

Wissenschaftlich-technische Begleitung der vierten Reinigungsstufe der Kläranlage Greven

Kurzfassung des Abschlussberichtes

Angefertigt durch: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Dr.-Ing. Elmar Brüggling
Tobias Weide M.Eng.
Damian Wevelsiep M.Eng.

Auftraggeber: Technische Betriebe Greven
Rathausstraße 6
48268 Greven



Technische Betriebe Greven

November 2021

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	MATERIAL UND METHODEN	2
2.1	BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHTEN KLÄRANLAGE	2
2.2	UNTERSUCHUNGSPROGRAMM	3
2.3	SPURENSTOFFE UND STANDARDPARAMETER.....	3
2.4	PULVERAKTIVKOHLE-SCHLUPF	6
2.5	MIKROPLASTIK.....	6
2.6	BETRIEBLICHER AUFWAND, ENERGIEBEDARF, SCHLAMMENTSORGUNG UND ABWASSER- ABGABE.....	7
3	ERGEBNISSE	8
3.1	ELIMINATION VON SPURENSTOFFEN UND STANDARDPARAMETERN	8
3.2	AKTIVKOHLE-SCHLUPF	10
3.3	ELIMINATION VON MIKROPLASTIK	10
3.4	BETRIEBLICHER AUFWAND, ENERGIEBEDARF, SCHLAMMENTSORGUNG UND ABWASSER- ABGABE.....	11
4	FAZIT UND AUSBLICK	13
5	LITERATUR	15

1 EINLEITUNG

Um Spurenstoffe aus dem Abwasser zu eliminieren wird seit Oktober 2020 bei den Technischen Betrieben Greven eine vierte Reinigungsstufe (VR) betrieben. Dabei erfolgt die Elimination der Spurenstoffe über den Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK). Diese wird als PAK-Suspension in die Zulaufstrecke zu drei in Reihe geschalteten Kontaktreaktoren hinzudosiert. Anschließend durchläuft das Abwasser mit der PAK vier nachgeschaltete Tuchfilter. Die so zurückgehaltene PAK wird über Saugvorrichtungen von der Oberfläche der Tuchfilter abgesogen und kann wahlweise in die Zulaufstrecke zu den Kontaktreaktoren und/oder in die Belebungsbecken rezirkuliert werden. Aus wirtschaftlichen Gründen und zur Verringerung des Platzbedarfs wurde von einem Sedimentationsbecken zwischen den Kontaktreaktoren und Tuchfiltern abgesehen. Dadurch konnte ca. 50 % der gesamten Baufläche eingespart und die Baukosten um ca. 20 % reduziert werden. Zu der beschriebenen Verfahrensvariante der Spurenstoffelimination liegen noch keine betrieblichen und wissenschaftlichen Erkenntnisse vor [1, 2, 3].

Um betriebliche und wissenschaftliche Erkenntnisse über die Funktionsweise einer VR, bestehend aus Kontaktreaktor und nachgeschalteter Tuchfiltration, zu gewinnen, wurde das Forschungsteam von Prof. Dr.-Ing Christof Wetter und Dr.-Ing. Elmar Brüggling der FH Münster mit der wissenschaftlichen Begleitung im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens beauftragt. Die wissenschaftliche Begleitung hatte das Ziel, die Funktionsweise der beschriebenen Verfahrensvariante hinsichtlich der Spurenstoffelimination und dem Rückhalt von PAK zu überprüfen. Darüber hinaus sollte überprüft werden, ob der Einsatz von PAK zur Elimination von festgelegten Standardparametern, wie beispielsweise dem chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) oder der Färbung, führt. Zusätzlich sollte aufgrund des Einsatzes von Tuchfiltern die Elimination von Mikroplastik aus dem Abwasser untersucht werden.

Des Weiteren sollten Aspekte wie der betriebliche Aufwand, der Energiebedarf, die Schlamm Entsorgung und die Möglichkeit der Reduzierung der Abwasserabgabe untersucht werden.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Beschreibung der untersuchten Kläranlage

Seit 2007 ist die Kläranlage (KA) Greven unverändert für einen Anschlusswert von 90.000 Einwohnerwerten (EW) ausgelegt. Gegenwertig wird die KA Greven mit etwa 65.000 EW und einem maximalen Bemessungszufluss von 2.400 m³/h ausgelastet. Im Jahr 2020 wurde die KA Greven um eine VR erweitert. Dabei wird das gesamte Abwasser aus den Nachklärbecken der VR zugeführt. Eine Aufsicht der VR der KA Greven ist in **Abbildung 1** dargestellt.

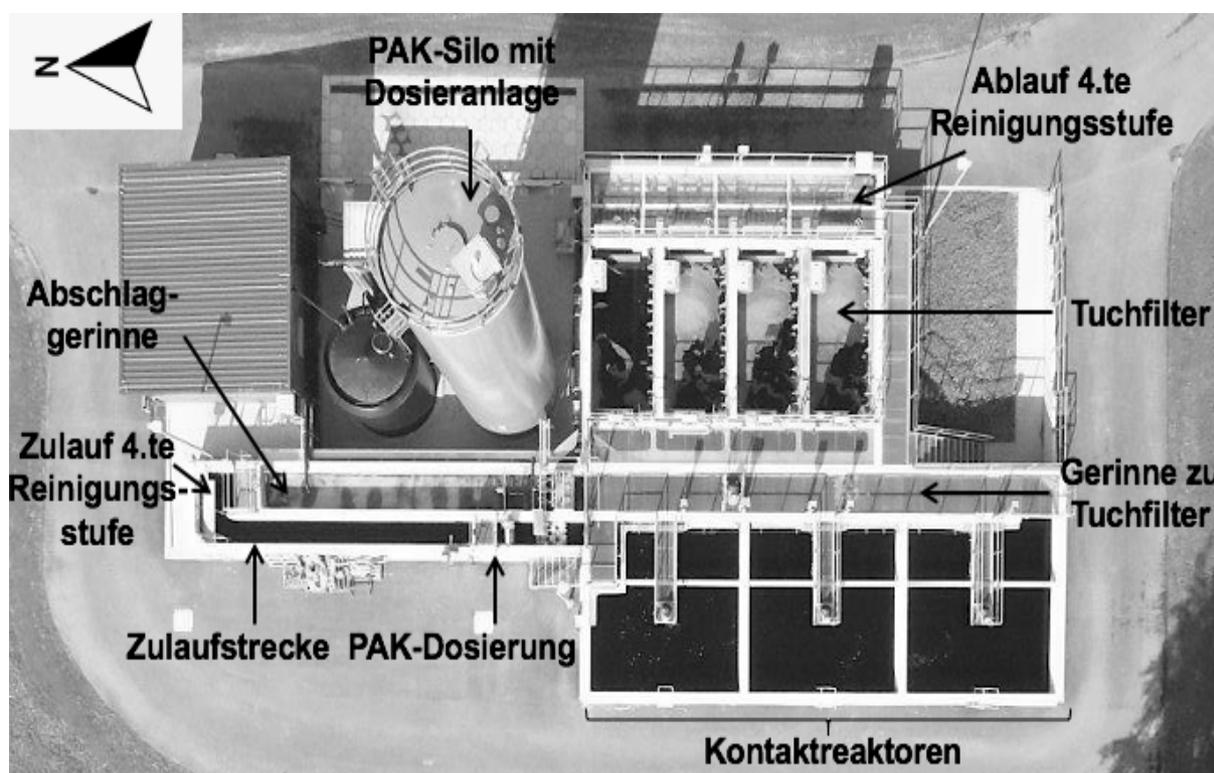


Abbildung 1: Vierte Reinigungsstufe (VR) der Kläranlage Greven, 2020

Die PAK wird in die Zulaufstrecke zu den Kontaktreaktoren dosiert. Um dabei eine definierte PAK-Konzentration zu dosieren, wird die PAK aus dem PAK-Silo mittels Wiegeeinrichtung gewogen und an den Zulaufvolumenstrom angepasst. Ein Einspültrichter stellt daraus die PAK-Suspension her, die über einen statischen Mischer in das Abwasser eingebracht wird. Anschließend durchläuft das mit PAK versetzte Abwasser die Kontaktreaktoren, die jeweils ein Volumen von 130 m³ aufweisen. Darüber hinaus sind aus energetischen Gründen die Kontaktreaktoren mit einem Hyperboloid-Rührwerk ausgestattet. Aus den Kontaktreaktoren wird das Abwasser über ein Gerinne den vier Tuchfiltern zugeführt. Um eine bessere Abscheidung der PAK auf den Tuchfiltern zu erreichen, wird

Eisen(III)-chlorid in die Kontaktreaktoren und ein Flockungshilfsmittel in das Gerinne zu den Tuchfiltern dosiert. Die PAK wird über ein Saugsystem von der Tuchfilteroberfläche abgesogen. Die so abgesogene PAK kann sowohl anteilig in das Belebungsbecken als auch in die Zulaufstrecke zu den Kontaktreaktoren rezirkuliert werden. Im Regenwetterfall erfolgt eine Teilstrombehandlung des Abwassers mit PAK. Dabei ist die Zulaufstrecke zu den Kontaktreaktoren für einen Abwasservolumenstrom von maximal 550 m³/h ausgelegt. Darüber hinausgehende Volumenströme werden direkt über das Abschlaggerinne zu den Tuchfiltern geführt. Dabei sind die Tuchfilter für den maximalen Bemessungszufluss der KA Greven ausgelegt.

2.2 Untersuchungsprogramm

Für eine Überprüfung der Funktionsweise der beschriebenen PAK-Verfahrensvariante wurde ein Zeitraum vom 01.06.2019 bis zum 01.06.2021 vorgesehen. Für das Abwassermonitoring der Spurenstoffe, Standardparameter und Mikroplastik wurde dieser Zeitraum in zwei Monitoringzeiträume eingeteilt. Das erste Monitoring wurde im Zeitraum vom 01.09.2019 bis zum 31.05.2020 durchgeführt und beinhaltete eine Bestandsaufnahme der Spurenstoffe und Standardparameter im Abwasser vor der Inbetriebnahme der VR. Im anschließenden Zeitraum vom 01.06.2020 bis zum 31.08.2020 wurde eine für das zweite Monitoring geeignete PAK und PAK-Dosis durch Laborversuche und großtechnische Versuche auf der KA Greven ermittelt. Im zweiten Monitoring vom 01.09.2020 bis zum 31.05.2021 wurden die Spurenstoffe, Standardparameter und Mikroplastik im Abwasser nach der Inbetriebnahme der VR untersucht. Zusätzlich wurde im zweiten Monitoring der PAK-Schlupf, betrieblicher Aufwand, Energiebedarf und Schlammanfall untersucht.

2.3 Spurenstoffe und Standardparameter

Die Festlegung der zu untersuchenden Standardparameter und Spurenstoffe erfolgte durch eine Machbarkeitsstudie des Ingenieurbüros Rummler + Hartmann GmbH unter Berücksichtigung der Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination [1, 2]. Aufgrund der durchgeführten Abwasseranalysen im Ablauf Vorklärbecken (VKB) der KA Greven wurden die in **Tabelle 1** aufgelisteten Spurenstoffe festgelegt. Darüber hinaus ist die anzuwendende Analyseverfahren angegeben. Die festgelegten Standardparameter und die dazugehörige Analyseverfahren sind in **Tabelle 2** aufgelistet.

Tab. 1: Festgelegte Spurenstoffe und Analyseverfahren

Mikroschadstoff	Einheit	Analyseverfahren
Carbamazepin	µg/l	LC-MS/MS
Diclofenac	µg/l	LC-MS/MS
Sulfamethoxazol	µg/l	LC-MS/MS
Metoprolol	µg/l	LC-MS/MS
Clarithromycin	µg/l	LC-MS/MS
1H-Benzotriazol	µg/l	LC-MS/MS

Tab. 2: Festgelegte Standardparameter und Analyseverfahren

Standardparameter	Einheit	Norm
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	mg/l	DIN 38409-H 41 (1980-12)
Gesamt gebundener Stickstoff (TN _b)	mg/l	DIN EN 12260 (2003-12)
Ammoniumstickstoff (NH ₄ -N)	mg/l	DIN EN ISO 11732 (2005-05)
Nitratstickstoff (NO ₃ -N)	mg/l	DIN EN ISO 10304-1 (2009-07)
Nitritstickstoff (NO ₂ -N)	mg/l	DIN EN 26777 (1993-04)
Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)	mg/l	DIN EN 1484 (2019-04)
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	mg/l	DIN EN ISO 9888 (1999-11)
Gesamtphosphor (P _{ges})	mg/l	DIN EN ISO 11885 (2009-09)
Abfiltrierbare Stoffe (AFS)	mg/l	DIN EN 872 (2005-04)
Färbung 436 nm	1/m	DIN EN ISO 7887 (2012-04)
Färbung 525 nm	1/m	DIN EN ISO 7887 (2012-04)
Färbung 620 nm	1/m	DIN EN ISO 7887 (2012-04)
Zink (Zn)	mg/l	DIN EN ISO 11885 (2009-09)
Kupfer (Cu)	mg/l	DIN EN ISO 11885 (2009-09)
Polyvinylalkohol (PVA)	mg/l	WEC 168

WEC 168: Analyseverfahren der Wessling GmbH in Absprache mit Auftraggeber

Die Entnahme der auf die Spurenstoffe und Standardparameter zu analysierenden Abwasserproben erfolgte über zeitproportionale 24-Stunden Mischproben am Ablauf VKB und am Ablauf VR der KA Greven. Dabei wurden die 24-Stunden Mischprobe zeitgleich am Ablauf VKB und am Ablauf VR entnommen. Um die hydraulische Verweilzeit in der KA Greven bei der Spurenstoffelimination zu berücksichtigen, wurden im zweiten Monitoring zusätzlich 24-Stunden Mischproben am Ablauf VR mit 12 Stunden Zeitversatz zum Ablauf VKB entnommen. Diese Ergebnisse sollten mit der zeitgleichen Probenahme verglichen werden. Insgesamt wurden jeweils für das erste und zweite Monitoring 16 Analysen auf Spurenstoffe pro Probenahmestelle vorgesehen. Aufgrund dieser Limitierung an Proben wurde ausschließlich die Fahrweise untersucht, in der 100 % der PAK

von der Tuchfilteroberfläche in die Belebungsbecken rezirkuliert werden. Die Analyse der Proben auf die festgelegten Spurenstoffe und Standardparameter wurde durch die Wessling GmbH als externes AnalySELabor durchgeführt.

Für die Ergebnisse des ersten und zweiten Monitorings hinsichtlich der Spurenstoffe und Standardparameter wurde der konservative Eliminationsgrad der einzelnen Parameter für einen Probenahmetag nach **Formel 1** berechnet. Bei Ablaufkonzentrationen kleiner der Bestimmungsgrenze (BG) wird dafür das Analyseergebnis gleich der BG gesetzt. Anschließend wurde nach **Formel 2** der mittlere konservative Eliminationsgrad eines Parameters bestimmt. Für die Ermittlung der gesamten Elimination der Spurenstoffe wurde anschließend die **Formel 3** verwendet.

Als Ergebnis wird der Mittelwert und die Standardabweichung angegeben. Darüber hinaus werden die Ergebnisse grafisch mittels Boxplot dargestellt. Zusätzlich werden statistische Methoden angewendet, um Unterschiede der zentrale Tendenz und Zusammenhänge aufzuzeigen.

$$\eta_p = \left[\frac{c_{VKB} - c_{KA}}{c_{VKB}} \right] \cdot 100 (\%)$$

Formel 1 mit:

η_p : Eliminationsgrad eines Parameters für einen Probenahmetag ,p'
 $c_{\bar{x},VKB}$: Konzentration des Parameters ,p' im Ablauf Vorklärbecken (VKB)
 $c_{\bar{x},KA}$: Konzentration des Parameters ,p' im Ablauf Kläranlage (KA)

$$\overline{x_{E,p}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_{p_i}$$

Formel 2 mit:

$\overline{x_{E,p}}$: Empirischer Mittelwert des Eliminationsgrads eines Parameters ,p'
 η_{p_i} : Messwerte der einzelnen Eliminationsgrade eines Parameters ,p'

$$\overline{x_E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \overline{x_{E,p_i}}$$

Formel 3 mit:

$\overline{x_E}$: empirischer Mittelwert des Eliminationsgrads aller Spurenstoffe
 $\overline{x_{E,p}}$: Empirischer Mittelwert des Eliminationsgrads eines Spurenstoffs ,p'

2.4 Pulveraktivkohle-Schlupf

Um den PAK-Schlupf zu ermitteln, wurde am Ablauf VR ein automatischer Probenehmer installiert. Für die Analyse des Abwassers auf PAK wurde eine zeitproportionale 24-Stunden Mischprobe aus dem Ablauf VR entnommen. Die Analyse des Abwassers auf PAK wurde durch die RWTH Aachen mittels Gradienten TOC-Methode durchgeführt [4, 5]. Zuvor wurde eine Kalibrierungsgerade mit der auf der KA Greven verwendeten PAK erstellt. Insgesamt wurden sechs Analysen auf PAK-Schlupf im zweiten Monitoring durchgeführt. Als Ergebnis des PAK-Schlupfs wurde zum einen die Konzentration von PAK im Ablauf der VR ausgewertet und zum anderen der mittlere Pulveraktivkohle-Rückhalt herangezogen.

2.5 Mikroplastik

Für die Analyse des Mikroplastiks wurden am Zulauf VR und am Ablauf VR automatische Probenehmer installiert. Für die Probenahme des Abwassers wurde eine zeitproportionale 7-Tage Mischprobe mit einem Probenahmenvolumen von 2.520 l verwendet, da sich diese Art der Probenahme in Voruntersuchungen als vorteilhaft herausstellte. Bei der Probenahme wurde das Abwasser durch zwei in Reihe geschaltete Edelstahl-Kerzenfilter gezogen. Der erste Edelstahl-Kerzenfilter beinhaltet einen 100 µm Filter und der zweite Edelstahl-Kerzenfilter einen 20 µm Filter. Insgesamt wurden für das zweite Monitoring jeweils neun Analysen auf Mikroplastik aus dem Zulauf der VR und dem Ablauf der VR durchgeführt.

Die Analyse der Abwasserproben auf Mikroplastik wurde durch die Wessling GmbH als unabhängiges Analyselabor durchgeführt. Dafür wurden die Edelstahl-Kerzenfilter nach der Probenahme aus dem Probenehmer entnommen und nach den in **Abbildung 2** dargestellten Verfahrensschritten aufbereitet. Anschließend wurden die Mikroplastikpartikel gezählt und die Art des Mikroplastiks bestimmt. Für die Zählung des Mikroplastiks im Abwasser wurde die Raman-Spektroskopie eingesetzt. Dafür wurden im letzten Probenvorbereitungsschritt die Mikroplastikpartikel filtriert.

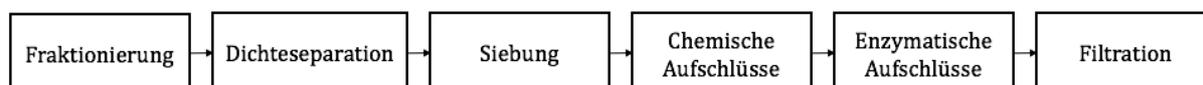


Abbildung 2: Probenvorbereitungsschritte zur Separation von Mikroplastik

Durch die Filtration liegen die Mikroplastikpartikel getrennt voneinander auf einem Planfilter vor und können so durch die Raman-Spektroskopie erfasst werden. Die Trenngrenze liegt dabei bei 150 µm. Somit werden Partikel größer 150 µm vollständig über die gesamte Filteroberfläche ausgezählt. Partikel die kleiner 150 µm sind werden durch eine statistische Datenanalyse ausgewertet. Dazu wird nur ein Teil der Filterfläche nach festgelegten Kriterien ausgezählt und dann auf die gesamte Filterfläche hochgerechnet. Die Bestimmung hinsichtlich der Art des Mikroplastiks erfolgte über das Analyseverfahren der Pyrolyse-Gaschromatographie-Massenspektrometrie (Py-GC/MS), mit dem Ziel zu untersuchen, ob Mikroplastik durch die Tuchfilter in das Abwasser eingetragen wurde. Die Ergebnisse der einzelnen Probenahmen sowie der zu untersuchende Eintrag von Mikroplastik durch das Tuchfiltermaterial werden berichtet und beschrieben.

2.6 Betrieblicher Aufwand, Energiebedarf, Schlamm Entsorgung und Abwasserabgabe

Für die Erfassung des betrieblichen Aufwands wurden die Arbeitsstunden im zweiten Monitoring ausgewertet sowie die Aufgabenbereiche an der VR festgehalten.

Um den Energiebedarf der VR zu erfassen, wurden Stromzähler an den einzelnen Verbrauchern der VR integriert. Darüber hinaus wurde der gesamte Energiebedarf der KA Greven erfasst.

Um zu untersuchen, ob es durch den Einsatz von PAK zu einem Mehrschlammanfall auf der KA Greven kommt, wurde der Schlammanfall aus den zum zweiten Monitoring analogen Zeiträumen seit 2017 ausgewertet. Darüber hinaus wurde statistisch ausgewertet, ob der Einsatz von PAK zu einer verbesserten Schlammentwässerung führt. Dazu wurde der Trockenrückstand (TR) des entwässerten Schlammes für das zweite Monitoring mit den analogen Zeiträumen seit 2017 statistisch ausgewertet.

Für eine Beurteilung, ob die Abwasserabgabe der letzten drei Jahre mit den Investitionskosten der VR nach § 10, Abs. 3 AbwAG verrechnet werden können, wurden die Daten der Selbstüberwachung vor und nach der Inbetriebnahme der VR sowohl für Trockenwettertage als auch Trocken- und Regenwettertage ausgewertet. Dabei wurden die abgabepflichtigen Parameter CSB, N_{anorg} und P_{ges} betrachtet. Eine Verrechnung der Investitionskosten der VR nach § 10, Abs. 3 AbwAG ist dann möglich, wenn die Fracht eines abgabepflichtigen Parameters nach der Inbetriebnahme der VR um mindestens 20 % reduziert wurde.

3 ERGEBNISSE

3.1 Elimination von Spurenstoffen und Standardparametern

Als geeignete PAK-Dosis für das zweite Monitoring wurden 15 mg PAK/l ermittelt. Dabei wurden 10 mg PAK/l, 15 mg PAK/l und 20 mg PAK/l untersucht. Bei der Auswahl der PAK war neben dem Eliminationsgrad, Preis und Herkunftsland vor allem eine nachhaltige Herstellung der PAK ein wichtiges Auswahlkriterium. Die für das zweite Monitoring ausgewählte PAK ist 100 % Restholz basiert.

In **Abbildung 3** ist der konservative Eliminationsgrad der Spurenstoffe für das erste und zweite Monitoring sowie für das zweite Monitoring mit Zeitversatz dargestellt. Der mittlere Eliminationsgrad für das erste Monitoring betrug 26,3 % ($SD^1 = 8,8$ %) und für das zweite Monitoring 84,9 % ($SD = 7,8$ %). Für das zweite Monitoring mit Zeitversatz wurde ein mittlerer Eliminationsgrad von 84,2 % ($SD = 6,8$ %) ermittelt. Somit wurde hinsichtlich der Probenahme mit Zeitversatz kein statistischer Unterschied zur zeitgleichen Probenahme festgestellt.

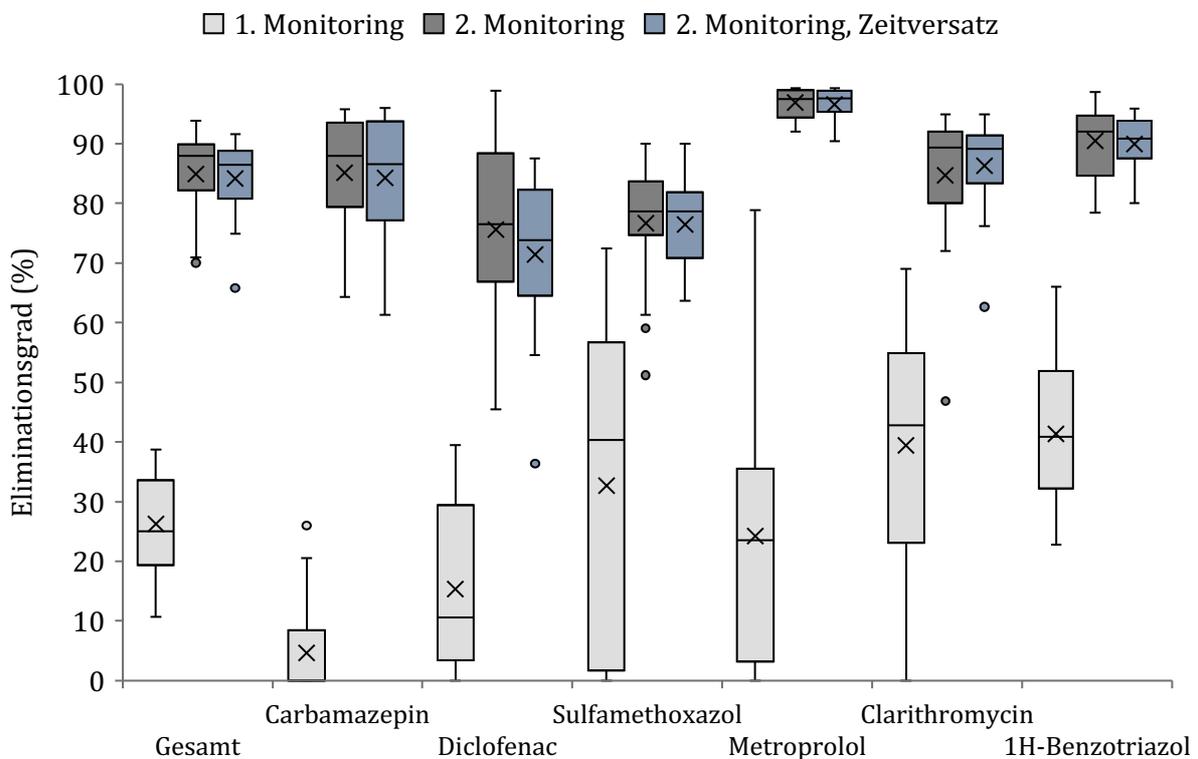


Abbildung 3: Eliminationsgrad Spurenstoffe, n = 16, c(PAK) = 15 mg/l

¹ SD: Standardabweichung (engl.: Standard deviation)

Der konservative Eliminationsgrad der Standardparameter ist in **Abbildung 4** dargestellt. Dabei wurde durch die statistische Auswertung festgestellt, dass der Parameter CSB durch den Einsatz von PAK im zweiten Monitoring einen verbesserten Eliminationsgrad aufwies. Dieser betrug im ersten Monitoring 90,5 % ($SD = 3,4$ %) und im zweiten Monitoring 93,4 % ($SD = 1,4$ %). Darüber hinaus wurde statistisch ein verbesserter mittlerer Eliminationsgrad für die unterschiedlichen Farbspektren der Färbung festgestellt. Dabei lag der mittlere Eliminationsgrad im ersten Monitoring zwischen 63,6 % und 69,8 % und im zweiten Monitoring zwischen 85,0 % und 88,6 %. Auch für den Parameter Kupfer wurde ein statistisch höherer mittlerer Eliminationsgrad im zweiten Monitoring festgestellt. Dabei führte jedoch die konservative Berechnung des Eliminationsgrad zu teilweise sehr niedrigen Eliminationsgraden sowohl im ersten als auch zweiten Monitoring.

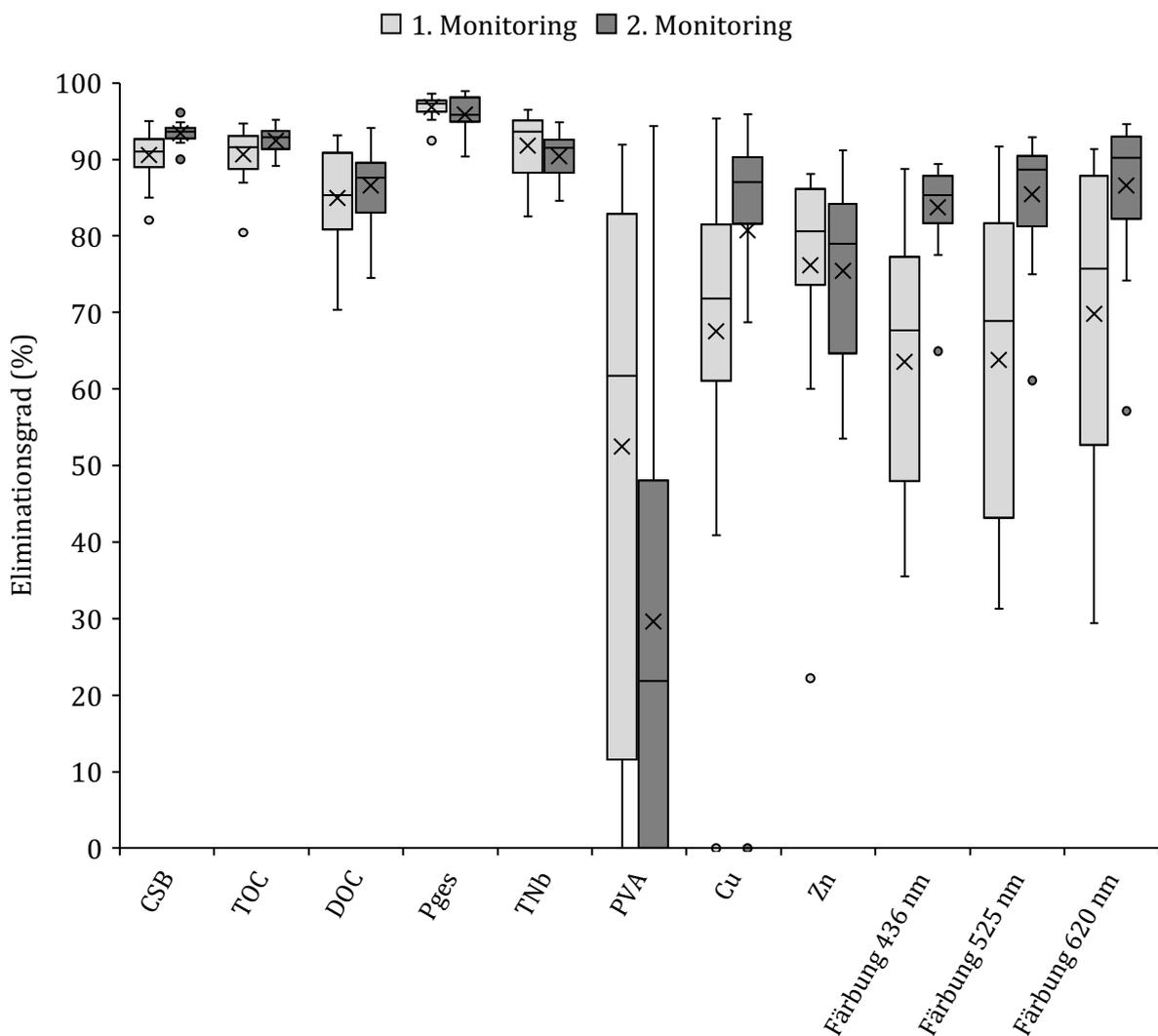


Abbildung 4: Eliminationsgrad Standardparameter, n = 16, c(PAK) = 15 mg/l

Darüber hinaus wurden die Ausgangsbedingungen des ersten und zweiten Monitorings miteinander verglichen, um zu bewerten, ob möglicherweise stark fluktuierende Konzentrationen der Spurenstoffe und Standardparameter am Ablauf VKB und Ablauf KA einen Einfluss auf die berechneten Eliminationsgrade hatten. Anhand der statistischen Ergebnisse wurde aufgezeigt, dass im Wesentlichen eine deutlich geringere Ablaufkonzentration der Spurenstoffe und Standardparameter im zweiten Monitoring einen Einfluss auf den Eliminationsgrad hatten und dies sehr wahrscheinlich auf den Einsatz von PAK zurückzuführen ist. Zusätzlich wurden Regenereignisse im ersten und zweiten Monitoring miteinander verglichen. Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen deuten darauf hin, dass der Einfluss von Regenereignissen in etwa gleiche Auswirkungen auf das erste und zweite Monitoring hatte. Gleichwohl wurden Unterschiede bei den Spurenstoffen und Standardparametern festgestellt.

Des Weiteren wurde die verwendete Stichprobengröße (n) von 16 auf Repräsentativität geprüft. Dabei lag eine ausreichende Repräsentativität der Stichprobengröße im ersten und zweiten Monitoring für die Grundgesamtheit vor. Für die Vergleichbarkeit zwischen den Zeiträumen des ersten und zweiten Monitorings lag keine Repräsentativität vor.

3.2 Aktivkohle-Schlupf

Im Ablauf der VR lag die PAK-Konzentration in allen sechs Analysen unter der Nachweisgrenze von $< 0,2$ mg PAK/l. Unter Annahme der Nachweisgrenze und einer PAK-Konzentration von 15 mg/l in den Kontaktreaktoren betrug der mittlere PAK-Rückhalt mindestens 98,6 % (n = 6).

3.3 Elimination von Mikroplastik

Die Ergebnisse der insgesamt neun Analysen aus dem Zulauf VR und Ablauf VR wiesen Unterschiede hinsichtlich der Anzahl, Größenklasse und Kunststoffart auf. In den Probenahmen eins, vier und sechs wurden Partikel der Kunststoffart Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) im Zulauf VR festgestellt. Diese wurden ausschließlich in die Größenklassen 6-10 μm und 10-50 μm eingeteilt. Am Ablauf VR wurde in keiner Probenahme ABS-Partikel festgestellt. Darüber hinaus wurde für die Probenahmen zwei, drei, sieben und neun festgestellt, dass im Zulauf VR deutlich mehr Partikel der Größenklasse 6-10 μm als im Vergleich zum Ablauf VR festgestellt wurden. Im Gegensatz dazu wurde in der Probenahme fünf eine geringe Anzahl von Partikeln der Größenordnung 6-10 μm im Zulauf VR und eine hohe Anzahl im Ablauf VR festgestellt. Für die Probenahmen eins und sechs wurden

sowohl im Zulauf VR als auch im Ablauf VR eine vergleichbare Anzahl von Partikeln gefunden, wobei sich diese hinsichtlich der Kunststoffart unterschieden.

Für die Größenordnung 10-50 µm wurde festgestellt, dass die Anzahl an Partikeln im Zulauf VR bzw. Ablauf VR sich je nach Kunststoffart und Probenahme unterschieden. Zum einen wurde für unterschiedliche Kunststoffarten in den Probenahmen zwei, fünf, sechs und sieben eine geringe Anzahl von Partikeln im Zulauf VR und im Vergleich dazu eine hohe Anzahl von Partikeln im Ablauf VR festgestellt. Zum anderen wurde in den Probenahmen acht und neun eine hohe Anzahl von Partikeln im Zulauf VR und eine geringe Anzahl von Partikeln im Ablauf VR festgestellt. Ähnlich Zusammenhänge wurden auch für die Größenklasse 50-100 µm und 100-1.000 µm festgestellt. Partikel der Größenklasse 1.000-5.000 µm wurden im Zulauf VR in den Probenahmen vier, fünf, sechs, sieben und neun festgestellt. Im Ablauf VR wurden Partikel dieser Größenklasse in keiner Probenahme gefunden.

Für die Bestimmung des Tuchfiltermaterials wurde ein Produktmuster des Herstellers verwendet. Dabei wurde ausschließlich Polyethylenterephthalat (PET) nachgewiesen. In den Probenahmen eins bis drei wurden sowohl im Zulauf VR als auch im Ablauf VR keine Partikel bestehend aus PET nachgewiesen. In den Probenahmen fünf und sieben wurden im Zulauf VR sehr wenige und im Ablauf VR keine Partikel nachgewiesen. In den Probenahmen vier und neun wurde eine relativ hohe Anzahl an Partikeln im Zulauf VR festgestellt. Im Ablauf VR wurden diese jedoch nicht mehr nachgewiesen. In der Probenahme acht wurden im Zulauf VR keine Partikel aus PET festgestellt. Gleichwohl wurden Partikel aus PET der Größenordnung 10-50 µm im Ablauf VR festgestellt. Probenahme sechs wies im Zulauf VR eine hohe Anzahl von Partikel aus PET der Größenklasse 6-10 µm und 10-50 µm auf. Eine ähnlich hohe Anzahl von Partikeln aus PET wurde auch im Ablauf VR für die gleichen Größenklassen festgestellt. Zusätzlich wurden jedoch auch im Ablauf VR Partikel aus PET der Größenklassen 50-100 µm und 100-1.000 µm nachgewiesen.

3.4 Betrieblicher Aufwand, Energiebedarf, Schlamm Entsorgung und Abwasserabgabe

Im Zeitraum des zweiten Monitorings wurden vom 01.10.2020 bis zum 31.05.2021 insgesamt durch das Personal der KA Greven 390 Arbeitsstunden an der VR als betrieblicher Aufwand geleistet. Dies entspricht einer durchschnittlichen Arbeitszeit von 48,75 h pro

Monat. Typische Aufgaben waren dabei der tägliche Kontrollgang über die VR, Messsonden im Zu- und Ablauf VR reinigen und kalibrieren, Algenentfernung im Gerinne VR, Reinigung von Rohrleitungen und Einspültrichter in PAK-Silo sowie Störmeldungen beheben.

Der durchschnittliche Energiebedarf der VR betrug im zweiten Monitoring 5.589 kWh/Monat. Dabei machten die Rührwerke in den Kontaktreaktoren den größten Energiebedarf mit 40,13 % aus. Gemessen am gesamten Energiebedarf der KA Greven hat die VR einen Anteil von 4,78 %.

Sowohl für den Schlammanfall als auch für den TR-Gehalt des gepressten Schlammes konnte durch den Einsatz der PAK statistisch kein Unterschied der zentralen Tendenz im Vergleich zu den zum zweiten Monitoring analogen Zeiträumen 2017 bis 2021 festgestellt werden.

Um die Investitionskosten der VR der KA Greven nach § 10, Abs. 3 AbwAG mit der Abwasserabgabe der letzten drei Jahre zu verrechnen, wurden die Frachten der abgabepflichtigen Parameter CSB, P_{ges} und N_{anorg} über einen analogen Zeitraum vor und nach der Inbetriebnahme der VR verglichen. Dabei wurde keine Frachtreduzierung eines abgabepflichtigen Parameters von mindestens 20 % sowohl für Trockenwettertage als auch für Trocken- und Regenwettertage durch die Inbetriebnahme der VR festgestellt. Somit können die Investitionskosten der VR nicht mit der Abwasserabgabe der letzten drei Jahre nach § 10, Abs. 3 AbwAG verrechnet werden.

4 FAZIT UND AUSBLICK

Die untersuchte VR der KA Greven mit Kontaktreaktor und Tuchfiltration wies bei einer Dosierung von 15 mg PAK/l einen mittleren konservativen Eliminationsgrad von 84,9 % hinsichtlich der ausgewählten Spurenstoffe auf. Die im Zeitversatz analysierten Abwasserproben wiesen statistisch keinen Unterschied bezüglich des mittleren Eliminationsgrads der Spurenstoffe auf. Somit erfüllt die VR der KA Greven das nach [2] zu erreichende mittlere Eliminationsziel von > 80 %. Im Vergleich dazu wurde ohne die VR nur ein mittlerer konservativer Eliminationsgrad von 26,3 % erreicht. Gleichzeitig deuten die Ergebnisse auf ein Optimierungspotential hinsichtlich der gewählten PAK-Konzentration von 15 mg/l hin. Darüber hinaus wurde die Möglichkeit der Rezirkulation in die Zulaufstrecke noch nicht untersucht, sodass dies als Ziel von weiteren Untersuchungen empfohlen wird. Des Weiteren wurde durch den Einsatz von PAK der Eliminationsgrad des Standardparameters CSB und aller untersuchten Farbspektren der Färbung verbessert.

Der Rückhalt von PAK durch die Verfahrenskombination mit Tuchfiltern und ohne Sedimentationsbecken nach den Kontaktreaktoren wurde durch die vorliegenden Ergebnisse aufgezeigt. Dabei lag die PAK-Konzentration unter der Nachweisgrenze von 0,2 mg PAK/l. Der PAK-Rückhalt liegt somit bei mindestens 98,6 %. Dies entspricht einem sehr guten PAK-Rückhalt.

Die Ergebnisse der Analyse des Abwassers auf Mikroplastik wiesen Widersprüche hinsichtlich der Elimination auf. So wurden beispielsweise in einer Probenahme alle Partikel der Größenklasse 6-5.000 µm eliminiert und in anderen Probenahmen nur Partikel der Größenklasse 6-10 µm. Darüber hinaus wurde in verschiedenen Probenahmen Partikel der Größenklasse 6-10 µm und 50-100 µm eliminiert, aber nicht Partikel der Größenklasse 10-50 µm. Zusätzlich wurden in unterschiedlichen Probenahmen im Ablauf VR neue Kunststoffarten festgestellt. Dabei lässt das Untersuchungsdesign keine Aussage über den Eintragspfad zu. Möglicherweise wurden diese über Kunststoffrohre, Schuhabrieb oder Kleidung eingetragen. Aufgrund des diskontinuierlichen Auffindens von PET im Ablauf der VR ist ein Eintrag von Mikroplastik durch das Tuchfilter unwahrscheinlich. Um dies jedoch genauer zu untersuchen, wird eine Probenahme direkt nach den Tuchfiltern im Steigschacht vorgeschlagen.

Um in Zukunft den betrieblichen Aufwand an der VR abzudecken ist eine halbe Stelle vorzusehen. Der zusätzliche Energiebedarf durch die VR ist im Vergleich zu den gesamten

Kosten als gering einzustufen. Für den Schlammanfall und den erreichten Trockenrückstand des gepressten Schlammes wurden im Vergleich zu den zum 2. Monitoring analogen Zeiträumen von 2018 bis 2021 kein Unterschied festgestellt. Dennoch wird empfohlen sowohl für den Schlammanfall als auch den Trockenrückstand die Daten nach zwei Jahren Betriebszeit erneut zu bewerten. Eine Verrechnung der Investitionskosten für die VR nach § 10, Abs. 3 AbwAG mit der Abwasserabgabe ist nicht möglich, da die Frachtreduzierung eines abgabepflichtigen Parameters nach der Inbetriebnahme der VR unterhalb von 20 % lag.

5 LITERATUR

- [1] Ingenieurbüro Rummler + Hartmann GmbH (2014): Möglichkeiten der Elimination prioritärer Stoffe in der Kläranlage Greven.
https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/tx_mmkresearchprojects/Kurzfassung_Machbarkeitsstudie_Greven.pdf
- [2] Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe (2016): Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination. Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW (Hrsg.), Köln.
- [3] DWA-Themen (2019): Aktivkohleeinsatz auf kommunalen Kläranlagen zur Spurenstoffentfernung: Verfahrensvarianten, Reinigungsleistung und betriebliche Aspekte. ISBN: 978-3-88721-797-6, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Hennef.
- [4] Krahnstöver, T., Wintgens, T. (2018): Aktivkohle-Schlupf aus Reinigungsstufen zur Elimination von Mikroverunreinigungen. Fachhochschule Nordwestschweiz, Muttenz.
- [5] VSA (2019): Aktueller Stand Beurteilung Aktivkohle-Rückhalt. VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“
<https://micropoll.ch/Mediathek/aktueller-stand-beurteilung-aktivkohle-rueckhalt-faktenblatt/>