



Eigenbetrieb Abwasser
der Stadt Ennigerloh

Kurzbericht

Pilotbetrieb einer Pulveraktivkohle- Adsorptionsstufe auf der Kläranlage Ennigerloh

Gefördert durch:

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



 **Ingenieurbüro
Rummler + Hartmann
GmbH**

Havixbeck, im Februar 2017

Auftraggeber: Eigenbetrieb Abwasser der Stadt Ennigerloh
Marktplatz 1
59320 Ennigerloh

.....
Tünte, Betriebsleiter

Aufgestellt durch: Ingenieurbüro Rummler + Hartmann GmbH
Hohenholter Straße 14 a
48329 Havixbeck

Bearbeitung: Harmjanßen B.Eng.



.....
Dipl.-Ing. Manfred Rummler

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Versuchsaufbau	1
2.1 Versuchsplanung.....	1
2.2 Versuchsdurchführung.....	3
3 Versuchsergebnisse.....	5
4 Fazit.....	8
5 Zusammenfassung	9

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geplanter Aufbau der Pilotanlage	2
Abbildung 2: Fließschema der Pilotanlagen	4
Abbildung 3: Trübungsmessung der Tuchfiltration.....	8

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eliminationsraten aus allen verwertbaren Proben.....	5
Tabelle 2: Ergebnisse zur Recherche bezüglich des Rückhalts in der Biologie (n = Anzahl der Ergebnisse)	6

1 Einleitung

Aufgrund der im Jahr 2015 ablaufenden Einleitungserlaubnis und der allgemeinen Diskussion zur Verschärfung der Überwachungswerte im Rahmen zukünftig erteilter Erlaubnisse forderte die Bezirksregierung Münster von den Betreibern der Kläranlage Ennigerloh die Aufstellung eines Zeit- und Maßnahmenplanes zur Verbesserung der Abwasserreinigung.

Nachdem vom Eigenbetrieb Abwasser der Stadt Ennigerloh eine Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination für die Kläranlage Ennigerloh in Auftrag gegeben und diese vom Ingenieurbüro Rummler + Hartmann GmbH bearbeitet wurde, folgte die Vorstellung der Studie bei der Bezirksregierung Münster mit anschließender Abstimmung über das weitere Vorgehen der zukunftsorientierten Abwasserreinigung in Ennigerloh. Es wurde vereinbart, dass weitergehende Maßnahmen ergriffen werden sollen, um die Abwasserreinigung zu verbessern.

Nach Abstimmung mit Vertretern des Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV) und der Bezirksregierung Münster wurde beschlossen, die in der Machbarkeitsstudie vorgeschlagene Vorzugsvariante im kleintechnischen Maßstab zu testen. Diese Pilotanlage zur Mikroschadstoffelimination mittels Pulveraktivkohle(PAK)-Adsorption sollte weitere Erkenntnisse darüber liefern, wie weit die allgemeinen physikalisch-chemischen Parameter (ACP) sowie die im Rahmen der Analytik zur Machbarkeitsstudie auffällig gewordenen Mikroschadstoffe weitergehend reduziert werden können. Die Kosten für den Bau und Betrieb dieser Pilotanlage wurden in Anlehnung an die Förderrichtlinie „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW“ – Förderbereich 3 mit 70 % gefördert.

Die Vertreter der Eigenbetriebe Abwasser der Stadt Ennigerloh beauftragten letztlich das Ingenieurbüro Rummler + Hartmann GmbH mit der Planung und Begleitung der Pilotanlage.

Seitens der Bezirksregierung Münster wurde durch diese Maßnahmen eine Verlängerung der Einleiterlaubnis bis 2017 gewährt.

2 Versuchsaufbau

2.1 Versuchsplanung

Die Pilotanlage sollte nun wie in Abbildung 1 umgesetzt und in Absprache mit Vertretern des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV) über einen Zeitraum von 6 Monaten, von Anfang April bis Ende September 2016,

betrieben werden. Es wurden die folgenden drei Pulveraktivkohlen für den Pilotbetrieb gewählt:

1. Versuchszeitraum: Carbopal AP (auf Braunkohlebasis) von Donau Carbon
2. Versuchszeitraum: CW 20 (auf Holzkohlebasis) von Silcarbon
3. Versuchszeitraum: TH 90 I (auf Kokosnussschalenbasis) von Silcarbon

Für die Umsetzung der Pilotanlage wurden zwei wichtige Komponenten gemietet, die Pulveraktivkohle-Dosieranlage PAKDOS 60 von der Firma Werner Dosiertechnik (WDT) und eine TF2S-Tuchfiltration von der Firma Mecana.

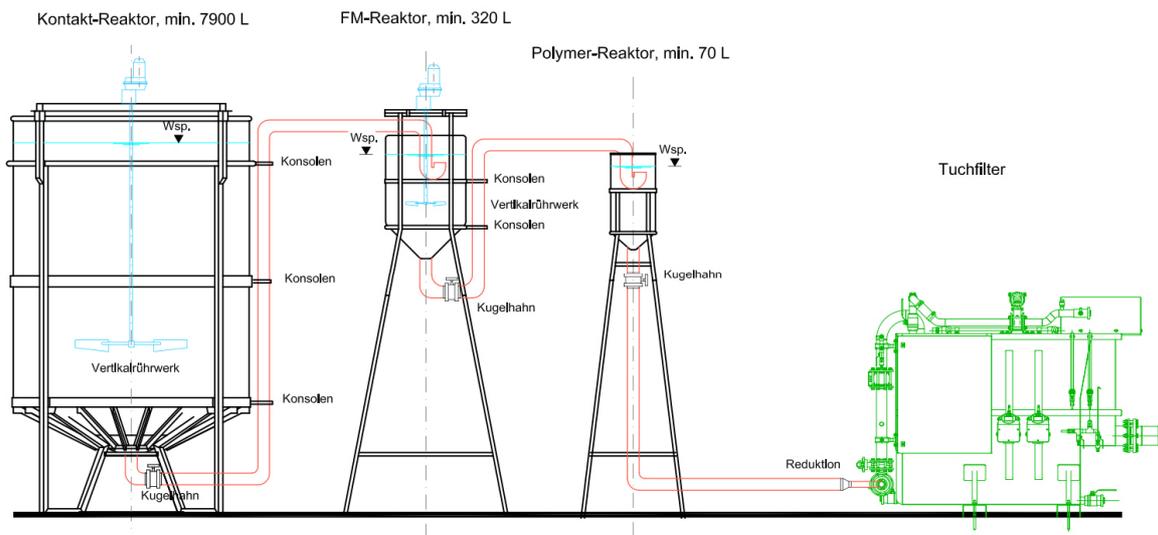


Abbildung 1: Geplanter Aufbau der Pilotanlage

Mittels der Pilotanlage sollte untersucht werden, wie effektiv Mikroschadstoffe in der Kläranlage Ennigerloh eliminierbar sind. Ebenso von Interesse war, wie effektiv die für die Abwasserabgabe relevanten Parameter zurückgehalten werden können. Die Probenahmen für die Analytik wurden wöchentlich vor der Pilotanlage und im Ablauf des Tuchfilters mittels 24h-Mischproben geplant. Vor Inbetriebnahme wurde außerdem entschieden, zusätzlich Stichproben im Zulauf des Tuchfilters zu nehmen, um den AFS- und P-Gehalt vor der Schlussfiltration zu ermitteln.

Die Probenahmen und Analysen wurden vom Hygiene-Institut des Ruhrgebietes durchgeführt. Welche Themen und Fragestellungen erforscht wurden, wird im Folgenden übersichtlich dargestellt:

- Wie weit wurden die vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW vorgeschlagenen Leitparameter (Stand 03.2015) eliminiert? Folgende Stoffe waren relevant:
 - Metoprolol
 - Carbamazepin
 - Diclofenac
 - Sulfamethoxazol

- 1H-Benzotriazol
- Terbutryn

- Wie weit wurden die bei der Analytik, im Rahmen der Machbarkeitsstudie zur Mikro-schadstoffelimination, auffällig gewordenen Stoffe eliminiert? Folgende Stoffe waren (neben Diclofenac) relevant:
 - Atenolol
 - Oxazepam

- Wie weit wurden die allgemeinen Ablaufparameter eliminiert? Folgende Parameter wurden analysiert:
 - Phosphor
 - CSB
 - Gesamtstickstoff
 - Nitrat
 - Nitrit
 - Ammonium
 - AOX
 - Schwermetalle
 - Quecksilber
 - Cadmium
 - Chrom
 - Nickel
 - Blei
 - Kupfer

- Wie fiel die Eliminationsleistung bei der Verwendung der unterschiedlichen Pulveraktivkohlen aus?

2.2 Versuchsdurchführung

Das Fließschema der umgesetzten Pilotanlage ist der Abbildung 2 zu entnehmen. Die Pilotanlage wurde, wie geplant, mit dem Wasser aus der Nachklärung beschickt. Um das Wasser aus der Nachklärung in die Pilotanlage zu leiten, wurde im Sammelschacht der Nachklärbeckenabläufe vor einer erhöhten Überlaufschwelle eine nassaufgestellte Pumpe installiert, welche das Wasser in den Kontaktreaktor gefördert hat. Der Ablauf des Tuchfilters wurde über eine Ablaufleitung zurück in den Sammelschacht hinter der Überlaufschwelle geleitet.

Die Pilotanlage wurde so eingerichtet, dass sich ein Durchfluss von 12 bis 14 m³/h einstellen konnte.

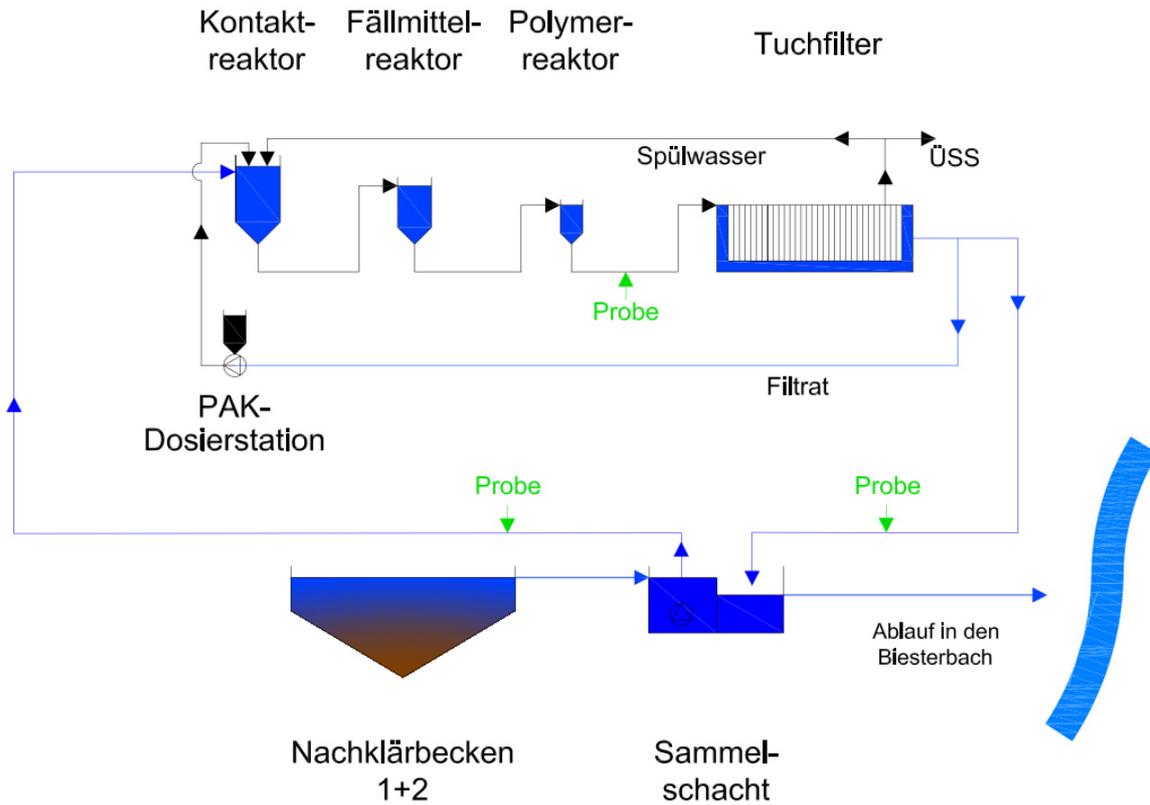


Abbildung 2: Fließschema der Pilotanlagen

Wie geplant, wurde das Wasser aus der Nachklärung zunächst in den Kontaktreaktor geleitet, der neben dem Überschussschlammabauwerk positioniert wurde. Die FM- und FHM-Reaktoren konnten auf dem Überschussschlammabauwerk platziert werden. Die Tuchfiltration wurde ebenfalls neben dem Überschussschlammabauwerk positioniert. Damit die gesamte Pilotanlage im freien Gefälle durchflossen werden konnte, wurden die Reaktoren und die Tuchfiltration mittels Betonplatten oder Europaletten angehoben.

Die erste Komponente der Pilotanlage bildete der Kontaktreaktor. In den Kontaktreaktor wurde eine PAK-Suspension eingetragen und mittels Rührwerk mit dem Wasser vermischt. Hierbei kam es zur Adsorption der Mikroschadstoffe an die Pulveraktivkohle. Die PAK-Suspension wurde mittels der PAK-Dosieranlage eingeleitet.

Das PAK-Gemisch aus dem Kontaktreaktor wurde anschließend in den Fällmittel(FM)-Einmischreaktor geleitet. Hier wurde FM zugefügt und mittels Rührwerk eingemischt, wodurch die Absetzeigenschaften der PAK verbessert und weitergehend Phosphat ausgefällt werden konnte.

Dem FM-Einmischreaktor war ein Flockungshilfsmittel(FHM)-Einmischreaktor nachgeschaltet. In diesem sollte versuchsweise FHM beigemischt werden, um zu testen, ob hierdurch die Absetzeigenschaften der Pulveraktivkohle und der gebundenen Frachten weiter verbessert werden können.

Letzte Komponente der Pilotanlage bildete der Tuchfilter. Das PAK-Gemisch aus den vorherigen Reaktoren wurde in den Filterbehälter geleitet und im Filter von der Pulveraktivkohle und den Feststoffen weitestgehend getrennt.

3 Versuchsergebnisse

Durch den Betrieb der Pilotanlage konnten erste Erkenntnisse erlangt werden, in welchem Umfang die Vorzugsvariante der Machbarkeitsstudie großtechnisch dazu führen würde, Mikroschadstoffe und die allgemeinen physikalisch-chemischen Parameter in der Kläranlage Ennigerloh zu reduzieren. Die erzielten Eliminationsraten aller verwertbaren Proben sind in Tabelle 1 aufgeführt. Zu welchen Eliminationsraten die einzelnen Pulveraktivkohlen geführt haben, wird detailliert im Abschlussbericht beschrieben.

Tabelle 1: Eliminationsraten aus allen verwertbaren Proben

Laborparameter	Mittel	Min	Max	Mikroschadstoffe	Mittel	Min	Max
CSB	12,9%	-20,0%	33,3%	Metoprolol	66,9%	43,3%	97,8%
AFS	66,9%	33,3%	88,9%	Carbamazepin	57,2%	37,5%	93,0%
Nitrit	6,9%	0,0%	12,0%	Diclofenac	45,7%	26,7%	83,2%
Nitrit-N	12,6%	11,1%	14,3%	Sulfamethoxazol	20,6%	-4,8%	68,4%
Nitrat	1,5%	-5,0%	9,1%	1H-Benzotriazol	40,6%	13,6%	96,2%
Nitrat-N	1,7%	-4,4%	10,0%	Terbutryn	38,0%	27,8%	58,6%
Ammonium	32,4%	0,0%	88,0%	Atenolol	55,1%	36,7%	93,0%
Ammonium-N	31,8%	0,0%	87,5%	Oxazepam	53,6%	39,1%	87,2%
Gesamt-N	4,7%	-6,4%	11,3%				
AOX	6,2%	-91,2%	94,1%				
Chlorid	-3,4%	-15,4%	4,2%				
Phosphor	46,9%	16,0%	93,0%				
Blei	---	---	---				
Cadmium	---	---	---				
Kupfer	27,4%	2,0%	53,3%				
Nickel	-65,1%	-200,0%	0,0%				
Quecksilber	---	---	---				
Chrom	10,8%	-100,0%	57,1%				

Die Ergebnisse der Tabelle 1 basieren auf den Erkenntnissen infolge einer kleintechnischen Teilstrombehandlung mittels Pulveraktivkohleeinsatz und Schlussfiltration. Die Wirkung der biologischen Mikroschadstoffelimination in der biologischen Stufe oder die Wirkung der PAK-Rezirkulation in die biologische Stufe waren nicht Teil des Forschungsprojektes und wurden somit nicht untersucht, wengleich hierdurch eine teils deutlich gesteigerte Mikroschadstoffelimination durch die gesamte Kläranlage zu erwarten ist.

Probenahme und Analytik

Insgesamt konnten während des Pilotbetriebes 16 von ursprünglich 24 geplanten Probenahmen durchgeführt werden, wovon 13 zu verwertbaren Ergebnissen führten. Lagen hierbei die Ablaufwerte unterhalb der Bestimmungsgrenzen, wurde anhand des Bestimmungsgrenzwertes eine Mindesteliminationsrate ermittelt. Die dabei ermittelte Eliminationsrate wurde gewertet, wenn diese über der bislang mittleren Eliminationsrate lag. Nicht gewertet wurden einige negative Eliminationsraten, die auf Messungenauigkeiten aufgrund sehr niedriger Ergebnisse, nahe der Bestimmungsgrenze, zurückzuführen waren.

Hinweise zur großtechnischen Umsetzung der angewandten Verfahren

Gemäß der aktuellen Broschüre zur Auslegung von 4. Reinigungsstufen in NRW ist durch den Bau einer 4. Reinigungsstufe ein Eliminationsziel für ausgewählte Indikatorsubstanzen von 80 % sicherzustellen. Als Indikatorsubstanzen werden Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol, Clarithromycin und Sulfamethoxazol genannt. Das Eliminationsziel soll aus der Gesamtelimination der Kläranlage hergeleitet werden. Die biologische Mikroschadstoffelimination innerhalb der herkömmlichen biologischen Stufe ist hierbei mit einzubeziehen. Dafür sollen möglichst mengenproportionale 24h-Mischproben vom Zulauf der Biologie mit dem Gesamtablauf der Kläranlage verglichen werden. (Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, 2016)

Inwiefern die Mikroschadstoffe bereits in der biologischen Stufe auf der Kläranlage Ennigerloh abgebaut wurden, ist nicht ermittelbar. Dies kann lediglich anhand der aktuell beschränkten Literatur zu dieser Thematik abgeschätzt werden. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse von Recherchen bezüglich des biologischen Abbaus der untersuchten Mikroschadstoffe in Ennigerloh. Die Werte wurden teilweise von Diagrammen abgelesen, weshalb geringfügige Abweichungen nicht auszuschließen sind.

Tabelle 2: Ergebnisse zur Recherche bezüglich des Rückhalts in der Biologie (n = Anzahl der Ergebnisse)

Mikroschadstoffe	Mittel	n	Mittel	n	Mittel	n	Mittel	n
	<i>Gesamt</i>		<i>PAK-Rezirkulation</i>		<i>keine Rezirkulation</i>		<i>k.A. zur Rezirkulation</i>	
Metoprolol	45%	8	62% (24% - 97%)	6	30%	1	24%	1
Carbamazepin	29%	7	41% (8% - 89%)	6	0%	1		
Diclofenac	32%	9	43% (3% - 77%)	6	4% (3% - 5%)	2	29%	1
Sulfamethoxazol	40%	9	37% (29% - 57%)	6	30% (0% - 60%)	2	65%	1
1H-Benzotriazol	56%	8	64% (24% - 97%)	6	38%	1	31%	1
Terbutryn								
Atenolol	68%	1					68%	1
Oxazepam								

Eine großtechnische Anlage auf der Kläranlage Ennigerloh würde mit Rezirkulation der PAK in die Biologie betrieben werden. Dies hat neben der gesteigerten Mikroschadstoffelimination einige Vorteile (Harmjanßen und Rummler, 2014) und wird auch in der aktuellen Broschüre zur Auslegung 4. Reinigungsstufen vorgeschlagen (Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, 2016).

Zu den Stoffen Terbutryn und Oxazepam wurden keine Informationen über den biologischen Abbau gefunden. Beim Atenolol gab es lediglich eine Quelle.

Die Eliminationsraten aus Tabelle 2 lassen die Annahme zu, dass ein gefordertes mittleres Eliminationsziel von 80 % durch die angewandten Verfahren eingehalten werden kann. Um diese Annahme zu festigen, bedarf es weiterer Erkenntnisse über die Mikroschadstoffelimination innerhalb der biologischen Stufe.

Betrieb der Pilotanlage

Im Rahmen des Pilotbetriebes kam es immer wieder zu Betriebsstörungen, die nicht vom Kläranlagenpersonal verursacht wurden. Die Betriebsstörungen können weitestgehend auf die PAK-Dosiereinlage zurückgeführt werden. Beim Betrieb großtechnischer PAK-Dosieranlagen, welche anlagentechnisch deutlich aufwändiger konstruiert sind, ist von einem deutlich besseren Anlagenbetrieb auszugehen. Bei verfahrenstechnisch ähnlich betriebenen, großtechnischen Anlagen zur Mikroschadstoffelimination kann von einem konstanten, weitestgehend störungsfreien Anlagenbetrieb berichtet werden.

Die Tuchfiltration lief über den gesamten Pilotbetrieb störungsfrei. Hinsichtlich der AFS-Abscheidung konnte eine deutliche Reduktion festgestellt werden. Anhand der AFS-Abscheidung kann auch die PAK-Abscheidung abgeleitet werden. Bei den beiden Probenahmen, die erfolgten, als kein Fällmittel hinzugegeben wurde, lag die mittlere AFS-Reduktion bei 92,2 %. Nachdem Fällmittel zugefügt wurde, lag der AFS-Ablaufwert (aus 24h-Mischprobe) bei 6 von 10 Proben unterhalb des Bestimmungswertes von 1 mg/l. Dies entspricht einer Mindestelimination von 96 % in Bezug auf die Tuchfilter-Zulaufwerte (qualifizierte Stichproben). Bei den anderen 4 Proben lag die mittlere Elimination bei 93,6 %. Abbildung 3 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt der Trübungsmessung innerhalb der Tuchfiltration.

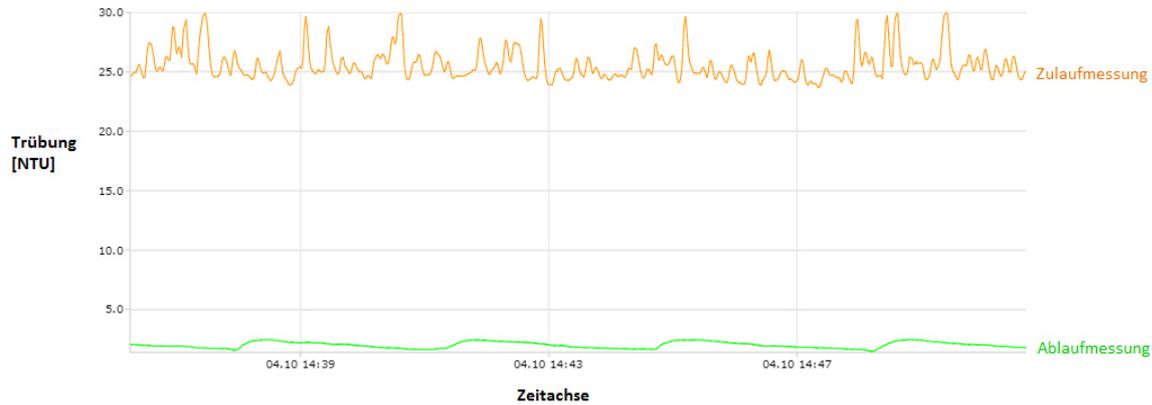


Abbildung 3: Trübungsmessung der Tuchfiltration

Hinsichtlich der Phosphor-Elimination konnten im Mittel etwa 50 % zurückgehalten werden, sofern die Ergebnisse der qualifizierten Stichproben des Tuchfilter-Zulaufs mit den 24h-Mischproben des Tuchfilter-Ablaufs verglichen werden. Während der Fällmittelzugabe, die zur weitergehenden Ausfällung der gelösten Phosphate führt, betrug die Phosphor-Eliminationsrate 67 %. Ohne Fällmittelzugabe wurden im Mittel 14,1 % zurückgehalten.

Nach dem 21.09.2016 wurde mehr des vom Tuchfilter abgesaugten PAK-Schlammes in den Kontaktreaktor rezirkuliert. Um welche Mengen es sich hierbei handelt, konnte aufgrund des defekten MIDs nicht festgehalten werden. Während der erhöhten Rezirkulation innerhalb der Pilotanlage führten vier Probenahmen zu verwertbaren Ergebnissen. Diese deuten darauf hin, dass infolge der Rezirkulation die CSB-Reduktion gesteigert werden konnte. Auch die Phosphor-Reduktion zeigte eine steigende Tendenz. Zuletzt deuten auch die Eliminationsraten der Mikroschadstoffe darauf hin, dass die Eliminationsleistung infolge einer erhöhten PAK-Schlamm-Rezirkulation zunimmt. Um diese Erkenntnisse zu festigen, bedarf es jedoch weiterer Forschung.

4 Fazit

Infolge des Pilotbetriebes zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Ennigerloh konnte gezeigt werden, dass die Vorzugsvariante der Machbarkeitsstudie zu guten Eliminationsleistungen führen kann. Hinsichtlich der Mikroschadstoffe konnte bei Verwendung drei unterschiedlicher Pulveraktivkohlen im Mittel eine gute Eliminationsrate festgestellt werden. Das letzte Analyseergebnis führte zu sehr guten Eliminationsleistungen, welche deutlich über den bisherigen Eliminationsleistungen lagen. Grund dafür könnte ein zu hoher PAK-Eintrag sein. Als Erkenntnis bleibt, dass ein mittleres Eliminationsziel von 80 % innerhalb der gesamten Kläranlage eingehalten werden kann. Die Erreichung dieses Eliminationsziels ist letztlich von der Quantität und Qualität der eingesetzten PAK und einem störungsfreien Betrieb abhängig.

Neben den Mikroschadstoffen wurden auch einige der allgemeinen Ablaufparameter weitergehend reduziert. Besonders der Phosphor-Gehalt konnte weitergehend verringert werden, nachdem Fällmittel konstant eingeleitet wurde. Auch war eine weitergehende Ammonium-Elimination während des gesamten Pilotbetriebes zu beobachten. Zuletzt konnte auch eine erweiterte CSB-Reduktion bei den Meisten der Analyseergebnisse festgestellt werden. Negativ ist der Chlorid- und Nickelaustrag zu bewerten, der im gesamten Probebetrieb zu beobachten war. Dies gilt es bei einer großtechnischen Umsetzung bestmöglich zu vermeiden.

5 Zusammenfassung

Der Betrieb einer Pilotanlage zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Ennigerloh wurde im Rahmen der Verhandlung über die aktuell verlängerte Einleiteerlaubnis angestoßen. Da auch die Betreiber der Kläranlage Ennigerloh daran interessiert sind, die Reinigungsleistung der Kläranlage stetig zu verbessern und somit die Belastung des empfangenden Gewässers Biesterbach zu reduzieren, wurde die Umsetzung der Vorzugsvariante aus der Machbarkeitsstudie im kleintechnischen Maßstab beschlossen. In Abstimmung mit Vertretern der Bezirksregierung Münster wurde das Projekt letztlich umgesetzt und die Pilotanlage konnte im 2. Quartal 2016 in Betrieb genommen werden.

Im Rahmen des Pilotbetriebes kam es immer wieder zu Abweichungen vom geplanten Normalbetrieb, was nicht vom Eigenbetrieb Abwasser zu vertreten war, sondern häufig auf die PAK-Dosierstation zurückgeführt werden konnte und in deren Folge einige Probenahmen kurzfristig abgesagt werden mussten. Der sechsmonatige Versuchszeitraum wurde deshalb letztlich um zwei Monate verlängert. Die Versuchsanlage erforderte einen sehr hohen Personaleinsatz, im wesentlichen hervorgerufen durch die vielen Störungen an der PAK-Dosieranlage und des Feuchtigkeitsproblems mit der PAK.

Der Pilotbetrieb hat gezeigt, dass die Mikroschadstoffelimination durch die angewandten Verfahren möglich ist, aber auch noch einige Fragen offen lässt. Es scheint möglich zu sein, dass die gewählte Verfahrenstechnik großtechnisch zu einem mittleren Eliminationsziel von 80 %, bezogen auf die Indikatorsubstanzen gemäß Broschüre vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW (2016), führen wird. Um die Erkenntnisse zu festigen, bedarf es weiterer Forschung.

Neben den Mikroschadstoffen konnten auch einige der allgemeinen Ablaufparameter, wie der Phosphor- und CSB-Gehalt, innerhalb der Pilotanlage weitergehend eliminiert werden.

Um die Erkenntnisse aus dem Pilotbetrieb zu festigen, bedarf es letztlich weiterer Forschung, besonders im Hinblick auf die biologische Mikroschadstoffelimination, wie auch das Steige-

rungspotenzial der Mikroschadstoffelimination infolge einer PAK-Rückführung in die biologische Stufe der Kläranlage.