

Stadt Horstmar

Machbarkeitsstudie (Kurzbericht)

# Möglichkeiten der Elimination anthropogener Mikroschadstoffe in der Kläranlage Horstmar

gefördert durch:

**Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,  
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen**



**IR** Ingenieurbüro  
Rummler + Hartmann  
GmbH

Havixbeck, im Januar 2018

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Projektkurzbeschreibung und Zielsetzung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Vorstellung der Kläranlage Horstmar .....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Bewertung des Gewässerzustandes des Leerbachs.....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Gegenüberstellung der gängigen Verfahren zur Mikroschadstoffelimination .....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Planungs- und Bemessungsgrundlagen .....</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Vorstellung und Bewertung der Verfahrensmöglichkeiten .....</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Verfahrensempfehlung.....</b>	<b>15</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>16</b>

## **1 Projektkurzbeschreibung und Zielsetzung**

Zur Behandlung, Reduktion und Elimination von Mikroschadstoffen werden in der Literatur mehrere mögliche weitergehende Abwasserreinigungsverfahren genannt, welche ihren Nutzen bewiesen haben und bereits auf einigen kommunalen Kläranlagen großtechnisch eingesetzt werden. Hierbei erwiesen sich die Ozonung und die Adsorption mittels Aktivkohle als die sinnvollsten und wirtschaftlichsten Verfahren. Ungeachtet dessen werden im Laufe der Machbarkeitsstudie alternative und kombinierte Verfahren vorgestellt und beurteilt.

Ziel dieser Studie ist es, anhand von Mikroschadstoffanalysen den Durchgang der Mikroschadstoffe durch die Kläranlage Horstmar, sowie die damit einhergehende Gewässerbelastung des Leerbachs zu beurteilen. Des Weiteren ist zu untersuchen, wie die Stoffe bestmöglich eliminiert und reduziert werden können. Hierfür wird anhand der Abwasser- und Gewässerproben eine Bewertung der Reinigungsleistung durchgeführt und auf Grundlage diverser Studien zum Thema „Mikroschadstoffelimination“ ein für die Kläranlage Horstmar maßgeschneidertes Konzept zur Behandlung der Mikroschadstoffe ausgearbeitet.

## **2 Vorstellung der Kläranlage Horstmar**

Die Kläranlage Horstmar ist eine kommunale, einstufig betriebene, Abwasserreinigungsanlage und wurde im Oktober 1987 in Betrieb genommen. Sie wurde nach den damaligen Bemessungskriterien für eine Ausbaugröße von etwa 18.600 EW geplant. Die aktuelle Ausbaugröße beläuft sich auf 11.000 EW.

Den verfahrenstechnischen Anfang der Kläranlage bildet der Kläranlagenzulauf. Die Zuflüsse aus den Stadtteilen Leer und Ostendorf müssen zunächst über ein Schneckenhebewerk angehoben werden und fließen im Anschluss zusammen mit dem Zufluss aus Horstmar zum Rechen 1. Es folgt der Sand- und Fettfang, in dem das Abwasser von den wesentlichen Sand- und Fettfrachten befreit wird. Anschließend folgt ein Zwischenhebewerk und darauf der Feinrechen.

Nach der mechanischen Reinigung wird das Abwasser in die Belebungsbecken geleitet, womit die biologische Abwasserreinigung beginnt.

Im Rahmen der Modernisierung wurde die biologische Stufe als 2-stufige Kaskadendenitrifikation ausgebildet. Das Belebungsbecken 1 mit einem Volumen von 2.110 m<sup>3</sup> wird dabei mit dem kompletten Rücklaufschlammstrom und 60 % des zufließenden Rohwassers beschickt. Hierfür wurde das Belebungsbecken 1 mit einer Trennwand unterteilt, sodass

ein Umlaufgraben entstand. Zusätzlich wurde das Becken in eine unbelüftete und eine belüftete Zone unterteilt und mit langsam laufenden Rührwerken versehen.

Dem Belebungsbecken 1 nachgeschaltet wurde das Belebungsbecken 2 mit einem Volumen von 1.830 m<sup>3</sup>. In dieses wird der verbleibende Rohwasserzufluss von 40 % zur Substratversorgung zugeführt.

Das Nachklärbecken mit einem Volumen von 1.500 m<sup>3</sup> ist dem Belebungsbecken 2 nachgeschaltet und bildet die verfahrenstechnisch letzte Stufe der biologischen Abwasserreinigung.

Im Wesentlichen besteht die Kläranlage aus den in Abbildung 1 ersichtlichen und im Folgenden aufgelisteten Bauwerken:



**Abbildung 1:** Luftbild der Kläranlage (verändert und ergänzt ELWAS-WEB, 2017)

1. Schneckenhebewerk
2. Grobrechen
3. Sand- und Fettfang

4. Zwischenhebewerk und Feinrechen
5. Belebungsbecken 1 ( $V = 2.110 \text{ m}^3$ ) und Belebungsbecken 2 ( $V = 1.830 \text{ m}^3$ )
6. Nachklärbecken,  $V = 1.500 \text{ m}^3$
7. MID-Durchflussmengenmessung
8. Schönungsteich
9. Ablauf Kläranlage
10. Maschinelle Schlammeindickung
11. Schlammsilos, jeweils  $V = 900 \text{ m}^3$
12. Trübwasserspeicher
13. Betriebsgebäude

Das Einzugsgebiet der Kläranlage Horstmar besteht aus den Stadtteilen Horstmar, Leer und Ostendorf. Während Horstmar überwiegend im Mischsystem entwässert, werden die Stadtteile Leer und Ostendorf über das Trennsystem entwässert. Das Abwasser aus Horstmar wird vom Pumpwerk Horstmar über eine Druckrohrleitung zur Kläranlage gefördert.

Die Konzentrationen der wichtigsten Parameter im Ablauf der Kläranlage Horstmar werden in Tabelle 1 aufgeführt. Die ermittelten Daten ergeben sich aus den gesamten Daten im Zeitraum der Jahre 2015 und 2016.

**Tabelle 1:** Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage

Parameter	Einheit	Konzentration
Chemischer Sauerstoffbedarf CSB	mg/l	18,0
Phosphorgehalt $P_{\text{Ges}}$	mg/l	0,69
Stickstoffgehalt $N_{\text{Ges}}$	mg/l	5,66
Nitrit-Stickstoffgehalt $\text{NO}_2\text{-N}$	mg/l	0,04

### 3 Bewertung des Gewässerzustandes des Leerbachs

Der Leerbach hat eine Länge von 6.169 m, mit einem Einzugsgebiet von 17,51 km<sup>2</sup> (EL-WAS-WEB, 2017). Im Jahr 2014 entsprach der mittlere Abwasseranteil auf Höhe der Einleitungsstelle der Kläranlage Horstmar im Leerbach 46,2 % (bezogen auf den mittleren Abfluss MQ). Bezogen auf den mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ) lag der Abwasseranteil bei 142,3 %.

Der Gewässerzustand im Leerbach ist der Abbildung 2 und Abbildung 3 zu entnehmen. Demzufolge befindet sich die Leerbach in einem nicht guten chemischen und einem schlechten ökologischen Zustand.



**Abbildung 2:** Chemischer Zustand Leerbach (ELWAS-WEB, 2017)



**Abbildung 3:** Ökologischer Zustand Leerbach (ELWAS-WEB, 2017)

Es ist anzunehmen, dass der hohe Abwasseranteil im Leerbach mit verantwortlich für den aktuellen Zustand des Gewässers ist. Neben dem Eintrag aus der Kläranlage Horstmar kann der Gewässerzustand ebenso auf die Folgen diffuser Einträge zurückgeführt werden, beispielsweise aus der Landwirtschaft oder aus Straßenabläufen.

Gemäß Wasserrahmenrichtlinie sollen in Zukunft alle Oberflächengewässer einen guten chemischen, sowie ökologischen Zustand erreichen. Die ungenügende Elimination von Mikroschadstoffen in Kläranlagen kann dazu führen, dass zukünftig die Einleitungserlaubnis nicht verlängert wird und somit die Kläranlagenbetreiber dazu gedrängt werden, eine weitergehende Reinigungsstufe zu integrieren, um eine geringere Belastung der Gewässer zu gewährleisten.

#### 4 Gegenüberstellung der gängigen Verfahren zur Mikroschadstoffelimination

Für die weitergehende Abwasserreinigung wurden in der Vergangenheit mehrere Verfahren klein- und großtechnisch getestet und bewertet. Unterscheiden lassen sich die Verfahren in der Art ihrer Behandlung von Mikroschadstoffen.

Um die gängigen Verfahren übersichtlich vergleichen zu können, werden deren spezifischen Vor- und Nachteile in Tabelle 2 und Tabelle 3 gegenübergestellt.

**Tabelle 2:** Vorteile der Ozonung, der GAK- und PAK-Adsorption

Vorteile		
Ozonung	GAK-Adsorption	PAK-Adsorption
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Breitbandwirkung und gute Eliminationsleistung bei bestimmten Mikroschadstoffen</li> <li>• Desinfektionswirkung</li> <li>• Vergleichsweise geringe Betriebskosten, sofern kein kostenintensives Verfahren nachgeschaltet ist</li> <li>• Steigerung des BSB<sub>5</sub> bei gleichbleibendem CSB</li> <li>• Geschwindigkeit der Reaktion und Anteil der Oxidation eines Mikroschadstoffes über Ozon und Hydroxylradikale ist bekannt</li> <li>• Unkompliziertes Verfahren</li> <li>• Eine Ozonungsstufe kann einfach in bestehende Anlagen integriert werden</li> <li>• Dosierung lässt sich leicht bis zur maximalen Dosieranlagenleistung anpassen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaum Metabolitenbildung (einzig durch Abbauprodukte der Biologie)</li> <li>• Geringer Platzbedarf</li> <li>• Phosphatelimination und Breitbandwirkung</li> <li>• Zusätzliche AFS-Reduktion</li> <li>• Zusätzliche CSB-Reduktion</li> <li>• Zusätzliche DOC-Reduktion</li> <li>• Entfernung der Mikroschadstoffe aus dem Abwasserstrom</li> <li>• Verbesserung der hygienischen Beschaffenheit des Kläranlagenablaufes</li> <li>• Zusätzliche Reinigung durch Biologie im Filterbett</li> <li>• Vorhandene Sandfilterbecken können zur GAK-Adsorption umfunktioniert werden</li> <li>• Regeneration der GAK möglich</li> <li>• Keine nachgeschalteten Verfahren nötig</li> <li>• Einfache Anlagentechnik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Metabolitenbildung</li> <li>• Deutlich weniger Kohlemengen als bei GAK-Adsorption nötig</li> <li>• Energieverbrauch ist gering</li> <li>• Phosphatelimination und Breitbandwirkung</li> <li>• Zusätzliche AFS-Reduktion</li> <li>• Zusätzliche CSB-Reduktion</li> <li>• Zusätzliche DOC-Reduktion</li> <li>• Entfernung der Mikroschadstoffe aus dem Abwasserstrom</li> <li>• Verbesserung der hygienischen Beschaffenheit des Kläranlagenablaufes</li> <li>• Förderliche Wirkung der Überschussschicht hinsichtlich der Schlammbehandlung und Schlammmentwässerung</li> <li>• Positive Wirkung auf den Heizwert des Klärschlammes</li> <li>• Verringerung des Schlammvolumenindex</li> <li>• PAK kann vorgehalten und gezielt in Abhängigkeit der Schmutzfracht dem Abwasser zudosiert werden</li> <li>• Dosierung lässt sich leicht bis zur maximalen Dosieranlagenleistung anpassen</li> <li>• Keine besonderen Materialanforderungen an die maschinelle Ausrüstung</li> <li>• Einfache Anlagentechnik</li> </ul>

**Tabelle 3:** Nachteile der Ozonung, der GAK- und PAK-Adsorption

Nachteile		
Ozonung	GAK-Adsorption	PAK-Adsorption
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metabolitenbildung</li> <li>• Reaktionsprodukte und –mechanismen Großteils unbekannt (Toxizität)</li> <li>• Die sich ständig verändernde Zusammensetzung der Stoffe im Abwasser führt zu anderen Reaktionsprodukten → Künftige Reaktionsprodukte können unvorhersehbare Auswirkungen im Ablauf haben</li> <li>• Hoher Energieverbrauch und hohe Sicherheitsanforderungen bezüglich Arbeitsschutz</li> <li>• Hohe Betriebskosten</li> <li>• Kaum CSB-Reduktion, sofern keine Verfahren nachgeschaltet sind</li> <li>• Kaum DOC-Reduktion, sofern keine Verfahren nachgeschaltet sind</li> <li>• Hoher DOC führt zu höheren Ozonverbrauch</li> <li>• Hohe Anforderungen an die eingesetzten Materialien</li> <li>• Wartung der Anlagen benötigt spezialisiertes Personal oder Fremdfirmen</li> <li>• Bei bestimmten Inhaltsstoffen im belasteten Abwasser (z.B. Bromid) wird von der Anwendung der Ozonung abgeraten</li> <li>• Zusätzliche biologisch aktive Stufe wird angeraten, um Oxidationsprodukte abzubauen</li> <li>• Teilweise großer bautechnischer Aufwand und umfangreiche maschinentechnische Ausrüstung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher DOC führt zur verminderten Adsorption von Mikroschadstoffen → Mehr Kohle wird benötigt</li> <li>• Sinkende Reinigungsleistung</li> <li>• Deutlich mehr Kohlemengen als bei der PAK-Adsorption nötig</li> <li>• Rücklösung und Auswaschung des unveränderten Mikroschadstoffes möglich</li> <li>• Sehr hohe Betriebsmittelkosten möglich</li> <li>• Falls keine bestehende Sandfiltration vorhanden → Zusätzliche Bauwerke erforderlich</li> <li>• Adsorptionsprozess ist langsamer im Vergleich zur Ozonung</li> <li>• Reinigungsleistung bestimmter Stoffe und Stoffgruppen sinkt sehr stark schon nach wenigen Bettvolumina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher DOC führt zur verminderten Adsorption von Mikroschadstoffen → Mehr Kohle wird benötigt</li> <li>• Keine landwirtschaftliche Nutzung des ÜSS mehr möglich</li> <li>• Meist zusätzliche Bauwerke erforderlich</li> <li>• Rücklösung des unveränderten Mikroschadstoffes und Rückbelastung der Kläranlage über Aktivkohleschlamm möglich</li> <li>• Adsorptionsprozess ist langsamer im Vergleich zur Ozonung</li> <li>• Größere Klärschlammengen</li> <li>• Teilweise großer bautechnischer Aufwand und umfangreiche maschinentechnische Ausrüstung</li> <li>• Nachgeschaltete Filtration erforderlich</li> <li>• Nasse AK kann zum Teil korrosiv und abrasiv auf Anlagenbestandteile wirken</li> <li>• Hohe Betriebsmittelkosten</li> <li>• Regeneration der PAK derzeit nicht möglich</li> </ul>

Wie die einzelnen Vor- und Nachteile gewichtet werden, liegt im Sinne des Betrachters. Die Anzahl der spezifischen Vor- oder Nachteile sollte nicht als Anhaltspunkt für ein Urteil über die einzelnen Verfahren dienen. Die wesentlichen Faktoren sind die zu erwartende Eliminationsleistung hinsichtlich von Mikroschadstoffen und die entstehenden Investitions- und Jahreskosten.



Derzeit gibt es keinen vorgegebenen Zeigerparameter, ähnlich wie der CSB, von dem die Gesamteliminationsrate einer 4. Reinigungsstufe auf Mikroschadstoffe abgeleitet werden kann. Gemäß der aktuellen Broschüre zur Auslegung von 4. Reinigungsstufen in NRW soll ein Eliminationsziel von 80 % als Jahresmittel, bezogen auf die Gesamtkläranlage für ausgewählte Indikatorsubstanzen sowie durch die Vorgabe einer zu behandelnden Abwassermenge überprüft werden. Als Indikatorsubstanzen gelten Stoffe, die mittels Mikroschadstoffeliminationsverfahren gut bis mittelmäßig eliminierbar sind. Welche Indikatorsubstanzen standortspezifisch gewählt werden, ist mit der zuständigen Behörde abzustimmen.

Allgemein wird davon ausgegangen, dass, unter bestimmten Bedingungen, alle drei Verfahren eine Eliminationsrate von über 80 % aufweisen. Diese kann, je nach Kläranlage und Auslegung einer 4. Reinigungsstufe, auch höher ausfallen.

## **5 Planungs- und Bemessungsgrundlagen**

Es wird vorgeschlagen, die Verfahren für eine 4. Reinigungsstufe südwestlich neben dem Kläranlagengelände zu dimensionieren. Die Fläche ist Eigentum der Stadt Horstmar und könnte zur Erweiterung der Kläranlage genutzt werden. Von Vorteil ist, dass sich diese Fläche in der Nähe des Nachklärbeckens befindet, an welches eine 4. Reinigungsstufe anschließt. Aufwändige Bauarbeiten im Bestand und eine aufwändige Rohrleitungsführung können somit vermieden werden. Ersichtlich ist die Fläche als rot markierte Fläche in Abbildung 4.



**Abbildung 4:** Ausgewählte Fläche für die 4. Reinigungsstufe auf der Kläranlage (verändert und ergänzt nach ELWAS, 2017)

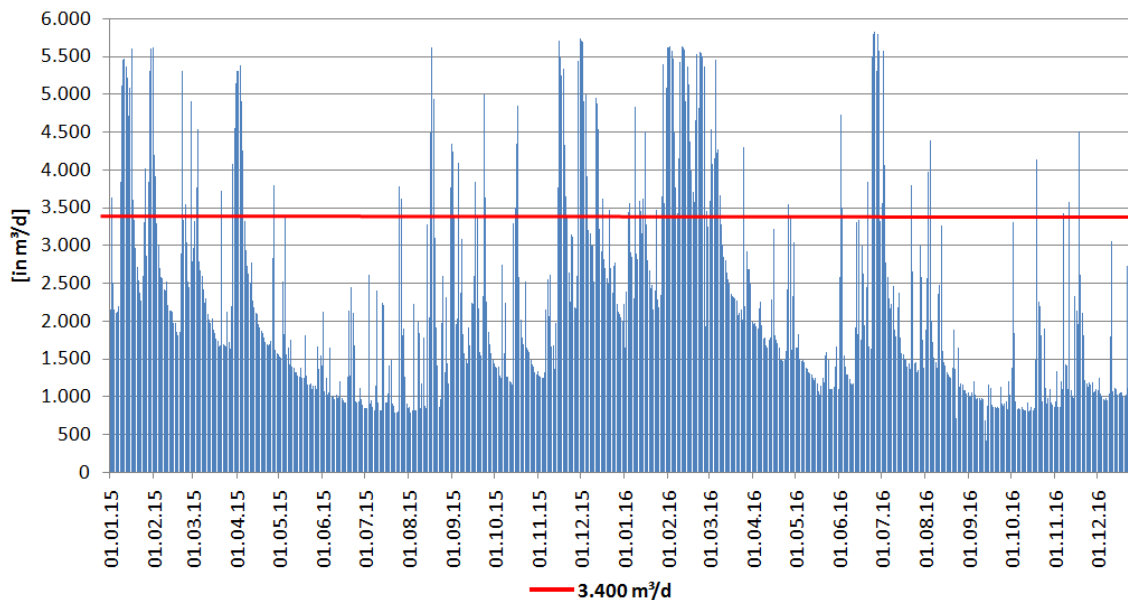
Eine gesetzliche Vorgabe zur Auslegung einer 4. Reinigungsstufe gibt es derzeit nicht. In Nordrhein-Westfalen kann hierfür die vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW 2016 überarbeitete Broschüre zur Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination herangezogen werden. Da die KA Horstmar aus Trenn- und Mischsystem besteht, sollte laut Empfehlung aus der Broschüre eine 4. Reinigungsstufe für die KA Horstmar mindestens 90 % der Jahresabwassermenge behandeln können (Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, 2016). Aufgrund der weiter unten aufgeführten Vorteile legen wir prinzipiell jede Nebenbehandlungsstufe (Filtration) einer 4. Reinigungsstufe für den Vollstrom, also 100 % der JAM, aus. Die Hauptverfahren werden für einen Teilstrom ausgelegt. Zur Bestimmung der Auslegungswassermenge sollen die Abflussdaten mehrerer Jah-

re herangezogen werden. Für den Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden die Daten aus den Jahren 2015 und 2016 ausgewertet.

Werden die täglichen Ablaufmengen (Abbildung 5, blaue Balken) betrachtet, so ist zu erkennen, dass sie starken Schwankungen unterliegen. Würde die 4. Reinigungsstufe nach der durchschnittlichen Jahresschmutzwassermenge 2016 dimensioniert werden, so wäre die Reinigungsstufe nicht dazu in der Lage, ausreichend hydraulische Spitzenbelastungen behandeln zu können.

Für den Rahmen der Machbarkeitsstudie wurde entschieden, eine tägliche Durchflussmenge von  $3.400 \text{ m}^3/\text{d}$  zur weiteren Berechnung zu wählen, wodurch im Zeitraum zwischen Januar 2015 und Dezember 2016 über 90 % des täglichen Ablaufs behandelt werden wären.

Abbildung 5 stellt die täglichen Ablaufmengen der Kläranlage Horstmar im gewählten Bemessungszeitraum dar. Der rote Strich entspricht dem täglichen Ablauf von  $3.400 \text{ m}^3/\text{d}$ . Es wird ersichtlich, dass die 4. Reinigungsstufe nicht kontinuierlich mit  $3.400 \text{ m}^3/\text{d}$  beschickt wird. Deshalb wurde festgelegt, für die Betriebsmittelkostenrechnung einen Wert von  $2.047 \text{ m}^3/\text{d}$  zu verwenden. Dieser Wert entspricht dem durchschnittlichen Abfluss unterhalb der in Abbildung 5 ersichtlichen roten Linie, also jedem Abfluss im Bemessungszeitraum  $\leq 3.400 \text{ m}^3/\text{d}$ .



**Abbildung 5:** Ablaufmengen der Kläranlage im Zeitraum vom 01.02.2012 bis 31.01.2016

Gemäß der aktuellen Broschüre zur Auslegung von 4. Reinigungsstufen können für Nachbehandlungsverfahren andere Bemessungsansätze gelten, als für die Hauptverfahren (Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, 2016). Es wird aus den folgenden Gründen als sinnvoll erachtet, die Nachbehandlungsverfahren aller in dieser Machbarkeitsstudie vorgeschlagenen Varianten zur Mikroschadstoffelimination für den Vollstrom auszulegen:

- Die Konzentrationen der allgemeinen Ablaufparameter von Kläranlagen (ACPs) stehen seit längerem in der Diskussion. Die Grenzwerte hierfür im Ablauf von Kläranlagen werden zukünftig verschärft. In welchem Rahmen ist noch nicht geklärt. Mit einer Nachbehandlung / Filtration für den Vollstrom ist davon auszugehen, dass zukünftige Grenzwerte zuverlässiger eingehalten werden können, als wenn eine 4. Reinigungsstufe lediglich mit einer für den Teilstrom oder gar keiner Filtration ausgelegt wird. Wenn bereits darüber diskutiert wird, eine Kläranlage zu ertüchtigen, dann sollte sie auch dazu in der Lage sein, die künftigen Grenzwerte der allgemeinen Ablaufparameter einzuhalten.
- Das Thema "Mikroplastik in limnischen Ökosystemen" nimmt an Relevanz zu und wird aktuell intensiv erforscht. Da mittlerweile nachgewiesen wurde, dass Mikroplastik über Kläranlagen ins Gewässer emittiert wird und sich aufgrund der Oberflächenstruktur Umweltgifte daran anlagern können, ist es denkbar, dass es auch für Mikroplastik - neben den Mikroschadstoffen - im Ablauf von Kläranlagen zukünftig Grenzwerte geben wird. Es hat sich gezeigt, dass die Vollstrom-Endfiltration zur effektiven Elimination von Mikroplastik geeignet ist (Mintening, 2014). Die Vollstrom-Nachbehandlung wird also vorgeschlagen, um die Umwelt bestmöglich vor der Mikroplastikemission zu schützen und ggf. zukünftige Grenzwerte sicher einhalten zu können.
- Die Nachbehandlung / Filtration einer PAK-Adsorptionsstufe sollte stets für den Vollstrom dimensioniert werden. Grund dafür ist die als vorteilhaft erwiesene Rezirkulation der beladenen PAK in die biologische Stufe, womit diese in den Vollstrom der Kläranlage überführt wird. Kommt es nun zu Durchflussspitzen, wodurch im Fall einer Teilstrom-Nachbehandlung vor der Nachbehandlung abgeschlagen wird, besteht die Möglichkeit des unerwünschten Austrags von PAK-Frachten (einschließlich adsorbierter Mikroschadstoffe).

Die für die Machbarkeitsstudie gewählten Durchflussmengen zur Auslegung der Anlagenkomponenten und des Betriebsmittelbedarfs sind in Tabelle 4 aufgeführt.

**Tabelle 4: Gewählte Durchflussmengen**

<i>Parameter</i>	<i>Einheit</i>	<i>Größe</i>
1. Gewählte Durchflussmenge für die Hauptverfahren	m <sup>3</sup> /d bzw. m <sup>3</sup> /h	3.400 bzw. 141,7
2. Gewählte Durchflussmenge für die Nachbehandlung	l/s bzw. m <sup>3</sup> /h	88,3 bzw. 318
Gewählte Durchflussmenge zur Betriebsmittel-auslegung	m <sup>3</sup> /d bzw. m <sup>3</sup> /h	2.047 bzw. 85,3

Von entscheidender Bedeutung sind die entstehenden Investitions- und Betriebskosten der Verfahren, die im nächsten Kapitel vorgestellt werden.

## 6 Vorstellung und Bewertung der Verfahrensmöglichkeiten

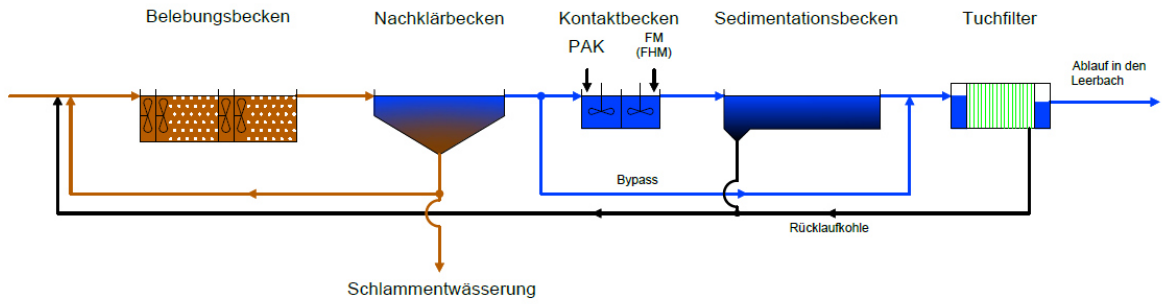
Im Rahmen der Studie wurden Mikroschadstoffanalysen auf der Kläranlage und im Gewässer vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Analysen zeigten, dass einige der gemessenen Parameter in auffällig hohen Konzentrationen wiederzufinden waren, was vereinzelt auch im Gewässer unterhalb der Einleitungsstelle festgestellt wurde.

Die zur Mikroschadstoffelimination vorgeschlagenen Varianten wurden südwestlich neben dem Kläranlagengelände vorgesehen. Insgesamt werden fünf Reinigungsverfahren (zugehörige Fließschema, siehe Abbildung 6) vorgeschlagen, welche allesamt in den Kläranlagenbetrieb integrierbar sind.

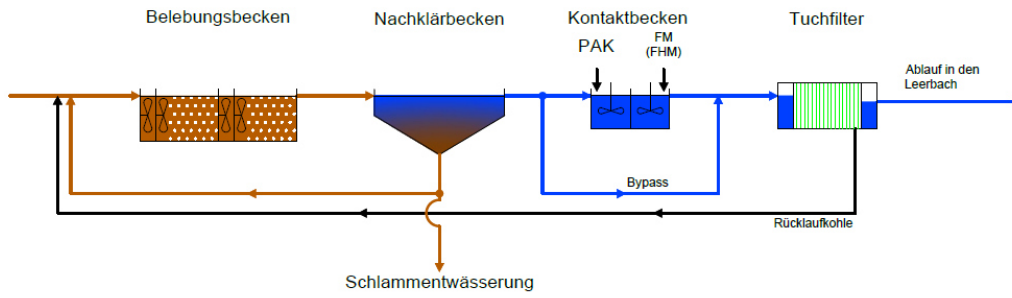
Im Einzelnen handelt es sich um folgende Varianten:

- Variante 1.1: **PAK-Adsorption** nach dem AFSF-Verfahren
- Variante 1.2: **PAK-Adsorption** im AFF-Verfahren
- Variante 1.3: **PAK-Adsorption** im Belebungsbecken
- Variante 2: **GAK-Adsorption**
- Variante 3: **Ozonung**

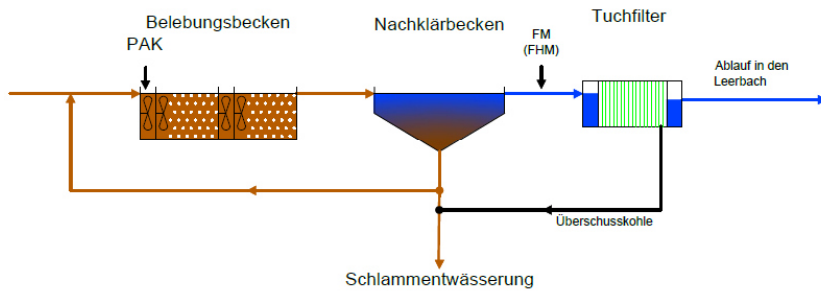
Variante 1.1



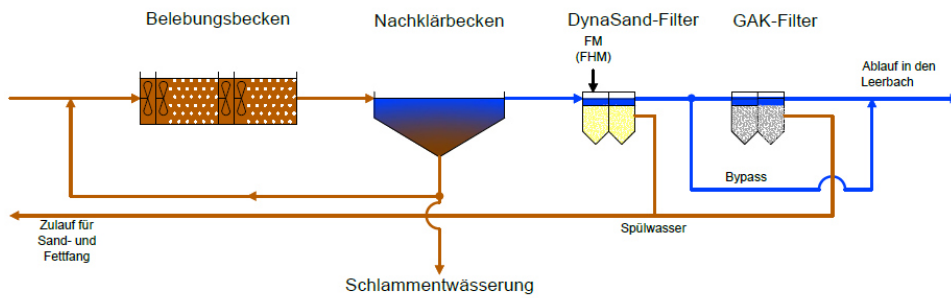
Variante 1.2



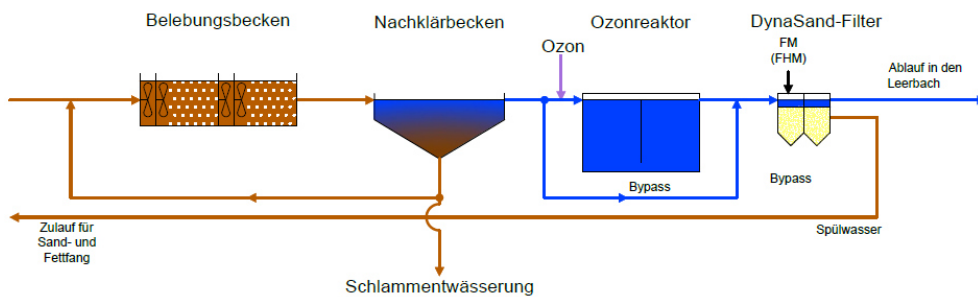
Variante 1.3



Variante 2



Variante 3



**Abbildung 6:** Fließschema der unterschiedlichen Reinigungsstufen zur Mikroschadstoffelimination

Zur Darstellung der Wirtschaftlichkeit wurden alle relevanten Kosten der gezeigten Variante miteinander verglichen. Tabelle 5 stellt die unterschiedlichen Kostenanteile gegenüber.

In den Kostenschätzungen wurden weder Fördermittel noch eine Reduzierung der Abwasserabgabe eingerechnet.

**Tabelle 5:** Kostengegenüberstellung der Varianten 1 bis 3 ohne Berücksichtigung von Fördermittel und Abwasserabgabereduktionen

Kosten	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 2	Variante 3
<b>Investitionskosten</b>	<b>2.571.831 €</b>	<b>1.769.327 €</b>	<b>1.601.947 €</b>	<b>1.982.189 €</b>	<b>2.311.854 €</b>
<b>Laufende Jahreskosten</b>	<b>239.104 €/a</b>	<b>187.555 €/a</b>	<b>196.128 €/a</b>	<b>247.654 €/a</b>	<b>228.579 €/a</b>
<i>davon kapitalgebundene Kosten</i>	<i>185.323 €/a</i>	<i>139.041 €/a</i>	<i>129.130 €/a</i>	<i>152.461 €/a</i>	<i>176.120 €/a</i>
<i>davon Betriebskosten</i>	<i>53.780 €/a</i>	<i>48.514 €/a</i>	<i>66.998 €/a</i>	<i>95.194 €/a</i>	<i>52.460 €/a</i>
<i>davon Energiekosten</i>	<i>11.435 €/a</i>	<i>8.168 €/a</i>	<i>7.493 €/a</i>	<i>7.066 €/a</i>	<i>19.384 €/a</i>
<b>Spezifische Kosten *</b>	0,300 €/m <sup>3</sup>	0,236 €/m <sup>3</sup>	0,246 €/m <sup>3</sup>	0,311 €/m <sup>3</sup>	0,287 €/m <sup>3</sup>
<b>Spezifische Kosten **</b>	0,457 €/m <sup>3</sup>	0,358 €/m <sup>3</sup>	0,374 €/m <sup>3</sup>	0,473 €/m <sup>3</sup>	0,287 €/m <sup>3</sup>
<b>Spezifische Kosten ***</b>	1,050 €/m <sup>3</sup>	0,824 €/m <sup>3</sup>	0,861 €/m <sup>3</sup>	1,087 €/m <sup>3</sup>	1,004 €/m <sup>3</sup>
* Bezogen auf die Jahresabwassermenge von:	796.289 m <sup>3</sup> /a				
** Bezogen auf die Jahresschmutzwassermenge von:	523.705 m <sup>3</sup> /a				
*** Bezogen auf die Frischwassermenge von:	227.748 m <sup>3</sup> /a				

Die Investitionskosten wurden entsprechend des aktuell erhöhten Baupreisniveaus geschätzt, weshalb diese verhältnismäßig hoch sind. Ob das derzeit erhöhte Preisniveau bei einer späteren Umsetzung noch vorherrscht, ist ungewiss.

In Tabelle 6 werden die einzelnen Varianten in einer Bewertungsmatrix beurteilt. Die Punktevergabe und Wichtung der einzelnen Kriterien wurde mit dem Anlagenbetreiber abgestimmt. Bei der Punktevergabe ist die Wertung 1 die Schlechteste. Die Wertung 5 hingegen ist die Bestnote, die je nach Ermessen und betrachtetem Kriterium an die Variante vergeben wurde, die sich gegenüber der anderen Varianten am Besten dargestellt hat.

Aus der Tabelle 6 geht hervor, dass die Variante 1.1 die beste Gesamtbewertung erfährt. Mit 4,1 Punkten liegt die Variante 1.1 knapp vor Variante 1.2, mit 4,0 Punkten. Es folgt die Variante 1.3 mit 3,9 Punkten, die Varianten 2 mit 3,7 Punkten und zuletzt die Variante 3 mit 3,5 Punkten.

Welches Verfahren letztlich die meisten spezifischen Vorteile aufweist und empfohlen wird, wird in dem folgenden Kapitel beschrieben.

**Tabelle 6:** Bewertungsmatrix bei der Annahme einer gleichen mittleren Reinigungsleistung aller Varianten auf Mikroschadstoffe und allgemeinen physikalisch-chemischen Parametern

		Variante 1.1		Variante 1.2		Variante 1.3		Variante 2		Variante 3	
		PAK + Sedi + Filtration		PAK + Filtration		PAK in BB + Filtration		GAK + Filtration		Ozonung + Filtration	
Kriterium	Wichtung	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Investitionskosten	12%	3	0,36	4,5	0,54	5	0,6	4	0,48	3,5	0,42
Kapitalkosten	10%	3	0,3	4	0,4	5	0,5	4	0,4	3,5	0,35
Betriebskosten	10%	4	0,4	5	0,5	3	0,3	2,5	0,25	4,5	0,45
Energiebedarf	10%	3,5	0,35	4	0,4	4	0,4	5	0,5	2	0,2
Entstehung Transformationsprodukte	10%	5	0,5	5	0,5	5	0,5	5	0,5	2	0,2
Sensitivität Betriebskostenschwankungen	10%	4,5	0,45	5	0,5	2,5	0,25	1,5	0,15	4	0,4
Betriebs- und Wartungsaufwand	15%	4	0,6	4	0,6	5	0,75	4	0,6	3,5	0,525
Erfahrungen / Referenzen	21%	5	1,05	2,5	0,525	2,5	0,525	3,5	0,735	4	0,84
Flächenbedarf	2%	3	0,06	4	0,08	5	0,1	4	0,08	4	0,08
<b>Summe</b>	<b>100%</b>	<b>35,0</b>	<b>4,1</b>	<b>38,0</b>	<b>4,0</b>	<b>37,0</b>	<b>3,9</b>	<b>33,5</b>	<b>3,7</b>	<b>31,0</b>	<b>3,5</b>



## 7 Verfahrensempfehlung

Da bei allen vorgeschlagenen Varianten etwa von einer gleichen mittleren Eliminationsrate auf Mikroschadstoffe ausgegangen werden kann, wurden die weiteren monetären und nichtmonetären Kriterien in einer Bewertungsmatrix gegenübergestellt (siehe Tabelle 6). Aus dieser Bewertungsmatrix lässt sich ableiten, dass die Varianten der PAK-Adsorption näher betrachtet werden sollten. Die Varianten 2 (GAK-Adsorption) und die Variante 3 (Ozonung) werden aufgrund der verhältnismäßig schlechten Gesamtbewertung nicht empfohlen.

Die Variante 1.3 ist bei Betrachtung der Investitionskosten die günstigste Variante der PAK-Adsorptionsstufen. Bei den Betriebskosten ist hingegen zu erkennen, dass die Varianten 1.1 und 1.2 deutlich günstiger sind. Aufgrund der hohen Betriebskosten, den damit verbundenen potenziellen Kostenschwankungen und zuletzt der wenigen Referenzen wird die Variante 1.3 nicht weiter betrachtet.

Nun liegen die Investitionskosten der Variante 1.2 etwa 800.000 € unter denen der Variante 1.1. Ein bedeutender Vorteil der Variante 1.1 gegenüber der anderen Varianten ist jedoch, dass es die derzeit am häufigsten angewandte 4. Reinigungsstufe ist und hier auf eine Vielzahl von Erfahrungen und Referenzen zurückgegriffen werden kann. Lediglich bei der Schlussfiltration dieser Variante werden unterschiedliche Verfahren angewandt, was hinsichtlich der Reinigungsleistung für Mikroschadstoffe eine untergeordnete Rolle spielt. Doch auch hier werden mit Erfolg zwei großtechnische Anlagen mit der Tuchfiltration als Schlussfiltration auf den Kläranlagen Laichingen und Lahr betrieben. Für die Variante 1.2 hingegen gibt es aktuell noch keine großtechnischen Erfahrungen.

Für die Umsetzung einer 4. Reinigungsstufe wird als Vorzugsvariante die **Variante 1.1** empfohlen. Die Variante 1.1 vereint die meisten positiven Eigenschaften für die Betreiber der Kläranlage Horstmar. Sie sollte zu sehr guten Eliminationsraten hinsichtlich Mikroschadstoffen führen und ist dank der Filtration zusätzlich dazu in der Lage, den CSB-, P- und N-Gehalt weitergehend zu reduzieren, sofern dieser gebunden vorliegt. Bei Fällmittelzugabe ist außerdem eine weitergehende Reduktion des Phosphor-Gehaltes auf Werte unter 0,1 mg/l möglich. Da die Endfiltration für den gesamten Bemessungszufluss ausgelegt ist, kommt es zu keinerlei Schlammabtrieb aus der Nachklärung in das anliegende Gewässer, wodurch ein konstanterer Kläranlagenbetrieb sichergestellt wird.

Als alternative Vorzugsvariante wird die Variante 1.2 empfohlen. Auch wenn eine solche Anlage im großtechnischen Maßstab noch nicht existiert, so weisen alle im Laufe der Machbarkeitsstudie aufgeführten Informationen darauf hin, dass die Umsetzung der Variante 1.2 ein sinnvolles Verfahren zu Elimination von Mikroschadstoffen ist. Hierbei wird auf das Sedimentationsbecken zur ersten PAK-Abscheidung und somit auf das häufig angewandte „AFSF“-Verfahren verzichtet, weshalb letztlich die Variante 1.1 als Vorzugsvariante benannt wurde. Ein solches Sedimentationsbecken sollte zur PAK-Abscheidung

jedoch nicht zwangsläufig nötig sein, da die gewählte Endfiltration für eine erhöhte Feststofffracht ausgelegt ist und somit für eine effektive PAK-Abscheidung ausreicht. Es wird jedoch bei der Planung dieser Variante empfohlen, eine mögliche Erweiterung um ein Sedimentationsbecken zu berücksichtigen, also den Ausbau zur Variante 1.1. Somit wäre der Umbau zum erprobten AFSF-Verfahren gewährleistet, falls die Variante 1.2 nicht zu einem zufriedenstellenden Betrieb führt.

## **8 Zusammenfassung**

Mit dem Umdenken und der Aufklärung von Politik und Gesellschaft hinsichtlich der Umweltverschmutzung findet immer häufiger auch die Mikroschadstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen ihre Beachtung. Der Nutzen einer 4. Reinigungsstufe wird immer deutlicher. Die Umsetzung würde der fortschreitenden Akkumulation von Mikroschadstoffen in der aquatischen Umwelt bedeutend entgegenwirken und somit in vielerlei Hinsicht zum Umweltschutz beitragen.

Zusammenfassend kann aus den Informationen und Erkenntnissen dieser Machbarkeitsstudie abgeleitet werden, dass der Ausbau der Kläranlage Horstmar um eine 4. Reinigungsstufe zur Mikroschadstoffelimination sinnvoll und umsetzbar wäre, um den Zustand des Gewässers Leerbach nachhaltig zu verbessern.

Im Rahmen der Studie wurde zunächst das Projekt kurz beschrieben. Nach der Vorstellung der Kläranlage Horstmar und des Gewässers Leerbach wurde detailliert auf die Definition der Mikroschadstoffe eingegangen. Es ist deutlich geworden, dass nicht nur die in der Wasserrahmenrichtlinie definierten prioritären Stoffe ein Problem für Kläranlagen und die aquatische Welt darstellen. Eine Vielzahl weiterer Mikroverunreinigungen steht im Verdacht, der Grund für negative Auswirkungen in der Umwelt zu sein. Letztlich sollten alle Mikroschadstoffe, die grundsätzlich durch herkömmliche Reinigungsstufen einer Kläranlage nicht behandelt werden, durch eine weitergehende Reinigungsstufe aus den Kläranlagen und somit auch bedeutend aus dem Wasserkreislauf entfernt werden, um den Gewässerzustand zu verbessern.

Im Anschluss wurden alle relevanten und derzeit bekannten Verfahren zur Mikroschadstoffelimination aufgeführt und bewertet. Die derzeit gängigen Verfahren zur Mikroschadstoffelimination sind die Ozonung und die Adsorption mittels Aktivkohle. Auch andere Verfahren wurden erläutert und bewertet. Zunächst wurde auf mögliche Membranverfahren eingegangen. Aufgrund der hohen spezifischen Kosten dieser Verfahren und der Tatsache, dass die Mikroschadstoffelimination mittels Membranverfahren wenig erforscht ist, wurden die Membranverfahren nicht weiter berücksichtigt.

Nach den Membranverfahren wurde näher auf die Ozonung eingegangen. Es fand eine Beurteilung möglicher Verfahrenskombinationen statt. Für die Umsetzung einer 4. Reinigungsstufe ergeben sich die meisten Vorteile durch eine Ozonung mit nachgeschalteter biologisch intensivierter Sandfiltration. Hierdurch besteht die Möglichkeit das ozonbehandelte Abwasser weitergehend zu reinigen. Neben dem geringfügigen Mikroschadstoffabbau ist ein Sandfilter zudem dazu in der Lage, die für die Abwasserabgabe relevanten Parameter zu weitergehend reduzieren. Dies ist insofern interessant, da die Ozonung diese Parameter nur begrenzt verringert.

Im Anschluss wurde auf die Adsorption mittels Aktivkohle näher eingegangen. Zur Aktivkohle-Adsorption bieten sich zwei unterschiedliche Verfahren an, die Adsorption mittels granulierter Aktivkohle (GAK) und die Adsorption mittels Pulveraktivkohle (PAK). Neben der Vorstellung unterschiedlicher Verfahrenskombinationen wurden alle wesentlichen Merkmale dieser Verfahren beschrieben.

Bei der GAK- und schließlich bei der PAK-Adsorption erfolgte nach den allgemeinen Erläuterungen zum Verfahren die Darstellung unterschiedlicher Verfahrenskombinationen. Anschließend wurden Verfahren zur PAK-Abscheidung bewertet und auf Grundlage von für den Anwendungsfall auf der Kläranlage Horstmar zugeschnittenen Angeboten beurteilt. Es zeigte sich, dass sich neben der bewährten Sandfiltration ebenso eine DynaSand-, Fuzzy-Filtration oder eine Tuchfiltration sehr gut zur Abscheidung der PAK eignen.

Nach der Betrachtung der relevanten Reinigungsverfahren wurde eingehend auf die Ergebnisse der Mikroschadstoffanalyse im Ablauf der Kläranlage eingegangen. Zunächst wurden die bereits vorliegenden Analysen im Rahmen der Selbstüberwachung bewertet und mit den Werten aus dem living document (fortgeschriebene D4-Liste) verglichen. Anschließend wurde auf die Ergebnisse des ersten Monitorings gemäß Liste in der Broschüre zur Erstellung von Machbarkeitsstudien (Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, 2015b) eingegangen, bei dem an zwei Tagen 24h-Mischproben von 28 (+ 11 zusätzliche) Stoffen / Stoffgruppen genommen und analysiert wurden. Infolge des ersten Monitorings folgte das in der o.g. Broschüre zweite vorgegebene Monitoring, wessen Umfang vorab mit Vertretern der Bezirksregierung abgestimmt wurde. Die Ergebnisse beider Monitorings wurden ebenfalls mit den Konzentrationen des living documents verglichen.

Die Analyseergebnisse aus allen Messprogrammen haben gezeigt, dass die aktuellen Reinigungsstufen der Kläranlage nicht zur Mikroschadstoffelimination ausreichen und dass infolge der Kläranlageneinleitung die Konzentrationen der bewerteten Stoffe im Gewässer teilweise deutlich ansteigen.

Hinsichtlich der Mikroschadstoffe kann über eine weitergehende Reinigungsstufe nachgedacht werden. Außerdem wird angestrebt, die Zielwerte der Wasserrahmenrichtlinie für Oberflächengewässer in Zukunft einzuhalten, welche auch durch die allgemeinen Ablaufparameter der Kläranlagen beeinflusst werden. Es liegt nahe, dass einige Kläranlagen-

betreiber tätig werden müssen, um ihre Ablaufwerte in naher Zukunft zu verbessern. Eine weitergehende Abwasserreinigung, beispielsweise in Form einer Endfiltration, ist mit großer Wahrscheinlichkeit in absehbarer Zeit umzusetzen. Dies könnte mit Hilfe einer 4. Reinigungsstufe verwirklicht werden.

Nach der Vorstellung der derzeitigen Planungs- und Bemessungsgrundlagen einer 4. Reinigungsstufe wurden zwei Alternativen vorgeschlagen, mit denen die Abwasserreinigung optimiert werden kann und zukünftig verschärfte Einleitebedingungen für die allgemeinen Ablaufparameter eingehalten werden könnten.

Es folgte die Vorstellung möglicher Reinigungsverfahren zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Horstmar. Im Rahmen der Studie wurden drei Verfahren der PAK-Adsorption, ein Verfahren der GAK-Adsorption und ein Verfahren der Ozonung vorgestellt und verglichen. Bis auf Variante 1.3 beginnt jedes der Verfahren mit dem Abschluss der herkömmlichen Abwasserreinigung der Kläranlage, also nach den Nachklärbecken.

Die vorgeschlagenen Varianten wurden in einer Sensitivitätsanalyse und einer Bewertungsmatrix miteinander verglichen, mit dem Ergebnis, dass die Variante 1.1 insgesamt die beste Bewertung erfuhr und für die Umsetzung einer 4. Reinigungsstufe auf der Kläranlage Horstmar vorgeschlagen wurde. Auch die Variante 1.2 wurde als aussichtsreiche Alternative vorgestellt. Auf Basis der Bewertungen wurde empfohlen, bei einer Umsetzung eine PAK-Adsorption mit Sedimentationsbecken und anschließender Endfiltration in Form einer Tuchfiltration zu realisieren (Variante 1.1), um neben der gesteigerten Reinigungswirkung auch den Gewässerzustand weitergehend zu verbessern.