

# MACHBARKEITSSTUDIE ZUR ELIMINATION VON MIKROSCHADSTOFFEN AUF DER KLÄRANLAGE FREUDENBERG

**Kurzbericht**

**Auftraggeber:**



**Stadt Freudenberg**

17.05.2018

Spiekermann GmbH Consulting Engineers  
Fritz-Vomfelde-Str. 12, 40547 Düsseldorf  
[www.spiekermann.de](http://www.spiekermann.de)

**Bearbeitung:**

Dr. Christian Mauer, Rebecca Bechlin, Rebecca Blass, Dalia Männicke, Stefanie Rademacher

**A ERLÄUTERUNGSTEXT**

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>		<b>SEITE</b>
<b>1</b>	<b>VERANLASSUNG</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PLANUNGS- UND BEMESSUNGSGRUNDLAGEN</b>	<b>2</b>
2.1	Hydraulische Bemessungsgröße	2
2.2	Standardparameter CSB und Phosphor	2
2.3	Screening auf Mikroschadstoffe	2
2.3.1	Vorfluter	3
2.3.2	Nachklärung	5
<b>3</b>	<b>VARIANTENUNTERSUCHUNG</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>VARIANTENVERGLEICH UND ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>10</b>
4.1	Betrachtung der Kosten	10
4.2	Nicht-monetäre Aspekte	11
4.3	Zusammenfassung	12

## 1 VERANLASSUNG

Im Jahr 2013 wurden im Vorfluter der Kläranlage Freudenberg, dem Asdorfer Bach, an der Messstelle „An der Landesgrenze“ Messungen zu Mikroschadstoffen im Gewässer durchgeführt. Dabei wurde für Carbamazepin eine Überschreitung der Qualitätskriterien festgestellt.

Auf Basis von Modellberechnungen und Monitoring-Ergebnissen sind auch für andere Stoffe Überschreitungen zu erwarten. Insbesondere gilt dies auch für den Parameter Diclofenac, der sich auf der sogenannten Watch-List der EU befindet und somit verstärkt überwacht und auf Basis der Ergebnisse in Zukunft möglicherweise als prioritär eingestuft wird. Die Machbarkeitsstudie soll klären, wie der Spurenstoffeintrag aus der Kläranlage Freudenberg in das Gewässer Asdorfer Bach zu bewerten ist und welche Verfahren zur Spurenstoffelimination auf der KA Freudenberg umgesetzt werden könnten.

Ausgehend von den durch das Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW empfohlenen wesentlichen Inhalten für Machbarkeitsstudien für Anlagen zur Mikroschadstoffelimination wurden die Inhalte festgelegt und im Vorfeld spezifiziert. Diese besonderen Spezifikationen der Aufgabenstellung wurde mit allen Besprechungsteilnehmern im Detail durchgesprochen.

Die weitergehende Charakterisierung des Abwassers im Hinblick auf mögliche Behandlungsverfahren betrachtet die Hintergrundbelastung des CSB und Phosphor im Ablauf der Nachklärung. Zudem werden im Rahmen der Machbarkeitsstudie Analysen verschiedener Spurenstoffe im Ablauf der Kläranlage Freudenberg sowie im Gewässer durchgeführt und ausgewertet. Die Machbarkeitsstudie wird durch eine CFD-Simulation der Nachklärung ergänzt.

Die Machbarkeitsstudie beinhaltet die Untersuchung von drei Varianten:

Variante 1: nachgeschaltete Filtration über granulierte Aktivkohle (Umrüstung der vorhandenen DynaSand-Filter auf DynaSand-Carbon-Filter)

Variante 2: Pulveraktivkohle-Dosierung nach dem „Schwerter Verfahren“

Variante 3: Simultane Pulveraktivkohle-Dosierung in die Belebung

Eine Ozonung wird aufgrund der Problematik der Transformationsprodukte nicht in Betracht gezogen.

## 2 PLANUNGS- UND BEMESSUNGSGRUNDLAGEN

### 2.1 Hydraulische Bemessungsgröße

Das Einzugsgebiet der Kläranlage Freudenberg wird im Mischsystem entwässert. Für die Spurenstoffelimination kann somit eine Teilstrombehandlung in Betracht gezogen werden. Die Ermittlung des Trockenwetterabflusses erfolgte mithilfe der Zulaufmengen der Jahre 2014 bis 2016 und dem Wetterschlüssel. Es ergibt sich ein maximaler, stündlicher Trockenwetterabfluss von 555,85 m<sup>3</sup>/h bzw. 154,40 l/s. Die Auslegungswassermenge wurde anhand der Auswertung mit dem Wetterschlüssel auf 154 l/s für  $Q_{T,h,max}$  festgelegt. Der mittlere Trockenwetterabfluss beträgt etwa 80 l/s.

Mit der festgelegten Bemessungswassermenge von 154 l/s können im betrachteten Zeitraum von 3 Jahren im Mittel 92 % der anfallenden Abwassermenge behandelt werden. Die gesamte Jahresabwassermenge beträgt 3.422.525 m<sup>3</sup>/a. Der Anteil von 92 % entspricht damit 3.148.723 m<sup>3</sup>/a. Die gebührenrelevante Abwassermenge liegt bei 725.000 m<sup>3</sup>/a.

Der maximale Mischwasserzufluss  $Q_M$  beträgt 275 l/s.

### 2.2 Standardparameter CSB und Phosphor

Als Standardparameter ist der chemische Sauerstoffbedarf (kurz CSB) zur einfachen Charakterisierung des Ablaufs der Nachklärung als Zulauf der Filtration ermittelt worden. Im Mittel beträgt die Konzentration (auf Basis der Betriebsdaten aus den Jahren 2014 bis 2017) im Ablauf der Nachklärung 11 mg/l (Standardabweichung  $\pm 3$  mg/l), im Ablauf der Filtration 10 mg/l (Standardabweichung  $\pm 3$  mg/l). Aus den drei erhobenen Sondermessungen (als 72h-Mischproben im Mai, Juni und Oktober 2017) ergibt sich ein etwas höherer Mittelwert von 15 mg/l (Standardabweichung  $\pm 0,5$  mg/l). Im „Erläuterungsbericht zum Entwurf zur Erweiterung der Kläranlage der Stadt Freudenberg“ aus dem Jahr 1991 wird ein CSB-Grenzwert von 40 mg/l gefordert.

Im Mittel beträgt die im Zuge der betrieblichen Datenerfassung ermittelte Gesamtposphorkonzentration im Ablauf der Filtration 0,36 mg/l (Standardabweichung  $\pm 0,25$  mg/l). Die im Rahmen der Sondermessung (72h-Mischproben) erhobenen Datenwerte befinden sich im Vergleich zu den Betriebsdaten im ähnlichen Konzentrationsbereich und betragen im Mittel für PO<sub>4</sub>-P 0,3 mg/l (Standardabweichung  $\pm 0,2$  mg/l) und 0,3 mg/l (Standardabweichung  $\pm 0,22$  mg/l) für P<sub>Ges</sub>. Laut dem „Erläuterungsbericht zum Entwurf zur Erweiterung der Kläranlage der Stadt Freudenberg“ aus dem Jahr 1991 muss bei Einleitung ein PO<sub>4</sub>-P Grenzwert von 1 mg/l eingehalten werden.

### 2.3 Screening auf Mikroschadstoffe

Im Rahmen der zu diesem Kurzbericht zugehörigen Machbarkeitsstudie sind der Vorfluter (ober- und unterhalb der Einleitung der Kläranlage Freudenberg) zweimal im Mai und Juni

2017 und der Abwasserstrom des Krankenhauses zweimal im Juni und Oktober 2017 stichprobenartig beprobt worden. Im Ablauf der Nachklärung wurde im Mai, Juni und zusätzlich im Oktober 2017 eine 72h-Mischprobenkampagne durchgeführt.

Folgend werden die Konzentrationen der untersuchten Parameter für das Gewässer und den Ablauf der Nachklärung (logarithmisch) dargestellt, wobei Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze nicht aufgeführt sind.

### 2.3.1 Vorfluter

Im Asdorfer Bach sind oberhalb der Einleitung der Kläranlage Freudenberg Spurenstoffe nachweisbar. Abbildung 2.1 zeigt in Bezug auf die untersuchten und relevanten Parameter eine Überschreitung des Richtwerts (0,1 µg/l) von Gabapentin in den Messungen vom Juni 2017.

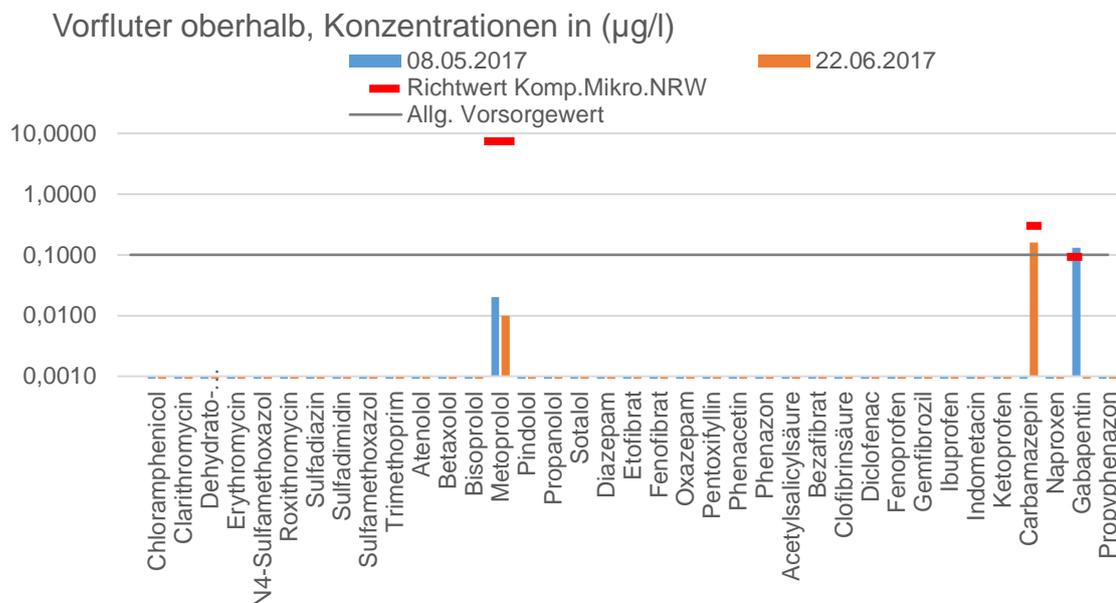


Abbildung 2.1: Mikroschadstoffbelastung (Arzneimittel) in [µg/l] im Vorfluter oberhalb der Einleitung

Die Belastung mit Röntgenkontrastmitteln, Hormonen, Korrosionsschutz- sowie Pflanzenschutzmitteln oberhalb der Einleitung überschreitet den Vorsorgewert anhand der analysierten Konzentrationen nicht.

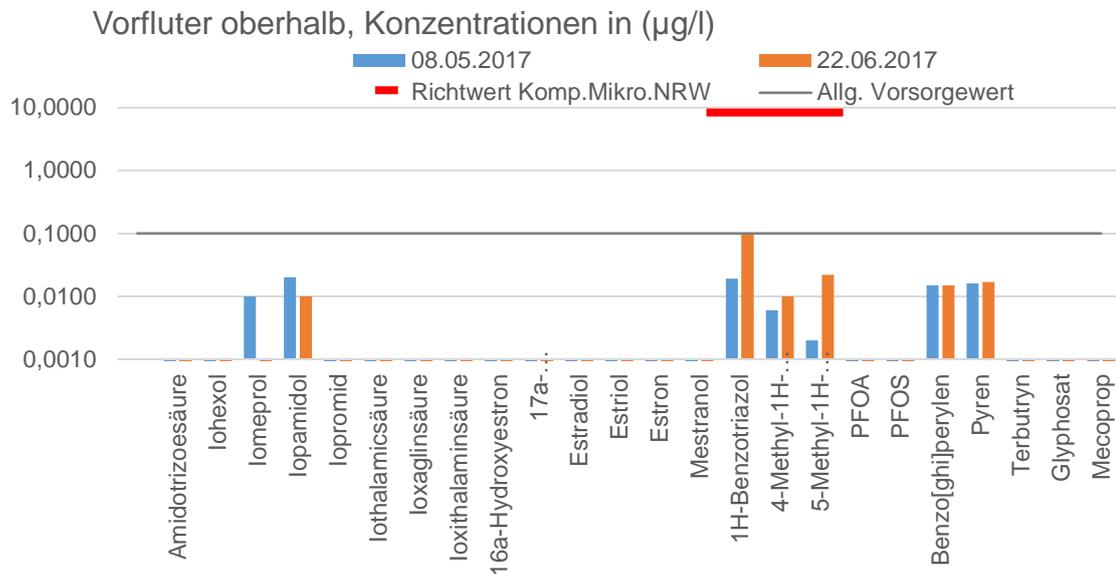


Abbildung 2.2: Mikroschadstoffbelastung (u.a. Röntgenkontrastmittel und Korrosionsschutzmittel) in [ $\mu\text{g/l}$ ] im Vorfluter oberhalb der Einleitung

Unterhalb der Einleitung des behandelten Abwassers der Kläranlage Freudenberg sind im Vorfluter deutlich höhere Mikroschadstoffkonzentrationen registriert worden (vgl. Abbildung 2.3 und Abbildung 2.4).

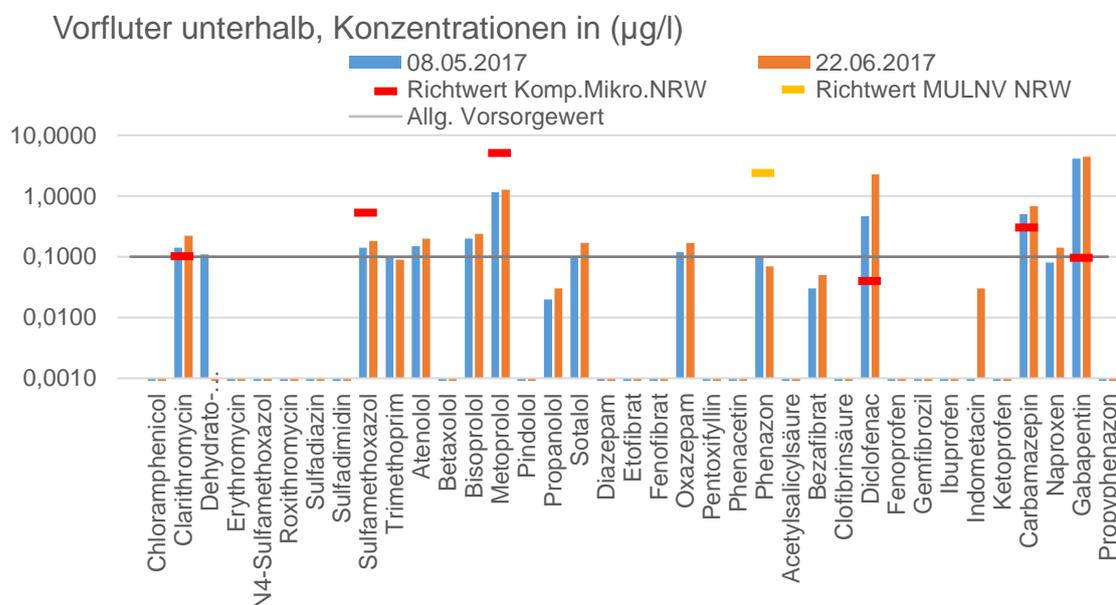


Abbildung 2.3: Mikroschadstoffbelastung (Arzneimittel) in [ $\mu\text{g/l}$ ] im Vorfluter unterhalb der Einleitung

Weitere Belastungskonzentrationen für Mikroschadstoffe unterhalb der Einleitung im Vorfluter sind der Abbildung 2.4 zu entnehmen.

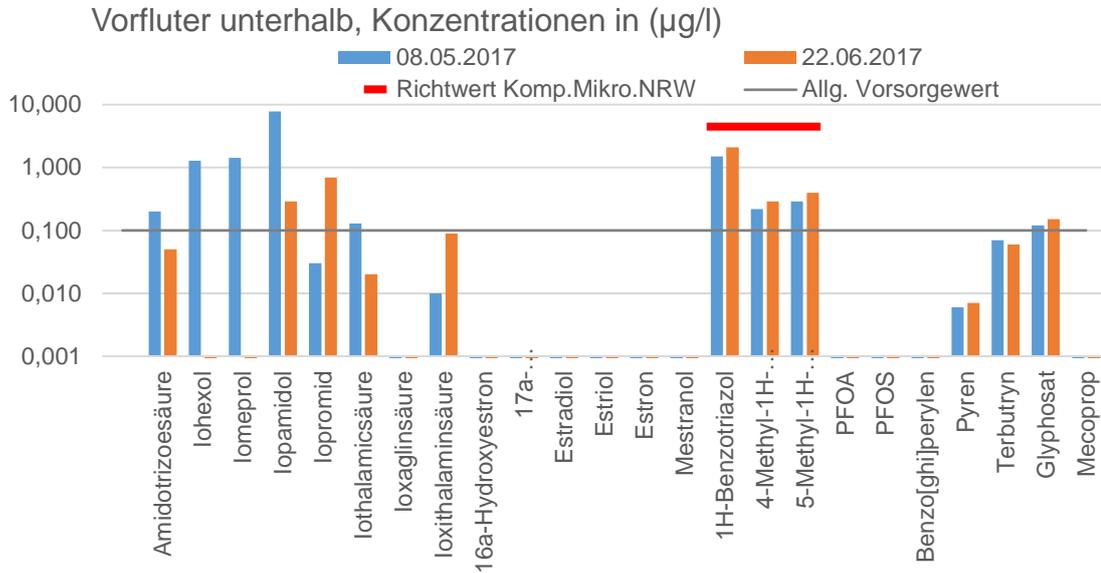


Abbildung 2.4: Mikroschadstoffbelastung (u.a. Röntgenkontrastmittel und Korrosionsschutzmittel) in [ $\mu\text{g/l}$ ] im Vorfluter unterhalb der Einleitung

### 2.3.2 Nachklärung

Die stofflichen Belastungen im Ablauf der Nachklärung sind den Abbildungen 2.5 und 2.6 zu entnehmen, wobei Überschreitungen der Richtwerte festzustellen sind.

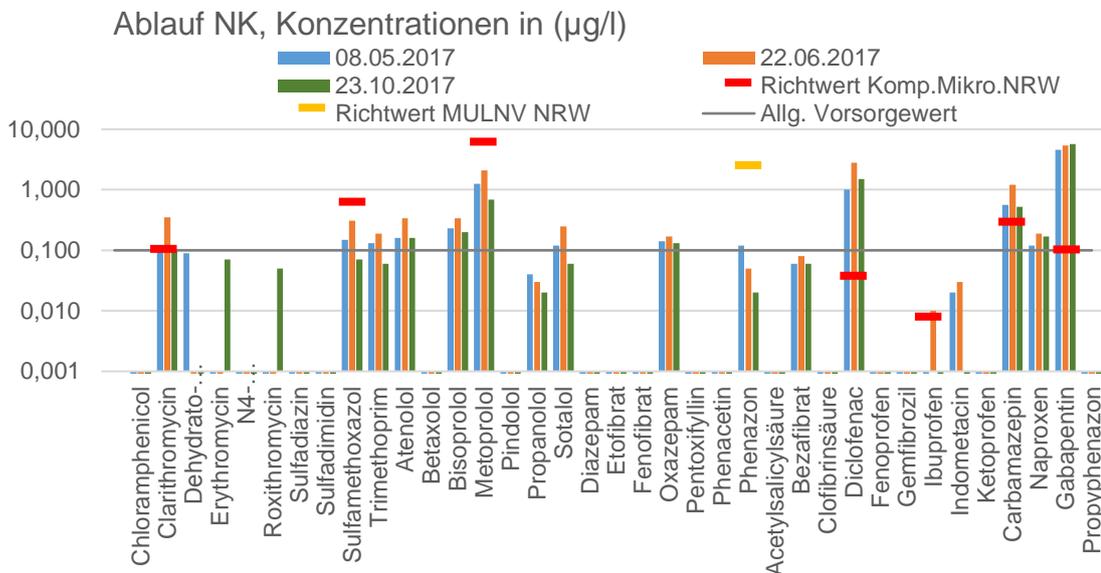


Abbildung 2.5: Mikroschadstoffbelastung (Arzneimittel) in [ $\mu\text{g/l}$ ] im Ablauf der Nachklärung

In Abbildung 2.6 sind keine Überschreitungen von Richtwerten zu erkennen.

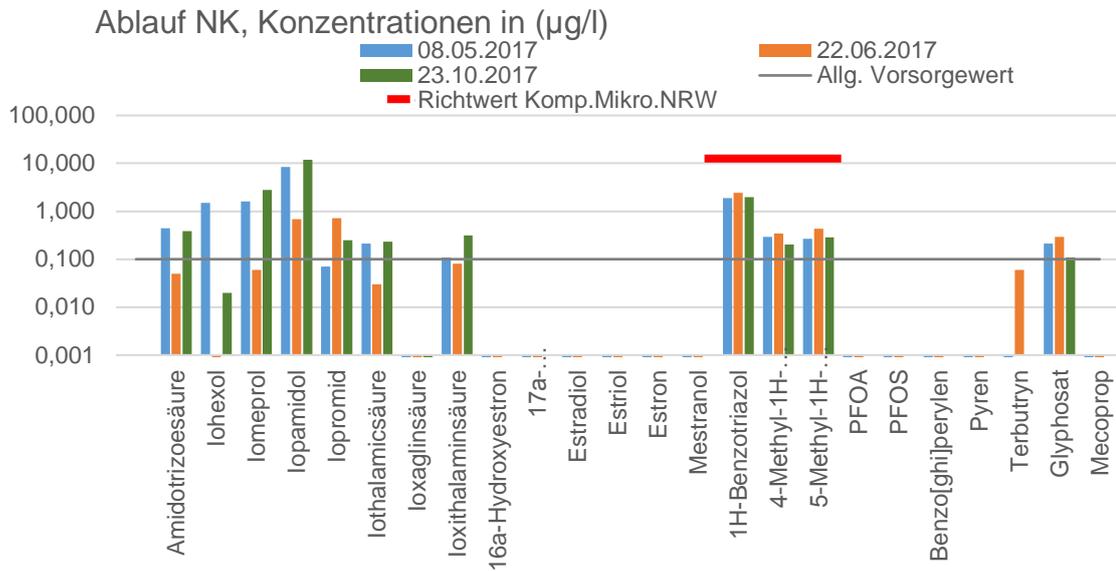


Abbildung 2.6: Mikroschadstoffbelastung (u.a. Röntgenkontrastmittel und Korrosionsschutzmittel) in [ $\mu\text{g/l}$ ] im Ablauf der Nachklärung

Es zeigt sich, dass die Konzentrationsausprägung der Spurenstoffe im Ablauf der Kläranlage Freudenberg mit den Konzentrationswerten unterhalb der Einleitung im Vorfluter deutliche Ähnlichkeit aufweist.

### 3 VARIANTENUNTERSUCHUNG

Aufgrund des Risikos möglicherweise entstehender toxischer Transformationsprodukte wurde eine Ozonung als mögliche oxidative Variante ausgeschlossen. Aus diesem Grund werden in der Machbarkeitsstudie drei adsorptive Verfahren betrachtet.

Variante 1: nachgeschaltete Filtration über granuliert Aktivkohle (Umrüstung der vorhandenen DynaSand-Filter auf DynaSand-Carbon-Filter)

Variante 2: Pulveraktivkohle-Dosierung nach dem „Schwerter Verfahren“

Variante 3: Simultane Pulveraktivkohle-Dosierung in die Belegung

Die Dimensionierung der Anlagen erfolgt in der Machbarkeitsstudie überschlägig mit den definierten Bemessungsabflüssen. Alle Konzepte sind in Lageplänen dargestellt.

Variante 1 beinhaltet den Umbau der bestehenden aufwärts durchströmten Sand-Filtrationsanlage zu Festbettfiltern mit granulierter Aktivkohle. Mit einem maximalen Zufluss zur Filteranlage von 222 l/s und einer max. Filtergeschwindigkeit von 10 m/h ist die Behandlung von ca. 99 % der Jahreswassermenge möglich. Im Regenwetterfall muss Wasser durch eine Umfahrung an den Filtern vorbeigeführt werden. Die Leerbettkontaktzeit ergibt sich bei der Auslegungswassermenge und einer Filtergeschwindigkeit von 6,93 m/h zu 22 min. Es wurde eine Filterstandzeit von 12 Monaten angenommen. Die VSV-Hochlast beträgt für die Kläranlage Freudenberg  $TS=5,8 \text{ g/l}$  und  $ISV=160 \text{ ml/g}$ . Die Simulation der Nachklärung ergibt, dass die Regenwetterbelastung mit beiden untersuchten Einlaufkonfigurationen (im aktuellen Betriebszustand und mit einem höhenvariablen Einlaufsystem) für einen  $ISV=160 \text{ ml/g}$  sicher bewältigt werden kann.

Die Grafik auf der folgenden Seite verdeutlicht das Schwerter Verfahren (Variante 2).

Variante 2:

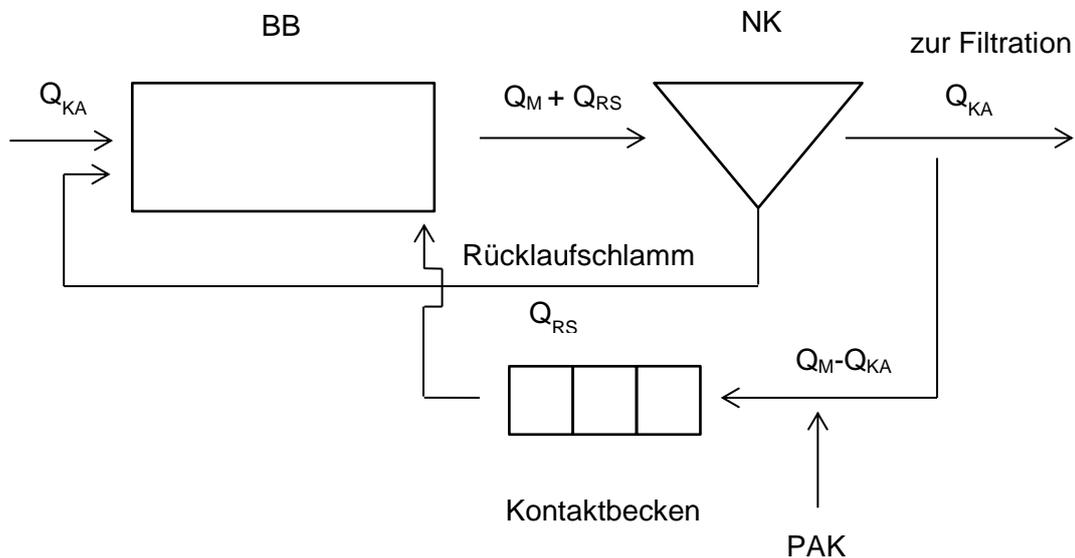


Abbildung 3.1: Verfahrensschema des Schwerter Verfahrens

Das Verfahren wurde auf der Kläranlage Schwerte des Ruhrverbands entwickelt. Ein Teilstrom der Nachklärung wird in einem kaskadierten Kontaktbecken (Gesamtvolumen 350 m<sup>3</sup>) mit PAK versetzt und in das Belebungsbecken zurückgeführt. Für die Bemessung der Variante wurden eine PAK-Dosiermenge von 12 mg/l sowie eine hydraulische Aufenthaltszeit im Kontaktbecken von 30 min angenommen. Die Rezirkulation erfolgt dynamisch mit dem Ziel einer konstanten hydraulischen Beaufschlagung der Nachklärung mit der maximalen Wassermenge  $Q_M$ . Durch die dauerhafte Belastung der Nachklärung und der Filter mit der maximalen Wassermenge  $Q_M$  sind negative Auswirkungen zu erwarten. Um den Anteil an biologisch aktiver Biomasse im Gesamtsystem nicht zu verringern, muss der TS-Gehalt in der Belebung erhöht werden, was ebenfalls Auswirkungen auf die Nachklärung hat. Die Simulation der Nachklärung ergibt, dass die Nachklärung beim Schwerter Verfahren bei dieser Lastkombination um ca. 32 % höher belastet ist als bei aktueller Betriebsweise. Die VSV-Hochlast (TS=5,8 g/l und ISV=160 ml/g) kann mit keiner der Einlaufgestaltungen bewältigt werden. Zudem liegt die Leistungsfähigkeit des Schwerter Verfahrens bei dieser Variante unterhalb des Bemessungswertes der Nachklärung nach DWA-A131.

Variante 3 beinhaltet eine simultane Dosierung von pulverisierter Aktivkohle in die Belebung. Die Grafik auf der folgenden Seite verdeutlicht das Verfahren.

Variante 3:

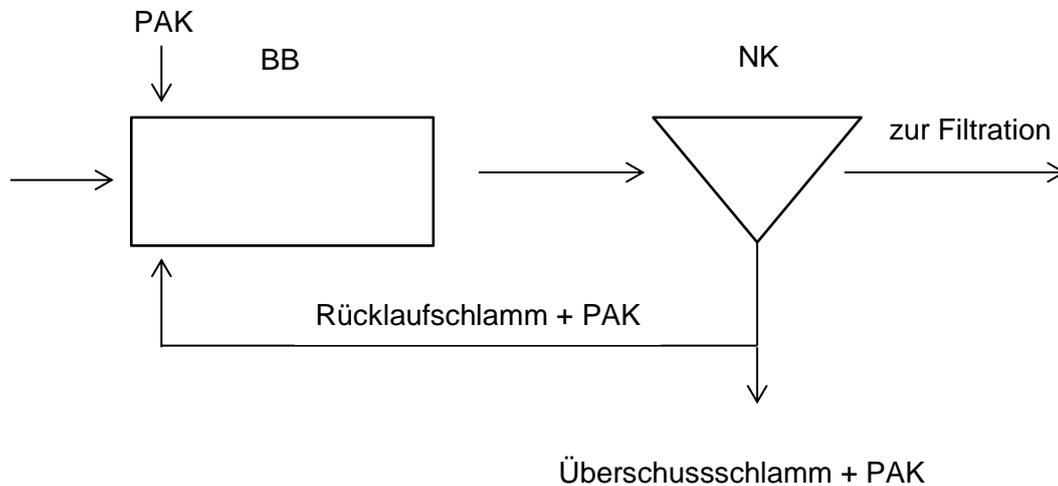


Abbildung 3.2: Verfahrensschema der simultanen PAK-Dosierung

Für die Bemessung der Variante wurde eine PAK-Dosiermenge von 20 mg/l angenommen. Zur Errichtung eines Silo- und Dosiersystems ist ein bautechnischer Eingriff nötig. Wie beim Schwerter Verfahren muss in der Folge der Zugabe von PAK der TS-Gehalt im Belebungsbecken erhöht werden, um den Anteil an biologisch aktiver Biomasse nicht zu verringern. Die Auswirkungen auf die Nachklärung wurden simuliert und in der Machbarkeitsstudie beschrieben. Die VSV-Hochlast kann mit keiner der Einlaufgestaltungen ausreichend sicher (Klarwasserhöhe mindestens einen Meter) bewältigt werden. Bei Implementierung einer simultanen PAK-Dosierung ist die Behandlung eines Schlammindezes bis zu 140 ml/g mit dem Bestandseinlaufbauwerk und 150 ml/g mit einem höhenvariablen Einlaufsystem möglich.

## 4 VARIANTENVERGLEICH UND ZUSAMMENFASSUNG

### 4.1 Betrachtung der Kosten

Es wird deutlich, dass für die Implementierung des Schwerter Verfahrens auf der Kläranlage Freudenberg höhere Investitionen erforderlich sind als für eine Umrüstung der bestehenden Filtration oder eine simultane Dosierung von pulverisierter Aktivkohle.

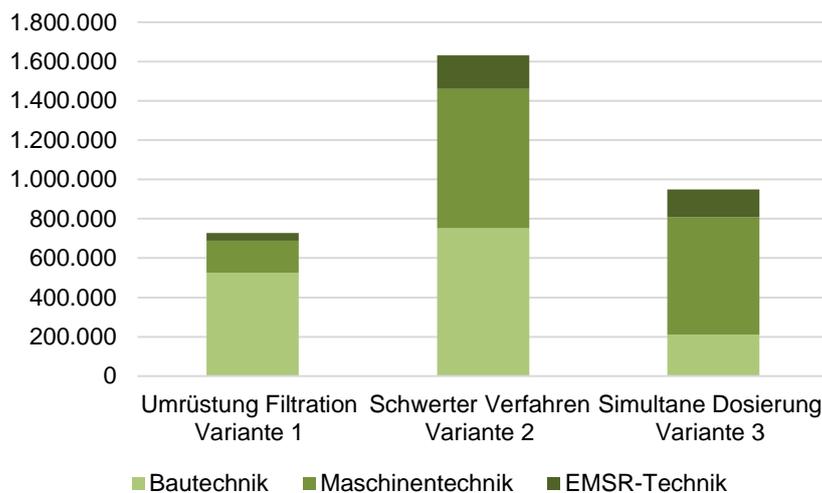


Abbildung 4.1: Bruttoinvestitionskosten [€]

In der Jahreskostenberechnung wird deutlich, dass das Schwerter Verfahren die höchsten Kosten verursacht. Abbildung 4.2 verdeutlicht die Relationen. Es wird deutlich, dass die Betriebskosten, insbesondere die Kosten für die Aktivkohle, für alle Varianten den größten Teil der Jahreskosten ausmachen.

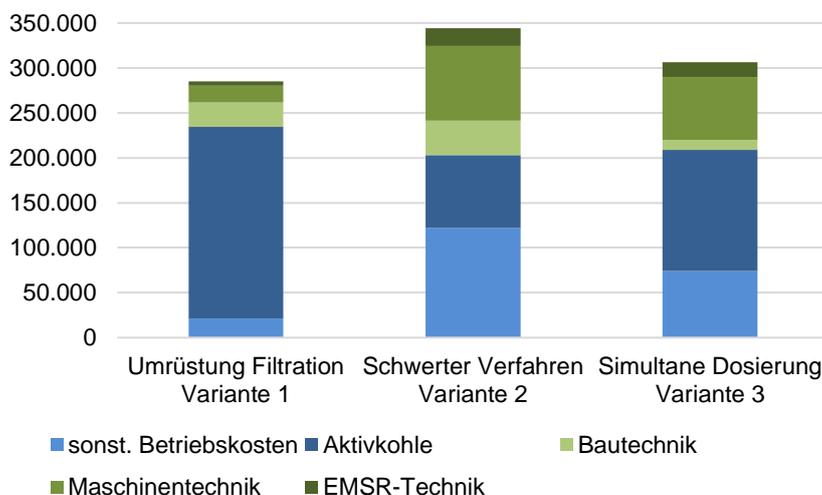


Abbildung 4.2: Bruttojahreskosten [€/a]

Für den Kostenvergleich der Varianten wurde für die Umrüstung der Filtration eine Filterstandzeit von 12 Monaten angenommen. Um den Einfluss der Filterstandzeit für die Variante 1 sowie die erforderliche Dosierrate an PAK für die Varianten 2 und 3 zu ermitteln, sind in der Machbarkeitsstudie Sensitivitätsanalysen zu diesen Variablen enthalten. Bei einer Filterstandzeit von mehr als 10 Monaten und einer Erhöhung der PAK-Zugabemenge auf 12 mg/l (Variante 2) bzw. 18 mg/l (Variante 3) ergeben sich wirtschaftliche Vorteile für Variante 1.

Aus Tabelle 4.1 können die spezifischen Jahreskosten entnommen werden. Die Kosten wurden auf die Bruttojahreskosten bezogen.

Tabelle 4.1: spezifische Jahreskosten

Zusammenfassung der spezifischen Jahreskosten	Umrüstung Filtration Variante 1	Schwerter Verfahren Variante 2	Simultane Dosierung Variante 3
Bezogen auf 21.000 Einwohnerwerte [€/ (EW·a)]	<b>13,57</b>	<b>16,40</b>	<b>14,59</b>
Bezogen auf 3.148.723 m <sup>3</sup> /a behandelte Abwassermenge [€/ (m <sup>3</sup> ·a)]	<b>0,09</b>	<b>0,11</b>	<b>0,10</b>
Bezogen auf 725.000 m <sup>3</sup> /a gebührenrelevante Abwassermenge [€/ (m <sup>3</sup> ·a)]	<b>0,39</b>	<b>0,48</b>	<b>0,42</b>

Ebenso wie die Betriebs- und Jahreskosten übersteigen die spezifischen Jahreskosten für die Variante 2 die der Varianten 1 und 3. Da die gebührenrelevante Abwassermenge etwa 24 % der behandelten jährlichen Wassermenge ausmacht, unterscheiden sich die spezifischen Kosten entsprechend der Bezugsgröße deutlich.

## 4.2 Nicht-monetäre Aspekte

Um eine umfassende Verfahrensempfehlung aussprechen zu können, ist neben der Betrachtung der Kosten eine Berücksichtigung weiterer Kriterien notwendig. Die folgende Tabelle 4.2 stellt diese Kriterien in einem übersichtlichen Bewertungsverfahren gegenüber.

Tabelle 4.2: Vergleich der Varianten

	Umrüstung Filtration Variante 1	Schwerter Verfahren Variante 2	Simultane Dosierung Variante 3
Investitionskosten [€brutto]	726.629	1.631.534	949.996
Jahreskosten [€brutto/a]	284.984	344.448	306.362
Flächenverbrauch	++	--	+/-
Personalbedarf	-	-	+/-
Zeitliche Umsetzbarkeit/ Terminschiene	+	-	+/-
Auswirkung auf die Nachklärung	+/-	-	-

	<b>Umrüstung Filtration Variante 1</b>	<b>Schwerter Verfahren Variante 2</b>	<b>Simultane Dosierung Variante 3</b>
Primärenergieeinsatz und CO <sub>2</sub> -Emissionen	-	--	--
Erprobungsgrad der Technologie	+	+	+
Risiko	+	-	+/-

Auswirkungen ++ sehr positiv, + positiv, +/- neutral, - negativ, -- sehr negativ

Unter Betrachtung aller Kriterien ist die Umrüstung der vorhandenen DynaSand-Filter auf einen Betrieb mit granulierter Aktivkohle als Vorzugsvariante zu betrachten.

### 4.3 Zusammenfassung

In der Machbarkeitsstudie wurde die Umsetzbarkeit von drei adsorptiven Verfahren zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Freudenberg verglichen. Die im Rahmen der Machbarkeitsstudie durchgeführte Analytik in Bezug auf Mikroschadstoffkonzentrationen belegt einen Einfluss des Abflusses der Nachklärung auf den Asdorfer Bach.

Die Umrüstung der vorhandenen DynaSand-Filter zum Betrieb mit granulierter Aktivkohle (Variante 1) ermöglicht die Nutzung vorhandener Infrastruktur. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Kosten dieser Variante vor allem von der erzielbaren Filterstandzeit abhängen. Mit einer Filterstandzeit von 12 Monaten liegen die Jahreskosten dieser Variante etwa gleich hoch wie die Kosten für die simultane Dosierung in die Belebung. Im Regenwetterfall muss Wasser durch eine Umfahrung an den Filtern vorbeigeführt werden. Um einen ggf. in diesen Fällen erhöhten Phosphorausstrag in das Gewässer zu minimieren, kann eine Umrüstung der Nachklärung mit einem höhenvariablen Einlaufbauwerk in Betracht gezogen werden. Dieses sichert auch bei niedrigem Schlamm Spiegelstand die „Flockenfilterwirkung“ und mittlere AFS < 3 mg/l selbst mit kritischem Schlamm. Die Simulation der Nachklärung ergibt, dass die Regenwetterbelastung mit beiden untersuchten Einlaufkonfigurationen für einen ISV=160 ml/g sicher bewältigt werden kann. Eine Umrüstung der bestehenden Filtration, ggf. in Verbindung mit einem höhenvariablen Zulauf der Nachklärung, wird als die Vorzugsvariante betrachtet. Negative Auswirkungen auf die bereits jetzt schon sehr guten Ablaufwerte, die durch die MIRAR-Regelung für N<sub>ges</sub> und NH<sub>4</sub>-N erreicht werden, sind durch die Umsetzung dieser Variante nicht zu erwarten.

Die Implementierung des Schwerter Verfahrens (Variante 2) zeichnet sich durch hohe Kosten aus. Durch den Betrieb eines Kontaktbeckens, sowie eines Pumpwerks zu dessen Beschickung wird der Personalbedarf der Kläranlage durch diese Variante erhöht. Zudem sind durch die dauerhafte Belastung der Nachklärung und der Filter mit der maximalen Wassermenge Q<sub>M</sub> negative Auswirkungen zu erwarten. Um den Anteil an biologisch aktiver Biomasse in der Belebung nicht zu verringern, muss der TS-Gehalt in der Belebung erhöht

werden, was ebenfalls Auswirkungen auf die Nachklärung hat. Die Simulation der Nachklärung ergibt, dass die Nachklärung beim Schwerter Verfahren bei dieser Lastkombination um ca. 32 % höher belastet ist als bei aktueller Betriebsweise. Die VSV-Hochlast kann mit keiner der Einlaufgestaltungen bewältigt werden. Zudem liegt die Leistungsfähigkeit des Schwerter Verfahrens bei dieser Variante unterhalb des Bemessungswertes der Nachklärung nach DWA-A131. Aus diesem Grund kann diese Variante zur Umsetzung nicht empfohlen werden.

Eine simultane Dosierung von pulverisierter Aktivkohle in die Belebung ist ebenfalls teurer als die Variante 1. Für die Errichtung eines Silo- und Dosiersystems ist ein bautechnischer Eingriff nötig. Wie beim Schwerter Verfahren, muss in der Folge der Umsetzung dieser Variante der TS-Gehalt im Belebungsbecken erhöht werden. Die Auswirkungen auf die Nachklärung wurden simuliert und in der Machbarkeitsstudie beschrieben. Die VSV-Hochlast (TS=5,8 g/l und ISV=160 ml/g) kann mit keiner der Einlaufgestaltungen ausreichend sicher (Klarwasserhöhe mindestens einen Meter) bewältigt werden. Bei Implementierung einer simultanen PAK-Dosierung ist die Behandlung eines Schlammindex bis zu 140 ml/g mit dem Bestandseinlaufbauwerk und 150 ml/g mit einem höhenvariablen Einlaufsystem möglich. Aus diesem Grund sollte die Umsetzung der simultanen Dosierung mit einer Umrüstung der Nachklärbecken auf ein höhenvariables Einlaufbauwerk verbunden werden.

Eine explizite Verringerung der Konzentration für  $P_{ges}$  als Folge der untersuchten Spurenstoffeliminationsverfahren konnte nicht festgestellt werden. In Bezug auf die Eliminationsleistung zeigen die untersuchten Adsorptionsverfahren bei Betrachtung der Leitparameter der Spurenstoffe gute Ergebnisse. Allerdings befinden sich im Ablauf der Nachklärung der Kläranlage Freudenberg ebenfalls erhöhte Konzentrationen an Spurenstoffen (Diclofenac und Gabapentin), welche mittels der untersuchten Behandlung nicht unterhalb des jeweiligen Richtwerts reduziert werden können. Prinzipiell erhöhen Kombinationsverfahren (Adsorption und Oxidation) die Reduktion der Spurenstoffkonzentration. Ein effektives Verfahren zur Elimination von Gabapentin aus dem Wasser ist Teil der aktuellen Forschung.