianten .....	59
9.6.1	Variante 1: Filtration über granulierte Aktivkohle .....	59
9.6.1.1	Allgemein.....	59
9.6.1.2	Ausführung .....	60
9.6.2	Variante 2: PAK vor dem Filter mit Rücklaufkohle.....	62
9.6.2.1	Allgemein.....	62
9.6.2.2	Ausführung .....	64
9.6.3	Variante 3: Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filteration (BAK).....	65
9.6.3.1	Allgemein.....	65
9.6.3.2	Ausführung .....	67
9.6.4	Variante 4: Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett.....	70
9.6.4.1	Allgemein.....	70
9.6.4.2	Ausführung .....	71
9.7	Ergebnisübersicht Varianten.....	74
<b>10</b>	<b>Kosten .....</b>	<b>1</b>
10.1	Allgemein.....	1
10.2	Investitionskosten .....	1
10.3	Betriebskosten.....	1
10.4	Jahreskosten .....	3
<b>11</b>	<b>Klimaschutzziele (Co<sub>2</sub>-Fußabdruck) .....</b>	<b>5</b>
<b>12</b>	<b>Bewertung .....</b>	<b>6</b>
<b>13</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>8</b>
<b>14</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>9</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Leitsubstanzen und Bewertungskriterien für das erweiterte Monitoring [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016].....	17
Tabelle 2:	Vorschlag von Substanzen (Indikatorsubstanzen) für die Datenverdichtung [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016].....	18
Tabelle 3:	Das erweiterte Monitoring bei Trockenwetter .....	21
Tabelle 4:	Das erweiterte Monitoring bei Regenwetter .....	22
Tabelle 5:	Bewertung des erweiterten Monitoring bei Regenwetter .....	24
Tabelle 6:	Bewertung des erweiterten Monitorings bei Trockenwetter .....	26
Tabelle 7:	Datenverdichtung bei Trockenwetter am 01.03. und 02.03.2022 .....	28
Tabelle 8:	Datenverdichtung bei Trockenwetter am 06.03., 07.03., und 08.03.2022.....	29
Tabelle 9:	Bewertung der Datenverdichtung.....	30
Tabelle 10:	KA Erkelenz-Mitte mit kumuliertem Abwasseranteil auf Basis der Jahresabwassermenge [LANUV 2018] .....	31
Tabelle 11:	Beeckbach - Wasserkörpertabelle [LANUV 2018].....	32
Tabelle 12:	Abschätzung der Prognose-Konzentrationen der auffälligen Stoffe bei erweitertem Monitoring (Regenwetter) nach der Integration der 4. Reinigungsstufe.....	35
Tabelle 13:	Abschätzung der Prognose-Konzentrationen der auffälligen Stoffe bei erweitertem Monitoring (Trockenwetter) nach der Integration der 4. Reinigungsstufe .....	36
Tabelle 14:	Abschätzung der Prognose-Konzentrationen der auffälligen Stoffe bei Datenverdichtung nach der Integration der 4. Reinigungsstufe .....	37
Tabelle 15:	Bewertung der ACP bei erweitertem Monitoring (Trocken- und Regenwetter) .....	38
Tabelle 16:	Bewertung der ACP bei Datenverdichtung (Trockenwetter) .....	39
Tabelle 17:	Abschätzung der Konzentration des auffälligen Parameters Gesamtphosphat-Phosphor bei erweitertem Monitoring nach Integration der 4. Reinigungsstufe .....	40
Tabelle 18:	Abschätzung der Konzentration des auffälligen Parameters Gesamtphosphat-Phosphor bei Datenverdichtung nach Integration der 4. Reinigungsstufe .....	40
Tabelle 19:	Messstelle: 318322, uh. KA Erkelenz-Mitte, Beeckbach / Diclofenac - Carbamazepin [ELWAS-Web 2021].....	54

Tabelle 20:	Vorschläge für die Jahresdurchschnitts-Umweltqualitätsnorm (UQN-V) und die Predicted No Effect Concentration (PNEC) für ausgewählte Arzneimittelwirkstoffe; Stand: 12. Mai 2020 [Umweltbundesamt 2020] .....	54
Tabelle 21:	Investitionskosten für die Varianten 1 bis 4.....	1
Tabelle 22:	Betriebskosten für die Varianten 1 bis 4.....	3
Tabelle 23:	Jahreskosten für die Varianten 1 bis 4.....	4
Tabelle 24:	Bilanzierung CO <sub>2</sub> -Fußabdruck (Klimaschutzziele).....	5
Tabelle 25:	Bewertungsmatrix für die Varianten 1 bis 4.....	6



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ablaufvolumenstrom Kläranlage (ARA) Erkelenz-Mitte (2018 bis 2020).....	4
Abbildung 2: Summenhäufigkeit der Ablaufmengen Kläranlage (ARA) Erkelenz-Mitte (2018 bis 2020).....	5
Abbildung 3: Fließschema Abwasserbehandlungsstufen Kläranlage (ARA) Erkelenz-Mitte.....	7
Abbildung 4: Blockschema Kläranlage (ARA) Erkelenz-Mitte Probenahmestellen.....	19
Abbildung 5: Lageplan ARA Erkelenz-Mitte - PNS 1 (Ablauf Vorklärung), PNS 2 (Zulauf DynaSand® Sandfilter), PNS 3 (Ablauf Kläranlage).....	20
Abbildung 6: Bewertung des chemischen Zustandes des Beeckbachs [ELWAS-Web 2021].....	33
Abbildung 7: Bewertung des ökologischen Zustandes des Beeckbachs [ELWAS-Web 2021].....	33
Abbildung 8: Wirkungsgrad bei Vollstrom- und Teilstrombehandlung (Konzentration beispielhaft) .....	34
Abbildung 9: Verfahren zur Mikroschadstoffelimination [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe BW 2013].....	41
Abbildung 10: Grundbegriffe der Adsorption.....	42
Abbildung 11: Teilschritte der Adsorption [Breitbach und Bathen 2001] .....	42
Abbildung 12: Isotherme Adsorption Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen NaCl-Konzentrationen [Cooney 1998] .....	43
Abbildung 13: Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber [DVGW W 239].....	44
Abbildung 14: Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit [Sontheimer et. al. 1985] .....	45
Abbildung 15: Durchbruchskurve eines Adsorptivgemisches [Worch 2004, modifiziert].....	45
Abbildung 16: Schema Ozonerzeugung [Gujer 1999, modifiziert].....	50
Abbildung 17: Ergebnisse Elimination Mikroschadstoffe ARA Regensdorf [Abegglen et. al. 2009] .....	52
Abbildung 18: Vorgehensweise zur Ermittlung der Auslegungswassermengen [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016].....	53
Abbildung 19: Behandelte Abwassermenge in 4. RS in Abhängigkeit von Q Auslegung für 4. RS [Betriebstagesbücher 2018 - 2020, ARA Erkelenz-Mitte] .....	56

Abbildung 20: Liegenschaftskarte ARA Erkelenz-Mitte - [Terraweb 2021].....	58
Abbildung 21: Blockschema Variante 1: Filtration über granulierte Aktivkohle.....	59
Abbildung 22: Lageplanausschnitt Variante 1: Filtration über granulierte Aktivkohle .....	61
Abbildung 23: Blockschema Variante 2: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle .....	63
Abbildung 24: Lageplanausschnitt Variante 2: PAK vor dem Filter mit Rücklaufkohle .....	64
Abbildung 25: Blockschema Variante 3: Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filtration (BAK).....	66
Abbildung 26: Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filtration (BAK).....	68
Abbildung 27: Blockschema Variante 4: Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett.....	70
Abbildung 28: Lageplanausschnitt Variante 4: Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett .....	71
Abbildung 29: Ein allgemeines Verfahrensschema eines Wirbelbetts als biologische Nachbehandlungsstufe [Böhler et. al. 2017]. .....	73
Abbildung 30: Biofilmträger ohne Biofilmbewuchs und zunehmender Bewuchs im Verlauf der Betriebszeit. Das zweite Bild oberste Reihe zeigt bereits eine feine Biofilmbildung (hellbraune Einfärbung) nach knapp 6 Wochen Betrieb [Böhler et. al. 2017].....	73
Abbildung 31: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten .....	4

## Anlagen

Anlage 1: Auslegung Varianten 1 bis 4

Anlage 2: Investitionskosten Varianten 1 bis 4

Anlage 3: Betriebskosten Varianten 1 bis 4

Anlage 4: Jahreskosten Varianten 1 bis 4

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Aus Sicht vieler Institutionen, wie des Umweltbundesamtes (UBA), der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR), der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BFG), vieler Forschungseinrichtungen und auch der Landesregierung Nordrhein-Westfalen (NRW), stellen Mikroschadstoffe und deren Verminderung eine der großen wasserwirtschaftlichen Herausforderungen der nächsten Jahre dar. In NRW hat das Thema Mikroschadstoffe seit den PFT-Funden in der Ruhr eine herausragende Bedeutung.

Die umfangreichen Gewässeruntersuchungen ergaben eine erhebliche Belastung der Gewässer mit Mikroschadstoffen. Neben Berlin und Baden-Württemberg ist NRW eines von drei Bundesländern, in denen Trinkwasser vorwiegend aus Oberflächengewässern gewonnen wird (in NRW rund 60 % des Trinkwassers). Ein guter ökologischer Zustand kann aktuell in mehr als 90 % der Gewässer in NRW nicht erreicht werden [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016].

Kommunale Kläranlagen zählen zu den bedeutendsten Eintragspfaden von Mikroschadstoffen in Oberflächengewässer, weil konventionelle Abwasserreinigungsverfahren nicht für den Rückhalt von Mikroschadstoffen konzeptioniert wurden. Eine weitgehende Elimination der Mikroschadstoffe auf kommunalen Kläranlagen ist durch einen zusätzlichen Verfahrensschritt technisch möglich.

Die Ertüchtigung von kommunalen Kläranlagen im Hinblick auf die Elimination von anthropogenen Mikroschadstoffen wird derzeit in der Fachwelt diskutiert. Es besteht derzeit keine technische Richtlinie für die Auslegung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination. Die 4. Reinigungsstufe zur Mikroschadstoffelimination 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 umgesetzt.

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.

Wie im letzten Entwurf des Erlaubnisbescheids (Antrag vom 08.12.2015) zur Einleitung des gereinigten Abwassers in den Beeckbach erwähnt, ist für diese Abwasserreinigungsanlage eine Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination durchzuführen [202].

Grundlage für die Aufstellung der Machbarkeitsstudie sind die folgenden Veröffentlichungen des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW:

- Mikroschadstoffelimination machbar? Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie für Anlagen zur Mikroschadstoffelimination - 2. Überarbeitete und erweiterte Auflage
- Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination mit aktualisierter Stoffliste vom 01.09.2016

Der Abwasserbetrieb der Stadt Erkelenz hat die Tuttahs & Meyer Ing.- mbH beauftragt, für die Kläranlage Erkelenz-Mitte eine solche Studie auszuarbeiten. Die Kläranlage reinigt das Abwasser von umgerechnet etwa 48.000 Einwohnerwerten.

Für diese Studie wurde eine Mikroschadstoffanalytik veranlasst, um die Belastung am Zulauf der Biologie (PNS 1), am Ablauf der Kläranlage bzw. an der Einleitung in den Beeckbach (PNS 3) sowie an der möglichen Integrationsstelle der 4. Reinigungsstufe (PNS 2) zu untersuchen.

Für die Festlegung der möglichen Verfahren zur Mikroschadstoffelimination wurden mehrere Varianten betrachtet, die schon erfolgreich an verschiedenen Standorten in Deutschland umgesetzt wurden. Schließlich wurde beschlossen, die im Folgenden aufgeführten Varianten für die Kläranlage Erkelenz-Mitte zu untersuchen. Dabei wurde auch auf verschiedene Aspekte, wie z. B. den Aufbau und die aktuelle Leistung bzw. Belastung der Abwasserreinigungsanlage geachtet. Mit der Studie soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, um die Auswahl eines möglichen Verfahrens durch die Stadt Erkelenz 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 Abwasserbehandlungsmenge (**Teilstrom-/ Vollstromverfahren**);
- Auslegung der insgesamt 4 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 Zu Grunde liegende Unterlagen

Nachfolgend aufgeführte Unterlagen standen für die Aufstellung dieser Machbarkeitsstudie zur Verfügung:

- [201] Bemessungsdaten der ACP und der Frachten der ARA Erkelenz-Mitte
- [202] Genehmigungsentwurf zur Einleitung aus der Kläranlage Erkelenz-Mitte in den Beeckbach (Antrag vom 08.12.2015)
- [203] Verfahrensschema der Kläranlage Erkelenz-Mitte mit möglichen Probenahmestellen
- [204] Hydraulischer Schnittplan der Abwasserkläranlage Erkelenz-Mitte, West GkA Management Gesellschaft für kommunale Anlagen mbH, Deutsche Abwasser Reinigungs-Gesellschaft mbH, 1989
- [205] Bestand- und Grundrissplan der Abwasserkläranlage Erkelenz-Mitte, West GkA Management Gesellschaft für kommunale Anlagen mbH, Deutsche Abwasser Reinigungs-Gesellschaft mbH, 1995
- [206] Satzung über die Entwässerung der Grundstücke, deren Anschluss an die öffentliche Abwasseranlage und die Entsorgung von Grundstücksentwässerungsanlagen - Entwässerungssatzung - der Stadt Erkelenz (16. Änderung vom 16.12.2020), 2004
- [207] Auszug Betriebstagebuch Kläranlage (ARA) Erkelenz-Mitte, Januar 2018 bis Dezember 2020
- [208] Lageplan (Luftbild) der ARA Erkelenz-Mitte, 2018
- [209] Ablaufwassermengen als 2-Stundenwerte, Januar 2018 bis Dezember 2020
- [210] Angebot für Analytik der Mikroschadstoffe und der allgemeine chemisch-physikalische Parameter, RWTH Aachen University, 2019
- [211] Abschreibungstabelle der Stadt Erkelenz-Mitte, 2019
- [212] Zuwendungsbescheid von Förderprogrammgeschäft der NRW.Bank, 2020
- [213] Monatsrechnung des Stroms der Kläranlage (ARA) Erkelenz-Mitte, Dezember 2020

### 3 Belastungsdaten Hydraulik

Die Bemessungswerte der Kläranlage Erkelenz-Mitte sind gemäß dem Genehmigungsentwurf von 2015 [202] im Folgenden aufgeführt:

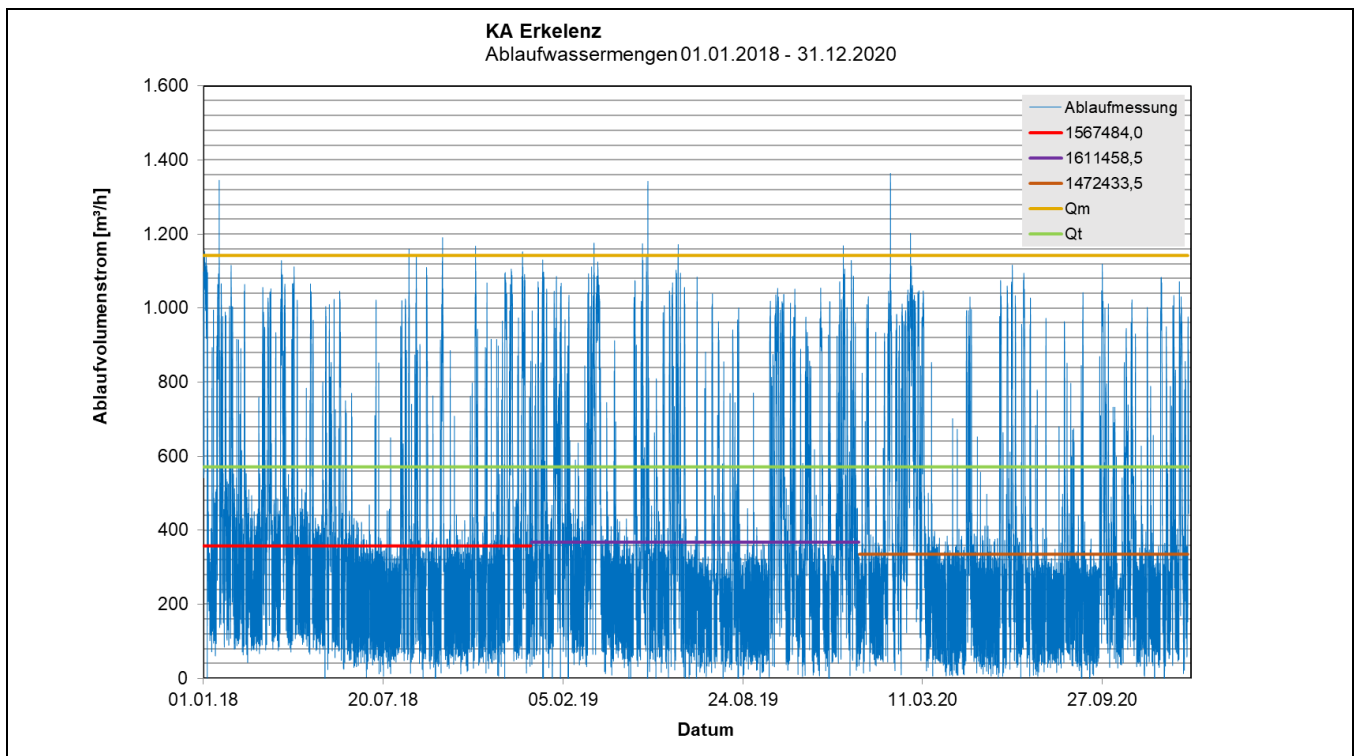
Trockenwetterzufluss	572 m <sup>3</sup> /h (286 m <sup>3</sup> /0,5 h)	≈ 159 l/s
Höchstwasserabfluss	1258,4 m <sup>3</sup> /h (629,2 m <sup>3</sup> /0,5 h)	≈ 349 l/s
Jahresschmutzwassermenge	2.445.000 m <sup>3</sup> /a	

Für die Bemessung der vierten Reinigungsstufe, die entsprechend des gewählten Verfahrens vor oder nach der bestehenden Filteranlage eingebunden wird, sind die Ablaufmengen der Kläranlage entscheidend.

Gemäß dem Entwurf des wasserrechtlichen Erlaubnisbescheides mit dem Antrag vom 08.12.2015 - Az.: 662784 und der Antragsergänzung vom 14.12.2017 befristet bis zum 31.12.2022 ist die ankommende Abwassermenge bis zu einer Menge von 572 m<sup>3</sup>/0,5 h und 318 l/s vollständig in der Kläranlage biologisch zu reinigen [202].

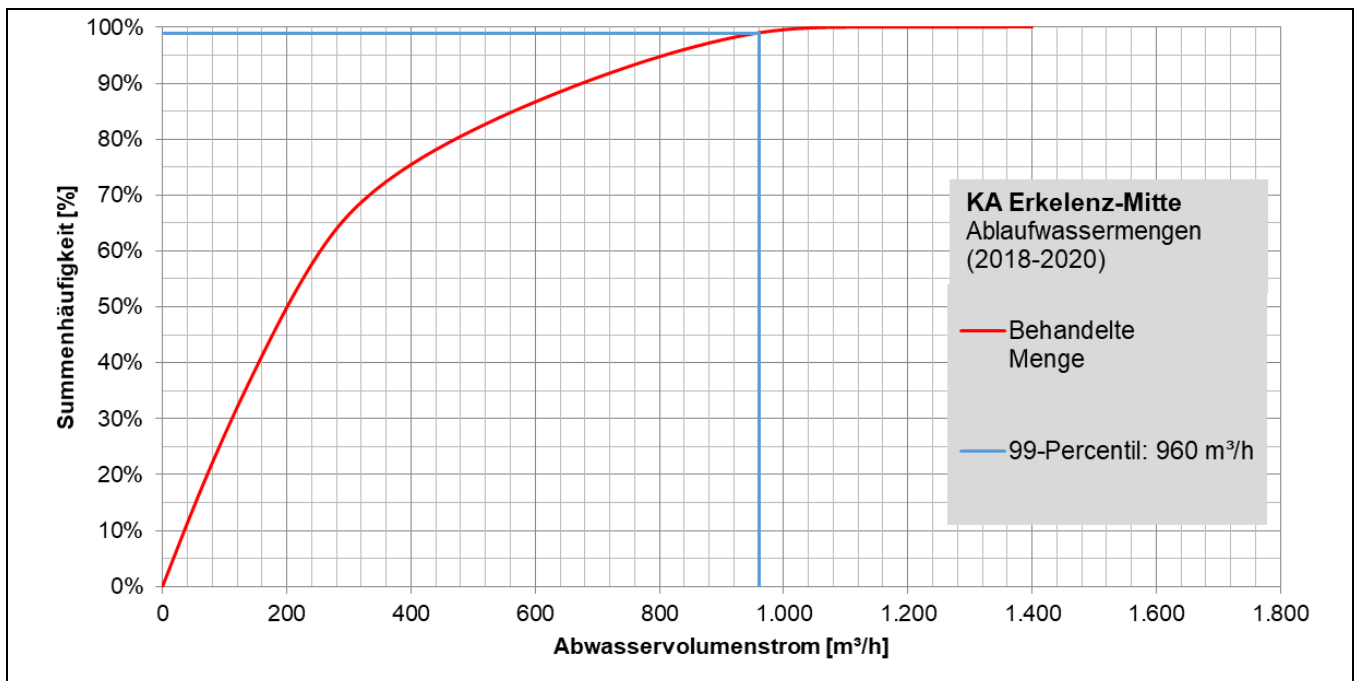
Zur Berücksichtigung der Messungenauigkeit des Systems ist der Höchstwasserabfluss als der 1,1-fache Wert des zulässigen Höchstwasserabflusses von 572 m<sup>3</sup>/0,5h und 318 l/s gemäß Bemessung festgesetzt [202].

**Abbildung 1** stellt die Ganglinie der Abwassermengen im Ablauf der Kläranlage als 2-Stundenwerte dar. Die mittlere Ablaufmenge beträgt 354 m<sup>3</sup>/h. Maximal wurden 1364 m<sup>3</sup>/h im Betrachtungszeitraum abgeleitet.



**Abbildung 1: Ablaufvolumenstrom Kläranlage (ARA) Erkelenz-Mitte (2018 bis 2020)**

Die Summenhäufigkeit der Ablaufwassermengen zeigt **Abbildung 2**. Das 99-Perzentil beträgt 960 m<sup>3</sup>/h.



**Abbildung 2: Summenhäufigkeit der Ablaufmengen Kläranlage (ARA) Erkelenz-Mitte (2018 bis 2020)**

## 4 Reinigungsanforderungen

Die Überwachungswerte für die Kläranlage (ARA) Erkelenz-Mitte sind gemäß dem Entwurf des wasserrechtlichen Erlaubnisbescheides mit dem Antrag vom 08.12.2015 - Az.: 662784 und der Antragsergänzung vom 14.12.2017 befristet bis zum 31.12.2022 für die Parameter **BSB<sub>5</sub>**, **CSB**, Ammoniumstickstoff, Gesamt-Stickstoff anorganisch, **Gesamt-Phosphor**, **Nickel**, **Chrom**, **Kupfer** und **pH-Wert** festgelegt [202]. Folgende Überwachungswerte sind zur Einleitung aus der Kläranlage Erkelenz-Mitte in den Beeckbach einzuhalten:

Chemischer Sauerstoffbedarf ( <b>CSB</b> )	40	mg/l	
Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen ( <b>BSB<sub>5</sub></b> )	7	mg/l	
Ammoniumstickstoff ( <b>NH<sub>4</sub>-N</b> )	2 <sup>1</sup>	mg/l	
Stickstoff, gesamt ( <b>N<sub>ges</sub></b> )	18	mg/l	(≥ 12 °C)
Phosphor, gesamt ( <b>P<sub>ges</sub></b> )	1	mg/l	
Nickel ( <b>Ni</b> )	0,05	mg/l	
Chrom ( <b>Cr</b> )	0,05	mg/l	
Kupfer ( <b>Cu</b> )	0,1	mg/l	
<b>pH-Wert</b>	6 - 8,5	-	

---

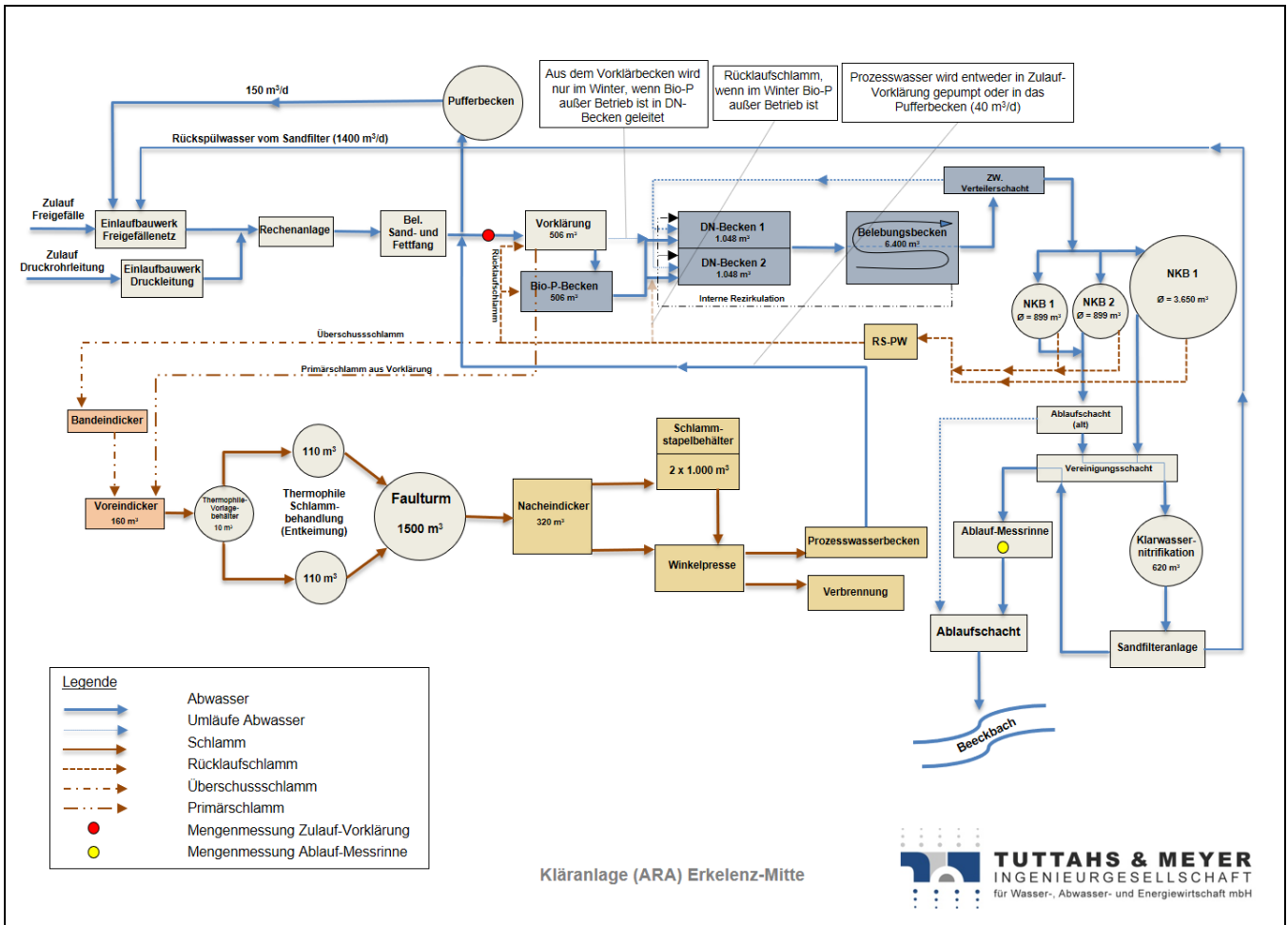
<sup>1</sup> Der Überwachungswert ist ständig einzuhalten; er gilt auch dann als eingehalten, wenn die Wassertemperatur im Belebungsbecken in einer mindestens 6-stündigen Periode innerhalb von 4 Wochen vor dem Zeitpunkt der Probenahme im Rahmen der staatlichen Überwachung gern. § 94 LWG unter 7 °C gelegen hat. Diese zeitliche Ausgleichsregelung gilt aufgrund der Anforderungen des Anhangs 1 der AbwV nicht bei Abwassertemperaturen gleich und größer 12 °C.



### 5 Kurzdarstellung der Verfahrenstechnik

Der derzeitige Anlagebestand wurde bei einem Termin am 25.02.2021 vor Ort aufgenommen. Anschließend wurde die aktuelle Betriebsweise von der Betriebsleitung vorgestellt.

Eine schematische Darstellung zu den Abwasserbehandlungsstufen auf der Kläranlage (ARA) Erkelenz-Mitte stellt **Abbildung 3** dar.



**Abbildung 3: Fließschema Abwasserbehandlungsstufen Kläranlage (ARA) Erkelenz-Mitte**

Über einen Freigefällezulauf wird das Abwasser der Abwasserkläranlage Erkelenz-Mitte zugeleitet. Nach dem Zulauf erfolgt die Beschickung des Abwassers sowohl im Freigefälle als auch im Druckbetrieb.

Die Abwasservorbehandlung erfolgt mit einer Rechenanlage, einem Sand- und Fettfang und einem Vorklärbecken. Nach dem Sandfang ist eine Entlastung zum Pufferbecken möglich. Die biologische Hauptstufe wird aus einem Bio-P-Becken, zwei Denitrifikationsbecken und zwei Nitrifikationsbecken gebildet. Zur Abtrennung des Belebtschlammes sind drei Nachklärbecken vorhanden. Eine weitergehende Abwasserbehandlung erfolgt mit einer Klarwassernitrifikation und einem DynaSand® Sandfilter, die der Nachklärung nachgeschaltet sind. Nach dem DynaSand® Sandfilter wird das gereinigte Abwasser in den Beeckbach geleitet.

## 5.1 Zulauf

### 5.1.1 Einlaufbauwerk Freigefälle

Die Abwässer aus dem Freigefällenetz, aus dem Pufferbecken und das Spülwasser des DynaSand® Sandfilters fließen in das Einlaufbauwerk und werden von hieraus dem Rechen zugeleitet. Dabei wird die Durchflussmenge ständig überwacht.

### 5.1.2 Einlaufbauwerk Druckleitungsnetz

Hier erfolgt die Einleitung des Abwassers aus dem Druckleitungsnetz von der Druckleitung des Pumpwerkes Oerath II in die mechanische Reinigungsstufe. Durch die gewählte Konstruktion des Bauwerks wird die Pumpenenergie vernichtet und somit eine Vergleichmäßigung der Wassermenge erreicht. Es ist eine Mengenummessung im Pumpwerk Oerath II vorhanden.

## 5.2 Mechanische Reinigungsstufe

Das Abwasser durchfließt hinter dem Einlaufbauwerk die mechanische Reinigungsstufe, bestehend aus Rechenanlage, Sand- und Fettfang und Vorklärung.

### 5.2.1 Rechen

Zunächst kommt die Rechenanlage als erste Anlageeinheit zum Einsatz. Sie dient der kontinuierlichen Entfernung von Grob-, Faser- und Sperrstoffen (Papier, Textilien etc.) aus dem Abwasserstrom.

### 5.2.2 Sand- und Fettfang

Im Sandfang erfolgt die Abtrennung und Elimination von mineralischen Stoffen aus dem Abwasserstrom, um betriebliche Störungen in den nachfolgenden mechanischen und biologischen Behandlungsstufen zu vermeiden. Die absinkenden mineralischen Stoffe sammeln sich in der Sohlrinne und werden von dort aus der Sandbehandlung zugeführt. Die in der Fettfangkammer aufschwimmenden Fette werden von der Räumereinrichtung abgeschieden.

### 5.2.3 Steuermessanlage für Belebungsstufe

Die Abwassermengen, der pH-Wert, die Leitfähigkeit und die Temperatur werden bei der Steuermessanlage ständig gemessen. Dazu wird in dieser Messstation mit dem Ammoniumphotometer der Ammoniumgehalt im Ablauf des Sandfanges gemessen. Diese Messungen dienen der Überwachung und Steuerung der Kläranlage.

### 5.2.4 Vorklärbecken

Das Vorklärbecken dient als eigenständige Behandlungseinheit durch Reduzierung der organischen Belastung (**AFS**, **CSB** und **BSB<sub>5</sub>**) der Entlastung der nachfolgenden biologischen Verfahrensstufe. Ziel ist die Entfernung absetzbarer Stoffe. Der abgeschiedene Primärschlamm soll für die Erzeugung von Faulgas zur Verbesserung der Energiebilanz der Kläranlage genutzt werden. Die abgesetzten Stoffe werden als Primärschlamm abgezogen und werden von hier aus direkt dem Voreindicker zugeleitet.

Um den Prozess der nachstehenden biologischen Phosphorelimination zu verbessern, kann eine Vorsäuerung betrieben werden. Hierzu kann der Primärschlamm mit der Primärschlammpumpe abgezogen werden und über eine separate Leitung dem Vorklärbecken wieder zugegeben werden.

### 5.3 Biologische Reinigungsstufe

Ziele der biologischen Hauptstufe sind die Elimination des **CSB (BSB<sub>5</sub>)**, die Reduzierung der Stickstoffkonzentration (Nitrifikation und Denitrifikation) und die Senkung der Phosphorkonzentration (Bio-P, Simultanfällung). Das mechanisch vorbehandelte Abwasser gelangt aus dem Vorklärbecken in das Bio-P-Becken. Im Anschluss wird das Abwasser den Denitrifikationsbecken zugeleitet und von da aus mittels eines Pumpwerks in die Nitrifikationsbecken gefördert. Den Nachklärbecken 1, 2 und 3 ist eine Klarwassernitrifikation sowie ein DynaSand® Sandfilter nachgeschaltet, bevor das Abwasser in den Beeckbach gelangt.

#### 5.3.1 Bio-P-Becken

Hier erfolgt die Reduzierung der im Abwasser enthaltenen Phosphatverbindungen auf biologischem Weg. Im Becken werden sauerstofffreie Verhältnisse geschaffen, da nur unter diesen Bedingungen die Bakterien die Phosphatverbindungen spalten können. Anschließend erfolgt unter aeroben Bedingungen im Belebungsbecken eine vermehrte Phosphataufnahme.

#### 5.3.2 Denitrifikationsbecken

Die Reduzierung des im Abwasser enthaltenen oxidierten Stickstoffs (**Nitrat** oder **Nitrit**) erfolgt in dieser Stufe. Diese Reaktionen verlaufen in mehreren Zwischenschritten von **Nitrat** zum Stickstoff. Auf der ARA ist eine vorgeschaltete Denitrifikation im Einsatz. Hierbei gelangt der Abwasserstrom zunächst in die Denitrifikationszonen und anschließend in die Nitrifikationsräume. Das in der Nitrifikationszone gebildete **Nitrat** wird über einen Rezirkulationsstrom vom Ablaufbereich der Nitrifikationsbecken in die Denitrifikationseinheiten zurückgeführt und hier durch Veratmung zu Stickstoff reduziert.

#### 5.3.3 Zwischenpumpwerk biologische Stufe

Mittels eines Pumpwerks erfolgt die Anhebung des Belebtschlammstromes aus dem Denitrifikationsbecken in die Nitrifikationsbecken. Er setzt sich zusammen aus dem im Bio-P-Becken zusammengeführten Zulaufabwasserstrom, dem Rücklaufschlammstrom, dem Rezirkulationsstrom zwischen Denitrifikations- und Nitrifikationsbecken.

#### 5.3.4 Nitrifikationsbecken

Stickstofffrachten werden durch eine Nitrifikation und eine Denitrifikation verringert. In dieser Stufe erfolgt die biochemische Umsetzung von Ammonium zu **Nitrat**. Bei der Nitrifikation wird der Ammoniumstickstoff von zwei aeroben Bakteriengruppen in **Nitrit** und **Nitrit** in **Nitrat** oxidiert.

#### 5.3.5 Gebläsestation

Die Gebläsestation stellt den erforderlichen Sauerstoffbedarf für die aerobe Umsetzung im Nitrifikationsbecken bereit. Gleichzeitig wird für eine ausreichende Durchmischung in den Belebungsbecken gesorgt.

### **5.3.6 Zirkulationswasserverteilerschacht**

In dem Zirkulationsverteilerschacht erfolgt die Trennung des aus dem Nitrifikationsbecken abgezogenen Schlammstromes in einen Rezirkulationsstrom, der zur Denitrifikation geleitet, und in einen Belebtschlammstrom, der zur Nachklärung geführt wird. Die Aufteilung kann durch vorhandene Elektroschieber im Zirkulationswasserverteilerschacht geregelt werden.

### **5.3.7 Verteilerschacht der Nachklärbecken**

Im Verteilerschacht wird der gesamte Zulaufstrom zu den drei Nachklärbecken aufgeteilt. Es ist keine maschinelle oder messtechnische Ausrüstung installiert.

### **5.3.8 Nachklärbecken**

In den Nachklärbecken wird der im Abwasser enthaltene Belebtschlamm von der Wasserphase getrennt. Der Belebtschlamm setzt sich unter dem Einfluss der Schwerkraft auf der Sohle ab und ein umlaufender Räumler fördert den Schlamm zum Schlammabzug in die Mitte des Beckens. Ein Teil dieses Schlammes wird in das Bio-P-Becken als Rücklaufschlamm gefördert. Das vom Belebtschlamm getrennte Wasser wird durch an der Oberfläche befindlichen Überfallkanten aus dem Becken abgezogen und zur nächsten Reinigungsstufe gefördert.

## **5.4 Weitergehende Reinigung**

### **5.4.1 Klarwasserpumpwerk**

Im Klarwasserpumpwerk wird das in der biologischen Stufe weitgehend gereinigte Abwasser zur Beschickung der Klarwassernitrifikation bzw. des nachfolgenden DynaSand® Sandfilters angehoben.

### **5.4.2 Klarwassernitrifikation**

Die Klarwassernitrifikation dient durch Ammoniumstickstoffoxidation der weitergehenden Abwasserreinigung. Durch das Einbringen von Trägermaterial (Schaumstoffwürfel mit extrem hoher Bewuchsfäche) wird sessilen Nitrifikanten ermöglicht, im System zu verbleiben und biologisch den Restammoniumabbau zu übernehmen.

### **5.4.3 Fällmittelstation**

In der Fällmittelstation werden die Fällmittel (Eisen-III-Chlorid-Sulfat-Lösung) bevorratet und dosiert, um die Phosphorkonzentration im Abwasser weiter zu senken.

### **5.4.4 DynaSand® Sandfilter**

In der Sandfilteranlage werden absetzbare und abfiltrierbare Stoffe entnommen und in Verbindung mit den vorhergehenden Reinigungsprozessen werden die Phosphorablaufwerte gesenkt. Die Sandfilteranlage ist außerdem von Bedeutung, da die beiden alten Nachklärbecken eine Tiefe haben, die einen gewissen, wenn auch vertretbaren Feststoffabtrieb nicht ausschließen.

### **5.4.5 Abflussmessschacht**

Der Ablaufmessschacht dient zur Erfassung und Registrierung der Ablaufmenge zum Vorfluter des Bееckbachs. Des Weiteren werden Qualitätsmessungen für die Parameter Temperatur, pH-Wert; Trübung, Leitfähigkeit und Phosphor durchgeführt.

## **5.5 Weitere Becken**

### **5.5.1 Puffer- und Speicherbecken**

Die Stoßbelastungen, insbesondere durch hohe Stickstofffrachten, werden durch das Puffer- und Speicherbecken abgefangen. Dieses gilt in gleicher Weise für die kritischen Konzentrationen (Toxizität bzw. pH-Wert) der biologischen Stufe. Die Steuerung erfolgt über die Steuermessanlage für die Belebungsstufe.

### **5.5.2 Fäkalannahmestation und -speicherbecken**

In der Fäkalannahmestation werden die Qualitätsparameter des angelieferten Fäkalschlammes gemessen. Der in der Fäkalannahmestation eingebaute Rechen dient zur Entfernung der Grobstoffe. Momentan ist die Fäkalannahmestation außer Betrieb.

### **5.5.3 Fremdschlamm Speicher**

Der Fremdschlamm Speicher hat seine ursprüngliche Aufgabe verloren, da die kleineren Abwasserreinigungsanlagen stillgelegt wurden. Er kann aus nahezu allen Stationen des Schlammweges gefüllt, und in nahezu alle Stationen entleert werden. Momentan eignet sich dieser ausgezeichnet als Not-speicher.

### **5.5.4 Prozesswasserbecken**

Im Prozesswasserbecken werden die meisten mit Nährstofffrachten beladenen Prozessabwässer zwischengespeichert und behandelt. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um das Konzentratwasser der maschinellen Schlammwässerung und das Überstands- bzw. Trübwasser aus den Nacheindickern und dem Schlamm Speicherbecken. Des Weiteren werden die mit Wasserdampf gesättigte Luft durch Kalkfällung behandelt. Das vorbehandelte aber hochbelastete Abwasser wird in Zeiten mit geringer Anlagenauslastung in die Zulaufrinne vor der Vorklärung eingeleitet. Dadurch wird die Anlage gleichmäßig belastet.

## **5.6 Schlammbehandlung**

Im Rücklaufschlamm pumpwerk wird der in den Nachklärbecken sedimentierte Schlamm angehoben, sodass eine Weiterleitung in das Bio-P-Becken erfolgen kann. Der von dem Vorklärbecken abgezogene Primärschlamm wird vom Rohschlamm pumpwerk in die Voreindicker gefördert. Der Rohschlamm schacht, der sich an der Westseite des Betriebsgebäudes befindet, dient als Puffer für die Pumpen. Der Überschussschlamm wird auch nach der Behandlung von einem Bandeindicker in die Voreindicker gefördert. Der Voreindicker dient einer gleichmäßigen Mischung des ÜSS und des Primärschlammes. Dies ist erforderlich, um die erste Faulstufe einwandfrei betreiben zu können.

Die Beschickung in die Faulung erfolgt über die einzelnen Pumpwerke in Abhängigkeit der Schlammart. Die Umwälzung erfolgt mittels eines Rührwerkes im Behälter. Den Voreindickern ist das Pumpwerk für eingedickten Rohschlamm nachgeschaltet, das die nachfolgende 2-stufige Faulung beschickt. Die anaerobe thermophile Kurzzeitfaulung dient der Feststoffreduzierung, der Stabilisierung und der Entseuchung und somit der Entlastung der mesophilen Faulung und der höheren Entsorgungssicherheit.

Des Weiteren ist ein Zwischenbehälter als Ausgleichs- und Speicherbehälter installiert. Der Feststoffgehalt des Schlammes, der aus der Faulung abgezogen wird, wird im Nacheindicker unter Einfluss der Schwerkraft erhöht. Danach wird der Schlamm mit einer Winkelpresse und anschließender Schlamm Trocknung weiter entwässert.

Im Schlammstapelbehälter wird der Nassschlamm zwecks Aufbringung in die Landwirtschaft sowie höherer Flexibilität bei der nachfolgenden Schlammbehandlung zwischengespeichert. Die Schlammstapelbehälter bestehen aus zwei Behältern, die von zwei sogenannten „Faulschlamm pumpwerken“ beschickt werden.

## **6 Mikroschadstoffe im Wasserkreislauf**

### **6.1 Einleitung**

Mit Mikroschadstoffen 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 Mikroschadstoffe 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 Mikroschadstoffen auf aquatische Lebewesen festgestellt. Im Sinne des Vorsorge- und Minimierungsprinzips sollte daher der Eintrag dieser Stoffe in den Wasserkreislauf minimiert werden.

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

Kommunale Kläranlagen sind derzeit ausgelegt für die Kohlenstoff- und, in Abhängigkeit von der Größe, auch für die Nährstoffelimination. Auf gut ausgebauten Anlagen werden organische Mikroschadstoffe 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 Mikroschadstoffen**

Die anthropogenen Mikroschadstoffe lassen sich, bedingt durch ihre physikochemischen 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 beeinflussen beispielsweise 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 Mikroschadstoffe 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 Mikroschadstoffe 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.



## 7 Analytik

Wie im letzten Entwurf des Erlaubnisbescheids (Antrag vom 08.12.2015) zur Einleitung des gereinigten Abwassers in den Beeckbach erwähnt, ist für diese Abwasserreinigungsanlage eine Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination durchzuführen [202].

Grundlage für die Aufstellung der Machbarkeitsstudie sind die folgenden Veröffentlichungen des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW:

- Mikroschadstoffelimination machbar? Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie für Anlagen zur Mikroschadstoffelimination - 2. Überarbeitete und erweiterte Auflage
- Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination mit aktualisierter Stoffliste vom 01.09.2016

### 7.1 Umfang der Analytik

Gemäß der Veröffentlichung vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW „Mikroschadstoffentfernung machbar? mit aktualisierter Stoffliste vom 01.09.2016“ ist neben den **Standardparametern** ein **erweitertes Monitoring** auf Mikroschadstoffe im Zulauf zur biologischen Reinigungsstufe und im Ablauf der Kläranlage durchzuführen, das auf die standortspezifischen Bedingungen infolge von Indirekteinleitern sowie die aktuelle Belastung des Gewässers abgestimmt ist. Wenn ausschließlich die Leistung der Kläranlage untersucht wird, ist das Monitoring im Ablauf der Kläranlage ausreichend. Zur Bewertung des Einflusses auf den Vorfluter sind ferner Probenahmen vor und nach der Kläranlageneinleitung zu empfehlen. Da das Gewässer vor der Einleitung der ARA Erkelenz-Mitte fast kein Wasser führt und die ARA Erkelenz-Mitte hier als eine Quelle dient, wird auf die Probenahme vor und nach der Kläranlageneinleitung verzichtet.

Da Mikroschadstoffe eine sehr heterogene, umfängliche Stoffgruppe mit unterschiedlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften und somit variabler Umweltrelevanz bzw. Eliminierbarkeit bilden, ist die Durchführung der Analytik für jeden einzelnen Stoff aus Kostengründen nicht vertretbar. Aus diesem Grund werden für diese Untersuchung wenige Stoffe ausgewählt, die für die spezifische Mikroschadstoffsituation repräsentativ sind.

Nach der Relevanz der Substanzen im Hinblick auf das Vorkommen in kommunalen Kläranlagen sowie der vorgeschlagenen UQN oder PNEC-Werte, der Bestimmungsgrenzen (BG) der instrumentellen Analytik und der Überschaubarkeit der Analysekosten wurde empfohlen, in einem ersten erweiterten Monitoring mindestens die in der **Tabelle 1** aufgelisteten Leitparameter aus verschiedenen Substanzgruppen zu berücksichtigen [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016]. Der Umfang der Analytik wurde mit der zuständigen Wasserbehörde, Bezirksregierung Köln, abgestimmt.

In der **Tabelle 1** sind die empfohlenen repräsentativen Substanzen und deren Bewertungskriterien zusammengestellt, die bei erweitertem Monitoring untersucht werden sollten [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016]. Bei dieser Tabelle handelt es sich um den Mindestumfang. Weitere Ergänzungen der Parameterliste können in Abhängigkeit der jeweiligen ortsspezifischen Randbedingungen erfolgen. Erwähnenswert ist, dass sowohl bei den östrogenen Wirkstoffen als auch bei der Perfluorooctansulfonsäure (**PFOS**) die Bewertungskriterien derzeit unterhalb der möglichen BG liegen. Hier ist in Klammern die derzeit in Kläranlagenabläufen messbare BG angegeben.

Arzneimittelwirkstoffe können in allen Kläranlagenabläufen nachgewiesen werden. Derzeit existieren keine Grenzwerte für diese Stoffe. Einige Arzneimittelwirkstoffe sind seit März 2015 auf der sogenannten watch-list (Beobachtungsliste) der Europäischen Union zu finden. Zu diesen Stoffen gehören nun nicht mehr nur die **Östrogene 17- $\alpha$ -Ethinylestradiol (EE2)** und **17- $\beta$  Estradiol (E2)** sowie das Schmerzmittel **Diclofenac**, sondern neben einigen Industriechemikalien auch Makrolid- Antibiotika (**Erythromycin**, **Clarithromycin** und **Azithromycin**) sowie Neonicotinoide (Verwendung als Insektizid und Beizmittel). Diese Substanzen sollen für Priorisierungsverfahren in den nächsten Jahren regelmäßig in Oberflächengewässern überwacht werden. Des Weiteren wurden die in Deutschland häufig verwendeten Sartane (**Candesartan**, **Valsartan** und **Lorsartan**), das Antikonvulsivum **Gabapentin** und der durch die biologische Abwasserbehandlung gebildete Metabolit **Guanylharnstoff** des Biguanides Metformin in das empfohlene Monitoringprogramm implementiert [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016].

Neben der Analytik der Arzneimittelwirkstoffe ist auch die Untersuchung auf das Korrosionsschutzmittel **1H-Benzotriazol** sinnvoll. Das Monitoring der Östrogene sollte derzeit mittels summarischer Erfassung der östrogenen Aktivität erfolgen, da die Nachweisgrenzen der instrumentellen Analytik der Einzelstoffe nicht in den erforderlichen Konzentrationsbereich im unteren pg/L-Bereich<sup>1</sup> kommen [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016].

Die Analyse der perfluorierten Tenside **PFOS** und **PFOA** soll bei entsprechenden Indirekteinleitern wie z. B. der metallbe- und verarbeitenden Industrie durchgeführt werden. Ggf. sollten hier dann auch die Ersatzstoffe (z. B. **H-4 PFOS**) berücksichtigt werden. Bei rein kommunalem Abwasser kann auf eine Analytik dieser Stoffgruppe meist verzichtet werden [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016].

Für ein erweitertes Monitoring sind mindestens zwei 24-Stunden-Mischproben zur Bewertung der Belastung des Abwassers notwendig. Dies wurde zunächst bei **Trockenwetter** durchgeführt, um Einflüsse vom Regenwasser auszuschließen. Es wurde empfohlen, das erweiterte Monitoring bei **Regenwetter** zu wiederholen, um auch die regenwetterrelevanten Stoffe wie Biozide und Pestizide zu erfassen [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016].

---

<sup>1</sup> 1 pg = 10<sup>-12</sup> g

**Tabelle 1: Leitsubstanzen und Bewertungskriterien für das erweiterte Monitoring  
[Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016]**

Substanzgruppe	Substanz	Bewertungskriterium c [ $\mu\text{g/L}$ ]	Bestimmungsgrenze (BG) c [ $\mu\text{g/L}$ ]
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	0,5 <sup>1</sup>	0,03
	Clarithromycin	0,1 <sup>1</sup>	0,03
	Ciprofloxacin	0,036 <sup>1</sup>	0,01
	Diclofenac	0,05 <sup>1</sup>	0,015
	Ibuprofen	0,01 <sup>1</sup>	0,003 (derzeit messbar 0,01)
	Metoprolol	7,3 <sup>1</sup>	0,03
	Sulfamethoxazol	0,6 <sup>1</sup>	0,03
	Valsartan	0,1 <sup>2</sup>	0,03
	Losartan	0,1 <sup>3</sup>	0,03
	Candesartan	0,1 <sup>3</sup>	0,03
	Gabapentin	0,1 <sup>3</sup>	0,03
	Guanylharnstoff	-	0,03
Östrogene	17- $\alpha$ -Ethinylestradiol	0,000 035 <sup>1</sup>	0,000 035 <sup>3</sup> (derzeit messbar 0,000 4)
	17- $\beta$ -Estradiol	0,000 4 <sup>1</sup>	0,000 1 <sup>4</sup> (derzeit messbar 0,000 4)
	Estron	0,1 <sup>3</sup>	0,000 4 <sup>1</sup>
	Östrogene Aktivität / Estradiol Äquivalente	0,000 035 für EE2 <sup>1</sup> 0,000 4 <sup>1</sup>	0,000 01 $\mu\text{g}_{\text{EEQ}}/\text{L}$ 0,000 01 $\mu\text{g}_{\text{EEQ}}/\text{L}$
Pestizide	Terbutryn	0,065 <sup>6</sup>	0,02
	Mecoprop P	0,1 <sup>6</sup>	0,03
	Isoproturon	0,3 <sup>6</sup>	0,03
	Flufenacet	0,04 <sup>6</sup>	0,01
	Tebuconazol	1 <sup>1</sup>	0,03
	Propiconazol	1 <sup>6</sup>	0,03
Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol	10 <sup>3</sup>	0,03
Moschusduftstoffe	Galaxolid	7 <sup>1</sup>	0,03
Per- und polyfluorierte Chemikalien	Perfluorooctansäure(PFOA)	0,1 <sup>3</sup>	0,03
	H 4-Perfluorooctansulfonsäure (H-4 PFOS)	0,1 <sup>3</sup>	0,01
	Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)	0,000 65 <sup>6</sup>	0,000 2 (derzeit messbar 0,01)
Süßstoffe	Acesulfam K	0,1 <sup>3</sup>	0,03

<sup>1</sup> Orientierungswert

<sup>2</sup> PNEC

<sup>3</sup> Präventiver Vorsorgewert

<sup>4</sup> Höchst zulässige Nachweisgrenze entsprechend EU 2015/495 für Substanzen auf der watch-list. Zur Bewertung der UQN müsste die Bestimmungsgrenze 30 % der Umweltqualitätsnorm betragen, was derzeit teilweise analytisch nicht möglich ist.

Die **Datenverdichtung** erfolgt für einen reduzierten Parameterumfang anhand von mindestens fünf 24-Stunden-Mischproben bei **Trockenwetter**. Bei Datenverdichtung wird es empfohlen, neben den standortrelevanten Stoffen, welche im erweiterten Monitoring auffällig waren, die folgenden aussagekräftigen und analytisch ausreichend genau quantifizierbaren Leitparameter, die in der **Tabelle 2** dargestellt sind, zu berücksichtigen.

**Tabelle 2: Vorschlag von Substanzen (Indikatorsubstanzen) für die Datenverdichtung [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016]**

Substanzgruppe	Substanz(en)
Arzneimittelwirkstoffe	Carbamazepin, Clarithromycin, Diclofenac, Metoprolol und Sulfamethoxazol
Pestizide	Terbutryn (Urbanbiozid)
Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol
zzgl. der im Screening auffälligen standortrelevanten Stoffe (vergl. Tabelle 1)	

## 7.2 Screening Mikroschadstoffe

### Erweitertes Monitoring

Gemäß den Vorgaben in der der Veröffentlichung vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW „Mikroschadstoffentfernung machbar?“ mit aktualisierter Stoffliste vom 01.09.2016 und der Abstimmung der Bezirksregierung Köln wurden zunächst zwei 24-Stunden-Mischproben bei **Trockenwetter** und zwei weitere 24-Stunden-Mischproben bei **Regenwetter** für das erweiterte Monitoring vom Betrieb der ARA Erkelenz-Mitte genommen. Die Proben für **das erweiterte Monitoring** wurden an den folgenden Stellen genommen:

- Zulauf biologische Stufe (PNS 1): jeweils zwei 24h-Mischproben bei **Regen-** und **Trockenwetter**. (4 Beprobungen)
- Ablauf Kläranlage (PNS 3): jeweils zwei 24h-Mischproben bei **Regen-** und **Trockenwetter**. (4 Beprobungen)

### Datenverdichtung

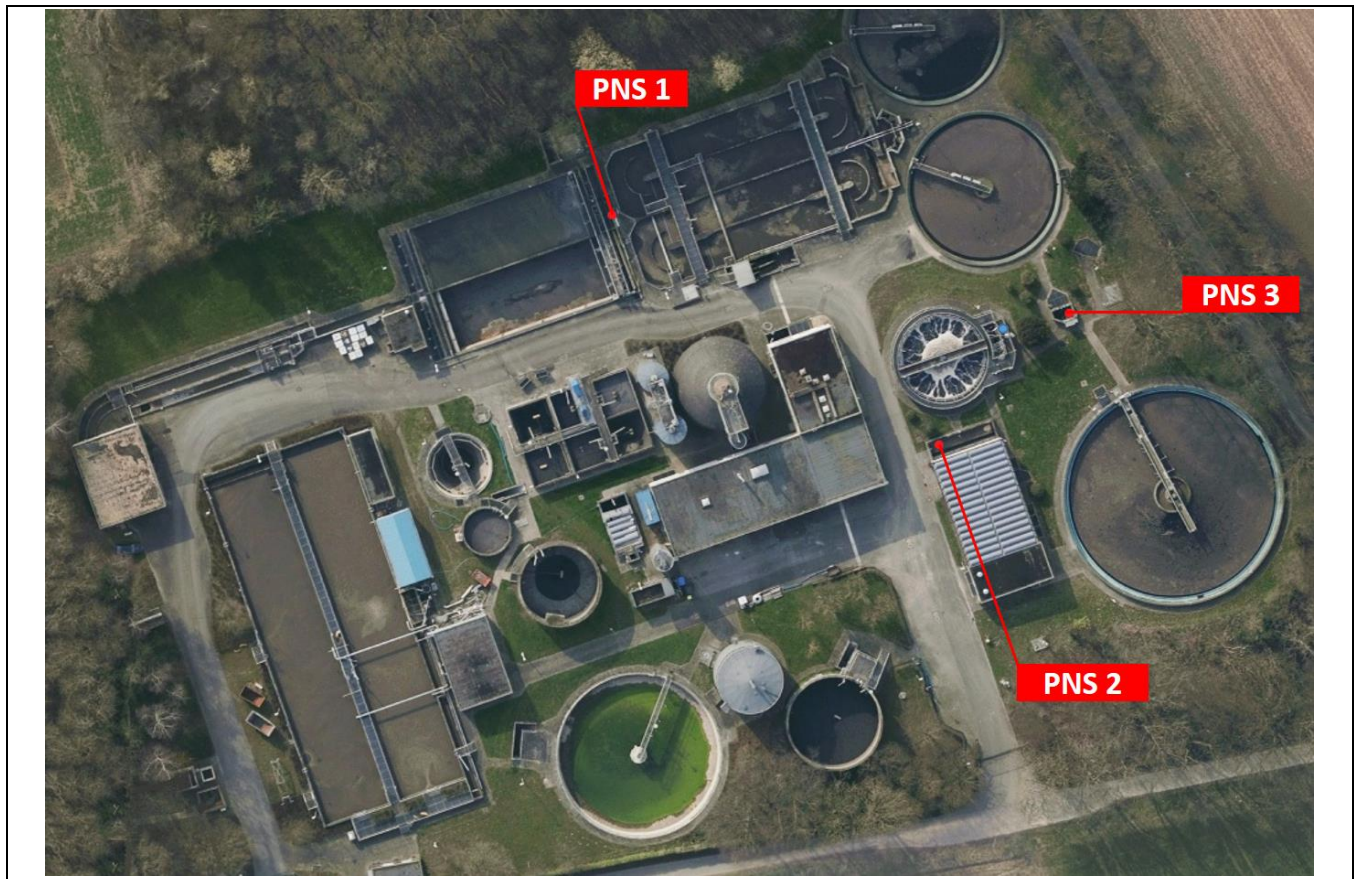
Für **die Datenverdichtung** sind die fünf 24h-Mischproben lediglich bei **Trockenwetter** gefordert. Die zu beprobenden Parameter sind der **Tabelle 2** der Veröffentlichung zu entnehmen. Aufgrund der Integrationsstelle der 4. Reinigungsstufe ist für die Datenverdichtung eine weitere Stelle (Zulauf 4. RS) zu betrachten:

- Zulauf biologische Stufe (PNS 1): fünf 24h-Mischproben bei Trockenwetter (5 Beprobungen).
- Zulauf 4. Reinigungsstufe (PNS 2): fünf 24h-Mischproben bei Trockenwetter (5 Beprobungen).

<sup>5</sup> Trigger-value entsprechend Kienle et al. (2015)

<sup>6</sup> UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016





**Abbildung 5: Lageplan ARA Erkelenz-Mitte - PNS 1 (Ablauf Vorklärung), PNS 2 (Zulauf DynaSand® Sandfilter), PNS 3 (Ablauf Kläranlage)**

## 7.2.1 Bewertung der Messwerte

Die Untersuchung von Wasserproben im Kläranlagenablauf auf ausgewählte Mikroschadstoffe wurde vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA) der RWTH Aachen durchgeführt.

Derzeit bestehen weder auf europäischer Ebene noch in Deutschland für eine überwiegende Mehrheit von Mikroschadstoffen gesetzliche Anforderungen bzw. Grenzwerte hinsichtlich der zu erzielenden Ablaufqualität von Kläranlagen oder für eine tolerierbare Gewässerbelastung, die den Betrieb einer weitergehenden Mikroschadstoffelimination zwingend erfordern. Eine rechtliche Bewertung der Monitoring-Ergebnisse wird hierdurch erschwert. Zur Beurteilung der ermittelten Untersuchungsergebnisse wurden die als Bewertungskriterium ermittelten Werten berücksichtigt.

### 7.2.1.1 Erweitertes Monitoring

Für **das erweiterte Monitoring** bei **Trockenwetter** wurden insgesamt vier mengenproportionale 24-Stunden-Mischproben an zwei verschiedenen Tagen an der PNS 1 und PNS 3 genommen. Die Auswertung der Messwerte ist der **Tabelle 3** zu entnehmen.



Tabelle 3: Das erweiterte Monitoring bei Trockenwetter

Substanzgruppe	Substanz	c (ng/L)				Bewertungskriterium (ng/L)	Anmerkung
		Trockenwetter PNS 1 14.11.- 15.11.2021	Trockenwetter PNS 3 14.11.- 15.11.2021	Trockenwetter PNS 1 15.11.- 16.11.2021	Trockenwetter PNS 3 15.11.- 16.11.2021		
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	782	691	633	769	500	Orientierungswert
	Clarithromycin	180	77,1	276	92,9	100	Orientierungswert
	Ciprofloxacin	604	171	407	128	36	PNEC
	Diclofenac	4110	2600	6360	2870	50	Orientierungswert
	Ibuprofen	31700	114	32700	111	10	Orientierungswert
	Metoprolol	5240	256	6590	230	7300	Orientierungswert
	Sulfamethoxazol	854	158	1140	165	600	Orientierungswert
	Valsartan	17300	115	11700	105	100	Präventiver Vorsorgewert
	Losartan	1560	107	1230	96,7	100	Präventiver Vorsorgewert
	Candesartan	3970	3250	3060	3360	100	Präventiver Vorsorgewert
	Gabapentin	< 30	< 30	< 30	< 30	100	Präventiver Vorsorgewert
	Guanylharnstoff	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	-	-
Östrogene	ER-Calux	8	0,059	52	0,17	0,4	Trigger-value entsprechend Kienle et al. (2015)
Pestizide	Terbutryn	< 20	< 20	< 20	< 20	65	UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016
	Mecoprop P	< 20	< 20	< 20	< 20	100	UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016
	Isoproturon	< 20	< 20	< 20	< 20	300	UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016
	Flufenacet	57,9	89,3	< 20	56,6	40	UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016
	Tebuconazol	< 20	< 20	< 20	< 20	1000	Orientierungswert
	Propiconazol	< 20	< 20	< 20	< 20	1000	UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016
Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol	9490	1240	27500	1310	10000	Präventiver Vorsorgewert
Moschusduftstoffe	Galaxolid	2700	710	2500	2200	7000	Orientierungswert
Per- und polyfluorierte Chemikalien	PFOA (Perfluoroctansäure)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	100	Präventiver Vorsorgewert
	PFOS (Perfluoroctansulfonat)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,65	UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016
	H4PFOS	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	100	Präventiver Vorsorgewert
Süßstoffe	Acesulfam K	< 20	< 20	< 20	< 20	100	Präventiver Vorsorgewert
Legende							
	PNS 3 > PNS 1 (Konzentration)						
	Bereits ausgewählt für Datenverdichtung						
	Beim erweiterten Monitoring auffällig						
	< Bestimmungsgrenze						
	< Bewertungskriterium						
	> Bewertungskriterium						

Für das erweiterte Monitoring bei Regenwetter wurden insgesamt vier mengenproportionale 24-Stunden-Mischproben an der Probenahmestelle PNS 1 und PNS 3 genommen. Die Auswertung der Messwerte ist der Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Das erweiterte Monitoring bei Regenwetter

Substanzgruppe	Substanz	c (ng/L)	c (ng/L)	c (ng/L)	c (ng/L)	Bewertungskriterium (ng/L)	Anmerkung
		Regenwetter PNS 1 01.12.-02.12.2021	Regenwetter PNS 3 01.12.-02.12.2021	Regenwetter PNS 1 04.01.-05.01.2022	Regenwetter PNS 3 04.01.-05.01.2022		
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	383	441	57,3	185	500	Orientierungswert
	Clarithromycin	176	133	47,5	62	100	Orientierungswert
	Ciprofloxacin	178	43,9	137	121	36	PNEC
	Diclofenac	3150	2740	1180	977	50	Orientierungswert
	Ibuprofen	14400	235	5950	87,2	10	Orientierungswert
	Metoprolol	1200	508	530	235	7300	Orientierungswert
	Sulfamethoxazol	455	205	148	92,7	600	Orientierungswert
	Valsartan	10200	227	3350	92,7	100	Präventiver Vorsorgewert
	Losartan	1200	128	118	< 20	100	Präventiver Vorsorgewert
	Candesartan	3790	3160	1060	979	100	Präventiver Vorsorgewert
	Gabapentin	< 30	< 30	< 30	< 30	100	Präventiver Vorsorgewert
	Guanylharnstoff	5630	21100	5190	12300	-	-
Östrogene	ER-Calux	11	0,12	6,9	0,16	0,4	Trigger-value entsprechend Kienle et al. (2015)
Pestizide	Terbutryn	39,4	30,3	< 20	< 20	65	UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016
	Mecoprop P	20,5	28,1	< 20	< 20	100	UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016
	Isoproturon	< 20	< 20	< 20	< 20	300	UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016
	Flufenacet	813	187	23,1	23	40	UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016
	Tebuconazol	63,9	< 20	< 20	35,9	1000	Orientierungswert
	Propiconazol	< 20	< 20	< 20	< 20	1000	UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016
Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol	11800	2900	2430	767	10000	Präventiver Vorsorgewert
Moschusduftstoffe	Galaxolid	2600	600	2800	1100	7000	Orientierungswert
Per- und polyfluorierte Chemikalien	PFOA (Perfluorooctansäure)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	100	Präventiver Vorsorgewert
	PFOS (Perfluorooctansulfonat)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,65	UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016
	H4PFOS	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	100	Präventiver Vorsorgewert
Süßstoffe	Acesulfam K	1540	< 20	< 20	< 20	100	Präventiver Vorsorgewert

Legende	
	PNS 3 > PNS 1 (Konzentration)
	Bereits ausgewählt für Datenverdichtung
	Beim erweiterten Monitoring auffällig
	< Bestimmungsgrenze
	< Bewertungskriterium
	> Bewertungskriterium

### Beurteilung anhand von Bewertungskriterium

Zur Bewertung der Messergebnisse wurden die in der Veröffentlichung vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW; Mikroschadstoffentfernung machbar? (mit aktualisierter Stoffliste vom 01.09.2016) aufgeführten Bewertungskriterien als Referenzwerte herangezogen. In der Spalte „Anmerkung“ befinden sich Hinweise zur Herkunft des Bewertungskriteriums. Für den Parameter **Guanylharnstoff** konnte kein Orientierungswert festgestellt werden.



**N-Guanylharnstoff** kommt nicht natürlich vor, sondern ist das exogene Transformationsprodukt von Metformin. Metformin wird z. B. in Kläranlagen anaerob zu **N-Guanylharnstoff** umgewandelt. Da es sich um ein sehr kleines, polares Molekül handelt, ist es mit den bestehenden Messverfahren des LANUV (Non Target Screening, LC/MS-Verfahren nach DIN 38407-47) nur schwierig zu erfassen. Bis dato gab es zum Vorkommen von **N-Guanylharnstoff** in Gewässern nur wenige Informationen. Bei der durchgeführten Bestandsaufnahme konnte der Wirkstoff Metformin in fast allen untersuchten Oberflächengewässern nachgewiesen werden. Dabei liegen die Befunde des **Abbauproduktes N-Guanylharnstoff** um ein Vielfaches über den Konzentrationswerten der eigentlichen Wirksubstanz Metformin. **N-Guanylharnstoff** ist aufgrund seiner Stoffeigenschaften (hohe Wasserlöslichkeit, geringes Bioakkumulationspotenzial, geringe Adsorptionsneigung an Partikeln) als potenziell trinkwasserrelevant einzustufen. Es sind keine ökotoxikologischen Daten verfügbar. Eine Einschätzung möglicher Effekte auf die Biozönose ist bei der aktuellen Datenlage nicht möglich. Wie Metformin wurde **N-Guanylharnstoff** in allen untersuchten Flüssen gefunden und zählt damit zu den ubiquitären Stoffen. Obwohl der VWa / Präventivwert von 0,1 µg/L regelmäßig überschritten wird, wurden durch weitere Messungen keine neuen Erkenntnisse gewonnen. Wie aus der **Tabelle 4** ersichtlich wird, wurde bei **Regenwetter** der festgelegte Präventivwert von 0,1 µg/L (100 ng/L) bei beiden Probenahmen überschritten. Aber bei **Trockenwetter** lag die Konzentrationen dieses Stoffes unter der BG von 1000 ng/L.

Die gemessenen Konzentrationen sind bei einigen Stoffen am Ablauf der Kläranlage höher als die Konzentrationen am Zulauf der biologischen Stufe. Das Ereignis ist bei **Regenwetter** häufiger aufgetreten. (**Regenwetter: Carbamazepin, Clarithromycin, Guanylharnstoff, Mecoprop P, Tebuconazol; Trockenwetter: Carbamazepin, Candesartan, Flufenacet**) Diese Stoffe sind in **Tabelle 4** mit gelbem Hintergrund markiert. Diese Ereignisse sind näher zu betrachten und zu begründen.

**Tabelle 5** zeigt die gemessenen Konzentrationen der festgelegten Mikroschadstoffe für das erweiterte Monitoring bei **Regenwetter** im Vergleich zu den festgelegten Bewertungskriterien in der Veröffentlichung des Kompetenzzentrums Mikroschadstoff.NRW.

Tabelle 5: Bewertung des erweiterten Monitoring bei Regenwetter

Substanzgruppe	Substanz	c (ng/L)		Ist-Konzentration MW [ng/L]	$\frac{C_{Analytik}}{C_{Bewertungskriterium}}$	Bewertungskriterium [ng/L]
		Regenwetter PNS 3 01.12.- 02.12.2021	Regenwetter PNS 3 04.01.- 05.01.2022		ohne 4. RS	
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	● 441	● 185	313	0,63	500
	Clarithromycin	● 133	● 62	97,5	0,98 <sup>*</sup>	100
	Ciprofloxacin	● 43,9	● 121	82,45	2,29	36
	Diclofenac	● 2740	● 977	1858,5	37,17	50
	Ibuprofen	● 235	● 87,2	161,1	16,11	10
	Metoprolol	● 508	● 235	371,5	0,05	7300
	Sulfamethoxazol	● 205	● 92,7	148,85	0,25	600
	Valsartan	● 227	● 92,7	159,85	1,60	100
	Losartan	● 128	< 20	74	0,74 <sup>*</sup>	100
	Candesartan	● 3160	● 979	2069,5	20,70	100
	Gabapentin	< 30	< 30			100
Guanylharstoff	21100	12300	16700			
Östrogene	ER-Calux	● 0,12	● 0,16	0,14	0,35	0,4
Pestizide	Terbutryn	● 30,3	< 20			65
	Mecoprop P	● 28,1	< 20			100
	Isoproturon	< 20	< 20			300
	Flufenacet	● 187	● 23	105	2,63	40
	Tebuconazol	< 20	35,9	27,95	0,03	1000
	Propiconazol	< 20	< 20			1000
Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol	● 2900	● 767	1833,5	0,18	10000
Moschusduftstoffe	Galaxolid	● 600	● 1100	850	0,12	7000
Per- und polyfluorierte Chemikalien	PFOA (Perfluorooctansäure)	< 0,01	< 0,01			100
	PFOS (Perfluorooctansulfonat)	< 0,01	< 0,01			0,65
	H4PFOS	< 0,01	< 0,01			100
Süßstoffe	Acesulfam K	< 20	< 20			100
Legende						
		$\frac{c}{C_{Bewertungskriterium}} < 1$				
		$1 < \frac{c}{C_{Bewertungskriterium}} < 5$				
		$5 < \frac{c}{C_{Bewertungskriterium}}$				
●		< Bewertungskriterium				
●		> Bewertungskriterium				

\*Konzentration bei der PNS 3 bereits überschritten

Die gemessenen Konzentrationen im Zulauf der biologischen Reinigungsstufe sowie im Ablauf der Kläranlage wurden zur Ermittlung der Eliminationsraten der bestehenden Anlage für die festgelegten Stoffe verwendet. Bei einigen Parametern lag der Mittelwert der gemessenen Konzentrationen unterhalb der BG. Diese sind mit grünem Hintergrund markiert.

Bei den Parametern **Clarithromycin**, **Ciprofloxacin**, **Valsartan** und **Flufenacet** wurden Überschreitungen bis ca. 500 % beobachtet. Bei den Substanzen **Diclofenac**, **Ibuprofen** und **Candesartan** lagen diese Überschreitungen bis zu ca. 5.000 % weit über den Bewertungskriterien. Es wird darauf hingewiesen, dass die Stoffe **Ibuprofen** und **Valsartan** bereits zu mehr als 95 % und **Losartan** bis zu 90 % in der Kläranlage mit dem jetzigen Bestand abgebaut werden. Bei den Stoffen **Ciprofloxacin** und **Flufenacet** konnten gute Eliminationsraten bis ca. 70 % erzielt werden. Bei den Substanzen **Clarithromycin**, **Diclofenac** und **Candesartan** sind niedrigere Eliminationsraten (< 30 %) ermittelt worden.

**Tabelle 6** zeigt die gemessenen Konzentrationen der festgelegten Mikroschadstoffe für das erweiterte Monitoring bei **Trockenwetter** im Vergleich zu den in der Veröffentlichung des Kompetenzzentrums Mikroschadstoff.NRW festgelegten Bewertungskriterien.

Tabelle 6: Bewertung des erweiterten Monitorings bei Trockenwetter

Substanzgruppe	Substanz	c (ng/L)		Ist-Konzentration MW (ng/L)	$\frac{c_{\text{Analytik}}}{c_{\text{Bewertungskriterium}}}$ ohne 4. RS	Bewertungskriterium (ng/L)
		Trockenwetter PNS 3 14.11.- 15.11.2021	Trockenwetter PNS 3 15.11.- 16.11.2021			
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	● 691	● 769	730	1,46	500
	Clarithromycin	● 77,1	● 92,9	85	0,85	100
	Ciprofloxacin	● 171	● 128	149,5	4,15	36
	Diclofenac	● 2600	● 2870	2735	54,7	50
	Ibuprofen	● 114	● 111	112,5	11,25	10
	Metoprolol	● 256	● 230	243	0,03	7300
	Sulfamethoxazol	● 158	● 165	161,5	0,27	600
	Valsartan	● 115	● 105	110	1,10	100
	Losartan	● 107	● 96,7	101,85	1,02	100
	Candesartan	● 3250	● 3360	3305	33,05	100
	Gabapentin	< 30	< 30	< 30		100
	Guanylharnstoff	< 1000	< 1000	< 1000		
Östrogene	ER-Calux	● 0,059	● 0,17	0,1145	0,29	0,4
Pestizide	Terbutryn	< 20	< 20	< 20		65
	Mecoprop P	< 20	< 20	< 20		100
	Isoproturon	< 20	< 20	< 20		300
	Flufenacet	● 89,3	● 56,6	72,95	1,82	40
	Tebuconazol	< 20	< 20			1000
	Propiconazol	< 20	< 20			1000
	Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol	● 1240	● 1310	1275	0,13
Moschusduftstoffe	Galaxolid	● 710	● 2200	1455	0,21	7000
Per- und polyfluorierte Chemikalien	PFOA (Perfluorooctansäure)	< 0,01	< 0,01	< 0,01		100
	PFOS (Perfluorooctansulfonat)	< 0,01	< 0,01	< 0,01		0,65
	H4PFOS	< 0,01	< 0,01	< 0,01		100
Süßstoffe	Acesulfam K	< 20	< 20	< 20		100
Legende						
		$\frac{c}{c_{\text{Bewertungskriterium}}} < 1$				
		$1 < \frac{c}{c_{\text{Bewertungskriterium}}} < 5$				
		$5 < \frac{c}{c_{\text{Bewertungskriterium}}}$				
●		< Bewertungskriterium				
●		> Bewertungskriterium				

Bei den Substanzen **Carbamazepin**, **Ciprofloxacin**, **Valsartan**, **Losartan** und **Flufenacet** wurden Überschreitungen bis ca. 500 % beobachtet. Wie bei **Regenwetter** lagen die gemessenen Konzentrationen der Stoffe **Diclofenac**, **Ibuprofen** und **Candesartan** weit über den Bewertungskriterien. Die Stoffe **Ibuprofen**, **Valsarten**, **Losartan** und **Ciprofloxacin** werden bereits von 70 bis zu 95 % in der Kläranlage eliminiert. Bei den Substanzen **Flufenacet** und **Diclofenac** konnten durchschnittliche Eliminationsraten von ca. 50 % erzielt werden. Bei **Carbamazepin**, **Diclofenac** und **Candesartan** sind niedrigere Eliminationsraten (< 30 %) ermittelt worden.

Wenn man die Eliminationsraten bei **Trockenwetter** und **Regenwetter** vergleicht, erkennt man generell bessere Eliminationsraten bei **Trockenwetter**. Die Untersuchungen im Rahmen der „Studie zur Verminderung des Eintrags von Mikroschadstoffen aus dem Abwassersystem in die Körsch“ an der Universität Stuttgart durchgeführt werden, weisen darauf hin, dass es kommunale Kläranlagen gibt, die die als biologisch gut abbaubar eingestuft Mikroschadstoffe bei **Regenwetter** nur begrenzt eliminieren können [Launay et. al. 2015].

### **Beurteilung anhand aktueller Rechtsprechung**

Für einige Stoffe existieren Umweltqualitätsnormen und damit gesetzlich verbindliche Vorgaben. Das gilt für folgende untersuchten Stoffen:

- Flufenacet (Pflanzenschutzmittel)
- Isoproturon (Pflanzenschutzmittel)
- Mecoprop (Pflanzenschutzmittel)
- Propiconazol (Pflanzenschutzmittel)
- Terbutryn (Pflanzenschutzmittel)

Zwischen den oben genannten Stoffen wurde im Rahmen des Messprogramms ausschließlich beim Stoff **Flufenacet**, sowohl bei **Trockenwetter** als auch bei **Regenwetter**, schlechte Werte gemessen.

**Flufenacet** wird zur Bewertung des ökologischen Zustands herangezogen [OGewV 2016]. Es hat eine mittlere bis geringe Wasserlöslichkeit von 56 mg/l. Die Adsorption an die Bodenmatrix ist erhöht und liegt im mittleren Bereich, ebenso das Auswaschungspotenzial. **Flufenacet** ist hochgiftig für Algen und Wasserpflanzen und mäßig giftig für Säugetiere, Vögel, Fische und Wirbellose sowie Regenwürmer. Der Wirkstoff ist nicht bienengefährlich [LEWIS 2016].

Im Januar 2017 waren 10 Mittel mit dem Wirkstoff **Flufenacet** zugelassen, zwei davon auch im Haus- und Kleingartenbereich [BVL 2017]. Es verhindert die Mitose und Zellteilung der Zielorganismen. Die Verbindung zeigt eine starke Wirkung auf an Wachstum und Zellteilung beteiligtem Gewebe der Pflanzen, zeigt Wechselwirkungen mit Membranfunktionen und verändert die Permeabilität (Durchlässigkeit) von Zellmembranen [LAWA 2010].

**Flufenacet** hat ein breites Wirkungsspektrum gegenüber Gräsern und breitblättrigen Unkräutern. Es unterdrückt Ackerfuchsschwanz, Windhalm, einjähriges Rispengras und einjährige und zweikeimblättrige Unkräuter. **Flufenacet** wird als Voraufbauherbizid in Mais, Winterweizen, Wintergerste, Kartoffelbau und Gemüsebau sowie im Obstbau und Zierpflanzenbau verwendet [BVL 2017].

Bei den anderen Substanzen wäre eine nähere Betrachtung im Zuge der Studie nicht erforderlich.

### 7.2.1.2 Datenverdichtung

Gemäß der Veröffentlichung des Kompetenzzentrums wurde für **Datenverdichtung** fünf mengenproportionale 24-Stunden-Mischproben lediglich bei **Trockenwetter** an fünf verschiedenen Tagen an der PNS 1 und PNS 2 genommen. Die Auswertungen der Messwerte sind den **Tabelle 7** **Tabelle 8** zu entnehmen.

**Tabelle 7: Datenverdichtung bei Trockenwetter am 01.03. und 02.03.2022**

Substanzgruppe	Substanz	c (ng/L)	c (ng/L)	c (ng/L)	c (ng/L)	Bewertungskriterium (ng/L)	Anmerkung
		Trockenwetter PNS 1 01.03.- 02.03.2022	Trockenwetter PNS 2 01.03.- 02.03.2022	Trockenwetter PNS 1 02.03.- 03.03.2022	Trockenwetter PNS 2 02.03.- 03.03.2022		
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	1300	● 1310	1650	● 1530	500	Orientierungswert
	Clarithromycin	196	● 190	200	● 174	100	Orientierungswert
	Ciprofloxacin	462	● 171	440	● 126	36	PNEC
	Diclofenac	5490	● 3910	5840	● 4430	50	Orientierungswert
	Ibuprofen	37500	● 811	49300	● 682	10	Orientierungswert
	Metoprolol	2350	● 1100	2540	● 1260	7300	Orientierungswert
	Sulfamethoxazol	753	● 504	720	● 406	600	Orientierungswert
	Valsartan	14400	● 3130	28600	● 3180	100	Präventiver Vorsorgewert
	Losartan	461	● 36,2	533	● 32,5	100	Präventiver Vorsorgewert
	Candesartan	4030	● 4050	4730	● 4310	100	Präventiver Vorsorgewert
Pestizide	Terbutryn	< 20	< 20	< 20	< 20	65	UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016
	Flufenacet	< 20	< 20	< 20	< 20	40	UQN nach OGewV-2016 vom 20. Juni 2016
Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol	27900	● 3580	27100	● 4100	10000	Präventiver Vorsorgewert
<b>Legende</b>							
		PNS 2 > PNS 1 (Konzentration)					
		< Bestimmungsgrenze					
		< Orientierungswert oder PNEC					
		> Orientierungswert oder PNEC					

**Tabelle 8: Datenverdichtung bei Trockenwetter am 06.03., 07.03., und 08.03.2022**

Substanzgruppe	Substanz	c (ng/L)		c (ng/L)		c (ng/L)		Bewertungskriterium (µg/L)
		Trockenwetter PNS 1 06.03.- 07.03.2022	Trockenwetter PNS 2 06.03.- 07.03.2022	Trockenwetter PNS 1 07.03.- 08.03.2022	Trockenwetter PNS 2 07.03.- 08.03.2022	Trockenwetter PNS 1 08.03.- 09.03.2022	Trockenwetter PNS 2 08.03.- 09.03.2022	
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	1980	● 1830	1760	● 1890	2000	● 2250	500
	Clarithromycin	673	● 322	964	● 384	793	● 476	100
	Ciprofloxacin	484	● 147	342	● 146	326	● 124	36
	Diclofenac	6240	● 4790	6640	● 4560	6160	● 4900	50
	Ibuprofen	55900	● 523	41500	● 677	40500	● 739	10
	Metoprolol	2520	● 1190	2620	● 1390	2580	● 1190	7300
	Sulfamethoxazol	1090	● 678	804	● 783	1230	● 615	600
	Valsartan	24960	● 4200	23800	● 3120	30000	● 3500	100
	Losartan	538	● 34,8	509	● 30	455	● 31,8	100
	Candesartan	5580	● 5000	5750	● 2670	5450	● 5380	100
Pestizide	Terbutryn	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	65
	Flufenacet	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	40
Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol	11500	● 2030	27100	● 3380	26100	● 3220	10000
Legende								
		PNS 2 > PNS 1 (Konzentration)						
		< Bestimmungsgrenze						
		< Orientierungswert oder PNEC						
		> Orientierungswert oder PNEC						

### Beurteilung anhand von Bewertungskriterium

Zur Bewertung der Messergebnisse wurden die in der Veröffentlichung vom Kompetenzzentrum aufgeführten Bewertungskriterien als Referenzwerte herangezogen. In der Spalte „Anmerkung“ der **Tabelle 7** befinden sich Hinweise zur Herkunft des Bewertungskriteriums.

Bei Datenverdichtung kam ausschließlich einmal beim Substanz **Carbamazepin** vor, dass die gemessene Konzentration am PNS 2 (Ablauf Klarwassernitrifikation) größer als die gemessene Konzentration am PNS 1 (Zulauf der biologischen Stufe) war. Da diese Erhöhung ca. 1 % beträgt, kann darauf verzichtet werden. Dieser ist in der **Tabelle 7** mit gelbem Hintergrund markiert.

Die ermittelten Konzentrationen bei Datenverdichtung zeigen, dass **Carbamazepin**, **Clarithromycin**, **Candesartan** generell auf der ARA Erkelenz-Mitte schlecht eliminiert werden.

**Tabelle 9** zeigt die gemessenen Konzentrationen der festgelegten Mikroschadstoffe für die Datenverdichtung im Vergleich zu den festgelegten Bewertungskriterien in der Veröffentlichung des Kompetenzzentrums Mikroschadstoff.NRW.

Tabelle 9: Bewertung der Datenverdichtung

Substanzgruppe	Substanz	c (ng/L)					Ist-Konzentration MW [ng/L]	$\frac{c_{\text{Analytik}}}{c_{\text{Bewertungskriterium}}}$ ohne 4. RS	Bewertungskriterium (ng/L)
		Trockenwetter PNS 2 01.03.- 02.03.2022	Trockenwetter PNS 2 02.03.- 03.03.2022	Trockenwetter PNS 2 06.03.- 07.03.2022	Trockenwetter PNS 2 07.03.- 08.03.2022	Trockenwetter PNS 2 08.03.- 09.03.2022			
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	● 1310	● 1530	● 1830	● 1890	● 2250	1762	3,52	500
	Clarithromycin	● 190	● 174	● 322	● 384	● 476	309	3,09	100
	Ciprofloxacin	● 171	● 126	● 147	● 146	● 124	143	3,97	36
	Diclofenac	● 3910	● 4430	● 4790	● 4560	● 4900	4518	90,36	50
	Ibuprofen	● 811	● 682	● 523	● 677	● 739	686	68,64	10
	Metoprolol	● 1100	● 1260	● 1190	● 1390	● 1190	1226	0,17	7300
	Sulfamethoxazol	● 504	● 406	● 678	● 783	● 615	597	1,00*	600
	Valsartan	● 3130	● 3180	● 4200	● 3120	● 3500	3426	34,26	100
	Losartan	● 36,2	● 32,5	● 34,8	● 30	● 31,8	33	0,33	100
	Candesartan	● 4050	● 4310	● 5000	● 2670	● 5380	4282	42,82	100
Pestizide	Terbutryn	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	65
	Flufenacet	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	40
Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol	● 3580	● 4100	● 2030	● 3380	● 3220	3262	0,33	10000
Legende									
		$\frac{c}{c_{\text{Bewertungskriterium}}} < 1$							
		$1 < \frac{c}{c_{\text{Bewertungskriterium}}} < 5$							
		$5 < \frac{c}{c_{\text{Bewertungskriterium}}}$							
		● < Orientierungswert oder PNEC							
		● > Orientierungswert oder PNEC							

\*Konzentration bei der PNS 2 bereits überschritten

Bei den Substanzen **Carbamazepin**, **Clarithromycin**, **Ciprofloxacin** und **Sulfamethoxazol**, die orange markiert sind, wurden Überschreitungen bis zu ca. 500 % beobachtet. Obwohl der Mittelwert der gemessenen Konzentrationen vom Substanz **Sulfamethoxazol** gleich mit dem festgelegten Bewertungskriterium ist, wurde der Bewertungskriterium an drei von fünf Tagen leicht überschritten. Die gemessenen Konzentrationen der Stoffe **Diclofenac**, **Ibuprofen**, **Valsartan** und **Candesartan** mit einer roten Markierung lagen weit über den Bewertungskriterien. Die Substanzen **Ibuprofen** (ca 95 %) und **Valsartan** zeigen gute Eliminationsraten in der Kläranlage Erkelenz-Mitte. Die Stoffe **Ciprofloxacin**, **Diclofenac** und **Sulfamethoxazol** werden von ca. 30 % bis ca. 60 % in der aktuellen Anlage eliminiert und die Stoffe **Carbamazepin**, **Clarithromycin** und **Candesartan** zeigen generell schlechte Eliminationsraten (< 30 %).

## 7.2.2 Gewässer

Die Schwalm ist der Hauptzufluss der Eder in Hessen, die sie von Südwesten kommend und orographisch rechtsseitig erreicht. Sie liegt im Westen von Nordrhein-Westfalen und wird nach Süden vom Rur-Einzugsgebiet sowie nach Norden und Osten vom Einzugsgebiet der Niers begrenzt. Die Maas bildet im Westen die Grenze der Schwalm- Niederung. Im Oberlauf durchfließt die Schwalm zunächst landwirtschaftlich genutzte Flächen sowie den Tüschchenbroicher Wald. Der Beeckbach mit einer



Länge von 9,15 Kilometern ist ein rechtes Nebengewässer der Schwalm im nordrhein-westfälischen Kreis Heinsberg, im Regierungsbezirk Köln.

Nördlich des Tüschenbroicher Waldes durchläuft die Schwalm den urban geprägten Raum der Stadt Wegberg, wo auch der Beeckbach in die Schwalm mündet [Schwalmverband Brüggen 2018].

Zum Nachweis zur Gewässerverträglichkeit der Einleitung von behandeltem Abwasser aus der Kläranlage Erkelenz-Mitte und Einhaltung der wasserrechtlichen Vorgaben hat die Bezirksregierung Köln eine Durchführung eines Messprogramms mit vorbestimmter Parameterauswahl vom Betreiber der ARA Erkelenz-Mitte verlangt.

Um den Einfluss des Abwassers ausgehend von kommunalen Kläranlagen auf den Zustand der Gewässer beurteilen zu können, wurde flächendeckend wie in den letzten Jahren zum einen der Abwasseranteil der kommunalen Kläranlage bezogen auf die Abflusskennwerte mittlerer Abfluss (MQ) und mittlerer Niedrigwasserabfluss (MNQ) und zum anderen der kumulierte kommunale Abwasseranteil bezogen auf die Abflusskennwerte mittlerer Abfluss (MQ) und mittlerer Niedrigwasserabfluss (MNQ) in den Gewässern ermittelt. Unter dem kumulierten kommunalen Abwasseranteil versteht man den Abwasseranteil der Kläranlage an der Einleitstelle einschließlich der Anteile aller oberhalb liegenden einleitenden Kläranlagen bezogen auf den mittleren Abfluss bzw. mittleren Niedrigwasserabfluss im Gewässer [LANUV, 2018]. Da das Gewässer vor der Einleitung der ARA Erkelenz-Mitte fast kein Wasser führt und die ARA Erkelenz-Mitte als eine Quelle dient, ist der Abwasseranteil der Kläranlage gleich wie der kumulierte Abwasseranteil.

In 2014 wurde noch der kumulierte Abwasseranteil am MNQ dargestellt. Erst ab dem Jahr 2016 kam der mittlere Abfluss 0,5 MQ<sup>1</sup> in Anlehnung an den Q<sub>183</sub><sup>2</sup> (= 50 Perzentil des Abflusses) zur Anwendung.

Je größer der Anteil der Einleitungsmenge im Vergleich zum mittleren Abfluss (0,5 MQ) des Gewässers ist, desto höher ist der Einfluss der Einleitung auf das Gewässer. Es kann grundsätzlich von einer kritischen Belastung ausgegangen werden, wenn der Abwasseranteil mehr als 1/3 des langjährigen mittleren Abflusses 0,5 MQ) des Gewässers entspricht [LANUV 2018].

**Tabelle 10: KA Erkelenz-Mitte mit kumuliertem Abwasseranteil auf Basis der Jahresabwassermenge [LANUV 2018]**

Name der Anlage	Betreiber	im Regierungsbezirk	Ausbaugröße [EW]	Gewässername	GEWKZ	Jahresabwassermenge 2018 [m <sup>3</sup> /a]	0,5 MQ [m <sup>3</sup> /s]	Abwasseranteil der KA an 0,5 MQ [%]	Abwasseranteil der KA an MNQ [%]	Kumulierter Abwasseranteil an 0,5 MQ [%]	Kumulierter Abwasseranteil an MNQ [%]
Erkelenz-Mitte	Stadt Erkelenz	Köln	48.000	Beeckbach	2842	1.889.240	0,006	966	1.628	966	1.628

<sup>1</sup> Langjähriger mittlerer Abfluss

<sup>2</sup> Q<sub>183</sub> = 50 Perzentil des Abflusses

Wie aus der **Tabelle 10** ersichtlich wird, hat die Einleitung aus der Kläranlage einen Abwasseranteil von 966 % am 0,5 MQ und 1.628 % am MNQ.

**Tabelle 11** zeigt die ökologischen und chemischen Eigenschaften des Wasserkörpers vom Beeckbach. Das Gewässer wurde als LAWA-Fließgewässertyp 18 bewertet und weist beim letzten Monitoringzyklus einen unbefriedigenden ökologischen Zustand sowie unbefriedigendes ökologisches Potenzial auf. Der chemische Zustand des Gewässers wurde auch mit „nicht gut“ bewertet.

**Tabelle 11: Beeckbach - Wasserkörpertabelle [LANUV 2018]**

Planungseinheit	PE_SWA_1400		Gewässerstruktur	
Wasserkörper-ID	2842_0			
Gewässername	Beeckbach			
Wasserkörperbezeichnung	Wegberg bis Oerath			
LAWA-Fließgewässertyp	18		Metalle n. ges. verb. (OW)	nicht eing. nicht eing.
Trinkwassergewinnung	nein		PBSM n. ges. verb. (OW)	nicht eing.
Wasserkörperausweisung	verändert - HMWB		Sonst. St. n. ges. verb. (OW)	nicht eing. eing. gut
HMWB-Fallgruppe	Gwr-TLB		<b>Chemischer Zustand</b>	nicht gut nicht gut
Monitoringzyklus	2	3	Ch. Zust. ohne ubiq. Stoffe	gut gut
<b>Ökologischer Zustand</b>	schlecht	unbefr.	Metalle (Anl. 7 OGewV)	gut gut
MZB Saprobie	mäßig	mäßig	PBSM (Anl. 7 OGewV)	gut
MZB Allgemeine Degradation	unbefr.	unbefr.	Sonst. Stoffe (Anl. 7 OGewV)	
MZB Versauerung	nicht rel.	nicht rel.	Nitrat (Anl. 7 OGewV)	gut
MZB Gesamt	unbefr.	unbefr.	ACP Gesamt (OW)	Gesamtposphat-Phosphor
Fische	schlecht		<b>Stoffgruppen des ökologischen Zustands / Potenzials</b>	
Makrophyten (PHYLIB)	mäßig	gut	Metalle (Anl. 5 OGewV)	Zink
Makrophyten (NRW)	mäßig	mäßig	PBSM (Anl. 5 OGewV)	MCPA
Phytobenthos (Diatomeen)	unbefr.	unbefr.	Sonst. Stoffe (Anl. 5 OGewV)	
Phytobenthos o. Diatomeen			<b>Gesetzlich nicht verbindlich</b>	
Phytoplankton	nicht rel.	nicht rel.	Metalle n. ges. verb. (OW)	Kobalt; Zink
<b>Ökologisches Potenzial</b>	unbefr.	unbefr.	PBSM n. ges. verb. (OW)	Boscalid; Dimethenamid
MZB Allgemeine Degradation	unbefr.	mäßig	Sonst. St. n. ges. verb. (OW)	Carbamazepin
MZB Gesamt	unbefr.	mäßig	<b>Stoffgruppen des chemischen Zustands</b>	
Fische			Metalle (Anl. 7 OGewV) <sup>1</sup>	
Metalle (Anl. 5 OGewV)	gut	mäßig	PBSM (Anl. 7 OGewV)	
PBSM (Anl. 5 OGewV)	mäßig		Sonst. Stoffe (Anl. 7 OGewV)	
Sonst. Stoffe (Anl. 5 OGewV)				
ACP Gesamt (OW)	nicht eing.	nicht eing.		

Aus den **Abbildung 6** und **Abbildung 7** geht ebenfalls hervor, dass sich der betrachtete Gewässerabschnitt losgelöst von den im Rahmen dieser Untersuchung betrachteten Mikroschadstoffen in einem nicht guten chemischen Zustand und in einem unbefriedigenden ökologischen Zustand befindet und ein mäßiges ökologisches Potenzial aufweist.

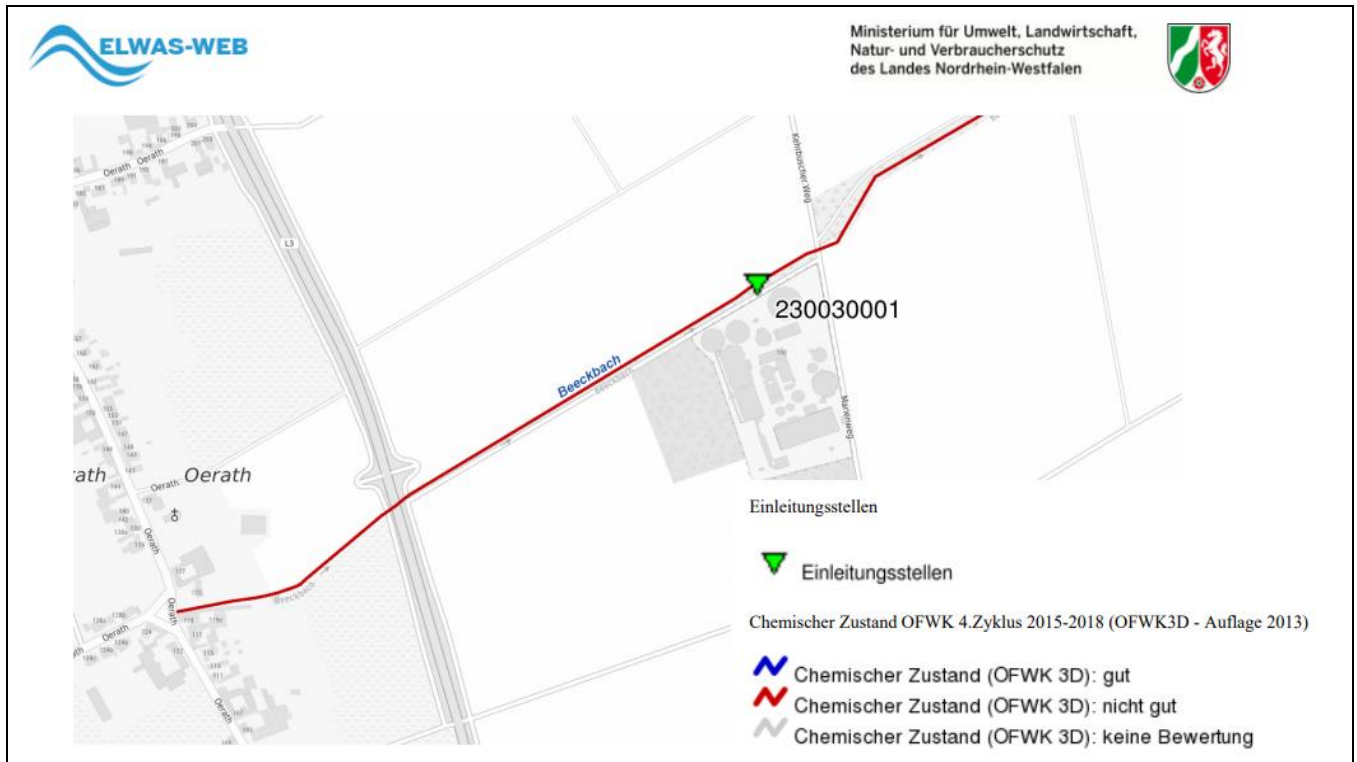


Abbildung 6: Bewertung des chemischen Zustandes des Beeckbachs [ELWAS-Web 2021]

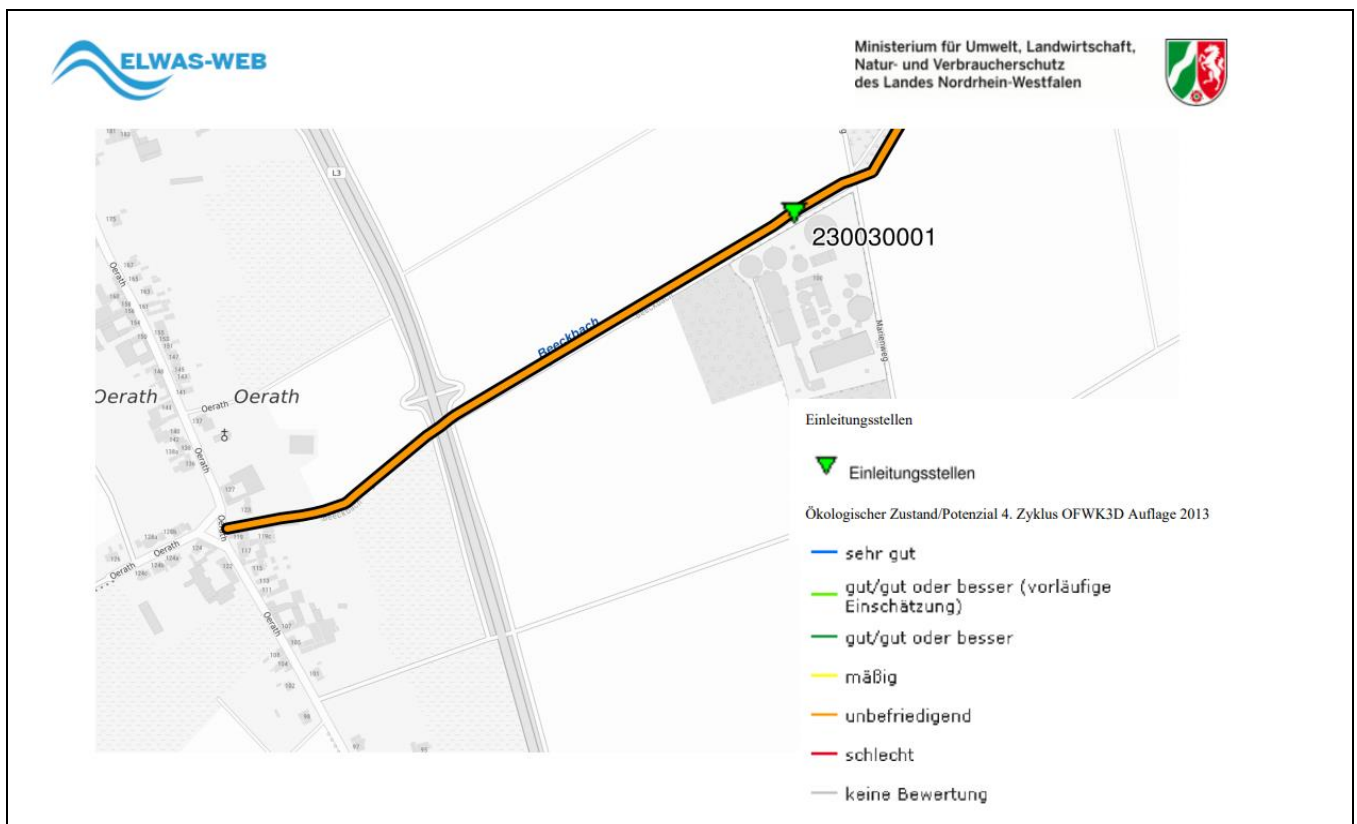


Abbildung 7: Bewertung des ökologischen Zustandes des Beeckbachs [ELWAS-Web 2021]

Aufgrund dieser Gegebenheiten hält die Bezirksregierung Köln eine Untersuchung der **Vollstrom**behandlung im Rahmen der Machbarkeitsstudie für geboten.

Wegen sehr geringer Wasserführung des Beeckbachs wurde auf eine Probenahme oberhalb und unterhalb der Kläranlageneinleitung im Gewässer verzichtet.

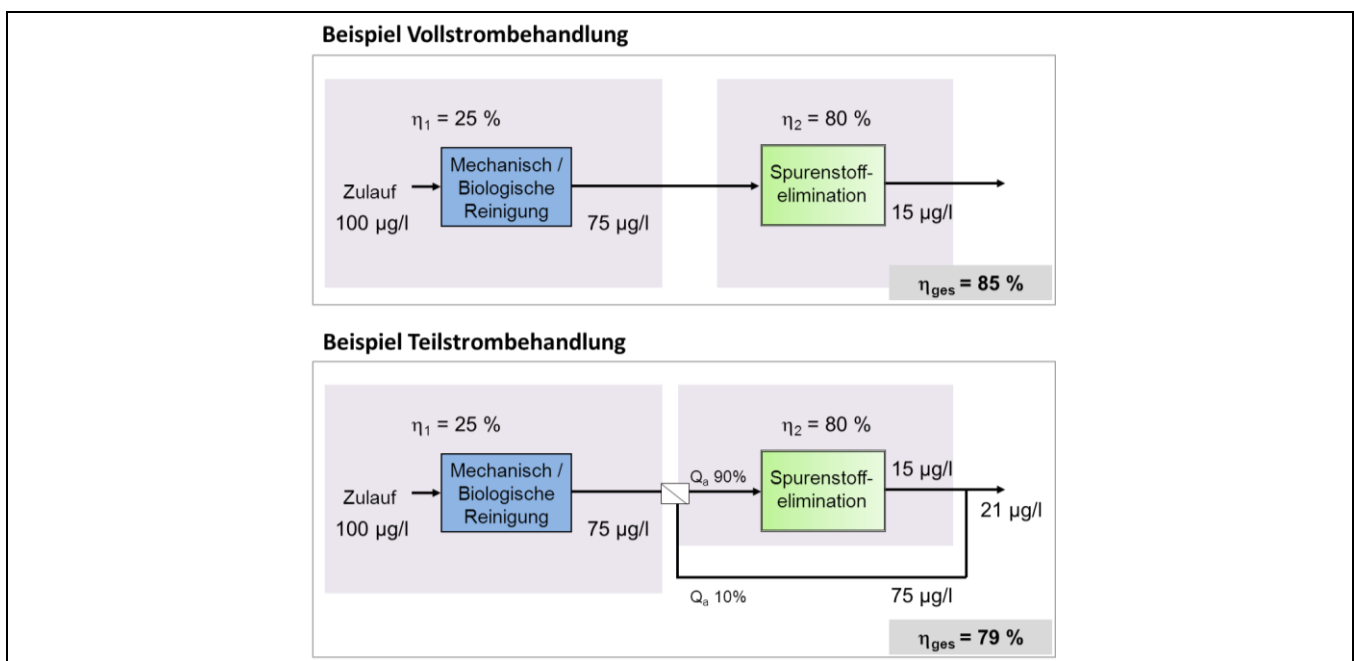
Da oberhalb der Kläranlageneinleitung eine niedrige Wassermenge durch den Beeckbach geführt wird ( $0,004 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und es keine GÜS-Messstelle gibt, wird auf Betrachtung der Beeinflussung des Gewässers anhand PEC- und PNEC-Werten verzichtet.

### 7.2.3 Beeinflussung des Gewässers anhand abgeschätzter Eliminationsraten

Eine Abschätzung ökotoxikologischer Auswirkungen auf das Gewässer durch die Kläranlageneinleitung kann über die Eliminationsraten der bereits errichteten zusätzlichen Verfahrensstufen als 4. Reinigungsstufe erfolgen.

#### Ist-Zustand vs. weitergehende Mikroschadstoffelimination

Ein Teil der Mikroschadstoffe wird bereits vom Zulauf der biologischen Reinigungsstufe bis zum Zulauf der 4. Reinigungsstufe eliminiert. Für diesen Bereich können Eliminationsraten von 25 % angesetzt werden [Siegrist 2013]. Durch die weitergehende Abwasserreinigung wird von einer zusätzlichen Eliminationsrate von 80 % ausgegangen. Unter diesen Rahmenbedingungen kann bei einer **Vollstrom**behandlung ein Gesamtwirkungsgrad von 85 % erreicht werden. Die untere Darstellung der **Abbildung 8** zeigt eine Beispielrechnung der Eliminationsrate mit einer **Teilstrom**- und **Vollstrom**behandlung für 4. Reinigungsstufe. Bei der **Teilstrom**behandlung wurde, wie bei der Auslegungsmenge der Variante 2, davon ausgegangen, dass 90 % des anfallenden Abwassers durch die 4. Reinigungsstufe geführt wird.



**Abbildung 8: Wirkungsgrad bei Vollstrom- und Teilstrombehandlung  
(Konzentration beispielhaft)**

## Erweitertes Monitoring

**Tabelle 12** und **Tabelle 13** zeigen den Mittelwert der gemessenen Ist-Konzentrationen und die Prognose-Konzentration der jeweiligen auffälligen Stoffe bei **Trocken-** und **Regenwetter**.

Die Stoffe **Ciprofloxacin**, **Diclofenac**, **Ibuprofen**, **Valsartan**, **Losartan**, **Candesartan** und **Flufenacet** haben bei erweitertem Monitoring die Bewertungskriterien sowohl bei **Regenwetter** als auch bei **Trockenwetter** überschritten. Der Substanz **Clarithromycin** wurde nur bei **Regenwetter** auffällig und der Stoff **Carbamazepin** nur einmal bei zwei Probenahmen an zwei unterschiedlichen Tagen unter Trockenwetterbedingungen auffällig.

**Tabelle 12: Abschätzung der Prognose-Konzentrationen der auffälligen Stoffe bei erweitertem Monitoring (Regenwetter) nach der Integration der 4. Reinigungsstufe**

Substanzgruppe	Substanz	c (ng/L)		Ist-Konzentration MW (ng/L)	Prognose-Konzentration (ng/L)	$\frac{c_{Analytik}}{c_{Bewertungskriterium}}$	$\frac{c_{Prognose}}{c_{Bewertungskriterium}}$	Bewertungskriterium (ng/L)
		Trockenwetter PNS 3 14.11.-15.11.2021	Trockenwetter PNS 3 15.11.-16.11.2021			ohne 4. RS	mit 4. RS	
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	● 691	● 769	730	146	1,46	0,29	500
	Ciprofloxacin	● 171	● 128	149,5	29,9	4,15	0,83	36
	Diclofenac	● 2600	● 2870	2735	547	54,7	10,94	50
	Ibuprofen	● 114	● 111	112,5	22,5	11,25	2,25	10
	Valsartan	● 115	● 105	110	22	1,10	0,22	100
	Losartan	● 107	● 96,7	101,85	20,37	1,02	0,20	100
	Candesartan	● 3250	● 3360	3305	661	33,05	6,61	100
Pestizide	Flufenacet	● 89,3	● 56,6	72,95	14,59	1,82	0,36	40

Legende	
	$\frac{c}{c_{Bewertungskriterium}} < 1$
	$1 < \frac{c}{c_{Bewertungskriterium}} < 5$
	$5 < \frac{c}{c_{Bewertungskriterium}}$
●	< Orientierungswert oder PNEC
●	> Orientierungswert oder PNEC

**Tabelle 13: Abschätzung der Prognose-Konzentrationen der auffälligen Stoffe bei erweitertem Monitoring (Trockenwetter) nach der Integration der 4. Reinigungsstufe**

Substanzgruppe	Substanz	c (ng/L)		Ist-Konzentration MW [ng/L]	Prognose-Konzentration [ng/L]	$\frac{C_{Analytik}}{C_{Bewertungskriterium}}$	$\frac{C_{Prognose}}{C_{Bewertungskriterium}}$	Bewertungskriterium (ng/L)
		Regenwetter PNS 3 01.12.-02.12.2021	Regenwetter PNS 3 04.01.-05.01.2022			ohne 4. RS	mit 4. RS	
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Clarithromycin	● 133	● 62	97,5	19,5	0,98*	0,20	100
	Ciprofloxacin	● 43,9	● 121	82,45	16,49	2,29	0,46	36
	Diclofenac	● 2740	● 977	1858,5	371,7	37,17	7,43	50
	Ibuprofen	● 235	● 87,2	161,1	32,22	16,11	3,22	10
	Valsartan	● 227	● 92,7	159,85	31,97	1,60	0,32	100
	Losartan	● 128	< 20	74	14,8	0,74*	0,15	100
	Candesartan	● 3160	● 979	2069,5	413,9	20,70	4,14	100
Pestizide	Flufenacet	● 187	● 23	105	21	2,63	0,53	40
Legende								
		$\frac{c}{c_{Bewertungskriterium}} < 1$						
		$1 < \frac{c}{c_{Bewertungskriterium}} < 5$						
		$5 < \frac{c}{c_{Bewertungskriterium}}$						
		● < Orientierungswert oder PNEC						
		● > Orientierungswert oder PNEC						

Aus den **Tabelle 12** und **Tabelle 13** geht hervor, dass die Stoffe **Clarithromycin**, **Carbamazepin**, **Ciprofloxacin**, **Valsartan**, **Losartan** und **Flufenacet** nach dem Einsatz der 4. Reinigungsstufe kein Risiko für die Umwelt darstellen würden.

Trotz einer signifikanten Reduzierung der Frachten im Ablauf der Kläranlage durch Integration der 4. Reinigungsstufe (Annahme), wären die reduzierten Konzentrationen der Parameter **Diclofenac**, **Ibuprofen** und **Candesartan** immer noch größer als die festgelegten Bewertungskriterien.

### Datenverdichtung

**Tabelle 14** zeigt den Mittelwert der gemessenen Ist-Konzentrationen und die Prognose-Konzentration der jeweiligen Stoffe, die bei Datenverdichtung auffällig geworden sind.

Die Substanzen **Carbamazepin**, **Clarithromycin**, **Ciprofloxacin**, **Diclofenac**, **Ibuprofen**, **Sulfamethoxazol**, **Valsartan** und **Candesartan** haben bei Datenverdichtung die festgelegten Bewertungskriterien überschritten.

**Tabelle 14: Abschätzung der Prognose-Konzentrationen der auffälligen Stoffe bei Datenverdichtung nach der Integration der 4. Reinigungsstufe**

Substanzgruppe	Substanz	c (ng/L)					Ist-Konzentration MW (ng/L)	Prognose-Konzentration (ng/L)	C		Bewertungskriterium (ng/L)
		Trockenwetter PNS 2 01.03.-02.03.2022	Trockenwetter PNS 2 02.03.-03.03.2022	Trockenwetter PNS 2 06.03.-07.03.2022	Trockenwetter PNS 2 07.03.-08.03.2022	Trockenwetter PNS 2 08.03.-09.03.2022			C Analytik C Bewertungskriterium	C Prognose C Bewertungskriterium	
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	1310	1530	1830	1890	2250	1762	352	3,52	0,70	500
	Clarithromycin	190	174	322	384	476	309	62	3,09	0,62	100
	Ciprofloxacin	171	126	147	146	124	143	29	3,97	0,79	36
	Diclofenac	3910	4430	4790	4560	4900	4518	904	90,36	18,07	50
	Ibuprofen	811	682	523	677	739	686	137	68,64	13,73	10
	Sulfamethoxazol	504	406	678	783	615	597	119	1,00*	0,20	600
	Valsartan	3130	3180	4200	3120	3500	3426	685	34,26	6,85	100
	Candesartan	4050	4310	5000	2670	5380	4282	856	42,82	8,56	100

Legende	
	$\frac{c}{C_{\text{Bewertungskriterium}}} < 1$
	$1 < \frac{c}{C_{\text{Bewertungskriterium}}} < 5$
	$5 < \frac{c}{C_{\text{Bewertungskriterium}}}$
	< Orientierungswert oder PNEC
	> Orientierungswert oder PNEC

Aus der **Tabelle 14** geht hervor, dass die Substanzen **Carbamazepin**, **Clarithromycin**, **Ciprofloxacin** und **Sulfamethoxazol** nach dem Einsatz der 4. Reinigungsstufe kein Risiko mehr für die Umwelt darstellen würden. Trotz einer signifikanten Reduzierung (Annahme) der Frachten im Ablauf der Kläranlage durch die Implementierung der 4. Reinigungsstufe, wären die reduzierten Konzentrationen der Stoffe **Diclofenac**, **Ibuprofen**, **Valsartan** und **Candesartan** immer noch größer als die festgelegten Bewertungskriterien.

### 7.3 Allgemeine chemische Parameter (ACP)

Der gute ökologische Zustand eines Oberflächengewässers wird erreicht, wenn:

- alle biologischen Qualitätskomponenten mindestens mit gut bewertet werden,
- alle Umweltqualitätsnormen für flussgebietsspezifische Schadstoffe eingehalten werden und
- die Werte für die allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten in einem Bereich liegen, der die Funktionsfähigkeit des Ökosystems gewährleistet.

Die allgemeinen physikalisch-chemischen Parameter werden bei der Beurteilung der biologischen Befunde unterstützend herangezogen. Gemäß Bewertungen des Wasserkörpers des Beeckbachs vom LANUV (**Tabelle 11**) zeigt der Beeckbach Auffälligkeiten beim **Gesamtposphat-Phosphor** und weist ein Fließgewässertyp von 18 auf.

#### 7.3.1 Bewertung der Messwerte

Die Untersuchung von Wasserproben im Kläranlagenablauf auf ACP wurde ebenfalls vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA) der RWTH Aachen von vorhandenen Proben bei Datenverdichtung und bei erweitertem Monitoring durchgeführt.



Die ACP und die wichtigen Parameter zur Auslegung der 4. Reinigungsstufe, wie z. B. **Bromid**, wurden von den Proben des erweiterten Monitorings sowohl bei **Trockenwetter** als auch bei **Regenwetter** an der PNS 3 und von den Proben der Datenverdichtung ausschließlich bei **Trockenwetter** an der PNS 2 (Mögliche Integrationsstelle der 4. Reinigungsstufe) gemessen.

Die Beurteilung der ermittelten Untersuchungsergebnisse erfolgte anhand von Orientierungswerten aus dem Anhang D5 des Leitfaden-Monitorings für Oberflächengewässer des LANUV 4. Monitoringzyklus, im Erlaubnisbescheid aufgeführten Werten und Kriterien zur Auslegung der 4. Reinigungsstufe. In der Spalte „Anmerkung“ befinden sich Hinweisen zur Herkunft des Bewertungskriteriums oder Anmerkungen zu dem jeweiligen Parameter.

### 7.3.1.1 ACP bei erweitertem Monitoring

**Tabelle 15** zeigt die gemessene Konzentrationen der ACP von vorhandenen Proben bei erweitertem Monitoring.

**Tabelle 15: Bewertung der ACP bei erweitertem Monitoring (Trocken- und Regenwetter)**

Substanzgruppe	Substanz	c (mg/L)		c (mg/L)		Bewertungskriterium (mg/L)	Anmerkung
		Trockenwetter PNS 3 14.11.-15.11.2021	Trockenwetter PNS 3 15.11.-16.11.2021	Regenwetter PNS 3 01.12.-02.12.2021	Regenwetter PNS 3 04.01.-05.01.2022		
Standard-Abwasserparameter	AFS	< 2	< 2	● 3,9	● 2,6	15	AFS > 15-20 mg/L benötigen eine Optimierung der Nachklärung (Ozonung)
	DOC	14	19	12	11		Niedrige Werte: Voraussetzung für einen effektiven Einsatz von Ozon
	CSB	● 17	● 21	● 20	● 20	40	Entwurf Erlaubnisbescheid Bezirksregierung Köln Antrag vom 08.12.2015 - Az.: 662784
	Chlorid	● 150	● 190	● 120	● 130	200	Anhang D5 des Leitfaden-Monitorings
	Gesamt-PO4-P	● 0,48	● 0,65	● 0,58	● 0,7	0,1	Anhang D5 des Leitfaden-Monitorings
	Nitrit-N	< 0,02	< 0,02	● 0,025	< 0,02	0,05	Anhang D5 des Leitfaden-Monitorings
	Bromid	● 0,064	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,1	Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination - C <sub>Bromid</sub> : 30-90 microgramm/L: Bromat erfahrungsgemäß nie überschritten - Bei eine Konzentration von 100 microgramm/L: keine Limitierung bis zspe < 0,7 gO3/gDOC - Bei eine Konzentration von 100-150 microgramm/L: keine Limitierung bis zspe < 0,5 gO3/gDOC
Legende							
		< Bestimmungsgrenze					
		● < Orientierungswert oder PNEC					
		● > Orientierungswert oder PNEC					

Aus der **Tabelle 15** wird ersichtlich, dass bei der Untersuchung der ACP bei erweitertem Monitoring nur der Parameter **Gesamtposphat-Phosphor** das Bewertungskriterium überschreitet.

### 7.3.1.2 ACP bei Datenverdichtung

**Tabelle 16** zeigt die gemessene Konzentrationen der ACP von vorhandenen Proben bei Datenverdichtung.



**Tabelle 16: Bewertung der ACP bei Datenverdichtung (Trockenwetter)**

Substanzgruppe	Substanz	c (mg/L)	c (mg/L)	c (mg/L)	c (mg/L)	c (mg/L)	Bewertungskriterium (mg/L)	Anmerkung
		Trockenwetter PNS 2 01.03.-02.03.2022	Trockenwetter PNS 2 02.03.-03.03.2022	Trockenwetter PNS 2 06.03.-07.03.2022	Trockenwetter PNS 2 07.03.-08.03.2022	Trockenwetter PNS 2 08.03.-09.03.2022		
Standard-Abwasserparameter	AFS	4,3	4,2	6,3	4,1	3,5	15	AFS > 15-20 mg/L benötigen eine Optimierung der Nachklärung (Ozonung)
	DOC	9,7	7,6	7,3	8,0	7,8		Niedrige Werte: Voraussetzung für einen effektiven Einsatz von Ozon
	CSB	● 53	● 23	● 23	● 20	● 21	40	Entwurf Erlaubnisbescheid Bezirksregierung Köln Antrag vom 08.12.2015 - Az.: 662784
	Gesamt-PO4-P	● 2,12	● 0,49	● 0,8	● 0,88	● 0,88	0,1	Anhang D5 des Leitfaden-Monitorings
	Nitrit-N	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	2	Anhang D5 des Leitfaden-Monitorings
	Bromid	● 0,077	● 0,011	● 0,046	● 0,045	● 0,057	0,1	Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination - C <sub>omni</sub> : 30-90 microgram/L: Bromat erfahrungsgemäß nie überschritten - Bei eine Konzentration von 100 microgramm/L: keine Limitierung bis spez < 0,7 gO3/gDOC - Bei eine Konzentration von 100-150 microgramm/L: keine Limitierung bis spez < 0,5 gO3/gDOC
Legende								
		< Bestimmungsgrenze						
		< Orientierungswert oder PNEC						
		> Orientierungswert oder PNEC						

Wie aus der **Tabelle 16** ersichtlich wird, ist bei der Untersuchung der ACP bei Datenverdichtung wie bei erweitertem Monitoring zu beobachten, dass die Konzentration von **Gesamtphosphat-Phosphor** ständig überschritten wurde. Die Überschreitung von **CSB** wurde nur bei einer Beprobung aus fünf Proben bei Datenverdichtung um ca. 30 % beobachtet.

### 7.3.2 Beeinflussung des Gewässers anhand abgeschätzter Eliminationsraten

Es wurde anhand geschätzter Eliminationsrate untersucht, inwieweit die Kläranlage durch die Errichtung einer weitergehenden Mikroschadstoffelimination zu einer Verbesserung des Gewässers beitragen kann.

Anhand geschätzter Eliminationsrate wurde abgeschätzt, welche Auswirkungen eine weitergehende gezielte Mikroschadstoffelimination auf die ACP-Werte im Ablauf der Kläranlage haben könnte. Dazu wurden Erfahrungswerte aus bereits realisierten Anlagen herangezogen. In Sindelfingen wurden mittels PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung für die Parameter **P<sub>ges</sub>** und **CSB** folgende Reinigungsleistungen erzielt:

- zusätzliche **P<sub>ges</sub>** Reduktion Sindelfingen: ca. 74 %
- zusätzliche **CSB** Reduktion Sindelfingen: ca. 54 %

Diese Werte sind von der Betriebsweise und Auslastung der Kläranlage stark abhängig. In Erkelenz handelt es sich wie in Sindelfingen um eine **Vollstrombehandlung** im Sandfilter.

**Tabelle 17** und **Tabelle 18** zeigen die aktuellen sowie die abgeschätzten Konzentrationen von **Gesamtphosphat-Phosphor** bei verschiedenen Probenahmen.

**Tabelle 17: Abschätzung der Konzentration des auffälligen Parameters Gesamtphosphat-Phosphor bei erweitertem Monitoring nach Integration der 4. Reinigungsstufe**

Substanzgruppe	Substanz	c (mg/L)	c (mg/L)	c (mg/L)	c (mg/L)	Ist-Konzentration MW (mg/L)	Prognose-Konzentration (mg/L)	<i>C Analytik</i>	<i>C Prognose</i>	Bewertungskriterium c (mg/L)
		Trockenwetter PNS 3 14.11.-15.11.2021	Trockenwetter PNS 3 15.11.-16.11.2021	Regenwetter PNS 3 01.12.-02.12.2021	Regenwetter PNS 3 04.01.-05.01.2022			<i>C Bewertungskriterium</i>	<i>C Bewertungskriterium</i>	
Standard-Abwasserparameter	Gesamt-PO4-P	● 0,48	● 0,65	● 0,58	● 0,7	0,57	0,1469	ohne 4. RS	mit 4. RS	0,1
<b>Legende</b> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 70%;"><math>\frac{c}{C_{\text{Bewertungskriterium}}} &lt; 1</math></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 70%;"><math>1 &lt; \frac{c}{C_{\text{Bewertungskriterium}}} &lt; 5</math></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 70%;"><math>5 &lt; \frac{c}{C_{\text{Bewertungskriterium}}}</math></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 70%;">&lt; Orientierungswert oder PNEC</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 70%;">&gt; Orientierungswert oder PNEC</div> </div>										

**Tabelle 18: Abschätzung der Konzentration des auffälligen Parameters Gesamtphosphat-Phosphor bei Datenverdichtung nach Integration der 4. Reinigungsstufe**

Substanzgruppe	Substanz	c (mg/L)	c (mg/L)	c (mg/L)	c (mg/L)	c (mg/L)	Ist-Konzentration MW [mg/L]	Prognose-Konzentration [mg/L]	<i>C Analytik</i>	<i>C Prognose</i>	Bewertungskriterium (mg/L)
		Trockenwetter PNS 2 01.03.-02.03.2022	Trockenwetter PNS 2 02.03.-03.03.2022	Trockenwetter PNS 2 06.03.-07.03.2022	Trockenwetter PNS 2 07.03.-08.03.2022	Trockenwetter PNS 2 08.03.-09.03.2022			<i>C Bewertungskriterium</i>	<i>C Bewertungskriterium</i>	
Standard-Abwasserparameter	Gesamt-PO4-P	● 2,12	● 0,49	● 0,8	● 0,88	● 0,88	1,034	0,27	ohne 4. RS	mit 4. RS	0,10
<b>Legende</b> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 70%;"><math>\frac{c}{C_{\text{Bewertungskriterium}}} &lt; 1</math></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 70%;"><math>1 &lt; \frac{c}{C_{\text{Bewertungskriterium}}} &lt; 5</math></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 70%;"><math>5 &lt; \frac{c}{C_{\text{Bewertungskriterium}}}</math></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 70%;">&lt; Orientierungswert oder PNEC</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 70%;">&gt; Orientierungswert oder PNEC</div> </div>											

Aus der **Tabelle 17** und **Tabelle 18** geht hervor, dass trotz einer 74 %igen Reduzierung (Annahme) vom Parameter **Gesamtphosphat-Phosphor** im Ablauf der Kläranlage (PNS 3 - erweitertes Monitoring) und nach dem Klarwassernitrifikationsbecken (PNS 2 - Datenverdichtung) durch Integration der 4. Reinigungsstufe, die reduzierte Konzentration dieses Stoffs immer noch größer als das festgelegte Bewertungskriterium wäre.

### 7.4 Zusammenfassung

In Rahmen der vorliegenden Untersuchung für die ARA Erkelenz-Mitte wurde der Einfluss einer weitergehenden Mikroschadstoffelimination auf den ökologischen Zustand des Bieckbachs Aa abgeschätzt und bewertet.

Folgendes wurde festgestellt:

- Eine weitergehende Mikroschadstoffelimination kann zu einer signifikanten Frachtreduzierung kritischer Mikroschadstoffe im Kläranlagenablauf führen.
- Dennoch ist eine Verminderung des ökotoxikologischen Risikos nicht zu erwarten, da das Gewässer bereits belastet ist. (Siehe **Kapitel 7.2.2**)
- Aus Referenzanlagen ist es bekannt, dass Adsorptionsverfahren zur Mikroschadstoffelimination eine zusätzliche Reduktion der ACP hervorrufen. Für die Parameter **Phosphor** wurde eine Reduktion von 74 % angenommen.

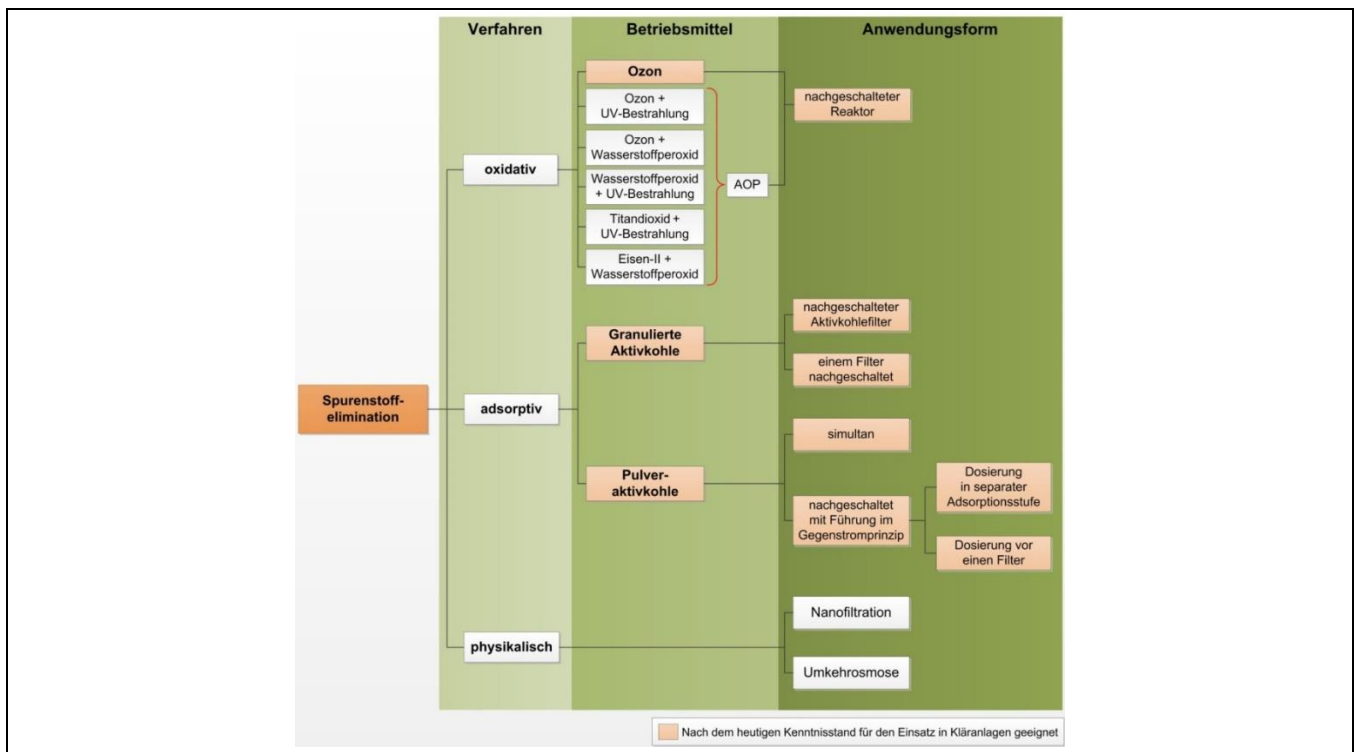
## 8 Verfahren zur Elimination von Mikroschadstoffen

### 8.1 Überblick

**Abbildung 9** gibt einen schematischen Überblick über die verschiedenen Verfahren zur Elimination von anthropogenen Mikroschadstoffen auf kommunalen Kläranlagen.

Gemäß der 2. überarbeiteten und erweiterten Auflage der „Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination“ sollten bei der Verfahrenswahl mindestens die großtechnisch erprobten Verfahren Ozonung, Pulveraktivkohle (PAK) und granuliert Aktivkohle (GAK) betrachtet werden. Im Folgenden sind die wichtigsten Kriterien bei der Verfahrenswahl aufgelistet:

- Eliminationsgrade der Verfahren hinsichtlich relevanter Mikroschadstoffe.
- Vorhandene nutzbare Verfahrens- und Bautechnik, wie z. B. Sandfilter oder freie Beckenkapazität.
- Platzbedarf und Flächenverfügbarkeit.
- Bromatbildungspotenzial des Abwassers bei Berücksichtigung eines Ozonungsverfahrens.
- Klärschlamm Entsorgungswege (grundsätzlich wird von einer thermischen Klärschlamm Entsorgung ausgegangen).
- Verbesserung der Reinigungsleistung der Kläranlage z. B. für **CSB**, **AFS**, **P<sub>ges</sub>** oder Entkeimung.
- Ganzheitliche energetische Betrachtung, d. h., dass bei der Aktivkohle auch die Aufwendungen für die Herstellung oder Reaktivierung.
- Zusätzlicher Bedarf an Personal.



**Abbildung 9: Verfahren zur Mikroschadstoffelimination**  
**[Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe BW 2013]**

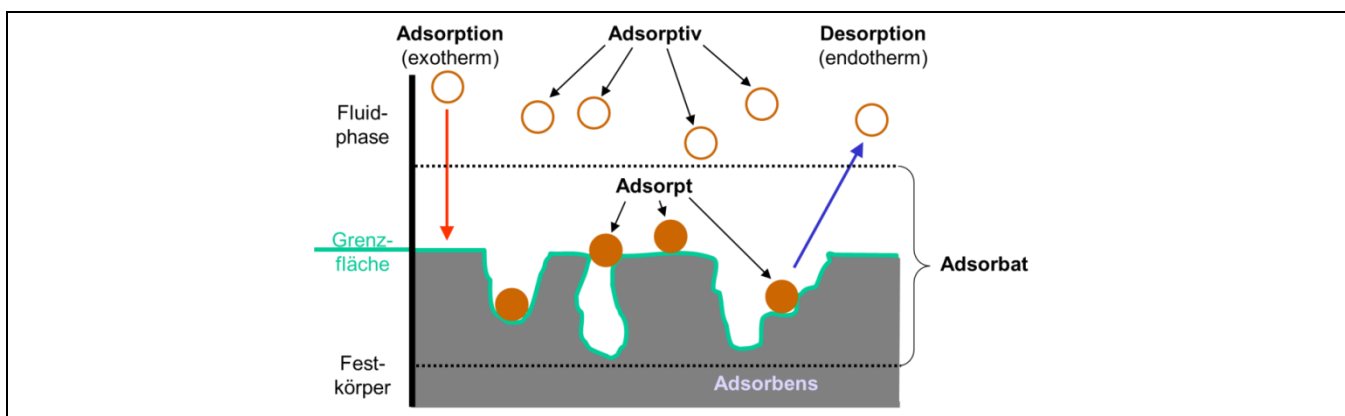
Für die Kläranlage (ARA) Erkelenz-Mitte werden die Anwendung von Ozon, Granulierter Aktivkohle und Pulveraktivkohle untersucht. Die Grundlagen und Möglichkeiten der adsorptiven und oxidativen Verfahren werden im Folgenden kurz erläutert.

## 8.2 Adsorption

### 8.2.1 Grundlagen

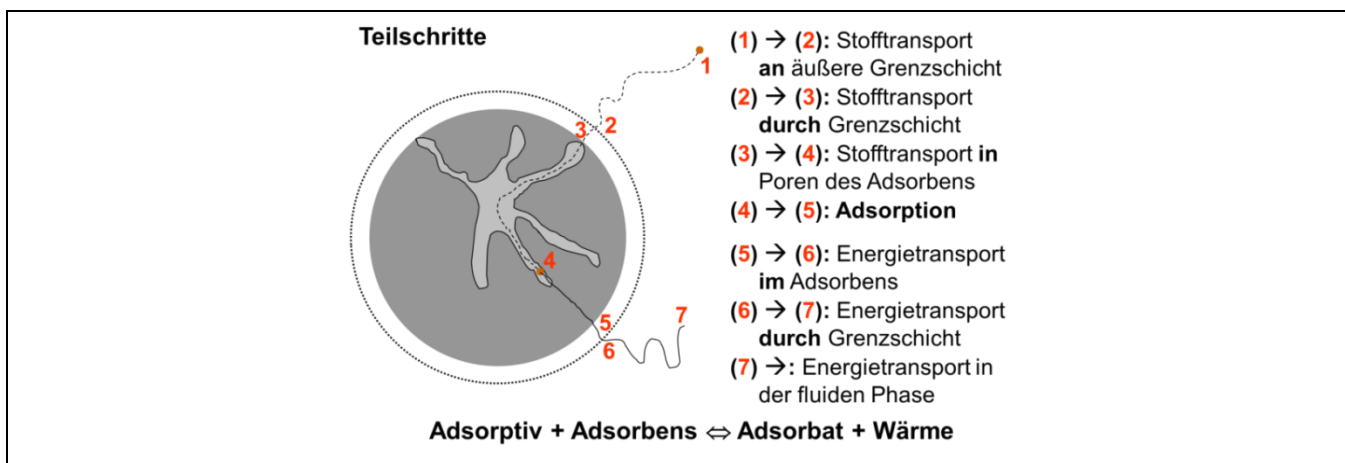
Unter Adsorption wird die Anreicherung von Stoffen an der Oberfläche von Flüssigkeiten und besonders Festkörpern verstanden. Sie erfolgt durch die Wechselwirkung der aktiven, energiereichen Zentren einer Grenzfläche mit den Atomen, Molekülen oder Ionen einer benachbarten Phase [Kümmel und Worch 1990].

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 Re-Mobilisierung bereits fixierter Teilchen. In der **Abbildungen** **Abbildung 10** sind schematisch die Zusammenhänge dargestellt.



**Abbildung 10: Grundbegriffe der Adsorption**

Die Adsorption erfolgt in mehreren Teilschritten auch an der inneren Oberfläche des Adsorbens. Dies ist in **Abbildung 11** dargestellt.



**Abbildung 11: Teilschritte der Adsorption [Breitbach und Bathen 2001]**

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

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

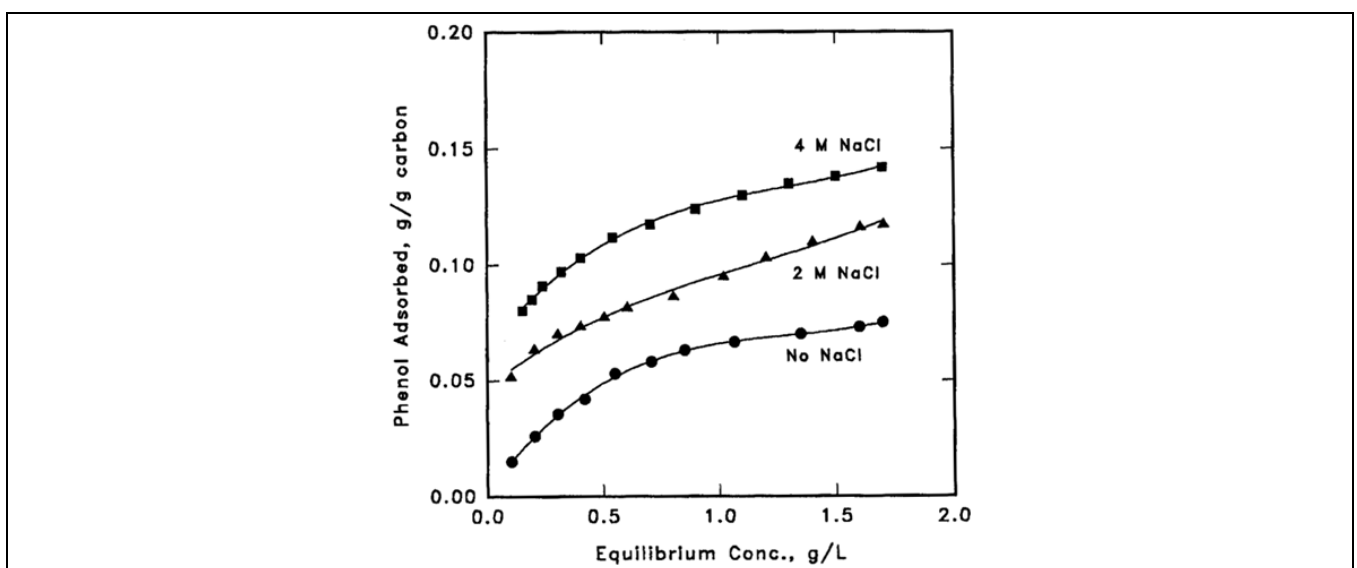
Folgende Eigenschaften des Adsorptivs können nach Cooney (1998) die Physisorption beeinflussen:

- Steigende Unpolarität/Hydrophilität erhöht die Adsorbierbarkeit
- Funktionelle Gruppen:
  - Hydroxyl-Gruppe (R-OH) senken die Adsorbierbarkeit
  - Amino-Gruppe (R-NH<sub>2</sub>) senken die Adsorbierbarkeit sehr stark
  - Sulfonsäure-Gruppe (R-SO<sub>3</sub>H) senken meistens die Adsorbierbarkeit
  - Nitro-Gruppe (R-NO<sub>2</sub>) 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 **Abbildung 12** ist die Adsorption von Phenol an Aktivkohle bei unterschiedlichen Konzentrationen von NaCl in der fluiden Phase dargestellt. Durch die Salz-Ionen werden die gleichsinnig geladenen Gruppen des Adsorpt (Phenol) neutralisiert und eine höhere Packungsdichte auf dem Adsorbens erreicht [Cooney 1998].



**Abbildung 12: 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 Mikroschadstoffe 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:

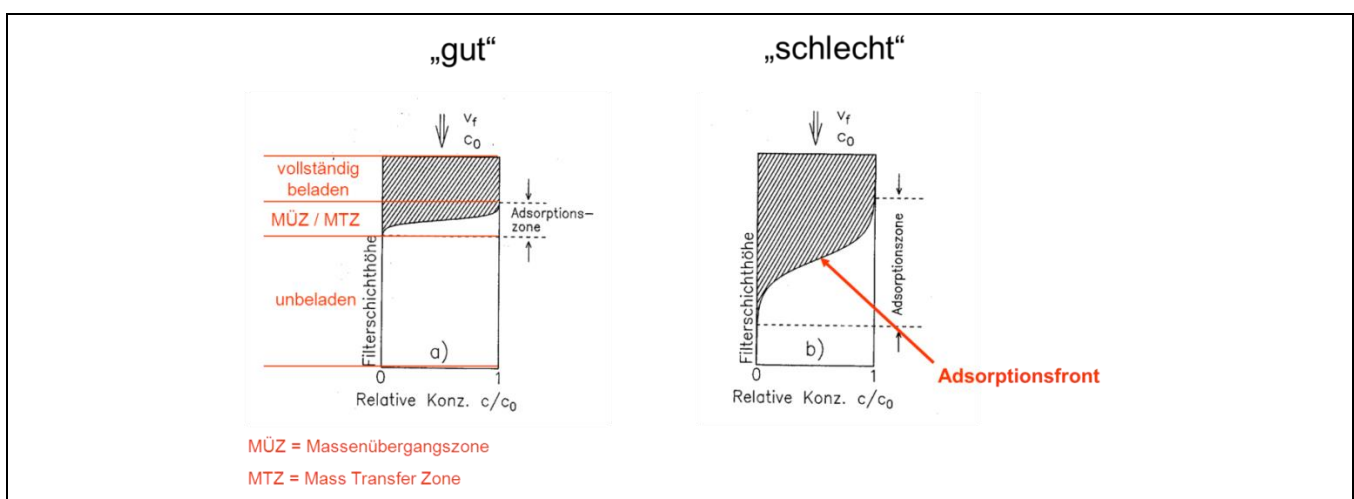
- Pulverkohlen (PAC = powdered activated carbon) weisen einen Durchmesser von weniger als 0,05 mm auf;
- Kornkohlen (GAC = granulated activated carbon) liegen im Durchmesser zwischen 0,5 und 4 mm.

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.

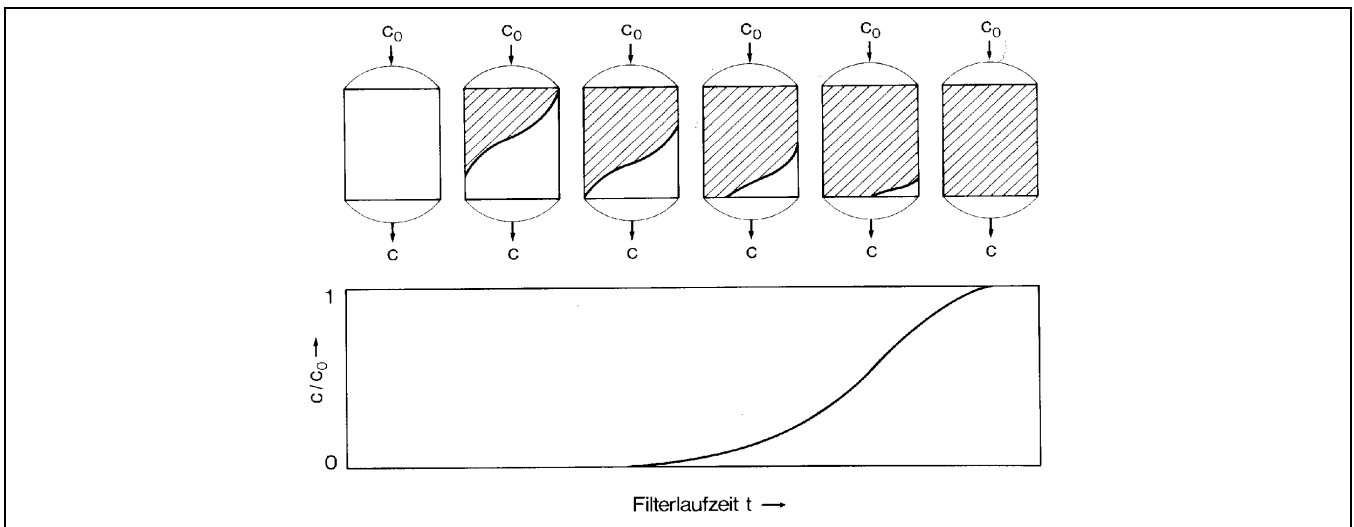
Beim Einsatz der Kornkohle im Filter erfolgt die Adsorption über die Betttiefe in der sogenannten Adsorptionszone. In der **Abbildung 13** ist dies für zwei unterschiedlich adsorbierbare Stoffe dargestellt.



**Abbildung 13: Adsorptionsverhalten zweier unterschiedlicher Stoffe im Festbettadsorber [DVGW W 239]**

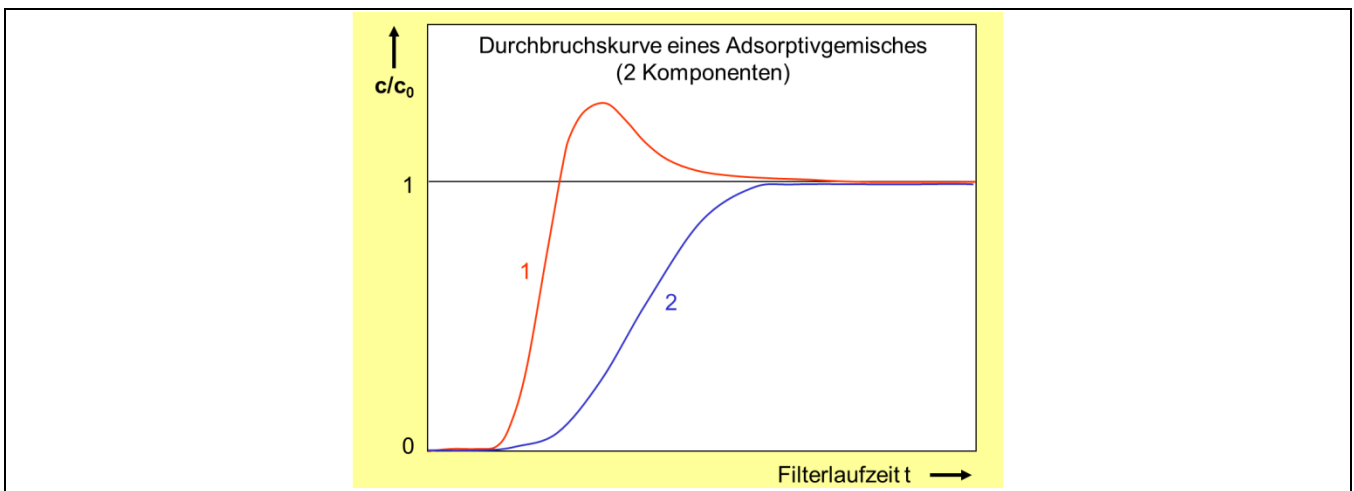
Zu erkennen ist, dass der gut adsorbierbare Stoff eine deutlich kürzere Übergangszone aufweist, in der das Adsorptiv bis auf die Konzentration von nahezu Null zurückgehalten wird. Beim schlechteren adsorbierbaren Stoff ist die Zone größer; der Stoff bricht also früher durch.

Über die Betriebszeit verlagert sich die aktive Zone tiefer in die Schüttung des Kornkohlefilters, wie **Abbildung 14** 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.



**Abbildung 14: Verlagerung der Adsorptionszone über die Filterlaufzeit [Sontheimer et. al. 1985]**

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. In der **Abbildung 15** ist der Zusammenhang dargestellt. Dieses Verhalten wird „Chromatografie-Effekt“ genannt.



**Abbildung 15: Durchbruchkurve eines Adsorptivgemisches [Worch 2004, modifiziert]**

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.

## 8.2.2 Einsatz Aktivkohle in der Abwassertechnik zur Mikroschadstoffelimination

Eine effiziente Nutzung der Adsorptionskapazität für die Mikroschadstoffelimination setzt eine geringe organische Hintergrundbelastung des zu behandelnden Abwassers voraus.

### 8.2.2.1 Pulveraktivkohle

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

#### 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 et. al. 2012] zu entnehmen.

- Favorisierte Dosiermenge PAK: 20 mg/l.
- Fällmitteldosierung ist erforderlich, da sonst rascher Durchbruch der Kohle durch den Filter.
- Optimierte Fällmitteldosierung ( $\text{FeCl}_3$ ): 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 %.



## 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, Ravensburg, Karlsruhe, Stuttgart sowie Böblingen-Sindelfingen.

Die Ergebnisse aus dem Betrieb der großtechnischen Anlagen in Mannheim und Sindelfingen wurden von Schwentner et. al. (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/m<sup>3</sup>) hilfreich, um Filterdurchbruch zu verhindern,
- **P<sub>ges</sub>**-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 bei 10 mg PAK/l ca. 80 bis 95 % für **Diclofenac, Naproxen, Fenifibrinsäure, Carbamazepin, Metoprolol, Iohexol, Iomeprol, Iopromid**.
- Stellenanteil Adsorptionsstufe ca. 0,65 MA/Monat.

### 8.2.2.2 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 granuliert Aktivkohle (GAK) ausgetauscht. Innerhalb eines Forschungsprojektes wurden zwei GAK-Füllungen untersucht [Bornemann et. al. 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 Filterzulaufes.

Bei einer Elimination von rund 78 % können für die **erste GAK** folgende ausgetauschte Bettvolumina (BV) angesetzt werden:

<b>Carbamazepin:</b>	500 BV
<b>Diclofenac:</b>	900 BV
<b>Metoprolol:</b>	5.700 BV

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

<b>Carbamazepin:</b>	2.500 BV
<b>Diclofenac:</b>	4.000 BV
<b>Metoprolol:</b>	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 et. al. 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 Mikroschadstoffe 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 Mikroschadstoffen folgende mittlere Eliminationsgrade erreicht werden:

<b>Ibuprofen:</b>	59 %
<b>Bezafibrat:</b>	77 %
<b>Diclofenac:</b>	79 %
<b>Carbamazepin:</b>	90 %
<b>Metoprolol:</b>	91 %

Für **CSB** wurde eine mittlere Elimination von 45 % erzielt.

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

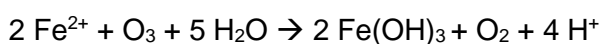
## 8.3 Ozonung

### 8.3.1 Grundlagen

#### 8.3.1.1 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  $\text{Fe}^{2+}$ -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 Redoxpotential von 1,24 Volt gegenüber 0,401 Volt (bezogen auf pH 14) deutlich stärker.

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

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

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

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

Bei den 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.

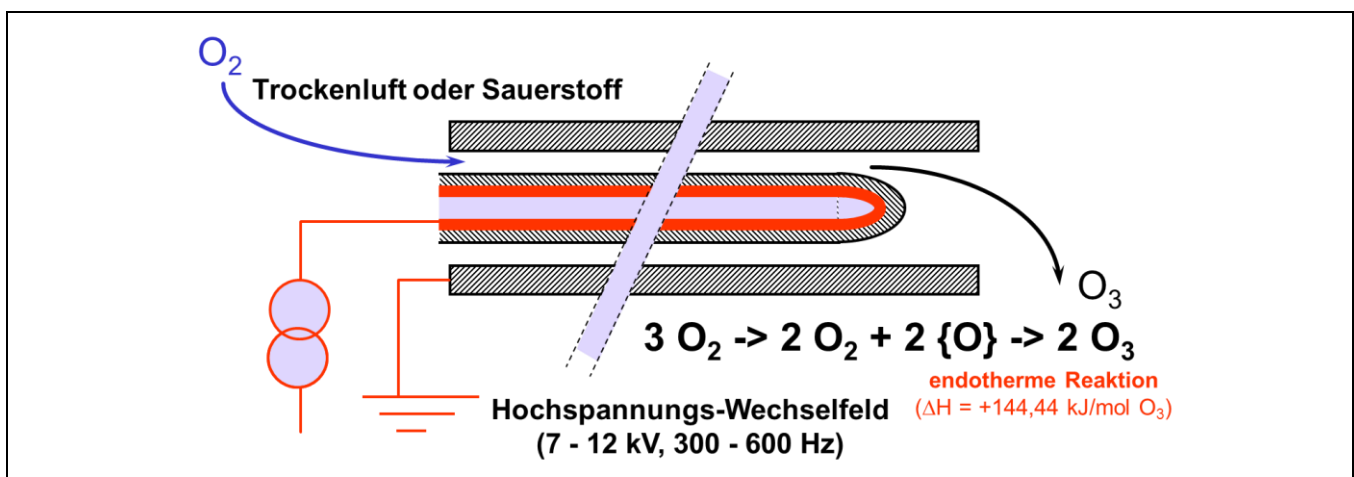
Insgesamt oxidiert Ozon die meisten organischen Wasserinhaltsstoffe nicht bis zum  $\text{CO}_2$ , sondern bewirkt eine Teiloxidation. Die Molekülgröße der Stoffe wird verringert. Ozon wirkt weiterhin bevorzugt auf Doppelbindungen in den Molekülen. Dies bedeutet, dass durch die Ozonbehandlung Zwischenprodukte 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 neugebildeten Stoffe abzubauen zu können.

Weiterhin ist die toxikologische Wirkung der gebildeten Transferprodukte zu beachten.

### 8.3.1.2 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 der **Abbildung 16** ist dies schematisch dargestellt.



**Abbildung 16:** 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  $\text{O}_3$ , wenn technischer Sauerstoff als Prozessgas eingesetzt wird.

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

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

Insgesamt addiert man nun den Energiebedarf von O<sub>3</sub>-Erzeugung, Kühlung und Restozonvernichtung; so ergibt sich ein Bedarf an elektrischer Energie von 10...11 kWh/kg O<sub>3</sub>.

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

1. **Eintrag über Diffusoren**

Das ozonhaltige Gas wird über Domsdiffusoren 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 Mikroschadstoffelimination 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 et. al. 2011]. Der Ablauf aus dem Behälter wird, wie schon erwähnt, der Restozonbehandlung zugeführt.

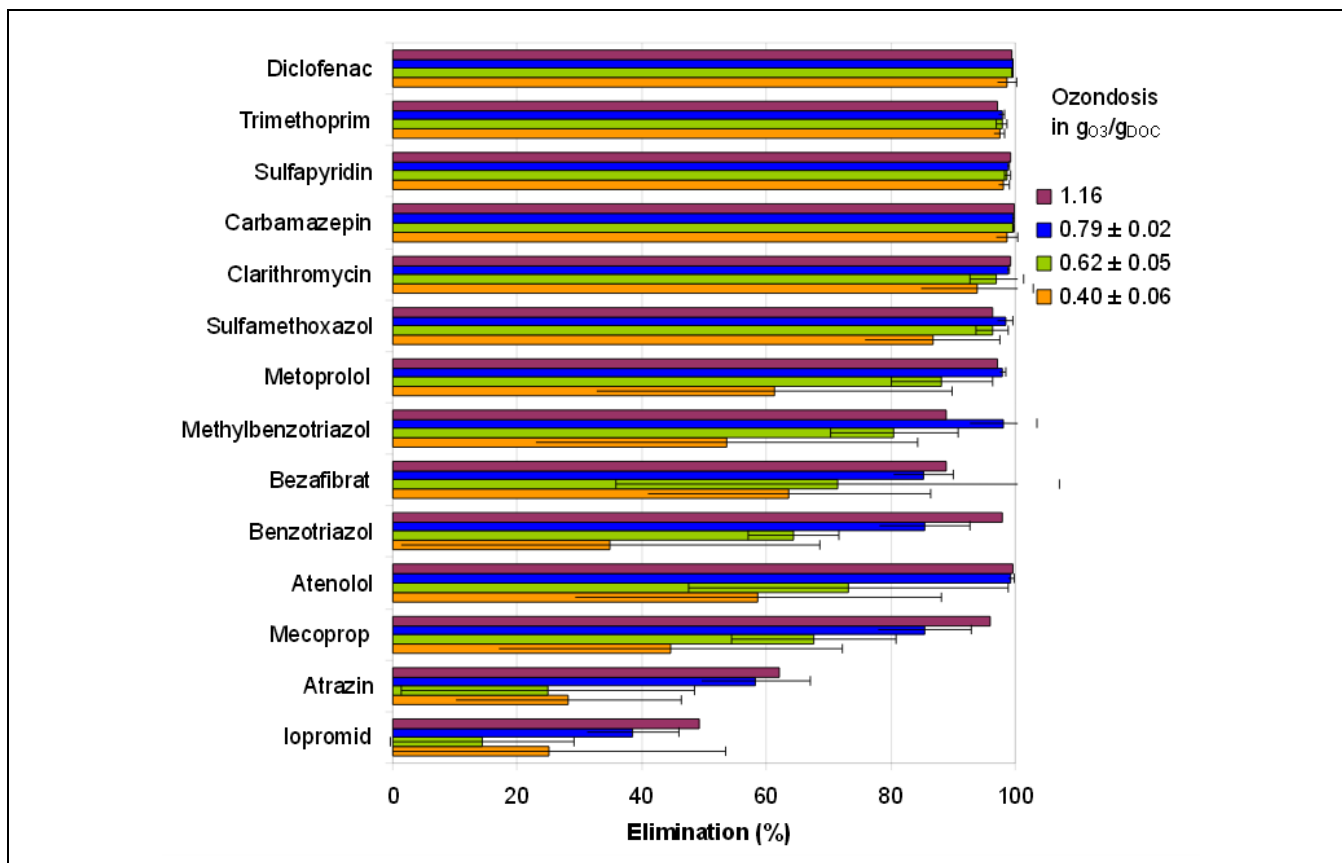
### 8.3.2 Einsatz von Ozon in der Abwassertechnik zur Mikroschadstoffelimination

Die Ozonung wird verfahrenstechnisch der biologischen Stufe nachgeschaltet. Der effektive Einsatz von Ozon (O<sub>3</sub>) setzt eine niedrige organische Hintergrundbelastung (**DOC**) voraus.

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

Ternes et. al. (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 **lopamidol**, **lomeprol** und **lopromid** 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 et. al. 2009]. Der Ablauf aus der Nachklärung der Anlage wurde mit Ozon behandelt. Der Ozonstufe nachgeschaltet war die (bestehende) Filtrationsanlage. Der **DOC** im Ablauf der Nachklärung lag mit ca. 5 mg/l auf einem niedrigen Niveau. In nachfolgender Grafik sind die erzielten Eliminationsgrade dargestellt.



**Abbildung 17: Ergebnisse Elimination Mikroschadstoffe ARA Regensdorf [Abegglen et. al. 2009]**

In wirtschaftlicher und betrieblicher Hinsicht erwies sich in Regensdorf eine Ozondosis von 0,62 mg O<sub>3</sub>/mg DOC als optimal. Aufgrund des geringen DOC-Gehaltes 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.

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 DynaSand® Sandfilter wurde dieses wieder reduziert. Die Bildung von stabilen und toxikologisch relevanten Reaktionsprodukten konnte nicht festgestellt werden. In Regensdorf handelte es sich um einen DynaSand® Sandfilter, der mit einer Filtergeschwindigkeit von 14,4 m/h im Trockenwetterfall betrieben wurde. Bei einer Filterbetttiefe von 1 m ergibt dies eine Aufenthaltszeit von ca. 4 min.

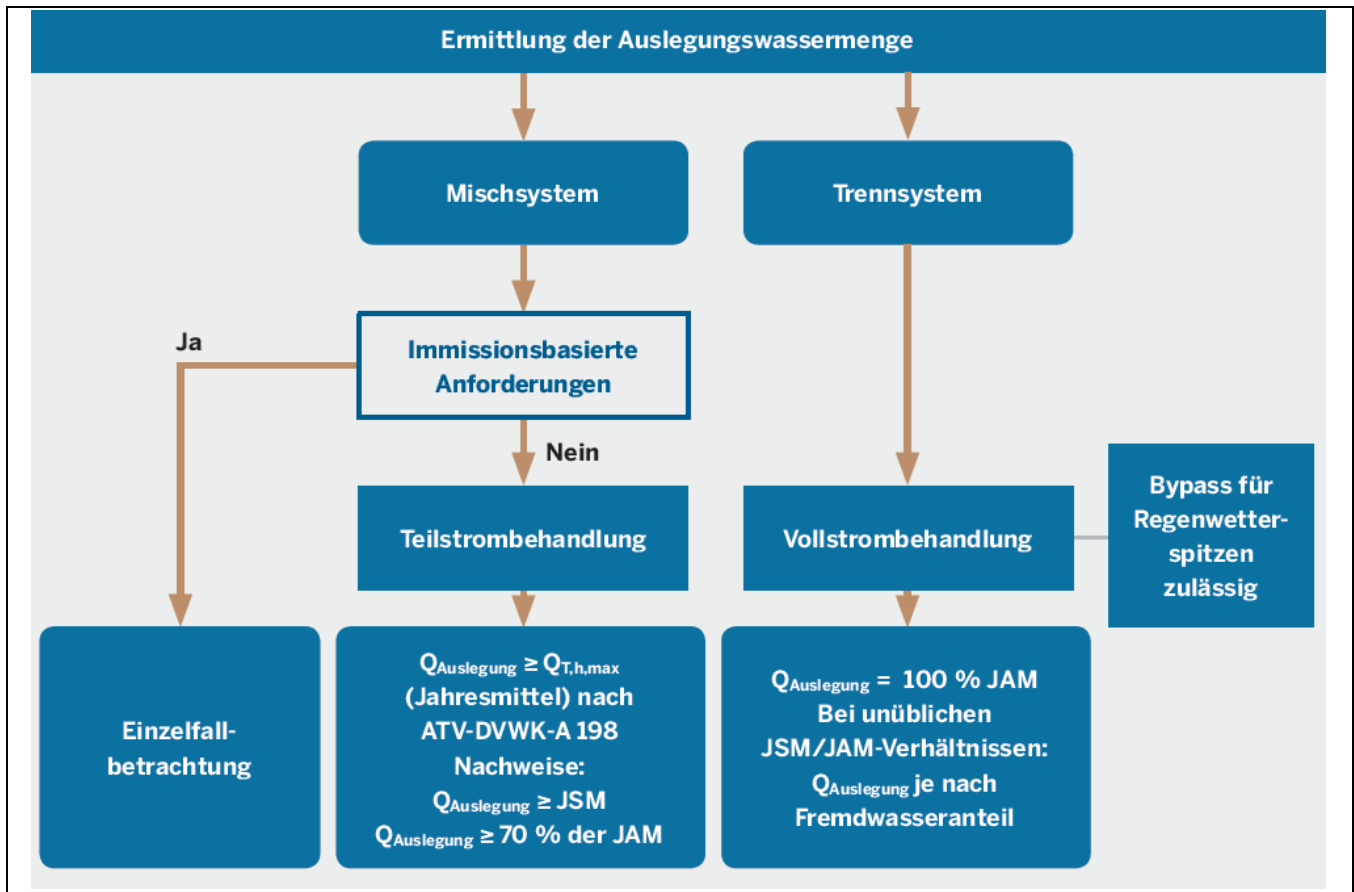
In Nordrhein-Westfalen wurden die kommunalen Kläranlagen Bad Sassendorf, Schwerte und Duisburg-Vierlinden mit einer Ozonstufe ausgerüstet. Bei den Kläranlagen Bad Sassendorf und Vierlinden wird der Ablauf ozoniert. Die Ergebnisse beider Anlagen entsprechen sich [Grünebaum et. al. 2012].

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

## 9 Darstellung der untersuchten Verfahrenskombinationen

### 9.1 Beschickungsmenge

Die 4. Reinigungsstufe wurde hydraulisch unter Berücksichtigung der standortspezifischen Entwässerungscharakteristik und in Anlehnung an die „Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination“ vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW (2. Überarbeitete und erweiterte Auflage) bemessen.



**Abbildung 18: Vorgehensweise zur Ermittlung der Auslegungswassermengen [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016]**

Gemäß dieser Anleitung wird die Auslegungswassermenge von den immissions- bzw. emissionsbasierten Ansätzen zur Bestimmung des Eliminationsziels beeinflusst. Sollte durch analytische Befunde nachgewiesen werden, dass:

- das Gewässer unterhalb der Kläranlage besondere sensible Eigenschaften bzw. Nutzungen aufweist (z. B. FFH Gebiete, Lachslaichgewässer o. ä.),
- das Gewässer eine geringe Wasserführung aufweist z. B. Verhältnis Einleitungsmenge zum mittleren Niedrigwasserabfluss,  $Q/MNQ > 1/3$ ),
- der Kläranlagenablauf überdurchschnittliche Mikroschadstoffbelastungen beinhaltet,
- das Gewässer unterhalb der Kläranlageneinleitung der oberflächenwassergestützten Trinkwassergewinnung dient,

- das Ergebnis des WRRL-Monitorings eine Beeinträchtigung der biologischen Qualitätskomponenten zeigt,

sind die Auslegungsbedingungen nach einer immissionsbasierten Einzelfallprüfung in Abstimmung mit der zuständigen Behörde individuell festzulegen.

Wie auch im **Kapitel 7.1.3** erwähnt, hat die Einleitung aus der Kläranlage einen Abwasseranteil von 966 % am 0,5 MQ und 1.628 % am MNQ. Des Weiteren befindet sich der betrachtete Gewässerabschnitt in einem nicht guten chemischen und in einem unbefriedigenden ökologischen Zustand. Der Beeckbach wird aufgrund der geringen Wasserführung stark von der Kläranlageneinleitung beeinflusst. ( $Q/MNQ \gg 1/3$ )

Es wurde noch geprüft, ob das Gewässer unterhalb der Kläranlageneinleitung überdurchschnittliche Mikroschadstoffbelastungen beinhaltet.

**Tabelle 19: Messstelle: 318322, uh. KA Erkelenz-Mitte, Beeckbach / Diclofenac - Carbamazepin [ELWAS-Web 2021]**

Stoffname	Methoden-Nr.	Stoff-Nr.	Analysemethode	Stoffgruppe	Probengut	21.06.2018
Diclofenac	Direkt, LC-MS-MS	2639	VS-FY0-1-a	-Arzneistoffe und Metaboliten	Fließgewässer	3,7 µg/l
Carbamazepin	Direkt, LC-MS-MS	2667	VS-FY0-1-a	-Arzneistoffe und Metaboliten	Fließgewässer	1,4 µg/l

**Tabelle 20: Vorschläge für die Jahresdurchschnitts-Umweltqualitätsnorm (UQN-V) und die Predicted No Effect Concentration (PNEC) für ausgewählte Arzneimittelwirkstoffe; Stand: 12. Mai 2020 [Umweltbundesamt 2020]**

Stoffname	UQN-V in µg/l	PNEC in µg/l
Östron (E1)		0,0036
17-beta-Östradiol (E2)		0,0004
17-alpha-Ethinyl-östradiol (EE2)		0,000035
Azithromycin		0,019
Clarithromycin		0,12
Erythromycin		0,2
Ciprofloxacin	0,1	
Sulfamethoxazol	0,6	
Diclofenac		0,05
Ibuprofen	0,01	
Carbamazepin	0,5	

Wenn man die Werte der **Tabelle 19** **Tabelle 20** vergleicht, erkennt man eine überdurchschnittliche Belastung von **Diclofenac** und **Carbamazepin** beim Kläranlagenablauf.



Aktuelle Untersuchungen, die im Rahmen der „Studie zur Verminderung des Eintrags von Mikroschadstoffen aus dem Abwassersystem in die Korsch“ an der Universität Stuttgart durchgeführt werden, weisen darauf hin, dass es kommunale Kläranlagen gibt, die die als biologisch gut abbaubar eingestuften Mikroschadstoffe bei **Regenwetter** nur begrenzt eliminieren können. In diesem Fall können bei einer **Teilstrom**behandlung weiterhin wesentliche Frachten an Mikroschadstoffen in die Gewässer eingetragen werden [Launay et. al. 2015].

Der Umgang mit der Auslegungswassermenge in Baden-Württemberg oder der Schweiz bezüglich der Mikroschadstoffelimination unterscheidet sich von diesem Ansatz in geringem Maße. In der Schweiz bestehen bereits gesetzliche Vorgaben. Nach der Vernehmlassung des Verbandes Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) wird dort prinzipiell eine **Vollstrom**behandlung vorgesehen, dennoch können die folgenden Fälle zu einer Ausnahme führen [VSA 2018]:

- hohe hydraulische Kapazität  $Q_{\max} / Q_{d,TW} > 4$
- Verfahrenswahl PAK mit Rückführung in Biologie
- unverhältnismäßiges Kosten/Nutzen-Verhältnis
- unzureichende Platzverhältnisse

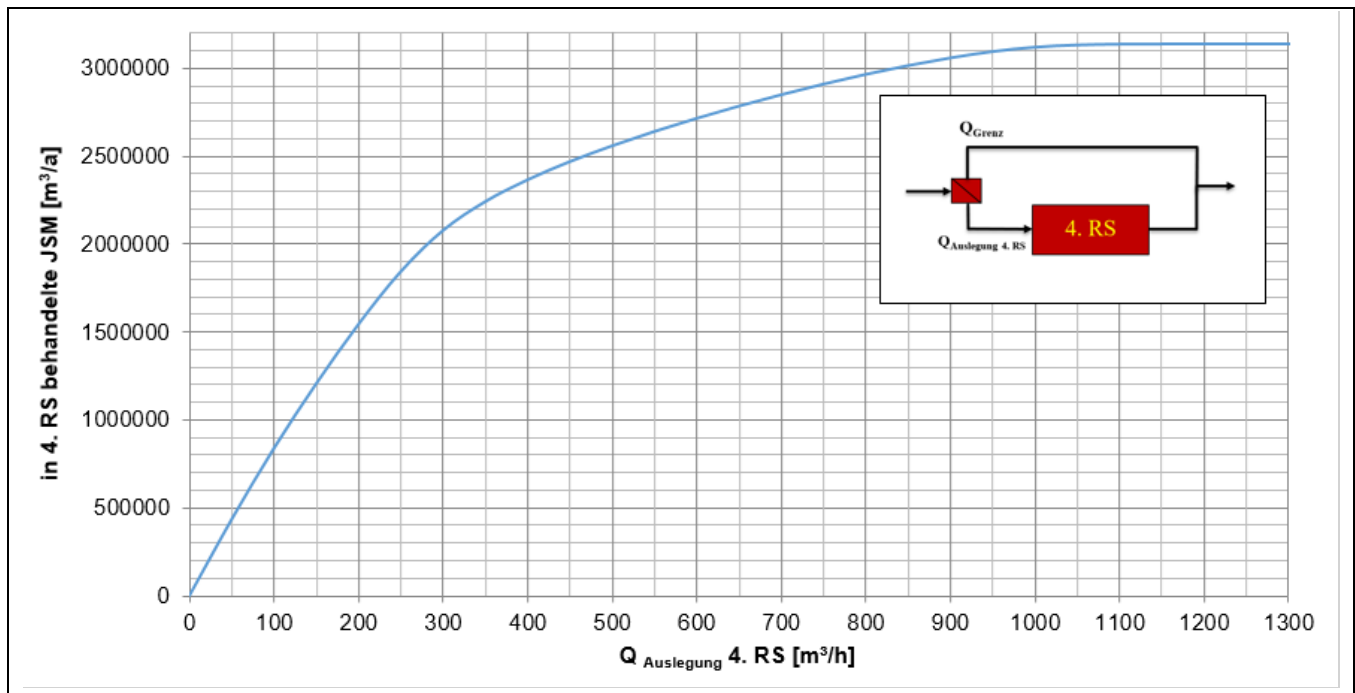
In Baden-Württemberg gibt es bisher keine Vorgaben. Laut der Webseite des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe Baden-Württemberg sind fünf der zehn betriebenen Anlagen auf eine **Vollstrom**behandlung ausgelegt. Bei den restlichen fünf Anlagen liegt der Anteil der behandelten Wassermenge in der Mikroschadstoffeliminationsstufe bei ca. 90 % der JAM [KomS-BW 2016].

Aus den genannten Gründen und mit der Abstimmung der Bezirksregierung Köln wird im Rahmen der Machbarkeitsstudie generell eine Untersuchung bzw. Prüfung der **Vollstrombehandlung** betrachtet. Insbesondere bei einer geplanten Nutzung vorhandener Bausubstanz (Filter) wird die Prüfung auf eine verfahrenstechnische Umsetzung einer **Vollstrom**behandlung empfohlen [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016]. Gemäß der Empfehlung der Bezirksregierung Köln ist eine ergänzende Prüfung einer **Teilstrom**behandlung auch sinnvoll.

Die JSM und die JAM wurden basierend auf den erfassten Betriebsdaten in Betriebstagesbüchern von 2018 bis 2020 wie folgt berechnet:

- $JSM_{\text{berechnet}} = 2.260.999 \text{ m}^3/\text{a}$
- $JAM_{\text{berechnet}} = 3.134.641 \text{ m}^3/\text{a}$

Die genehmigte Jahresschmutzwassermenge ist in der ersten Anlage des Entwurfs des Erlaubnisbescheides von 2015 ( $JSM_{\text{genehmigt}} = 2.445.000$ ) zu finden und weicht von dem berechneten Wert der letzten drei Jahren um ca. 8 % ab.



**Abbildung 19:** Behandelte Abwassermenge in 4. RS in Abhängigkeit von  $Q$  Auslegung für 4. RS [Betriebstagesbücher 2018 - 2020, ARA Erkelenz-Mitte]

**Abbildung 19** stellt das Verhältnis von  $Q_{\text{Auslegung}}$  für die 4. Reinigungsstufe zur in 4. Reinigungsstufe behandelte Jahresschmutzwassermenge (Auf Basis der Daten aus den Betriebstagesbüchern von 2018 bis 2020) dar.

Gemäß der Abstimmung mit der Bezirksregierung Köln wird für die **Vollstrom**behandlung auf der ARA Erkelenz-Mitte eine Kapazität zur Behandlung von  $960 \text{ m}^3/\text{h}$  (99-Perzentil) vorgehalten.

## 9.2 Verfahrensfestlegung

Eine gut funktionierende Kläranlage mit einem niedrigen Gehalt an **DOC** bzw. **CSB** sowie einem geringen **AFS** im Ablauf der Nachklärung ist die beste Voraussetzung für eine effiziente Mikroschadstoffelimination bei freier Verfahrensauswahl. Hohe Feststoffgehalte können besonders für Aktivkohleverfahren problematisch sein. Außerdem ist das Adsorptionsverhalten verschiedener Aktivkohlesorten bezüglich ausgewählter Mikroschadstoffe und des Summenparameters **CSB** (ggf. auch **DOC** – gelöster organischer Kohlenstoff) zu berücksichtigen. Das Adsorptionsverhalten kann für die Pulveraktivkohle durch Batch-Tests (Schüttelversuch) und für die granulierten Aktivkohle durch Säulenversuche oder Kleinfilterschnelltests (RSSCT) bestimmt werden.

Für eine optimale Auslegung der Ozonungsanlage ist das Ozonzehrungsverhalten des Abwassers in Laborbatch-Tests zu bestimmen, um die notwendige Kontaktzeit festzulegen. Ferner ist die Eignung der Ozonung anhand der Bromidkonzentration bzw. der Bromatbildung zu untersuchen, da aus **Bromid** durch Ozon kanzerogenes Bromat gebildet werden kann. Des Weiteren sollte die Nitritkonzentration überprüft werden, da durch die Oxidation von **Nitrit** zu **Nitrat** die Ozonzehrung erhöht und somit die Wirtschaftlichkeit der Ozonung negativ beeinflusst wird.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die folgenden vier Verfahrenskombinationen untersucht:

1. **Filtration über granuliert Aktivkohle.** Festbettadsorber werden der Filtrationsstufe nachgeschaltet.
2. **Pulverkohle vor dem Filter mit Rücklaufkohleführung.** (Absetzbecken optional) Abtrennung der PAK in einem Absetzbecken und im nachgeschalteten vorhandenen DynaSand® Sandfilter.
3. **Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filtration zur Nachbehandlung. (BAK)** Kombination aus einer vorgeschalteten Ozonung mit einer nachgeschalteten Filtration über granuliert Aktivkohle.
4. **Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett.** Ablauf des DynaSand® Sandfilters wird mit Ozon behandelt. Das wieder im Abwasserweg einbezogene Wirbelbett ist als Nachbehandlungsstufe nachgeschaltet.

### 9.3 Randbedingungen

### 9.4 Flächenbedarf

Aufgrund der vorhandenen Platzverhältnisse auf der Kläranlage Erkelenz-Mitte steht als Baufeld für die 4. Reinigungsstufe ausschließlich das Flurstück 81 außerhalb des Kläranlagegeländes zur Verfügung. Dies ist der **Abbildung 20** zu entnehmen.

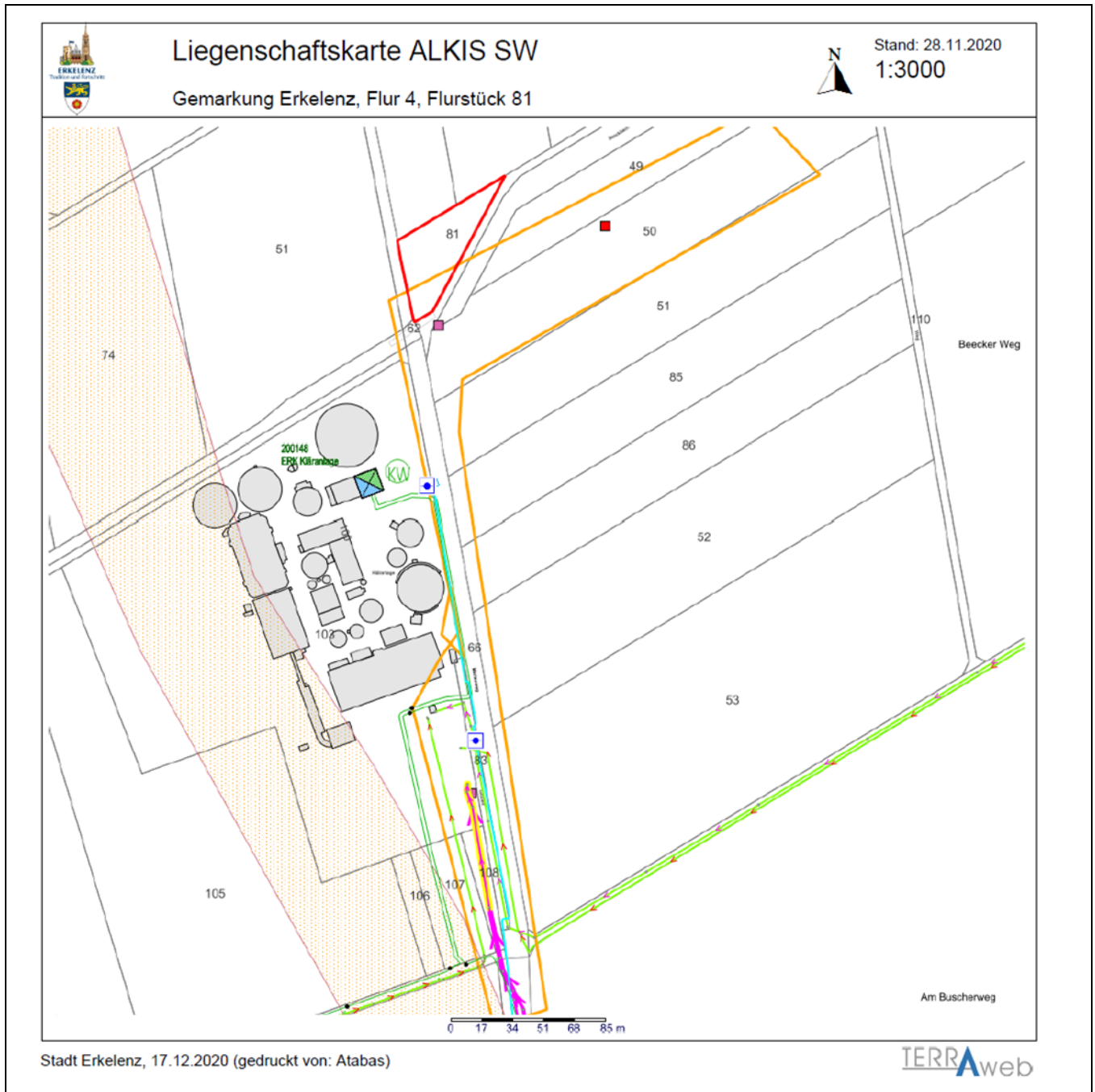


Abbildung 20: Liegenschaftskarte ARA Erkelenz-Mitte - [Terraweb 2021]

## 9.5 Redundanzen

Aufgrund der schwankenden Zuflüsse bei **Regen-** und **Trockenwetter** und aus wirtschaftlichen Gründen sowie Realisierung der Flexibilität beim Betrieb der neuen 4. Reinigungsstufe ist es sinnvoll die Anlage in zwei Straßen aufzuteilen. Außerdem hält der Betrieb der ARA Erkelenz eine redundante Ausführung der 4. Reinigungsstufe für vorteilhaft und notwendig.

## 9.6 Varianten

### 9.6.1 Variante 1: Filtration über granulierte Aktivkohle

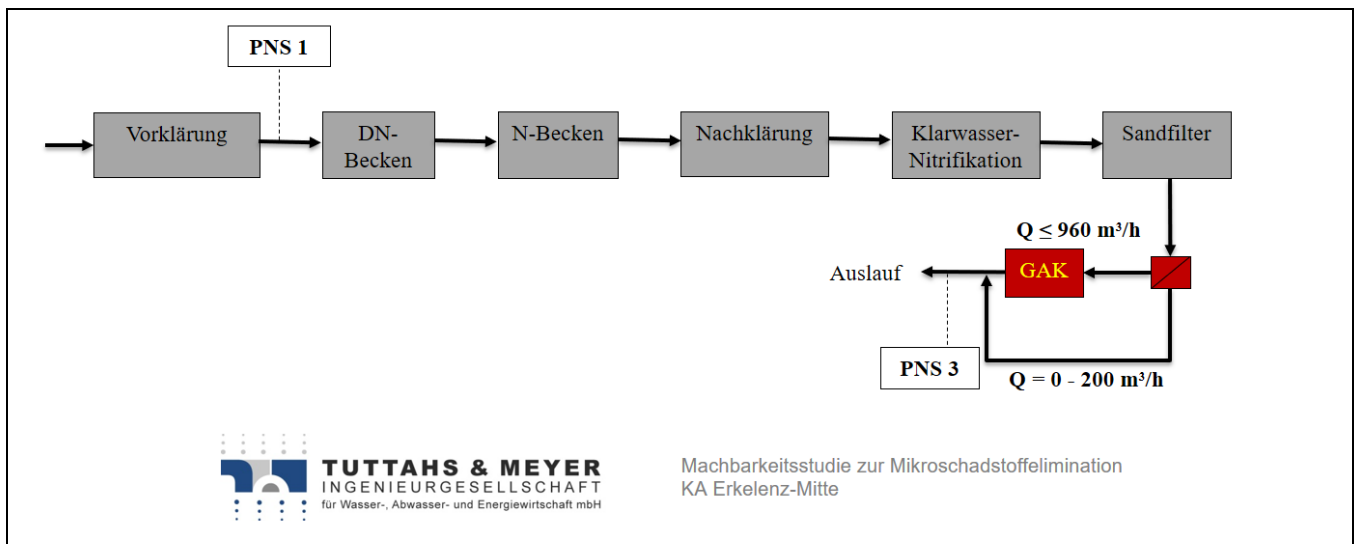
#### 9.6.1.1 Allgemein

Wie im **Kapitel 8.2.2.2** erwähnt, wird granulierte Aktivkohle entweder in eine bestehende Filteranlage eingebaut, wobei das vorhandene Filtermaterial gegen GAK ausgetauscht wird oder für die GAK ist eine neue Filteranlage z. B. als Druckkessel oder als konventioneller offener Rückspülfilter zu planen.

Da die Kläranlage Erkelenz-Mitte bereits mit einem DynaSand® Sandfilter ausgerüstet ist, werden die Aktivkohlefilter der bestehenden Sandfiltration nachgeschaltet. Der Suspensarückhalt erfolgt damit zuerst im Sandfilter und der ausgewählte **Vollstrom** von maximal 960 m<sup>3</sup>/h des partikelarmen Abwassers wird über die GAK-Filtration geführt. Der Rest der Durchflussmengen, die größer als 960 m<sup>3</sup>/h sind, werden direkt in den Beeckbach eingeleitet.

Es ist mit höheren Standzeiten der Kornkohle zu rechnen, wenn die Konkurrenz um die Adsorptionsplätze zwischen den Mikroschadstoffen und dem Rest **CSB** minimiert wird. Im Sandfilter wird schon ein Teil des partikulär gebundenen **CSB** zurückgehalten. Die GAK-Filtration dienen als „Polizeifilter“ für die Mikroschadstoffe. Nichtsdestotrotz bietet diese zweistufige Filtration besondere Sicherheit im Hinblick auf den Abschlag von Suspensa in den Vorfluter, wenn z. B. Schlamm aus der Nachklärung abtreibt.

In der **Abbildung 21** ist das Blockschema für das Verfahren dargestellt:



**Abbildung 21: Blockschema Variante 1: Filtration über granulierte Aktivkohle**

Die Filterstufe wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

- Leerbettkontaktzeit (EBCT): 10...30 min
- Filtergeschwindigkeit: 5...15 m/h
- Betthöhe GAK: 1,5...3 m

Folgende Werte wurden gewählt:

- Anzahl Filter: 6 Stück
- Betthöhe GAK: 3 m
- Leerbettkontaktzeit (EBCT): 30 min
- Filterfläche gesamt: 189 m<sup>2</sup>

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. So kann der Filterblock zusammen mit der benötigten Spülwasservorlage als ein Bauwerk realisiert werden.

Da die GAK-Filtration in erster Linie als Adsorber arbeiten und mit partikelarmem Abwasser beaufschlagt werden, kann von einer täglichen Rückspülung abgesehen werden. Die Rückspülungen sollten bei Bedarf erfolgen. In Berechnungen wurde von einem Spülintervall von einmal pro Woche ausgegangen.

Sontheimer et. al. (1985) nennen folgende Werte:

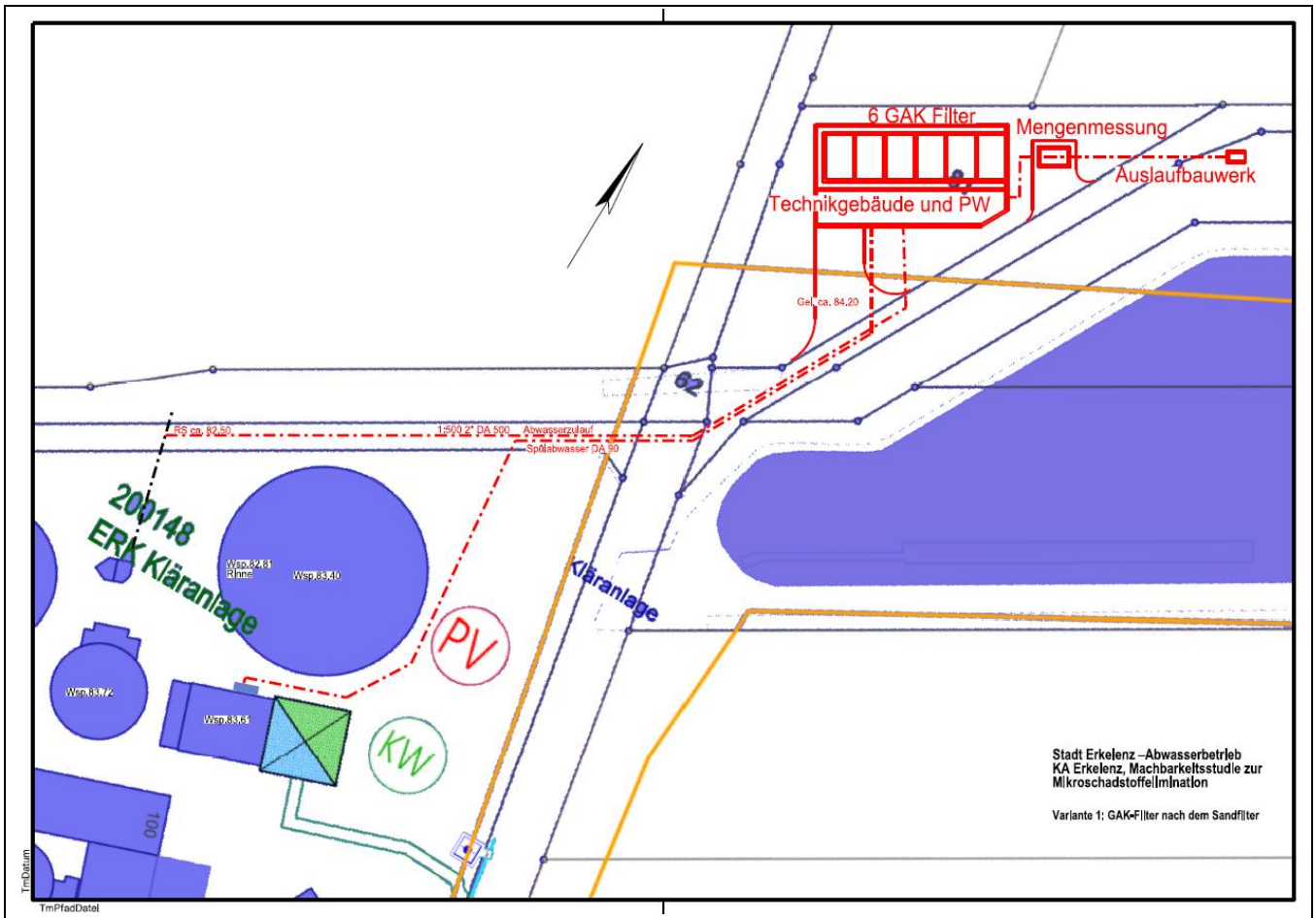
- Spülluftgeschwindigkeit: 60...80 m/h
- Spülwassergeschwindigkeit: 25...35 m/h

Das Filtrat aus der GAK-Filtration wird zur wöchentlichen Spülung in einer Spülwasservorlage zwischengespeichert. Das anfallende Spülabwasser wird auch in einer Spülabwasservorlage zwischengespeichert und wie das anfallende Spülabwasser vom DynaSand® Sandfilter wieder in den Kläranlagenzulauf geführt.

Die Standzeit der granulierten Aktivkohle in den Filtern wird mit 10.000 Bettvolumina (BV) angesetzt. Damit wird für die **Vollstrom**auslegungsmenge (960 m<sup>3</sup>/h) von einer Standzeit von ca. 1,5a ausgegangen. Durch den vorgeschalteten vorhandenen DynaSand® Sandfilter erfolgt schon eine weitgehende Entfernung der Feinsuspensa aus dem Abwasser. In der GAK-Filtration ist – neben der adsorptiven Wirkung – jedoch auch eine weitere Entfernung von suspendiert gelösten Wasserinhaltsstoffen zu erwarten.

### 9.6.1.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt die **Abbildung 22** dar. In einem Bauwerk sind ein Filterblock mit sechs Filterkammern, das Pumpwerk, der Spülabwasserspeicher sowie der Spülwasserspeicher untergebracht. Die Druckrohrleitung zwischen dem Ablaufschacht und der GAK-Filtration wird zweistraßig ausgeführt.



**Abbildung 22: Lageplanausschnitt Variante 1: Filtration über granulierte Aktivkohle**

Die GAK-Filtration wird zweistraßig ausgeführt. Bei geringem Durchfluss kann eine Straße außer Betrieb genommen werden.

Folgende Anlagenkomponenten sind für die Ausführung erforderlich.

#### **Pumpen 4. Reinigungsstufe**

Die Beschickung der GAK-Filtration erfolgt aus dem Ablauf der Kläranlage über zwei Druckrohrleitungen, die jeweils mit einer im erweiterten Ablaufschacht vorgesehenen nassaufgestellten Pumpe beschickt werden. Eine weitere Pumpe steht als Reserve zur Verfügung. Die Pumpen heben den Strom auf das Niveau in der Zulaufrinne der Filter. Durch die Regulierungen im erweiterten Ablaufschacht werden die Durchflussmengen größer als  $960 \text{ m}^3/\text{h}$  direkt in den Bieckbach geleitet.

Mittels zwei vorgesehenen Pumpen (eine als Reserve), die in der Spülabwasservorlage eingesetzt sind, wird das Spülabwasser, wie das Spülabwasser vom DynaSand® Sandfilter wieder in den Kläranlagenzulauf geführt.

Der Ablauf in den Bieckbach erfolgt über das vorgesehene Auslaufbauwerk im Freigefälle. Vor dem neuen Auslaufbauwerk ist eine Durchflussmengenmessung vorgesehen.

## Filterblock

Der Filterblock besteht aus sechs abwärtsdurchströmten offenen Filtern. Jede Filterkammer weist eine Fläche von 32 m<sup>2</sup> auf. Die Abmessungen einer Filterkammer liegen bei einer Breite von 4,60 m und einer Länge von 7 m. Der Zulauf zu den sechs Filtern erfolgt aus einer Druckrohrleitung aus dem Ablaufschacht. Über mit Schiebern versehene Öffnungen im Gerinne fließt das Wasser in die Filterkammern.

## Spülwasserspeicher

Das Filtrat der Adsorptionsstufe wird in einer Spülwasservorlage gespeichert. Der Überlauf des Spülwasserspeichers wird über eine Rohrleitung zum Ablaufschacht der Kläranlage zurückgeführt. Wie schon erwähnt, sind für die Rückspülung der Filter zwei Rückspülpumpen vorgesehen. Es ist eine Spülwasserspeichervorlage mit einem Volumen von 90 m<sup>3</sup> vorgesehen.

## Spülabwasserspeicher

Das bei der Rückspülung anfallende Spülabwasser wird in einer Spülabwasservorlage mit einem vorgesehenen Volumen von 90 m<sup>3</sup> gespeichert und, wie das anfallende Spülabwasser vom DynaSand® Sandfilter, dem Kläranlagenzulauf gepumpt.

## Einhausung E- und Aggregate-Raum

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

## 9.6.2 Variante 2: PAK vor dem Filter mit Rücklaufkohle

### 9.6.2.1 Allgemein

Eine Möglichkeit, die Kohle weitestgehend mit Mikroschadstoffen zu beladen, ist der Einsatz eines Kontaktbeckens mit nachgeschaltetem PAK-Rückhalt. Die PAK wird bei diesem Verfahren zur Mehrfachbeladung von der PAK-Rückhaltstufe wieder ins Kontaktbecken zurückgeführt. Dies ermöglicht eine Entkopplung der Aufenthaltszeit der Kohle von der hydraulischen Aufenthaltszeit. Überschüssige Kohle wird meist in die biologische Stufe oder in die Nachklärung zurückgeführt und gelangt somit zusammen mit dem Überschussschlamm in die Schlammbehandlung. Der Ablauf der PAK-Kontaktstufe beinhaltet in der Regel noch PAK-Partikel, die nicht ins Gewässer gelangen dürfen, und muss durch eine anschließende Filtrationsstufe zum PAK-Rückhalt nachbehandelt werden.

Diese Stufe wurde nach Empfehlung der Bezirksregierung Köln, als einziges Verfahren mit **Teilstrom**behandlung ausgelegt. Mit einer **Teilstrom**auslegung von 680 m<sup>3</sup>/h wird ca. 90 % der JAM behandelt. Wird eine PAK-Adsorptionsstufe für den **Teilstrom** geplant, wird als Nachbehandlungsverfahren eine Endfiltration für den **Vollstrom** als erforderlich erachtet. Grund dafür ist die Rezirkulation der beladenen PAK in die biologische Stufe, womit diese in den **Vollstrom** der Kläranlage überführt wird. Kommt es zu Durchflussspitzen, wodurch vor der PAK-Adsorption abgeschlagen wird, kann es zum Austrag der PAK einschließlich adsorbierter Mikroschadstoffe aus der biologischen Stufe ins Gewässer kommen.

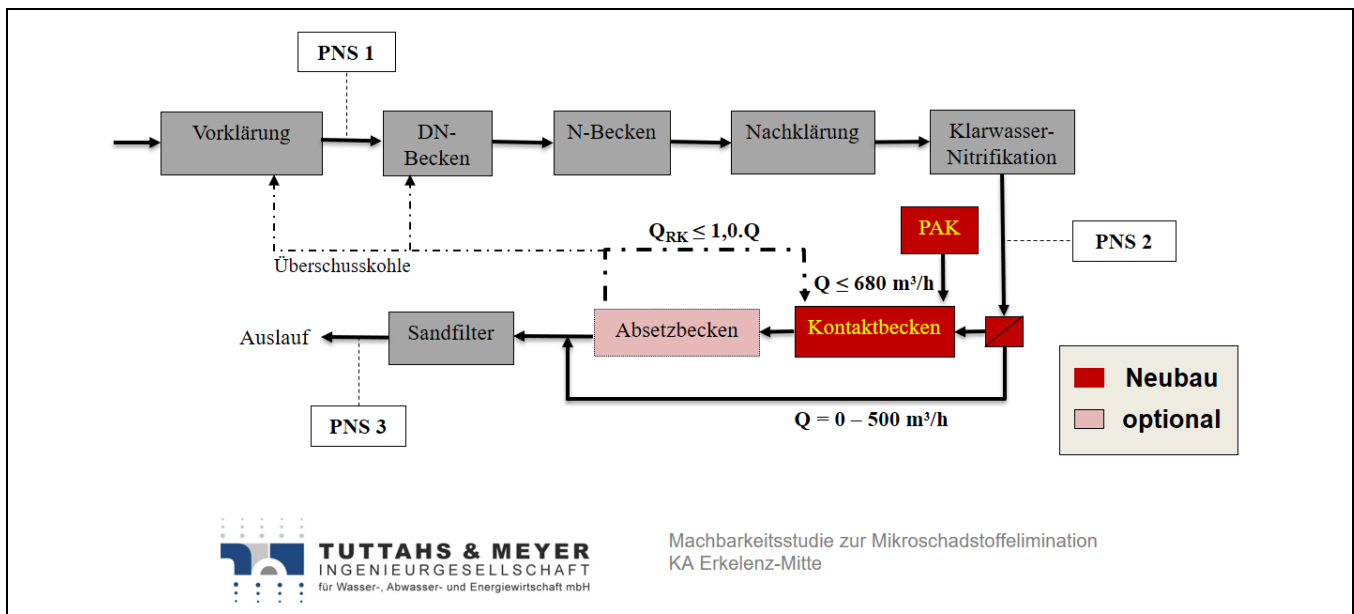


Für die Rückführung der Kohle ist ein Absetzbecken notwendig. Die Rücklaufkohle wird zusammen mit der Frischkohle im Zulauf des Kontaktbeckens dem **Teilstrom** aus dem Ablauf der Klarwassernitrifikation zugegeben. Im dem Absetzbecken vorgeschalteten Kontaktbecken erfolgt der eigentliche Adsorptionsvorgang. Der im Absetzbecken zurückgehaltene Kohleschlamm wird als Rücklaufkohle wieder in den Zulauf des Kontaktbeckens zurückgefordert.

Entsprechend der Frischkohledosierung wird ein Teil der rückgeführten Kohle als Überschussschleim, wie der in der Nachklärung anfallenden Überschussschleim, in die biologische Stufe zurückgeführt. Besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Pulverkohle mehrfach mit dem Abwasser in Kontakt kommt, um die Beladungskapazität möglichst gut ausnützen zu können.

Für die ARA Erkelenz-Mitte würde dies bedeuten, dass ein Kontakt- und ein Absetzbecken sowie ein Silo einschließlich der Dosiertechnik für die Pulverkohle errichtet werden müssten.

In der **Abbildung 23** ist das Blockschema für das Verfahren dargestellt:



**Abbildung 23: Blockschema Variante 2: PAK-Dosierung mit Rücklaufkohle**

Dieses Verfahren wurde, wie schon im **Kapitel 8.2.2.1** beschrieben, an einigen Standorten in Baden-Württemberg umgesetzt. Erfahrungen aus Baden-Württemberg zeigen, dass die Suspensabelastung des Filters zurückgeht, da durch den Einsatz von Fällungs- und Flockungshilfsmittel ein Teil der Partikel schon im Absetzbecken abgeschieden wird und nicht auf die Filtration gelangt. Dies bedeutet eine Erhöhung der Betriebssicherheit der Anlage im Hinblick auf den Suspensarückhalt.

Der Einsatz von Fäll- und Flockungsmittel ist notwendig, um einen Durchbruch der Kohle durch die Filter zu verhindern. Erwähnenswert ist, dass ein Mehrverbrauch an Fällmittel gegenüber dem Ausgangszustand beispielsweise in Böblingen-Sindelfingen nicht festgestellt werden konnte, da die Dosierung der Simultanfällung reduziert werden konnte. Die Dosierung hat sich also in die 4. Reinigungsstufe verlagert.



An der Beckenperipherie wird die Rücklaufkohlepumpe (Schneckenpumpwerk) angeordnet. Diese fördert die Rücklaufkohle wieder in den Zulauf vor dem Kontaktbehälter zurück. Es wird von einem maximalen Rücklaufkohleverhältnis von 1 ausgegangen ( $Q_{RK} \leq Q_{Zulauf\ 4.\ RS}$ ). Die Überschussschlamme wird über eine weitere Pumpe und wie der Überschussschlamm der Nachklärung zur Vorklärung oder zur biologischen Stufe zurückgeführt.

### **Kontaktbecken und Absetzbecken**

Die Beschickung des Kombibeckens der PAK-Stufe erfolgt aus dem Ablauf der Klarwassernitrifikation über zwei Druckrohrleitungen, die jeweils mit einer im neuen Pumpenschacht vorgesehenen nassaufgestellten Pumpe versorgt werden. Die Pumpen heben den Strom auf das Niveau der Zulaufstrecke des Kombibeckens. Durch die vorgesehene Regulierung im Pumpenschacht werden die Durchflussmengen über 680 m<sup>3</sup>/h direkt dem DynaSand® Sandfilter beaufschlagt.

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

Das Absetzbecken wird mit einem Innendurchmesser von 22,5 m ( $D_a = 23,80$  m) ausgeführt. Das Becken wird mit einem Rundräumer ausgerüstet. Das Volumen des Kontaktbeckens beträgt 369 m<sup>3</sup>. Die Beckentiefe ( $h_{2/3}$ ) liegt bei 3,8 m.

Das Kontaktbecken wird mit einer Breite von 1,3 m umlaufend um das Absetzbecken ausgeführt. Das Volumen des Absetzbeckens beträgt ca. 1400 m<sup>3</sup>.

### **PAK-Silo**

Das Silo zur Lagerung der Aktivkohle mit einem Inhalt von 125 m<sup>3</sup> wird neben dem Absetzbecken erstellt. Die Dosierung der Frischkohle erfolgt in den Zulauf des Kontaktbeckens. Das Treibwasser (5 bis 7 m<sup>3</sup>/h) für die PAK-Dosierung wird über eine gesonderte Pumpe aus dem Zulaufschacht des Kombibeckens entnommen.

### **Flockungs- und Flockungshilfsmittel**

Als Flockungsmittel wird Eisen-III-Chlorid-Lösung vorgesehen. Derzeit erfolgt auf der ARA Erkelenz-Mitte eine Simultanfällung mit Eisen-Chlorid-Lösung. Es ist eine Bereitungsanlage für das Flockungshilfsmittel vorgesehen.

### **Einhausung E- und Aggregate-Raum**

Es wird ein Technikgebäude zur Unterbringung der Pumpwerke sowie Schaltanlage vorgesehen.

## **9.6.3 Variante 3: Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filteration (BAK)**

### **9.6.3.1 Allgemein**

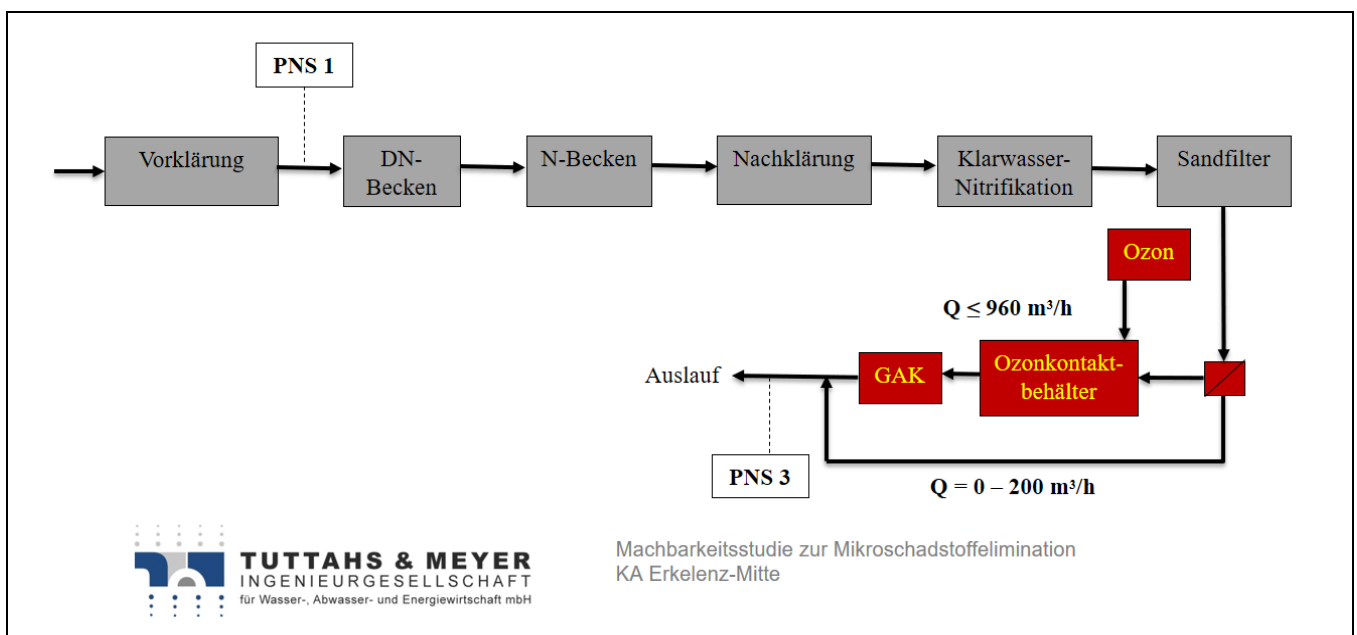
Dieses Verfahren ist eine Kombination der GAK-Filteration und Ozonung. Der wesentliche Vorteil dieser Verfahrenskombination ist die Überführung hochmolekularer organischer Verbindungen in kleinere Bruchstücke durch die Vorozonung und die damit einhergehende verbesserte Adsorption der

niedermolekularen **DOC**-Bestandteile, die nicht mehr zur oberflächigen Verblockung der Adsorptionsplätze führen. Zusätzlich erfolgt durch die nachgeschaltete Adsorptionsstufe eine Entfernung der Substanzen aus dem Abwasser, wohingegen bei der Ozonung nur eine Teilmineralisierung erreicht werden kann. Durchbruchskurven des **DOC** lassen bei der Verfahrenskombination die Schlussfolgerung zu, dass durch den Einsatz von geringen Ozondosen und anschließender GAK-Filtration, die Standzeiten der GAK deutlich verlängert werden können. Die beschriebene Verfahrenskombination verspricht somit eine breitere Eliminationswirkung bei gleichzeitig geringeren Kosten im Vergleich zu den Einzelverfahren.

Diese zweiteilige Verfahrensstufe wird dem aktuellen Kläranlagenablauf nachgeschaltet. Das durch diese 4. Reinigungsstufe behandelte Abwasser wird direkt in den Beekbach geleitet.

Das Abwasser wird zunächst mit Ozon behandelt und anschließend über einen Aktivkohlefilter geführt. Im Unterschied zur reinen GAK-Filtration (Variante 1) verbleibt das Filtermaterial sehr lange im Filter. In der Berechnung wird von einer Standzeit von 4,5a ausgegangen. Ziel ist es, dass im Filter neben der Adsorption vor allem ein biologischer Abbau stattfindet. Hier sollen neben den Mikroschadstoffen auch biologisch abbaubare Rest-Organika abgebaut werden. In der Trinkwasseraufbereitung findet dieses Verfahrenskonzept seit den 1970er-Jahren schon Anwendung. In diesem Zusammenhang wird von einem biologisch aktivierten Aktivkohlefilter (BAK) gesprochen.

In der **Abbildung 25** ist das Blockscha für das Verfahren dargestellt:



**Abbildung 25: Blockscha Variante 3: Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filtration (BAK)**

Die Ozonung wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

- Ozondosis: 2...10 g/m<sup>3</sup>
- Kontaktzeit im Reaktionsbehälter: 10...30 min

Folgende Werte wurden gewählt:

- Anzahl Kontaktbehälter: 2 Stück
- Wassertiefe Kontaktbehälter: 6 m

Die Berechnung der mittleren Ozondosis wurde anhand der **CSB**-Konzentrationen im Ablauf der Nachklärung bestimmt. Im Mittel kann hier ein **CSB**-Wert von 24,22 mg/l (Betriebsdaten Analytik) angesetzt werden. Als Verhältnis **CSB/DOC** wird ein Wert von 3:1 angesetzt.

Der Einfluss des partikulär gebundenen **CSB** wird hierbei nicht betrachtet. Damit ergibt sich eine berechnete **DOC**-Konzentration im Ablauf der Nachklärung von 8,07 mg/l. Die großtechnischen Versuche in Regensdorf [Abegglen et. al. 2009] kamen zu dem Ergebnis, dass eine Dosis von 0,62 mg O<sub>3</sub>/mg **DOC** hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Wirkung ein Optimum darstellte. Dieser Wert wurde hier übernommen.

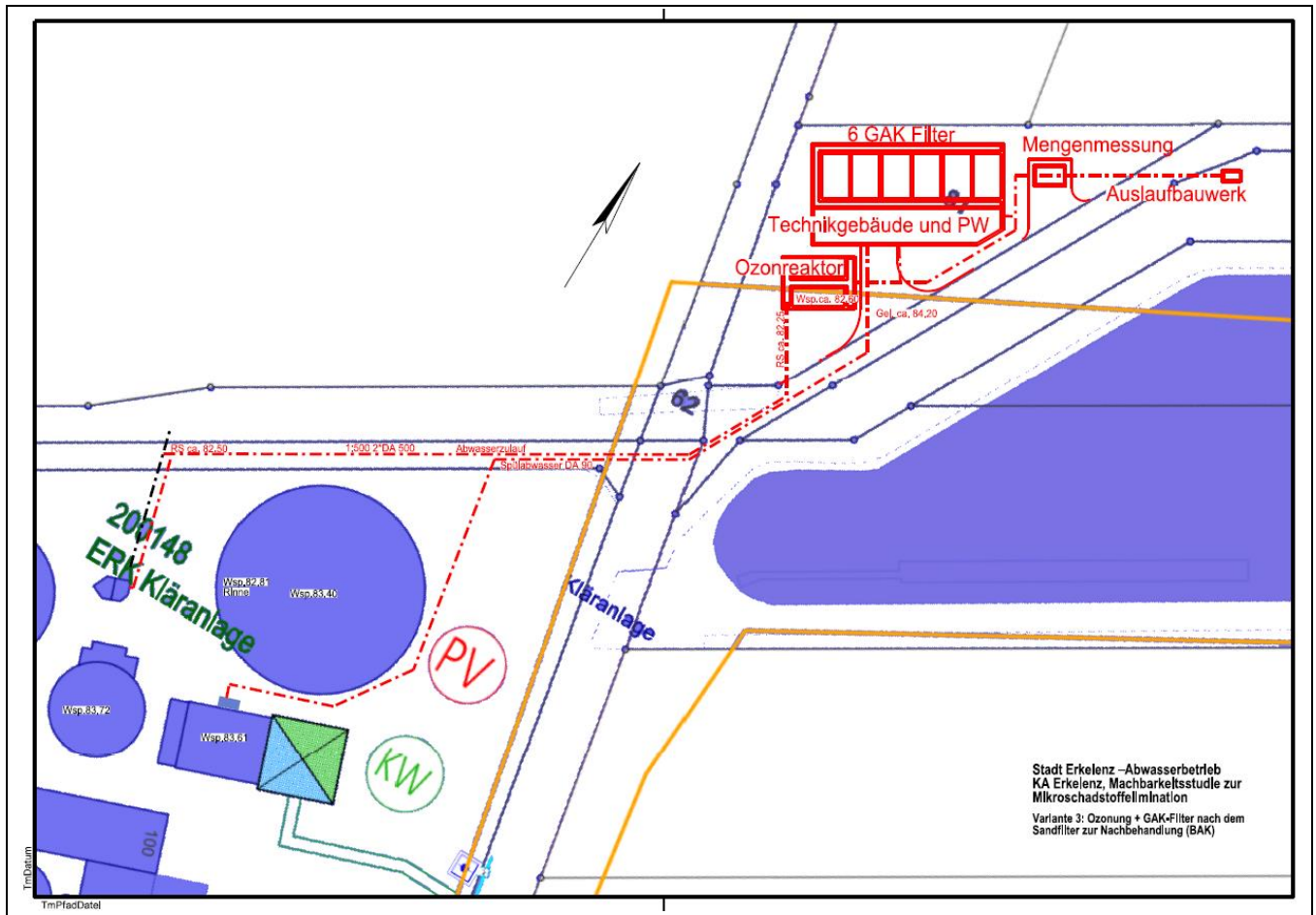
Damit ergibt sich die mittlere Ozondosis zu:

$$c_{O_3,a} = 8,07 \text{ mg DOC / l} \cdot 0,62 \text{ mg O}_3/\text{mg DOC} = 5,00 \text{ mg O}_3/\text{l} \approx \mathbf{5 \text{ mg O}_3/\text{l}}$$

Die GAK-Filtration entspricht in ihrer Auslegung der Variante 1.

### 9.6.3.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt **Abbildung 26** dar.



**Abbildung 26: Lageplanausschnitt Variante 3: Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filtration (BAK)**

Die Ozonung mit Ozonerzeuger und Kontaktbecken wird zweistraßig ausgeführt. Bei einem geringen Durchfluss kann eine Straße außer Betrieb genommen werden.

Folgende Anlagenkomponenten sind für die Ausführung erforderlich.

#### **Pumpen 4. Reinigungsstufe**

Die Beschickung der Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filtration erfolgt aus dem Ablauf der Kläranlage über zwei Druckrohrleitungen, die jeweils mit einer im erweiterten Ablaufschacht vorgesehenen nassaufgestellten Pumpe beschickt werden. Eine weitere Pumpe steht als Reserve zur Verfügung. Die Pumpen führen das Abwasser aus dem Ablaufschacht den zwei Ozonreaktoren zu. Des Weiteren wird das durch die Ozonung behandelte Abwasser der GAK-Filtration zugeführt. Durch die Regulierungen im erweiterten Ablaufschacht werden die Durchflussmengen, größer als  $960 \text{ m}^3/\text{h}$ , direkt in den Bieckbach geleitet.

Mittels zwei vorgesehenen Pumpen (eine als Reserve), die in der Spülabwasservorlage eingesetzt sind, wird das Spülabwasser der GAK-Filtration, analog dem Spülabwasser vom DynaSand® Sandfilter, wieder in den Kläranlagenzulauf geführt.

Der Ablauf in den Bieckbach erfolgt über das vorgesehene Auslaufbauwerk im Freigefälle. Vor dem neuen Auslaufbauwerk ist eine Durchflussmengenmessung vorgesehen.

## **Kontaktbehälter**

Die beiden Kontaktbehälterstraßen sind 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 et. al. (2011) zeigten, dass weitere Einbauten (Leitwände) die Effizienz nicht nachhaltig verbessern. Das Volumen der Kontaktbehälter beträgt 408 m<sup>3</sup>.

Der Ozoneintrag kann über eine **Teilstrom**begasung mit Injektoren oder über Diffusoren direkt in das Abwasser erfolgen. Im konkreten Fall wird der Eintrag über Diffusoren gewählt, da er verfahrenstechnisch einfacher zu realisieren ist (kein weiterer Kreislauf mit Pumpe). Die Restozonvernichtung erfolgt thermisch/katalytisch. Der Ablauf der Behälter wird über ein Gerinne in die anschließende GAK-Filtration geführt.

## **Ozonerzeugung**

Die Ozonerzeuger weisen eine Leistung von 2 x 3.000 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) aus dem Ablauf der GAK-Filtration bereitgestellt. Die Erzeuger werden mit der zugehörigen Schaltanlage in Containern untergebracht.

## **Filterblock**

Der Filterblock besteht aus sechs abwärtsdurchströmten offenen Filtern. Jede Filterkammer weist eine Fläche von 32,2 m<sup>2</sup> auf. Die Abmessungen einer Filterkammer liegen bei einer Breite von 4,60 m und einer Länge von 7 m.

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

## **Spülwasserspeicher**

Das Filtrat der Adsorptionsstufe wird in einer Spülwasservorlage mit 90 m<sup>3</sup> Inhalt gespeichert. Der Überlauf des Spülwasserspeichers wird wieder in das neu errichtete Ablaufgerinne der Kläranlage geführt. Für die Rückspülung der Filter sind zwei Rückspülpumpen vorgesehen.

## **Spülabwasserspeicher**

Das bei der anfallenden Rückspülung anfallende Spülabwasser wird in einer Spülabwasservorlage mit einem Volumen von 90 m<sup>3</sup> zwischengespeichert und über eine Pumpe dosiert mit dem anfallenden Spülabwasser vom DynaSand® Sandfilter dem Zulauf der Kläranlage zugeführt.

## **Einhausung E- und Aggregate-Raum**

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



## 9.6.4 Variante 4: Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett

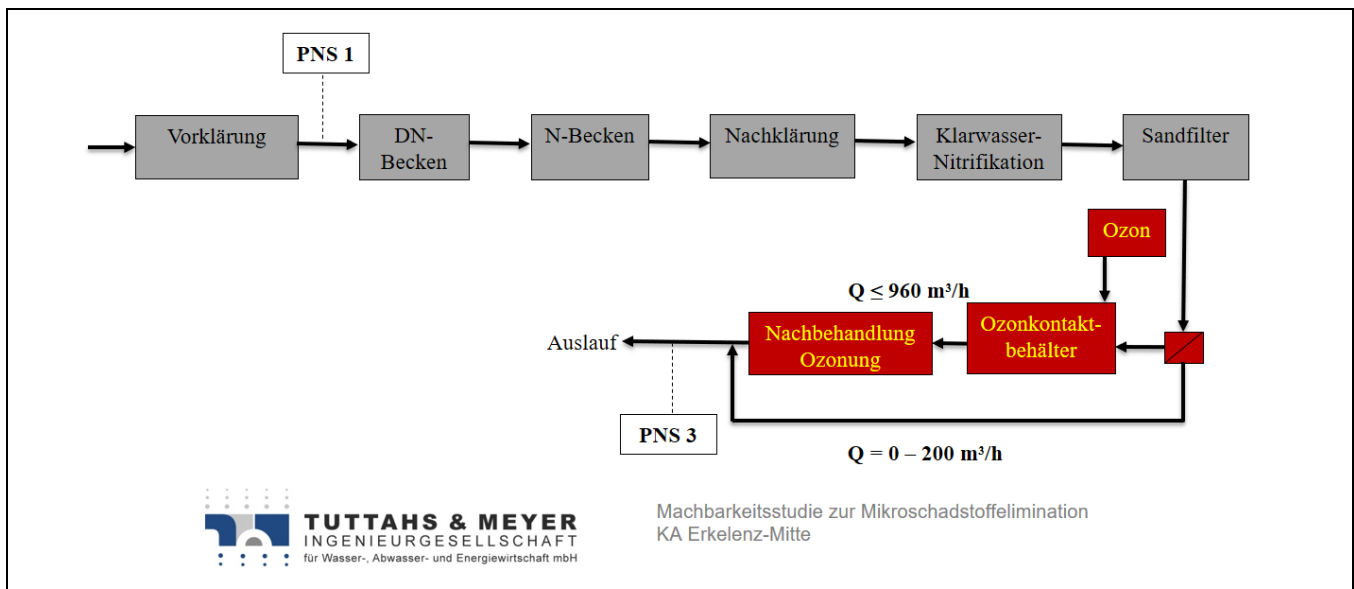
### 9.6.4.1 Allgemein

Bei dieser Variante wird das Klarwasser aus dem DynaSand® Sandfilter zunächst mit Ozon behandelt. Der Ablauf der Ozonung wird in das nachgeschaltete Wirbelbett zum Abbau eventuell toxisch bedenklicher Stoffe geführt. Dieses Verfahren ist bereits in drei Projekten – namentlich im ReT-REAT-Projekt auf der ARA Neugut, auf der ARA ProRhenon sowie im großtechnischen Maßstab auf der Kläranlage Duisburg Vierlinden – zum Einsatz gekommen.

Das Wirbelbett hat eine Abbauleistung bezüglich der Nitrosamine (NDMA) gezeigt. Die Elimination von labilen, toxischen Reaktionsprodukten konnte in den bisherigen Untersuchungen noch nicht überprüft werden, da in den durchgeführten Projekten keine substantiellen ökotoxikologischen Effekte durch die Ozonung aufgetreten sind [Böhler et. al. 2017].

Bei einem Wirbelbett handelt es sich um ein „offenes“ System. Das bedeutet, dass keine substantielle Feststoffabtrennung stattfindet. Dafür ist der Druckverlust über das Wirbelbett auch deutlich geringer als bei einem Filtersystem (wie beispielsweise beim Sandfilter). Aufgrund der biologisch aktiven Biofilmträger ist eine nitrifizierende Wirkung vorhanden, organische Spurenstoffe werden nicht weiter abgebaut. Das Wirbelbett ist relativ einfach im Betrieb. Die Schnittstellen zur bestehenden Anlage sind minimal. Eine zusätzliche Belüftung nach einer Ozonung ist nicht notwendig, jedoch muss der Reaktor aktiv durchmischt werden. Ein Wirbelbett scheint als ein Nachbehandlungsverfahren der Ozonung geeignet zu sein. Allerdings kann aufgrund der aktuellen Datenlagen keine sichere Empfehlung abgegeben werden.

In der **Abbildung 27** ist das Blockschema für das Verfahren dargestellt:



**Abbildung 27: Blockschema Variante 4: Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett**

Das Wirbelbett wird anhand folgender Bemessungsparameter ausgelegt:

- Oberflächenbeschickung: 7,3...13,3 (l/m<sup>2</sup>)/h
- Hydraulische Kontaktzeit: 16...30 min



Folgende Werte wurden gewählt:

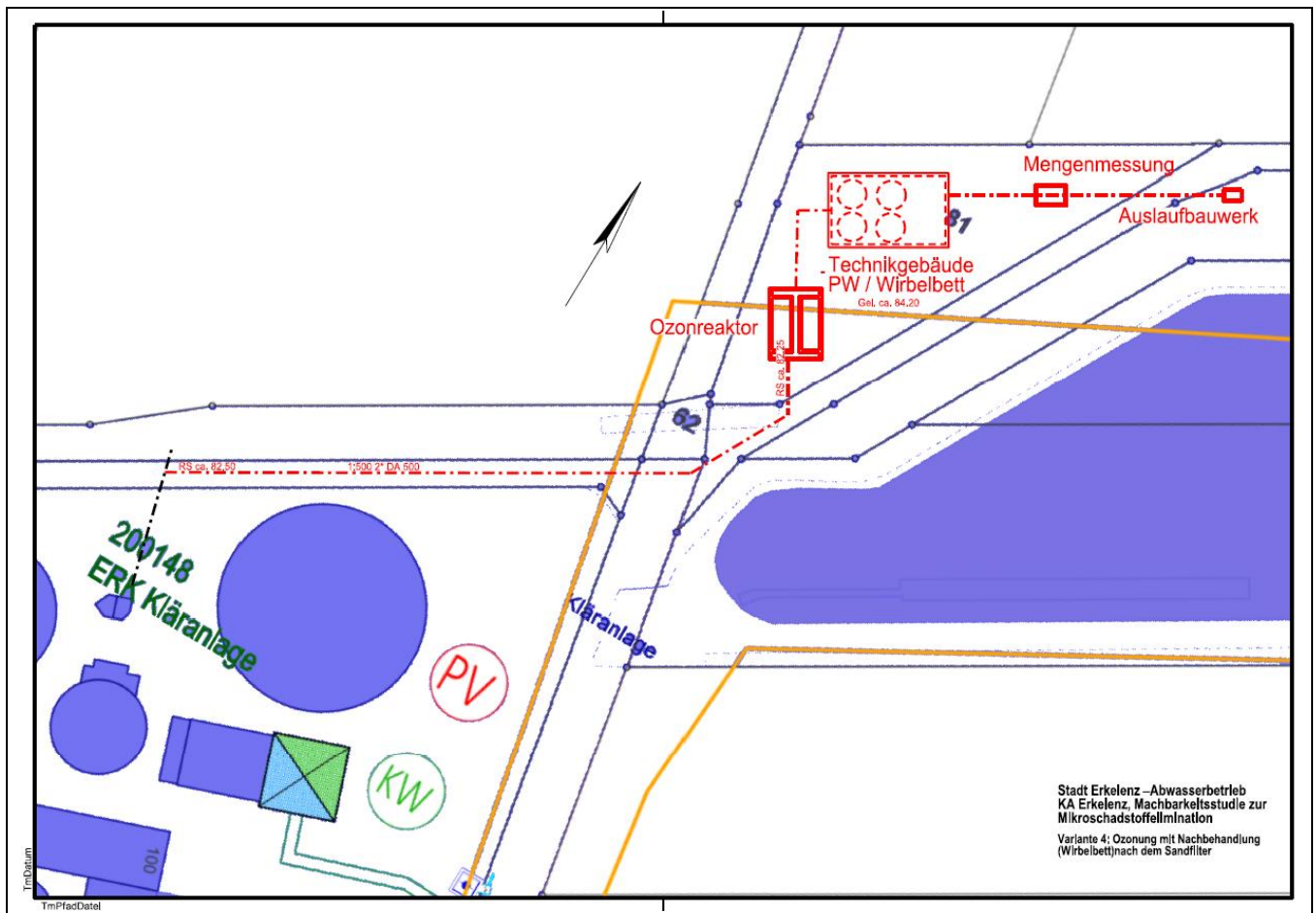
- Oberflächenbeschickung: 10 (l/m<sup>2</sup>)/h
- Hydraulische Kontaktzeit: 30 min
- Tiefe Wirbelbett-Reaktoren: 5 m

Bei einer Kontaktzeit von 30 min und einer Beckentiefe von 5 m beträgt der spezifische Flächenbedarf der Wirbelbett-Reaktoren 0,1 m<sup>2</sup>/(m<sup>3</sup>/h). Mit einer maximalen Durchsatzmenge von 960 m<sup>3</sup>/h wird eine Oberfläche von ca. 96 m<sup>2</sup> für Wirbelbett-Reaktoren benötigt.

Die Ozonung entspricht in ihrer Auslegung der Variante 3.

### 9.6.4.2 Ausführung

Den Lageplan der Variante stellt die **Abbildung 28** dar.



**Abbildung 28: Lageplanausschnitt Variante 4: Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett**

Die Anlagenteile gliedern sich in das zweistraßige Kontaktbecken sowie die Halle für Ozonerzeuger und Schaltanlage mit davor angeordneter Flüssig-Sauerstofftankanlage. Bei einem geringen Durchfluss (z. B. in der Nacht) kann eine Straße außer Betrieb genommen werden.

Folgende Anlagenkomponenten sind für die Ausführung erforderlich.

## **Pumpen 4. Reinigungsstufe**

Die Beschickung Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett erfolgt aus dem Ablauf der Kläranlage über zwei Druckrohrleitungen, die jeweils mit einer im erweiterten Ablaufschacht vorgesehenen nass-aufgestellten Pumpe beschickt werden. Eine weitere Pumpe steht als Reserve zur Verfügung. Die Pumpen führen das Abwasser aus dem Ablaufschacht den zwei Ozonreaktoren zu. Des Weiteren wird das durch die Ozonung behandelte Abwasser den Wirbelbett-Reaktoren zugeführt. Durch die Regulierungen im erweiterten Ablaufschacht werden die Durchflussmengen, größer als 960 m<sup>3</sup>/h, direkt in den Beeckbach geleitet.

Der Ablauf in den Beeckbach erfolgt über das vorgesehene Auslaufbauwerk im Freigefälle. Vor dem neuen Auslaufbauwerk ist eine Durchflussmengenmessung vorgesehen.

## **Kontaktbehälter**

Die beiden Kontaktbehälterstraßen werden als Betonbauwerk erstellt. Die Behälter verfügen über keine Einbauten, außer einer unterströmten Tauchwand im letzten Drittel des Behälters. Dieser Bereich dient als Entspannungszone. Untersuchungen von Herbst et. al. (2011) zeigten, dass weitere Einbauten (Leitwände) die Effizienz nicht nachhaltig verbessern. Das Volumen der Kontaktbehälter beträgt 408 m<sup>3</sup>.

Der Ozoneintrag kann über eine Strombegasung mit Injektoren oder über Diffusoren direkt in das Abwasser erfolgen. Im konkreten Fall wird der Eintrag über Diffusoren gewählt, da er verfahrenstechnisch einfacher zu realisieren ist (kein weiterer Kreislauf mit Pumpe). Die Restozonvernichtung erfolgt thermisch/katalytisch. Der Ablauf der Behälter wird über ein Gerinne in die anschließende GAK-Filtration geführt.

## **Ozonerzeugung**

Die Ausführung der Ozonerzeugung ist identisch zu Variante 3. Die Ozonerzeuger weisen eine Leistung von 2 x 3.000 g/h auf. Als Prozessgas ist flüssiger Sauerstoff vorgesehen. Die Kühlung erfolgt über einen Nass/Nass-Wärmeüberträger, der ebenfalls im Container untergebracht ist. Das benötigte Kühlwasser im Sekundärkreislauf wird über zwei Pumpen (eine Reserve) aus dem Ablauf der GAK-Filtration bereitgestellt.

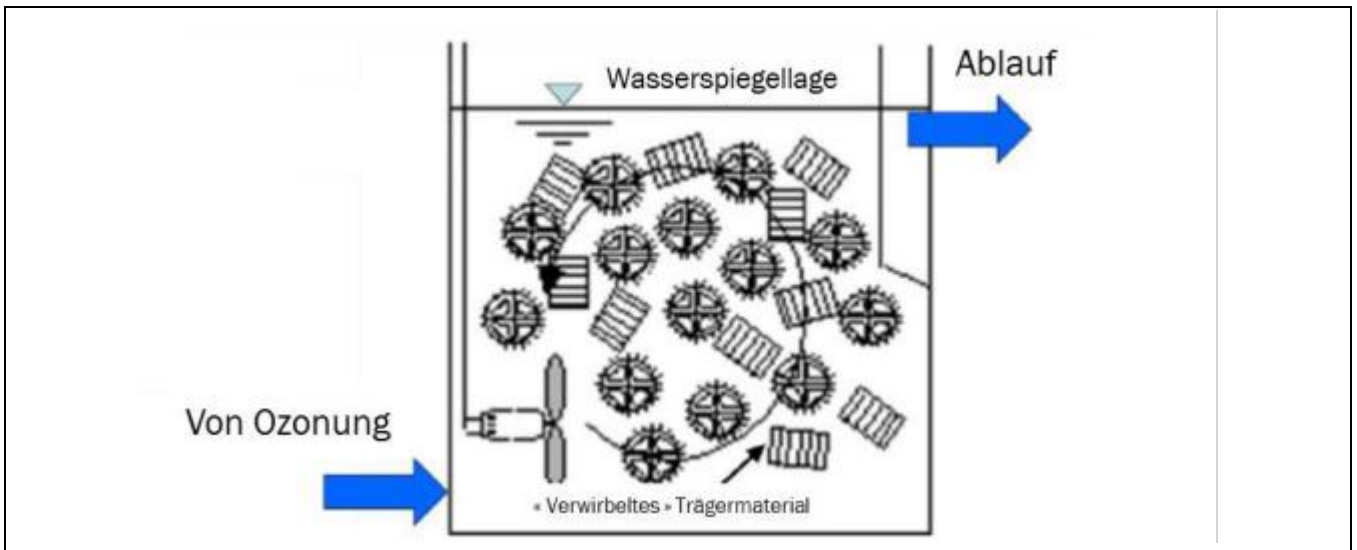
Die Erzeuger werden mit der zugehörigen Schaltanlage in einer Einhausung untergebracht. Die Sauerstoff-Tankanlage wird neben dem Ozonreaktor angeordnet.

## **Wirbelbett**

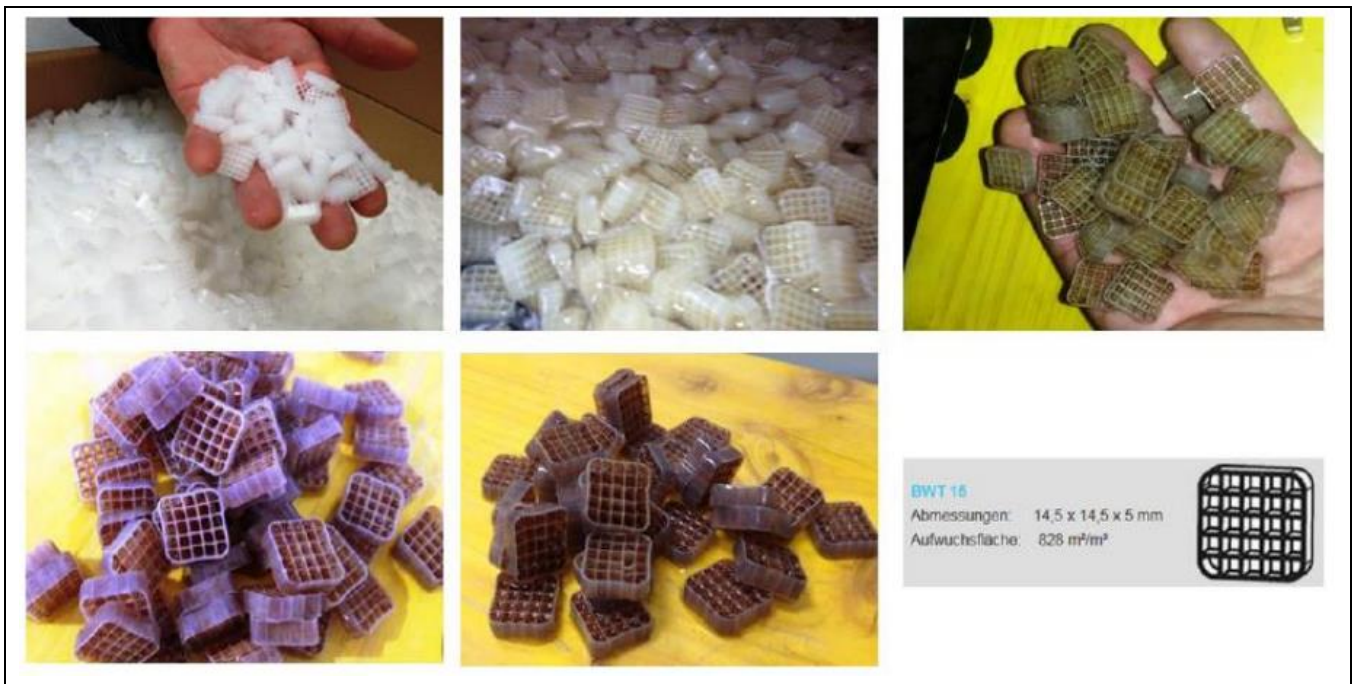
Die beiden Ozonungsbehälter werden über zwei Rohrleitungen an das Pumpwerk 4. Reinigungsstufe angebunden. Der Ablauf der Behälter wird über ein Pumpwerk den vorgesehenen Wirbelbett-Reaktoren zugeführt.

Bei einem Wirbelbett handelt es sich um ein in der biologischen Abwasserreinigung etablierten Biofilmverfahren. Es besteht unter anderem aus einem Trägermaterial (geringere spezifische Dichte als Wasser und daher auf der Wasseroberfläche aufschwimmend), welches aktiv (mittels Rührwerken oder Belüftungsvorrichtungen) durchmischt werden muss (siehe **Abbildung 29** und **Abbildung 30**).

Auf dem Trägermaterial – mit einer hohen spezifischen Oberfläche - wachsen Mikroorganismen, welche für die biologische Reinigung verantwortlich sind [Böhler et. al. 2017].



**Abbildung 29:** Ein allgemeines Verfahrensschema eines Wirbelbetts als biologische Nachbehandlungsstufe [Böhler et. al. 2017].



**Abbildung 30:** Biofilmträger ohne Biofilmbewuchs und zunehmender Bewuchs im Verlauf der Betriebszeit. Das zweite Bild oberste Reihe zeigt bereits eine feine Biofilmbildung (hellbraune Einfärbung) nach knapp 6 Wochen Betrieb [Böhler et. al. 2017].

### Einhausung E- und Aggregate-Raum

Der Bereich oberhalb den Wirbelbettreaktoren wird eingehaust, um die Schaltanlage sowie das Pumpwerk aufzunehmen.

### 9.7 Ergebnisübersicht Varianten

	Variante 1 Filtration über GAK	Variante 2 PAK vor dem Sandfilter mit Rücklaufkohle	Variante 3 Ozonung mit nachgeschaltetem GAK-Filter (BAK)	Variante 4 Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett
Anlagenkomponenten				
	<p><b>GAK-Filtration:</b> 6 Filter, B x L = 4,6 x 7,0 m A = 193,2 m², H<sub>FB</sub> = 2,5 m, V = 483 m³</p>	<p><b>Kontaktbecken:</b> als Umlaufbecken Abmessungen: Anlage 1</p> <p><b>PAK-Silo:</b> V = 125 m³</p> <p><b>Flockungsmittel</b></p> <p><b>Flockungshilfsmitteldosierung</b></p>	<p><b>Flüssigsauerstoff:</b> Tankanlage und Verdampfer</p> <p><b>Ozonerzeuger (gew.):</b> 6 kg O<sub>3</sub>/h</p> <p><b>Reaktionsbehälter:</b> 2 Straßen, je L = 10,0; B = 3,4 m; V = 204 m³</p> <p><b>GAK-Filtration:</b> 6 Filter, B x L = 4,6 x 7,0 m A = 193,2 m², H<sub>FB</sub> = 2,5 m, V = 483 m³</p>	<p><b>Flüssigsauerstoff:</b> Tankanlage und Verdampfer</p> <p><b>Ozonerzeuger (gew.):</b> 6 kg O<sub>3</sub>/h</p> <p><b>Reaktionsbehälter:</b> 2 Straßen, je L = 10,0; B = 3,4 m; V = 204 m³</p> <p><b>Nachbehandlung im Wirbelbett</b></p>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kohle verbleibt lange im Filter</li> <li>Keine Bildung von Reaktionsprodukten</li> <li>Eindeutige Wirkungsweise der Stoffelimination</li> <li>Sicherer und einfacher Betrieb</li> <li>Niedrige Investitionskosten</li> <li>Relativ geringer Platzbedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Bildung von Reaktionsprodukten</li> <li>Eindeutige Wirkungsweise der Stoffelimination</li> <li>Verbesserter Suspensarückhalt durch Absetzen (Entlastung Filter)</li> <li>Mehrfachbeladung der PAK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suspensarückhalt durch Filtrationsstufe</li> <li>Minimierte Bildung von Reaktionsprodukten</li> <li>Biologische Mitwirkung in der GAK-Filtration (BAK)</li> <li>Optimierungspotenzial bei Ozondosis zu erwarten</li> <li>Relativ geringer Platzbedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gut in Baufeld integrierbar</li> <li>Optimierungspotenzial bei Ozondosis zu erwarten</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>GAK-Austausch</li> <li>Hoher Kohlenstoffbedarf im Vergleich zu den anderen Varianten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Höhere Klärschlammengen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>GAK Austausch</li> <li>Derzeit noch keine breite Referenzbasis vorhanden</li> <li>Reaktionsmechanismen und -produkte teilweise unbekannt</li> <li>Investitionskosten höher als die anderen Varianten</li> <li>Wartung erfordert geschultes oder externes Personal</li> <li>Hohe Sicherheitsanforderungen ans den Arbeitsschutz, da Ozon toxisch ist und als Reizstoff wirkt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Derzeit noch keine breite Referenzbasis vorhanden</li> <li>Reaktionsmechanismen und -produkte teilweise unbekannt</li> <li>Wartung erfordert geschultes oder externes Personal</li> <li>Hohe Sicherheitsanforderungen ans den Arbeitsschutz, da Ozon toxisch ist und als Reizstoff wirkt</li> <li>Hoher Energiebedarf</li> </ul>

## 10 Kosten

### 10.1 Allgemein

Die Wirtschaftlichkeit der vier 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 betrieblicher Einstellungen auf die Betriebskosten betrachtet. Die im Rahmen dieser Studie angenommenen Kosten können um  $\pm 40\%$  von den tatsächlichen Kosten abweichen.

### 10.2 Investitionskosten

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

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

Als Baunebenkosten wurden 20 % der Netto-Investitionssumme angesetzt. In der **Tabelle 21** sind die Investitionskosten zusammengestellt:

**Tabelle 21: Investitionskosten für die Varianten 1 bis 4**

Pos.-Nr	Text		Variante 1 GAK	Variante 2 PAK mit RLK	Variante 3 BAK	Variante 4 Ozon-Wirbelbett
1	Bautechnik	EUR	2.400.640,00	1.900.821,55	3.306.545,00	1.685.605,00
2	Maschinenteknik	EUR	1.203.300,00	1.549.298,68	2.355.150,00	1.521.750,00
3	EMSR-Technik	EUR	602.000,00	845.000,00	1.178.000,00	761.000,00
<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>4.205.940,00</b>	<b>4.295.120,24</b>	<b>6.839.695,00</b>	<b>3.968.355,00</b>
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	841.188,00	859.024,05	1.367.939,00	793.671,00
<b>Summe Baukosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>5.047.128,00</b>	<b>5.154.144,28</b>	<b>8.207.634,00</b>	<b>4.762.026,00</b>
Mehrwertsteuer		EUR	958.954,32	979.287,41	1.559.450,46	904.784,94
<b>Summe Baukosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>6.006.082,32</b>	<b>6.133.431,70</b>	<b>9.767.084,46</b>	<b>5.666.810,94</b>
<b>Anteil</b>			<b>106%</b>	<b>108%</b>	<b>172%</b>	<b>100%</b>

Die höchsten Investitionskosten wurden für Variante 3, gefolgt von Variante 2. Bei der Variante 4 sind die Investitionskosten am geringsten.

### 10.3 Betriebskosten

Für die Berechnung der Betriebskosten wurden folgende Werte mit dem Auftraggeber abgestimmt:

- Strombezugskosten netto, Stand 12.2020: 13,97 Cent/kWh, netto (Brutto: 16,62 Cent/ kWh)
- Sauerstoff inkl. Tankmiete: 0,30 EUR/kg, netto
- Personalkosten: 47.290 EUR/(MA·a)
- Entsorgungskosten Schlamm: 120,9 EUR/ Mg TS, netto
- Entwässerungsgrad Schlamm: 23,74 % (Daten aus 2021)

Weitere Werte wurden seitens T&M wie folgt angenommen:

- Pulveraktivkohle: 2.200 EUR/Mg, netto
- Granulierte Aktivkohle: 2.000 EUR/Mg, netto

Die Kosten für die Aktivkohlen entstammen aus aktuellen Ausschreibungsergebnissen (PAK) oder aus großtechnischen Betriebsversuchen (GAK). Derzeit sind Preise von 2000 EUR/Mg, netto noch gängig. Eine Steigerung des Preises für Aktivkohle wird erwartet; daher wird für die Berechnung ein Preis von 2.200 EUR/Mg, netto angesetzt. Für die GAK wurde ein Preis von 2000 EUR/Mg angenommen.

Für alle verbrauchsgebundene Kosten wurden die mittleren Verbrauchsmengen aus der Bemessung und Auslegung der Varianten in Anlage 1 herangezogen.

Für die Variante 2 ist die Dosierung von Flockungs- bzw. Fällmittel notwendig. In der Summe ist jedoch keine zusätzliche Menge notwendig, da die Dosierung der Fällmittel von der Belebung in die Adsorptionsstufe verlagert wird. Insgesamt ergeben sich damit keine erhöhten Kosten für den Einsatz des Flockungs- und Fällmittels gegenüber dem jetzigen Betrieb.

Wie die Anlage in Sindelfingen zeigt, ist bei der PAK-Dosierung und der Verwendung vom Flockungs- und Fällmittel 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 1/3 aus der PAK und zu 2/3 aus Organika (CSB, AFS) und Fällprodukten zusammen.

Bei den Varianten 1 und 3 ist mit einem erhöhten Rückhalt an abfiltrierbaren Stoffen zu rechnen, die wiederum den Schlammanfall auf der Anlage erhöhen. Für die Kostenberechnung wurde ein zusätzlicher Rückhalt von 2 mg AFS/l behandeltem Abwasser in Ansatz gebracht.

Bei der Variante 2 mit der PAK-Dosierung ist der Einsatz von Flockungshilfsmitteln notwendig. Es wurden spezifische Kosten von 1.750 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
- EMSR-Technik: 2,0 % der Investitionskosten/a

Die ermittelten Kosten sind in **Tabelle 22** zusammengefasst. Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten Personal- und Wartungs-/Instandhaltungskosten. Die verbrauchsgebundenen Kosten setzen sich aus den Energie-, den Chemikalien- und den Schlammentsorgungskosten zusammen.

**Tabelle 22: Betriebskosten für die Varianten 1 bis 4**

	Text		Variante 1 Nachgeschaltete GAK-Filtration	Variante 2 PAK mit Rücklaufkohlenführung	Variante 3 Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filtration	Variante 4 Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	134.117,08	148.194,70	214.100,74	144.638,26
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	277.457,61	166.401,62	274.016,72	234.617,20
<b>Summe Betriebskosten, netto</b>		<b>EUR/a</b>	<b>411.574,69</b>	<b>314.596,32</b>	<b>488.117,46</b>	<b>379.255,46</b>
Mehrwertsteuer: 19%		EUR/a	78.199,19	59.773,30	92.742,32	72.058,54
<b>Summe Betriebskosten, brutto</b>		<b>EUR/a</b>	<b>489.773,88</b>	<b>374.369,62</b>	<b>580.859,77</b>	<b>451.314,00</b>
<b>Anteil</b>			<b>131%</b>	<b>100%</b>	<b>155%</b>	<b>121%</b>

Die niedrigsten Betriebskosten weist Variante 2 mit PAK-Dosierung und Rücklaufkohle. Ozonung mit Wirbelbettreaktor steht auf dem zweiten Rang. Die höchsten Betriebskosten weist die Variante 3 mit BAK-Verfahren auf.

## 10.4 Jahreskosten

Die Jahreskosten wurden anhand folgender Annahmen berechnet:

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

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

Die Jahreskosten wurden anhand folgender Annahmen berechnet:

- Nutzungsdauer Bautechnik 30 a
- Nutzungsdauer Maschinenteknik 15 a
- Nutzungsdauer EMSR-Technik 10 a

Die angenommenen Nutzungsdauern entsprechen den Empfehlungen der KVR-Leitlinien [DWA 2012].

Die Nutzungsdauern sind direkt teilbar durch einen angenommenen Betrachtungszeitraum von 30 a. Damit ergibt sich eine einfache Vergleichbarkeit der so ermittelten Jahreskosten.

Der Nominalzinssatz der Stadt Erkelenz beträgt derzeit 5,2 %. Der Realzinssatz ergibt sich unter Berücksichtigung der Inflationsrate zu:

- $i_r = (1 + i_n) / (1 + i_i) - 1$
- $i_r$  - Realzinssatz
- $i_n$  - Nominalzinssatz
- $i_i$  - Inflationsrate



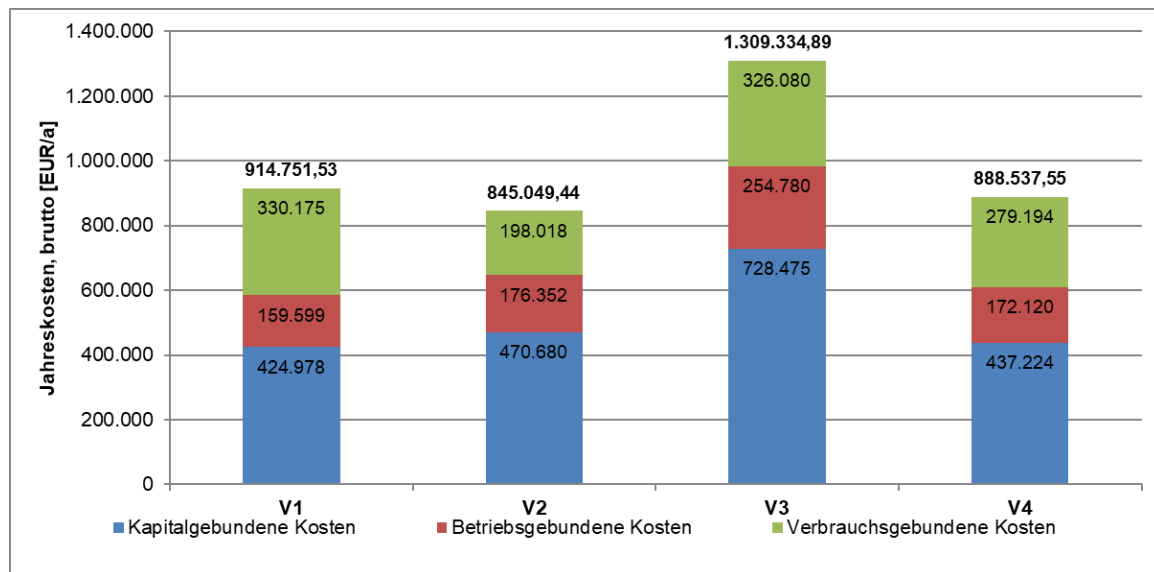
Die Inflationsrate der letzten 20 Jahre lag im Mittel bei ca. 2 % [DWA 2012]. Unter Berücksichtigung des Nominalzinssatzes von 5,2 % und einer Inflationsrate von 2 % ergibt sich der Realzinssatz zu 3,14 %. Dieser Wert steht in Übereinstimmung mit den KVR-Leitlinien [DWA 2012], die einen Standardwert von 3 % p.a. und eine Bandbreite von 2 bis 5 % p.a. ausweisen.

Realzinssatz 3,14 % (Realzins)

**Tabelle 23: Jahreskosten für die Varianten 1 bis 4**

Pos.		Einheit	Variante 1 Nachgeschaltete GAK-Filtration	Variante 2 PAK mit Rücklaufkohlen- führung	Variante 3 Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filtration	Variante 4 Ozonung mit nachgeschaltete m
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	357.124,07	395.529,26	612.163,96	367.414,75
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	134.117,08	148.194,70	214.100,74	144.638,26
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	277.457,61	166.401,62	274.016,72	234.617,20
<b>Summe Jahresskosten, netto</b>		<b>EUR/a</b>	<b>768.698,76</b>	<b>710.125,58</b>	<b>1.100.281,42</b>	<b>746.670,21</b>
Mehrwertsteuer: 19%		EUR/a	146.052,76	134.923,86	209.053,47	141.867,34
<b>Summe Jahreskosten, brutto</b>		<b>EUR/a</b>	<b>914.751,53</b>	<b>845.049,44</b>	<b>1.309.334,89</b>	<b>888.537,55</b>
<b>Anteil</b>			<b>108%</b>	<b>100%</b>	<b>155%</b>	<b>105%</b>

Die günstigsten Jahreskosten wurden für die Varianten 4 (Ozonung mit Wirbelbett) und 2 (PAK mit Rücklaufschlammführung) gefolgt von der Variante 1 (GAK-Filtration) ermittelt. Die Variante 3 (Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filtration) hat die höchsten Jahreskosten.



**Abbildung 31: Anteile kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten an den Jahreskosten der Varianten**



## 11 Klimaschutzziele (CO<sub>2</sub>-Fußabdruck)

In letzter Zeit ist die Nachhaltigkeit von Verfahren gerade auch bei der 4. Reinigungsstufe sowie Verfolgung der Klimaschutzziele immer stärker in den Fokus gerückt. Gemäß § 3 GV. NRW. vom 06.02.203 zur Förderung des Klimaschutzes in Nordrhein-Westfalen soll die Gesamtsumme der Treibhausgasemissionen in Nordrhein-Westfalen bis 2020 um mindestens 25 % und bis 2050 um mindestens 80 % im Vergleich zu den Gesamtemissionen des Jahres 1990 verringert werden. Des Weiteren kommen zur Verringerung der Treibhausgasemissionen der Steigerung des Ressourcenschutzes, der Ressourcen- und Energieeffizienz, der Energieeinsparung und dem Ausbau Erneuerbarer Energien besondere Bedeutung zu.

Die Bewertung der Varianten bezüglich der Klimaschutzziele wurde anhand der CO<sub>2</sub>-Äquivalente der Aspekte „Energie“ und „Chemikalienverbrauch“ für den Betrieb der Varianten ermittelt. **Tabelle 24** zeigt die Ergebnisse der überschlägigen Bilanzierung.

**Tabelle 24: Bilanzierung CO<sub>2</sub>-Fußabdruck (Klimaschutzziele)**

Pos.	Bezeichnung			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
				GAK-Filtration	PAK mit RLK	Ozonung mit GAK (BAK)	Ozonung mit Wirbelbett
<b>1.0</b>	<b>Energie</b>			<b>93</b>	<b>113</b>	<b>539</b>	<b>684</b>
		Menge	kWh/a	198.412	242.177	1.152.642	1.461.796
		spez. Wert	kg CO <sub>2</sub> /kWh	0,468	0,468	0,468	0,468
		CO <sub>2</sub>	Mg CO <sub>2</sub> /a	93	113	539	684
<b>2.0</b>	<b>Chemikalien</b>			<b>1.084</b>	<b>840</b>	<b>393</b>	<b>32</b>
2.1	Pulveraktivkohle	Menge	Mg PAK/a		46,2		
		spez. Wert	Mg CO <sub>2</sub> /Mg PAK		15,0		
		CO <sub>2</sub>	Mg CO <sub>2</sub> /a		693		
2.2	Fäll-/Flockungsmittel	Menge Fällung	Mg/a		82,3		
		Menge PAK-St	Mg/a		46,2		
		spez. Wert	Mg CO <sub>2</sub> /Mg FM		1,2		
		CO <sub>2</sub>	Mg CO <sub>2</sub> /a		148		
2.3	Sauerstoff	Menge	Mg O <sub>2</sub> /a			101,3	101,3
		spez. Wert	Mg CO <sub>2</sub> /Mg O <sub>2</sub>			0,30	0,30
		spez. Wert Transport				0,014	0,014
		CO <sub>2</sub>	Mg CO <sub>2</sub> /a			32	32
2.4	Granulierte Aktivkohle	Menge Kohle	Mg/a	123,9		41,3	
		Anteile Reaktivat		50%		50%	
		Menge Frischkohle	Mg/a	61,9		20,6	
		spez. Wert Steinkohle	Mg CO <sub>2</sub> /Mg	15,0		15,0	
		CO <sub>2</sub>	Mg CO <sub>2</sub> /a	929,1		309,7	
		Menge Reaktivat	Mg/a	61,9		20,6	
		spez. Wert Steinkohle	Mg CO <sub>2</sub> /Mg	2,5		2,50	
		CO <sub>2</sub>	Mg CO <sub>2</sub> /a	154,9		52	
<b>Gesamtjahressumme CO<sub>2</sub></b>			<b>Mg CO<sub>2</sub>/a</b>	<b>1.177</b>	<b>954</b>	<b>933</b>	<b>716</b>

## 12 Bewertung

Neben den Kosten sind noch weitere Kriterien, wie Reinigungsleistung, Erfahrungen und Referenzen, Betriebs- und Wartungsaufwand, Flächenbedarf, Betriebssicherheit, CO<sub>2</sub>-Bilanz sowie Klimaschutzziele 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 25: Bewertungsmatrix für die Varianten 1 bis 4**

Kriterium	Wichtung	Wertung							
		Variante 1 GAK-Filtration		Variante 2 PAK mit RLK		Variante 3 Ozonung mit GAK (BAK)		Variante 4 Ozonung mit Wirbelbett	
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Jahreskosten	0,30	4,6	1,38	5,0	1,50	3,2	0,96	4,7	1,41
Reinigungsleistung P <sub>ges</sub> (zusätz. Reduk.)	0,10	4,0	0,40	5,0	0,50	4,0	0,40	3,0	0,30
Reinigungsleistung Spurenstoffeliminatio	0,15	4,0	0,60	3,0	0,45	5,0	0,75	4,0	0,60
Erfahrungen/Referenzen	0,05	5,0	0,25	5,0	0,25	4,0	0,20	3,0	0,15
Betriebs- und Wartungsaufwand	0,05	5,0	0,25	3,0	0,15	4,0	0,20	4,0	0,20
Betriebssicherheit	0,10	5,0	0,50	3,0	0,30	4,0	0,40	4,0	0,40
Flächenbedarf	0,15	5,0	0,75	3,0	0,45	4,0	0,60	4,0	0,60
Klimaschutzziele	0,10	3,0	0,30	3,8	0,38	3,8	0,38	5,0	0,50
Summe	1,00	35,6	4,43	30,8	3,98	32,0	3,89	31,7	4,16

Die Jahreskosten werden mit einer Wichtung von 30 % als wichtigstes Entscheidungskriterium eingestuft. Die Reinigungsleistung der Spurenstoffe sowie der Flächenbedarf wurden als weitere wichtige Kriterien mit 15 % gewichtet. Die Leistung der verschiedenen Varianten bezüglich der Elimination von P<sub>ges</sub>, Betriebssicherheit und Klimaschutzziele wurden als weitere Kriterien mit 10 % und das Kriterium Erfahrungen und Referenzen sowie Betriebs- und Wartungsaufwand mit 5 % gewichtet.

Die **Jahreskosten** sind bei der Variante 2 (PAK mit Rücklaufkohlenführung Ozonung mit Wirbelbett) am geringsten. Diese wird gefolgt von den Varianten 4 (Ozonung mit Wirbelbett) und 1 (GAK-Filtration), die fast gleiche Jahreskosten aufweisen. Die Variante 3 (Ozonung mit GAK-Filtration) weist die höchste Jahreskosten auf. Hier konnte eine quantitative Bewertung erfolgen.

Es wird erwartet, dass auch nach der Realisierung der 4. Reinigungsstufe die Konzentration von P<sub>ges</sub> im Kläranlagenablauf höher als das festgelegte Bewertungskriterium wäre. Aus diesem Grund wurde die **Reinigungsleistung** der 4. Reinigungsstufe für P<sub>ges</sub> auch als ein Kriterium berücksichtigt. Sehr gute Ergebnisse hat hier die Variante 2 (PAK mit Rücklaufkohlenführung) in Sindelfingen für P<sub>ges</sub> erzielt und bekommt auch hier fünf Punkte. Variante 1 (GAK-Filtration) erhält vier Punkte. Bei Ozonung sind die zu erwartenden Effekte geringer. Daher werden für Variante 3 (Ozonung mit GAK-Filtration) ebenfalls nur vier Punkte und für Variante 4 (Ozonung mit Wirbelbett) drei Punkte vergeben.

Die **Reinigungsleistung** der Varianten bezüglich der Mikroschadstoffelimination ist ein weiteres Kriterium, das bei der Bewertung berücksichtigt wurde. Hier wurde die Variante 3 (Ozonung mit GAK-Filtration) als effektivste Variante zur Mikroschadstoffelimination mit 5 Punkten bewertet. Die Variante 1 (GAK Filtration) und Variante 4 (Ozonung mit Wirbelbett) erhalten jeweils vier Punkte. Die Variante 2 (PAK mit Rücklaufkohle) mit einer Auslegung auf Teilstrom bekommt nur drei Punkte.

Für die vorgestellten Varianten ist die Situation hinsichtlich **Erfahrungen und Referenzen** unterschiedlich. Für die Varianten 1 (GAK-Filtration) und 2 (PAK mit Rücklaufkohlenführung) liegen derzeit schon sehr gute Erfahrungen vor. Daher werden an die Varianten 1 und 2 fünf Punkte vergeben. Auch für die Varianten 3 liegen schon einige Erfahrungen aus Referenzanlagen vor (z. B. Regensdorf, Duisburg-Vierlingen, Bad Sassendorf). Für die Verfahrenskombination Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filtration (V3) liegen mehr Referenzen vor als für die mit der Ozonung und nachgeschaltetem Wirbelbett. Aus diesem Grund werden an die Variante 3 (Ozonung mit GAK-Filtration) vier Punkte und an die Variante 4 (Ozonung mit Wirbelbett) nur drei Punkte vergeben.

Der **Betriebs- und Wartungsaufwand** ist für den Betrieb der Kläranlage ein wichtiger Punkt. Die Variante 1 (GAK-Filtration) erhält aufgrund der einfacheren Betriebsweise fünf Punkte. Vier Punkte werden an Variante 3 (Ozonung mit GAK-Filtration) und Variante 4 (Ozonung mit Wirbelbett) vergeben. Die Variante 2 (PAK mit Rücklaufkohlenführung) wurde mit drei Punkten schlechter eingestuft. Der Aufwand ist aufgrund der vielen Betriebspunkte (Kontaktbecken, Sedimentationsbecken, FHM-/FM-Dosierung, etc.) größer als bei den anderen Varianten.

Beim Punkt **Betriebssicherheit** wird das Verhalten des Verfahrens beim Ausfall eines Aggregates bewertet. Die Auswirkungen auf weitere Anlagenteile werden ebenfalls in die Beurteilung einbezogen. Die höchste Betriebssicherheit weist die Variante 1 (GAK-Filtration) auf und erhält fünf Punkte. Die Anlage ist sehr stabil zu betreiben. Weiterhin ist keine Dosierung erforderlich. Die Varianten 3 und 4 mit Ozonung erhalten in diesem Kriterium aufgrund der 2-Straßigkeit und der vorgeschalteten Filtration vier Punkte. Die Variante 2 (PAK mit Rücklaufkohlenführung) wird aufgrund der verschiedenen Aggregate und Pumpen, die für die Dosierung von PAK, Fäll- und Flockungshilfsmittel sowie die Rücklaufkohleförderungen erforderlich sind mit drei Punkten bewertet.

Beim Kriterium **Flächenbedarf** bekommt die Variante 2 (PAK mit Rücklaufkohlenführung) mit dem größten Flächenbedarf drei Punkte. An Varianten 3 (Ozonung mit GAK-Filtration) und 4 (Ozonung mit Wirbelbett) wurden vier Punkte vergeben. Die Variante 1 mit geringstem Flächenbedarf erhält fünf Punkte.

Ein weiteres Kriterium stellt die Verfolgung der **Klimaschutzziele** bei der Realisierung jeweiliger Varianten dar. Hier wurde dieses Kriterium unter Berücksichtigung der Aspekte „Energie“ und „Chemikalienverbrauch“ für den Betrieb der Varianten ermittelt. Die quantitative Bewertung ist dem **Kapitel 0** zu entnehmen.

In der **Summe** schneiden Varianten 1 (GAK-Filtration) und 4 (Ozonung mit Wirbelbett) mit 4,43 Punkten und 4,16 Punkten am besten ab, gefolgt von Variante 2 (PAK mit Rücklaufkohlenführung) mit 3,85 Punkten. Die Variante 3 (Ozonung mit GAK-Filtration) erhält in der Summe nur 3,60 Punkte.

## 13 Zusammenfassung

Im Rahmen der Studie zur Ertüchtigung und Erweiterung der ARA Erkelenz-Mitte in Bezug auf die Elimination von anthropogenen Mikroschadstoffen (4. Reinigungsstufe) wurden folgende vier Verfahrensvarianten untersucht, die mit dem Auftraggeber abgestimmt wurden:

- Variante 1: Filtration über granuliert Aktivkohle,
- Variante 2: Pulveraktivkohle vor dem Filter mit Rücklaufkohleföhrung,
- Variante 3: Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filtration,
- Variante 4: Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett.

Die Screening-Ergebnisse zeigten, dass die Konzentrationen einiger untersuchten Mikroschadstoffe im Ablauf der Kläranlage Erkelenz-Mitte auch nach der Integration einer 4. Reinigungsstufe höher bleiben würden.

Die ausgewählten Varianten wurden auf ihre Umsetzbarkeit geprüft. Für alle vier Varianten wurden Blockfließbilder dargestellt und Lageplanausschnitte erstellt. Basierend auf den Abschätzungen der Betriebs- und Investitionskosten wurden für diese Varianten 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.

In der Summe schneiden Varianten 1 (GAK-Filtration) und 4 (Ozonung mit Wirbelbett) mit 4,43 Punkten und 4,16 Punkten am besten ab, gefolgt von Variante 2 (PAK mit Rücklaufkohleföhrung) mit 3,98 Punkten. Die Variante 3 (Ozonung mit GAK-Filtration) erhält in der Summe nur 3,89 Punkte. Dies liegt hauptsächlich an hohen Jahreskosten mit der höchsten Gewichtung.

Die TUTTAHS & MEYER Ing.-GmbH empfiehlt Variante 1 (GAK-Filtration) und 4 (Ozonung mit Wirbelbett) für weitere Untersuchungen auf der Kläranlage Erkelenz-Mitte zu berücksichtigen.

## 14 Literaturverzeichnis

- [100] **Sontheimer et. al. 1985**  
Sontheimer, H.; Frick, B.; Fettig, J.; Hörner, G.; Hubele, C.; Zimmer, G.: Adsorptionsverfahren zur Wasserreinhaltung. DVGW Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe (TH), 1985.
- [101] **Kümmel u. Worch 1990**  
*Kümmel, R.; Worch, E.*: Adsorption aus wäßrigen Lösungen. 1. Auflage. VEB Dt. Verl. für Grundstoffindustrie, 1990.
- [102] **Worch 1997**  
*Worch, E.*: Wasser- und Wasserinhaltsstoffe – eine Einführung in die Hydrochemie. Teubner-Verlag, Stuttgart-Leipzig, 205 S, 1997.
- [103] **Cooney 1998**  
*Cooney, D. O.*: Adsorption Design for Wastewater Treatment. 1. Auflage. CRC, 1998. – ISBN 9781566703338
- [104] **Gujer 1999**  
*Gujer, Willi*: Siedlungswasserwirtschaft. 1. Auflage. Springer-Verlag, 1999.
- [105] **Breitbach u. Bathen 2001**  
*Breitbach, Marc; Bathen, Dieter*: Adsorptionstechnik. 1. Auflage. Springer-Verlag, 2001. – ISBN 9783540419082.
- [106] **Ternes et. al. 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.
- [107] **MUNLV 2004**  
*MUNLV NRW*: Untersuchung zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen. 2004 – Forschungsbericht.
- [108] **Worch 2004**  
*Worch, E.*: Vorlesungsunterlagen, Technische Universität Dresden, 2004.
- [109] **Joss et. al. 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.
- [110] **Meyer 2008**  
*MEYER, Hermann*: Abwasserreinigung – Qua vadis?, in *GWF Wasser, Abwasser*, 149, Nr. 4, 2008.

- [111] **DWA 2008**  
*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.): Anthropogene Mikroschadstoffe im Wasserkreislauf – Arzneistoffe. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, 5/2008 (DWA-Themen). – ISBN 9783940173744.*
- [112] **Abegglen et. al. 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](http://www.eawag.ch/medien/bulletin/20090616/schlussbericht.pdf).
- [113] **LAWA 2010**  
LAWA (2010): Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Expertenkreis „Stoffe“: Stoffdatenblatt: Flufenacet Stand 15. März 2010
- [114] **DVGW W 239**  
DVGW W 239 (A) März 2011. Entfernung organischer Stoffe bei der Trinkwasseraufbereitung durch Adsorption an Aktivkohle.
- [115] **Nahrstedt et. al. 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.*
- [116] **Herbst et. al. 2011**  
*Herbst, H.; Kaufmann, M.; Türk, J.; Launer, M.: Abwasserozonierung Kläranlage Duisburg-Vierlinden – Auslegung – Bau – erste Betriebsergebnisse. In Innovation und Flexibilität – Systemoptimierung und Systemerweiterung; Tagungsband der 25. Karlsruher Flockungstage 2011, Schriftenreihe SWW (Bd. 141), Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe, ISBN 978-3-9813069-4-1.*
- [117] **Palmowski et. al. 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.
- [118] **DWA 2012**  
*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (HVR-Leitlinien). Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, 07/2012, 8. überarbeitete Auflage. – ISBN 9783941897557.*

- [119] **Bornemann et. al. 2012**  
Bornemann, C.; Hachenberg, M.; Kazner, C; Herr, J.; Jagemann, P.; Lyko, S.; Benstöm, F.; Montag, D.; Platz, S; Wett, M.; Kaub, J. M.; Kolisch, G; Osthoff, T.; Rolfs, T.; Stepkes, H.: Teilprojekt 5: Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle. Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2012.
- [120] **DWA 2012**  
Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, 07/2012, 8. überarbeitete Auflage.
- [121] **Grünebaum et. al. 2012**  
Grünebaum, T.; Herbst, H.; Keysers, C.; Lyko, S.; Türk, J.: Mikroschadstoffelimination mit Ozon: Beispiele für Kläranlagen; Vortrag auf dem 2. Fachsymposium Mikroschadstoffe. NRW 2012; Elimination von Mikroschadstoffen, Keimen und Bakterien in kommunalen Kläranlagen am 21.06.2012 in Düsseldorf.
- [122] **Schwentner et. al. 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.
- [123] **Schwentner et. al. 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.
- [124] **Siegrist 2013**  
H.-R. Siegrist: Energieverbrauch für die weitergehende Spurenstoffelimination – Maßnahmen zur Reduktion, in: Schriftreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Band 65, 31. Bochumer Workshop, Klimaschutz und Energiewende – Welchen Beitrag liefert der Abwasserrektor, 2013
- [125] **Kompetenzzentrum Spurenstoffe BW 2013**  
<http://www.koms-bw.de>
- [126] **Launay et. al. 2015**  
Launay, M., Droste, F., Dittmer, U. and Steinmetz, H. (2015). Emittierte Spurenstoffströme von Kläranlage und Mischwasserentlastungen im Vergleich. 5. Aqua Urbana, Stuttgart, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 225, 143-156, 07.-08.10.2015
- [127] **Kienle et. al. 2015**  
Kienle, C., Vermeirssen, E., Kunz, P., Werner, I., 2015. Grobbeurteilung der Wasserqualität von abwasserbelasteten Gewässern anhand von ökotoxikologischen Biotests.

Studie im Auftrag des BAFU (aktualisiert 2017), Swiss Centre for Applied Ecotoxicology, Eawag-EPFL, Dübendorf, Switzerland

[128] **LEWIS 2016**

LEWIS, K.A., Tzilivakis, J., Warner, D. and Green, A. (2016): An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(4): 1050-1064. DOI: 10.1080/10807039.2015.1133242

[129] **Kompetenzzentrum Mikrohadstoffe.NRW 2016a**

Y1 Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW; Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination - 2. Überarbeitete und erweiterte Auflage; 01.09.2016

[130] **Kompetenzzentrum Mikrohadstoffe.NRW 2016b**

Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW; Mikroschadstoffentfernung machbar? - Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie für Anlagen zur Mikroschadstoffelimination mit aktualisierter Stoffliste vom 01.09.2016

[131] **OGewV 2016**

Oberflächengewässerverordnung (OGewV) (2016): Verordnung zum Schutz von Oberflächengewässern vom 20. Juni 2016 – veröffentlicht im Bundesgesetzblatt Jahrgang 2016 Teil I Nr. 28, ausgegeben zu Bonn am 23. Juni 2016, Bundesanzeiger Verlag GmbH, Köln

[132] **BVL 2017**

Online-Datenbank für Pflanzenschutzmittel: [http://www.bvl.bund.de/DE/04\\_Pflanzenschutzmittel/01\\_Aufgaben/02\\_ZulassungPSM/01\\_ZugelPSM/01\\_OnlineDatenbank/psm\\_online\\_DB\\_node.html](http://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/01_ZugelPSM/01_OnlineDatenbank/psm_online_DB_node.html), Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Braunschweig

[133] **Böhler et. al. 2017**

Böhler, M., Blunschi, M., Czekalski, N., Fleiner, J., Kienle, C., Langer, M., McArdell, C.S., Teichler, R. und Siegrist, H. (2017): Biologische Nachbehandlung von kommunalem Abwasser nach Ozonung - ReTREAT, Abschlussbericht für das Bundesamt für Umwelt (Bafu) im Rahmen eines Projektes der Technologieförderung, Eawag, Dübendorf.

[134] **LANUV 2018**

Abwasserbelastungen in den Teileinzugsgebieten in Nordrhein-Westfalen, ENTWICKLUNG UND STAND DER ABWASSERBESEITIGUNG IN NORDRHEIN-WESTFALEN 19. Auflage, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Kap. 12, LANUV 2018

[135] **VSA 2018**

Verfahrensüberblick zur biologischen Nachbehandlung bei der Ozonung, P. Wunder-



lin (VSA), M. Thomann (Holinger AG, Projektleiter), C. Abegglen (ERZ, VSA), M. Baggenstos (früher Wabag AG, jetzt Hunziker Betatech AG), H. Blény (Bafu), D. Dominguez (Bafu), M. Böhler (Eawag), R. Frei (ProRhen), A. Meier (VSA), J. Grelot (VSA), M. Sommer (Kanton Basel-Stadt), D. Thonney (SIGE), April 2018, Version 1

[136] **Umweltbundesamt 2020**

Dr. Hannah Wünnemann, Dr. Klaus Weiß, Daniela Arndt, Dr. Michaela Baumann, Rebekka Weiß, Hermann Ferling, Karin Scholz-Göppel, Karina Bucher, Christoph Feick, Georg Hartmann, Peter Kitzing, Martin Szyja, Dr. Julia Schwaiger, Umweltbundesamt  
Dezember 2020

## Anlagen

**Anlage 1:  
Auslegung  
Varianten 1 bis 4**

## Stadt Erkelenz Abwasserreinigungsanlage Erkelenz-Mitte

Projekt:

**Machbarkeitsstudie zur  
Mikroschadstoffelimination**

Projektnummer

**1225 001**

### Eingangsdaten

#### Auslegungsdaten Hydraulik

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>			
Maximaler Trockenwetterzufluss	Q <sub>t</sub>	158,89	l/s
		572,00	m <sup>3</sup> /h
Maximaler Mischwasserzufluss	Q <sub>m</sub>	317,78	l/s
		1144,00	m <sup>3</sup> /h
<i>Auswertung Durchfluss Gesamtanlage</i>			
durchschnittliche Tageswassermenge	Q <sub>Voll,max</sub>	8.588	m <sup>3</sup> /d
durchschnittliche Jahreswassermenge	Q <sub>a,M</sub>	1.567.320	m <sup>3</sup> /a
<i>Vollstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>			
Min. Volumenstrom	Q <sub>4S,min</sub>	50	m <sup>3</sup> /h
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,max</sub>	680	m <sup>3</sup> /h
		189	l/s
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Voll,max</sub>	960	m <sup>3</sup> /h
		267	l/s
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom (680)	Q <sub>Teil,a</sub>	2.820.697	m <sup>3</sup> /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Teil,d</sub>	7.728	m <sup>3</sup> /d
Behandelte Abwassermenge im Vollstrom (960)	Q <sub>Voll,a</sub>	3.097.062	m <sup>3</sup> /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Voll,d</sub>	8.485	m <sup>3</sup> /d

Eingabefelder

Berechnungsfelder

## Stadt Erkelenz Abwasserreinigungsanlage Erkelenz-Mitte

**Projekt:** Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimin  
**Projektnummer** 1225 001  
**Variante 1** Nachgeschaltete GAK-Filtration

### Auslegungsdaten Hydraulik

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>			
Maximaler Trockenwetterzufluss	Q <sub>t</sub>	158,89 l/s	572 m <sup>3</sup> /h
Maximaler Mischwasserzufluss	Q <sub>m</sub>	317,78 l/s	1.144 m <sup>3</sup> /h
<i>Vollstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>			
<i>Auslegungswert 99-Perzentil</i>			
Volumenstrom Vollstrombehandlung	Q <sub>Voll,max</sub>	960 m <sup>3</sup> /h	267 l/s
Behandelte Abwassermenge im Vollstrom	Q <sub>Voll,a</sub>	3.097.062 m <sup>3</sup> /a	
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Voll,d</sub>	8.485 m <sup>3</sup> /d	

### Auslegung Zwischenhebewerk

<i>Vorgaben</i>			
Förderhöhe, abgeschätzt, zusätzlich	h <sub>gesch</sub>	9,0 m	
Volumenstrom	Q <sub>Voll,max</sub>	960 m <sup>3</sup> /h	
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)	
Energiebedarf pro Jahr		195.115 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	6 St
Schüttdichte GAK	rho_Schütt	400 kg/m <sup>3</sup>
<i>Bemessung Filter</i>		
erforderliches Leerbettvol., ber. über EBCTgew	V_GAK	480 m <sup>3</sup>
erforderliche Filterfläche, ber. über EBCTgew	A_Filter,erf	192,00 m <sup>2</sup>
Fläche Filter, berechnet	A_Filter,erf,n	32,00 m <sup>2</sup>
Länge Filter, gewählt	l_Filter,gew	7,00 m
Breite Filter, gewählt	b_Filter,gew	4,60 m
Filterfläche, gewählt je Filter	A_Filter,gew	32,20 m <sup>2</sup>
Filterfläche, gewählt, gesamt	A_Filter,ges	193,20 m <sup>2</sup>
Leerbettvolumen, gewählt, gesamt	V_GAK,ges	483,00 m <sup>3</sup>
Masse GAK, gesamt	M_GAK,ges	193,20 Mg
<i>Nachweise bezogen auf Q_Teil,max</i>		
Filtergeschwindigkeit	v_F,ist	4,97 m/h
Filtergeschwindigkeit, bei (n-1) Filter	v_F,ist,n-1	5,96 m/h
tatsächliche Kontaktzeit im Filterbett	EBCT, ist	30,19 min
Kontaktzeit bei (n-1) Filter	EBCT,ist,n-1	25,16 min

**Auslegung Spülwasserpumpe**

<i>Vorgaben</i>		
Spülgeschwindigkeit (Bereich)	v_Spül,W	25...35 m/h
Spülgeschwindigkeit gewählt	v_Spül_L,gew	30 m/h
<i>Bemessung</i>		
Volumenstrom Spülwasser	Q_Spül,L	966 m <sup>3</sup> /h
Volumenstrom Spülwasserpumpe, gewählt	Q_Spül,L,gew	966 m <sup>3</sup> /h

**Auslegung Spülgebläse**

<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	2254 m <sup>3</sup> /h
Volumenstrom Spülluftgebläse, gewählt	Q_Spül,L,gew	2200 m <sup>3</sup> /h

**Energiebedarf pro Jahr**

<i>Vorgaben</i>		
Spülintervall, gewählt		168 h
		1 /Woche
<i>Spülprogramm</i>		
Luftspülung	t_Spül,L,gew	90 s
		1,5 min
Wasserspülung	t_Spül,L,gew	300 s
		5,0 min
<i>Berechnung</i>		
Spülwasserbedarf pro Spülung (rechnerisch)		81 m <sup>3</sup> /Spül.Filter
Spülwasserbedarf (rechnerisch)		483 m <sup>3</sup> /Wo.
		69 m <sup>3</sup> /d
Spülwasserspeicher (Gewählt)	V_Spülsp,GAK	90 m <sup>3</sup>
Energiebedarf je Spülung (mit RF Schlammwasser)		5,60 kWh
Energiebedarf pro Jahr		1,77 kWh
Bedarf Spülwasserpumpen		1,94 kWh
Bedarf Schlammwasserförderungen		1,89 kWh
Energiebedarf pro Woche		34 kWh/Wo
Energiebedarf pro Jahr		1748 kWh/a
Bedarf Spülluftgebläse		552 kWh/a
Bedarf Spülwasserpumpen		605 kWh/a
Bedarf Spülabwasser		591 kWh/a

**Filterlaufzeit/GAK-Bedarf**

Berechnung über ausgetauschte Bettvolumina		
Bettvolumina bis Durchbruch (Bereich)		5.000....30.000
Bettvolumina bis Durchbruch	BVgew	10.000
Standzeit Füllung GAK	t_Stand	569 d
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Volumen	V_GAK,a	310 m <sup>3</sup> /a
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Masse	M_GAK,a	124 Mg/a

Eingabefelder

Berechnungsfelder



## Stadt Erkelenz

### Abwasserreinigungsanlage Erkelenz-Mitte

**Projekt:** Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffeliminatio  
**Projektnummer** 1225 001  
**Variante 2** PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung  
**Bemessung Kontaktsbecken / Dosierung**

#### Auslegungsdaten Hydraulik

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>		
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q <sub>t</sub>	158,9 l/s
Maximaler Trockenwetterzufluss		572 m <sup>3</sup> /h
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q <sub>m</sub>	317,8 l/s
Maximaler Mischwasserzufluss	Q <sub>m</sub>	1.144 m <sup>3</sup> /h
<i>Teilstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>		
Min. Volumenstrom für Teilstrombehandlung		50 m <sup>3</sup> /h
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Teil,max</sub>	680 m <sup>3</sup> /h
		189 l/s
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q <sub>Teil,a</sub>	2.820.697 m <sup>3</sup> /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Teil,d</sub>	7.728 m <sup>3</sup> /d

#### Auslegung Zwischenhebewerk

<i>Vorgaben</i>		
Förderhöhe, abgeschätzt, zusätzlich	h <sub>gesch</sub>	6,9 m
Volumenstrom	Q <sub>Teil,max</sub>	680 m <sup>3</sup> /h
spez. Energiebedarf	Q <sub>Teil,d</sub>	7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf pro Jahr		136.832 kWh/a

#### Auslegung Kontaktbecken

<i>Vorgaben (bei Betrieb als Rührkessel)</i>		
Aufenthaltszeit (ohne Berücksichtigung RLK)	t <sub>a,min</sub>	30 min
<i>Bemessung</i>		
erforderliches Gesamtvolumen KB	V <sub>KB,erf,ges</sub>	340 m <sup>3</sup>
<b><u>Als Umlaufbecken um das Sedimentationsbecken ausgeführt</u></b>		
Anzahl Becken	n <sub>KB,ist</sub>	1
Breite Gerinne	B <sub>KB,ist</sub>	1,30 m
Höhe Wasserspiegel	h <sub>WS,KB,ist</sub>	3,80 m
Geschwindigkeit soll	v <sub>Soll</sub>	0,40 m/s
Durchfluss (Q <sub>zu</sub> + Q <sub>RK</sub> )	Q <sub>Zu+RK</sub>	0,38 m <sup>3</sup> /s
Umlaufvolumenstrom	Q <sub>Umlauf</sub>	1,98 m <sup>3</sup> /s
Durchmesser Innenseite KB	Di <sub>KB,ist</sub>	22,50 m
Durchmesser Mittelachse KB	Dm <sub>KB,ist</sub>	23,80 m
Länge	L <sub>KB,ist</sub>	74,77 m
Umlaufzeit	t <sub>KB_Umlauf</sub>	186,92 s
Volumen eines KB	V <sub>KB,ist,n</sub>	369 m <sup>3</sup>
Gesamtvolumen KB	V <sub>KB,ist,ges</sub>	369 m <sup>3</sup>

**Auslegung Rührwerk Kontaktbecken**

<i>Vorgaben</i>		
Energieeintrag		3,00 W/m <sup>3</sup>
Anzahl Rührwerke (1 RW je Becken)	n_RW	2
Laufzeit, anteilig		24 h/d
<i>Bemessung</i>		
Leistungsbedarf, gesamt	P_RW,KB,ges	1,11 kW
Energiebedarf Rührwerke		27 kWh/d
Energiebedarf pro Jahr		9.707 kWh/a

**Auslegung Rücklaufkohlepumpwerk**

<i>Vorgaben</i>		
Rückführverhältnis	RV	1,00
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch	4,0 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
Volumenstrom Rücklaufkohle	Q_RLK	680 m <sup>3</sup> /h
Energiebedarf pro Jahr		78.980 kWh/a

**Auslegung Überschussschleimabnahme**

<i>Vorgaben</i>		
TS-Gehalt Schlamm		8,00 kg/m <sup>3</sup>
Tagesschlammmenge	V_ÜS	32,07 m <sup>3</sup> /d
angenommene Laufzeit		5 h/d
Förderhöhe, abgeschätzt	h_gesch	3,00 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
berechnete Fördermenge	Q_ber	6,41 m <sup>3</sup> /h
Gewählte Fördermenge	Q_gew	10,00 m <sup>3</sup> /h
Energiebedarf pro Jahr		2.458 kWh/a

**Pulverkohledosierung****Vorgaben**

min. Dosierkonzentration	c_PAK,min	5,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosierkonzentration	c_PAK,max	20,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosierung		13,6 kg/h

**gewählte Dosiersysteme**

1 Dosiergerät, (Ger. 1)	m*_Dos,Ger_1	10,0 kg/h
1 Dosiergerät, (Ger. 2)	m*_Dos,Ger_2	5,0 kg/h
Regelbereich je Dosiergerät		1/10
c_PAK bei Q_Str,min (Ger. 1)		15 g/m <sup>3</sup>
c_PAK bei Q_Str,max (Ger. 1)		20 g/m <sup>3</sup>
c_PAK bei Q_Str,min (Ger. 2)		7 g/m <sup>3</sup>
c_PAK bei Q_Str,max (Ger. 2)		10 g/m <sup>3</sup>

**PAK-Bedarf**

PAK-Dosierkonzentration 1	c_PAK1	15,0 g/m <sup>3</sup>
PAK-Dosierkonzentration 1 Anzahl Tage	t_PAK1,d	265 d
PAK-Dosierkonzentration 2	c_PAK2	20,0 g/m <sup>3</sup>
PAK-Dosierkonzentration 2 Anzahl Tage	t_PAK2	100 d
mittlere PAK-Dosierkonzentration im Jahr	c_PAK,a	16,4 g/m <sup>3</sup>
Tagesbedarf	m_PAK,d	127 kg/d
Jahresbedarf	m_PAK,a	46 Mg/a

**PAK-Silo**

gewähltes Silo-Volumen	V_Silo	125 m <sup>3</sup>
Nutzvolumen	V_Silo,Nutz	50 m <sup>3</sup>
Lagerungsdichte PAK	rho_B,PAK	400 kg/m <sup>3</sup>
Masse PAK, nutzbar	m_PAK,nutz	20 Mg
Intervall Nachfüllung Silo		0,43 a
		158 d

**Pumpen Treibwasser für PAK-Dosierung****Vorgaben**

Volumenstrom	Q_Treib	5 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe, abgeschätzt (inkl. Verluste)	h_gesch	4 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
Laufzeit, anteilig		24 h/d

**Bemessung**

Energiebedarf pro Jahr		1.226 kWh/a
------------------------	--	-------------

**Flockungsmitteldosierung**

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosierkonzentration	c_Me,min	2,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosierkonzentration	c_Me,max	8,0 g/m <sup>3</sup>
mittlere Dosierkonzentration im Jahr	c_Me,a	4,0 g/m <sup>3</sup>
WS-Gehalt FeCl im FM		0,138 kg Fe/kg FM
<i>FM-Bedarf</i>		
Tagesbedarf	m_FM,d	224 kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	82 Mg/a
<i>FM-Silo</i>		
gewähltes Volumen	V_Tank,FM	25 m <sup>3</sup>
Nutzvolumen	V_Tank,Nutz	20 m <sup>3</sup>
Dichte FM	rho_FM	1.430 kg/m <sup>3</sup>
Masse FM, nutzbar	m_FM,nutz	28.600 kg
Intervall Nachfüllung Tank		128 d

**Flockungshilfsmitteldosierung**

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosierkonzentration	c_Me,min	0,1 g/m <sup>3</sup>
max. Dosierkonzentration	c_Me,max	0,3 g/m <sup>3</sup>
mittlere Dosierkonzentration im Jahr	c_Me,a	0,2 g/m <sup>3</sup>
WS-Gehalt im FHM-Granulat		1,000 kg WS/kg Gr.
<i>FHM-Bedarf</i>		
Tagesbedarf	m_FM,d	1,5 kg/d
Jahresbedarf	m_FM,a	0,56 Mg/a

Eingabefelder

Berechnungsfelder

**Stadt Erkelenz****Abwasserreinigungsanlage Erkelenz-Mitte**

**Projekt:** Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination  
**Projektnummer** 1225 001  
**Variante 2** PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung  
**Bemessung Absetzbecken**

**Auslegungsdaten Hydraulik**

Beckentyp		Rundbecken
Schlammräumung (Schildräumung/Saugräumung)		Schildräumung
Durchströmung (vertikal/horizontal)		horizontal
Anzahl der Becken	n	1 Stück
Innendurchmesser Becken	$D_i$	22,50 m
Außendurchmesser Becken	$D_A$	23,50 m
Außendurchmesser Königstuhl	$D_{KS,a}$	5,00 m
Oberfläche		378 m <sup>2</sup>
Beckentiefe im 2/3-Punkt	$h_{2/3}$	3,70 m
Beckenrandtiefe	$h_{Rand}$	3,44 m
Neigung der Sohle	$I_s$	0,07
Beckenvolumen	$Q_{4S,min}$	1.398 m <sup>3</sup>

**Auslegung Zwischenhebewerk**

Max. Zulauf	$Q_{Teil,max}$	680 m <sup>3</sup> /h
		189 l/s
Rücklaufverhältnis	RV	1,00
$t_{v,Sed, min}$	$t_{v,Sed, min}$	2,00 h
max. Oberflächenbeschickung	$q_{a,max}$	1,8 m/h
Schlammvolumen	ISV	100,0 ml/g
TS-Gehalt im Kontaktbecken	TS	4,0 g/l

**Nachweis Flächenbeschickung und Aufenthaltszeit**

Flächenbeschickung	$q_A$	$Q_{max}/A =$	1,80 m/h
Aufenthaltszeit	$t_{v,sed}$	$V_{Sed}/Q_{max} =$	2,06 h

Eingabefelder

Berechnungsfelder

**Stadt Erkelenz****Abwasserreinigungsanlage Erkelenz-Mitte**

<b>Projekt:</b>	<b>Machbarkeitsstudie zur Mikroschadsto</b>
<b>Projektnummer</b>	<b>1225 001</b>
<b>Variante 3</b>	<b>Ozonung mit nachgeschalteter BAK-Filter</b>

**Auslegungsdaten Hydraulik**

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>		
Max. TW-Zufluss (mit Fremdwasser)	Q <sub>t</sub>	159 l/s 572 m <sup>3</sup> /h
Maximaler Wasserzufluss (Trennsystem)	Q <sub>m</sub>	318 l/s 1.144 m <sup>3</sup> /h
Maximaler Trockenwetterzufluss		
<i>Vollstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>		
<i>Auslegungswert 99-Percentil</i>		
Maximaler Mischwasserzufluss	Q <sub>Voll,max</sub>	960 m <sup>3</sup> /h 267 l/s
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q <sub>Voll,a</sub>	3.097.062 m <sup>3</sup> /a
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Voll,d</sub>	8.485 m <sup>3</sup> /d

**Auslegung Zwischenhebewerk**

<i>Vorgaben</i>		
Förderhöhe, abgeschätzt	h <sub>gesch</sub>	9 m
Volumenstrom	Q <sub>Voll,max</sub>	960 m <sup>3</sup> /h
spez. Energiebedarf		7,0 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf pro Jahr		195.115 kWh/a

**Auslegung Kontaktreaktor Ozon**

<i>Vorgaben</i>		
Kontaktzeit (Bereich)	t <sub>KR</sub>	10...30 min
Kontaktzeit, gewählt	t <sub>KR,ges,gew</sub>	25 min
davon im Kontaktreaktor		20 min
in der Ausgasungszone		5 min
Straßen	n <sub>Str</sub>	2
<i>Bemessung Reaktor</i>		
erforderliches Volumen	V <sub>KR,ges</sub>	400 m <sup>3</sup>
davon im Kontaktreaktor		320 m <sup>3</sup>
in der Ausgasungszone		80 m <sup>3</sup>
<i>Geometrie</i>		
Straßen	n <sub>Str</sub>	2
Wasserspiegelhöhe	h <sub>WS</sub>	6,00 m
Länge (innen)	l <sub>KR,gew</sub>	10,00 m
Breite (innen), Straße	b <sub>KR,gew</sub>	3,40 m
Volumen,ist,Str	V <sub>KR,ist,Str</sub>	204 m <sup>3</sup>
Volumen,ist,ges	V <sub>KR,ist,ges</sub>	408 m <sup>3</sup>
<i>Nachweise bezogen auf Q<sub>Teil,max</sub></i>		
tatsächliche Kontaktzeit im Reaktor	t <sub>KR,ist</sub>	25,50 min
Kontaktzeit bei (n-1) Straßen	t <sub>KR,ist,n-1</sub>	12,75 min

**Auslegung Ozonerzeuger**

<i>Vorgaben</i>		
min. Dosis	c_O3,min	2,0 g/m <sup>3</sup>
max. Dosis	c_O3,max	5,0 g/m <sup>3</sup>
mittlere Dosis im Jahr	c_O3,a	3,5 g/m <sup>3</sup>
Prozessgas für Ozonerzeugung		Sauerstoff
spez. O3-Konzentration bez. auf Prozessgas		0,143 kgO3/Nm <sup>3</sup> O2
Dichte O2 bei Standardbedingungen	rho_O2,Norm	1,337 kgO2/m <sup>3</sup>
spez. Energiebedarf O3-Erzeugung mit Restvernicht.		9,4 kWh/kgO3
<i>Bemessung</i>		
O3-Bedarf bei max. O3-Dosis und Q_Teil,max		4,80 kg O3/h
gewählte Anlage		6,00 kg O3/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		30 kg O3/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		10.840 kg O3/a
<i>Sauerstoffbedarf</i>		
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max		45 kg O2/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		278 kg O2/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		101.348 kg O2/a
<i>Energiebedarf</i>		
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max		45 kWh
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		279 kWh/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		952.667 kWh/a

**Pumpen Kühlwasser Ozonerzeuger**

<i>Vorgaben</i>		
Volumenstrom	Q_Treib	10 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	5 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
Laufzeit, anteilig		24 h/d
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf pro Jahr		2.759 kWh/a
Energiebedarf pro Jahr		

**Auslegung GAK-Filter***Vorgaben*

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	6
Schüttdichte GAK	rho_Schütt	400,00 kg/m <sup>3</sup>

*Bemessung Filter*

erforderliches Leerbettvol., ber. über EBCTgew	V_GAK	480 m <sup>3</sup>
erforderliche Filterfläche, ber. über EBCTgew	A_Filter,erf	192,00 m <sup>2</sup>
Energiebedarf pro Jahr	A_Filter,erf,n	32,00 m <sup>2</sup>
Länge Filter, gewählt	l_Filter,gew	7,00 m
Bereite Filter, gewählt	b_Filter,gew	4,60 m
Filterfläche, gewählt je Filter	A_Filter,gew	32,20 m <sup>2</sup>
Filterfläche, gewählt, gesamt	A_Filter,ges	193,20 m <sup>2</sup>
Leerbettvolumen, gewählt, gesamt	V_GAK,ges	483,00 m <sup>3</sup>
Masse GAK, gesamt	M_GAK,ges	193,20 Mg

*Nachweise bezogen auf Q\_Teil,max*

Filtergeschwindigkeit	v_F,ist	4,97 m/h
Filtergeschwindigkeit, bei (n-1) Filter	v_F,ist,n-1	5,96 m/h
tatsächliche Kontaktzeit im Filterbett	EBCT, ist	30,19 min
Kontaktzeit bei (n-1) Filter	EBCT,ist,n-1	25,16 min



**Auslegung Spülwasserpumpe**

<i>Vorgaben</i>		
Spülgeschwindigkeit (Bereich)	v_Spül,W	25...35 m/h
Spülgeschwindigkeit gewählt	v_Spül,L,gew	30 m/h
<i>Bemessung</i>		
Volumenstrom Spülwasser	Q_Spül,L	966 m³/h
Volumenstrom Spülwasserpumpe, gewählt	Q_Spül,L,gew	950 m³/h

**Auslegung Spülgebläse**

<i>Vorgaben</i>		
Spülgeschwindigkeit (Bereich)	v_Spül,L	60...80 m/h
Energiebedarf pro Jahr	v_Spül,L,gew	70 m/h
<i>Bemessung</i>		
Volumenstrom Spülluft	Q_Spül,L	2254 m³/h
Volumenstrom Spülluftgebläse, gewählt	Q_Spül,L,gew	2200 m³/h

**Energiebedarf pro Jahr**

<i>Vorgaben</i>		
Spülintervall, gewählt		168 h
		1 /Woche
Spülprogramm		
Luftspülung	t_Spül,L,gew	90 s
		1,5 min
Wasserspülung	t_Spül,L,gew	300 s
		5,0 min
Spülwasserbedarf pro Spülung (rechnerisch)		81 m³/Spül.
Spülwasserbedarf (rechnerisch)		475 m³/Wo.
		68 m³/d
Spülwasserspeicher (Gewählt)	V_Spülsp,GAK	90 m³
Energiebedarf je Spülung (mit RF Schlammwasser)		10,31 kWh
Bedarf Spülluftgebläse		1,77 kWh
Bedarf Spülwasserpumpen		4,66 kWh
Bedarf Schlammwasserförderungen		3,88 kWh
Energiebedarf pro Woche		62 kWh/Wo
Energiebedarf pro Jahr		3.216 kWh/a
Bedarf Spülluftgebläse		552 kWh/a
Bedarf Spülwasserpumpen		1.453 kWh/a
Bedarf Spülabwasserförderungen		1.211 kWh/a

**Filterlaufzeit/GAK-Bedarf**

Bettvolumina bis Durchbruch (Bereich)		5.000...30.000
Bettvolumina bis Durchbruch	BVgew	30.000
Standzeit Füllung GAK	t_Stand	1.708 d
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Volumen	V_GAK,a	103 m³/a
Jahresbedarf GAK (rechnerisch), Masse	M_GAK,a	41 Mg/a

Eingabefelder

Berechnungsfelder

**Stadt Erkelenz****Abwasserreinigungsanlage Erkelenz-Mitte**

<b>Projekt:</b>	<b>Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffeliminierung</b>
<b>Projektnummer</b>	<b>1225 001</b>
<b>Variante 4</b>	<b>Ozon mit nachges. Wirbelbett</b>

**Auslegungsdaten Hydraulik**

<i>Gesamtzulauf Kläranlage</i>			
Maximaler Trockenwetterzufluss	Q <sub>t</sub>	159 l/s	572 m <sup>3</sup> /h
Maximaler Mischwasserzufluss	Q <sub>m</sub>	318 l/s	1.144 m <sup>3</sup> /h
<i>Vollstrombehandlung (4. Reinigungsstufe)</i>			
<i>Auslegungswert 99-Percentil</i>			
Max. Volumenstrom für Teilstrombehandlung	Q <sub>Voll,max</sub>	960 m <sup>3</sup> /h	267 l/s
Behandelte Abwassermenge im Teilstrom	Q <sub>Voll,a</sub>	3.097.062 m <sup>3</sup> /a	
Behandelte Teilstrommenge pro Tag	Q <sub>Voll,d</sub>	8.485 m <sup>3</sup> /d	

**Auslegung Zwischenhebewerk**

<i>Vorgaben</i>			
Förderhöhe, abgeschätzt	h <sub>gesch</sub>	9 m	
Volumenstrom	Q <sub>Voll,max</sub>	960 m <sup>3</sup> /h	
spez. Energiebedarf	Q <sub>Voll,d</sub>	7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)	
<i>Bemessung</i>			
Energiebedarf pro Jahr		195.115 kWh/a	

**Auslegung Kontaktreaktor Ozon**

<i>Vorgaben</i>			
Kontaktzeit (Bereich)	t <sub>KR</sub>	10...30 min	
Kontaktzeit, gewählt	t <sub>KR,ges,gew</sub>	25 min	
im Kontaktreaktor		20 min	
in der Ausgasungszone		5 min	
Straßen	n <sub>Str</sub>	2	
<i>Bemessung Reaktor</i>			
erforderliches Volumen	V <sub>KR,ges</sub>	400 m <sup>3</sup>	
im Kontaktreaktor		320 m <sup>3</sup>	
und in der Ausgasungszone		80 m <sup>3</sup>	
<i>Geometrie</i>			
Straßen	n <sub>Str</sub>	2	
Wasserspiegelhöhe	h <sub>WS</sub>	6,00 m	
Länge (innen)	l <sub>KR,gew</sub>	10,00 m	
Breite (innen), Straße	b <sub>KR,gew</sub>	3,40 m	
Volumen,ist,Str	V <sub>KR,ist,Str</sub>	204 m <sup>3</sup>	
Volumen,ist,ges	V <sub>KR,ist,ges</sub>	408 m <sup>3</sup>	
<i>Nachweise bezogen auf Q<sub>Teil,max</sub></i>			
tatsächliche Kontaktzeit im Reaktor	t <sub>KR,ist</sub>	25,50 min	
Kontaktzeit bei (n-1) Straßen	t <sub>KR,ist,n-1</sub>	12,75 min	

**Auslegung Ozonerzeuger**

<b>Vorgaben</b>			
min. Dosis	c_O3,min	2,0	g/m <sup>3</sup>
max. Dosis	c_O3,max	5,0	g/m <sup>3</sup>
mittlere Dosis im Jahr	c_O3,a	3,5	g/m <sup>3</sup>
Prozessgas für Ozonerzeugung		Sauerstoff	
spez. O3-Konzentration bez. auf Prozessgas		0,143	kgO3/Nm <sup>3</sup> O2
Dichte O2 bei Standardbedingungen	rho_O2,Norm	1,337	kgO2/m <sup>3</sup>
spez. Energiebedarf O3-Erzeugung mit Restvernicht.		9,4	kWh/kgO3
<b>Bemessung</b>			
O3-Bedarf bei max. O3-Dosis und Q_Teil,max		4,80	kg O3/h
gewählte Anlage		6,00	kg O3/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		30	kg O3/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		10.840	kg O3/a
<b>Sauerstoffbedarf</b>			
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max		45	kg O2/h
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		278	kg O2/d
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		101.348	kg O2/a
<b>Energiebedarf</b>			
Bedarf bei max. Dosierung und Q_Teil,max		45	kWh/a
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,d		279	kWh/a
Bedarf bei mittlerer Konzentration und Q_Teil,a		952.667	kWh/a

**Pumpen Kühlwasser Ozonerzeuger**

<i>Vorgaben</i>		
Volumenstrom	Q_Treib	10 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe, abgeschätzt (incl. Verluste)	h_gesch	5 m
spez. Energiebedarf		7 Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
Laufzeit, anteilig		24 h/d
<i>Bemessung</i>		
Energiebedarf pro Jahr		2.759 kWh/a

**Auslegung Wirbelbett**

<i>Vorgaben</i>		
Oberflächenbeschickung (Bereich)	Q_oberfläche	7,3...13,3 (l/m <sup>2</sup> )/h
Oberflächenbeschickung gewählt	Q_oberfläche, gew	10 (l/m <sup>2</sup> )/h
Hydraulische Kontaktzeit (Bereich)	t_WB	16...30 min
Hydraulische Kontaktzeit gewählt	t_WB, gewählt	30 min
Straßen	n_Str	2
Füllgrad Biofilm pro Wirbelbett-Reaktor	A_Biofilm	300 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Tiefe Wirbelbett-Reaktoren, gewählt	T_Reaktor	5 m
spez. Flächenbedarf / Durchsatzmenge	A_Bedarf_spez	0,10 m <sup>2</sup> /(m <sup>3</sup> /h)
Flächenbedarf Wirbelbett-Reaktoren	A_Bedarf	96 m <sup>2</sup>
Gesamtvolumen Wirbelbett-Reaktoren	V_ges_WB	480 m <sup>3</sup>
spez. Energiebedarf Umwälzung Wirbelbett und Pumpen		0,10 kWh/m <sup>3</sup>
Energiebedarf pro Jahr		309.706 kWh/a

Eingabefelder

Berechnungsfelder

**Anlage 2:  
Investitionskosten  
Varianten 1 bis 4**

**Stadt Erkelenz**  
**Abwasserreinigungsanlage Erkelenz**

**Projekt: Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination**

**Projektumr 1225 001**

**Zusammenstellung Investitionskosten**

Pos.-Nr	Text		Variante 1 GAK	Variante 2 PAK mit RLK	Variante 3 BAK	Variante 4 Ozon-Wirbelbett
1	Bautechnik	EUR	2.400.640,00	1.900.821,55	3.306.545,00	1.685.605,00
2	Maschinentchnik	EUR	1.203.300,00	1.549.298,68	2.355.150,00	1.521.750,00
3	EMSR-Technik	EUR	602.000,00	845.000,00	1.178.000,00	761.000,00
<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>4.205.940,00</b>	<b>4.295.120,24</b>	<b>6.839.695,00</b>	<b>3.968.355,00</b>
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)		EUR	841.188,00	859.024,05	1.367.939,00	793.671,00
<b>Summe Baukosten, netto</b>		<b>EUR</b>	<b>5.047.128,00</b>	<b>5.154.144,28</b>	<b>8.207.634,00</b>	<b>4.762.026,00</b>
Mehrwertsteuer		EUR	958.954,32	979.287,41	1.559.450,46	904.784,94
<b>Summe Baukosten, brutto</b>		<b>EUR</b>	<b>6.006.082,32</b>	<b>6.133.431,70</b>	<b>9.767.084,46</b>	<b>5.666.810,94</b>
<b>Anteil</b>			<b>106%</b>	<b>108%</b>	<b>172%</b>	<b>100%</b>

**Stadt Erkelenz**  
**Abwasserreinigungsanlage Erkelenz**

Projekt: **Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination**

Projektnumr **1225 001**

Variante **1 Nachgeschaltete GAK-Filtration**

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
0	<b>Baustelleneinrichtung</b> (10 % Bautechnik) (5 % Maschinentchnik)				218.240,00 €	57.300,00 €		275.540,00 €
1	<b>Pumpwerk 4. Reinigungsstufe</b> Schacht Pumpenvorlage Anbindung best. Pumpensumpf Schütz Zulauf PW 4. RS Schlosserarbeiten (Gitterrost/Geländer)	48,00 1,00 1,00 1,00	m³ psch psch psch	800,00 € 15.000,00 € 15.000,00 € 8.000,00 €	38.400,00 € 15.000,00 € 8.000,00 €	15.000,00 €		76.400,00 €
2	<b>Filterbauwerk</b> mit Spülwasser- u. Spülabwasservorlage Bauwerk mit Abdachung Pumpen Filterboden mit Düsen Raum über Filtratwasserspeicher	1,00 192,00 480,00	psch m² m³	1.400.000,00 € 1.500,00 € 300,00 €	1.400.000,00 € 144.000,00 €	288.000,00 €		1.832.000,00 €
3	<b>Filtermaterial (Erstbefüllung)</b> Aktivkohle Stützsicht	124,00 72,00	Mg m³	2.200,00 € 350,00 €		272.800,00 € 25.200,00 €		298.000,00 €
4	<b>Pumpen</b> Tauchmotorpumpen mit Arm. Spülwasserpumpe Spülabwasserpumpe	3,00 1,00 1,00	St St St	48.000,00 € 30.000,00 € 19.000,00 €		144.000,00 € 30.000,00 € 19.000,00 €		193.000,00 €
5	<b>Gebälse</b> Spülluftgebläse mit Verrohrung	1,00	St	37.000,00 €		37.000,00 €		37.000,00 €
6	<b>Rohrtech. Installation - VA</b> <i>Abl. GAK -&gt; neuer Ablauf</i> 2 x Leitung DN 500 Formstücke Armaturen, Antriebe etc. <i>Rohrleitungen GAK Filter</i> Rohrleitung VA incl. Formstücke Armaturen, Antriebe etc.	30,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00	m psch psch psch psch psch	800,00 € 8.000,00 € 10.000,00 € 105.000,00 € 150.000,00 €		24.000,00 € 8.000,00 € 10.000,00 € 105.000,00 € 150.000,00 €		297.000,00 €
7	<b>Erdverlegte Rohrleitungen - PE</b> <i>Abl. ARA -&gt; Zul. GAK</i> 2 x Rohr DN 500 - PE-100 Formstücke Armaturen, Antriebe etc. Erschwernis Verlegung <i>Abl. Spülabwasser -&gt; Spülabwasserleitung Sandfilter</i> Rohr DN 90 - PE-100 Formstücke Armaturen, Antriebe etc. Erschwernis Verlegung	320,00 1,00 1,00 1,00 200,00 1,00 1,00 1,00	m psch psch psch m psch psch psch	700,00 € 20.000,00 € 35.000,00 € 25.000,00 € 400,00 € 10.000,00 € 20.000,00 € 15.000,00 €	224.000,00 € 20.000,00 € 35.000,00 € 25.000,00 € 80.000,00 € 10.000,00 € 20.000,00 € 15.000,00 €			429.000,00 €
8	<b>Kabelschächte/Leerrohre</b>	3,00	St	20.000,00 €	60.000,00 €			60.000,00 €
9	<b>Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen</b>	1,00	psch	80.000,00 €	80.000,00 €			80.000,00 €
10	<b>Inbetriebnahme/Dokumentation</b> Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	8.000,00 € 18.000,00 €	8.000,00 €	18.000,00 €		26.000,00 €
11	<b>EMSR-Technik</b> Pauschal (50 % der MT)	1,00	psch	602.000,00 €			602.000,00 €	602.000,00 €
<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>					<b>2.400.640,00 €</b>	<b>1.203.300,00 €</b>	<b>602.000,00 €</b>	<b>4.205.940,00 €</b>
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)				20%	<b>480.128,00 €</b>	<b>240.660,00 €</b>	<b>120.400,00 €</b>	<b>841.188,00 €</b>
<b>Summe Baukosten, netto</b>					<b>2.880.768,00 €</b>	<b>1.443.960,00 €</b>	<b>722.400,00 €</b>	<b>5.047.128,00 €</b>
Mehrwertsteuer				19%				<b>958.954,32 €</b>
<b>Summe Baukosten, brutto</b>								<b>6.006.082,32 €</b>

<b>Kapitalkosten</b>				
Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren	30			
Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren		15		
Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren			10	
Zinssatz i	3,14%	3,14%	3,14%	
<b>Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)</b>				
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik	0,05195			
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik		0,08462		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik			0,11807	
<b>Zwischensumme Kapitalkosten/a, netto</b>	<b>149.646,86 €</b>	<b>122.183,72 €</b>	<b>85.293,49 €</b>	<b>357.124,07 €</b>

<b>Wartung- und Instandhaltungskosten</b>				
1,0 %/a der Baukosten	28.807,68 €			
4,0 %/a der Kosten für technische Installationen		57.758,40 €		
2,0 %/a der Kosten für EMSR-Technik			14.448,00 €	
<b>Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto</b>	<b>28.807,68 €</b>	<b>57.758,40 €</b>	<b>14.448,00 €</b>	<b>101.014,08 €</b>

Stadt Erkelenz  
Abwasserreinigungsanlage Erkelenz

Projekt: Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination

Projektnum. 1225 001

Variante 2 PAK-Dosierung mit Rücklaufkohleführung

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
0	<b>Baustelleneinrichtung</b> (10 % Bautechnik) (5 % Maschinentechnik)				172.801,96 €		73.776,13 €	246.578,09 €
1	<b>Pumpwerk 4. Reinigungsstufe</b> Schacht Pumpenvorlage Anbindung best. Pumpensumpf Schütz Zulauf PW 4. RS Schlosserarbeiten (Gitterrost/Geländer)	48,00 1,00 1,00 1,00	m³ psch psch psch	800,00 € 15.000,00 € 15.000,00 € 8.000,00 €	38.400,00 € 15.000,00 €		15.000,00 €	76.400,00 €
2	<b>Kombibecken</b> Kontaktbecken mit Schächten Absetzbecken mit Schächten Rührwerke Absenkschieber Zulauf Schlosserarb. (Bediengang + Treppe) Schlosserarb. (Geländer + Gitterrost KB) Räumer Schürze Einlauf Ablaufrinne VA Absenkschieber Zulauf mit Antrieb	447,00 575,00 2,00 1,00 1,00 91,26 1,00 1,00 84,19 1,00	m³ m³ St St psch m St St m St	390,00 € 620,00 € 20.000,00 € 9.300,00 € 72.000,00 € 1.100,00 € 130.000,00 € 23.000,00 € 1.400,00 € 18.000,00 €	174.330,00 € 356.500,00 €		40.000,00 € 9.300,00 €	1.041.392,15 €
3	<b>PAK-Silo 125 m³</b> Fundament Silo Silo mit Dosiereinrichtung Pumpe Treibwasser m. Verrohr Kompressor mit Lufttrocknung Steuerung	1,00 1,00 1,00 1,00 1,00	psch St psch St St	30.000,00 € 420.000,00 € 12.000,00 € 12.000,00 € 70.000,00 €	30.000,00 €		420.000,00 € 12.000,00 € 12.000,00 € 70.000,00 €	544.000,00 €
4	<b>Pulveraktivkohle (Erstbefüllung)</b> Aktivkohle	20,00	Mg	2.200,00 €			44.000,00 €	44.000,00 €
5	<b>Flockungsmitteldosierung</b> Fundamente Anlage Abdachung Dosieranlage 25 m³ PE-Tank Dosierleitungen (Schutzrohr + Schlauch)	1,00 1,00 1,00 2,00 110,00	psch psch psch St m	13.000,00 € 25.000,00 € 140.000,00 € 62.000,00 € 170,00 €	13.000,00 € 25.000,00 €		140.000,00 € 124.000,00 € 18.700,00 €	320.700,00 €
6	<b>Flockungshilfsmitteldosierung</b> Bereitungsanlage mit Dosierleitungen Dosierleitungen	1,00 35,00	psch m	46.000,00 € 90,00 €			46.000,00 € 3.150,00 €	49.150,00 €
7	<b>Pumpen</b> Tauchmotorpumpen mit Arm. Schnecken-PW Rücklaufkohle DN 500 ÜS-Kohlepumpe mit Verrohrung	3,00 1,00 1,00	St St St	48.000,00 € 90.000,00 € 12.000,00 €			144.000,00 € 90.000,00 € 12.000,00 €	246.000,00 €
8	<b>Rohrtech. Installation - VA</b> Abl. Kontaktbecken > Zul. Sedi-Becken 2x Leitungen DN 450 Formstücke, Flansche, Einbindung etc. Armaturen	30,00 1,00 1,00	m psch psch	750,00 € 7.000,00 € 9.000,00 €			22.500,00 € 7.000,00 € 9.000,00 €	38.500,00 €
9	<b>Erdverlegte Rohrleitungen - PE</b> Abl. Klarwasserfiltrik. -> Zul. Kombibecken 2 x Rohr DN 450 - PE-100 Formstücke Armaturen, Antriebe etc. Erschwernis Verlegung Abl. Kombibecken -> Sandfilter 2 x Rohr DN 450 - PE-100 Formstücke Armaturen, Antriebe etc. Erschwernis Verlegung ÜS-Kohle Kombibecken -> NKB-ÜSS Rückführ Rohr DN 90 - PE-100 Formstücke Armaturen, Antriebe etc. Erschwernis Verlegung	320,00 1,00 1,00 1,00 320,00 1,00 1,00 1,00 1,00 210,00 1,00 1,00 1,00	m psch psch psch m psch psch psch psch m psch psch psch	650,00 € 15.000,00 € 30.000,00 € 20.000,00 € 650,00 € 15.000,00 € 30.000,00 € 20.000,00 € 20.000,00 € 400,00 € 10.000,00 € 20.000,00 € 15.000,00 €	208.000,00 € 15.000,00 € 30.000,00 € 20.000,00 € 208.000,00 € 15.000,00 € 30.000,00 € 20.000,00 € 20.000,00 € 84.000,00 € 10.000,00 € 20.000,00 € 15.000,00 €			675.000,00 €
10	<b>Kabelschächte/Leerrohre</b>	5,00	St	20.000,00 €	100.000,00 €			100.000,00 €
11	<b>Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen</b>	1,00	psch	80.000,00 €	80.000,00 €			80.000,00 €
12	<b>Einhausung Dosieranlagen</b>	72,00	m³	450,00 €	32.400,00 €			32.400,00 €
13	<b>Inbetriebnahme/Dokumentation</b> Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	8.000,00 € 18.000,00 €	8.000,00 €		18.000,00 €	26.000,00 €
14	<b>EMSR-Technik</b> Pauschal (50 % der MT)	1,00	psch	775.000,00 €			775.000,00 €	775.000,00 €
	<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>				<b>1.900.821,55 €</b>	<b>1.549.298,68 €</b>	<b>845.000,00 €</b>	<b>4.295.120,24 €</b>
	Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)			20%	380.164,31 €	309.859,74 €	169.000,00 €	859.024,05 €
	<b>Summe Baukosten, netto</b>				<b>2.280.985,86 €</b>	<b>1.859.158,42 €</b>	<b>1.014.000,00 €</b>	<b>5.154.144,28 €</b>
	Mehrwertsteuer			19%				979.287,41 €
	<b>Summe Baukosten, brutto</b>							<b>6.133.431,70 €</b>

Kapitalkosten				
Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren		30		
Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren			15	
Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren				10
Zinssatz i		3,14%	3,14%	3,14%
<b>Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)</b>				
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik		0,05195		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik			0,08462	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik				0,11807
<b>Summe Kapitalkosten/a, netto</b>		<b>118.490,06 €</b>	<b>157.316,61 €</b>	<b>119.722,60 €</b>

Wartung- und Instandhaltungskosten				
1,0 %/a der Baukosten		22.809,86 €		
4,0 %/a der Kosten für technische Installationen			74.366,34 €	
2,0 %/a der Kosten für EMSR-Technik				20.280,00 €
<b>Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto</b>		<b>22.809,86 €</b>	<b>74.366,34 €</b>	<b>20.280,00 €</b>



Stadt Erkelenz  
Abwasserreinigungsanlage Erkelenz

Projekt: Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination

Projektum 1225 001

Variante 3 Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filtration

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis	
0	<b>Baustelleneinrichtung</b> (10 % Bautechnik) (5 % Maschinenteknik)				300.595,00 €	112.150,00 €		412.745,00 €	
1	<b>Pumpwerk 4. Reinigungsstufe</b> Schacht Pumpenvorlage Anbindung best. Pumpensumpf HW Fil. Schütz Zulauf PW 4. RS Schlosserarbeiten (Gitterrost/Geländer)	48,00 1,00 1,00 1,00	m³ psch psch psch	800,00 € 15.000,00 € 15.000,00 € 8.000,00 €	38.400,00 € 15.000,00 €		15.000,00 €	76.400,00 €	
2	<b>Reaktionsbehälter</b> Behälter, gasdicht + Verteilschacht Installation VA (RL) allgemein Armaturen Antriebe Armaturen Bediensteg	400,00 1,00 1,00 1,00 1,00	m³ psch psch psch psch	1.200,00 € 23.000,00 € 40.000,00 € 23.000,00 € 12.000,00 €	480.000,00 €		23.000,00 € 40.000,00 € 23.000,00 €	578.000,00 €	
3	<b>Ozonanlage</b> Anlage Ozonzerzeuger (2*3 kg/h) Einsatzgasversorgung Instrumentenluft u. N₂-Zudosierung Wärmetauscher Kühlwasser Eintragungssystem (32 Diffusoren) Restozonvernichter Raumlüftüberwachung Ozongasüberwachung im Ozongas Ozonmessung Wasser Anlagensteuerung Ventile und Instrumente Verrohrung und Montage Über-/Unterdrucksicherung Kontaktbeh.	1,00 2,00 incl. incl. 2,00 incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. 1,00 2,00	psch incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. psch St	850.000,00 € incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. 120.000,00 € 5.000,00 €		850.000,00 €		980.000,00 €	
4	<b>Aufstellung O2/O3-Anlage m. Halle</b> Einhausung Ozonanlage-NSV Pumpwerk incl. Verrörungen	315,00 1,00	m³ psch	570,00 € 50.000,00 €	179.550,00 € 50.000,00 €			229.550,00 €	
5	<b>Filterbauwerk mit Spülwasser- u. Spülabwasservorlage</b> Bauwerk mit Abdachung Pumpen Filterboden mit Düsen Raum über Filtratwasserspeicher	1,00 192,00 480,00	psch m² m³	1.400.000,00 € 1.500,00 € 300,00 €	1.400.000,00 €	288.000,00 €		1.832.000,00 €	
6	<b>Filtermaterial (Erstbefüllung)</b> Aktivkohle Stüttschicht	124,00 72,00	Mg m³	2.200,00 € 350,00 €		272.800,00 € 25.200,00 €		298.000,00 €	
7	<b>Pumpen</b> Tauchmotorpumpen mit Arm. Pumpen + Verroh. Kühlwasser	3,00 1,00	St psch	48.000,00 € 38.000,00 €		144.000,00 € 38.000,00 €		182.000,00 €	
8	<b>Gebälse</b> Spülluftgebläse mit Verrohrung	1,00	St	37.000,00 €		37.000,00 €		37.000,00 €	
9	<b>Rohrtech. Installation - VA</b> <i>Ozonung -&gt; GAK</i> 2 x Leitung DN 500 Formstücke Antriebe u. Armaturen <i>GAK -&gt; neuer Ablauf</i> 2 x Leitung DN 500 Formstücke, Flansche, Einbindung etc. Antriebe u. Armaturen <i>Rohrleitungen GAK Filter</i> Rohrleitung VA incl. Formstücke Armaturen, Antriebe etc.	30,00 1,00 1,00 1,00 30,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00	m psch psch psch m psch psch psch psch psch	800,00 € 8.000,00 € 10.000,00 € 10.000,00 € 800,00 € 8.000,00 € 10.000,00 € 10.000,00 € 105.000,00 € 150.000,00 €		24.000,00 € 8.000,00 € 10.000,00 € 10.000,00 € 24.000,00 € 8.000,00 € 10.000,00 € 10.000,00 € 105.000,00 € 150.000,00 €		339.000,00 €	
10	<b>Erdverlegte Rohrleitungen - PE</b> <i>Abl. ARA -&gt; Zul. Ozonung</i> 2 x Rohr DN 500 - PE-100 Formstücke Armaturen, Antriebe etc. Erschwernis Verlegung <i>Abl. Spülabwasser -&gt; Anbindung Spülabwasser Sandfilter</i> Rohr DN 90 - PE-100 Formstücke Armaturen, Antriebe etc. Erschwernis Verlegung <i>Kühlwasser - Ozonung</i> Rohr DN 90 - PE-100 Formstücke Armaturen, Antriebe etc.	320,00 1,00 1,00 1,00 200,00 6,00 1,00 1,00 55,00 1,00 1,00	m psch psch psch m psch psch psch m psch psch	700,00 € 20.000,00 € 35.000,00 € 25.000,00 € 400,00 € 10.000,00 € 20.000,00 € 15.000,00 € 400,00 € 4.000,00 € 6.000,00 €	224.000,00 € 20.000,00 € 35.000,00 € 25.000,00 € 80.000,00 € 60.000,00 € 20.000,00 € 15.000,00 € 22.000,00 € 4.000,00 € 6.000,00 €			511.000,00 €	
11	<b>Kabelschächte/Leerrohre</b>	4,00	St	20.000,00 €	80.000,00 €			80.000,00 €	
12	<b>Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen</b>	1,00	psch	80.000,00 €	80.000,00 €			80.000,00 €	
13	<b>Inbetriebnahme/Dokumentation</b> Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	8.000,00 € 18.000,00 €	8.000,00 €	18.000,00 €		26.000,00 €	
14	<b>EMSR-Technik</b> Pauschal (50 % der MT)	1,00	psch	1.178.000,00 €		1.178.000,00 €		1.178.000,00 €	
<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>					<b>3.306.545,00 €</b>	<b>2.355.150,00 €</b>	<b>1.178.000,00 €</b>	<b>6.839.695,00 €</b>	
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.)					20%	661.309,00 €	471.030,00 €	235.600,00 €	1.367.939,00 €
<b>Summe Baukosten, netto</b>						<b>3.967.854,00 €</b>	<b>2.826.180,00 €</b>	<b>1.413.600,00 €</b>	<b>8.207.634,00 €</b>
Mehrwertsteuer					19%			1.559.450,46 €	
<b>Summe Baukosten, brutto</b>								<b>9.767.084,46 €</b>	

Kapitalkosten				
Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren		30		
Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren			15	
Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren				10
Zinssatz i		3,14%	3,14%	3,14%
<b>Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)</b>				
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik		0,05195		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik			0,08462	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik				0,11807
<b>Zwischensumme Kapitalkosten/a, netto</b>		<b>206.117,56 €</b>	<b>239.143,18 €</b>	<b>166.903,22 €</b>

Wartung- und Instandhaltungskosten				
1,0 %/a der Baukosten		39.678,54 €		
4,0 %/a der Kosten für technische Installationen			113.047,20 €	
2,0 %/a der Kosten für EMSR-Technik				28.272,00 €
<b>Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto</b>		<b>39.678,54 €</b>	<b>113.047,20 €</b>	<b>28.272,00 €</b>

Stadt Erkelenz  
Abwasserreinigungsanlage Erkelenz

Projekt: Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination

Projektum 1225 001

Variante 4 Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett

Pos.-Nr	Text	Menge	Einheit	Einheitspreis	Bautechnik	Masch.-Tech.	Elektro.-Tech.	Gesamtpreis
0	<b>Baustelleneinrichtung</b> (10 % Bautechnik) (5 % Maschinentechnik)				147.655,00 €	71.750,00 €		219.405,00 €
2	<b>Pumpwerk 4. Reinigungsstufe</b> Schacht Pumpenvorlage Anbindung best. Pumpensumpf HW Fil. Schütz Zulauf PW 4. RS Schlosserarbeiten (Gitterrost/Geländer)	48,00 1,00 1,00 1,00	m³ psch psch psch	800,00 € 15.000,00 € 15.000,00 € 8.000,00 €	38.400,00 € 15.000,00 €	15.000,00 €		76.400,00 €
2	<b>Reaktionsbehälter</b> Behälter, gasdicht + Verteilschacht Installation VA (RL) allgemein Armaturen Antriebe Armaturen Bediensteg	400,00 1,00 1,00 1,00 1,00	m³ psch psch psch psch	1.200,00 € 23.000,00 € 40.000,00 € 23.000,00 € 12.000,00 €	480.000,00 €	23.000,00 € 40.000,00 € 23.000,00 €		578.000,00 €
4	<b>Ozonanlage</b> Anlage Ozonerzeuger (2*3 kg/h) Einsatzgasversorgung Instrumentenluft u. N₂-Zudosierung Wärmetauscher Kühlwasser Eintragssystem (32 Diffusoren) Restozonvernichter Raumlufüberwachung Ozongasüberwachung im Ozongas Ozommessung Wasser Anlagensteuerung Ventile und Instrumente Verrohrung und Montage Über-/Unterdrucksicherung Kontaktbeh.	1,00 2,00 incl. incl. 2,00 incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. 1,00 2,00	psch incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. psch St	850.000,00 € incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. incl. 120.000,00 € 5.000,00 €		850.000,00 €		980.000,00 €
5	<b>Aufstellung O2/O3-Anlage m. Halle</b> Einhausung Ozonanlage-NSV Pumpwerk incl. Verrundungen	315,00 1,00	m³ psch	570,00 € 50.000,00 €	179.550,00 € 50.000,00 €			229.550,00 €
7	<b>Wirbelbett</b> Fundament Wirbelbett-Reaktoren incl. Verrohrungen Rührwerke Biofilmtträgermaterial Schlosserarb.	1,00 480,00 4,00 1,00 1,00	psch m³ St psch psch	20.000,00 € 500,00 € 15.000,00 € 5.000,00 € 38.000,00 €	20.000,00 € 240.000,00 €	60.000,00 €		363.000,00 €
6	<b>Pumpen</b> Tauchmotorpumpen mit Arm. Pumpen + Verroh. Kühlwasser Pumpen Beschickung Wirbelbett mit Arm. + Verrohr.	3,00 1,00 2,00	St psch St	48.000,00 € 25.000,00 € 35.000,00 €		144.000,00 € 25.000,00 €		169.000,00 €
3	<b>Rohrtech. Installation - VA</b> <i>Ozonung -&gt; Wirbelbett</i> 2 x Leitung DN 500 Rohrleitung VA incl. Formstücke Antriebe Armaturen <i>Wirbelbett -&gt; neuer Ablauf</i> 2 x Leitung DN 500 Formstücke, Flansche, Einbindung etc. Antriebe u. Armaturen	30,00 1,00 1,00 30,00 1,00 1,00	m psch psch m psch psch	800,00 € 8.000,00 € 10.000,00 € 800,00 € 8.000,00 € 10.000,00 €		24.000,00 € 8.000,00 € 10.000,00 € 24.000,00 € 8.000,00 € 10.000,00 €		84.000,00 €
7	<b>Erdverlegte Rohrleitungen - PE</b> <i>Abl. ARA -&gt; Zul. Ozonung</i> 2 x Rohr DN 500 - PE-100 Antriebe u. Armaturen Formstücke Erschwernis Verlegung <i>Kühlwasser - Ozonung</i> Rohr DN 90 - PE-100 Formstücke Armaturen, Antriebe etc.	320,00 1,00 1,00 1,00 55,00 1,00 1,00	m psch psch psch m psch psch	700,00 € 20.000,00 € 35.000,00 € 25.000,00 € 400,00 € 4.000,00 € 6.000,00 €	224.000,00 €	20.000,00 €		336.000,00 €
10	<b>Inbetriebnahme/Dokumentation</b> Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	8.000,00 € 18.000,00 €	8.000,00 €	18.000,00 €		26.000,00 €
11	<b>Kabelschächte/Leerrohre</b>	2,00	St	20.000,00 €	40.000,00 €			40.000,00 €
13	<b>Strassen-/Wegebau/Aussenanlagen</b>	1,00	psch	80.000,00 €	80.000,00 €			80.000,00 €
14	<b>Inbetriebnahme/Dokumentation</b> Dokumentation Dokumentation/Inbetriebnahme	1,00 1,00	psch psch	8.000,00 € 18.000,00 €	8.000,00 €	18.000,00 €		26.000,00 €
15	<b>EMSR-Technik</b> Pauschal (50 % der MT)	1,00	psch	761.000,00 €			761.000,00 €	761.000,00 €
<b>Summe Herstellungskosten, netto</b>					<b>1.685.605,00 €</b>	<b>1.521.750,00 €</b>	<b>761.000,00 €</b>	<b>3.968.355,00 €</b>
Nebenkosten (Ing.-Honoare, Prüfgebühr, usw.) 20%					337.121,00 €	304.350,00 €	152.200,00 €	793.671,00 €
<b>Summe Baukosten, netto</b>					<b>2.022.726,00 €</b>	<b>1.826.100,00 €</b>	<b>913.200,00 €</b>	<b>4.762.026,00 €</b>
Mehrwertsteuer 19%								904.784,94 €
<b>Summe Baukosten, brutto</b>								<b>5.666.810,94 €</b>
<b>Förderung</b>					0%			

Kapitalkosten				
Nutzungsdauer Bautechnik in Jahren		30		
Nutzungsdauer Masch.-Technik in Jahren			15	
Nutzungsdauer EMSR-Technik in Jahren				10
Zinssatz i		3,14%	3,14%	3,14%
<b>Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)</b>				
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Bautechnik		0,05195		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor Masch.-Technik			0,08462	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor EMSR-Technik				0,11807
<b>Zwischensumme Kapitalkosten/a, netto</b>		<b>105.074,27 €</b>	<b>154.519,30 €</b>	<b>107.821,18 €</b>

Wartung- und Instandhaltungskosten				
1,0 %/a der Baukosten		20.227,26 €		
4,0 %/a der Kosten für technische Installationen			73.044,00 €	
2,0 %/a der Kosten für EMSR-Technik				18.264,00 €
<b>Summe Wartungs-/Instandhaltungskosten/a, netto</b>		<b>20.227,26 €</b>	<b>73.044,00 €</b>	<b>18.264,00 €</b>

**Anlage 3:  
Betriebskosten  
Varianten 1 bis 4**

**Stadt Erkelenz**  
**Abwasserreinigungsanlage Erkelenz-Mitte**

**Projekt: Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination**  
**Projekt Nr. 1225 001**

**Zusammenstellung Betriebskosten**

	<b>Text</b>		<b>Variante 1</b> Nachgeschaltete GAK-Filtration	<b>Variante 2</b> PAK mit Rücklaufkohlenführung	<b>Variante 3</b> Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filtration	<b>Variante 4</b> Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	134.117,08	148.194,70	214.100,74	144.638,26
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	277.457,61	166.401,62	274.016,72	234.617,20
	<b>Summe Betriebskosten, netto</b>	<b>EUR/a</b>	<b>411.574,69</b>	<b>314.596,32</b>	<b>488.117,46</b>	<b>379.255,46</b>
	Mehrwertsteuer: 19%	EUR/a	78.199,19	59.773,30	92.742,32	72.058,54
	<b>Summe Betriebskosten, brutto</b>	<b>EUR/a</b>	<b>489.773,88</b>	<b>374.369,62</b>	<b>580.859,77</b>	<b>451.314,00</b>
	<b>Anteil</b>		<b>131%</b>	<b>100%</b>	<b>155%</b>	<b>121%</b>

**Anlage 4:  
Jahreskosten  
Varianten 1 bis 4**

**Stadt Erkelenz**  
**Abwasserreinigungsanlage Erkelenz-Mitte**

**Projekt: Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination**

**Projektnummer 1225 001**

**Zusammenstellung Jahreskosten**

Pos.			<b>Variante 1</b> Nachgeschaltete GAK-Filtration	<b>Variante 2</b> PAK mit Rücklaufkohlen- führung	<b>Variante 3</b> Ozonung mit nachgeschalteter GAK-Filtration	<b>Variante 4</b> Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett
A	Kapitalgebundene Kosten	EUR/a	357.124,07	395.529,26	612.163,96	367.414,75
B	Betriebsgebundene Kosten	EUR/a	134.117,08	148.194,70	214.100,74	144.638,26
C	Verbrauchsgebundene Kosten	EUR/a	277.457,61	166.401,62	274.016,72	234.617,20
<b>Summe Jahreskosten, netto</b>		<b>EUR/a</b>	<b>768.698,76</b>	<b>710.125,58</b>	<b>1.100.281,42</b>	<b>746.670,21</b>
Mehrwertsteuer: 19%		EUR/a	146.052,76	134.923,86	209.053,47	141.867,34
<b>Summe Jahreskosten, brutto</b>		<b>EUR/a</b>	<b>914.751,53</b>	<b>845.049,44</b>	<b>1.309.334,89</b>	<b>888.537,55</b>
<b>Anteil</b>			<b>108%</b>	<b>100%</b>	<b>155%</b>	<b>105%</b>