

**GEMEINDE HÖVELHOF**

**STUDIE ZUR SPURENSTOFFELIMINATION  
AUF DER KLÄRANLAGE HÖVELHOF**



**ABSCHLUSSBERICHT**

Essen, im Juli 2017

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1</b>	<b>Vorbemerkungen</b>	<b>1</b>
1.1	Veranlassung	1
1.2	Angaben zur Kläranlage	2
1.2.1	Kurzbeschreibung Abwasserreinigung	2
1.2.2	Kurzbeschreibung Bemessungswerte	5
1.3	Verwendete Unterlagen	6
<b>2</b>	<b>Grundlagenfeststellung &amp; Abwasseranalyse</b>	<b>7</b>
2.1	Grundlagenfeststellung	7
2.1.1	Beschreibung Einzugsgebiet	7
2.1.2	Abwassermengen	8
2.1.2.1	Täglicher Abwasserabfluss	8
2.1.2.2	Spitzenabfluss	10
2.1.3	Prognose zukünftiger Belastungen	11
2.2	Analyse Sondermessprogramm	12
2.2.1	Sondermessprogramm Ablauf Kläranlage	13
2.2.2	Sondermessprogramm Vorfluter	15
<b>3</b>	<b>Elimination von Mikroschadstoffen in grosstechnischen Anlagen</b>	<b>17</b>
3.1	Anforderungen, Grenzwerte und Leitparameter	17
3.1.1	Beurteilung anhand der Trinkwasserrelevanz	17
3.1.2	Beurteilung anhand der aktuellen Rechtsprechung	18
3.1.3	Zusammenfassung	19
3.2	Übersicht zur Elimination von Mikroschadstoffen	20
3.2.1	Eliminationsleistungen der kommunalen Abwasserreinigung	20
3.2.2	Mögliche Verfahrenstechniken	21
3.3	Elimination Mikroschadstoffe mit Aktivkohleverfahren	22
3.3.1	Grundlagen Adsorption	22
3.3.2	Verfahrensmöglichkeiten Aktivkohleadsorption	24
3.3.3	Aktivkohleadsorption mittels Pulveraktivkohle (PAK)	26
3.3.3.1	Allgemeines	26
3.3.3.2	Adsorptionsstufe, mit Kontakt- und Sedimentationsbecken sowie anschließendem Filter	26
3.3.3.3	Adsorptionsstufe mit Kontaktbecken und anschließender Filtration bzw. direkter PAK-Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters	29
3.3.4	Aktivkohleadsorption mittels granulierter Aktivkohle (GAK)	31
3.3.4.1	Allgemein	31
3.3.4.2	Beschreibung	31

3.4	Elimination von Mikroschadstoffen mit Ozon	33
3.4.1	Grundlagen Ozonierung	33
3.4.2	Verfahrensmöglichkeiten der Ozonierung	33
3.5	Elimination von Mikroschadstoffen mit biologisch aktivierter aktivkohlefiltration	35
3.5.1	Grundlagen der biologisch aktivierten Aktivkohlefiltration	35
3.5.2	Verfahrensmöglichkeiten der biologisch aktivierten Aktivkohlefiltration	35
<b>4</b>	<b>Grundlagen weitergehende Reinigungsstufe</b>	<b>37</b>
4.1	Bemessungsparameter	37
4.2	Mögliche Erweiterungsfläche	40
<b>5</b>	<b>Varianten Kläranlage Hövelhof</b>	<b>41</b>
5.1	Variante 1: PAK-Dosierung in Kontaktbecken	41
5.1.1	Verfahrensmerkmale	41
5.1.2	Vordimensionierung	42
5.1.3	Bewertung	44
5.2	Variante 2: GAK-Filtration	45
5.2.1	Verfahrensmerkmale	45
5.2.2	Vordimensionierung	46
5.2.3	Bewertung	48
5.3	Variante 3: Ozonierung	49
5.3.1	Verfahrensmerkmale	49
5.3.2	Vordimensionierung	50
5.3.3	Bewertung	52
<b>6</b>	<b>Vergleich &amp; Empfehlung</b>	<b>53</b>
6.1	Wirtschaftlicher Variantenvergleich	53
6.1.1	Investitionskosten	53
6.1.2	Betriebskosten	55
6.1.3	Kostenvergleichsrechnung	57
6.2	Technischer Variantenvergleich	58
6.3	Zusammenfassung und EMPFEHLUNG	59
6.3.1	Zusammenfassung	59
6.3.2	Empfehlung	60
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>61</b>

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abbildung 1.1:	Lageplan der Kläranlage Hövelhof	3
Abbildung 1.2:	Fließbild der Kläranlage Hövelhof	4
Abbildung 2.1:	Ganglinie Abwasserabflüsse KA Hövelhof	8
Abbildung 2.2:	Summenhäufigkeit Trockenwetterabfluss KA Hövelhof	9
Abbildung 2.3:	Ganglinie Spitzenabfluss KA Hövelhof	10
Abbildung 2.4:	Summenhäufigkeit der Abflüsse auf der KA Hövelhof	10
Abbildung 3.1:	Entfernung von Mikroverunreinigungen in heutigen Kläranlagen [8]	20
Abbildung 3.2:	Verfahrenstechniken zur Spurenstoffelimination	21
Abbildung 3.3:	Adsorptionsvorgänge	22
Abbildung 3.4:	Adsorptionsisotherme [nach 3]	23
Abbildung 3.5:	Verfahrensmöglichkeiten durch Aktivkohleadsorption	25
Abbildung 3.6:	Mikroschadstoffelimination mittels PAK-Adsorption durch separaten Kontaktreaktor mit nachgeschalteter Sedimentation	27
Abbildung 3.7:	Mikroschadstoffelimination mittels PAK-Adsorption durch direkte Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters	29
Abbildung 3.8:	Mikroschadstoffelimination mittels GAK-Adsorption durch nachgeschaltete Filtration	31
Abbildung 3.9:	Mikroschadstoffelimination mittels Ozonierung	34
Abbildung 3.10:	Mikroschadstoffeliminierung mittels BAK	36
Abbildung 4.1:	Bemessungswassermenge	37
Abbildung 4.2:	maximaler Trockenwetterabfluss	38
Abbildung 4.3:	Gesamtelimination Arzneimittel (hier Diclofenac)	39
Abbildung 4.4:	Erweiterungsflächen (rot und gelb markiert)	40
Abbildung 5.2:	Lageplan Variante 1: PAK-Dosierung in Kontaktbecken	43
Abbildung 5.3:	Fließbild der Variante 2 (GAK Filtration)	46
Abbildung 5.4:	Lageplan Variante 2a und 2b GAK-Filtration	47
Abbildung 5.5:	Lageplan Variante 3: Ozonierung	51
Abbildung 6.1:	Vergleich Investitionskosten (netto, gerundet)	54
Abbildung 6.2:	Vergleich Betriebskosten (netto, gerundet)	56

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tabelle 1-1:	Auslegungswerte aus ELWAS-WEB	5
Tabelle 1-2:	Einleitungswerte gemäß Erlaubnisbescheid	5
Tabelle 1-3:	Überwachungswerte der Kläranlage gemäß aktuellem Erlaubnisbescheid von 2010	5
Tabelle 2-1:	Indirekteinleiter der Kläranlage Hövelhof	7
Tabelle 2-2:	Abwasserabflüsse von der KA Hövelhof 2014 - 2016	8
Tabelle 2-3:	Zulaufparameter zur Kläranlage Hövelhof	11
Tabelle 2-4:	Zusammenfassung Sondermessprogramm (2016) auf der Kläranlage Hövelhof	13
Tabelle 2-5:	Einordnung der Ergebnisse SMP 2016 anhand von Referenzwerten	14
Tabelle 2-6:	Ergebnisse des SMP 2016 in die Ems unterhalb der Einleitstelle	15
Tabelle 2.7:	Vergleich der gemessenen Werte mit den Orientierungswerten zur Bewertung des chemischen Zustandes der Ems	16
Tabelle 3-1:	Qualitätskriterien und Zielwerte für Mikroschadstoffe	18
Tabelle 3-2:	Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei PAK-Zugabe in das Kontaktbecken [4], [5], [8], [9], [16].	28
Tabelle 3-3:	Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei PAK-Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters [4], [5], [8].	30
Tabelle 3-4:	Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei GAK-Filtration [4], [5], [8], [18].	32
Tabelle 3-5:	Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei Ozonierung [4], [5], [8], [9].	34
Tabelle 5-1:	Vordimensionierung Variante 1	42
Tabelle 5-2:	Vordimensionierung Variante 2a und 2 b	46
Tabelle 5-3:	Vordimensionierung Variante 3	50
Tabelle 6-1:	Vergleich Investitionskosten (netto, gerundet)	53
Tabelle 6-2:	Vergleich Betriebskosten (netto)	56
Tabelle 6-3:	Vergleich Kostenvergleichsrechnung (gerundet)	57
Tabelle 6-4:	Technischer Variantenvergleich	58

**ANHANGVERZEICHNIS**

- Anhang A : KOSTENANNAHME**
- Anhang B : KLÄRTECHNISCHE BERECHNUNGEN**
- Anhang C : PRÜFBERICHTE ANALYTIK**
- Anhang D : ZEICHNUNGEN**

ZEICHNUNGEN

<b>Plan-Nr.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Maßstab</b>
14096 / 01 V 01	Lageplan, Variante 1, Pulveraktivkohledosierung	1:250
14096 / 01 V 02	Lageplan, Variante 2, GAK-Filtration	1:250
14096 / 01 V 03	Lageplan, Variante 3, Ozonierung	1:250

## **1 VORBEMERKUNGEN**

### **1.1 VERANLASSUNG**

Kommunales Abwasser enthält neben Feststoffen, Sauerstoff zehrenden Verbindungen und Nährstoffen eine große Anzahl organischer Spurenstoffe (Mikroschadstoffe). Laut Deutscher Bundestag „subsumiert der Begriff anthropogene Spurenstoffe verschiedene Stoffe mit Umweltrelevanz, die ... neben den bereits bekannten prioritären Schadstoffen verstärkt als Mikroverunreinigungen in Kläranlagen und Fließgewässern nachgewiesen wurden. Es handelt sich hierbei vor allem um Humanarzneimittel- und Kosmetikrückstände, Waschmittelinhaltsstoffe, Rückstände von Pflanzenschutzmitteln und Dünger sowie Nanopartikel aller Art. Anthropogene Spurenstoffe gelangen vor allem über Abwässer in die Umwelt [...]“ [13].

Mikroverunreinigungen können dabei bereits in sehr niedrigen Konzentrationen (ng/L bis µg/L) nachteilige Wirkungen auf die aquatischen Ökosysteme haben und / oder die Gewinnung von Trinkwasser aus dem Rohwasser negativ beeinflussen.

Bei der Planung und dem Betrieb kommunaler Abwasserbehandlungsanlagen besteht bis zum derzeitigen Zeitpunkt (Stand 12/2016) jedoch noch keine verbindliche Vorgabe zur gezielten Elimination definierter organischer Mikroschadstoffe.

Resultierend aus den Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie an den Zustand europäischer Oberflächengewässer sowie der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) könnte in Zukunft jedoch eine gezielte Elimination vom Gesetzgeber gefordert werden.

Vor diesem Hintergrund beauftragte die Gemeinde Hövelhof Dahlem Beratende Ingenieure, mit einer Studie zur Spurenstoffelimination auf der KA Hövelhof.

Diese Studie wird hiermit vorgelegt.

## **1.2 ANGABEN ZUR KLÄRANLAGE**

### **1.2.1 Kurzbeschreibung Abwasserreinigung**

Die Kläranlage umfasst die folgenden Stufen:

- Mechanische Reinigungsstufe:
  - ein Feinrechen (6 mm) [Paternostersiebrechen]  
(Rechengutaufbereitung mittels Rechengutwäsche)
  - Einstraßiger belüfteter Sand- und Fettfang  
(Sandgutaufbereitung mittels Sandklassierer)
  - Ein Vorklärbecken (330 m<sup>3</sup>)
- Biologische Reinigungsstufe:
  - Zwei Belebungsbecken als Rundbecken (je 1.810 m<sup>3</sup>) mit intermittierender Belüftung
  - Simultane Fällung von Phosphat in Belebungsbecken
  - Zwei runde Nachklärbecken (je 1.100 m<sup>3</sup>)
- Weitergehende Reinigung:
  - Drei Schönungsteiche (2.900 m<sup>3</sup>; 1.700 m<sup>3</sup>; 1.500 m<sup>3</sup>)
- Weitere Bauwerke:
  - Schlammbehandlung:
    - Voreindicker (130 m<sup>3</sup>)
    - Faulbehälter (1.400 m<sup>3</sup>)
    - Nacheindicker (540 m<sup>3</sup>)
    - Gasbehälter (300 m<sup>3</sup>)
    - BHKW
    - Gasfackel
    - Schlammentwässerung über Dekanter
    - Überdachter Schlamm lagerplatz (ca. 800 m<sup>3</sup>)
  - Fäkalannahmestation

Die nachfolgende Abbildung 1.1 zeigt den Lageplan und Abbildung 1.2 die Fließwege des Kläranlage Hövelhof.

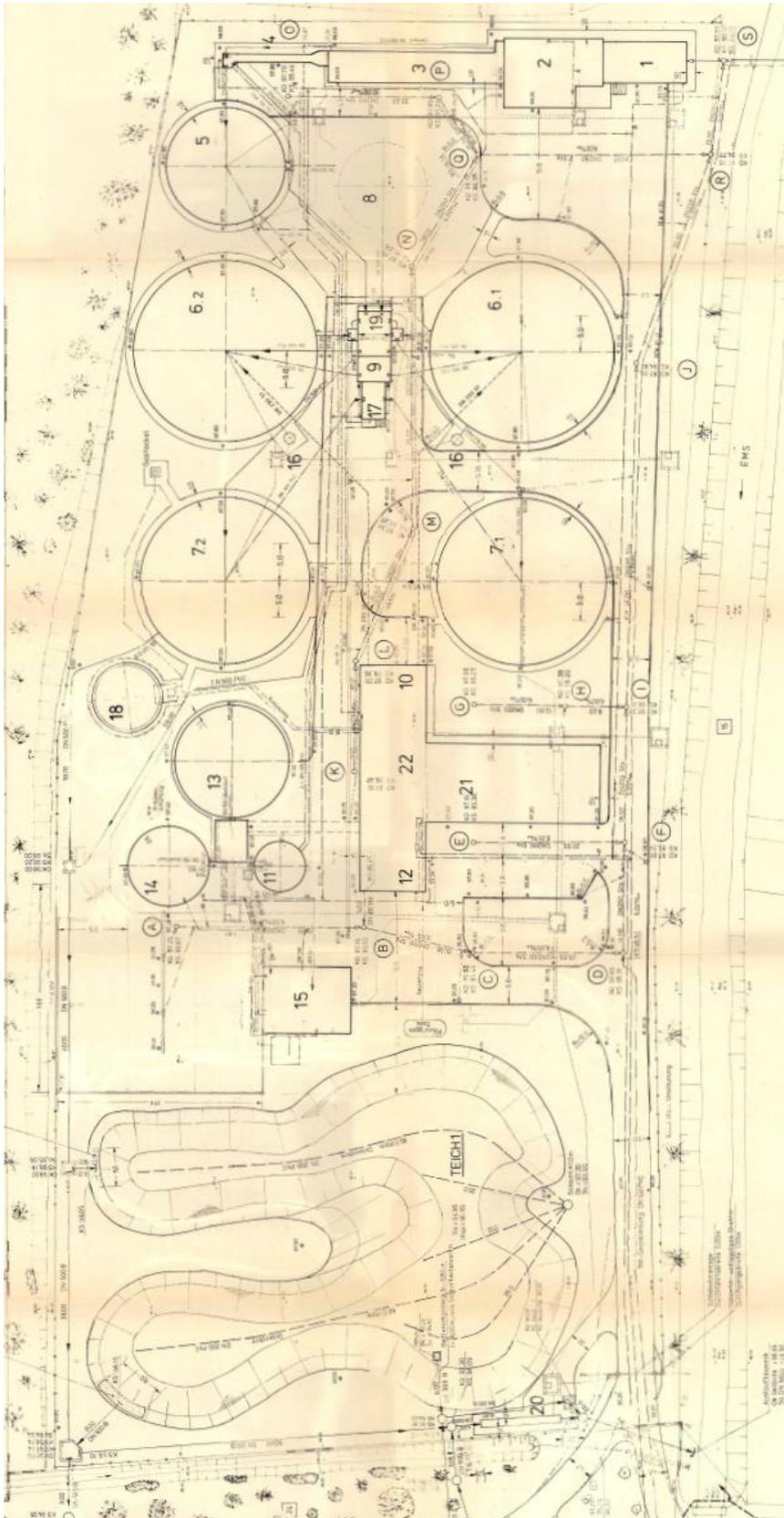


Abbildung 1.1: Lageplan der Kläranlage Hövelhof

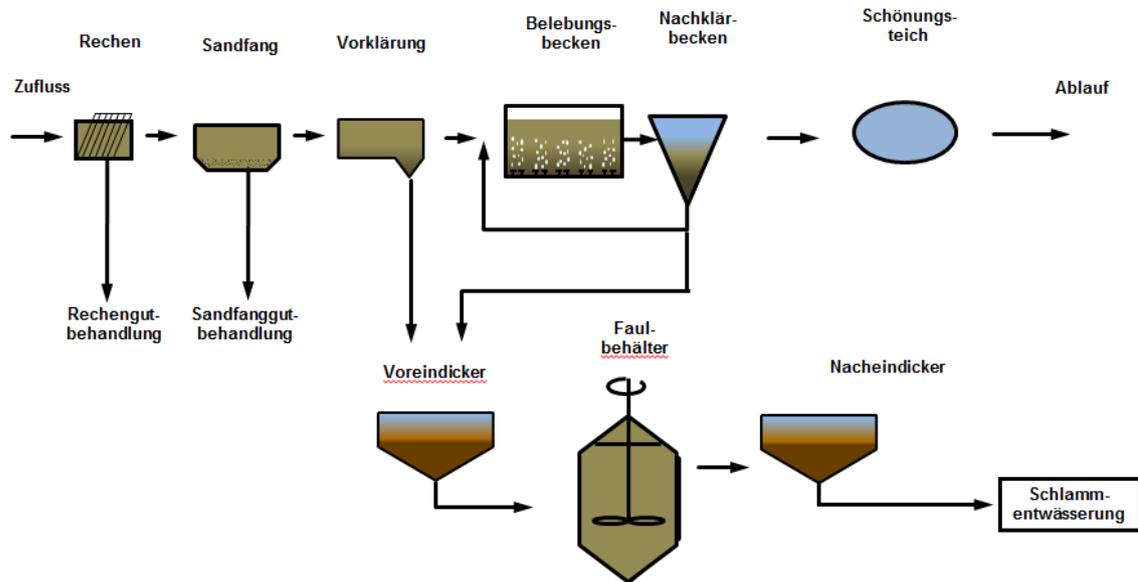


Abbildung 1.2: Fließbild der Kläranlage Hövelhof

**1.2.2 Kurzbeschreibung Bemessungswerte**

Die Kläranlage ist auf folgende Werte ausgelegt:

Tabelle 1-1: Auslegungswerte aus ELWAS-WEB

	2016		
	Zulauf KA	Zulauf KA	EW
	kg/d	g/EW	-
<b>BSB</b>	1.200	60	20.000
<b>N<sub>ges</sub></b>	200	11	18.182
<b>P<sub>ges</sub></b>	0	1,8	0

Tabelle 1-2: Einleitungswerte gemäß Erlaubnisbescheid

	Regenwetterabfluss	Jahresschmutzwassermenge
genehmigt	425 m <sup>3</sup> /h	1.000.000 m <sup>3</sup>

Tabelle 1-3: Überwachungswerte der Kläranlage gemäß aktuellem Erlaubnisbescheid von 2010

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) [mg/l]	Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (BSB <sub>5</sub> ) [mg/l]	Ammoniumstickstoff (NH <sub>4</sub> -N) [mg/l]	Gesamtstickstoff, anorganisch (NH <sub>4</sub> -N + NO <sub>3</sub> -N) [mg/l]	Gesamt-Phosphor (P <sub>ges</sub> ) [mg/l]
60	15	3	15	1,2

### **1.3 VERWENDETE UNTERLAGEN**

Folgende Entwurfsunterlagen für die bestehenden Anlagen, Bestandspläne und sonstige planerisch relevante Dokumentationen wurden für die Erarbeitung der vorliegenden Studie verwendet:

- Erlaubnisbescheid zur Einleitung von gereinigtem Abwasser aus der Zentralkläranlage Hövelhof in die Ems, Bezirksregierung Detmold, 2010
- Mikroschadstoffentfernung machbar?, Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, April 2015
- Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination, Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, März 2015
- Möglichkeiten der Elimination von anthropogenen Spurenstoffen, DWA, April 2015
- Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer, Umweltbundesamt, Januar 2015
- Diverse Verfahrensfliessbilder und Übersichten
- Originaldaten bisheriger Sondermessprogramme

## 2 GRUNDLAGENFESTSTELLUNG & ABWASSERANALYSE

### 2.1 GRUNDLAGENFESTSTELLUNG

Im Rahmen der Grundlagenfeststellung wurden die Betriebsdaten der Jahre 2012 - 2015 ausgewertet.

#### 2.1.1 Beschreibung Einzugsgebiet

Die Gemeinde Hövelhof liegt im Flusssystem Ems. Die Topologie des Einzugsgebietes der Kläranlage Hövelhof ist flach.

In der Kläranlage Hövelhof erfolgt die Behandlung des Abwassers von ca. 17.000 Einwohnerwerten. Zusätzlich behandelt die Kläranlage Hövelhof das Abwasser einiger Indirekteinleiter, die an das Kanalnetz der Gemeinde Hövelhof angeschlossen sind.

Tabelle 2-1: Indirekteinleiter der Kläranlage Hövelhof

<b>Betrieb</b>
Zahnarztpraxen
Tankstellen
Waschplätze
Wäscherei
Galvanotechnik
Oberflächenbeschichtungen
Kfz-Werkstätten

2.1.2 Abwassermengen

2.1.2.1 Täglicher Abwasserabfluss

Die Ganglinie der Tagesabwassermenge  $Q_d$  im Zulauf von Januar 2014 bis Mai 2016 ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Die Trockenwetterzuflüsse wurden ermittelt, indem Regentage (>0,3 mm Niederschlag) und jeweils ein Tag Regennachlauf ausgeschlossen wurden. Die Mittel-, Maximal- und 85%-Werte des Trockenwetterzuflusses sind in Tabelle 2-2 aufgeführt.

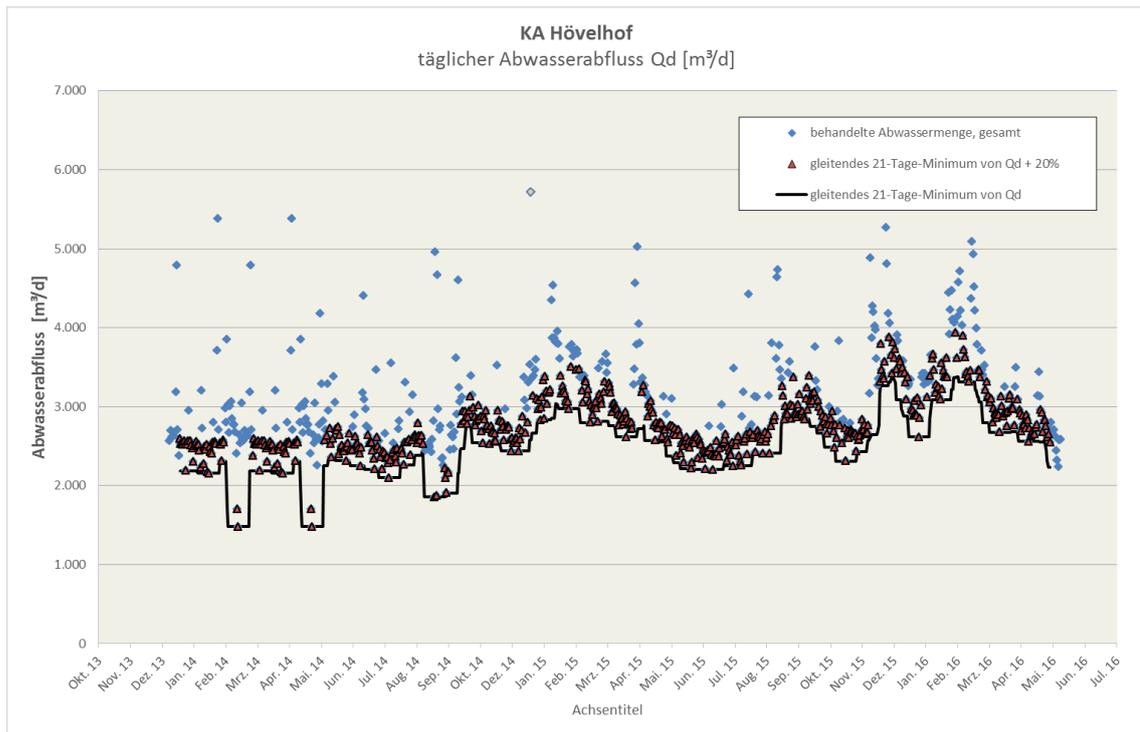


Abbildung 2.1: Ganglinie Abwasserabflüsse KA Hövelhof

Die Tagesabwassermengen im Zufluss zum KA Hövelhof schwanken kaum im Jahresgang.

Tabelle 2-2: Abwasserabflüsse von der KA Hövelhof 2014 - 2016

Parameter	Tagesmittelwert	Standardabweichung	85 %-Wert	Maximalwert
	[m³/d]	[m³/d]	[m³/d]	[m³/d]
Gesamtabfluss	2.931	549	3.424	5.719
Trockenwetterabfluss	2.771	442	3.155	5.385

Abbildung 2.2 zeigt die Summenhäufigkeitsverteilung der Tagesspitzenabwassermengen bei Trockenwetter für die Jahre 2014 - 2016.

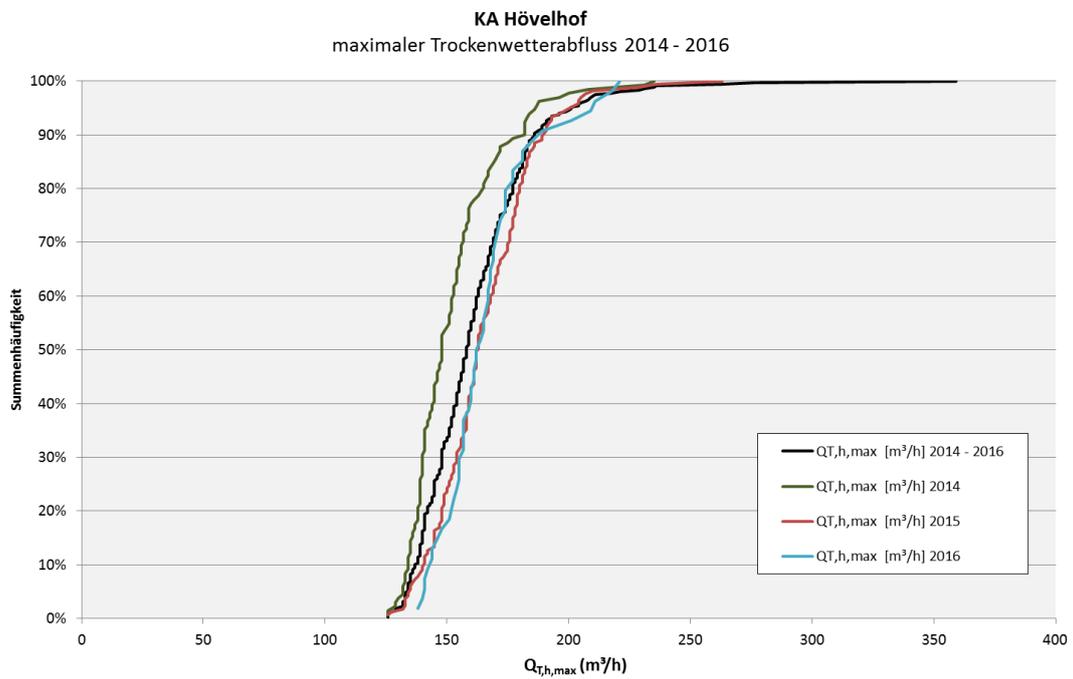


Abbildung 2.2: Summenhäufigkeit Trockenwetterabfluss KA Hövelhof

Die Summenhäufigkeitslinien weisen einen ähnlichen Verlauf auf.

2.1.2.2 Spitzenabfluss

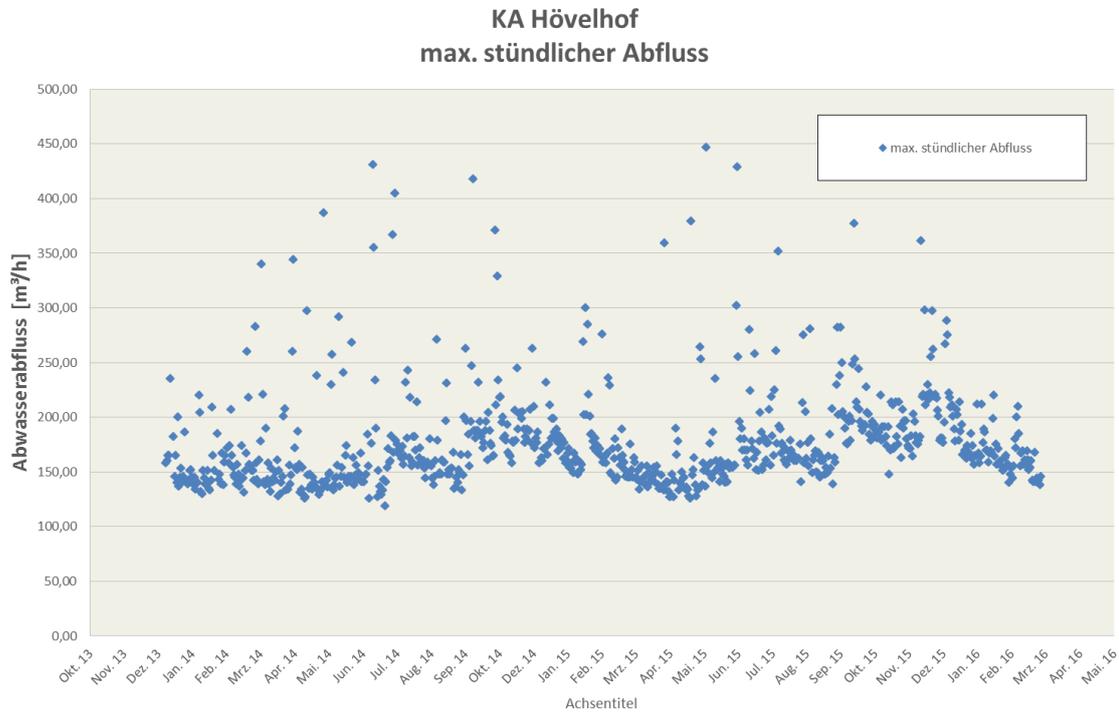


Abbildung 2.3: Ganglinie Spitzenabfluss KA Hövelhof

In Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. sind die stündlichen Kläranlagenabflussdaten dargestellt. Neben der gesamten behandelten Abwassermenge sind auch die Spitzenabflüsse aller Tage, sowie die Spitzenabflüsse der Trockenwettertage abgebildet.

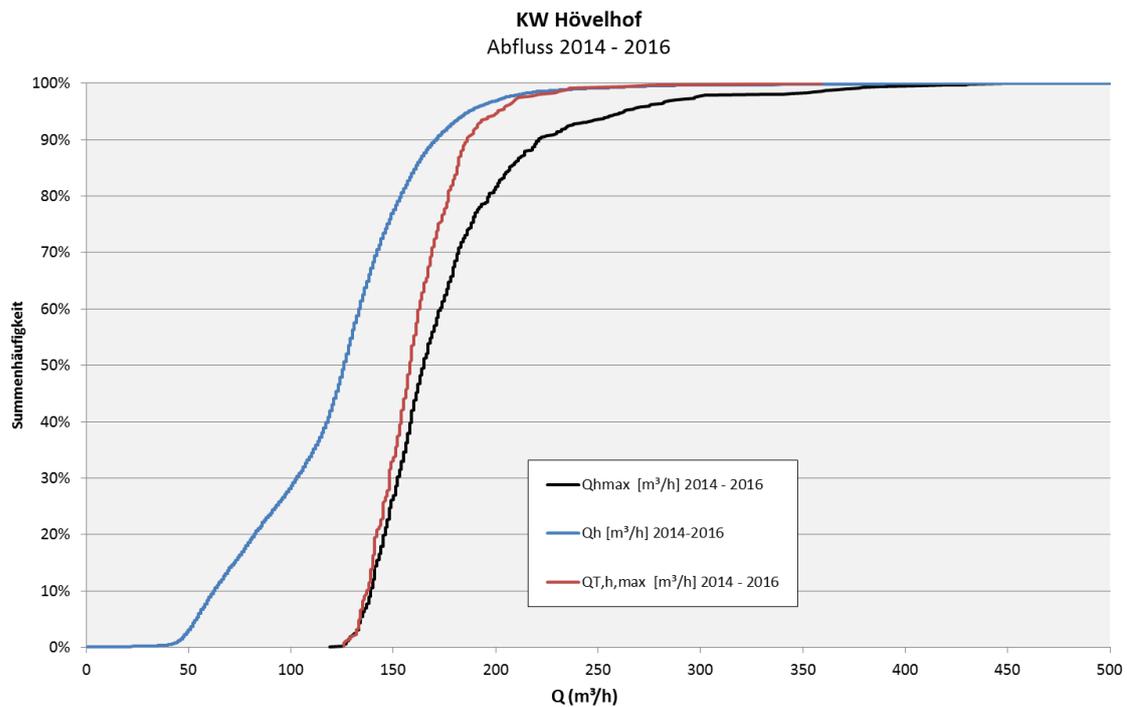


Abbildung 2.4: Summenhäufigkeit der Abflüsse auf der KA Hövelhof

### 2.1.3 Prognose zukünftiger Belastungen

Für die Kläranlage Hövelhof ist in naher Zukunft keine signifikante Steigerung der Einwohner zu erwarten. Auch eine Steigerung der Industrie- und Gewerbeflächen ist nicht zu erwarten. Aus diesem Grund wird in der Machbarkeitsstudie von den aktuellen Kläranlagenwerten ausgegangen.

Tabelle 2-3: Zulaufparameter zur Kläranlage Hövelhof

	Kürzel	Einheit	Zulauf KA IST-Zustand
<b><u>Wassermengen</u></b>			
Erläuterung			Gemessen 2014 – 2016
Trockenwetterwasser- menge	$Q_{h,TW}$	$m^3/h$	181
Höchstwasserabfluss	$Q_m$	$m^3/h$	447
Täglicher Abwasserzufluss	$Q_d$	$m^3/d$	2.931
Jährlicher Abwasserabfluss	$Q_{aM}$	$m^3/a$	ca. 1.000.000

Im Hinblick auf die Auslegung einer Stufe zur Elimination von Mikroschadstoffen wird die aktuelle Ausbaugröße berücksichtigt.

## **2.2 ANALYSE SONDERMESSPROGRAMM**

Im Rahmen eines Sondermessprogramms wurde der Ablauf der Kläranlage beprobt. Dies dient zur Bewertung der vorliegenden Mikroschadstoffe nach der biologischen Reinigung sowie zur Abschätzung weiterer Eliminationspotenziale durch zusätzliche Reinigungsschritte. Außerdem wurde das Einleitgewässer Ems oberhalb und unterhalb der Einleitstelle des Kläranlagenablaufes beprobt.

Die im Messprogramm 2016 untersuchten Parameter berücksichtigen ausgewählte Leitparameter, die nach derzeitigem Stand eine besondere Relevanz für die Spurenstoffelimination besitzen. Das Messprogramm wurde in Abstimmung mit der zuständigen Behörde (Bez. Regierung Detmold) aufgestellt.

Die Auswahl der Leitparameter erfolgte unter Berücksichtigung von gesetzlichen Grundlagen, dem Stand der Forschung sowie wirtschaftlichen Abwägungen. Hierbei wurde auf Basis einer Auswertung zahlreicher Studien seitens Dahlem B.I., eine Häufigkeitsliste von untersuchten Stoffen innerhalb aktueller Studien aufgestellt und die derzeitige Lage der rechtlichen Gesetzmäßigkeiten analysiert.

Zusätzlich wurden Entwürfe zur Aktualisierung und Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen an die europaweiten Vorgaben durch die Umsetzung der WRRL analysiert. Nach umfassender Analyse der vorliegenden gesetzlichen Grundlagen, dem Stand der Forschung und den politischen Rahmenbedingungen konnten aus diesen Unterlagen die Relevanz bzw. der Handlungsbedarf für die diskutierten und zu überprüfenden Stoffe abgeleitet werden.

Als Leitparameter konnten demnach 10 Einzelstoffe aus den Stoffgruppen

- Arzneimittelrückstände
- Korrosionsschutzmittel
- Röntgenkontrastmittel

definiert werden.

In der nachfolgenden Tabelle sind die analysierten Einzelstoffe mit deren zusammengefassten Ergebnissen des Sondermessprogrammes 2016 (SMP 2016) aufgeführt.

**2.2.1 Sondermessprogramm Ablauf Kläranlage**

Tabelle 2-4: Zusammenfassung Sondermessprogramm (2016) auf der Kläranlage Hövelhof

Stoffgruppe/ Einzelstoff	Einheit	Konzentrationen	
		11. – 14.05.2016	08. – 11.06.2016
<b>Arzneimittel- Rückstände</b>			
Diclofenac	µg/l	3,0	3,7
Sotalol	µg/l	0,44	0,42
Carbamazepin	µg/l	1,9	1,7
Sulfamethoxazol	µg/l	0,42	0,95
Metoprolol	µg/l	4,0	3,6
Clarithromycin	µg/l	0,29	0,49
<b>Industriechemikalien</b>			
Benzotriazol	µg/l	9,8	9,9
<b>Röntgenkontrastmittel</b>			
Iomeprol	µg/l	<0,05	<0,05
Amidotrizoesäure	µg/l	0,15	1,8
<b>Bromid</b>	mg/l	<b>0,07</b>	

Um den spezifischen Handlungsbedarf für Stoffgruppen/ Einzelstoffe abschätzen und die Notwendigkeit einer weiteren Reinigungsstufe für die Kläranlage Hövelhof belegen zu können, ist eine Verifikation der gemessenen Werte erforderlich. Diese erfolgt durch eine Einordnung der gemessenen Werte anhand von Referenzwerten in Tabelle 2-5.

Die Referenzwerte beziehen sich auf Kläranlagenabläufe ohne Einfluss einer Stufe zur Elimination von Spurenstoffen.

In der nachfolgenden Tabelle erfolgt damit eine Gegenüberstellung ausgewählter Messwerte der Kläranlage Hövelhof mit den beschriebenen Referenzwerten.

Tabelle 2-5: Einordnung der Ergebnisse SMP 2016 anhand von Referenzwerten

Stoffgruppe/ Einzelstoff	Einheit	Konzentrationen		Referenzwerte [19]
		11. – 14.05.2016	08. – 11.06.2016	
<b>Arzneimittel- Rückstände</b>				
Diclofenac	µg/l	3,0	3,7	2,5
Sotalol	µg/l	0,44	0,42	n.v.
Carbamazepin	µg/l	1,9	1,7	1,1
Sulfamethoxazol	µg/l	0,42	0,95	0,64
Metoprolol	µg/l	4,0	3,6	1,6
Clarithromycin	µg/l	0,29	0,49	n.v.
<b>Industriechemikalien</b>				
Benzotriazol	µg/l	9,8	9,9	3,4
<b>Röntgenkontrastmittel</b>				
Iomeprol	µg/l	<0,05	<0,05	1,7
Amidotrizoesäure	µg/l	0,15	1,8	2,5
<b>Bromid</b>	mg/l	0,07		n.v.

Legende zur Einordnung der Messwerte gegenüber Referenzwerten.

- Grün: unauffälliger Messwert, keine Bedenken; Wert liegt im Bereich der Vergleichswerte bzw. darunter
- Orange: leicht erhöhter Messwert, dennoch keine Bedenken; Wert liegt im Bereich von ca. 50 % oberhalb des Vergleichswertes
- Rot: auffällig hoher Messwert, gesonderte Betrachtung erforderlich; Wert liegt > 50 % der Literaturvergleichswerte
- n.n.: „nicht nachweisbar“ Wert nicht einordbar, kein Referenzwert vorhanden bzw. Bestimmungsgröße nicht klein genug

Aus Tabelle 2-5 lässt sich entnehmen, dass die Konzentrationen der meisten Arzneimittelrückstände und die Industriechemikalie Benzotriazol im Ablauf des Schönungsteiches oberhalb der Referenzwerte liegen.

Die Röntgenkontrastmittel Iomeprol und Amidotrizoesäure liegen unter den Referenzwerten der Vergleichskläranlagen.

## 2.2.2 Sondermessprogramm Vorfluter

Im 868 km<sup>2</sup> großen Einzugsgebiet der oberen Ems leben ca. 316.000 Einwohner. Es erstreckt sich südlich vom Teutoburger Wald bis etwa Rheda-Wiedenbrück. Im ländlichen Einzugsgebiet sind etwa 17 % Siedlungsgebiete und fast 60 % Ackerflächen und Grünland.

Viele der Gewässer wurden durch den Menschen stark verändert. Viele der Wasserkörper zeigen Rückstände aus der Medizin. Hier werden die Jahresdurchschnittswerte bei vielen Stoffen erheblich überschritten, dies insbesondere unterhalb der Einleitung aus den kommunalen Kläranlagen.

Zur Einschätzung der Gewässerbelastung durch die Einleitung von Spurenstoffen in den Vorfluter Ems wurden Stichproben oberhalb und unterhalb der Einleitungsstelle genommen. Oberhalb der Kläranlage lagen nahezu alle Parameter unterhalb der Nachweisgrenze, sodass die gemessenen Werte unterhalb der Einleitung auf die Emissionen der Kläranlage zurückzuführen sind.

In der Tabelle 2-6 erfolgt die Darstellung der Ergebnisse und die Konzentrationszunahme unterhalb der Einlaufstelle.

Tabelle 2-6: Ergebnisse des SMP 2016 in die Ems unterhalb der Einleitstelle

Stoffgruppe/ Einzelstoff	Einheit	Konzentrationen	Konzentrationszunahme
<b>Arzneimittel- Rückstände</b>			
Diclofenac	µg/l	0,36	0,36
Carbamazepin	µg/l	0,27	0,27
Sulfamethoxazol	µg/l	n.n.	Keine
Metoprolol	µg/l	0,46	0,46
Clarithromycin	µg/l	n.n.	Keine
Sotalol	µg/l	0,057	0,057
<b>Industriechemikalien</b>			
Benzotriazol	µg/l	1,2	1,15
<b>Röntgenkontrastmittel</b>			
Iomeprol	µg/l	n.n.	Keine
Amidotrizoesäure	µg/l	0,18	0,18

Tabelle 2.7: Vergleich der gemessenen Werte mit den Orientierungswerten zur Bewertung des chemischen Zustandes der Ems

Stoffgruppe/ Einzelstoff	Einheit	Ökotox. Qualitäts- kriterium Orientie- rungswerte [20]	Messstelle unterhalb der KA
			12.05.2016
<b>Arzneimittel- Rückstände</b>			
Diclofenac	µg/l	0,1	0,36
Sotalol	µg/l	0,1	0,057
Carbamazepin	µg/l	0,5	0,27
Sulfamethoxazol	µg/l	0,15	<0,05
Metoprolol	µg/l	7,3	0,46
Clarithromycin	µg/l	0,02	<0,05
<b>Industriechemikalien</b>			
Benzotriazol	µg/l	10	1,2
<b>Röntgenkontrastmittel</b>			
Iomeprol	µg/l	0,1	<0,05
Amidotrizoesäure	µg/l	0,1	0,18
<b>Bromid</b>	mg/l	<b>&lt;0,1</b>	n.v.

	sehr gut	$MW \leq 0,1 \cdot OW$
	gut	$0,1 < MW \leq OW$
	mäßig	$OW < MW \leq 2 \cdot OW$
	unbefriedigend	$2 \cdot OW < MW \leq 10 \cdot OW$
	schlecht	$MW > 10 \cdot OW$
	keine Aussage	

Die erhöhte Konzentration des gemessenen Arzneimittels Diclofenac lässt sich auf die Kläranlage zurückführen. Dort wurden auch erhöhte Konzentrationen im Ablauf gefunden. Ebenso gibt es ein Anstieg der Konzentrationen von dem Arzneimittel Metoprolol und der Industriechemikalie Benzotriazol nach der Einleitung des Abwassers aus der Kläranlage. Bei diesen Spurenstoffen sind die Orientierungswerte allerdings sehr hoch, sodass diese in der Tabelle nicht auffallen.

Die Ems ist kurz hinter der Quelle bei Hövelhof ein leistungsschwacher Vorfluter. Punkteinleitungen, wie die des Abwassers aus der Kläranlage, sind als kritisch zu betrachten.

Im Trockenwetterfall kann der Abwasseranteil einen Großteil des in der Ems geführten Wassers ausmachen. Der 12.05.2016 war ein Trockenwettertag, sodass von einem geringen Verhältnis zwischen gereinigtem Abwasser und dem Wasser der Ems ausgegangen werden kann.

### 3 ELIMINATION VON MIKROSCHADSTOFFEN IN GROSSTECHNISCHEN ANLAGEN

#### 3.1 ANFORDERUNGEN, GRENZWERTE UND LEITPARAMETER

Zur Bewertung der rechtlichen Relevanz der vorliegenden Ergebnisse des Messprogramms zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hövelhof, ist der Abgleich mit rechtlichen Rahmenbedingungen erforderlich, die im Rahmen einer Spurenstoffelimination derzeit bzw. zukünftig einzuhalten sind. Erst damit lassen sich Zielvorstellungen und geforderte Reinigungsgrade ableiten, die es ggf. durch eine zukünftige Stufe zur Elimination von Mikroschadstoffen zu erreichen gilt.

Grundsätzlich bestehen derzeit keine konkreten Grenzwerte oder Leitparameter für die Einleitung von Mikroschadstoffen aus Kläranlagen.

Zur weiteren Beurteilung der ermittelten Messergebnisse, vor dem Hintergrund der bestehenden Rechtsprechung, wurden daher folgende Ansatzpunkte untersucht.

##### 3.1.1 Beurteilung anhand der Trinkwasserrelevanz

In Bezug auf die Trinkwasserrelevanz bestehen folgende Anforderungen:

- Auflagen des Umwelt Bundesamtes (UBA) für den Trinkwasserbezug durch GOW- Werte (Gesundheitlicher-Orientierungs-Wert): Angaben u.a. auch Zielwert für die Elimination von Mikroschadstoffen.
- Angaben aus Entwürfen für zukünftige Verordnungen wie u.a. Zielwerte zum Schutz von Oberflächengewässern für die Trinkwasseraufbereitung

Im Rahmen des Bewertungskonzeptes „Reine Ruhr“ des Landes NRW (MKULNV 2012) wird derzeit u.a. die Bewertung von anthropogenen Stoffen im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungsanlagen durch sogenannte pauschale Vorsorge-Werte erprobt. Hiernach „wird in NRW grundsätzlich ein pauschaler Vorsorge-Wert [...] von 0,1 µg/l (VW<sub>a</sub>) angestrebt und ein Wert von 10 µg/l (VW<sub>s</sub>) [...] in den Fällen toleriert, in denen kein Hinweis auf eine unterschwellige Relevanz vorliegt“. [134].

Bei Bewirtschaftungsfragen soll laut Empfehlung des Umweltbundesamtes (UBA) aus dem Jahr 2011 für Arzneimittel und Röntgenkontrastmittel ebenfalls der allgemeine Vorsorgewert (VW<sub>a</sub>) von 0,1 µg/l eingehalten werden. Die Einhaltung des VW<sub>a</sub> soll sicherstellen, dass bereits im Rohwasser, einschließlich vorübergehend akzeptabler Überschreitungen, die Trinkwasserversorger auch hinsichtlich Humanarzneimittel den Umfang der Trinkwasseraufbereitung weiterhin gering halten oder ganz auf Aufbereitungsmaßnahmen zur Entfernung von Humanarzneimitteln verzichten können.

### 3.1.2 Beurteilung anhand der aktuellen Rechtsprechung

Die Umsetzungen und Vorgaben der EU durch die WRRL RL 2000/60 EG und neuerer Auflagen, die bereits in der aktuell gültigen deutschen Oberflächengewässerverordnung (**OGewV**) von 2011 umgesetzt wurden, geben ebenso keinen weiteren Aufschluss für die Formulierung von Anforderungen an die Elimination von Mikroschadstoffen, da hierin ebenso keine eindeutige Festlegung von Grenzwerten erfolgt.

#### Wasserrahmenrichtlinie WRRL RL 2000/60 EG

Die EU/ EG bzw. das UBA macht durch die Wasserrahmenrichtlinie lediglich Angaben in Form einer Liste mit 33 prioritären Stoffen bzw. Stoffgruppen.

In den Entwürfen der EU von 2006 zur Formulierung von Qualitätszielen für Oberflächengewässer werden durch sogenannte Umweltqualitätsnormen (UQN) zulässige Höchstkonzentrationen (ZHK) angegeben. Die Gewährleistung des Oberflächengewässerzustandes erfolgt dabei nach der Umweltqualitätsnorm mit Unterteilung in die Gewässerzustände guter ökologischer Zustand und guter chemischer Zustand. Auch hierbei erfolgt keine eindeutige Festlegung von Grenzwerten, die Auflagen zur Elimination von Mikroschadstoffen definieren.

#### Oberflächengewässerverordnung

Die Stofflisten der OGewV (2011) und diesbezüglich die Angaben in den UQN sind nicht abschließend und es gibt weitere Stoffe, die den ökologischen Zustand der Gewässer negativ beeinflussen können. Sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene sind regelmäßig Revisionen der Stofflisten vorgesehen. Die folgende Tabelle 3-1 stellt eine Auswahl von Qualitätskriterien und Zielwerten für Mikroschadstoffe des LANUV in Anlehnung an Arbeiten des LAWA, des UBA und des Ökotoxizitätszentrums sowie der Expertenkommission Programm „Reine Ruhr“ und MKULNV dar.

Tabelle 3-1: Qualitätskriterien und Zielwerte für Mikroschadstoffe

Stoffgruppe/ Einzelstoff	Einheit	Ergebnisse Ablauf KA Hövelhof	Ergebnisse nach Ablauf KA in die Ems	Ökotox. Qualitäts- kriterium Ori- entierungswerte [20]	trinkwasserspe- zifischer Ziel- wert (mittelfris- tig) [22]
<b>Arzneimittel- Rückstände</b>					
Diclofenac	µg/l	3,35	0,36	0,1	0,3 (VW <sub>a</sub> )*
Carbamazepin	µg/l	1,8	0,26	0,5	0,3 (VW <sub>a</sub> )*
Sulfamethoxazol	µg/l	0,69	<0,05	0,15	0,1 (VW <sub>a</sub> )*
Metoprolol	µg/l	3,8	0,46	7,3	0,1 (VW <sub>a</sub> )*
Clarithromycin	µg/l	0,39	<0,05	0,02	0,1 (VW <sub>a</sub> )*
Sotalol	µg/l	0,43	0,06		0,1 (VW <sub>a</sub> )*
<b>Industriechemikalien</b>					
Benzotriazol	µg/l	9,9	1,2	10	3 (GOW)*
<b>Röntgenkontrastmittel</b>					
Iomeprol	µg/l	<0,05	<0,05	0,1	1 (VW <sub>a</sub> )*
Amidotriozoesäure	µg/l	0,98	0,18	0,1	1 (VW <sub>a</sub> )*

\* VWa: Vorsorgewert (langfristiges Mindestqualitätsziel), GOW: Gesundheitlicher Orientierungswert (unter Vorsorgeaspekten bei nicht absch. Datenlage festgelegter, lebenslang duldbarer Wert), LW: Trinkwasserleitwert (lebenslang toxikologisch duldbare Konzentration) Abkürzung gemäß Bewertungskonzept "Reine Ruhr" (MKUNLV 2012)

### **Bewirtschaftungsplan 2016 – 2021 (MKULNV)**

Für das Erreichen der Ziele der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL, 2000/60/EG) wurde im Dezember 2015 der Bewirtschaftungsplan für die Gewässer Nordrhein-Westfalens für die Jahre 2016 bis 2021 veröffentlicht.

In den Steckbriefen der einzelnen Teileinzugsgebiete werden genaue Maßnahmen für den angegebenen Zeitraum beschrieben, damit eine Verbesserung der Gewässergüte erreicht wird. Zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele soll die Kläranlage Hövelhof bis 2018 mit einer 4. Reinigungsstufe erweitert werden. [21]

### **3.1.3 Zusammenfassung**

Zurzeit gibt es weder auf europäischer Ebene noch in Deutschland gesetzlich verbindliche Grenzwerte für Mikroschadstoffe in Oberflächen- und Grundwasser bzw. Trinkwasser.

Auf deutscher wie auch europäischer Ebene gab und gibt es jedoch Bestrebungen gesetzlich verbindliche Umweltqualitätsnormen (s.o.) für gewässer- und trinkwasserrelevante Mikroschadstoffe wie z.B. Carbamazepin, Ibuprofen und Sulfamethoxazol abzuleiten und in entsprechende Gesetzeswerke aufzunehmen.

In Deutschland ist dies bzgl. der Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV) in 2011 gescheitert. Auf europäischer Ebene sind erstmals drei Pharmaka –Wirkstoffe, darunter Diclofenac, in die neu eingeführte „watch list“ aufgenommen worden. In der „watch list“ werden neu auftretende Schadstoffe aufgeführt, die eines Tages in die Prioritätenliste aufgenommen werden könnten, falls regelmäßige Bewertungen dies als notwendig erachten.

Demnach liegen derzeit noch keine Überwachungs- oder gar Grenzwerte für Kläranlagenabläufe vor.

### 3.2 ÜBERSICHT ZUR ELIMINATION VON MIKROSCHADSTOFFEN

#### 3.2.1 Eliminationsleistungen der kommunalen Abwasserreinigung

Mithilfe der Literatur sowie von Messergebnissen im Kläranlagenverlauf (Abwasserweg auf der KA) lässt sich die Elimination der Mikroschadstoffe in der mechanisch biologischen Reinigungsstufe beschreiben und ermitteln.

Allgemein variieren die Eliminationsleistungen für Mikroschadstoffe, abhängig von der betrachteten Substanz, zwischen 0 und nahezu 100 %. Die wichtigsten Eliminationsprozesse für die Mikroschadstoffe in Kläranlagen ohne weitergehende Reinigungsstufe sind die Adsorption an Feststoffe durch Schlamm sowie der biologische Abbau. Es konnte weiterhin festgestellt werden, dass je nach Ausbaugrad der Kläranlagen Unterschiede bei der Eliminationsleistung der Mikroschadstoffe vorliegen.

Bei nitrifizierenden KA ( $t_{RS}$  = ca. 10 Tage) liegt die durchschnittliche Eliminationsleistung von Mikroschadstoffen (Durchschnitt der Elimination aller gemessenen Substanzen) bei ca. 40 – 50 %, bei nicht-nitrifizierenden Anlagen (Schlammalter 1 – 4 d) bei ca. 20%.

Die durchschnittliche Eliminationsleistung für eine Auswahl von weit verbreiteten Mikroschadstoffen in kommunalen Kläranlagen ist in der nachfolgenden Abbildung 3.1 dargestellt

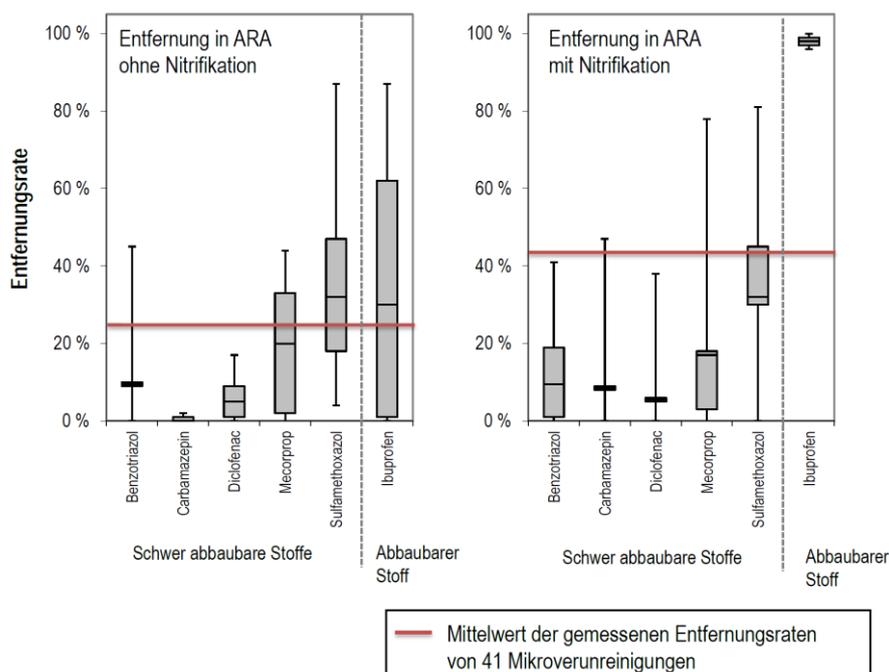


Abbildung 3.1: Entfernung von Mikroverunreinigungen in heutigen Kläranlagen [8]

Ausgehend von der obigen Betrachtung werden Mikroverunreinigungen in der heutigen Abwasserbehandlung nicht umfassend entfernt, sodass die KA Abläufe den bedeutendsten Pfad für den kontinuierlichen Eintrag verschiedener Mikroverunreinigungen in die Gewässer darstellen. Die Elimination von Mikroschadstoffen stellt dementsprechend eine zukünftige Aufgabe für die kommunalen Kläranlagen dar.

### 3.2.2 Mögliche Verfahrenstechniken

Zur effizienten Elimination von Mikroschadstoffen ist neben der mechanisch biologischen Reinigungsstufe eine zusätzliche Verfahrensstufe erforderlich. Grundlegend sind hierfür folgende drei verschiedene Verfahrenstechniken möglich (s. Abbildung 3.2).



Abbildung 3.2: Verfahrenstechniken zur Spurenstoffelimination

#### **Oxidation:**

Nach Zugabe von Oxidationsmitteln in den Abwasserstrom erfolgt die Oxidation der Mikroschadstoffe, d.h. es erfolgt eine Veränderung ihrer chemischen Struktur. Hierdurch verlieren die Ausgangssubstanzen in der Regel ihre Wirkung, werden aber dadurch in meist unbekannte Transformationsprodukte umgewandelt. Während bei anderen Verfahren lediglich eine Abtrennung der Schadstoffe aus dem Wasserweg erfolgt, führen die oxidativen Verfahren zu einem Abbau der entsprechenden Stoffe. Diese werden durch den Umwandlungsprozess aus der Wasserphase entfernt, sodass unter Umständen zusätzliche Behandlungsschritte entfallen.

#### **Adsorption:**

Grundlegend wird das Abwasser mit einem Adsorbens mit großer Oberfläche in Kontakt gebracht. Dies kann entweder durch Zugabe des Adsorbens geschehen oder indem das Abwasser durch eine Adsorbenspackung geleitet wird. Nach Kontaktaufnahme lagern sich die Inhaltsstoffe an den Oberflächen des Adsorbens an. In Folge dessen muss das beladene Adsorbens periodisch ersetzt und weiter behandelt werden.

#### **Membranfiltration:**

Der Rückhalt von Mikrostoffen durch Mikro- und Ultrafiltration beruht auf dem Prinzip der Siebung durch selektiv permeable Membranen. Bei der Mikro- und Ultrafiltration, welche als wesentliche Membranverfahren der kommunalen Abwasserreinigung eingesetzt werden, zeigt sich in Summe eine geringere Eliminationsleistung gegenüber Mikroverunreinigungen, insbesondere bei endokrinen Stoffen oder Antibiotika. Daher liegen im Ablauf der Mikro- und Ultrafiltration immer noch deutlich nachweisbare Konzentrationen an organischen Mikroschadstoffen vor.

Aufgrund der verhältnismäßig geringen Eliminationsleistungen der Membrantechnik gegenüber den Adsorptions- und Oxidationsverfahren wird der Einsatz von Membrantechnik auf der Kläranlage Hövelhof nicht weiter verfolgt.

### 3.3 ELIMINATION MIKROSCHADSTOFFE MIT AKTIVKOHLEVERFAHREN

#### 3.3.1 Grundlagen Adsorption

Unter Adsorption (lat.: adsorbere: ansaugen) versteht man die Anlagerung von Teilchen (Atome, Moleküle, Ionen usw.) aus fluiden Phasen (Flüssigkeit oder Gas) an der Oberfläche eines Festkörpers. Dabei werden z.B. Moleküle aus der umgebenden Gas- oder Flüssigphase an der festen Oberfläche angelagert und dort durch Oberflächeneffekte gebunden.

Der adsorbierte Stoff wird, solange er sich in der fluiden Phase befindet, als Adsorptiv bezeichnet. Sobald er auf den Feststoff, das Adsorbens, gebunden ist, wird er Adsorbat genannt (siehe Abbildung 3.3).

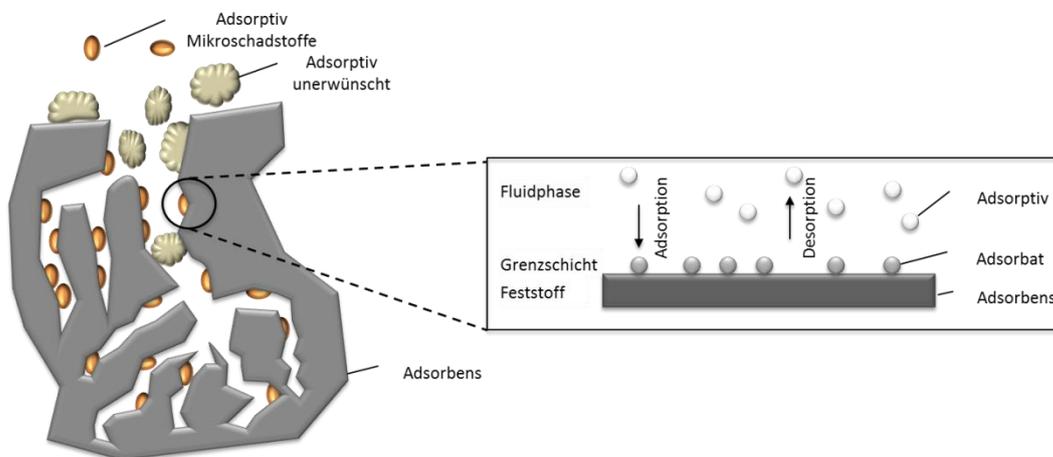


Abbildung 3.3: Adsorptionsvorgänge

Die Adsorption bezeichnet dabei den Vorgang, bei der eine Anlagerung von Abwasserinhaltsstoffen an den Oberflächen des Adsorbens erfolgt. Im Falle der Elimination von Mikroschadstoffen mit Aktivkohle handelt es sich beim Adsorbens um Aktivkohle. In Konkurrenz zur Adsorption steht die gleichzeitig stattfindende Desorption, d.h. die Abgabe von Stoffen von der Oberfläche des Adsorptionsmittels. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen physikalischer und chemischer Adsorption.

Ursache der Physisorption sind Van-der-Waalsche Kräfte die sich infolge der Diskontinuität an freien Oberflächen nicht im Gleichgewicht befinden.

Bei der physikalischen Adsorption findet ein reversibler Prozess statt, bei dem hauptsächlich hydrophobe, unpolare Inhaltsstoffe am Adsorbens gebunden werden. Der Prozess ist durch statische Wechselwirkungen bedingt und ist damit maßgeblich für die Adsorption der Mikroschadstoffe aus dem Abwasser. Bei der chemischen Adsorption erfolgt hingegen durch chemische Reaktionen eine irreversible Veränderung der Struktur des Abwasserinhaltsstoffes.

### Isotherme

Bei genügend langer Kontaktzeit zwischen Abwasser und Adsorbens (hier Aktivkohle) stellt sich für jede Substanz in Abhängigkeit der Aktivkohle-Dosiermenge ein Sorptions-Gleichgewicht ein (siehe Abbildung 3.3). Das Ausmaß der Adsorption einer bestimmten Substanz hängt einerseits von den Eigenschaften der Substanz und des Abwassers, andererseits von der verwendeten Aktivkohle ab. Bei gleich bleibendem Abwasservolumen und gleicher Ausgangskonzentration ergibt sich für jede AK-Dosiermenge ein bestimmtes Adsorptionsgleichgewicht.

Die Lage der unterschiedlichen Gleichgewichte wird durch Adsorptionsisothermen beschrieben. Diese geben an, wie groß die Beladung bei einer bestimmten Restkonzentration in Lösung, bei konstanter Temperatur ist. Die Bestimmung von Isothermen erfolgt empirisch in Laborversuchen und dient der Abschätzung der Adsorptionskapazität der gewählten Kohle für bestimmte Stoffe in einem bestimmten Medium. Die mathematische Beschreibung von Isothermen erfolgt für wässrige Lösungen wie Abwasser oft nach dem Ansatz nach Freundlich:

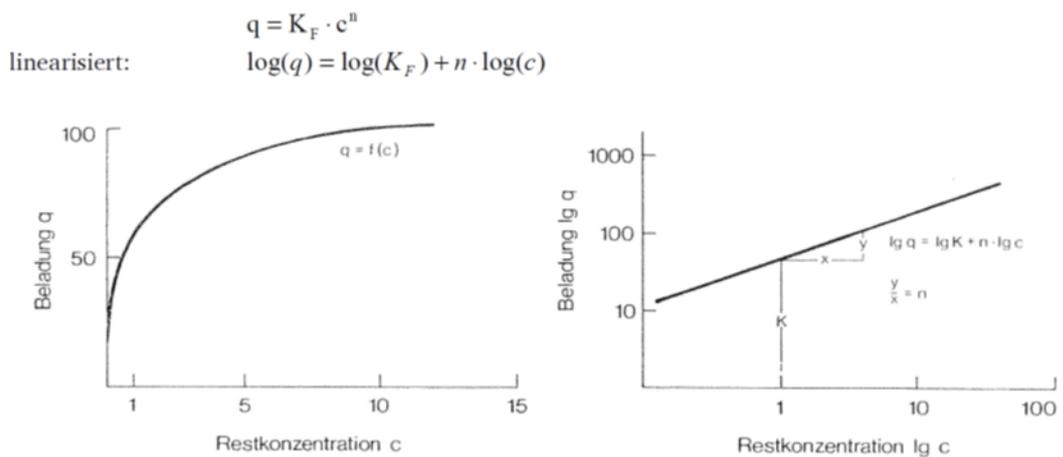


Abbildung 3.4: Adsorptionsisotherme [nach 3]

Die Parameter  $K_f$  (Freundlich-Konstante) und  $n$  (Reaktionskonstante) müssen für jeden Stoff in Laborversuchen ermittelt werden, gelten nur für die untersuchten Bedingungen und lassen keine direkten Schlüsse auf die großtechnische Umsetzung zu.

Die Aktivkohle unterscheidet sich somit je nach Aktivierungsgrad in niedrig, mittel oder hoch aktivierte Aktivkohle und weist damit unterschiedliche Ausprägungen der Porensysteme und damit Größen der Oberflächen auf.

Abhängig vom Aktivierungsgrad der Aktivkohle und der Abwasserbeschaffenheit ist nach einer gewissen Standzeit die Beladungskapazität des Adsorbens (Aktivkohle) erschöpft womit dieser ausgetauscht werden muss.

### 3.3.2 Verfahrensmöglichkeiten Aktivkohleadsorption

Aktivkohle hat aufgrund ihrer porösen Struktur eine sehr hohe spezifische Oberfläche (> 1000 m<sup>2</sup> pro Gramm). An dieser großen Oberfläche lagern sich viele Stoffe aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften an. Aktivkohle wird seit Jahrzehnten in der Trinkwasseraufbereitung, in industriellen Reinigungsprozessen sowie in der Abwasserreinigung für die Entfernung von persistenten Stoffen (z.B. Farbstoffe, Geruchs-/Geschmacksstoffe, halogenorganische Verbindungen (AOX)) eingesetzt.

Für die Anwendung von Aktivkohle in der Abwasserreinigung existieren folgende prinzipielle Verfahrenstechniken:

**PAK** (Pulveraktivkohle) verfügt im Vergleich zu GAK über eine geringere Korngröße, jedoch eine größere spezifische Oberfläche. Prozesstechnisch erfolgt zuerst die Zugabe und Einmischung von PAK in den Abwasserstrom und anschließende Entfernung der PAK aus dem Abwasserstrom durch eine Separationsstufe. Eine Regenerierung der Kohle ist hier nicht möglich.

Eine Dosierung von Pulveraktivkohle weist jedoch deutlich flexiblere Regelungsmöglichkeiten, als die Anwendung von einem Aktivkohlefilter (GAK). Für die Elimination von Bedeutung, sind insbesondere die Eigenschaften der eingesetzten Kohle sowie die dosierte Menge.

Bei einer Dosierung von PAK in die biologische Stufe sind deutlich höhere Mengen notwendig.

**GAK** (granulierter Aktivkohle) oder auch Kornkohle zeichnet sich durch seine größere Korngröße aus als pulverisierte Aktivkohle (PAK) und wird als Filtermaterial zur Elimination von Mikroschadstoffen eingesetzt (Aktivkohlefiltration mittels granulierter Aktivkohle). Die Aktivkohle befindet sich in separaten Filteranlagen und kann nach Erreichen der Beladungskapazität regeneriert werden.

An der Aktivkohle lagern sich sowohl Mikroverunreinigungen (erwünscht) als auch natürliche organische Substanzen (unerwünscht) an.

Für die Mikroschadstoffentfernung durch Adsorption und Aktivkohle liegen folgende Verfahrensmöglichkeiten nach Abbildung 3.5 vor.

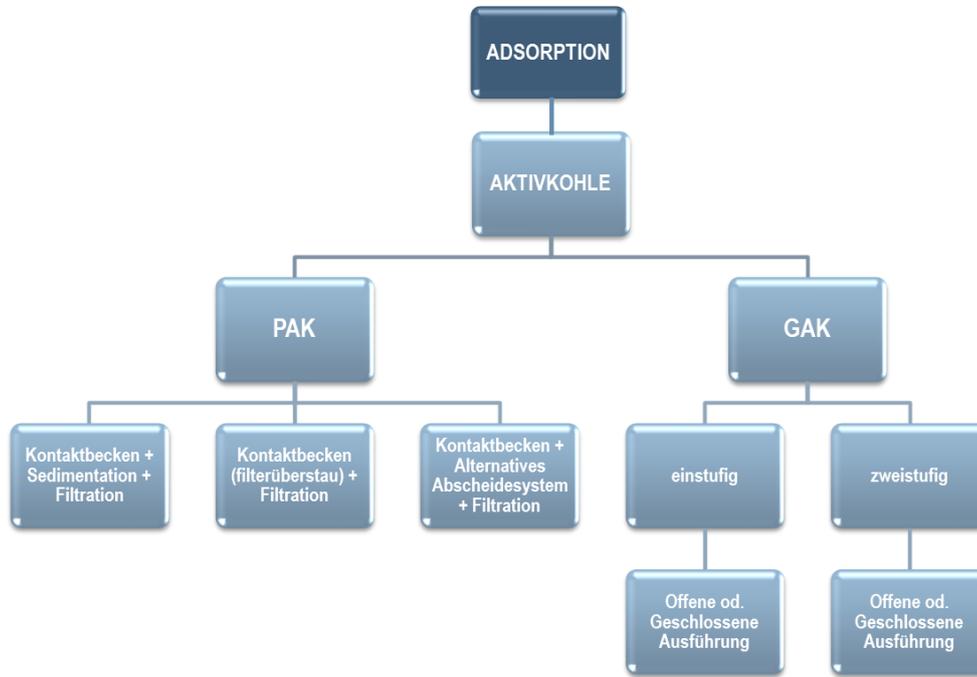


Abbildung 3.5: Verfahrensmöglichkeiten durch Aktivkohleadsorption

Für die Realisierung einer Adsorptionsstufe wurden folgende Verfahrensmöglichkeiten betrachtet:

- PAK Dosierung mit Kontakt- und Absetzbecken
- PAK Dosierung in die biologische Stufe
- GAK-Filtration

Wie nachfolgend erläutert wird, scheiden einige dieser Verfahren bereits im Vorfeld aus technischen bzw. wirtschaftlichen Gründen aus und werden daher nicht vertieft geplant.

### **3.3.3 Aktivkohleadsorption mittels Pulveraktivkohle (PAK)**

#### **3.3.3.1 Allgemeines**

Die Zugabe der PAK kann vor, während und nach der biologischen Reinigung erfolgen. Bei Zugabe der Pulveraktivkohle vor und während der biologischen Reinigung kommt es jedoch zu Konkurrenzsituationen bei der Beladung der Aktivkohle durch die gut biologisch abbaubaren Substanzen, welche teilweise so groß sind, dass sie die gezielte Adsorption der Mikroschadstoffe beeinträchtigen. Somit sind sehr hohe Dosierungen an PAK erforderlich. Dies macht diese Verfahren unwirtschaftlich. Nachfolgend werden daher lediglich Varianten mit einer der biologischen Behandlung nachgeschalteten Adsorptionsstufe betrachtet. Diese Verfahrenstechnik stellt derzeit das am häufigsten eingesetzte Verfahren zur weitergehenden Abwasserreinigung mittels Aktivkohle dar.

#### **3.3.3.2 Adsorptionsstufe, mit Kontakt- und Sedimentationsbecken sowie anschließendem Filter**

##### **3.3.3.2.1 Beschreibung**

Die PAK Adsorptionsstufe zur Elimination von organischen Restverschmutzungen besteht hier grundsätzlich aus zwei Prozessstufen; einem Kontaktraum für die Adsorption mit Pulveraktivkohle und einer Trennstufe zur Abtrennung der beladenen Aktivkohle.

Die Zugabe der Pulveraktivkohle erfolgt zunächst in einem Kontaktreaktor, wodurch das Abwasser aus dem Ablauf der Nachklärung mit der PAK in Kontakt gebracht wird. Anschließend erfolgt die Abtrennung der Pulveraktivkohle nach einer vorgegebenen Aufenthaltszeit (Adsorptionszeit) aus dem Abwasser-PAK-Gemisch durch die nachfolgende Trennstufe.

Diese kann entweder durch Sedimentationsbecken, Flächenfiltrations- oder Sandfiltrationseinheiten, sowie kombinierte Verfahren realisiert werden. Für eine bessere Abtrennung der PAK, müssen Fäll- und Flockungshilfsmittel zugeführt werden.

Um die vollständige Adsorptionskapazität der Pulveraktivkohle auszunutzen, erfolgt eine Kreislaufführung. Demzufolge muss nur ein geringer Teil an frischer Kohle zu dosiert werden und die Kontaktzeit zwischen PAK und Abwasser kann unabhängig von der hydraulischen Aufenthaltszeit variiert werden.

Die Entfernung einer definierten Menge an Überschussskohle ist dennoch erforderlich. Entfernte Überschussskohle kann dabei entweder direkt der Entsorgung zugeführt werden oder mit dem Rückspülwasser der Filtrationseinheit in die biologische Stufe zurückgeführt werden. Dann erfolgt die Verwertung zusammen mit dem Überschussschlamm.

Im Fall der Rückführung der Kohle wird die restliche Adsorptionskapazität der Aktivkohle ausgenutzt und die Kohle mit dem Klärschlamm ausgeschleust.

Nachfolgende Abbildung 3.6 verdeutlicht das Verfahrensschema der Elimination von Mikroschadstoffen durch PAK mit Kontaktreaktor und nachfolgender Trennstufe.

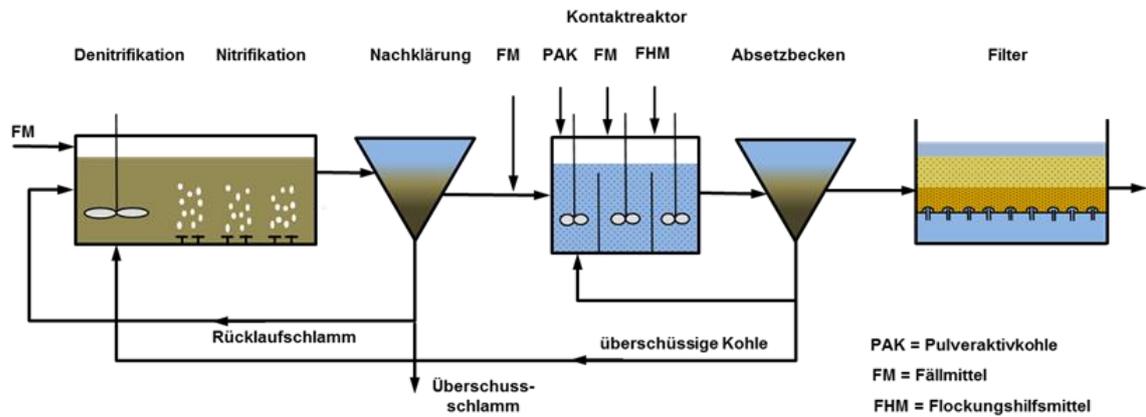


Abbildung 3.6: Mikroschadstoffelimination mittels PAK-Adsorption durch separaten Kontaktreaktor mit nachgeschalteter Sedimentation

Für die Realisierung einer Adsorptionsstufe mittels PAK in einem separaten Kontaktreaktor mit nachgeschalteter Trennstufe ist die Installation folgender Einheiten erforderlich:

- Beschickungspumpwerk
- Kontaktreaktor mit ausreichender Verweilzeit
- Rücklaufkohlepumpwerk
- Bei Trennstufe durch Kombination von Sedimentationsbecken und Filtration
  - Absetzbeckens (Sedimentationsbecken) als 1. Teil der Trennstufe
  - Filtereinheit als 2. Teil der Trennstufe
- Lager- und Dosierstationen für PAK, FHM und Fällmittel

Zusätzlich sind Mengmessungen, Dosiereinrichtungen und Aggregate zur Prozesssteuerung vorzusehen.

**3.3.3.2.2 Eliminationsleistung**

In der nachfolgenden Tabelle sind die zu erwartenden Eliminationsleistungen der für die Kläranlage Hövelhof relevanten Mikroschadstoffe durch eine Adsorptionsstufe mit PAK-Zugabe in ein Kontaktbecken aufgeführt.

Tabelle 3-2: Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei PAK-Zugabe in das Kontaktbecken [4], [5], [8], [8], [16].

Mikroschadstoffe		PAK-Zugabe in ein Kontaktbecken <sup>1</sup>
Pharmaka/ Arzneimittel- Rückstände	Carbamazepin	+ bis ++
	Clarithromycin	++
	Diclofenac	+ bis ++
	Metoprolol	++
	Sotalol	+ bis ++
	Sulfamethoxazol	+
Industriechemikalien	Benzotriazol	+ bis ++
Röntgenkontrastmittel	Iomeprol	0 bis +
	Amidotrizoesäure	0 bis +

<sup>1</sup> -: bis 10 %; 0: 10 % bis 50 %; +: 50 % bis 90 %; ++ : > 90 %

**Bewertung:**

Wie in Tabelle 3-2 dargestellt wird, können bei der betrachteten Variante die gemessenen Mikroschadstoffe Metoprolol und Clarithromycin sehr gut eliminiert werden. Die gemessenen Röntgenkontrastmittel können nur mäßig gut entfernt werden.

### 3.3.3.3 Adsorptionsstufe mit Kontaktbecken und anschließender Filtration bzw. direkter PAK-Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters

#### 3.3.3.3.1 Beschreibung

Bei dieser Verfahrensvariante erfolgt die Zugabe der Pulveraktivkohle und der Flockungsmittel in den Zulauf zum Flockungsraum, auf den ein Sandfilter folgt. Beim Flockungsraum handelt es sich ggf. um einen separaten Kontaktreaktor.

Alternativ kann hierzu der Überstauraum eines abwärts durchströmten Filters verwendet werden, insofern dieser gut durchmischt, und bei entsprechender Größe eine ausreichende Aufenthaltszeit für den Adsorptionsprozess vorsieht.

Im Sandfilter erfolgt der Rückhalt der PAK, welche die Mikroschadstoffe aus dem vorbeiströmenden Abwasser adsorbiert. Wie im normalen Sandfilterbetrieb erfolgt in regelmäßigen Abständen die Rückspülung der Filter, wodurch so die beladene PAK aus dem Filter entfernt wird.

Die mittlere Verweilzeit der PAK entspricht demnach der Hälfte des Rückspülintervalls. Indem die Spülwässer in die biologische Stufe rückgeführt werden, kann die Verweilzeit der Kohle im System erhöht, und ein mögliches Restadsorptionspotential ausgenutzt werden.

Bei vorhandener Flockungsfiltration vereinfacht sich die Integration eines solchen Verfahrens.

Nachfolgende Abbildung 3.7 verdeutlicht das Verfahrensschema der Mikroschadstoffelimination durch PAK mit direkter Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters.

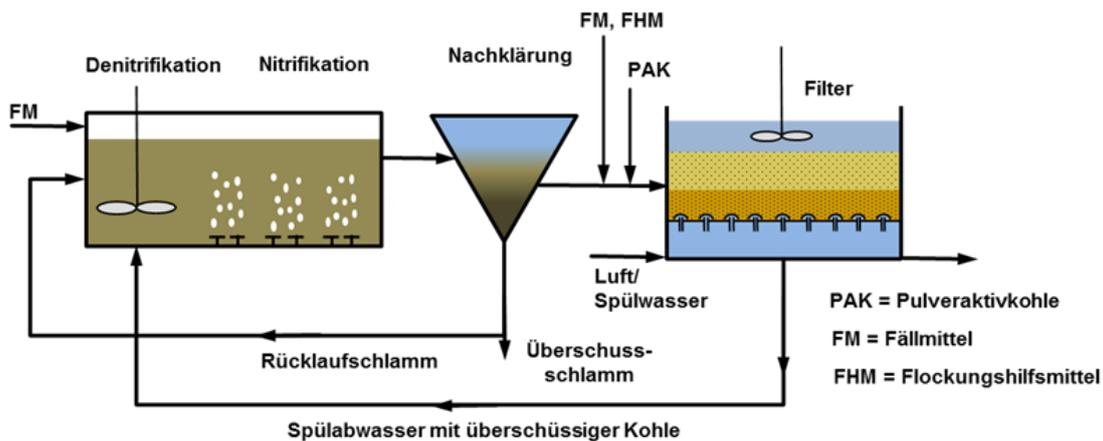


Abbildung 3.7: Mikroschadstoffelimination mittels PAK-Adsorption durch direkte Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters

**3.3.3.3.2 Eliminationsleistung**

In der nachfolgenden Tabelle sind die zu erwartenden Eliminationsleistungen der für die Hövelhof relevanten Mikroschadstoffe durch eine Adsorptionsstufe mit PAK-Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters aufgeführt.

Tabelle 3-3: Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei PAK-Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters [4], [5], [8].

Mikroschadstoffe		PAK-Zugabe in Flockungsraum Sandfilter
Pharmaka/ Arzneimittel- Rückstände	Carbamazepin	0 bis +
	Clarithromycin	k.A.
	Diclofenac	0 bis +
	Metoprolol	0 bis +
	Sotalol	k.A.
	Sulfamethoxazol	+ bis ++
Industriechemikalien	Benzotriazol	0 bis +
Röntgenkontrastmittel	Iomeprol	k.A.
	Amidotrizoesäure	-

<sup>1</sup> -: bis 10 %; 0: 10 % bis 50 %; +: 50 % bis 90 %; ++ : > 90 %

**Bewertung**

Nach Aussagen der EAWAG [8] wurden durch die Zugabe von 10 mg/l PAK bei dieser Verfahrensvariante die Mikroschadstoffe generell nicht vermehrt entfernt. Erst bei Dosierungen von 15 und 20 mg/l wurde eine vermehrte Elimination ersichtlich. Als optimale Dosiermenge bezüglich der Mikroschadstoffelimination hat sich hierbei 20 mg PAK/l herausgestellt.

Dies entspricht ca. der doppelten Dosiermenge einer separaten PAK-Stufe. Eine wirtschaftliche Lösung ist hiermit somit nicht zu erwarten.

Versuche in NRW haben gezeigt, dass eine Dosierung von PAK in den Filterzulauf zu einem schnellen Anstieg der PAK-Feinstfraktion im Ablauf der Filter führt. Der erhöhte Einsatz von Flockungshilfsmitteln im Filterraum kann zu Verklebungen im Filter führen.

Im Rahmen technischer Versuche kam es beim Einsatz von Flockungshilfsmitteln nach wenigen Betriebstagen zu einer Verblockung des Versuchsfilters, daher wurde in der großtechnischen Umsetzung auf einen entsprechenden Einsatz im Rahmen des Forschungsvorhabens verzichtet.

**Vor dem Hintergrund dieser Forschungsergebnisse wird daher auf eine Berücksichtigung dieser Verfahrensoption im Variantenvergleich verzichtet.**

### 3.3.4 Aktivkohleadsorption mittels granulierter Aktivkohle (GAK)

#### 3.3.4.1 Allgemein

Aus den Erfahrungen der Trinkwasserversorgung, in der schon seit langem GAK zur Anwendung gebracht wird, konnten die Anwendungsprinzipien für die Raumfiltration in der Abwasserreinigung übernommen werden. Für die Mikroschadstoffelimination kann damit durch den Einsatz von GAK die Filtrationsstufe direkt als „Aktivkohlefilter“ ausgeführt werden.

#### 3.3.4.2 Beschreibung

Die Ausführung der Aktivkohleadsorption mittels GAK (granulierte Aktivkohle) erfolgt indem der biologischen Behandlung ein Festbettadsorber (Filterstufe) mit der körnigen Kohle als Filtermaterial nachgeschaltet wird.

Das zu reinigende Abwasser durchströmt den Filter und die Mikroschadstoffe adsorbieren an der Kohle. Das System kann dabei durch Schwerkraft oder durch Druck betrieben werden. Sind u.a. Sandfilter bereits vorhanden, ist die Umrüstung des existierenden Mehrschichtfilters möglich, indem beispielsweise Anthrazit durch GAK aufgrund ähnlicher Korngröße ausgetauscht wird.

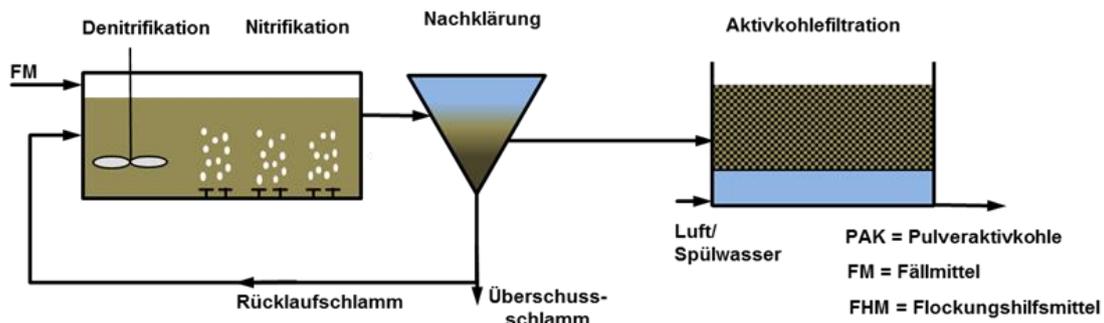


Abbildung 3.8: Mikroschadstoffelimination mittels GAK-Adsorption durch nachgeschaltete Filtration

Durch den Filtrationsprozess erfolgt somit der Rückhalt von Feststoffen und Mikroschadstoffen sowie des Weiteren die Adsorption von gelösten Stoffen.

Liegt ein hoher adsorbierbarer gelöster CSB im Abwasser vor, wird dieser ebenso von der granulierten Aktivkohle zurückgehalten, wodurch nur bedingt Mikroschadstoffe zurückgehalten werden.

Sobald die Adsorptionskapazität des Filterbettes erschöpft ist, muss der Filter außer Betrieb genommen werden, um die Kohle zu regenerieren bzw. auszutauschen. Um dem erhöhten Druckverlust durch die Anlagerungen von Stoffen entgegenzuwirken, sind die Aktivkohlefilter gleichermaßen wie Sandfilter mit Rückspüleinrichtungen zu versehen.

**3.3.4.2.1 Eliminationsleistung**

In der nachfolgenden Tabelle sind die zu erwartenden Eliminationsleistungen der für die Kläranlage Hövelhof relevanten Mikroschadstoffe durch eine Adsorptionsstufe mittels GAK-Filtration aufgeführt.

Tabelle 3-4: Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei GAK-Filtration [3], [4], [7], [18].

Mikroschadstoffe		GAK Filtration <sup>1</sup>
Pharmaka/ Arzneimittel- Rückstände	Carbamazepin	++
	Clarithromycin	+ bis ++
	Diclofenac	+ bis ++
	Metoprolol	++
	Sulfamethoxazol	0 bis +
	Sotalol	0 bis +
Industriechemikalien	Benzotriazol	+ bis ++
Röntgenkontrastmittel	Iomeprol	- bis 0
	Amidotrizoesäure	0

<sup>1</sup> -: bis 10 %; 0: 10 % bis 50 %; +: 50 % bis 90 %; ++ : > 90 %

**Bewertung:**

Wie in Tabelle 3-4 dargestellt wird, kann mit dieser Verfahrenstechnik der gemessenen Mikroschadstoff Iomeprol nur teilweise eliminiert werden, während die Eliminationsleistung von Metoprolol sehr gut ist.

### 3.4 ELIMINATION VON MIKROSCHADSTOFFEN MIT OZON

#### 3.4.1 Grundlagen Ozonierung

Mit dem Einsatz von Ozon kann ein sehr breites Stoffspektrum weitgehend aus dem kommunalen Abwasser entfernt und die Toxizität des Abwassers für Wasserlebewesen deutlich reduziert werden. Ozon besteht aus drei Sauerstoffatomen und ist ein reaktives Gas. Es wirkt stark oxidierend und bildet im Kontakt mit Wasser Hydroxylradikale.

Die Reaktionsmechanismen des Ozons basieren darauf, dass selektiv Doppelbindungen und bestimmte funktionelle Gruppen in Molekülen angegriffen werden. Da sehr viele Mikroverunreinigungen solche Bindungen oder funktionelle Gruppen enthalten, werden sie durch Ozon oxidiert (umgewandelt).

Während Ozon nur gewisse Substanzen oxidiert, greifen hingegen die Hydroxylradikale eine breite Substanzpalette an. Bei der Ozonierung kommt es daher zu einem Aufbrechen verschiedener komplexer Bindungen, so dass Substanzen einem anschließenden biologischen Abbau sehr viel zugänglicher sind. Während dieses Vorgangs werden neben Schadstoffen auch Mikroorganismen zerstört.

Ozon wird seit Jahrzehnten für die Desinfektion und zur Elimination von organischen Inhaltsstoffen in der Trinkwasseraufbereitung, in der Aufbereitung von Badewasser und in der Behandlung von industriellen Abwässern eingesetzt.

Bei Raumtemperatur ist Ozon ein blaues, äußerst giftiges Gas mit charakteristisch stechendem Geruch. Ozon ist thermisch instabil und in allen Aggregatzuständen hochexplosiv.

Bei der Ozonierung von Wasser kann potenziell kanzerogenes Bromat entstehen. Die Bromatbildung ist unter anderem von der eingehenden Bromidkonzentration und vom Zehrungsverhalten des Abwassers abhängig. Das Zehrungsverhalten wiederum wird von der Zusammensetzung des Abwassers wie z. B. dem DOC beeinflusst. Bei erhöhten Bromidkonzentrationen im Abwasser ist von einer Ozonierung daher abzusehen.

#### 3.4.2 Verfahrensmöglichkeiten der Ozonierung

Bei der Ozonierung kommt es nicht zu einer Entnahme von Mikroschadstoffen, analog zur Adsorption, sondern vielmehr zu einer Umwandlung von Mikroschadstoffen.

Um reaktive Oxidationsprodukte im Ablauf der Kläranlage zu entfernen, sowie um sicherzustellen, dass kein gelöstes Ozon ausgetragen wird, wird nach der Ozonierung eine Stufe mit biologischer Aktivität (z.B. Filtration, Schönungsteich) empfohlen.

Direkt nach der Ozonierung kann es vereinzelt zu einer Zunahme der Toxizität kommen, die aber im nachgeschalteten Sandfilter bzw. Schönungsteich wieder reduziert werden kann.

Weitere positive Effekte der Ozonierung sind eine teilweise Desinfektion und Entfärbung des Abwassers.

Die Ozonierung kann in der Regel gut in der bestehenden Anlagentechnik integriert werden. Wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt, ist die Ozonierung dem vorhandenen Schönungsteich vorgeschaltet.

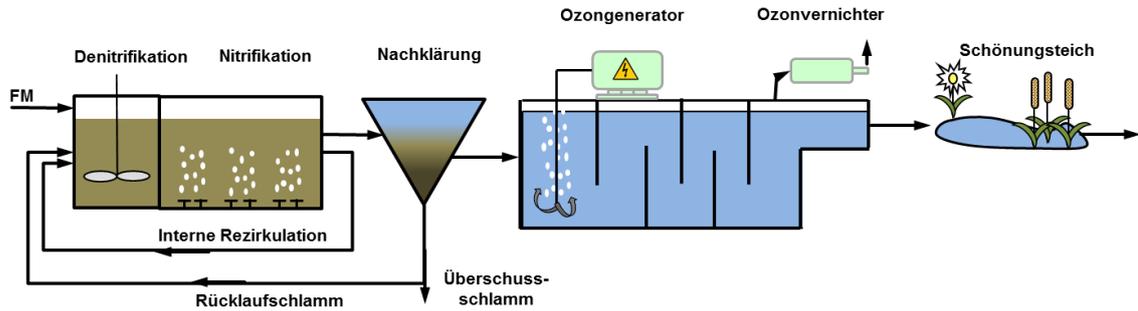


Abbildung 3.9: Mikroschadstoffelimination mittels Ozonierung

### 3.4.2.1.1 Eliminationsleistung

In der nachfolgenden Tabelle sind die Eliminationsleistungen der für die Kläranlage Hövelhof relevanten Mikroschadstoffe durch eine nachgeschaltete Ozonierung dargestellt.

Tabelle 3-5: Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei Ozonierung [3], [4], [7], [8].

Spurenstoffe		Ozonierung <sup>1</sup>
Pharmaka/ Arzneimittel- Rückstände	Carbamazepin	++
	Clarithromycin	++
	Diclofenac	++
	Metoprolol	++
	Sulfamethoxazol	++
	Sotalol	++
Industriechemikalien	Benzotriazol	+ bis ++
Röntgenkontrastmittel	Iomeprol	0
	Amidotrizoesäure	0 bis +

<sup>1</sup> -: bis 10 %; 0: 10 % bis 50 %; +: 50 % bis 90 %; ++ : > 90 %

#### Bewertung:

Wie in Tabelle 3-5 dargestellt wird, können bei der betrachteten Variante der gemessene Mikroschadstoff Iomeprol nur teilweise eliminiert werden. Alle ermittelten Arzneimittelrückstände können sehr gut entfernt werden.

### 3.5 ELIMINATION VON MIKROSCHADSTOFFEN MIT BIOLOGISCH AKTIVIERTER AKTIVKOHLEFILTRATION

#### 3.5.1 Grundlagen der biologisch aktivierten Aktivkohlefiltration

Die Kombination aus bspw. Ozonung und anschließender Aktivkohlefiltration wird als biologisch aktivierte Aktivkohlefiltration (BAK) bezeichnet. Durch die Ozonung liegt im Zulauf der Filtrationsstufe ein erhöhter Sauerstoffgehalt vor, so dass in Verbindung mit dem sich ausbildenden Biofilm in der GAK-Schüttung biologische Prozesse möglich sind. Zudem führt das Aufspalten großer Moleküle durch die Ozonung zur verbesserten Ausnutzung der Adsorptionskapazität der Aktivkohle. [23,24,25,26]

In Bezug auf die Kombination von Ozonung und Aktivkohlefiltration im Rahmen der Abwasserbehandlung bzw. Abwasserwiederverwendung liegen erste Untersuchungen aus Nordamerika und Australien vor [26; 27,28]. Reungoat et al. (2010, 2011) untersuchten die weitergehende Behandlung von mechanisch-biologisch gereinigtem Abwasser anhand von Pilotuntersuchungen am Standort einer Wasserrückgewinnungsanlage zur öffentlichen Brauchwasserversorgung. Die Beschickung der Pilotanlage erfolgte im Bypass mit dem Ablauf der Flotationsstufe und dem Ablauf der Hauptozonung der großtechnischen Wasserrückgewinnungsanlage, so dass der Zulauf der Versuchsanlage bereits großtechnisch vorbehandelt wurde. Die Filtration über Aktivkohle des ozonierten Wassers (EBCT = 18 min) führte dazu, dass Substanzen, dessen Mediankonzentrationen zehnmal höher waren als ihre BG (z.B. Iopromid, Oxazepam und Metoprolol), um über 90 % aus dem Wasser entfernt wurden. Aufgrund des deutlich höheren Vorbehandlungsgrads der untersuchten Abwässer bei Reungoat et al. (2010, 2011) ist ein Vergleich zu konventionell mechanisch-biologisch behandeltem Abwasser auf Basis der vorliegenden Untersuchungen nur bedingt möglich. Dennoch lässt sich ein Potential der kombinierten Behandlung erkennen. Im Zuge der hier beantragten Untersuchungen soll der Nachweis der Leistungsfähigkeit dieser Verfahrenskombination im Langzeitbetrieb unter realen Betriebsbedingungen erbracht werden. Des Weiteren sollen mögliche Optimierungspotentiale (Verringerung der Ozonzehrung und der EBCT) aufgezeigt werden.

#### 3.5.2 Verfahrensmöglichkeiten der biologisch aktivierten Aktivkohlefiltration

Bei der Kombination von Ozonung und nachgeschalteter Aktivkohlefiltration werden die Vorteile beider Verfahren, sowohl der Ozonung siehe (3.4) als auch der GAK-Filtration (siehe 3.3.4), kombiniert. Dadurch kann ein erhöhtes Spektrum an Spurenstoffen eliminiert werden.

Ferner wird durch die vorherige Ozonung die Standzeit der Aktivkohleschüttung, aufgrund der geringeren Spurenstoffkonzentration, verlängert.

Die Vorozonung, die mit geringeren Ozondosen als bei einer alleinigen Ozonierung gefahren wird, dient der Aufspaltung höhermolekularer Substanzen. Diese aufgespalteten Substanzen können besser in der Aktivkohle adsorbiert werden. Außerdem begünstigt der erhöhte Sauerstoffgehalt im Zulauf der Filtration biologische Prozesse im Biofilm, der sich auf den Granulaten bildet.

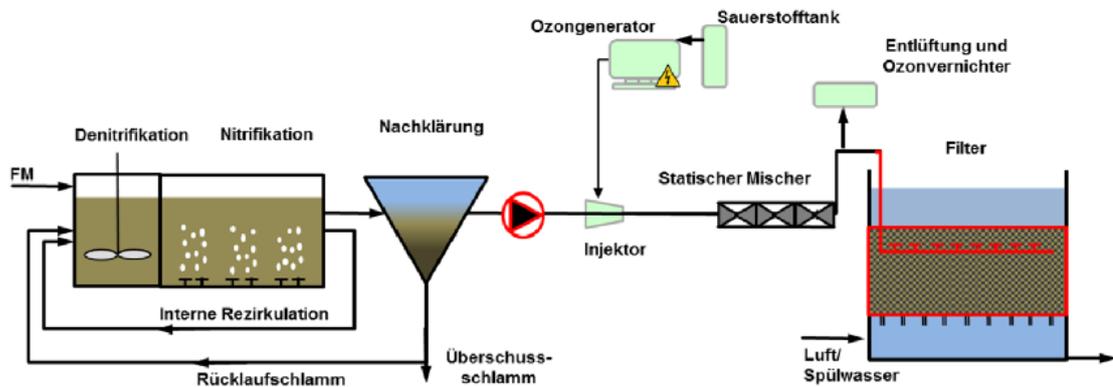


Abbildung 3.10: Mikroschadstoffeliminierung mittels BAK

Die biologisch aktivierte Aktivkohlefiltration wird aktuell nur in wenigen großtechnischen Versuchen betrieben. Eliminationsleistungen werden in diesen Versuchen noch ermittelt. Aus diesem Grund ist dieses Verfahren als Stand der Forschung einzuordnen und daher wird auf eine Berücksichtigung dieser Verfahrensoption im Variantenvergleich verzichtet.

## 4 GRUNDLAGEN WEITERGEHENDE REINIGUNGSSTUFE

### 4.1 BEMESSUNGSPARAMETER

Aus wirtschaftlichen Gründen ist bei der Nachrüstung von Kläranlagen für eine weitergehende Reinigungsstufe zu überprüfen, ob eine Vollstrombehandlung erforderlich ist. Aus ökologischer Sicht ist es auch möglich, hohe Eliminationsgrade für Mikroschadstoffe durch eine Teilstrombehandlung zu erreichen.

Zur Ermittlung der Ausbaugröße der zusätzlichen Reinigungsstufe wird die Summenhäufigkeit der stündlichen Gesamtabflüsse der Jahre 2014 bis 2016 in Abbildung 4.1 dargestellt.

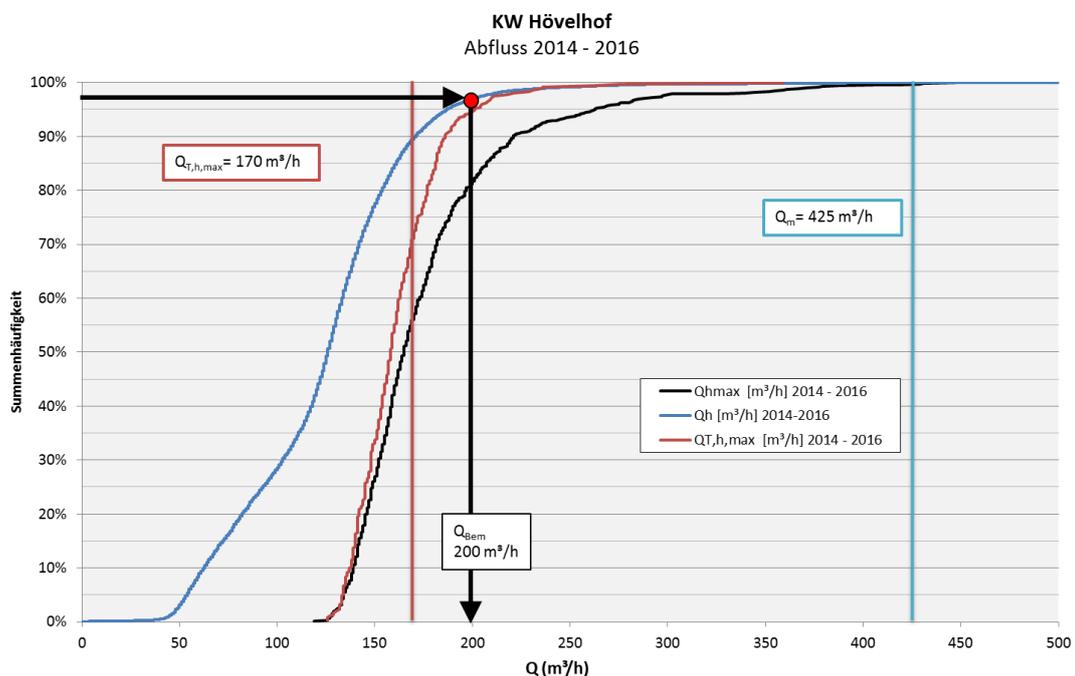


Abbildung 4.1: Bemessungswassermenge

Für eine Vollstrombehandlung ist eine Ausbaugröße für 425 m³/h erforderlich. Andererseits lässt sich aus Abbildung 4.1 erkennen, dass für die **Behandlung von 97%** des gesamten jährlichen Abflusses eine Ausbaugröße von nur 200 m³/h benötigt wird. Dies entspricht ca. 47% des genehmigten  $Q_m$ .

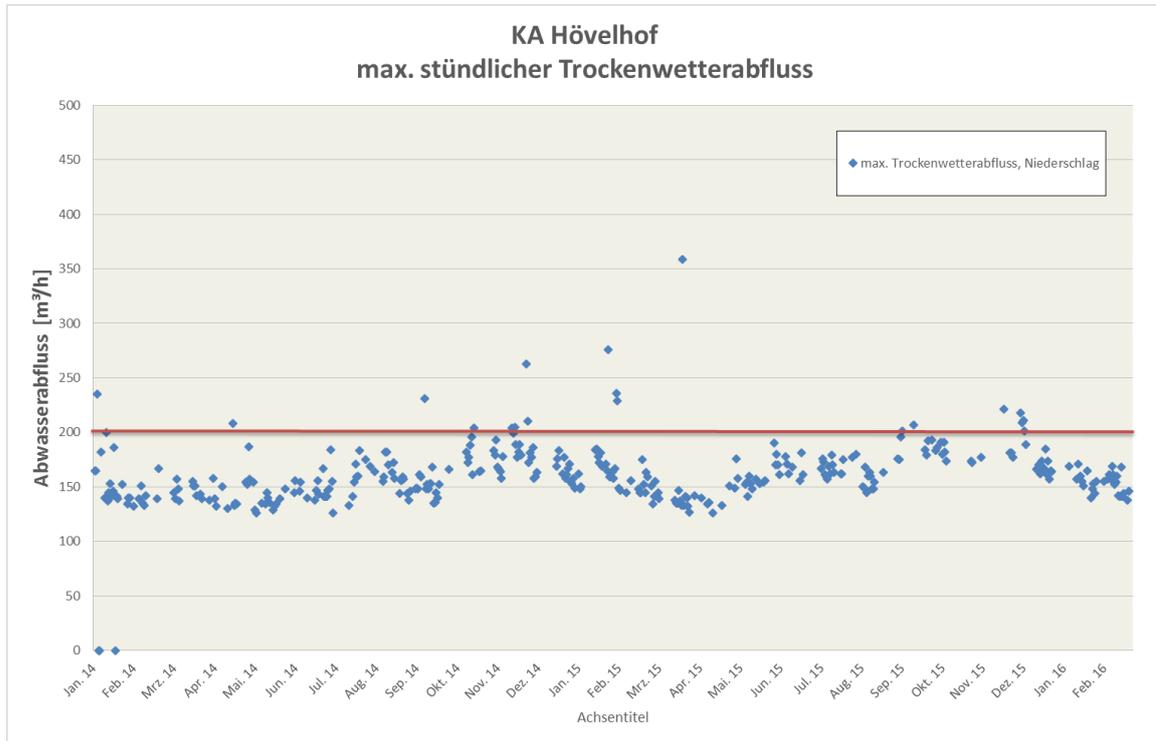


Abbildung 4.2: maximaler Trockenwetterabfluss

Die Abbildung 4.2 zeigt, dass ca. 95 % aller gemessenen maximalen Trockenwetterabflüsse unter der Bemessungswassermenge von 200 m³/h liegen und so über die 4. Reinigungsstufe mit behandelt würden.

Um den Einfluss der Ausbaugröße der weiteren Reinigungsstufe auf die Entnahme von Mikroschadstoffen abzuschätzen, werden im Folgenden Stoffbilanzen am Beispiel von fiktiven Summenkonzentrationen an Arzneimitteln in Abhängigkeit vom behandelten Anteil des jährlichen Gesamtabflusses in Anlehnung an Abbildung 4.1 durchgeführt.

Folgende Annahmen wurden für die Bilanz getroffen:

- Arzneimittel werden im Laufe der üblichen Abwasserbehandlungsstrecke um 25% reduziert (zwischen Zulauf und Nachklärung)
- zusätzliche Entnahme von 85% der Arzneimittel zwischen Nachklärung und Gewässer durch weitergehende Abwasserreinigung (Adsorption bzw. Ozonierung).

Die Ergebnisse sind in Abbildung 4.3 (exemplarisch Diclofenac) dargestellt.

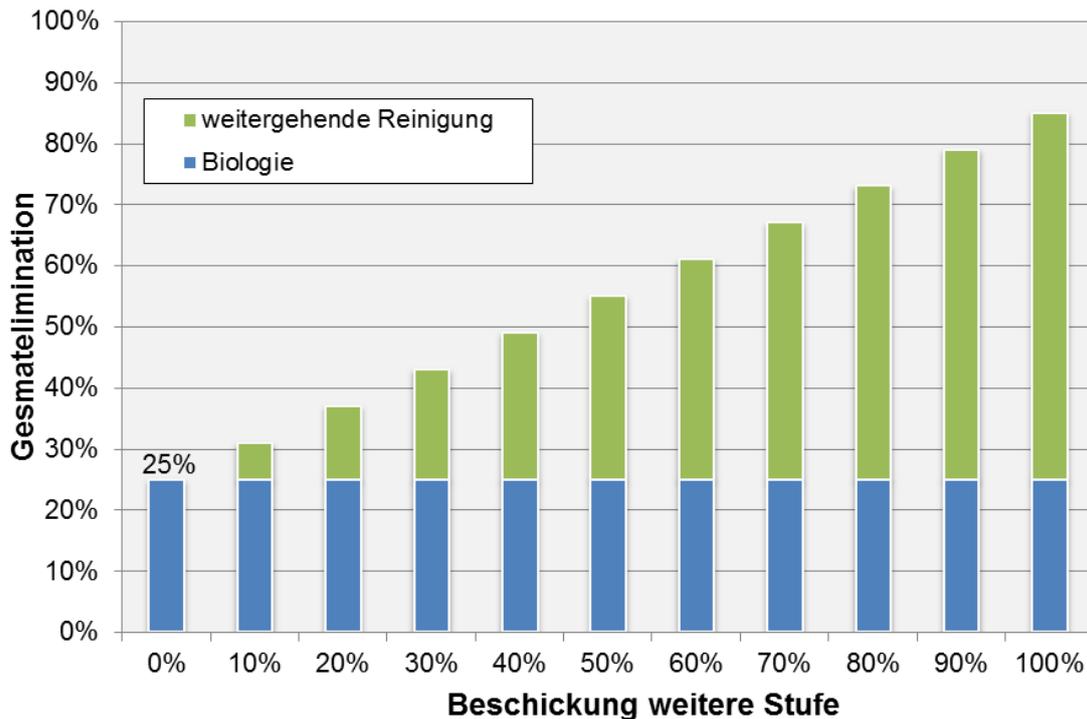


Abbildung 4.3: Gesamtelimination Arzneimittel (hier Diclofenac)

Durch die Vollstrombehandlung wird eine gesamte maximale Entnahme von Arzneimitteln von 85%. Dafür muss eine Adsorptionsanlage für ca. 425 m<sup>3</sup>/h ausgelegt werden.

Für einen behandelten Anteil von 90% des jährlichen Gesamtabflusses ist eine gesamte Entnahme von Arzneimitteln von 79% möglich.

Dafür ist eine Ausbaugröße von ca. 170 m<sup>3</sup>/h erforderlich, d.h. 60% kleiner als die Vollstrombehandlungsanlage. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass obwohl eine Teilstromanlage für 90% des jährlichen Gesamtabflusses 60% kleiner als die Vollstromanlage ist, dafür die Entnahme von Arzneimitteln nur 7% geringer ist. Dieser Ansatz ist analog übertragbar für die Elimination von anderen Mikroschadstoffen.

Die in diesem Kapitel getroffenen Annahmen beruhen auf Literaturangaben und aktuellen Angaben von laufenden Projekten. Für eine genaue Ermittlung der erreichbaren Entnahmeleistungen sind wissenschaftlich betreute Versuche mit dem Abwasser der Kläranlage Hövelhof erforderlich.

Aus ökologischer und ökonomischer Sicht wird eine Teilstrombehandlungsanlage für 200 m<sup>3</sup>/h als geeignet betrachtet und weiter verfolgt.

#### 4.2 MÖGLICHE ERWEITERUNGSFLÄCHE

Für den Bau der 4. Reinigungsstufe sind in Abhängigkeit der Verfahrensvarianten unterschiedlich große Bauflächen erforderlich. Eine sinnvolle Integration vorhandener Bausubstanz (z.B. leere Becken) ist nicht möglich.

Die gelb gekennzeichnete Freifläche (siehe Abbildung 4.4) lässt nur eine Ozonung und eine GAK-Filtration als 4. Reinigungsstufe zu. Die Freifläche von ca. 400 m<sup>2</sup> würde für das Verfahren mit PAK nicht ausreichen. Da eine Behandlung des Abwassers nach der Nachklärung erfolgen muss, ist dieser Standort aufgrund der ungünstigen Anbindung und damit verbundener hohen Zuleitungskosten nicht geeignet.

Ein weiterer möglicher Standort für eine 4. Reinigungsstufe befindet sich auf der Fläche des Schönungsteiches, der dafür teilweise aufgegeben werden müsste. Die in Rot dargestellte Fläche von ca. 1.300 m<sup>2</sup> (siehe Abbildung 4.4) wäre für die Umsetzung aller drei Varianten der Spurenstoffelimination denkbar. Für diesen Standort muss mit erhöhten Kosten für die Erdarbeiten und Gründung gerechnet werden.

Für die genannten Erweiterungsflächen wurde bisher noch kein projektbezogenes Bodengutachten erstellt.



Abbildung 4.4: Erweiterungsflächen (rot und gelb markiert)

## **5 VARIANTEN KLÄRANLAGE HÖVELHOF**

### **5.1 VARIANTE 1: PAK-DOSIERUNG IN KONTAKTBECKEN**

#### **5.1.1 Verfahrensmerkmale**

Die Variante 1 umfasst die Zugabe von Pulveraktivkohle in einer vorgeschalteten Absorptionsstufe mit Abtrennung der Kohle in einem separaten Absetzbecken.

Der Teilstrom zur Aktivkohlebehandlung von 200 m<sup>3</sup>/h wird im Ablauf der Nachklärung abgetrennt.

Bei Regenwetter steigt der Wasserspiegel im Abschlagsbauwerk an und die Abwassermenge > 200 m<sup>3</sup>/h wird über eine Überfallkante abgeschlagen. Sie fließt direkt in den Vorfluter.

Das neue Zulaufpumpwerk wird als funktionales Stahlbetonbauwerk mit Tauchmotorpumpen vorgesehen. Das gehobene Abwasser fließt anschließend den Kontaktbecken zu. Im Zulaufbereich der Kontaktbecken erfolgen die durchflussabhängige Zugabe der Pulveraktivkohle sowie die Zugabe der Rücklaufkohle aus dem Absetzbecken.

Das Kontaktbecken wird einstraßig ausgeführt. Die Beckengeometrie ermöglicht eine Pfropfenströmung zur zielorientierten Anpassung der Dosierstellen.

Das Kontaktbecken wird zusätzlich mit Rührwerken ausgestattet, um eine ausreichende Durchmischung zu gewährleisten.

Der Absetzvorgang des Abwasser-Kohle-Gemisches in den nachfolgenden Sedimentationsbecken wird durch die Zugabe von Flockungsmittel (Metall-Salze) und Flockungshilfsmittel (Polymere) unterstützt.

Die Aktivkohledosierung erfolgt aus einem Silo mit nachgeschalteter Dosieranlage, in welcher die trocken gelagerte Aktivkohle mit Wasser versetzt und als Suspension dosiert wird. Die Dosieranlage der PAK-Zugabe ist direkt unterhalb des Silos angeordnet.

Durch eine Treibstrahlpumpe wird das Aktivkohle-Wasser-Gemisch zur Dosierstelle gefördert. Zum Anmischen der Aktivkohle sowie für den Betrieb der Treibstrahlpumpe wird Abwasser aus dem Ablauf der Filtration verwendet.

Das Silo hat ein Nutzvolumen von 5 m<sup>3</sup>. Um Verklumpungen im Silo zu vermeiden, wird in regelmäßigen Abständen Druckluft zur Auflockerung der Aktivkohle eingeblasen.

Die Pulveraktivkohle wird in den Zulauf zum Kontaktbecken dosiert. Fäll- und Flockungshilfsmittel werden zwischen dem Kontakt- und Absetzbecken dosiert.

Das Absetzbecken wird mit Räumereinrichtung ausgeführt. Der Ablauf des Absetzbeckens erfolgt über eine Überfallkante und fließt zur Filtration.

Die abgesetzte Kohle wird über 2 Rezirkulationspumpen zurück in das Kontaktbecken gefördert. Das Rückführverhältnis beträgt maximal 70 %. Die Überschussskohle wird über eine Pumpe aus dem Kontaktbecken in die Belebung gefördert.

Zur Sicherstellung einer unabhängigen Auswahl des Fällmittels der bereits vorhandenen P- Elimination, wird im unmittelbaren Bereich der 4. Reinigungsstufe eine zusätzliche Fällmittel Lager- und Dosierstation vorgesehen. Analog hierzu wird in einem neuen Hochbauteil eine Lager- und Ansetzanlage für Flockungshilfsmittel vorgesehen.

Damit trotz Absetzbecken keine beladene Aktivkohle in den Schönungsteich gelangt, werden kontinuierlich gespülte Sandfilter als letzter Schutzstufe hinter den Absetzbecken angeordnet.

### 5.1.2 Vordimensionierung

Nachstehend sind die wichtigsten Bemessungsdaten sowie die Ergebnisse der Vorbemessung aufgeführt.

Tabelle 5-1: Vordimensionierung Variante 1

<b>Bemessungsparameter</b>	
Bemessungswassermenge [m <sup>3</sup> /h]	200
jährliche Wassermenge, behandelt [m <sup>3</sup> /a]	1.017.000
Dosierung Pulveraktivkohle [mg/l]	10 (5 – 20)
Dosierung Fällmittel [mg/l]	4 (2 – 8)
Dosierung Flockungshilfsmittel [mg/l]	0,2 – 0,3
Aufenthaltszeit Kontaktbecken [min]	30
Aufenthaltszeit Absetzbecken [min]	120
Oberflächenbeschickung Absetzbecken [m/h]	bis 2
<b>Vordimensionierung Anlagenteile</b>	
erf. Volumen Kontaktbecken [m <sup>3</sup> ]	ca. 100
erf. Volumen Absetzbecken [m <sup>3</sup> ]	ca. 400
erf. Oberfläche Absetzbecken [m <sup>2</sup> ]	ca. 100
gew. Volumen PAK Silo [m <sup>3</sup> ]	5

Die nachfolgende Abbildung 5.1 zeigt eine Einbindung der vorberechneten Module im Bestand. Der Plan ist als Anlage beigefügt.

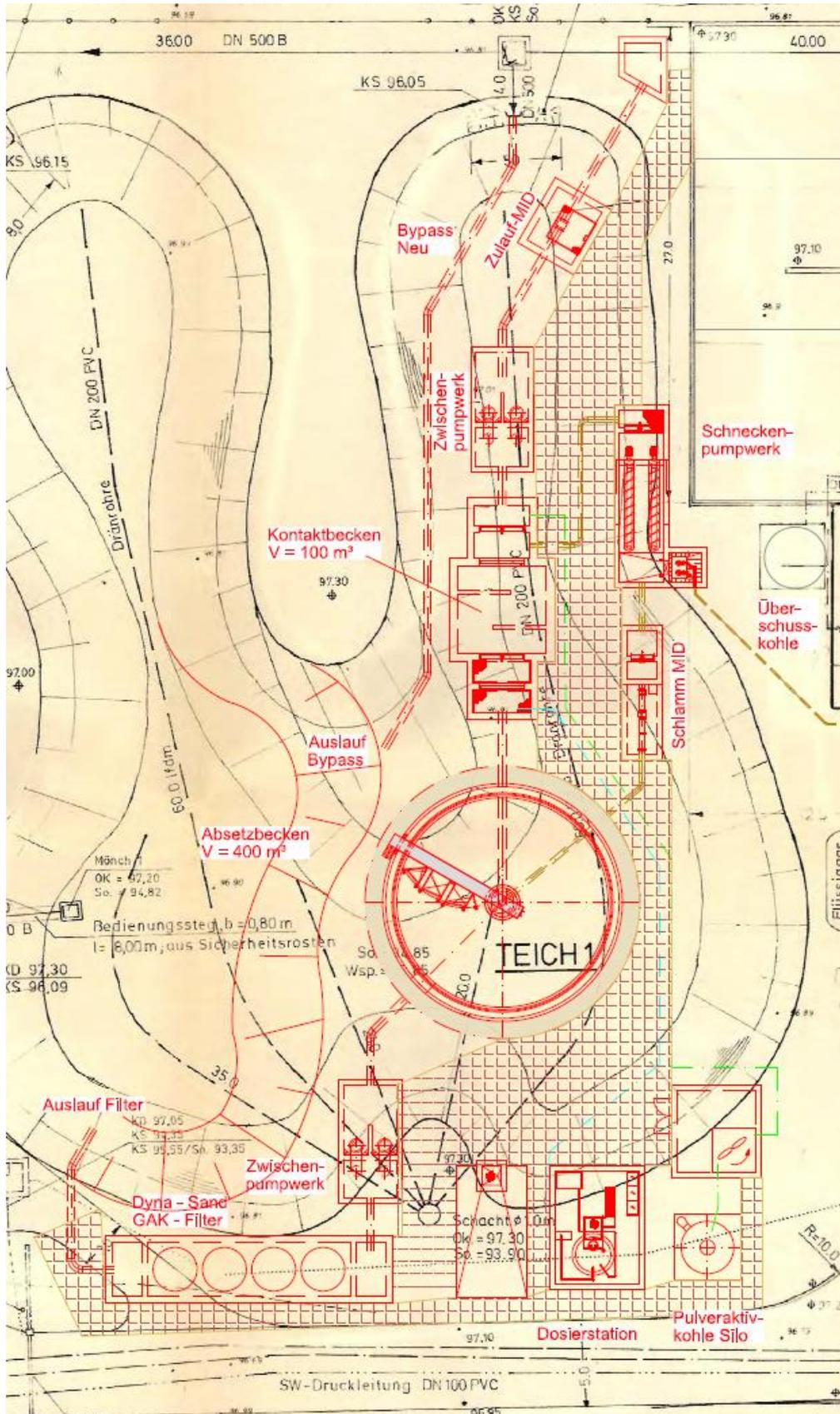


Abbildung 5.1: Lageplan Variante 1: PAK-Dosierung in Kontaktbecken

### **5.1.3 Bewertung**

Im Fall der Umsetzung der Variante 1 sind die folgenden Punkte im Hinblick auf den Betrieb einer Mikroschadstoffelimination mittels PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken zu beachten:

- schnelle und effektive Adsorptionskinetik durch geringe Partikeldurchmesser
- Die Variante erfordert trotz geringer Maschinenteknik aufwändige und wartungsintensive Mess- und Regeltechnik.
- Minimierung der Betriebskosten durch Anpassung der Dosiermenge an Rohwasserbeschaffenheit und Ablaufziele möglich
- Umsetzung erfordert den Bau von zusätzlichem Beckenvolumen
- Anders als bei der Ozonierung findet hier eine Entnahme von Mikroschadstoffen aus dem Abwasserstrom statt.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass der Kohleschlamm einer Verbrennung zugeführt werden muss. Die Integration der Überschussskohle in den Schlammkreislauf ist möglich, erfordert jedoch eine thermische Verwertung der gesamten Schlammmenge. Alternativ ist eine separate Schlammbehandlung für die Pulveraktivkohle möglich. Dies erfordert eine zusätzliche Schlammbehandlungsstraße und lässt den Vorteil einer weiteren Beladung der Kohle im Belebungsbecken ungenutzt.

## 5.2 VARIANTE 2: GAK-FILTRATION

### 5.2.1 Verfahrensmerkmale

GAK wird nach der biologischen Stufe eingesetzt, d. h. das Abwasser durchströmt einen Raumfilter, der mit granulierter Aktivkohle gefüllt ist. Aufgrund der Restverschmutzung im Ablauf der biologischen Reinigung entwickelt sich auf den Kornoberflächen ein Biofilm.

Aktivkohlefilter werden mit einer Kontaktzeit (EBCT = empty bed contact time) von 5–30 Minuten und einer Filtergeschwindigkeit von 5–15 m/h ausgelegt [5]. Die Filterbetthöhe bewegt sich in der Größenordnung von 2 – 4 m. Ein wirtschaftlicher Vorteil der granulierten Aktivkohle liegt in der Möglichkeit, diese begrenzt zu regenerieren und so weniger neue Kohle zu benötigen.

Da selbst gut gereinigtes Abwasser noch 5–15 mg TSS/l (total suspended solids/Liter) enthält, wird eine Vorfiltration und/oder bzw. eine erhöhte Rückspülung empfohlen, um Verstopfungen zu vermeiden [8].

Erhöhte Feststoffgehalte im Filterzulauf führen zu teilweise deutlich reduzierten Filtrationsintervallen von bis zu 6 h. Hierdurch sind viele Filteranlagen hydraulisch nicht mehr zu betreiben. Auf der einen Seite sind reine Wasserspülungen zur Filterregeneration nicht ausreichend. Auf der anderen Seite sind Luftspülungen zu minimieren um Abrasion zu vermeiden.

Die Filtrationswirkung der GAK Filtration bleibt auch bei relativ hohen AFS (abfiltrierbare Stoffe) von 20 – 30 mg/l bis zur Bestimmungsgrenze von ca. 3 – 4 mg/l erhalten [2].

Die gelösten Stoffe sorbieren im Filter einerseits an die Aktivkohleoberflächen, können aber auch biologisch abgebaut werden. Feststoffe werden im Filterbett ebenfalls zu einem großen Teil zurückgehalten. Bei der Beladung der Aktivkohle kommt es zu Konkurrenzsituationen zwischen verschiedenen Stoffen im Ablauf der Kläranlage.

Dies führt dazu, dass unproblematische Stoffe mit hoher Adsorbierbarkeit zur schnellen Belegung der Aktivkohle führen und diese nicht mehr zur Adsorption von Mikroschadstoffen zur Verfügung steht. Der Vorgang kann man nur begrenzt, durch selektiv wirksame Kornkohle entgegen wirken.

Ist die Standzeit zu gering, wird das Kosten-Nutzen-Verhältnis ungünstig. Es wird von einem wirtschaftlichen Betrieb Bettvolumina > 12.500 BTV bzw. Standzeiten > 12 Monaten ausgegangen.

Über die Standzeit, d. h. die Zeit, bis das Filtermaterial beladen ist und ausgetauscht werden muss, ist bisher wenig bekannt, hierzu sind Betriebserfahrungen nötig.

Es bestehen Abhängigkeiten zwischen Standzeit, Aktivkohle, Hintergrundverschmutzung, Konkurrenzreaktionen, Filtergeschwindigkeiten sowie weiteren Faktoren, welche im Rahmen dieser Studie nur ungenügend abgeschätzt werden können um einen belastbare Wirtschaftlichkeitsvergleich durchführen zu können.

Da die Standzeiten linear in die Betriebskosten der Variante eingehen, werden nachfolgend zwei Alternativen betrachtet, um den wirtschaftlichen Rahmen der Variante GAK-Filtration einzugrenzen.

Da die Standzeiten ohne umfangreiche Voruntersuchungen nicht klar abschätzbar sind werden zwei Varianten betrachtet. Hierbei wird eine günstige, mit einer ungünstigen Standzeit verglichen.

1. Variante a: Standzeit Aktivkohle = 6 Monate
2. Variante b: Standzeit Aktivkohle = 12 Monate

Das erforderliche Filterbettvolumen ist in beiden Varianten gleich, da die Filtergeschwindigkeiten identisch sind.

Es ergeben sich unterschiedliche Betriebs- und Jahreskosten aufgrund der Standzeiten der Aktivkohle.

Beide Alternativen sind in Abbildung 5.2 dargestellt.

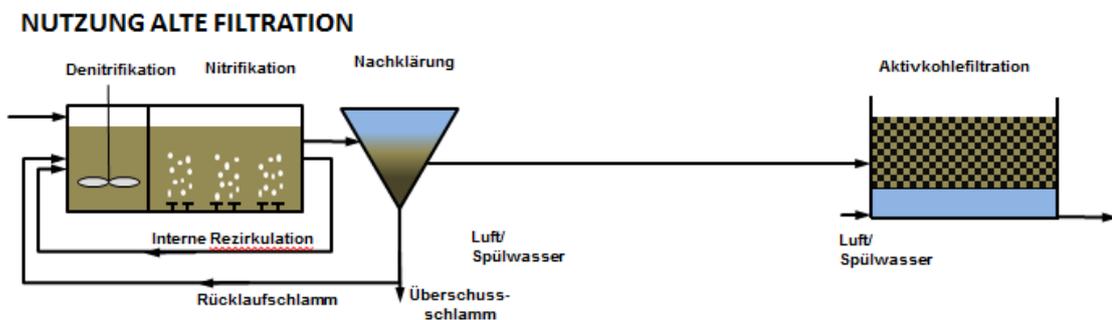


Abbildung 5.2: Fließbild der Variante 2 (GAK Filtration)

### 5.2.2 Vordimensionierung

Nachstehend sind die wichtigsten Bemessungsdaten sowie die Ergebnisse der Vorbemessung aufgeführt.

Tabelle 5-2: Vordimensionierung Variante 2a und 2 b

Bemessungsparameter	
Kontaktzeit Filter [min]	18
<b>Vordimensionierung Anlagenteile Var. 2</b>	
Bemessungswassermenge [m <sup>3</sup> /h]	200
jährliche Wassermenge, behandelt [m <sup>3</sup> /a]	1.017.000
Max. Filtergeschwindigkeit, gew. (Q <sub>max</sub> ) [m/h]	10
Bettvolumen [m <sup>3</sup> ]	60
Fläche GAK-Filter [m <sup>2</sup> ]	30

Die nachfolgende Abbildung 5.3 zeigt eine Einbindung der in Variante 2 vorberechneten Anlagenteile im Bestand.

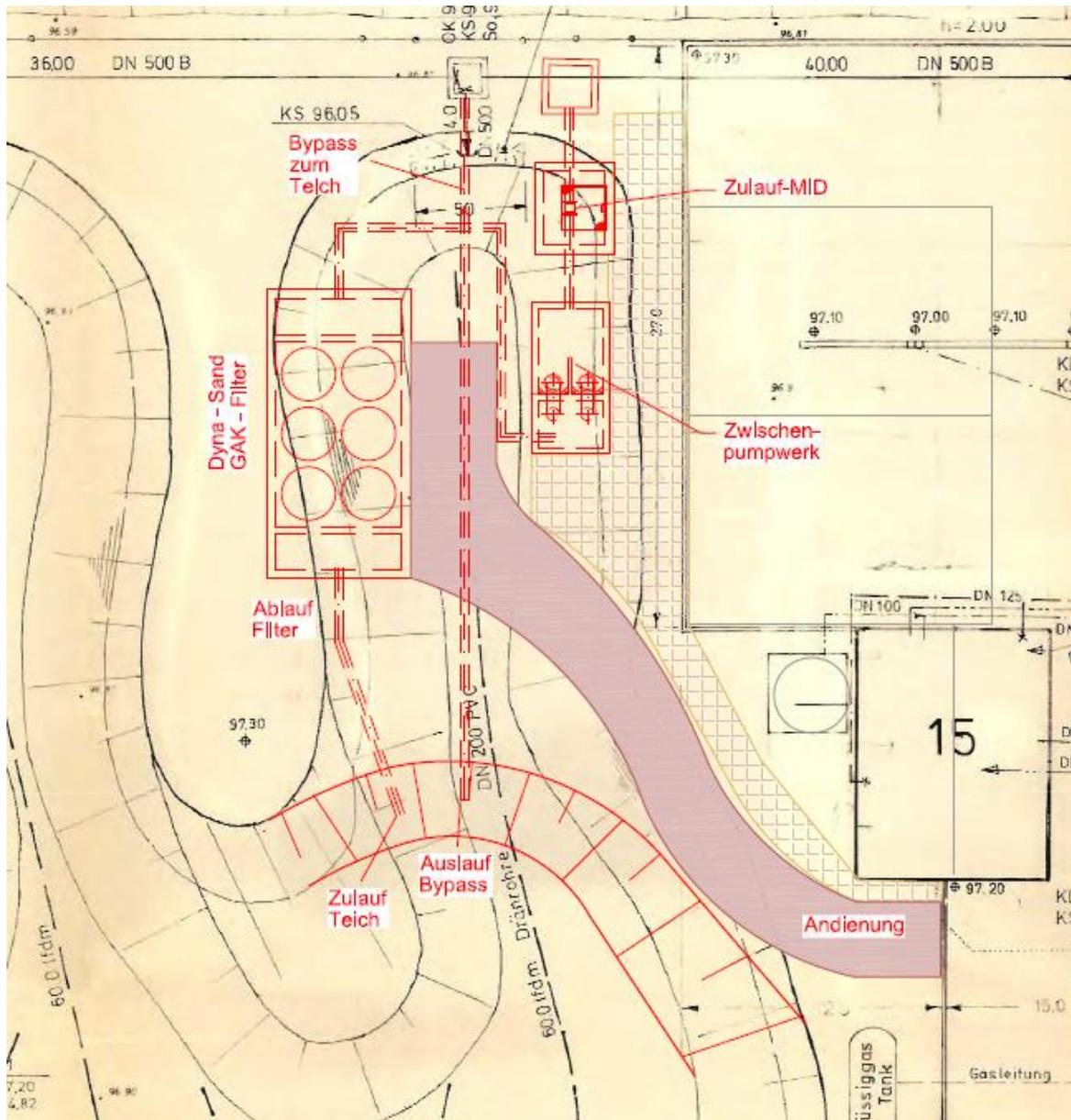


Abbildung 5.3: Lageplan Variante 2a und 2b GAK-Filtration

### **5.2.3 Bewertung**

Im Fall der Umsetzung der Variante 2 sind die folgenden Punkte im Hinblick auf den Betrieb einer Mikroschadstoffelimination zu beachten:

- Schwächere Adsorptionskinetik durch größere Partikeldurchmesser
- Variante erfordert trotz geringer Maschinenteknik aufwändige und wartungsintensive Mess- und Regeltechnik.
- Keine Minimierung der Betriebskosten durch Anpassung der Dosiermenge an Rohwasserbeschaffenheit und Ablaufziele möglich.
- Anders als bei der Ozonierung findet hier eine Entnahme von Mikroschadstoffen aus dem Abwasserstrom statt.
- Eine Rückführung und somit eine weitere Beladung der Kohle im Belebungsbecken ist nicht möglich.
- Eingesetzte Kohle kann bis zu einem gewissen Grad regeneriert werden (Anlagen zur Kohleregeneration sind jedoch wenig verbreitet)

Die Kostensicherheit ist vorab sehr gering, da die entscheidende Frage, wann das Filtermaterial beladen ist und infolgedessen ausgetauscht werden muss, ohne Versuche nicht beantwortet werden kann.

## **5.3 VARIANTE 3: OZONIERUNG**

### **5.3.1 Verfahrensmerkmale**

Bei der Variante 3 wird eine Ozonierung des Ablaufs der Nachklärbecken betrachtet. Zur Mikroschadstoffelimination mittels Ozonierung sind folgende Anlagenkomponenten erforderlich:

- Beschickungspumpwerk
- Ozon-Kontaktbecken mit Entgasungszone
- Sauerstofftank
- Ozonerzeugungsanlagen einschl. Notkühlung
- Ozondosieranlage
- Restozonentfernung

Der Ablauf der Nachklärung wird dem neuen Zulaufpumpwerk der neuen Stufe zugeleitet. Es besteht die Möglichkeit, die Stufe zukünftig zu umfahren.

Die Auslegungswassermenge zur Bemessung der Ozonanlage wird analog zu den anderen Varianten mit 200 m<sup>3</sup>/h gewählt.

Für den Ozoneintrag kommen prinzipiell 2 Verfahrensweisen in Frage. Der Eintrag des ozonhaltigen Gases über Diffusoren direkt in den Ozonreaktor liefert vergleichbare Ergebnisse zu einer Ozonzugabe über einen Mischinjektor, bei der das ozonreiche Luft- Ozon-Gemisch dem Zulauf des Ozonreaktors zugeführt wird. Ein Ozoneintrag über ein Injektorsystem wird vorwiegend bei kleineren Anlagen vorgesehen.

Der Ozonerzeuger stellt Ozon aus Sauerstoff nach dem Prinzip der stillen elektrischen Entladung her. Das erforderliche Einsatzgas Sauerstoff bzw. getrocknete Luft wird am Eingang des Ozonerzeugers mittels eines Druckminderers auf den Gasbetriebsdruck des Ozonerzeugers reduziert.

Die Aufstellung des Ozonerzeugers wird im neuen Betriebsgebäude im unmittelbaren Bereich des Ozonreaktors vorgesehen. Der Tank für den Flüssigsauerstoff inklusive des zugehörigen Verdampfers wird außerhalb des Gebäudes aufgestellt. Die Fläche rund um den Flüssigsauerstofftank muss entsprechend befestigt werden und für Schwerverkehr zugänglich sein.

Die Kontaktbecken sind luftdicht abgedeckt, so dass, das im Bereich oberhalb des Wasserspiegels ansammelndes Ozon erfasst und über den Restozonentferner abgeleitet werden. Eine automatische Mess- und Regeltechnik überwacht indirekt den Behandlungserfolg über die kontinuierliche SAK Messung und die Messung des überschüssigen Ozons im Abgas und regelt die Ozonerzeugung und -verteilung entsprechend dem aktuellen Bedarf.

Zusätzlich sind Plattenwärmetauscher zur Entkopplung des Ozonerzeugers vorgesehen, um den Ozonerzeuger indirekt mit dem behandelten Abwasser zu kühlen.

### 5.3.2 Vordimensionierung

Nachstehend sind die wichtigsten Bemessungsdaten sowie die Ergebnisse der Vorbemessung aufgeführt.

Tabelle 5-3: Vordimensionierung Variante 3

<b>Bemessungsparameter</b>	
Bemessungswassermenge [m <sup>3</sup> /h]	200
jährliche Wassermenge, behandelt [m <sup>3</sup> /a]	1.017.000
Dosierung Ozon [mg/l]	2 – 6,3
Sauerstoffbedarf [mgO <sub>2</sub> /mgO <sub>3</sub> ]	10
Aufenthaltszeit Ozonreaktor [min]	15
Aufenthaltszeit Bereich Ausgasung [min]	5
<b>Vordimensionierung Anlagenteile</b>	
erf. Volumen Kontaktbecken [m <sup>3</sup> ]	54
erf. Volumen Bereich Ausgasung [m <sup>3</sup> ]	18
Gesamtvolumen, gewählt [m <sup>3</sup> ]	72

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Einbindung der vorberechneten Module im Bestand.

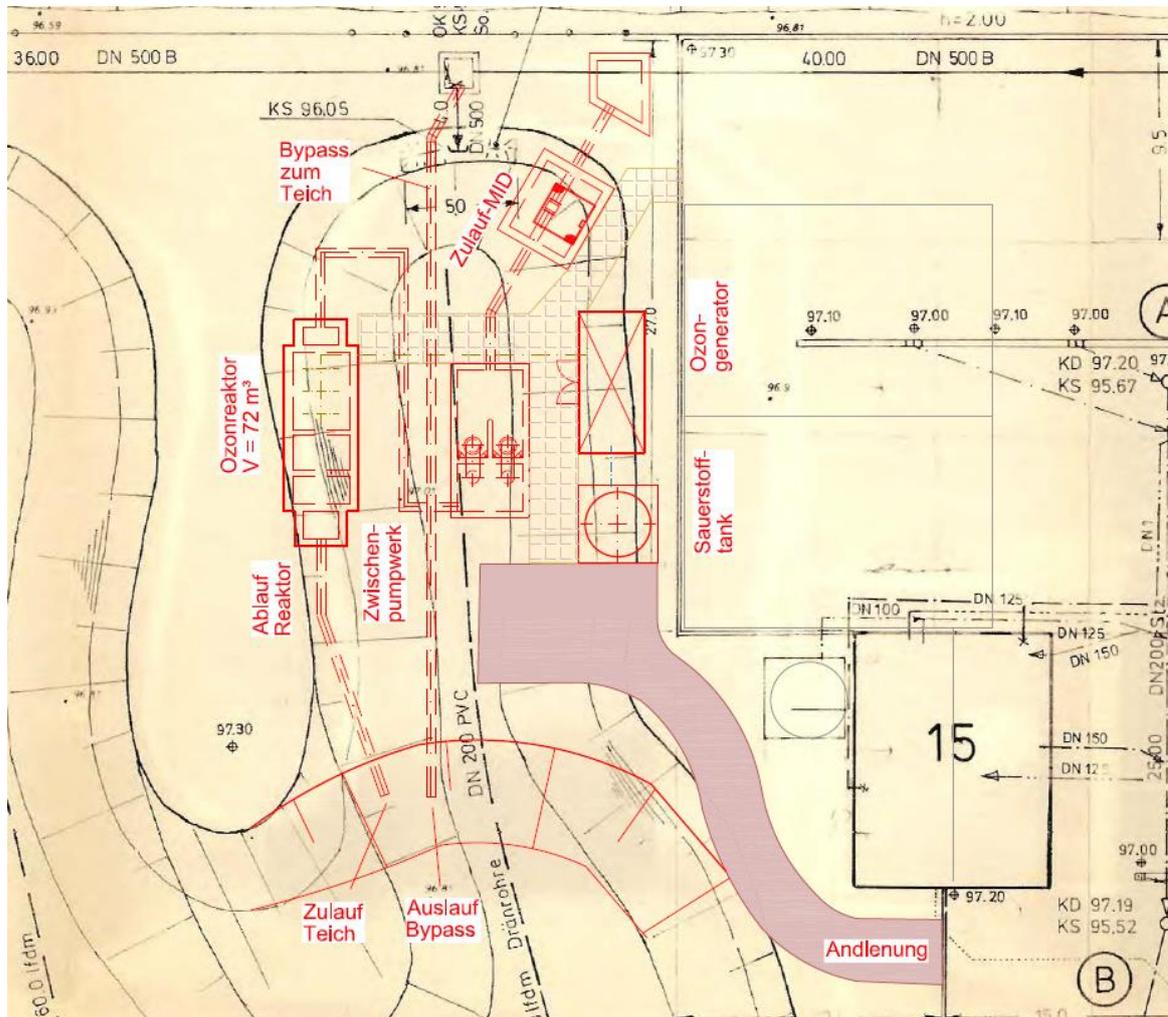


Abbildung 5.4: Lageplan Variante 3: Ozonierung

### **5.3.3 Bewertung**

Im Fall der Umsetzung der Variante 3 sind die folgenden Punkte im Hinblick auf den Betrieb einer Mikroschadstoffelimination zu beachten:

- Große Bandbreite an Stoffen eliminierbar jedoch keinerlei Eliminationsleistung auf spezifische adsorbierbare Stoffe
- Hoher zusätzlicher Energieaufwand erforderlich
- Die Variante erfordert durch anspruchsvolle Maschinenteknik aufwändige und wartungsintensive Mess- und Regeltechnik.
- Minimierung der Betriebskosten durch Anpassung der Dosiermenge an Rohwasserbeschaffenheit und Ablaufziele möglich.
- Umsetzung erfordert den Bau von zusätzlichem Beckenvolumen, jedoch geringer als bei PAK-Dosierung
- Anders als bei der Adsorption findet keine Entfernung von Stoffen aus dem Abwasserstrom sondern lediglich eine Stofftransformation statt.
- Öko- und humantoxikologische Auswirkungen von entstehenden Metaboliten und Transformationsprodukten, sind bisher noch nicht abschließend erforscht (nachgeschaltete biologische Stufe empfohlen)
- Keine erhöhte Schlammmenge bzw. andere Entsorgungsprodukte
- mindestens teilweise Hygienisierung des Abwassers

## 6 VERGLEICH & EMPFEHLUNG

### 6.1 WIRTSCHAFTLICHER VARIANTENVERGLEICH

Die nachfolgend dargestellten Kosten sind ausschließlich Nettokosten und werden in Investitionskosten, Betriebskosten und Jahreskosten unterschieden.

#### 6.1.1 Investitionskosten

Die Vorabschätzung der Kosten wurde anhand von Kostenvergleichswerten (z.B. €/m<sup>3</sup> Kontaktbecken) sowie der Auswertung von Investitionskosten bereits realisierter Anlagen durchgeführt [10].

Investitionskosten sind die zur Erstellung, zum Erwerb oder zur Erneuerung von Anlagen erforderlichen einmalig anfallenden Kosten. Diese setzen sich wie folgt zusammen:

- Kosten für die Bautechnik
- Kosten für die Maschinenteknik
- Kosten für EMSR-Technik

Die Kostenannahme berücksichtigt keine Baunebenkosten (Honorare, Gutachten, Unvorhergesehenes, Sonstiges).

Hieraus ergeben sich die folgenden Investitionskosten für die entsprechenden Varianten.

Tabelle 6-1: Vergleich Investitionskosten (netto, gerundet)

Investitionen	Variante 1 PAK-Dosierung	Variante 2 GAK-Filtration	Variante 3 Ozonierung
Bautechnik [€]	1.184.000	734.000	395.000
Maschinenteknik [€]	753.000	99.000	410.000
EMSR Technik [€]	502.000	66.000	273.000
Baunebenkosten [€]	429.000	158.000	189.000
<b>Gesamtkosten netto[€]</b>	<b>2.868.000</b>	<b>1.057.000</b>	<b>1.267.000</b>
+ 19% MwSt. [€]	544.920	200.830	240.730
<b>Gesamtkosten brutto [€]</b>	<b>3.412.920</b>	<b>1.257.830</b>	<b>1.507.730</b>

Eine detaillierte Aufschlüsselung der Investitionen der betrachteten Varianten befindet sich im Anhang A .

Zum Vergleich der Investitionskosten sind diese nachfolgend in Abbildung 6.1 nochmals grafisch dargestellt.

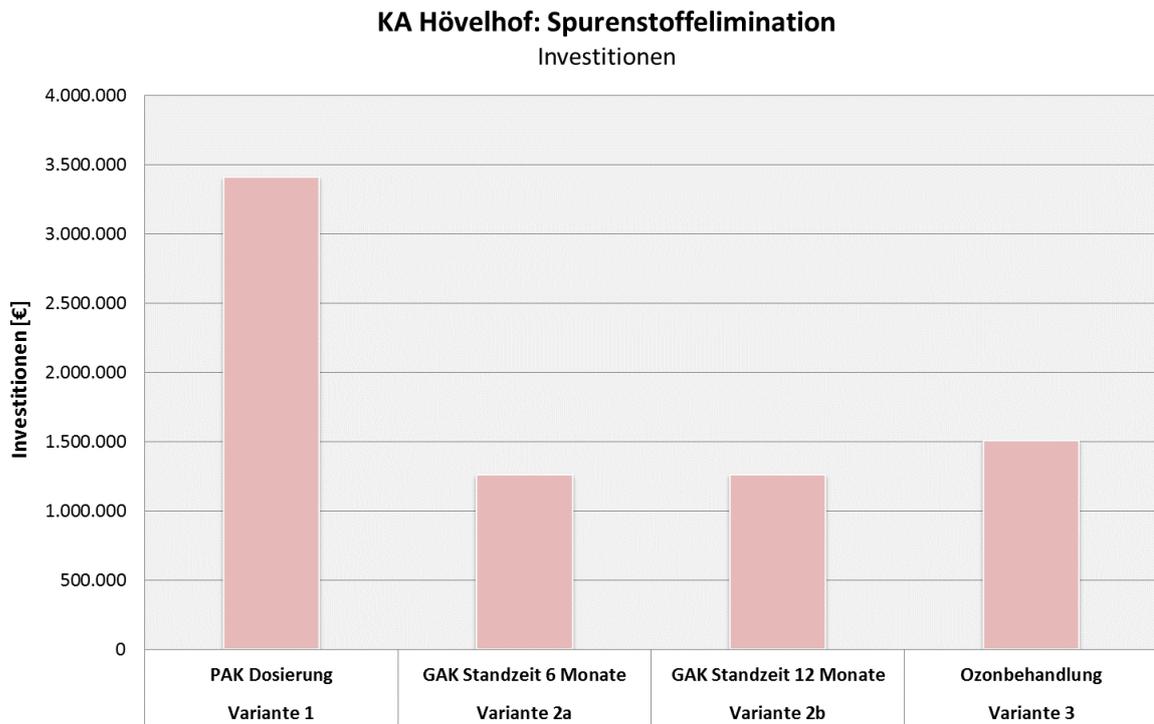


Abbildung 6.1: Vergleich Investitionskosten (netto, gerundet)

### 6.1.2 Betriebskosten

Für einen Vergleich der Varianten spielen bei einer weitergehenden Behandlungsstufe neben den Investitionskosten die Betriebskosten für Aktivkohleverbrauch, Ozonverbrauch und Stromverbrauch eine wesentliche Rolle.

Die Betriebskosten sind somit in der Betriebsphase regel- oder unregelmäßig wiederkehrende Aufwendungen. diese sind aufgeschlüsselt nach [10]:

- Personalkosten
- Energiekosten
- Wartungskosten / Unterhaltskosten
- Betriebsmittelkosten (z.B. O<sub>2</sub>, Aktivkohle, Schlamm Entsorgung, Fällungs- und Flockungshilfsmittel)

Für die Ermittlung der Betriebskosten wurden weiterhin folgende Einzelkosten berücksichtigt:

- elektrische Energie (zu 0,24 €/kWh)
- Personalkosten (zu 50.000 €/(Personen\*a))
- Wartung/ Unterhalt als prozentualer Ansatz der Investitionskosten:
  - Baukosten mit 0,5%,
  - Maschinenteknik mit 1,5%,
  - Elektrotechnik mit 1%
- Betriebsmitteleinsatz:
  - Sauerstoff: 0,14 €/kgO<sub>2</sub>, 10 mg O<sub>3</sub>/l
  - PAK: 1.550 €/Mg, 10 mg PAK/l
  - GAK: 1.700 €/Mg (regenerierte Kohle)  
1.100 €/Mg (frische Kohle zur Erstbefüllung)
- Flockungshilfsmittel: 1.300 €/Mg
- Fällmittel: 130 €/Mg

Der Betrieb einer weitergehenden Stufe erfordert spezielle Fachkenntnisse. Insgesamt ist von einem gesteigerten Personalaufwand auszugehen.

Die Energiekosten ergeben sich aus dem Stromverbrauch für Pumpen, Rührwerke und der Ozonerzeugung. Die Berechnung erfolgte für eine mittlere Belastung der Anlagen.

Hieraus ergeben sich die folgenden Betriebskosten für die entsprechenden Varianten, welche in Tabelle 6-2 und Abbildung 6.2 dargestellt sind. Eine detaillierte Aufschlüsselung befindet sich im Anhang A

Tabelle 6-2: Vergleich Betriebskosten (netto)

Investitionen	Variante 1 PAK-Dosierung	Variante 2a GAK-Filtration Standzeit 6 Monate	Variante 2b GAK-Filtration Standzeit 12 Monate	Variante 3 Ozonierung
Wartung & Instandhaltung [€/a]	22.000	6.000	6.000	11.000
Verbrauchsstoffe [€/a]	20.000	40.000	20.000	17.000
Energiebedarf [€/a]	15.000	9.000	11.000	39.000
Entsorgung [€/a]	33.000	3.000	1.000	0
Personalkosten [€/a]	21.000	27.000	27.000	27.000
<b>Gesamtkosten [€/a]</b>	<b>111.000</b>	<b>85.000</b>	<b>65.000</b>	<b>94.000</b>

**KA Hövelhof: Spurenstoffelimination**

Betriebskosten

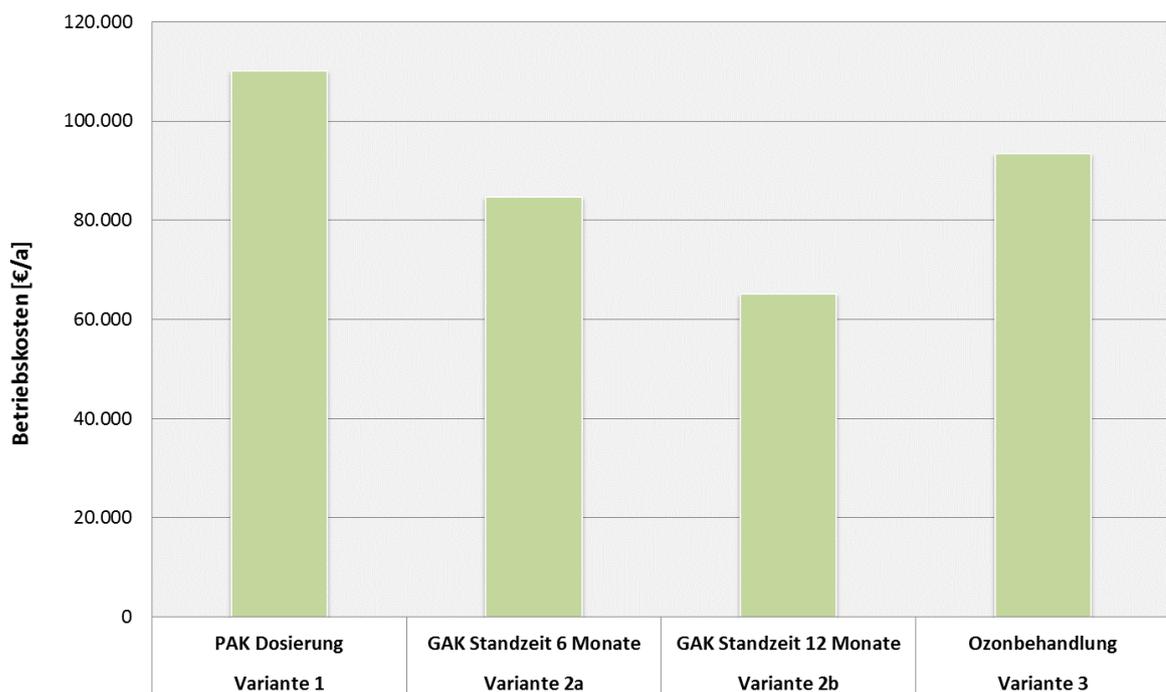


Abbildung 6.2: Vergleich Betriebskosten (netto, gerundet)

**6.1.3 Kostenvergleichsrechnung**

Für eine eindeutige Einordnung und eine Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Varianten im Vergleich ist eine Kostengegenüberstellung notwendig. Diese wird anhand einer dynamischen Kostenvergleichsrechnung nach [11] durchgeführt und dient als Hilfe bei der Entscheidungsfindung.

Das Ergebnis des Kostenvergleichs ist demnach unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Gesichtspunkte ein Vorschlag für die anstehende Entscheidungsfindung. Zur Durchführung der KVR werden die „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ (KVR-Leitlinien) angewendet.

Zu Beginn der KVR sind zunächst feste zeitliche Bezugspunkte zu setzen. Hierzu zählen das Basisjahr (aktuelle Zeitpunkt), der Bezugszeitpunkt (meist Inbetriebnahme/ Nutzungsbeginn) und der Untersuchungszeitraum, demnach die Nutzungsdauer.

Für die Erweiterung der Kläranlage Hövelhof wird als Bezugszeitpunkt ein beliebiger Zeitpunkt der Inbetriebnahme mit dem 01.01.2018 gewählt. Die Nutzungsdauer und damit der Betrachtungszeitraum von 30 Jahren werden vorgegeben.

Der Umfang der notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen wird entsprechend so gewählt, dass auch die vorhandenen Anlagenteile diese Nutzungsdauer voraussichtlich erreichen. Die Investitionszeitpunkte werden realistisch mit Maßgabe eines möglichst späten Zeitpunktes gewählt. Sie müssen vor Nutzungsbeginn liegen und werden in diesem Fall auf das Jahr 2018 gelegt, da sich die ausgewiesenen Kosten auf den Kostenstand 2016 beziehen (s.o.).

Als langfristiger Realzins (inflationsbereinigt) wird  $i = 3,0 \%$  gewählt. Von einer Preissteigerung wird ausgehend von den aktuellen Marktpreisen nicht ausgegangen wodurch  $r_{IK}$  und  $r_{IKR}$  mit  $0 \%$  p.a. festgelegt wird.

Tabelle 6-3: Vergleich Kostenvergleichsrechnung (gerundet)

<b>Summe der Jahreskosten aus:</b>	<b>Variante 1</b> PAK	<b>Variante 2a</b> GAK-Filtration Standzeit 6 Monate	<b>Variante 2b</b> GAK-Filtration Standzeit 12 Monate	<b>Variante 3</b> Ozonierung
Investitionen [€/a]	146.000	54.000	54.000	65.000
Re- Investitionen [€/a]	69.000	9.000	9.000	37.000
laufenden Kosten [€/a]	200.000	152.000	107.000	168.000
<b>Jahreskosten [€/a]</b>	<b>415.000</b>	<b>215.000</b>	<b>170.000</b>	<b>270.000</b>

**Bewertung:**

Aus der Kostenvergleichsrechnung geht Variante 2b (GAK-Filtration mit 12 monatiger Standzeit) als wirtschaftlich vorteilhafteste Variante hervor.

**6.2 TECHNISCHER VARIANTENVERGLEICH**

Die fünf ausgewählten Varianten werden im technischen Variantenvergleich durch mit einer Nutzwertanalyse untersucht und bewertet. Dabei handelt es sich eine Methode, die den Nutzwert verschiedener Entscheidungsalternativen im Vergleich zueinander liefert. Das Ergebnis der Analyse liefert für jede der Varianten eine Zahl, die den Nutzwert darstellt. Die „beste“ Lösung erhält dabei, im Vergleich zu den anderen Varianten, den höchsten Nutzwert.

Sie ist besonders gut geeignet, wenn „weiche“ oder „technische“- also in Geldwert oder Zahlen nicht darstellbare – Kriterien vorliegen, anhand derer zwischen verschiedenen Alternativen eine Entscheidung gefällt werden muss.

Da für die Wahl der Vorzugsvariante letztlich aber das Zusammenführen von monetären und nicht-monetären Bewertungskriterien notwendig ist, wurden auch die Ergebnisse aus der KVR in der Nutzwert-Analyse bewertet. Die Ergebnisse der KVR (monetäre Bewertungskriterien) wurden dabei in dimensionslose Kennwerte (Nutzenpunkte) übertragen.

Die Ziele werden, ihrer Hierarchie folgend gewichtet, da nicht alle Ziele gleich wichtig für das Gesamtziel sind. Die Summe aller Gewichte muss 100 ergeben, damit 100% Gesamtnutzen vorhanden ist.

Die einzelnen Bewertungskriterien erhalten Punkte hinsichtlich ihrer Zielerreichungsgrade. Die Verteilung erfolgt ganzzahlig mit einer Skala von 0 bis 1, wobei 0 das Versagen hinsichtlich des entsprechenden Zieles und 1 dessen vollständige Erfüllung bedeutet.

In der Tabelle 6-4 ist das Ergebnis der durchgeführten Nutzwert-Analyse dargestellt.

Tabelle 6-4: Technischer Variantenvergleich

Kriterium	Gewichtung	Variante 1		Variante 2a		Variante 2b		Variante 3	
		Punkte	Nutzwert	Punkte	Nutzwert	Punkte	Nutzwert	Punkte	Nutzwert
Jahreskosten	40%	0,41	0,16	0,79	0,32	1,00	0,40	0,64	0,25
Reinigungsleistung (Synergieeffekte CSB, P)	10%	0,8	0,08	0,6	0,06	0,8	0,08	0,8	0,08
Transformationsprodukte Metabolitenbildung	10%	1,0	0,10	1,0	0,10	1,0	0,10	0,5	0,05
Regelbarkeit	10%	0,8	0,08	0,4	0,04	0,4	0,04	0,8	0,08
Betriebssicherheit Prozessstabilität	10%	0,8	0,08	0,6	0,06	0,6	0,06	0,6	0,06
Planungssicherheit / Referenzen	10%	0,8	0,08	0,6	0,06	0,6	0,06	0,8	0,08
CO <sub>2</sub> Bilanz	5%	0,6	0,03	0,2	0,01	0,4	0,02	0,8	0,04
Erweiterbarkeit	5%	0,4	0,02	0,7	0,04	0,5	0,03	0,9	0,05
<b>Summe</b>	100%		<b>0,63</b>		<b>0,68</b>		<b>0,79</b>		<b>0,69</b>
<b>Ranking</b>			<b>4</b>		<b>3</b>		<b>1</b>		<b>2</b>

Im Ergebnis der Nutzwert-Analyse ist erkennbar, dass die Variante 3 mit einem Nutzwert von 0,79 als Vorzugsvarianten hervortreten.

## **6.3 ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNG**

### **6.3.1 Zusammenfassung**

Die derzeit diskutierten Verfahren zur Elimination von Mikroschadstoffen im Ablauf der von Kläranlagen befinden sich an der Schwelle zwischen Versuchsanlagen in halbtechnischen Maßstab und Pilotanlagen im großtechnischen Maßstab.

Sowohl die Verwendung von Ozon als auch eine Adsorption an Aktivkohle ist auf kommunalen Kläranlagen noch nicht weit verbreitet. Insgesamt ist jedoch in den letzten Jahren eine stärkere Umsetzung von Behandlungsanlagen auf der Basis von Aktivkohleadsorption zu beobachten.

Innovationsprogramme konzentrieren sich verstärkt auf die Förderung von Investitionen zur Installation weitergehender Reinigungsstufen. Es ist zu erwarten, dass hierbei vorrangig Kläranlagen der folgenden Kategorie betrachtet werden:

- Kläranlagen größer 10.000 EW
- Kläranlagen mit Einleitung oberhalb TW-Gewinnungsanlagen
- Kläranlagen mit leistungsschwachen Vorflutern

Derzeit bestehen jedoch noch keine klar definierten Reinigungsziele bzw. eine Eingrenzung von Leitparameter, welche Voraussetzung für eine konkrete Auswahl eines Verfahrens zur weitergehenden Spurenstoffelimination sind.

Hier ist auf Parameter zu verweisen welche in Bezug auf die Varianten Ausschlusskriterien darstellen können.

Dies wird insbesondere bei der Ozonierung deutlich, welche eine technisch und wirtschaftlich interessante Option darstellt, jedoch trotz weitgehender Reinigungsleistung (Arzneimittel, Desinfektion) zur Elimination von einigen adsorbierbaren Stoffen (z.B. PFT) ungeeignet ist.

Daher ist im Rahmen der weiteren Planung zu definieren, welche Varianten grundsätzlich verfolgt werden soll und welche enthaltenen Kostenrisiken durch weitergehende Untersuchungen zu einer Kostensicherheit beitragen können.

Hierzu ist eine Vorgabe von Zielparametern von behördlicher Seite erforderlich. Vor einer Installation von großtechnischen Anlagen werden zunächst halbtechnische Versuche empfohlen.

### **6.3.2 Empfehlung**

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass für den Ausbau einer Kläranlage um eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination zurzeit noch keine gesetzlich vorgeschriebenen Ablaufgrenzwerte oder Eliminationsraten bestehen und der Ausbau auf freiwilliger Basis erfolgt.

Eine Verifizierung der gemessenen Konzentrationen kann durch ein mehrmonatiges Messprogramm erfolgen.

Bei einer Vorgabe von Zielparametern von behördlicher Seite aufgrund der Gewässersituation, könnte ein kurzfristiger Ausbau erforderlich werden.

Die Machbarkeit einer Mikroschadstoffelimination ist gegeben. Die durchgeführte Betrachtung zeigt, dass auf Grundlage der monetären und nicht monetären Bewertung die Varianten 2 (GAK) und 3 (Ozonierung) Vorteile aufzeigen und bei weiteren Planungen bevorzugt berücksichtigt werden sollten.

Aufgrund der selektiven Eliminationsleistung der Verfahren (Bsp. Ozonierung) ist es erforderlich, eine großtechnische Umsetzung auf Basis zuvor definierter Eliminationsziele (z.B. Röntgenkontraststoffe, Arzneimittel, o.ä.) zu planen.

Für weitere Planungsschritte wird seitens Dahlem Beratende Ingenieure an dieser Stelle empfohlen, die entwickelten Varianten in einer weiteren Bearbeitungsphase durch wissenschaftlich betreute Vorversuche vertieft zu betrachten.

Essen, im Juli 2017

**DAHLEM** Beratende Ingenieure  
GmbH & Co. Wasserwirtschaft KG

Bearbeitung:  
Jens Bökmann M.Sc.  
Dipl. Ing. A. Voigt

## 7 LITERATUR

- [1] „Mikroschadstoffentfernung machbar?“ Zusammenstellung wesentlicher Inhalte einer Machbarkeitsstudie für Anlagen zur Mikroschadstoffelimination, Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, 2015
- [1] Abschlussbericht MIKROFlock: Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2012
- [2] DVGW (1987): Beurteilung von Aktivkohle für die Wasseraufbereitung. a. d. R.: DVGW [Hrsg.]: Merkblätter des DVGW, DVGW-Merkblatt W 240 (Stand Dez. 1987).
- [3] Abschlussbericht ENVELOX: Energiebedarf von Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2011
- [4] Abschlussbericht: Untersuchungen zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen; Teil 1 & 2, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2003/2006
- [5] Metcalf & Eddy: Wastewater Engineering – Treatment and Reuse; Tchobanglous, G. Burton, F. Stensel, H. Metcalf & Eddy Inc., McGraw Hill, Boston, 2003
- [6] Abschlussbericht Mikropoll: Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Umwelt BAFU, September 2010
- [7] Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser: Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen, Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU Bern, 2012
- [8] DWA-Themen (T3/2015): „Möglichkeiten der Elimination von anthropogenen Spurenstoffen“, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2015
- [9] Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 "Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen"; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Mai 2000
- [10] Mertsch et al. (2013): Kosten der Elimination von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlage“, GWA, Band 232, Tagungsband zur 46. Essener Tagung, Hrsg. Pinnekamp, Aachen 2013
- [11] "Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen, 8. überarbeitete Auflage "; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Juli 2012
- [12] „Deutscher Bundestag (2012): Antwort der Bundesregierung auf Kleine Anfrage der Abgeordneten Dorothea Steiner et al. und der Fraktion BÜNDNIS90/ Die Grünen- Drucksache 17/10914, Berlin, - Anthropogene Spurenstoffe in der Umwelt

- [13] Vietoris (2013): „Vorkommen und Relevanz von Mikroverunreinigungen in Gewässern NRW's“, GWA, Band 232, Tagungsband zur 46. Essener Tagung, Hrsg. Pinnekamp, Aachen 2013
- [14] Abschlussbericht: „MIKROSCHADSTOFFE AUS KOMMUNALEM ABWASSER: Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotenziale für Nordrhein-Westfalen“, Abschlussbericht, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2012
- [16] UBA-Texte (85/2014): „Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer“, Umweltbundesamt, 2014
- [17] „Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination“, Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, 2015
- [18] Abschlussbericht: „CSB- und Spurenstoffadsorption am Aktivkohlefestbett“, Abschlussbericht, IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH, 2011
- [19] Zusammenstellung von Kläranlagenablaufwerten aus 205 Kläranlagen ohne 4. Reinigungsstufe in NRW, Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2015
- [20] Quellen der Orientierungswerte aus der Tabelle D-4: Bewertungsgrundlagen für den zweiten Monitoringzyklus der WRRL
- LAWA: Entwicklung von Umweltqualitätsnormen zum Schutz aquatischer Biota in Oberflächengewässern für flussgebietsspezifische Stoffe, 2004
  - LAWA: Entwicklung von Qualitätsnormen zum Schutz aquatischer Biota in Oberflächengewässern für flussgebietsspezifische Stoffe (II), 2007
  - LAWA: Entwicklung von Umweltqualitätsnormen für Schadstoffe des Anhangs VIII WRRL, 2010
  - EU Draft EQS: 13th Meeting of the working group E on chemical aspects Identification of new priority substances, 2011
  - Vorschläge OGewV: 24 Stoffdatenblätter zum Referentenentwurf Kabinettsbeschluss, 2011
- [21] Bewirtschaftungsplan 2016 – 2021 für die nordrhein-westfälischen Anteile von Rhein, Weser, Ems und Maas, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2015
- [22] Programm Reine Ruhr; Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2014
- [23] DAGOSTINO, L., GOODMAN, A., MARSHALL, K. (1991): Physiological responses induced in bacteria adhering to surfaces. Biofouling, Vol. 4, No. 1-3, pp. 113–119.
- [24] SCHOLZ, M., MARTIN, R. (1998): Control of bio-regenerated granular activated carbon by spreadsheet modelling. J. Chem. Technol. Biotechnol., Vol. 71, No. 3, pp. 253–261.

- [25] TAKEUCHI, Y., MOCHIDZUKI, K., MATSUNOBU, N., KOJIMA, R., MOTOHASHI, H., YOSHIMOTO, S. (1997): Removal of organic substances from water by ozone treatment followed by biological active carbon treatment. *Water Sci. Technol.*, Vol. 35, No. 7, pp. 171–178.
- [26] SIMPSON, D.R. (2008) Biofilm processes in biologically active carbon water purification. *Water Research* 42(12), 2839-2848.
- [27] REUNGOAT, J., MACOVA, M., ESCHER, B.I., CARSWELL, S., MUELLER, J.F., KELLER, J. (2010): Removal of micropollutants and reduction of biological activity in a full scale reclamation plant using ozonation and activated carbon filtration. *Water Res.* Vol. 44, No. 2, pp. 625-637.
- [28] REUNGOAT, J., ESCHER, B.I., MACOVA, M., KELLER, J. (2011): Biofiltration of wastewater treatment plant effluent: Effective removal of pharmaceuticals and personal care products and reduction of toxicity. *Water Res.*, Vol. 45, No. 9, pp. 2751-2762.

# **Anhang A : KOSTENANNAHME**

**Projekt 14096**  
**Studie Spurenstoffelimination**  
**KA Hövelhof**

**Variante 1: PAK Dosierung**

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Gründung</b>				
	Erdarbeiten	6.100	m <sup>3</sup>	30	183.000
	Ensorgung Schlamm	1.400	m <sup>3</sup>	100	140.000
	Pfahlgründung	192	m	500	96.000
	<b>Summe Gründung:</b>				<b>419.000</b>
<b>1.2</b>	<b>Rohrleitungen</b>				
	DN 400 NKB - Pumpwerk bis Kontaktbecken	19	m	350	6.650
	DN 400 Ablauf Kontaktbecken - Absetzbecken, aus PE	10	m	350	3.500
	DN 400 Ablauf Absetzbecken - Filter - Schönungsteich, aus Stahlbeton	17	m	350	5.950
	DN 250 Rücklaufschlammleitungen, aus PE	33	m	300	9.900
	DN 100 Überschusskohleleitung	105	m	200	21.000
	DN 500 Abwasserbypass	39	m	400	15.600
	<b>Summe Kanäle Rohrleitungen:</b>				<b>62.600</b>
<b>1.3</b>	<b>Pumpwerke</b>				
	Beschickungspumpwerk (spez. Kosten/m <sup>3</sup> umbauter Raum)	48	m <sup>3</sup>	300	14.400
	Rücklauf-Kohleschlamm-Schneckenpumpwerk (spez. Kosten/m <sup>3</sup> umbauter Raum)	48	m <sup>3</sup>	400	19.200
	Überschuss-Kohleschlamm-Pumpwerk	6	m <sup>3</sup>	400	2.400
	<b>Summe Pumpwerke:</b>				<b>36.000</b>
<b>1.4</b>	<b>Bauwerke - Tiefbau</b>				
	PAK Kontaktbecken (spez. Kosten/m <sup>3</sup> umbauter Raum)	100	m <sup>3</sup>	350	35.000
	Absetzbecken (spez. Kosten/m <sup>3</sup> umbauter Raum)	400	m <sup>3</sup>	350	140.000
	Rücklauf-Kohleschlamm-MID Bauwerk (spez. Kosten/m <sup>3</sup> umbauter Raum)	27	m <sup>3</sup>	350	9.450
	Anschlusschächte (spez. Kosten/m <sup>3</sup> umbauter Raum)	36	m <sup>3</sup>	200	7.200
	Kanalschächte	1	Stück	15.000	15.000
	<b>Summe Bauwerke Tiefbau:</b>				<b>206.650</b>
<b>1.5</b>	<b>Bauwerke - Hochbau</b>				
	DynaSand Filter	4	Stück	50.000	200.000
	NS + Betriebsaum PAK, FHM (spez. Kosten/m <sup>3</sup> umbauter Raum)	160	m <sup>3</sup>	400	64.000
	<b>Summe Bauwerke Hochbau:</b>				<b>264.000</b>
<b>1.6</b>	<b>Sonstiges</b>				
	Fundamente Silo etc.	1	psch	10.000	10.000
	Straßen, Wege	450	m <sup>2</sup>	90	40.500
	Grünflächen	1	psch	5.000	5.000
	Brauch-und Trinkwassernetz	1	psch	5.000	5.000
	Kabelschächte	5	Stück	6.500	32.500
	Kabeltrassen	1	psch	10.000	10.000
	Gitterroste, Geländer	1	psch	5.000	5.000
	<b>Summe Sonstiges:</b>				<b>108.000</b>
	<b>Zwischensumme Baukosten</b>				<b>1.096.250</b>
<b>1.7</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
	Baustelleneinrichtung 8 %	1	psch		87.700
	<b>Gesamtsumme 1 Baukosten:</b>				<b>1.183.950</b>

Projekt 14096  
 Studie Spurenstoffelimination  
 KA Hövelhof

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Rohrleitungen</b>				
	Dosierleitungen PAK	50	m	100	5.000
	Dosierleitungen Fällmittel	35	m	100	3.500
	<b>Summe Rohrleitungen:</b>				<b>8.500</b>
<b>2.2</b>	<b>Beckenausrüstung</b>				
	Rührwerk Kontaktbecken	1	psch	20.000	20.000
	Rührwerk Dosierung	1	psch	10.000	10.000
	Ausrüstung Absetzbecken	1	psch	25.000	25.000
	<b>Summe Beckenausrüstung:</b>				<b>55.000</b>
<b>2.3</b>	<b>Pumpen</b>				
	Beschickungspumpen	4	Stck	15.000	60.000
	RS-Schlamm-Schnecken	2	Stck	15.000	30.000
	ÜS-Schlamm-Pumpen	2	Stck	4.500	9.000
	Armaturen, Edelstahlrohrleitungen	1	psch	15.000	15.000
	<b>Summe Pumpen:</b>				<b>99.000</b>
<b>2.4</b>	<b>Räumer</b>				
	Räumer der Absetzbecken	1	Stck	75.000	75.000
	<b>Summe Räumer:</b>				<b>75.000</b>
<b>2.5</b>	<b>Chemikalienstation</b>				
	FHM- Lager und Dosierstation	1	Stck	22.900	22.900
	Dosierstation Fällmittel	1	Stck	115.000	115.000
	<b>Summe Chemikalienstation:</b>				<b>137.900</b>
<b>2.6</b>	<b>PAK-Silo</b>				
	PAK-Silo 5 m³ mit Dosiereinheiten inkl. Steuerung	1	Stck	220.000	220.000
	Druckluftvers., Treibwasser, Suspensionsleitung, Treibwasserleitung etc.	1	psch	35.000	35.000
	<b>Summe PAK-Silo:</b>				<b>255.000</b>
<b>2.7</b>	<b>Sonstige Maschinentechnik</b>				
	Absperrschieber	4	Stck	6.500	26.000
	Überfallwehre	6	Stck	10.000	60.000
	Dammtafel Zulauf, Notumlauf	1	Stck	4.000	4.000
	Durchflussmessungen (MID)	2	Stck	9.000	18.000
	<b>Summe Sonstige Maschinentechnik:</b>				<b>108.000</b>
<b>2.8</b>	<b>Sonstiges</b>				
	Inbetriebnahme, Doku, Probetrieb	1	psch	10.000	10.000
<b>2.9</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
	Baustelleneinrichtung	1	psch	5.000	5.000
	<b>Summe Baustelleneinrichtung:</b>				<b>5.000</b>
	<b>Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>753.400</b>
<b>3</b>	<b>EMSR-Technik Kosten</b>				
3.1	EMSR-Technik inkl. Messgeräte	1	psch		502.267
	<b>Gesamtsumme 3 EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>502.267</b>
<b>4</b>	<b>Baunebenkosten</b>				
4.1	Baunebenkosten	1	psch		428.581
	<b>Gesamtsumme 4 Baunebenkosten:</b>				<b>428.581</b>
	<b>Gesamtkosten</b>				
<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten</b>				<b>1.183.950</b>
<b>2</b>	<b>Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten</b>				<b>753.400</b>
<b>3</b>	<b>Gesamtsumme EMSR-Technik Kosten</b>				<b>502.267</b>
<b>4</b>	<b>Baunebenkosten</b>				<b>428.581</b>
	<b>Summe Investkosten netto</b>				<b>2.868.198</b>
	<b>+ 19 % MwSt.</b>				<b>544.958</b>
	<b>Summe Investkosten brutto</b>				<b>3.413.156</b>

**Variante 1: PAK Dosierung**

<b>Investitionskosten</b>			
Kosten Bau	€		1.183.950
Kosten Maschinenteknik	€		753.400
Kosten EMSR Technik	€		502.267
Kosten sonstige	€		428.581
Gesamtkosten (Stand 2013):	€		2.868.198
<b>Betriebswerte</b>			
Jährlich behandeltes Abwasser	m <sup>3</sup> /a		1.017.249
pollution load (BOD5)	1000 kg/a		
Einwohnerwerte	EW		17.000
Lastfaktor	-		1
<b>Wartung &amp; Instandhaltung</b>			
Bautechnik (0,5% von Invest)	€/a		5.920
M-Technik (1,5% von Invest)	€/a		11.301
E-Technik (1,0% von Invest)	€/a		5.023
<b>Verbrauchsstoffe</b>			
Fällmittel	t/a		33
	€/t		130
	€/a		4.301
Flockungshilfsmittel	t/a		0,20
	€/t		1.300
	€/a		264
Pulveraktivkohle	t/a		10
	€/t		1.550
	€/a		15.767
sonstiges	€/a		-
Verbrauchsstoffe, gesamt	€/a		20.332
<b>Energiebedarf</b>			
Zwischenpumpwerk	kW/a		24.361
Umwälzung	kW/a		8.760
Einmischung	kW/a		19.769
zus. Filterspülungen	kW/a		10.512
sonstige	kW/a		-
Gesamtenergiebedarf	kW/a		63.403
spez. Energiekosten	€/kW		0,24
Energiekosten	€/a		15.400
<b>Schlammensorgung</b>			
Pulveraktivkohle	t <sub>TR</sub> /a		28
Fällschlamm	t <sub>TR</sub> /a		28
AFS	t <sub>TR</sub> /a		24
Gesamtmenge	t <sub>TR</sub> /a		80
TR-Schlamm, entwässert	kg <sub>TR</sub> /m <sup>3</sup>		250
Gesamtmenge	m <sup>3</sup> /a		319
Entwässerungskosten	€/t <sub>TR</sub>		80,0
Entsorgungskosten	€/m <sup>3</sup>		82,5
Schlammensorgung, gesamt	€/a		32.693
<b>Personalkosten</b>			
Arbeitsaufwand	h/Monat		60
	h/(Person*a)		1.760
Anzahl Arbeitskräfte pro Jahr	Person/a		0,41
spez. Personalkosten	€/(Person*a)		50.000
Personalkosten	€/a		20.455
<b>Übersicht</b>			
Wartung & Instandhaltung	€/a		22.243
Verbrauchsstoffe	€/a		20.332
Energiebedarf	€/a		15.400
Schlammensorgung	€/a		32.693
Personalkosten	€/a		20.455
<b>Gesamtkosten</b>	€/a		<b>111.124</b>

**Projekt 14096**  
**Studie Spurenstoffelimination**  
**KA Hövelhof**  
**Dynamische Kostenvergleichsrechnung nach LAWA**

Projekt: KW Hövelhof  
 Variante: 1: PAK Dosierung

Basisjahr/ aktueller Zeitpunkt:	2016
Bezugszeitpunkt (Inbetriebnahme/ Nutzungsbeginn)	2018
Untersuchungszeitraum bis	2048
Betrachtungszeitraum	30 Jahre

Realzins  $i = 3,0000\%$  0,0300 p.a.  
 Preissteigerungsrate für Investitionskosten  $r_{IK} = 0,0000\%$  0,0000 p.a.  
 Preissteigerungsrate für Re- Investitionskosten  $r_{IKR} = 1,0000\%$  0,0100 p.a.

KGR (DIN 276)	Auflistung der einzelnen PROJEKTKOSTEN	Kosten	Rechnungsjahr	Nutzungsdauer nach LAWA	Preis-steigerungs-rate	Akkumulationsphase					Diskontinuierungsphase					Projektkosten-Barwert
						Jahre Preissteigerung	Jahre Akkumulation	Akkumulationsfaktor (Einzelkosten)	Dauer Kostenreihe	Akkumulationsfaktor (Kostenreihe) progr.	Jahre Preissteigerung	Jahre Diskontinuierung	Diskontinuierungsfaktor (Einzelkosten)	Dauer Kostenreihe	Diskontinuierungsfaktor (Kostenreihe) progr.	
	Investitionskosten (IK)				r	n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	AFAKE (i;n <sub>i</sub> )			n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	DFAKE (i;n <sub>i</sub> )			
	Bautechnik	1.183.950 €	2018	30	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			1.183.950,00 €
	Maschinentechnik	753.400 €	2018	15	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			753.400,00 €
	EMSR Technik	502.267 €	2018	10	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			502.266,67 €
	Baunebenkosten	428.581 €	2018	30	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			428.581,31 €
	<b>2.868.198 €</b>															<b>2.868.197,97 €</b>
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Investitionen																<b>2.868.197,97 €</b>
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510											Jahreskosten aus Investitionen					<b>146.333,34 €</b>

	Re- Investitionskosten (IKR)				r	n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	AFAKE (i;n <sub>i</sub> /r;n <sub>r</sub> )			n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	DFAKE (i;n <sub>i</sub> )			
	EMSR Technik	502.267 €	2028	10	1,0%	12	0	1,1268			12	10	0,7441			421.132,34 €
	Maschinentechnik	753.400 €	2033	15	1,0%	17	0	1,1843			17	15	0,6419			572.704,51 €
	EMSR Technik	502.267 €	2038	10	1,0%	22	0	1,2447			22	20	0,5537			346.146,61 €
	<b>1.757.933 €</b>															<b>1.339.983,46 €</b>
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re- Investitionen																<b>1.339.983,46 €</b>
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510											Jahreskosten aus Re- Investitionen					<b>68.364,96 €</b>

	Laufende Kosten (LK)		erst-malig	letz-malig	r	n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	AFAKE (i;n <sub>i</sub> /r;n <sub>r</sub> )	n <sub>R</sub>	AFAKR (i;n <sub>i</sub> )	n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	DFAKR (i;n <sub>i</sub> )	n <sub>R</sub>	DFAKRP (r;i;n <sub>R</sub> )	
	Wartung & Instandhaltung	22.243 €	2018	2048	0,0%	2	0	1,0000	1	1,0000	2	30	19,6004	30	1,0000	435.980,78 €
	Verbrauchsstoffe	20.332 €	2018	2048	5,0%	2	0	1,1025	1	1,0000	2	30	1,0000	30	40,9806	918.641,22 €
	Energiebedarf	15.400 €	2018	2048	5,0%	2	0	1,1025	1	1,0000	2	30	1,0000	30	40,9806	695.811,02 €
	Schlamm Entsorgung	32.693 €	2018	2048	5,0%	2	0	1,1025	1	1,0000	2	30	1,0000	30	40,9806	1.477.118,58 €
	Personalkosten	20.455 €	2018	2048	0,0%	2	0	1,0000	1	1,0000	2	30	19,6004	30	1,0000	400.918,12 €
	<b>111.124 €</b>															<b>3.928.469,72 €</b>
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re-Investitionen																<b>3.928.469,72 €</b>
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510											Jahreskosten aus laufenden Kosten					<b>200.427,62 €</b>

**Summe der Projektkosten- Barwerte aus:**  
 - Investitionen **2.868.197,97 €**  
 - Re- Investitionen **1.339.983,46 €**  
 - laufenden Kosten **3.928.469,72 €**  
**8.136.651,15 €**

**Summe der Jahreskosten aus:**  
 - Investitionen **146.333,3 €**  
 - Re- Investitionen **68.365,0 €**  
 - laufenden Kosten **200.427,6 €**  
**415.125,9 €**

Variante 2: GAK Filtration

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Gründung</b>				
	Erdarbeiten	2.400	m³	30	72.000
	Ensorgung Schlamm	600	m³	100	60.000
	Pfahlgründung	90	m	500	45.000
	<b>Summe Gründung:</b>				<b>177.000</b>
<b>1.2</b>	<b>Rohrleitungen</b>				
	DN 400 NKB - Pumpwerk bis Filter	30	m	350	10.500
	DN 400 Ablauf Filtration - Schönungsteich, aus Stahlbeton	12	m	350	4.200
	DN 500 Abwasserbypass	33	m	400	13.200
	<b>Summe Kanäle Rohrleitungen:</b>				<b>27.900</b>
<b>1.3</b>	<b>Pumpwerke</b>				
	Beschickungspumpwerk (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	24	m³	300	7.200
	<b>Summe Pumpwerke:</b>				<b>7.200</b>
<b>1.4</b>	<b>Bauwerke - Tiefbau</b>				
	Zulauf MID	1	Stück	15.000	15.000
	Anschlusschächte (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	36	m³	200	7.200
	Kanalschächte	1	Stück	15.000	15.000
	<b>Summe Becken und Schächte:</b>				<b>37.200</b>
<b>1.5</b>	<b>Bauwerke - Hochbau</b>				
	DynaSand Carbon Filter	6	Stück	55.000	330.000
	NS Raum, Spülpumpen und -gebläse (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	60	m³	400	24.000
	<b>Summe Gebäude:</b>				<b>330.000</b>
<b>1.6</b>	<b>Sonstiges</b>				
	Straßen, Wege	290	m²	90	26.100
	Grünflächen	1	psch	5.000	5.000
	Brauch-und Trinkwassernetz	1	psch	5.000	5.000
	Kabelschächte	5	Stück	6.500	32.500
	Kabeltrassen	1	psch	10.000	10.000
	Gitterroste, Geländer	1	psch	5.000	5.000
	<b>Summe Sonstiges:</b>				<b>83.600</b>
	<b>Zwischensumme Baukosten</b>				<b>655.700</b>
<b>1.7</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
	Baustelleneinrichtung 8 %	1	psch		78.684
	<b>Gesamtsumme 1 Baukosten:</b>				<b>734.384</b>
<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.2</b>	<b>Beckenausrüstung</b>				
<b>2,3</b>	<b>Sonstiges</b>				
	Spülluftgebläse	2	Stck	2.000	4.000
	Inbetriebnahme, Doku, Probetrieb	1	psch	15.000	15.000
<b>2.3</b>	<b>Pumpen</b>				
	Beschickungspumpen	2	Stck	15.000	30.000
	Spülwasserpumpen	6	Stck	5.000	30.000
	Armaturen, Edelstahlrohrleitungen	1	psch	15.000	15.000
<b>2,4</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
	Baustelleneinrichtung	1	psch	5.000	5.000
	<b>Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>99.000</b>
<b>3</b>	<b>EMSR-Technik Kosten</b>				
	EMSR-Technik inkl. Messgeräte	1	psch		66.000
	<b>Gesamtsumme 3 EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>66.000</b>
<b>4</b>	<b>Baunebenkosten</b>				
3,1	Baunebenkosten	1	psch		158.000
	<b>Gesamtsumme 4 Baunebenkosten:</b>				<b>158.000</b>
	<b>Gesamtkosten</b>				
<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten</b>				734.384
<b>2</b>	<b>Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten</b>				99.000
<b>3</b>	<b>Gesamtsumme EMSR-Technik Kosten</b>				66.000
<b>4</b>	<b>Baunebenkosten</b>				158.000
	<b>Summe Investkosten netto</b>				<b>1.057.384</b>
	+ 19 % MwSt.				200.903
	<b>Summe Investkosten brutto</b>				<b>1.258.287</b>

**Variante 2a: GAK Filtration Standzeit 6 Monate**

Investitionskosten			
Kosten Bau	€		734.384
Kosten Maschinentechnik	€		99.000
Kosten EMSR Technik	€		66.000
Kosten sonstige	€		158.000
Gesamtkosten (Stand 2016):	€		1.057.384
Betriebswerte			
Jährlich behandeltes Abwasser	m <sup>3</sup> /a		1.017.249
pollution load (BOD5)	1000 kg/a		
Einwohnerwerte	EW		17.000
Lastfaktor	-		1
Wartung & Instandhaltung			
Bautechnik (0,5% von Invest)	€/a		3.672
M-Technik (1,5% von Invest)	€/a		1.485
E-Technik (1,0% von Invest)	€/a		660
Verbrauchsstoffe bei Standzeit von 4 Monaten			
Fällmittel	t/a		-
	€/t		-
	€/a		-
Flockungshilfsmittel	t/a		-
	€/t		-
	€/a		-
Granulierte Aktivkohle	t/a		36
	€/t		1.100
	€/a		39.600
sonstiges	€/a		-
Verbrauchsstoffe, gesamt	€/a		39.600
Energiebedarf			
Zwischenpumpwerk	kW/a		27.507
Umwälzung	kW/a		-
Einmischung	kW/a		-
Filterspülungen	kW/a		10.512
sonstige	kW/a		-
Gesamtenergiebedarf	kW/a		38.019
spez. Energiekosten	€/kW		0,24
Energiekosten	€/a		9.235
Schlamm Entsorgung			
Granulierte Aktivkohle	t <sub>TR</sub> /a		36
Fällschlamm	t <sub>TR</sub> /a		-
AFS	t <sub>TR</sub> /a		-
Gesamtmenge	t <sub>TR</sub> /a		36
TR-Schlamm, entwässert	kg <sub>TR</sub> /m <sup>3</sup>		250
Gesamtmenge	t <sub>TR</sub> /a		36
Gesamtmenge	m <sup>3</sup> /a		144
Entwässerungskosten	€/t <sub>TR</sub>		80
Entsorgungskosten	€/t <sub>TR</sub>		-
Schlamm Entsorgung, gesamt	€/a		2.880
Personalkosten			
Arbeitsaufwand	h/Monat		80
	h/(Person*a)		1.760
Anzahl Arbeitskräfte pro Jahr	Person/a		0,55
spez. Personalkosten	€/(Person*a)		50.000
Personalkosten	€/a		27.273
Übersicht			
Wartung & Instandhaltung	€/a		5.817
Verbrauchsstoffe	€/a		39.600
Energiebedarf	€/a		9.235
Schlamm Entsorgung	€/a		2.880
Personalkosten	€/a		27.273
<b>Gesamtkosten</b>	<b>€/a</b>		<b>84.805</b>

**Variante 2b: GAK Filtration 12 Monate**

Investitionskosten			
Kosten Bau	€		734.384
Kosten Maschinentechnik	€		99.000
Kosten EMSR Technik	€		66.000
Kosten sonstige	€		158.000
Gesamtkosten (Stand 2016):	€		1.057.384
Betriebswerte			
Jährlich behandeltes Abwasser	m <sup>3</sup> /a		1.017.249
pollution load (BOD5)	1000 kg/a		
Einwohnerwerte	EW		17.000
Lastfaktor	-		1
Wartung & Instandhaltung			
Bautechnik (0,5% von Invest)	€/a		3.672
M-Technik (1,5% von Invest)	€/a		1.485
E-Technik (1,0% von Invest)	€/a		660
Verbrauchsstoffe bei Standzeit von 12 Monaten			
Fällmittel	t/a		-
	€/t		-
	€/a		-
Flockungshilfsmittel	t/a		-
	€/t		-
	€/a		-
Granulierte Aktivkohle	t/a		18
	€/t		1.100
	€/a		19.800
sonstiges	€/a		-
Verbrauchsstoffe, gesamt	€/a		19.800
Energiebedarf			
Zwischenpumpwerk	kW/a		27.507
Umwälzung	kW/a		-
Einmischung	kW/a		-
Filterspülungen	kW/a		17.520
sonstige	kW/a		-
Gesamtenergiebedarf	kW/a		45.027
spez. Energiekosten	€/kW		0,24
Energiekosten	€/a		10.937
Schlamm Entsorgung			
Granulierte Aktivkohle	t <sub>TR</sub> /a		18
Fällschlamm	t <sub>TR</sub> /a		-
AFS	t <sub>TR</sub> /a		-
Gesamtmenge	t <sub>TR</sub> /a		18
TR-Schlamm, entwässert	kg <sub>TR</sub> /m <sup>3</sup>		250
Gesamtmenge	t <sub>TR</sub> /a		18
Gesamtmenge	m <sup>3</sup> /a		72
Entwässerungskosten	€/t <sub>TR</sub>		80
Entsorgungskosten	€/t <sub>TR</sub>		-
Schlamm Entsorgung, gesamt	€/a		1.440
Personalkosten			
Arbeitsaufwand	h/Monat		80
	h/(Person*a)		1.760
Anzahl Arbeitskräfte pro Jahr	Person/a		0,55
spez. Personalkosten	€/(Person*a)		50.000
Personalkosten	€/a		27.273
Übersicht			
Wartung & Instandhaltung	€/a		5.817
Verbrauchsstoffe	€/a		19.800
Energiebedarf	€/a		10.937
Schlamm Entsorgung	€/a		1.440
Personalkosten	€/a		27.273
<b>Gesamtkosten</b>	<b>€/a</b>		<b>65.267</b>

**Projekt 14096**  
**Studie Spurenstoffelimination**  
**KA Hövelhof**  
**Dynamische Kostenvergleichsrechnung nach LAWA**

Projekt: KW Hövelhof  
 Variante: 2a: GAK Filtration

Basisjahr/ aktueller Zeitpunkt:	2016
Bezugszeitpunkt (Inbetriebnahme/ Nutzungsbeginn)	2018
Untersuchungszeitraum bis	2048
Betrachtungszeitraum	30 Jahre

Realzins  $i = 3,0000\%$  0,0300 p.a.  
 Preissteigerungsrate für Investitionskosten  $r_{IK} = 0,0000\%$  0,0000 p.a.  
 Preissteigerungsrate für Re- Investitionskosten  $r_{IKR} = 1,0000\%$  0,0100 p.a.

KGR (DIN 276)	Auflistung der einzelnen PROJEKTKOSTEN	Kosten	Rechnungsjahr	Nutzungsdauer nach LAWA	Preis-steigerungs-rate	Akkumulationsphase					Diskontinuierungsphase					Projektkosten-Barwert	
						Jahre Preissteigerung	Jahre Akkumulation	Akkumulationsfaktor (Einzelkosten)	Dauer Kostenreihe	Akkumulationsfaktor (Kostenreihe) progr.	Jahre Preissteigerung	Jahre Diskontinuierung	Diskontinuierungsfaktor (Einzelkosten)	Dauer Kostenreihe	Diskontinuierungsfaktor (Kostenreihe) progr.		
	<b>Investitionskosten (IK)</b>				$r$	$n_r$	$n_i$	<b>AFAKE (i;n<sub>i</sub>)</b>			$n_r$	$n_i$	<b>DFAKE (i;n<sub>i</sub>)</b>				
	Bautechnik	734.384,00 €	2018	30	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			734.384,00 €	
	Maschinentechnik	99.000,00 €	2018	15	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			99.000,00 €	
	EMSR Technik	66.000,00 €	2018	10	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			66.000,00 €	
	Baunebenkosten	157.999,89 €	2018	30	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			157.999,89 €	
	<b>1.057.383,89 €</b>															<b>1.057.383,89 €</b>	
									Summe der Projektkosten- Barwerte aus Investitionen							<b>1.057.383,89 €</b>	
									Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) =	0,0510						Jahreskosten aus Investitionen	<b>53.946,94 €</b>

	Re- Investitionskosten (IKR)				$r$	$n_r$	$n_i$	AFAKE (i;n <sub>i</sub> /r;n <sub>r</sub> )			$n_r$	$n_i$	DFAKE (i;n <sub>i</sub> )				
	EMSR Technik	66.000,00 €	2028	10	1,0%	12	0	1,1268			12	10	0,7441			55.338,60 €	
	Maschinentechnik	99.000,00 €	2033	15	1,0%	17	0	1,1843			17	15	0,6419			75.255,83 €	
	EMSR Technik	66.000,00 €	2038	10	1,0%	22	0	1,2447			22	20	0,5537			45.485,15 €	
	<b>231.000,00 €</b>															<b>176.079,59 €</b>	
									Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re- Investitionen							<b>176.079,59 €</b>	
									Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) =	0,0510						Jahreskosten aus Re- Investitionen	<b>8.983,45 €</b>

	Laufende Kosten (LK)		erst-malig	letz-malig	$r$	$n_r$	$n_i$	AFAKE (i;n <sub>i</sub> /r;n <sub>r</sub> )	$n_R$	AFAKR (i;n <sub>i</sub> )	$n_r$	$n_i$	DFAKR (i;n <sub>i</sub> )	$n_R$	DFAKRP (r;n <sub>r</sub> )		
	Wartung & Instandhaltung	5.816,92 €	2018	2048	0,0%	2	0	1,0000	1	1,0000	2	30	19,6004	30	1,0000	114.014,20 €	
	Verbrauchsstoffe	39.600,00 €	2018	2048	5,0%	2	0	1,1025	1	1,0000	2	30	1,0000	30	40,9806	1.789.172,42 €	
	Energiebedarf	9.234,88 €	2018	2048	5,0%	2	0	1,1025	1	1,0000	2	30	1,0000	30	40,9806	417.242,33 €	
	Schlamm Entsorgung	2.880,00 €	2018	2048	5,0%	2	0	1,1025	1	1,0000	2	30	1,0000	30	40,9806	130.121,63 €	
	Personalkosten	27.272,73 €	2018	2048	0,0%	2	0	1,0000	1	1,0000	2	30	19,6004	30	1,0000	534.557,49 €	
	<b>84.804,53 €</b>															<b>2.985.108,07 €</b>	
									Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re-Investitionen							<b>2.985.108,07 €</b>	
									Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) =	0,0510						Jahreskosten aus laufenden Kosten	<b>152.298,00 €</b>

Summe der Projektkosten- Barwerte aus:  
 - Investitionen **1.057.384 €**  
 - Re- Investitionen **176.080 €**  
 - laufenden Kosten **2.985.108 €**  
**4.218.572 €**

Summe der Jahreskosten aus:  
 - Investitionen **53.947 €**  
 - Re- Investitionen **8.983 €**  
 - laufenden Kosten **152.298 €**  
**215.228 €**

**Dynamische Kostenvergleichsrechnung nach LAWA**

Projekt: KW Hövelhof  
 Variante: 2b: GAK Filtration

Basisjahr/ aktueller Zeitpunkt:	2016
Bezugszeitpunkt (Inbetriebnahme/ Nutzungsbeginn)	2018
Untersuchungszeitraum bis	2048
Betrachtungszeitraum	30 Jahre

Realzins  $i = 3,0000\%$  0,0300 p.a.  
 Preissteigerungsrate für Investitionskosten  $r_{IK} = 0,0000\%$  0,0000 p.a.  
 Preissteigerungsrate für Re- Investitionskosten  $r_{IKR} = 1,0000\%$  0,0100 p.a.

KGR (DIN 276)	Auflistung der einzelnen PROJEKTKOSTEN	Kosten	Rechnungsjahr	Nutzungsdauer nach LAWA	Preis-steigerungs-rate	Akkumulationsphase					Diskontinuierungsphase					Projektkosten-Barwert
						Jahre Preissteigerung	Jahre Akkumulation	Akkumulationsfaktor (Einzelkosten)	Dauer Kostenreihe	Akkumulationsfaktor (Kostenreihe) progr.	Jahre Preissteigerung	Jahre Diskontinuierung	Diskontinuierungsfaktor (Einzelkosten)	Dauer Kostenreihe	Diskontinuierungsfaktor (Kostenreihe) progr.	
	Investitionskosten (IK)				r	n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	AFAKE (i;n <sub>i</sub> )			n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	DFAKE (i;n <sub>i</sub> )			
	Bautechnik	734.384,00 €	2018	30	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			734.384,00 €
	Maschinentechnik	99.000,00 €	2018	15	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			99.000,00 €
	EMSR Technik	66.000,00 €	2018	10	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			66.000,00 €
	Baunebenkosten	157.999,89 €	2018	30	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			157.999,89 €
	<b>1.057.383,89 €</b>															<b>1.057.383,89 €</b>
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Investitionen															<b>1.057.383,89 €</b>	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510															Jahreskosten aus Investitionen	<b>53.946,94 €</b>

	Re- Investitionskosten (IKR)				r	n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	AFAKE (i;n <sub>r</sub> ;n <sub>i</sub> )			n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	DFAKE (i;n <sub>i</sub> )			
	EMSR Technik	66.000,00 €	2028	10	1,0%	12	0	1,1268			12	10	0,7441			55.338,60 €
	Maschinentechnik	99.000,00 €	2033	15	1,0%	17	0	1,1843			17	15	0,6419			75.255,83 €
	EMSR Technik	66.000,00 €	2038	10	1,0%	22	0	1,2447			22	20	0,5537			45.485,15 €
	<b>231.000,00 €</b>															<b>176.079,59 €</b>
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re- Investitionen															<b>176.079,59 €</b>	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510															Jahreskosten aus Re- Investitionen	<b>8.983,45 €</b>

	Laufende Kosten (LK)		erst-malig	letz-malig	r	n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	AFAKE (i;n <sub>r</sub> ;n <sub>i</sub> )	n <sub>R</sub>	AFAKR (i;n <sub>i</sub> )	n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	DFAKR (i;n <sub>i</sub> )	n <sub>R</sub>	DFAKRP (r;i;n <sub>R</sub> )	
	Wartung & Instandhaltung	5.816,92 €	2018	2048	0,0%	2	0	1,0000	1	1,0000	2	30	19,6004	30	1,0000	114.014,20 €
	Verbrauchsstoffe	19.800,00 €	2018	2048	5,0%	2	0	1,1025	1	1,0000	2	30	1,0000	30	40,9806	894.586,21 €
	Energiebedarf	10.937,13 €	2018	2048	5,0%	2	0	1,1025	1	1,0000	2	30	1,0000	30	40,9806	494.151,59 €
	Schlamm Entsorgung	1.440,00 €	2018	2048	5,0%	2	0	1,1025	1	1,0000	2	30	1,0000	30	40,9806	65.060,82 €
	Personalkosten	27.272,73 €	2018	2048	0,0%	2	0	1,0000	1	1,0000	2	30	19,6004	30	1,0000	534.557,49 €
	<b>65.266,77 €</b>															<b>2.102.370,31 €</b>
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re-Investitionen															<b>2.102.370,31 €</b>	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510															Jahreskosten aus laufenden Kosten	<b>107.261,38 €</b>

Summe der Projektkosten- Barwerte aus:  
 - Investitionen **1.057.384 €**  
 - Re- Investitionen **176.080 €**  
 - laufenden Kosten **2.102.370 €**  
**3.335.834 €**

Summe der Jahreskosten aus:  
 - Investitionen **53.947 €**  
 - Re- Investitionen **8.983 €**  
 - laufenden Kosten **107.261 €**  
**170.192 €**

Variante 3: Ozonierung

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Gründung</b>				
	Erdarbeiten	3.100	m³	30	93.000
	Ensorgung Schlamm	560	m³	100	56.000
	Pfahlgründung	48	m	500	24.000
	<b>Summe Gründung:</b>				<b>173.000</b>
<b>1.2</b>	<b>Rohrleitungen</b>				
	DN 400 Zulauf, vorh. NKB - Ozongenerator	35	m	350	12.250
	DN 400 Ablauf Ozonreaktor - Schönungsteich	12	m	350	4.200
	DN 500 Abwasserbypass	33	m	400	13.200
	<b>Summe Kanäle Rohrleitungen:</b>				<b>29.650</b>
<b>1.3</b>	<b>Zwischenpumpwerk</b>				
	Beschickungspumpwerk (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	24	m³	300	7.200
	<b>Summe Pumpwerke:</b>				<b>7.200</b>
<b>1.4</b>	<b>Bauwerke - Tiefbau</b>				
	MID Schacht (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	1	Stück	15.000	15.000
	Ozon Kontaktbecken (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	72	m³	550	39.600
	Anschlusschächte (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	36	m³	200	7.200
	Kanalschächte	1	Stück	15.000	15.000
	<b>Summe Becken und Schächte:</b>				<b>22.200</b>
<b>1.5</b>	<b>Bauwerke - Hochbau</b>				
	NS Raum, Ozongeneratorraum (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	40	m³	400	16.000
	<b>Summe Gebäude:</b>				<b>16.000</b>
<b>1.6</b>	<b>Sonstiges</b>				
	Fundamente Silo, Kühler etc.	1	psch	20.000	20.000
	Straßen, Wege	165	m²	90	14.850
	Grünflächen	1	psch	10.000	10.000
	Brauch-und Trinkwassernetz	1	psch	15.000	15.000
	Kabelschächte	5	Stück	6.500	32.500
	Kabeltrassen	1	psch	10.000	10.000
	Gitterroste, Geländer	1	psch	15.000	15.000
	<b>Summe Sonstiges:</b>				<b>117.350</b>
	<b>Zwischensumme Baukosten</b>				<b>365.400</b>
<b>1.7</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
	Baustelleneinrichtung 8 %	1	psch		29.232
	<b>Gesamtsumme 1 Baukosten:</b>				<b>394.632</b>
<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Ozonerzeugungsanlage</b>				
	Einsatzgasaufbereitung				
	Ozongenerator (54kg/h)	2	Stck		
	Ozonkonzentrationsmessung	1	Stck		
	Kühlwassersystem	2	Stck		
	Restozonvernichter inkl. Messung	2	Stck		
	Ozoneintrag mit Injektor-Radialbegasersystem	2	Stck		
	Raumluftüberwachung	1	Stck		
	<b>Summe Ozonerzeugungsanlage:</b>				<b>350.000</b>
<b>2.2</b>	<b>Beschickungspumpwerk Beschickungspumpwerk</b>				
	Beschickungspumpen	2	Stck	15.000	30.000
	Armaturen, Edelstahlrohrleitungen	1	psch	15.000	15.000
	<b>Summe Beschickungspumpwerk:</b>				<b>45.000</b>
<b>2.3</b>	<b>Sonstiges</b>				
	Inbetriebnahme, Doku, Probetrieb	1	psch	10.000	10.000
<b>2.4</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
	Baustelleneinrichtung	1	psch	5.000	5.000
	<b>Summe Baustelleneinrichtung:</b>				<b>5.000</b>
	<b>Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>410.000</b>
<b>3</b>	<b>EMSR-Technik Kosten</b>				
3,1	EMSR-Technik inkl. Messgeräte	1	psch		273.333
	<b>Gesamtsumme 3 EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>273.333</b>
<b>4</b>	<b>Baunebenkosten</b>				
4.1	Baunebenkosten	1	psch		189.372
	<b>Gesamtsumme 4 Baunebenkosten:</b>				<b>189.372</b>
	<b>Gesamtkosten</b>				
<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten</b>				<b>394.632</b>
<b>2</b>	<b>Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten</b>				<b>410.000</b>
<b>3</b>	<b>Gesamtsumme EMSR-Technik Kosten</b>				<b>273.333</b>
<b>4</b>	<b>Baunebenkosten</b>				<b>189.372</b>
	<b>Summe Investkosten netto</b>				<b>1.267.338</b>
	+ 19 % MwSt.				240.794
	<b>Summe Investkosten brutto</b>				<b>1.508.132</b>

**Variante 3: Ozonierung**

<b>Investitionskosten</b>		
Kosten Bau	€	394.632
Kosten Maschinenteknik	€	410.000
Kosten EMSR Technik	€	273.333
Kosten sonstige	€	189.372
Gesamtkosten (Stand 2013):	€	1.267.338
<b>Betriebswerte</b>		
Jährlich behandeltes Abwasser	m <sup>3</sup> /a	1.017.249
pollution load (BOD5)	1000 kg/a	
Einwohnerwerte	EW	17.000
Lastfaktor	-	1
<b>Wartung &amp; Instandhaltung</b>		
Bautechnik (0,5% von Invest)	€/a	1.973
M-Technik (1,5% von Invest)	€/a	6.150
E-Technik (1,0% von Invest)	€/a	2.733
<b>Verbrauchsstoffe</b>		
Fällmittel	t/a	-
	€/t	-
	€/a	-
Flockungshilfsmittel	t/a	-
	€/t	-
	€/a	-
Sauerstoff	t/a	122
	€/t	140
	€/a	17.090
sonstiges	€/a	-
Verbrauchsstoffe, gesamt	€/a	17.090
<b>Energiebedarf</b>		
Zwischenpumpwerk	kW/a	9.542
Umwälzung	kW/a	-
Ozonerzeugung	kW/a	152.587
zus. Filterspülungen	kW/a	-
sonstige	kW/a	-
Gesamtenergiebedarf	kW/a	162.129
spez. Energiekosten	€/kW	0,24
Energiekosten	€/a	39.381
<b>Schlamm Entsorgung</b>		
Pulveraktivkohle	t <sub>TR</sub> /a	-
Fällschlamm	t <sub>TR</sub> /a	-
AFS	t <sub>TR</sub> /a	-
Gesamtmenge	t <sub>TR</sub> /a	-
Entwässerungskosten	€/t <sub>TR</sub>	-
Entsorgungskosten	€/t <sub>TR</sub>	-
Schlamm Entsorgung, gesamt	€/a	-
<b>Personalkosten</b>		
Arbeitsaufwand	h/Monat	80
	h/(Person*a)	1.760
Anzahl Arbeitskräfte pro Jahr	Person/a	0,55
spez. Personalkosten	€/(Person*a)	50.000
Personalkosten	€/a	27.273
<b>Übersicht</b>		
Wartung & Instandhaltung	€/a	10.856
Verbrauchsstoffe (Sauerstoff)	€/a	17.090
Energiebedarf	€/a	39.381
Schlamm Entsorgung	€/a	-
Personalkosten	€/a	27.273
<b>Gesamtkosten</b>	<b>€/a</b>	<b>94.600</b>

**Projekt 14096**  
**Studie Spurenstoffelimination**  
**KA Hövelhof**  
**Dynamische Kostenvergleichsrechnung nach LAWA**

Projekt: KW Hövelhof  
 Variante: 3: Ozonierung

Basisjahr/ aktueller Zeitpunkt:	2016
Bezugszeitpunkt (Inbetriebnahme/ Nutzungsbeginn)	2018
Untersuchungszeitraum bis	2048
Betrachtungszeitraum	30 Jahre

Realzins  $i = 3,0000\%$  0,0300 p.a.  
 Preissteigerungsrate für Investitionskosten  $r_{IK} = 0,0000\%$  0,0000 p.a.  
 Preissteigerungsrate für Re- Investitionskosten  $r_{IKR} = 1,0000\%$  0,0100 p.a.

KGR (DIN 276)	Auflistung der einzelnen PROJEKTKOSTEN	Kosten	Rechnungsjahr	Nutzungsdauer nach LAWA	Preis-steigerungs-rate	Akkumulationsphase					Diskontinuierungsphase					Projektkosten-Barwert
						Jahre Preissteigerung	Jahre Akkumulation	Akkumulationsfaktor (Einzelkosten)	Dauer Kostenreihe	Akkumulationsfaktor (Kostenreihe) progr.	Jahre Preissteigerung	Jahre Diskontinuierung	Diskontinuierungsfaktor (Einzelkosten)	Dauer Kostenreihe	Diskontinuierungsfaktor (Kostenreihe) progr.	
	Investitionskosten (IK)				r	n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	AFAKE (i;n <sub>i</sub> )			n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	DFAKE (i;n <sub>i</sub> )			
	Bautechnik	394.632 €	2018	30	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			394.632,00 €
	Maschinentchnik	410.000 €	2018	15	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			410.000,00 €
	EMSR Technik	273.333 €	2018	10	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			273.333,33 €
	Baunebenkosten	189.372 €	2018	30	0,0%	2	0	1,0000			2	0	1,0000			189.372,29 €
	<b>1.267.338 €</b>															<b>1.267.337,62 €</b>
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Investitionen																<b>1.267.337,62 €</b>
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510											Jahreskosten aus Investitionen					<b>64.658,63 €</b>

	Re- Investitionskosten (IKR)				r	n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	AFAKE (i;n <sub>i</sub> /r;n <sub>r</sub> )			n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	DFAKE (i;n <sub>i</sub> )			
	EMSR Technik	273.333 €	2028	10	1,0%	12	0	1,1268			12	10	0,7441			229.180,06 €
	Maschinentchnik	410.000 €	2033	15	1,0%	17	0	1,1843			17	15	0,6419			311.665,58 €
	EMSR Technik	273.333 €	2038	10	1,0%	22	0	1,2447			22	20	0,5537			188.372,86 €
	<b>956.667 €</b>															<b>729.218,50 €</b>
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re- Investitionen																<b>729.218,50 €</b>
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510											Jahreskosten aus Re- Investitionen					<b>37.204,19 €</b>

	Laufende Kosten (LK)		erst-malig	letz-malig	r	n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	AFAKE (i;n <sub>i</sub> /r;n <sub>r</sub> )	n <sub>R</sub>	AFAKR (i;n <sub>i</sub> )	n <sub>r</sub>	n <sub>i</sub>	DFAKR (i;n <sub>i</sub> )	n <sub>R</sub>	DFAKRP (r;i;n <sub>R</sub> )	
	Wartung & Instandhaltung	10.856 €	2018	2048	0,0%	2	0	1,0000	1	1,0000	2	30	19,6004	30	1,0000	212.792,06 €
	Verbrauchsstoffe (Sauerstoff)	17.090 €	2018	2048	5,0%	2	0	1,1025	1	1,0000	2	30	1,0000	30	40,9806	772.135,72 €
	Energiebedarf	39.381 €	2018	2048	5,0%	2	0	1,1025	1	1,0000	2	30	1,0000	30	40,9806	1.779.287,20 €
	Schlamm Entsorgung	- €	2018	2048	5,0%	2	0	1,1025	1	1,0000	2	30	1,0000	30	40,9806	- €
	Personalkosten	27.273 €	2018	2048	0,0%	2	0	1,0000	1	1,0000	2	30	19,6004	30	1,0000	534.557,49 €
	<b>94.600 €</b>															<b>3.298.772,46 €</b>
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re-Investitionen																<b>3.298.772,46 €</b>
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510											Jahreskosten aus laufenden Kosten					<b>168.300,93 €</b>

**Summe der Projektkosten- Barwerte aus:**  
 - Investitionen **1.267.337,62 €**  
 - Re- Investitionen **729.218,50 €**  
 - laufenden Kosten **3.298.772,46 €**  
**5.295.328,59 €**

**Summe der Jahreskosten aus:**  
 - Investitionen **64.659 €**  
 - Re- Investitionen **37.204 €**  
 - laufenden Kosten **168.301 €**  
**270.163,74 €**

**Anhang B :**  
**KLÄRTECHNISCHE BERECHNUNGEN**

# Projekt 14096

## Studie Spurenstoffelimination

### KA Hövelhof

#### 1. PAK mit Kontakt- und Absetzbecken

##### Bemessungsparameter

Einwohnerwerte		17.000	EW
Jahreswassermenge		1.017.249	m <sup>3</sup> /a
Trockenwetter, mittlerer Abfluss	$Q_{T,aM} =$	2.931	m <sup>3</sup> /d
Trockenwetter, Spitzenabfluss	$Q_{T,h,max} =$	170	m <sup>3</sup> /h
Mischwasserabfluss	$Q_m =$	425	m <sup>3</sup> /h
Anteil $Q_{max}$ zur PAK Anlage		47%	%
Teilstrom $Q_{max}$ zur PAK Anlage	$Q_{PAK,max} =$	200	m <sup>3</sup> /h
Anteil Jahreswassermenge		97%	%
Teilstrom Jahreswassermenge		116	m <sup>3</sup> /h
Teilströme zusätzlich			
Anteil Filterspülung an Zulauf			%
Spülwassermenge	$Q_{spül} =$	12	m <sup>3</sup> /h
Maximaler Zulauf PAK-anlage	$Q_{max} =$	212	m <sup>3</sup> /h
	gerundet	200	m <sup>3</sup> /h

##### Kontaktbecken

Aufenthaltszeit	$t_{VK} =$	30	min
verf. Volumen des Beckens	$V_{VK} =$	100	m <sup>3</sup>
gewählte Tiefe	$h =$	4	m
erf. Oberfläche	$A_{KB} =$	25	m <sup>2</sup>
Anzahl Becken	$n_{KB} =$	1	-
ewählte Länge	$L_{KB} =$	10	m
gewählte Breite:	$b_{KB} =$	3	m
Anzahl Rührwerke	$n =$	1	-
Energieeintrag spezifisch	$E_{spez} =$	10	W/m <sup>3</sup>
Energieeintrag gesamt	$E_{ges} =$	1	kW/h
Energiebedarf pro Rührwerk	$P_{RW} =$	1,0	kW

##### Absetzbecken

erf. Aufenthaltszeit	$t_{AB} =$	2	h
erf. Volumen	$V_{erf} =$	400	m <sup>3</sup>
Oberflächenbeschickung	$qA =$	2	m/h
erf. Oberfläche	$A_{erf} =$	100	m <sup>2</sup>

Beckentyp		rund	
gewählte Anzahl	$n =$	1	-
gewählte Tiefe	$h =$	4	m
gewählter Durchmesser Mittelbauwerk:	$D_M =$	4,0	m
gewählter Gesamtdurchmesser:	$D_{AB} =$	12,0	m
Oberfläche gesamt:	$A_{ges, vorh} =$	101	m <sup>2</sup>
Volumen gesamt:	$V_{ges, vorh} =$	402	m <sup>3</sup>
Oberfläche je Absetzbecken:	$A_{becken} =$	101	m <sup>2</sup>

Beckentyp		eckig	
gewählte Anzahl	$n =$	1	-
gewählte Tiefe	$h =$	4	m
ewählte Länge	$L_{KB} =$	18	m
gewählte Breite:	$b_{KB} =$	6	m
Oberfläche gesamt:	$A_{ges, vorh} =$	108	m <sup>2</sup>
Volumen gesamt:	$V_{ges, vorh} =$	432	m <sup>3</sup>
Oberfläche je Absetzbecken:	$A_{becken} =$	108	m <sup>2</sup>
Konzentration AFS Ablauf	$C_{AFS} =$	5	mg/l

##### Rücklaufkohle

Rücklaufverhältnis	$RV_{PAK} =$	70%	%
Rücklaufmenge		140	m <sup>3</sup> /h

**Projekt 14096**  
**Studie Spurenstoffelimination**

**KA Hövelhof**  
**Dosierung PAK**

Dosierrate	$Dos_{min,PAK} =$	5	mg/l
	$Dos_{max,PAK} =$	20	mg/l
	$Dos_{mittel,PAK} =$	10	mg/l
Dichte Lösung	roh	0,5%	Gew.%
maximale Dosiermenge	$B_{PAK,max} = Q_{max} * Dos_{max}$	4	kg/h
		96	kg/d
Suspension	$Q_{PAK,max} =$	19	m <sup>3</sup> /d
		0,8	m <sup>3</sup> /h
mittlere Dosiermenge	$B_{PAK,mittel} = Q_{mittel} * Dos_{mittel}$	28	kg/d
Suspension	$Q_{PAK,mittel} =$	6	m <sup>3</sup> /d
		0,2	m <sup>3</sup> /h
Schüttdichte	rSch=	425	kg/m <sup>3</sup>
mittleres Volumen	$V_{PAK} =$	0,066	m <sup>3</sup> /d
Anzahl Silo	$n_{Silo} =$	1	-
Volumen Silo	$V_{silo} =$	5	m <sup>3</sup>
mittlere Vorhaltezeit	$t_{PAK} =$	76	d

**Dosierung Flockungshilfsmittel**

Dosierrate	$Dos_{min,FHM} =$	0,2	mg/l
	$Dos_{max,FHM} =$	0,3	mg/l
	$Dos_{mittel,FHM} =$	0,2	mg/l
Dichte Lösung	roh	0,5%	Gew.%
maximale Dosiermenge	$B_{FHM,max} = Q_{max} * Dos_{max}$	0,1	kg/h
		1	kg/d
mittlere Dosiermenge	$B_{FHM,mittel} = Q_{mittel} * Dos_{mittel}$	0,0	kg/h
		1	kg/d

**Dosierung Fällmittel**

Dosierrate	$Dos_{min,Fe} =$	2,0	mg <sub>Fe</sub> /l
	$Dos_{max,Fe} =$	8,0	mg <sub>Fe</sub> /l
	$Dos_{mittel,Fe} =$	4,0	mg <sub>Fe</sub> /l
Dichte Lösung	roh	0,5%	Gew.%
maximale Dosiermenge	$B_{Fe,max} = Q_{max} * Dos_{max}$	1,6	kg <sub>Fe</sub> /h
		38	kg <sub>Fe</sub> /d
mittlere Dosiermenge	$B_{Fe,mittel} = Q_{mittel} * Dos_{mittel}$	0,5	kg <sub>Fe</sub> /h
		11	kg <sub>Fe</sub> /d
		4.069	kg <sub>Fe</sub> /a
mittlere Fällmittelmenge		123	kg <sub>Fe</sub> /t <sub>FM</sub>
		33	t <sub>FM</sub> /a

**Schlammfall**

spez. Schlammfall aus Fällung		2,5	g/gFe
Schlammfall aus Fällung	$ÜS_{Fäll,max} =$	96	kg/d
	$ÜS_{Fäll,mittel} =$	28	kg/d
maximale Schlammmenge	$B_{PAK,max} =$	96	kg/d
	$B_{Fäll,max} =$	96	kg/d
	$B_{AFS,max} =$	24	kg/d
	$B_{Ges,max} =$	216	kg/d
ÜS-Konzentration	TS=	35	kg/m <sup>3</sup>
Überschussschlammmenge, max	$ÜS_{max} =$	6	m <sup>3</sup> /d
mittlere Schlammmenge	$B_{PAK,mittel} =$	28	kg/d
	$B_{Fäll,mittel} =$	28	kg/d
	$B_{AFS,mittel} =$	24	kg/d
	$B_{Ges,mittel} =$	80	kg/d
ÜS-Konzentration	TS=	43	kg/m <sup>3</sup>
Überschussschlammmenge, mittel	$ÜS_{mittel} =$	2	m <sup>3</sup> /d

**Bemessungsparameter**

Bemessungsabfluss	$Q, WWF =$	$m^3/h$	200
Jahreswassermenge		$m^3/a$	1.017.249
Trockenwetter, mittlerer Abfluss	$Q_{T,aM} =$	$m^3/d$	2.787
Oberflächenbeschickung	$qA =$	$m/h$	10

**Dimensionierung**

erf. Oberfläche	$A_{FT} =$	$Q, DWF / qA =$	$m^2$	20
-----------------	------------	-----------------	-------	----

**Dimensionierung**

Anzahl Filter				6
Oberfläche pro Filter	$A_{tank} =$	$m^2$		5,00
gesamte Oberfläche		$m^2$		30,00
Höhe Filterbett	$h_{filter} =$	$m$		1,50
	$h_{total} =$	$m$		5,60
Kohlemenge pro Filter		$m^3$		10,00
Höhe Filter	$h_{total} =$	$m$		5,95
Hydraulische Verluste		$m$		1,50
Waschwasser pro Filter		$m^3/h/ filter$		3,00
Waschwasser gesamt		$m^3/h$		18,00
Luftstrom für Mammuth-Pumpe				
Energiebedarf pro Tank	$Q_{air} =$	$l/min/filter$		140,00
Gesamter Luftstrom		$kW$		0,30
Gesamtenergiebedarf		$m^3/h$		252,00
		$kW$		1,80
Betriebsstunden pro Tag		$h/d$		16,00
		$kW/a$		10512

**Nachweis Kontaktzeit**

Gesamtzahl Adsorbervolumen	$V_{ges} =$	$m^3$		60
Gesamtzahl Adsorbervolumenv (n-1)	$V_{ges} =$	$m^3$		50
Kontaktzeit	$t_{Kontakt} =$	$min$		30
Nachweis Kontaktzeit bei $Q_{max}$ (n - 1):	$t_{Kontakt} =$	$min$		15
Nachweis Kontaktzeit bei $Q_{mittel}$ (n - 1):	$t_{Kontakt} =$	$min$		26
Filtergeschwindigkeit, mittel	$v_{mittel}$	$m/h$		4

**Ermittlung Filterlaufzeit/ Standzeit**

1.) Berechnung über Bettvolumina

Bettvolumina gewählt:	$BV =$	$m^3 \text{ Wasser}/m^3 \text{ GA}$		7.900
Standzeit bei $Q_{zu}$ , mittel	$tF =$	<b>d</b>		170
		Monate		5,6

2.) Berechnung über Zulaufkonzentration und maximale Beladung

max. Beladung:	$q_{max} =$	$gCSB/kgGAK$		275
Dichte:	$\rho =$	$kg/m^3$		300
mittlere Zulaufkonzentration	$C_{CSB: co} =$	$mg/l$		36,0
mittlerer Wirkungsgrad:	$\eta =$			0,30
mittlere Ablaufkonzentration	$C_{CSB: cab} =$	$mg/l$		25,2
mittlere CSB-Fracht eliminiert	$B_{CSB: co} =$	$kg/d$		30
mittlere Verbrauch GAK		$kg/d$		109
Gesamtmasse GAK		$kg$		18.000
		<b>d</b>		164,5
		Monate		5,4

Mittlere Standzeit (über 1.), 2.), 3.):		Monate		5,5
Mittlere Standzeit gewählt		Monate		6,0
Mittlerer Jahresverbrauch GAK:		$m^3/a$		120
		$t/a$		36

**Bemessungsparameter**

Bemessungsabfluss	$Q, WWF =$	$m^3/h$	200
Jahreswassermenge		$m^3/a$	1.017.249
Trockenwetter, mittlerer Abfluss	$Q_{T, aM} =$	$m^3/d$	2.787
Oberflächenbeschickung	$qA =$	$m/h$	10

**Dimensionierung**

erf. Oberfläche	$A_{FT} =$	$Q, DWF / qA =$	$m^2$	20
-----------------	------------	-----------------	-------	----

**Dimensionierung**

Anzahl Filter				6
Oberfläche pro Filter	$A_{tank} =$	$m^2$		5,00
gesamte Oberfläche		$m^2$		30,00
Höhe Filterbett	$h_{filter} =$	$m$		1,50
	$h_{total} =$	$m$		5,60
Kohlemenge pro Filter		$m^3$		10,00
Höhe Filter	$h_{total} =$	$m$		5,95
Hydraulische Verluste		$m$		1,50
Waschwasser pro Filter		$m^3/h/ filter$		3,00
Waschwasser gesamt		$m^3/h$		18,00
Luftstrom für Mammuth-Pumpe				
Energiebedarf pro Tank	$Q_{air} =$	$l/min/filter$		140,00
Gesamter Luftstrom		$kW$		0,30
Gesamtenergiebedarf		$m^3/h$		252,00
		$kW$		1,80
Betriebsstunden pro Tag		$h/d$		16,00
		$kW/a$		10512

**Nachweis Kontaktzeit**

Gesamtzahl Adsorbervolumen	$V_{ges} =$	$m^3$		60
Gesamtzahl Adsorbervolumenv (n-1)	$V_{ges} =$	$m^3$		50
Kontaktzeit	$t_{Kontakt} =$	$min$		10
Nachweis Kontaktzeit bei $Q_{max}$ (n - 1):	$t_{Kontakt} =$	$min$		15
Nachweis Kontaktzeit bei $Q_{mittel}$ (n - 1):	$t_{Kontakt} =$	$min$		26
Filtergeschwindigkeit, mittel	$v_{mittel}$	$m/h$		4

**Ermittlung Filterlaufzeit/ Standzeit**

1.) Berechnung über Bettvolumina

Bettvolumina gewählt:	$BV =$	$m^3 \text{ Wasser}/m^3 \text{ GA}$		15.900
Standzeit bei $Q_{zu}$ , mittel	$tF =$	<b>d</b>		<b>342</b>
		<b>Monate</b>		<b>11,3</b>

2.) Berechnung über Zulaufkonzentration und maximale Beladung

max. Beladung:	$q_{max} =$	$gCSB/kgGAK$		550
Dichte:	$\rho =$	$kg/m^3$		300
mittlere Zulaufkonzentration	$C_{CSB: co} =$	$mg/l$		36,0
mittlerer Wirkungsgrad:	$\eta =$			0,30
mittlere Ablaufkonzentration	$C_{CSB: cab} =$	$mg/l$		25,2
mittlere CSB-Fracht eliminiert	$B_{CSB: co} =$	$kg/d$		30
mittlere Verbrauch GAK		$kg/d$		55
Gesamtmasse GAK		$kg$		18.000
		<b>d</b>		<b>328,9</b>
		<b>Monate</b>		<b>10,9</b>

Mittlere Standzeit (über 1.), 2.), 3.):		$Monate$		11,1
Mittlere Standzeit gewählt		$Monate$		<b>12,0</b>
Mittlerer Jahresverbrauch GAK:		$m^3/a$		60
		$t/a$		18

# Projekt 14096

## Studie Spurenstoffelimination

### KA Hövelhof

#### 3. Ozonierung mit Kontaktbecken

##### Bemessungsparameter

Einwohnerwerte		17.000	EW
Jahreswassermenge		1.017.249	m <sup>3</sup> /a
Trockenwetter, mittlerer Abfluss	$Q_{T,aM} =$	2.779	m <sup>3</sup> /d
Trockenwetter, Spitzenabfluss	$Q_{T,h,max} =$	170	m <sup>3</sup> /h
Mischwasserabfluss	$Q_m =$	425	m <sup>3</sup> /h
Anteil $Q_{max}$ zur Ozonierung		47%	%
Teilstrom $Q_{max}$ zur Ozonierung	$Q_{PAK,max} =$	200	m <sup>3</sup> /h
Anteil Jahreswassermenge		95%	%
Teilstrom $Q_{mittel}$ Jahreswassermenge		116	m <sup>3</sup> /h
Teilströme zusätzlich			
Anteil Filterspülung an Zulauf		0%	%
Spülwassermenge	$Q_{spül} =$	-	m <sup>3</sup> /h
Maximaler Zulauf Anlage	$Q_{max} =$	200	m <sup>3</sup> /h
	gerundet	200	m <sup>3</sup> /h
<b>Ozonreaktor</b>			
Aufenthaltszeit Ozonreaktor	$t_{OR} =$	15	min
Aufenthaltszeit Ausgasung	$t_{Gas} =$	5	min
erf. Volumen Ozonreaktor	$V_{OR} =$	50	m <sup>3</sup>
gewählte Tiefe	$h =$	6	m
erf. Oberfläche, ges	$A_{OR} =$	8	m <sup>2</sup>
Anzahl Becken	$n_{OR} =$	1	-
gewählte Länge, je Becken	$L_{OR} =$	4,5	m
gewählte Breite, je Becken	$b_{OR} =$	2,0	m
gewählte Oberfläche, ges	$A_{OR,gew} =$	9	m <sup>2</sup>
gewähltes Volumen, ges	$V_{OR,gew} =$	54	m <sup>3</sup>
erf. Volumen Bereich Ausgasung	$V_{Gas} =$	17	m <sup>3</sup>
gewählte Tiefe	$h =$	6	m
erf. Oberfläche, ges	$A_{Gas} =$	3	m <sup>2</sup>
Anzahl Becken	$n_{Gas} =$	1	-
gewählte Länge, je Becken	$L_{Gas} =$	1,5	m
gewählte Breite, je Becken	$b_{Gas} =$	2,0	m
gewählte Oberfläche, ges	$A_{Gas} =$	3	m <sup>2</sup>
gewähltes Volumen, ges	$V_{Gas,gew} =$	18	m <sup>3</sup>
Gesamtvolumen	$V_{ges} =$	72	m <sup>3</sup>

## Projekt 14096

### Studie Spurenstoffelimination

#### KA Hövelhof Ozondosierung

mittlere Konzentration DOC	c0=		20,0	mg/l
spez. Dosierrate, max			1,0	gO <sub>3</sub> /gDOC
maximale Dosiermenge	Q <sub>O<sub>3</sub>,max</sub>		4,0	kg/h
		entspricht	96	kgO <sub>3</sub> /d
		entspricht	20,0	mgO <sub>3</sub> /l
spez. Dosierrate, mittel			0,6	gO <sub>3</sub> /gDOC
mittlere Dosiermenge	Q <sub>O<sub>3</sub>,mittel</sub>		1,4	kg/h
		entspricht	33	kgO <sub>3</sub> /d
		entspricht	12,0	mgO <sub>3</sub> /l
			12.207	kgO <sub>3</sub> /a
<b><u>Ozonerzeugung</u></b>				
Anzahl Generatoren	n=		1	-
Leistung Generator			4	kgO <sub>3</sub> /h
spez Sauerstoffbedarf			10	kgO <sub>2</sub> /kgO <sub>3</sub>
maximale Menge O <sub>2</sub>	Q <sub>O<sub>3</sub>,max</sub>		40	kgO <sub>2</sub> /h
			960	kgO <sub>2</sub> /d
mittlere Menge O <sub>2</sub>	Q <sub>O<sub>3</sub>,mittel</sub>		14	kgO <sub>2</sub> /h
			334	kgO <sub>2</sub> /d
			122.070	kgO <sub>2</sub> /a

**Anhang C :**  
**PRÜFBERICHTE ANALYTIK**

Leopoldshöhe, 06.07.2016 JB

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Gemeinde Hövelhof

**Entnahmestelle:** Kläranlage Hövelhof

**Probenahmestelle:** (1) Ablauf Teich (PN)

**Entnahme:** mehrtägige Mischprobe: 11.05.2016 00:00 Uhr - 14.05.2016 00:00 Uhr Laboreingang: 18.05.2016

Analysennummer:		61957 194476	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
abfiltrierbare Stoffe	mg/l	< 10	DIN EN 872 (H 33)
CSB (homogenisiert)	mg/l	41	DIN 38409-41-1 (H 41-1)
TOC	mg/l	20	DIN EN 1484 (H 3)
BSB 5 (homogenisiert)	mg/l	3,4	DIN EN 1899-1 (H 51)
DOC	mg/l	20	DIN EN 1484 (H 3)
Ammonium - N	mg/l	0,96	DIN EN ISO 11732 (E 23)
Nitrit - N	mg/l	0,42	DIN EN 26777 (D 10)
Nitrat - N	mg/l	1,3	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Summe anorganischer Stickstoff	mg/l	2,68	Berechnung
organischer Stickstoff (N)	mg/l	2,5	Berechnung nach DEV H12
Gesamt-Stickstoff (N)	mg/l	5,2	Berechnung nach DEV H12
Ges.-Phosphat (P)	mg/l	1,16	DIN EN ISO 6878 (D 11):..
Bromid (Br)	mg/l	0,07	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
AOX	mg/l	0,03	EN ISO 9562 / DIN EN IS..

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

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Brauer

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

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 20.07.2016 RN

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Gemeinde Hövelhof

**Entnahmestelle:** Kläranlage Hövelhof

**Probenahmestelle:** (1) Ablauf Teich (PN)

(2) Ablauf Teich (PN)

**Entnahme:** mehrtägige Mischprobe: 11.05.2016 00:00 Uhr - 14.05.2016 00:00 Uhr Laboreingang: 18.05.2016

mehrtägige Mischprobe: 08.06.2016 00:00 Uhr - 11.06.2016 00:00 Uhr Laboreingang: 13.06.2016

Analysennummer:		61958 194478	61958 194479	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
EDTA	µg/l	45	35	EN ISO 16588
NTA	µg/l	1,6	8,3	EN ISO 16588
DTPA	µg/l	10	5	EN ISO 16588
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluoroctylsulfonsäure (PFOS)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluorbutylsulfonsäure (PFBS)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluordecansäure (PFDA)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluoronansäure (PFNA)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluoroctansäure (PFOA)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluorhexylsulfonsäure (PFHxS)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluorpentansäure (PFPA)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
PFBA (Perfluorbutansäure)	µg/l	< 0,1	< 0,025	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Sulfolan	µg/l	< 0,05	< 0,05	GC-MSD
Octylphenol (4-tert. Octylphenol)	µg/l	< 0,015	0,0	DIN EN ISO 18857-2 (F 32)
Nonylphenol (4-n-NP + NP Isome)	µg/l	0,4	0,5	DIN EN ISO 18857-2 (F 32)
TMDD	µg/l	1,0	0,7	Derivatisierung, GC-MSD
Acesulfam	µg/l	4,0	6,5	Hausmethode LC/MS
Sucralose	µg/l	1,1	1,5	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bezafibrat	µg/l	0,700	0,680	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Clofibrinsäure	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Gemfibrozil	µg/l	< 0,05	0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Diclofenac	µg/l	3,00	3,70	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Fenoprofen	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Indometacin	µg/l	< 0,05	0,054	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>

bitte wenden

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

Analysennummer:		61958 194478	61958 194479	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
Ibuprofen	µg/l	0,390	0,760	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Ketoprofen	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Naproxen	µg/l	0,360	0,670	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Phenazon	µg/l	0,410	1,20	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Carbamazepin	µg/l	1,90	1,70	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Atenolol	µg/l	0,150	0,093	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Betaxolol	µg/l	< 0,05	0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Bisoprolol	µg/l	1,50	1,50	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Metoprolol	µg/l	4,00	3,60	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Sotalol	µg/l	0,440	0,420	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Chloramphenicol	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Clarithromycin	µg/l	0,290	0,490	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Erythromycin	µg/l	n.b.	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Dehydrato-erythromycin	µg/l	0,600	0,360	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Roxithromycin	µg/l	0,290	0,150	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Sulfadiazin	µg/l	< 0,2	< 0,2	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Sulfadimidin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Sulfamethoxazol	µg/l	0,420	0,950	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Chlortetracyclin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Trimethoprim	µg/l	0,067	0,420	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Doxicyclin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Diazepam	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Propranolol	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Oxazepam	µg/l	0,100	0,1900	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Oxytetracyclin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Tetracyclin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Phenacetin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Propyphenazon	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Etofibrat	µg/l	< 0,05	< 0,05	Hausmethode (LC-MS-MS)
Etofibrat	µg/l	< 0,05	< 0,05	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizoesäure	µg/l	0,150	1,80	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Pentoxifyllin	µg/l	< 0,05	< 0,05	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Iopamidol	µg/l	3,70	0,520	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Iohexol	µg/l	4,70	0,760	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Iopromid	µg/l	< 0,05	0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Iothalaminsäure	µg/l	< 0,1	0,069	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Glyphosat	µg/l	1,20	0,810	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Diuron	µg/l	< 0,05	0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Isoproturon	µg/l	< 0,05	0,072	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Terbutryn	µg/l	0,071	0,077	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Benzotriazol	µg/l	9,80	9,90	Hausmethode (LC-MS-MS)
4-Methyl-1-H-benzotriazol	µg/l	1,30	2,00	Hausmethode (LC-MS-MS)

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

Analysennummer:		61958 194478	61958 194479	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
5-Methyl-1-H-benzotriazol	µg/l	0,750	0,860	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bisphenol A	µg/l	< 0,05	0,310	DIN EN 12673-F15
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 1	< 10	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estriol	ng/l	< 5	n.a.	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	ng/l	< 5	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
17-beta-Estradiol	ng/l	< 1	< 10	Fl.-Extr., GC-MSD É
Mestranol	ng/l	< 50	n.a.	Fl.-Extr., GC-MSD É
b-Sitosterol	ng/l	1000	n.a.	Fl.-Extr., GC-MSD É
16 a-Hydroxyestron	ng/l	< 50	n.a.	Fl.-Extr., GC-MSD É

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

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

n.b. = nicht bestimmbar.

Erythromycin wandelt sich bei Durchführung der Analyse in Dehydratoerythromycin um. Bei Positivbefunden wird das Ergebnis daher als Summe Dehydratoerythromycin/Erythromycin angegeben.

n.a. = nicht angegeben. Lt. Aussage des Laborleiters waren die Messungen wegen Störungen nicht auswertbar.

OWL Umweltanalytik  
Dr. Noll

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

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 20.07.2016 RN

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Gemeinde Hövelhof

**Entnahmestelle:** Kläranlage Hövelhof

**Probenahmestelle:** (1) Ems oberhalb  
 (2) Ems unterhalb

**Entnahme:** 12.05.2016 (1) Stichprobe: 08:40 Uhr (2) Stichprobe: 09:00 Uhr Laboreingang: 12.05.2016

**Witterung:** (1) Während der Probe kein Niederschlag, davor kein Niederschlag, Lufttemperatur: 20 °C  
 (2) Während der Probe kein Niederschlag, davor kein Niederschlag, Lufttemperatur: 20 °C

Analysennummer:		61959 194480	61960 194481	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
DTPA	µg/l	< 1	< 1	EN ISO 16588
Ethylendiamintetraacetat	µg/l	9,8	9,9	EN ISO 16588
NTA	µg/l	< 0,5	1,1	EN ISO 16588
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluoroctylsulfonsäure (PFOS)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluorbutylsulfonsäure (PFBS)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluordecansäure (PFDA)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluoronansäure (PFNA)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluoroctansäure (PFOA)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluorhexylsulfonsäure (PFHxS)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Perfluorpentansäure (PFPA)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
PFBA (Perfluorbutansäure)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Sulfolan	µg/l	< 0,05	< 0,05	GC-MSD
Octylphenol (4-tert. Octylphenol)	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN EN ISO 18857-2 (F 32)
Nonylphenol (4-n-NP + NP Isome)	µg/l	< 0,1	< 0,1	DIN EN ISO 18857-2 (F 32)
TMDD	µg/l	< 0,05	< 0,5	Derivatisierung, GC-MSD
Acesulfam	µg/l	< 0,05	1,7	Hausmethode LC/MS
Sucralose	µg/l	< 0,05	0,58	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bezafibrat	µg/l	< 0,05	0,063	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Clofibrinsäure	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Gemfibrozil	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Diclofenac	µg/l	< 0,05	0,360	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Fenoprofen	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Indometacin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>

bitte wenden

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

Analysennummer:		61959 194480	61960 194481	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
Ibuprofen	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Ketoprofen	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Naproxen	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Phenazon	µg/l	< 0,05	0,067	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Carbamazepin	µg/l	< 0,05	0,270	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Atenolol	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Betaxolol	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Bisoprolol	µg/l	< 0,05	0,200	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Metoprolol	µg/l	< 0,05	0,460	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Sotalol	µg/l	< 0,05	0,057	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Chloramphenicol	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Clarithromycin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Erythromycin	µg/l	n.b.	n.b.	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Dehydratoerythromycin	µg/l	< 0,05	0,059	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Roxithromycin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Sulfadiazin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Sulfadimidin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Sulfamethoxazol	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Chlortetracyclin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Trimethoprim	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Doxicyclin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Diazepam	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Propanolol	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Oxazepam	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Oxytetracyclin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Tetracyclin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Phenacetin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Propyphenazon	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Etofibrat	µg/l	< 0,05	< 0,05	Hausmethode (LC-MS-MS)
Etofibrat	µg/l	< 0,05	< 0,05	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizoesäure	µg/l	< 0,05	0,180	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Pentoxifyllin	µg/l	< 0,05	< 0,05	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Iopamidol	µg/l	< 0,05	0,280	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Iohexol	µg/l	< 0,05	0,180	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Iopromid	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Iothalaminsäure	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Glyphosat	µg/l	< 0,05	0,10	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Diuron	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Isoproturon	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Terbutryn	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Benzotriazol	µg/l	0,05	1,20	Hausmethode (LC-MS-MS)
4-Methyl-1-H-benzotriazol	µg/l	0,05	0,150	Hausmethode (LC-MS-MS)

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

Analysenummer:		61959 194480	61960 194481	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
5-Methyl-1-H-benzotriazol	µg/l	0,05	0,09	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bisphenol A	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN 12673-F15
17-beta-Estradiol	ng/l	< 1	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	ng/l	< 5	< 5	Hausmethode (LC-MS-MS)
Estriol	ng/l	< 5	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 1	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
Mestranol	ng/l	< 50	< 50	Fl.-Extr., GC-MSD É
b-Sitosterol	ng/l	710	840	Fl.-Extr., GC-MSD É
16 a-Hydroxyestron	ng/l	< 50	< 50	Fl.-Extr., GC-MSD É

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

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

n.b. = nicht bestimmbar.

Erythromycin wandelt sich bei Durchführung der Analyse in Dehydratoerythromycin um. Bei Positivbefunden wird das Ergebnis daher als Summe Dehydratoerythromycin/Erythromycin angegeben.

OWL Umweltanalytik  
Dr. Noll

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

**Anhang D :  
ZEICHNUNGEN**

GEMARKUNG HÖVELHOF

Flur 6

7

GEMARKUNG HÖVELHOF

Flur 49

Legende Kläranlage:

- 1 ZULAUFPUMPERK
- 2 RECHENGEBAUDE
- 3 SAND- u. FETTFANG
- 4 VENTURINNE (ZULAUF)
- 5 VORKLARBECKEN, D = 15,0m
- 6 BELEBUNGSBECKEN, D = 24,0m
- 7 NACHKLARBECKEN, D = 22,0m
- 8 ANAEROBISCHES BECKEN (ERWEITERUNG)
- 9 RÜCKLAUF- / ÜBERSCHUSSSCHLÄMMPUMPERK
- 10 GEBLÄSE- (EG) u. DOSIERSTATION (KG)
- 11 VORENDICKER
- 12 FÄKALANNAHMESTATION
- 13 FAULTURM
- 14 NACHENDICKER
- 15 SCHLÄMMTASSIERUNG
- 16 O<sub>2</sub>-MINIMATOREN
- 17 P-MESSTATION
- 18 GASBEHÄLTER
- 19 ZWISCHENPUMPERK
- 20 VENTURINNE (ABLAUF)
- 21 BETRIEBSGEBÄUDE (EG)
- 22 BETRIEBSGEBÄUDE (KG)

Zeichenerklärung:

- Abwasserleitung
- Entwässerungsleitung
- Schlammleitung
- Schlamm-Druckrohrleitung
- Wasserleitung
- Luftleitung
- Elektrische Rohrleitung
- Heizleitung
- Tiefbohr
- Rosenbohr
- Beton-Verbundsteingeländer
- Beton-Rechteckpflaster

**DAHLEM**

Dahlem  
 Beratende Ingenieure  
 GmbH & Co.  
 WasserstraÙe 14  
 45136 Essen  
 Fon: +49 (0) 201 8987-0  
 Fax: +49 (0) 201 8987-123  
 www.dahlem-ingenieur.de

Aufgestellt: Essen, im Dezember 2016

Gezeichnet	Bearbeitet	Geprüft
L. Reithel	J. Bökmann	A. Voigt

Datensatz:  
 H:\Projekt\14096\Zeichnungen\01\_Lage\Studie\ACAD\14096\_01V01\_Var-1.dwg

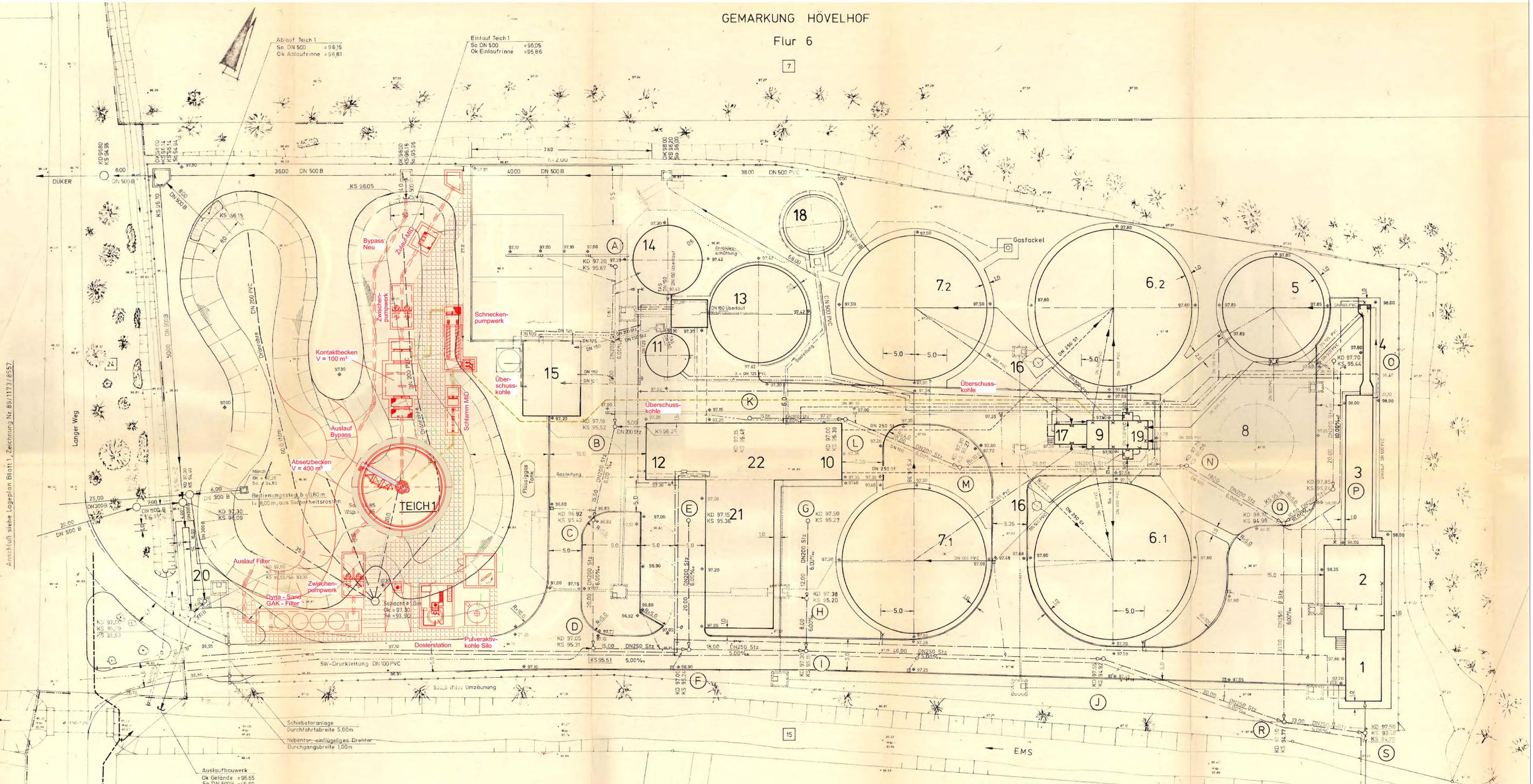
Die Empfänger dieser Zeichnung ist verpflichtet, diese vertraulich zu behandeln. Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlagen, Verwertung und Mithaltung ihres Inhalts - auch auszugsweise - ist nicht gestattet, soweit nicht schriftlich zugestanden. Die hier gezeigten Anordnungen und Systeme sind unser geistiges Eigentum und stehen unter Urheberrecht. Alle Rechte vorbehalten.

**Hövelhof** Gemeindevverwaltung Hövelhof  
 Schloßstraße 14  
 33161 Hövelhof

Projekt: **Studie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hövelhof**

Inhalt: **Lageplan  
 Spurenstoffelimination  
 Variante 1, Pulveraktivkohledosierung**

Planungsphase	Zeichnungs-Nr.	Index	Maßstab
Studie	14015 / 01 V 01		~ 1 : 250



Anschluß siehe Lageplan Blatt 1, Zeichnung Nr. 89/1173/6557

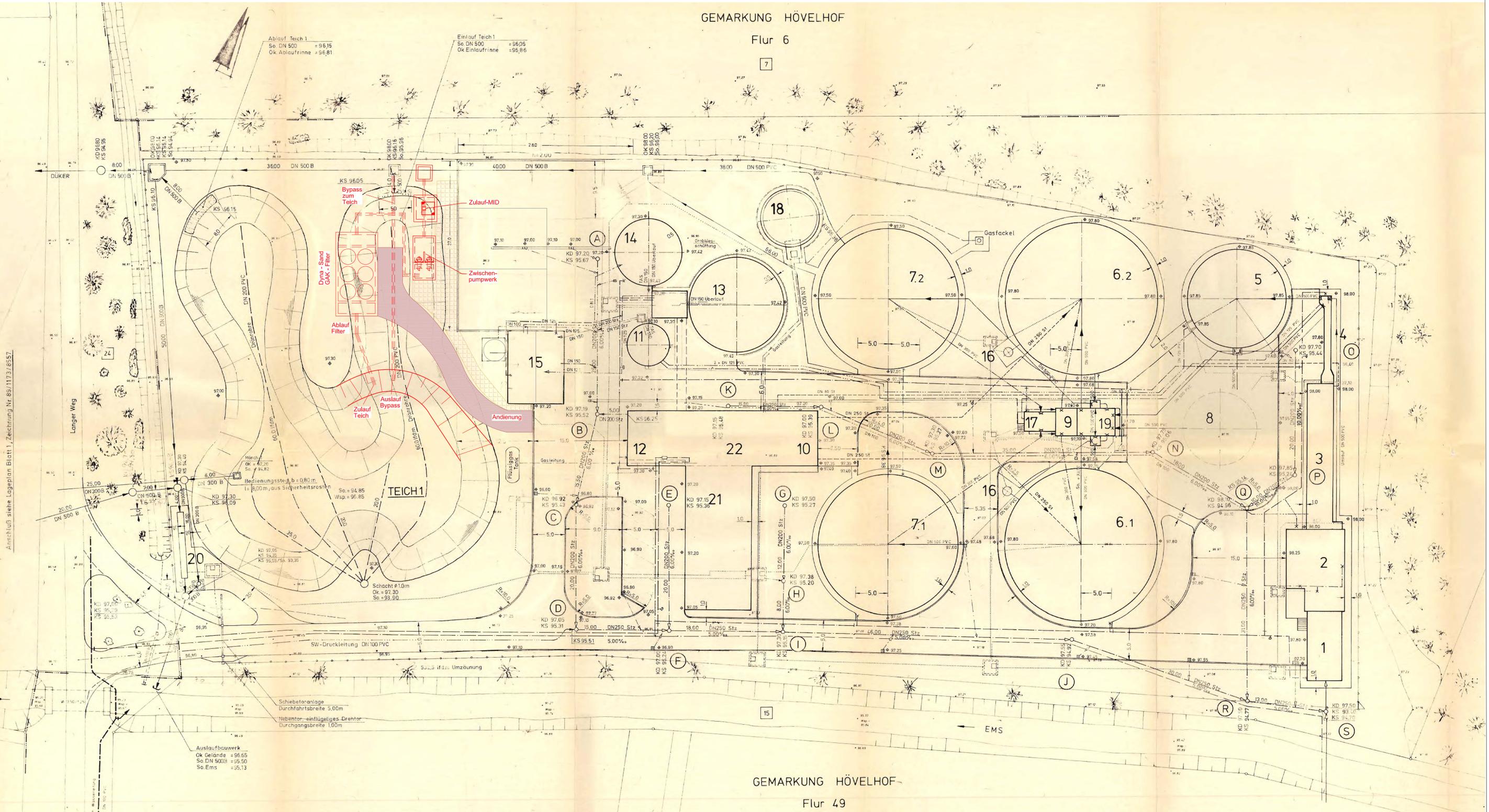
Ablauf Teich 1  
 So DN 500 = 96,15  
 Ok Ablaufrinne = 96,81

Einlauf Teich 1  
 So DN 500 = 96,05  
 Ok Einlaufrinne = 95,96

Auslaufpumperk  
 Ok Gelände = 96,65  
 So DN 500 = 95,50  
 So Ems = 95,13

Schiebetoranlage  
 Durchfahrtsbreite 5,00m  
 Nebentor: einflügeliges Drehtor  
 Durchgangsbreite 1,00m

EMS



**Legende Kläranlage:**

- 1 ZULAUFPUMPWERK
- 2 RECHENGEBAUDE
- 3 SAND- u. FETTFANG
- 4 VENTURINNE (ZULAUF)
- 5 VORKLARBECKEN, D = 15,0m
- 6 BELEBUNGSBECKEN, D = 24,0m
- 7 NACHKLARBECKEN, D = 27,0m
- 8 ANAEROBBECKEN (ERWEITERUNG)
- 9 RÜCKLAUF- / ÜBERSCHUSSSCHLÄMMPUMPWERK
- 10 GEBLÄSE- / EG U. DOSIERSTATION (KG)
- 11 VORENDICKER
- 12 FAKALANNAHMESTAION
- 13 FAULTURM
- 14 NACHENDICKER
- 15 SCHLÄMMTENTWASSERUNG
- 16 O<sub>2</sub>-MINIMATOREN
- 17 P-MESSTATION
- 18 GASBEHÄLTER
- 19 ZWISCHENPUMPWERK
- 20 VENTURINNE (ABLAUF)
- 21 BETRIEBSGEBAUDE (EG)
- 22 BETRIEBSGEBAUDE (KG)

**Zeichenerklärung:**

- Abwasserleitung
- Entwässerungsleitung
- Schlammleitung
- Schlamm-Druckrohrleitung
- Wasserleitung
- Luftleitung
- Elektrikabel / Leerrohr
- Hochbord
- Tiefbord
- Rosenbord
- Beton-Verbundsteingeländer
- Beton-Rechteckpflaster

**DAHLEM**

Dahlem  
Bauingenieur  
GmbH & Co.  
WasserstraÙe 14  
45136 Essen  
Tel: +49 (0) 201 8927-0  
Fax: +49 (0) 201 8927-123  
www.dahlem-ingenieur.de

Aufgestellt: Essen, im Dezember 2016

Gezeichnet L. Reithel	Bearbeitet J. Bökmann	Geprüft A. Voigt
--------------------------	--------------------------	---------------------

Datensatz  
H:\Projekt\14096\Zeichnungen\01\_Lage\Studie\ACAD\14096\_01\02\_Var-2.dwg

Die Empfänger dieser Zeichnung ist verpflichtet, diese vertraulich zu behandeln. Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlagen, Vervielfältigung und Mithaltung ihres Inhalts - auch auszugsweise - ist nicht gestattet, soweit nicht schriftlich zugestanden. Die hier gezeigten Anordnungen und Systeme sind unser geistiges Eigentum und stehen unter Urheberrecht. Alle Rechte vorbehalten.

**Hövelhof** Gemeindevverwaltung Hövelhof  
Schloßstraße 14  
33161 Hövelhof

Projekt  
**Studie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hövelhof**

Inhalt  
**Lageplan  
Spurenstoffelimination  
Variante 2, Dyna - Sand GAK - Filter**

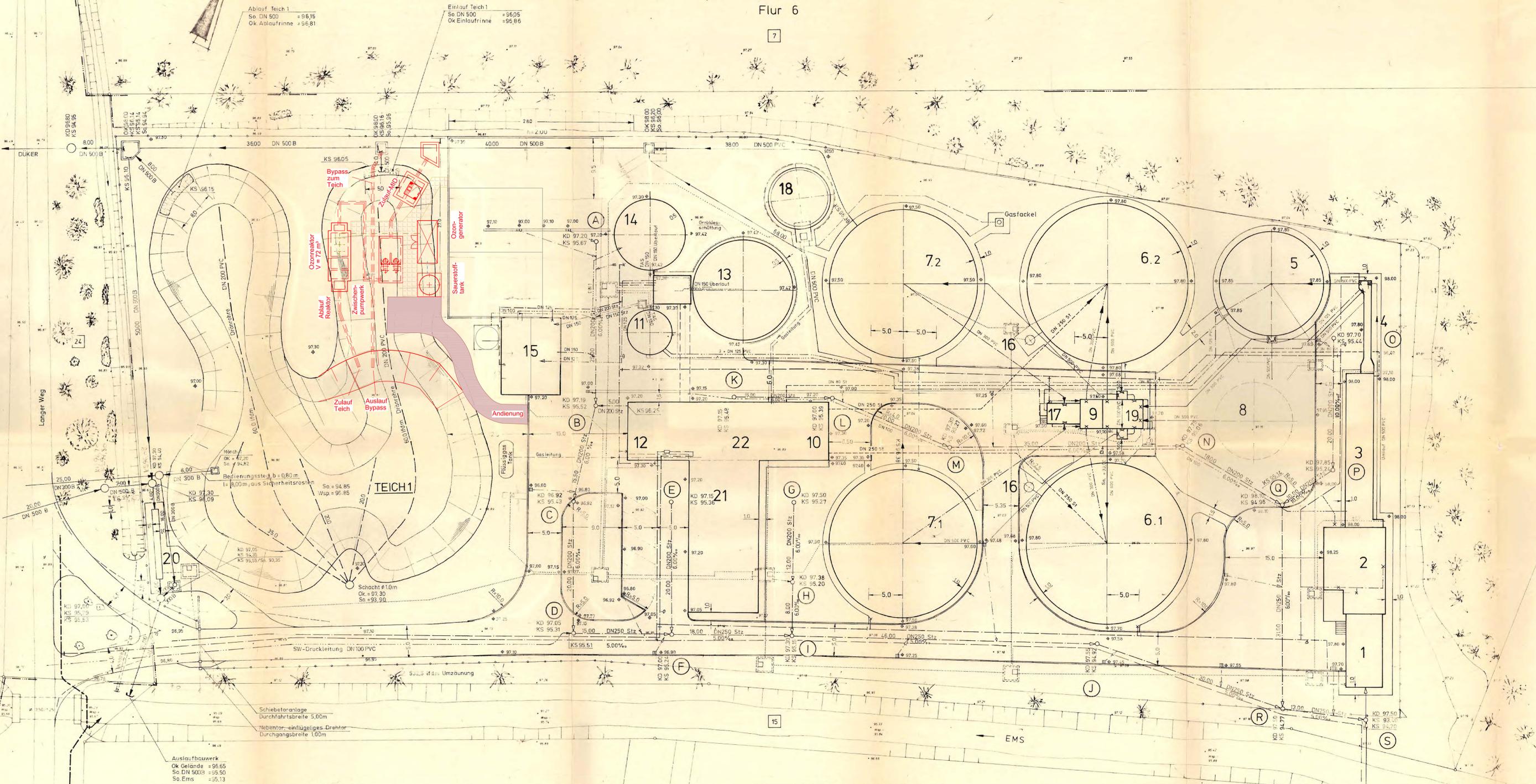
Planungsphase Studie	Zeichnungs-Nr. 14015 / 01 V 02	Index	Maßstab ~ 1:250
-------------------------	-----------------------------------	-------	--------------------

Anschluß siehe Lageplan Blatt 1, Zeichnung Nr. 89/1173/8557

GEMARKUNG HÖVELHOF

Flur 6

7



Legende Kläranlage:

- 1 ZULAUFPUMPWERK
- 2 RECHENGEBAUDE
- 3 SAND- U FETTFANG
- 4 VENTURIRINNE ( ZULAUF )
- 5 VORKLARBECKEN, D = 15,0m
- 6 BELEBUNGSBECKEN, D = 24,0m
- 7 NACHKLARBECKEN, D = 22,0m
- 8 ANAEROBEBECKEN (ERWEITERUNG)
- 9 RÜCKLAUF- / ÜBERSCHUSSSCHLÄMMPUMPWERK
- 10 GEBLÄSE-(EG)U. DOSIERSTATION (KG)
- 11 VOREINDICKER
- 12 FAKALANNAHMESTATION
- 13 FAULTURM
- 14 NACHEINDICKER
- 15 SCHLÄMMTANKE
- 16 O<sub>2</sub>-MINIMATOREN
- 17 P-MESSTATION
- 18 GASBEHALTER
- 19 ZWISCHENPUMPWERK
- 20 VENTURIRINNE ( ABLAUF )
- 21 BETRIEBSGEBÄUDE (EG)
- 22 BETRIEBSGEBÄUDE (KG)

Zeichenerklärung:

- Abwasserleitung
- Entwässerungsleitung
- Schlämmlinie
- Schlämmschamm-Druckrohrleitung
- Wasserleitung
- Luftleitung
- Elektrokabel (Leerrohr)
- Hochbord
- Tiefbord
- Rasenbord
- Beton-Verbundsteinpflaster
- Beton-Rechteckpflaster

Anschluß siehe Lageplan Blatt 1, Zeichnung Nr. 89/1173/8557

**DAHLEM**

Dahlem  
Brennerei-Ingenteure  
GmbH & Co.  
WasserstraÙe 14  
45136 Essen  
Tel: +49 (0) 201 887-0  
Fax: +49 (0) 201 887-123  
www.dahlem-ingenieur.de



Aufgestellt: Essen, im Dezember 2016

Gezeichnet L. Reithel	Bearbeitet J. Bökmann	Geprüft A. Voigt
--------------------------	--------------------------	---------------------

Datensatz  
H:\Projekt\14096\Zeichnungen\01\_Lage\Studie\ACAD\14096\_01V03\_Var-3.dwg

Der Empfänger dieser Zeichnung ist verpflichtet, diese vertraulich zu behandeln. Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlagen, Verwertung und Mithilfe ihres Inhalts - auch auszugsweise - ist nicht gestattet, soweit nicht schriftlich zugestanden. Die hier gezeigten Anordnungen und Systeme sind unser geistiges Eigentum und stehen unter Urheberrecht. Alle Rechte vorbehalten.

Gemeindeverwaltung Hövelhof  
Schloßstraße 14  
33161 Hövelhof

Projekt  
**Studie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hövelhof**

Inhalt  
**Lageplan  
Spurenstoffelimination  
Variante 3, Ozonbehandlung**

Planungsphase Studie	Zeichnungs-Nr. 14015 / 01 V 03	Index	Maßstab ~ 1 : 250
-------------------------	-----------------------------------	-------	----------------------

GEMARKUNG HÖVELHOF

Flur 49