

In-situ-Monitoring der Reinigungsleistung großer dezentraler Niederschlagswasserbehandlungsanlagen

Dominik Leutnant, Jonas Kleckers, Jens Haberkamp, Mathias Uhl

Institut für Infrastruktur·Wasser·Ressourcen·Umwelt (IWARU)

Fachhochschule Münster

Kurzfassung: Große dezentrale Niederschlagswasserbehandlungsanlagen werden mittels kontinuierlicher Gütemesstechnik hinsichtlich ihrer Frachtwirkungsgrade an Standorten mit hohem Stoffaufkommen untersucht. Die Bilanzierung der Zulauf- und Abauffrachten basiert auf dem Zusammenhang zwischen den abfiltrierbaren Stoffen (AFS) und der Trübung. Erste Ergebnisse der Installation der Messtechnik, des Datenmanagements und Frachtwirkungsgrade werden vorgestellt.

Key-Words: Regenwasserbewirtschaftung, Dezentrale Anlagen, Kontinuierliche Gütemessung, Messdaten, AFS/AFS63

1 Einleitung

Die Behandlungsbedürftigkeit urbaner Niederschlagsabflüsse regelt in NRW der „Trennerlass“ (MKULNV NRW 2004). Gemäß Herkunftsfläche werden Abflüsse demnach in die Kategorien i) unbelastet, ii) schwach belastet und iii) stark belastet unterteilt. Stark belastete Abflüsse der Flächenkategorie III müssen bislang einer zentralen Anlage zugeführt werden (Kläranlage, Retentionsbodenfilter). Große dezentrale, technische Behandlungsanlagen könnten hierzu eine Alternative darstellen, wenn sie eine vergleichbare Reinigungsleistung zu den zentralen Anlagen aufweisen. Im Forschungsprojekt „Leistungsfähigkeit großer dezentraler Niederschlagswasserbehandlungsanlagen unter realen Betriebsbedingungen (DezNWBA)“ werden derzeit große dezentrale Niederschlagswasserbehandlungsanlagen (NWBA) an Standorten mit hohem Stoffaufkommen untersucht. Mittels kontinuierlicher Gütemessungen und paralleler Beprobung (AFS/AFS63, Cu, Zn, MKW, PAK) werden Ereignis- und Langzeitwirkungsgrade ermittelt sowie das In-situ-Verhalten unterschiedlicher Anlagen im Dauerbetrieb untersucht. Der vorliegende Beitrag stellt das Forschungsvorhaben vor und berichtet über erste Ergebnisse. Es werden sowohl Messstandorte als auch die zu untersuchenden dezentralen Anlagen vorgestellt.

2 Material und Methodik

2.1 Einzugsgebiete und Behandlungsanlagen

Das Einzugsgebiet „Am Stadtgraben“ ($A_u = 2,3$ ha) liegt im Zentrum Münsters. Eine Hauptverkehrsstraße ($A_u = 1,4$ ha) mit einer Verkehrsbelastung von 30.000 KFZ/24 h dominiert die Flächennutzung im Einzugsgebiet. Die Reinigung des Regenwassers erfolgt durch eine im Bypass installierte SediPipe XL 600/12 (Fränkische Rohrwerke), die mit bis zu $6 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ aus dem Regenwasserkanal mittels Peristaltikpumpe beschickt wird. Die SediPipe besteht aus einem Start- und Zielschacht und einem im Gegengefälle verlaufenden, dauereingestauten Rohr, das der Sedimentation von Feststoffen dient. Ein Strömungstrenner in Sohlnähe soll die Remobilisierung unterbinden und so das Depot sedimentierter Stoffe sichern. Ein Tauchrohr vor dem Ablauf dient der Rückhaltung von Schwimmstoffen und Leichtflüssigkeiten.

Das Messgebiet „Mecklenbecker Straße“ ($A_u = 5$ ha) besteht vornehmlich aus Wohngebieten und zwei Hauptverkehrsstraßen. Hauptemittenten sind die Mecklenbecker Straße (13.000 KFZ/24 h) und die Boeselagerstraße (9.000 KFZ/24 h). Zur Niederschlagswasserbehandlung wurde ein Lamellenklärer ViaTub 18R 63 (Mall) im Hauptschluss vor dem Gebietsauslass installiert. Der Zu- und Ablaufbereich des Stahlbeton-Rundbehälters mit 3 m Innendurchmesser wird durch eine Trennwand mit integrierten Lamellen geteilt. Die Lamellen sollen die absetzwirksame Fläche der Sedimentationsanlage erhöhen. Im Zulauf soll ein Tauchrohr der Strömungsberuhigung dienen. Der eingetauchte Ablauf soll Leichtstoffe zurückhalten.

2.2 Messdaten: Management und Aufbereitung

Im Zu- und Ablauf der Anlagen werden die Parameter Trübung, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit mittels Online-Sensoren kontinuierlich erfasst (VisoTurbiQ700, SensoLyt700IQ, TetraCon700IQ, alle WTW). Die Trübung dient als Surrogatparameter zur Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe (AFS). Eine Durchflussmessung (POA bzw. CSM, NIVUS) im Anlagenzulauf steuert die automatische Probenahme (ASP Station, Endress+Hauser). Das Analytikprogramm umfasst die Parameter AFS/AFS63, Cu, Zn, MKW und PAK. Mess- und Analysedaten werden mithilfe des Messdatenmanagementsystems OSCAR (Leutnant et al. 2015) verarbeitet. Zeitreihendaten werden mit quelloffenen Komponenten gespeichert (InfluxData 2017) sowie über ein Web-Interface (Grafana Labs 2017) visualisiert. Datenaufbereitung und -analyse erfolgen mit der Skriptsprache R (R Core Team 2017). Die Datenaufbereitung umfasst die Schritte i) Prüfung, ii) Korrektur (z. B. Kalibrierung von Durchflüssen durch experimentell erfasste Rauigkeiten) iii) Transformation (z. B. Trübung zu AFS), iv) Ereignisselektion und v) Berechnung von Ereigniskenngrößen (Niederschlag, Abfluss, Stofffracht, mittlere Ereigniskonzentration). Im Zuge der Datenanalyse werden Ereigniskenngrößen aggregiert und statistisch ausgewertet.

2.2.1 Ereignisauswahl, Frachtermittlung und Wirkungsgrade

Zur Bestimmung der Ereignisganglinien für Zulauf- und Ablaufkonzentrationen der AFS wurden in einem ersten Schritt relevante Niederschlagsabflussereignisse automatisch selektiert. Es gelten die Kriterien i) minimale Niederschlagshöhe $h_N > 2 \text{ mm}$ oder ii) minimale Niederschlagsintensität im 60-Minuten-Intervall $i_{N,\max 60} > 2 \text{ mm h}^{-1}$. Ausgewählte Ereignisse werden anschließend visuell überprüft und hinsichtlich Plausibilität bewertet. Kontextbezogene Informationen, wie z. B. außerordentliche Systemzustände (Rückstau), werden final berücksichtigt und können die Anzahl verwertbarer Ereignisse reduzieren.

Durch die begründete Annahme eines Zusammenhangs zwischen Trübung und AFS-Konzentration (Bertrand-Krajewski 2004) kann die kontinuierliche Trübungsmessung als Grundlage zur Ermittlung einer AFS-Konzentrationszeitreihe genutzt werden. Dies bedarf der Herleitung einer matrix- und standortspezifischen Umrechnungsfunktion, die häufig auf einer linearen Regression zwischen AFS-Konzentration und Trübung basiert (Hannouche et al. 2011, Métadier und Bertrand-Krajewski 2012, Leutnant et al. 2016a). Ereignisgerechte Beprobungen der Anlagenzu- und -abläufe werden hierzu im Labor auf die Parameter AFS (DIN 38409-2 1987), AFS63 (Dierschke und Welker 2014) und Trübung analysiert und hinsichtlich des angenommenen, linearen Zusammenhangs untersucht. Im Ergebnis liegen ortsspezifische Umrechnungsfunktionen zur weiteren Verwendung vor.

Basierend auf den kontinuierlichen Durchfluss- und Stoffkonzentrationszeitreihen können für jedes Niederschlag-Abfluss-Ereignis i) Abflussvolumen VQ_E , ii) Stofffrachten B_E und iii) mittlere Ereigniskonzentration $C_{E,m}$ bestimmt werden (Gleichungen 1-3).

$$\text{Abflussvolumen (m}^3\text{): } VQ_E = \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t \quad (1)$$

$$\text{Stofffracht (kg): } B_E = \sum_{i=1}^n Q_i C_i \Delta t \quad (2)$$

$$\text{mittlere Ereigniskonzentration (mg/l): } C_{E,m} = \frac{B_E}{VQ_E} \quad (3)$$

mit i = Index der Zeitreihe, n = Anzahl der Zeitschritte eines Ereignisses, Q_i = Abfluss zum Zeitpunkt i , Δt = Messintervall (d. h. 1 min), und C_i = AFS-Konzentration zum Zeitpunkt i .

Ereignisspezifische Frachtwirkungsgrade $\eta_{E,B}$ werden aus der Frachtsumme im Zulauf $B_{E,zu}$ und im Ablauf $B_{E,ab}$ gemäß Gleichung 4 berechnet.

$$\text{Frachtwirkungsgrad (\%): } \eta_{E,B} = 1 - \frac{B_{E,ab}}{B_{E,zu}} * 100 \quad (4)$$

Besonderheit zur Frachtermittlung am Standort SediPipe

Die SediPipe wird im Bypass betrieben und mittels Peristaltikpumpe beschickt. Der Pumpvorgang beginnt ab einem Wasserstand im Kanal von 2 cm. Die Pumpenleistung ist konstant und beträgt $6 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$. Der Zufluss zur SediPipe wird als konstant angenommen. Zur weiteren Ereignisbewertung wird daher das Volumenverhältnis δ berechnet, das durch den Quotienten aus Beschickungsvolumen VQ_{Pump} und Abflussvolumen im Kanal VQ_E ausdrückt wird (Gleichung 5).

$$\text{Volumenverhältnis (\%): } \delta = \frac{VQ_{\text{Pump}}}{VQ_E} * 100 \quad (5)$$

3 Ergebnisse

Die SediPipe wurde im November 2017 in Betrieb genommen und mit Gütemesstechnik ausgestattet. Der Lamellenklärer ist seit Dezember 2017 angeschlossen. Aufgrund organisatorischer Komplikationen im Bauablauf sowie Wintereinflüsse konnte die Gütemesstechnik erst im März 2018 installiert werden. Im vorliegenden Beitrag werden daher die Messdaten am Standort SediPipe vorgestellt. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Installation der Gütemesstechnik für das Einzugsgebiet „Am Stadtgraben“, Abbildung 2 zeigt einen Screenshot der web-basierten Visualisierung von Messdaten.

Im Dezember 2017 führten zwei langanhaltende Niederschlagsereignisse zu erhöhten Abflüssen in der Münsterschen Aa, die zu einem Rückstau im Regenwasserkanal führten. Durch die wasserstandsabhängige Beschickung der Anlage wurde folglich Flusswasser in die Anlage gefördert. Ereignisse in dieser Periode wurden daher von der Analyse ausgeschlossen.

Weiterhin wurden Ereignisse nicht verwendet, die einen erhöhten Lückenanteil in der Trübungsmessung aufzeigten. Bedingt durch einen hohen Lufteintrag im Zulauf der Anlage fiel während der initialen Beschickungsphase unregelmäßig die Messung aus, so dass eine Bilanzierung dieser Ereignisse nicht möglich ist. Eine Optimierung der Positionierung wurde im März 2018 durchgeführt. Bei einigen Ereignissen wurde eine Verschlammung der Trübungsoptik während des Ereignisses festgestellt, die die interne Ultraschallreinigung nicht lösen konnte. Die Wirkung einer nachträglich installierten Druckluftspülung konnte aufgrund einer längeren Trockenwetterperiode noch nicht final geprüft werden.

Zur Herleitung der Umrechnungsfunktionen konnten bis April 2018 29 Proben im Anlagenzulauf und 20 Proben im Anlagenablauf genutzt werden (Tabelle 1). Eine Übersicht der als valide erachteten Ereignisse ist Tabelle 2 zu entnehmen. Für die Auswertung der Frachtwirkungsgrade wurden 11 Ereignisse ausgewählt. Abbildung 3 stellt exemplarisch ein Ereignis vom 05.04.2018 dar. Die Grafik verdeutlicht die Beschickungsphase der Anlage, ausgelöst durch das Wasserstandssignal im Regenwasserkanal.

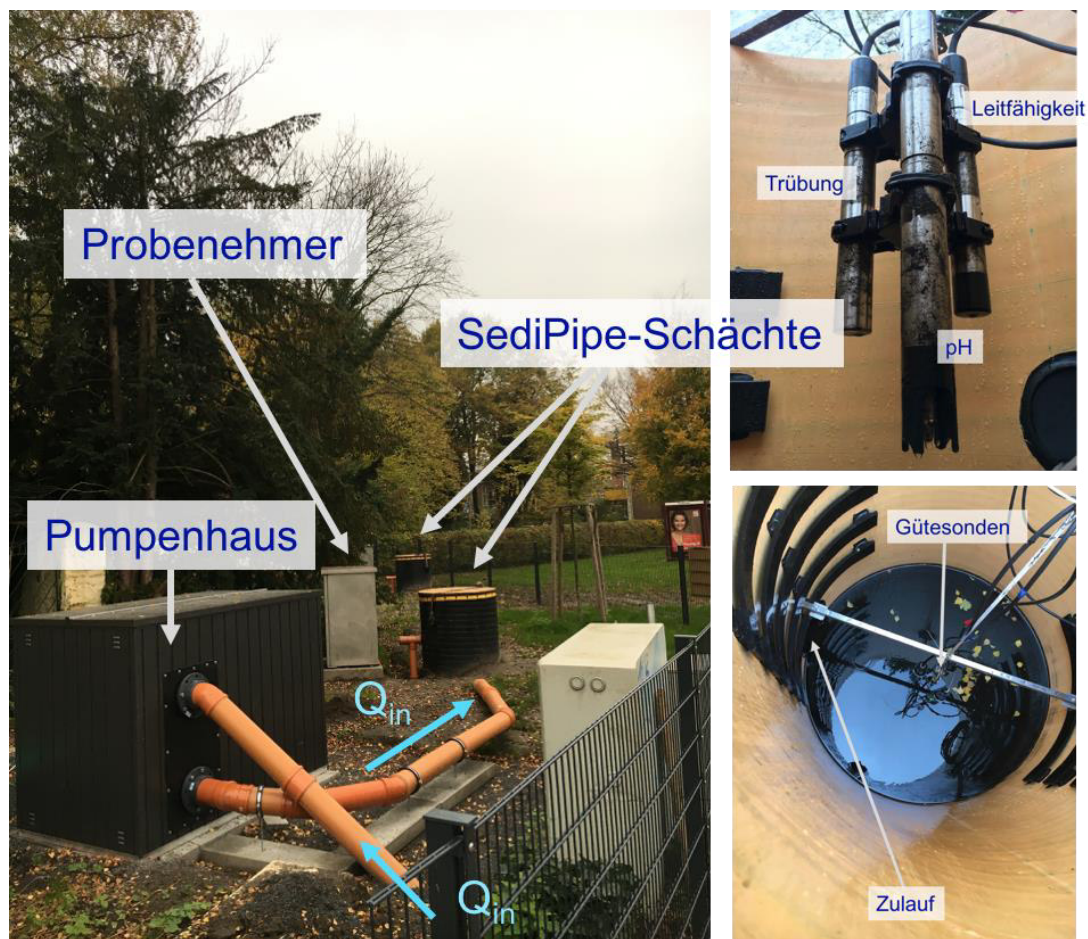


Abbildung 1: Messstation „Am Stadtgraben“ (links: Pumpenhaus, SediPipe-Schächte und Probenehmer; rechts unten: Anordnung der Gütesonden im Startschacht; rechts oben: Gütemesseinheit nach erstem Ereignis)



Abbildung 2: Web-basierte Visualisierung der Messdaten am Standort „Am Stadtgraben“

Tabelle 1: Parameter der linearen Regressionsfunktion zwischen Feststoffgehalt (AFS) und Trübung

Probenahmeort	Anzahl Proben	Regressionsterm	Wert	R ² (angepasst)
Startschacht	29	Achsenabschnitt a_{zu}	18,87	0,73
		Steigung b_{zu}	0,80	
Zielschacht	20	Achsenabschnitt a_{ab}	6,79	0,68
		Steigung b_{ab}	0,81	

Tabelle 2: Übersicht der Niederschlag-, Abfluss- und Beschickungseigenschaften ausgewählter Ereignisse (Niederschlagsdauer D_N , -höhe h_N und -intensität $i_{N,mittel}$, $i_{N,max60}$; D_Q , Q_{max} , VQ_E : Abflussdauer, -spitze und -volumen; D_{Pump} , V_{Pump} , V_{Pump}/VQ_E : Beschickungsdauer, -volumen und Verhältnis Beschickungsvolumen zum Abflussvolumen)

Start dd.mm.JJ HH:MM	Niederschlag				Abfluss			Beschickung			AFS-Fracht		
	D_N h	h_N mm	$i_{N,mittel}$ mm·h ⁻¹	$i_{N,max60}$ mm·h ⁻¹	D_Q h	Q_{max} L·s ⁻¹	VQ_E m ³	D_{Pump} h	V_{Pump} m ³	V_{Pump}/VQ_E -	Zulauf kg	Ablauf kg	η %
24.11.17 03:15	3,85	9,96	2,59	4,64	4,88	26,55	101,78	4,43	57,03	56 %	10,2	3,3	67 %
07.12.17 17:11	4,15	6,41	1,54	2,39	5,08	10,89	56,97	4,48	50,83	89%	9.1	3.7	59 %
13.12.17 09:26	6,88	7,93	1,15	2,27	7,92	9,35	82,15	7,17	77,97	95 %	35.1	25.9	26 %
13.12.17 19:15	4,13	8,52	2,06	4,53	5,15	46,14	113,63	4,27	49,09	43 %	17.9	15.7	12 %
14.12.17 04:23	2,95	3,43	1,16	2,10	3,92	11,58	128,81	3,97	86,04	67 %	10.3	6.9	33 %
29.12.17 15:10	2,80	3,30	1,18	1,31	3,73	5,74	23,32	3,22	23,32	100 %**	12.0	8.2	32 %
31.12.17 02:32	4,67	7,71	1,65	2,71	5,73	7,93	62,18	4,87	60,59	97 %	8.2	5.6	31 %
31.12.17 16:29	4,13	15,82	3,83	6,40	5,17	36,98	186,77	4,95	80,92	43 %	11.6	9.3	20 %
01.01.18 16:31	9,98	5,98	0,60	1,21	10,98	5,24	73,98	9,53	73,98	100 %**	21.1	13.6	36 %
05.04.18 06:51	0,65	1,40*	2,15	2,15	1,68	5,93	10,25	1,23	10,25	100 %**	4.5	2.6	43 %
12.04.18 16:57	0,37	5,77	15,74	15,74	1,43	62,45	37,07	1,07	10,48	28 %	4.0	2.6	35 %
Summe											143.9	97.4	32 %

* Ereignis berücksichtigt, obwohl minimale Niederschlagshöhe $h_N < 2$ mm. ** Rechnerisch ermittelt: Aufgrund des Pumpvorgangs und einer Systemlatenz kann der anfängliche Abfluss nicht gänzlich erfasst werden. Der tatsächliche Wert liegt immer unter 100 %.

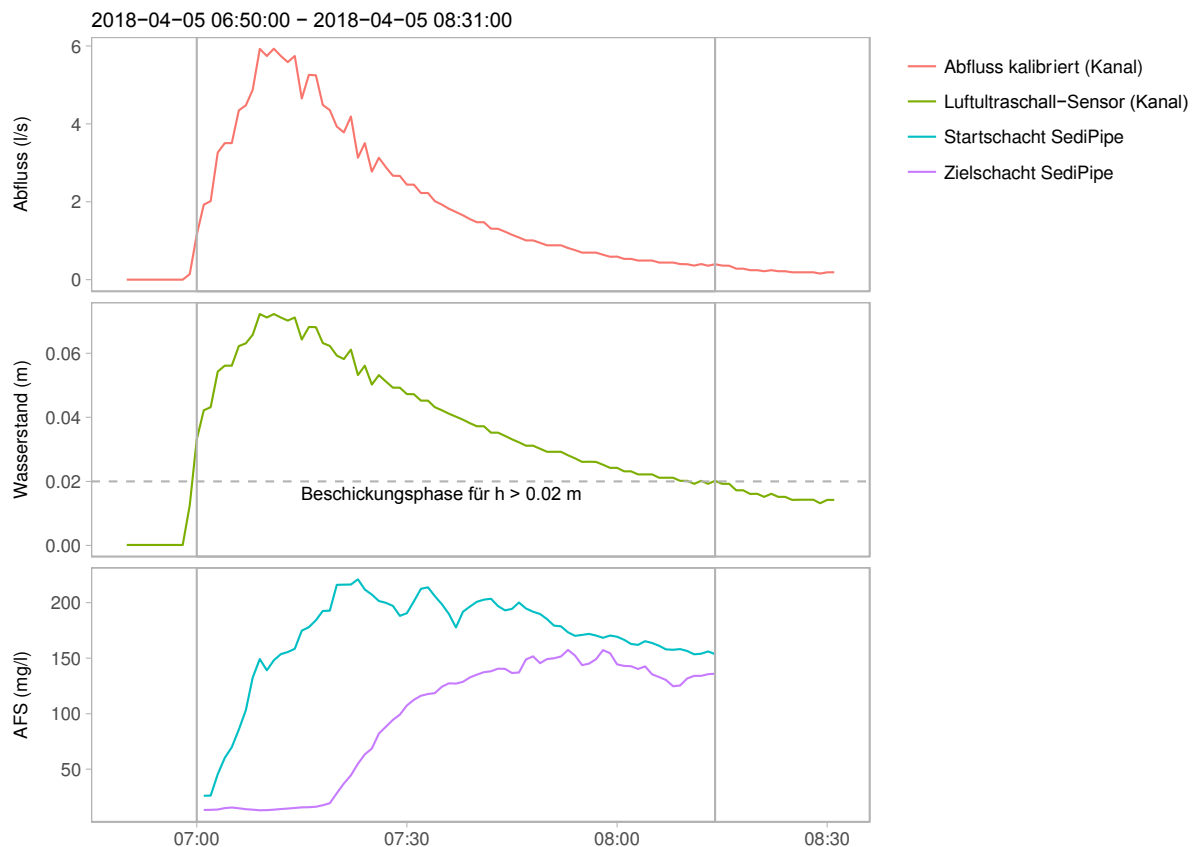


Abbildung 3: Ganglinien eines Beschickungsereignisses der SediPipe vom 05.04.2018. Niederschlagsabfluss einer stark frequentierten Verkehrsfläche wird aus einem Regenwasserkanal ab einem Wasserstand von 2 cm mittels Peristaltikpumpe ($Q_{\max} = 6 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$) gepumpt. Im Start- und Zielschacht der SediPipe sind Trübungssonden installiert, deren Messsignale mittels Umrechnungsfunktion in eine kontinuierliche AFS-Zeitreihe konvertiert werden.

4 Diskussion

4.1 Zusammenhang zwischen AFS und Trübung

Das Bestimmtheitsmaß R^2 der linearen Regression im Anlagenzulauf von 0,73 und im Anlagenablauf von 0,68 lässt auf eine gute Anpassung schließen, die eine Verwendung zur Herleitung kontinuierlicher AFS-Zeitreihen zulässt. Es fällt auf, dass die Steigungen der Kennlinien für den Zu- und den Ablauf sehr ähnlich sind. Die Trübung basiert auf einer Streulichtmessung und wird durch vielfältige Umgebungs- und Partikeleigenschaften beeinflusst. An Versuchen mit dem Quarzmehl Millisil konnten Leutnant et al. (2016b) den Einfluss der Partikelverteilung verdeutlichen. Es konnte gezeigt werden, dass Proben mit einem höheren Feinanteil bei gleicher Konzentration höhere Trübungen hervorrufen, dass auf eine Zunahme der spezifischen Partikeloberfläche zurückzuführen ist. In der SediPipe wird das Wasser nach dem Sedimentati-

onsprinzip behandelt. Innerhalb der Anlage verändert sich somit die Partikelverteilung hin zu einem höheren Feinanteil am Zielschacht. Vor diesem Hintergrund wurde ein höherer Einfluss auf die Trübung am Zielschacht erwartet, der sich jedoch noch nicht beobachten lässt.

4.2 Stofffrachten und Anlagenwirkungsgrade

Die gemessenen AFS-Zulauffrachten der 11 Ereignisse liegen im Bereich von 4 kg und 35 kg. Im Ablauf wurden AFS-Ereignisfrachten zwischen 2.6 kg und 26 kg ermittelt. Der höchste Wirkungsgrad liegt bei 67 %, der kleinste wurde zu 12 % errechnet. Bei 3 Ereignissen beträgt das Verhältnis zwischen Beschickungsvolumen zum Niederschlags-Abfluss-Volumen nahezu 100 %, dass einer Vollstrombehandlung entspricht. Hier liegen die Wirkungsgrade bei 32 %, 36 % und 43 %. Der Gesamtwirkungsgrad, der sich aus der Summe der Zu- und Ablauffrachten aller Ereignisse berechnet, beträgt 32 %.

Tabelle 2 zeigt weiterhin, dass die Zulauffracht mit zunehmender Niederschlagsdauer zunimmt. Das Datenmaterial lässt jedoch noch keine Bewertung zu, ob bei einem Ereignis das zur Verfügung stehende Stoffpotenzial vor Ereignisbeginn gänzlich ausgeschöpft wurde („frachtlimitiertes Ereignis“, Zhao et al. (2016)). Weiterhin ist anzumerken, dass die Ereignisse lediglich eine stark begrenzte Periode berücksichtigen (überwiegend Dezember 2017). Die Wirkung der Anlage bei z.B. chloridhaltigen Niederschlagsabflüssen der Winterperiode kann noch nicht beurteilt werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mittels kontinuierlicher Gütemesstechnik werden Wirkungsgrade von großen dezentralen Anlagen in-situ bestimmt. Zwei marktverfügbare Anlagen vom Typ SediPipe XL 600/12 (Fränkische Rohrwerke) und Lamellenklärer ViaTub 18R 63 (Mall) sind bereits installiert und werden messtechnisch erfasst. An einem dritten Standort wird eine weitere Anlage installiert und den zuvor genannten Anlagen vergleichend gegenübergestellt.

Die Korrelation zwischen Trübung und AFS lässt eine Umrechnung des Trübungssignals zu, so dass AFS-Ereignisfrachten mittels kontinuierlichen Messdaten bestimmt werden können. Für den Standort „SediPipe“ beträgt das Bestimmtheitsmaß der Regression für den Anlagenzulauf 0.73 und für den Anlagenablauf 0.68. Für den Standort „Lamellenklärer“ liegen noch keine ausreichenden Daten vor.

Die anfängliche Anordnung der Trübungssonden im Zu- und Ablauf der Anlagen war den Messbedingungen nicht bestmöglich angepasst, da i) Luftblasen und ii) Verschlammung der Optik zu erhöhten Lücken im Datenmaterial führten. Durch eine nachträgliche Lageänderung der Sonde und eine zusätzliche Druckluftspülung wird eine Verbesserung der Messkontinuität erwartet.

Für den Standort „Lamellenklärer“ konnten noch nicht ausreichend belastbare Daten erhoben werden, da die Installation der Gütemesstechnik aufgrund von organisatorischen Komplikationen auf der Baustelle erst im März 2018 erfolgen konnte.

Für den Standort „SediPipe“ wurden 11 Ereignisse ausgewertet. Hier zeigte sich ein Gesamtwirkungsgrad von 32 % für den Parameter AFS. Die Auswirkung saisonaler Einflüsse auf Reinigungsprozesse und das Verhalten der Anlagen im Langzeitbetrieb sind zentrale Fragestellungen des Forschungsprojektes, können zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht belastbar bewertet werden. Als Ursache gelten Verzögerungen im Bauablauf, Messtechnische Ausfälle und längere Trockenperioden im Frühjahr 2019.

6 Danksagung

Das Projekt wird gefördert durch das MUNLV des Landes NRW. Die Autoren danken dem MUNLV des Landes NRW für die Förderung des Projektes sowie der Stadt Münster für die Finanzierung und Bau der Anlagen und die tatkräftige Unterstützung bei der Installation der Messeinrichtungen.

7 Literatur

Bertrand-Krajewski, J.-L. (2004): *TSS concentration in sewers estimated from turbidity measurements by means of linear regression accounting for uncertainties in both variables*. In: *Water Science and Technology*, 50(11), S. 81–88.

Dierschke, D.-I. M. und Welker, A. (2014): *Anleitung zur Bestimmung von (feinen) Feststoffen in Niederschlagsabflüssen*.

DIN 38409-2 (1987): *Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H) - Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe und des Glührückstandes (H 2)*.

Grafana Labs (2017): *Grafana*. New York, NY / Stockholm, Sweden.

Hannouche, A., Chebbo, G., Ruban, G., Tassin, B., Lemaire, B. J., und Joannis, C. (2011): *Relationship between turbidity and total suspended solids concentration within a combined sewer system*. In: *Water Science and Technology*, 64(12), S. 2445–2452.

InfluxData (2017): *InfluxDB*. San Francisco, CA.

Leutnant, D., Henrichs, M., Muschalla, D., und Uhl, M. (2015): *OSCAR - An online supervisory control and urban drainage data acquisition system with R*. In: T. Maere, S. Tik, S. Duchesne, und P. Vanrolleghem (Hrsg.): *Proceedings of the 10th International Conference on Urban Drainage Modelling*, S. 135–138, Quebec, Kanada.

Leutnant, D., Muschalla, D., und Uhl, M. (2016a): *Stormwater Pollutant Process Analysis with Long-Term Online Monitoring Data at Micro-Scale Sites*. In: *Water*, 8(7), S. 299.

Leutnant, D., Schleifenbaum, R., Rickert, G., Grüning, H., und Uhl, M. (2016b): *Stofftransport und –behandlung in der Siedlungshydrologie (STBMOD)*. Schlussbericht. BMBF Förderkennzeichen 03FH033PX2 Münster: Fachhochschule Münster, Institut für Wasser·Ressourcen·Umwelt (IWARU).

Métadier, M. und Bertrand-Krajewski, J.-L. (2012): *The use of long-term on-line turbidity measurements for the calculation of urban stormwater pollutant concentrations, loads, pollutographs and intra-event fluxes*. In: *Water Research*, 46(20), S. 6836–6856.

MKULNV NRW (2004): *Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren („Trennerlass“)*.

R Core Team (2017): *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

Zhao, H., Chen, X., Hao, S., Jiang, Y., Zhao, J., Zou, C., und Xie, W. (2016): *Is the wash-off process of road-deposited sediment source limited or transport limited?*. In: *Science of The Total Environment*, 563–564, S. 62–70.

Korrespondenz an:

Dominik Leutnant
IWARU, FH Münster, Corrensstr. 25, 48149 Münster
Tel.: +49-251-8365274
E-Mail: leutnant@fh-muenster.de