

Quantifizierung der Schmutzfrachtdynamik des Zentralen Speicherkanals ZSK bei Mischwasserereignissen im Zulauf zur Kläranlage Graz

Thomas Hofer, Günter Gruber und Dirk Muschalla

TU Graz, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau,
Stremayrgasse 10/I, A-8010 Graz

Kurzfassung: Durch den Betrieb des Zentralen Speicherkanals ZSK in Graz ist es möglich, Entlastungsfrachten aus Mischwasserüberläufen vor der direkten Einleitung in die Mur aufzufangen, temporär zu speichern und der Kläranlage zur weitergehenden Reinigung zuzuführen. Um die dabei auftretende stoffliche Dynamik abschätzen zu können, können die dabei auftretenden Stofffrachten mit Einsatz von Online-Monitoring-Systemen separat für Trockenwetter- und Regenwetterbedingungen erfasst werden. Darauf basierend ist es möglich, die Entleerungsfrachten des zwischengespeicherten Volumens im ZSK zur Kläranlage Graz abzuschätzen und damit auch den dadurch erzielbaren Stoffrückhalt für jedes Regenereignis zu quantifizieren. Bisherige Auswertungen von sieben Entleerungsereignissen im Zeitraum von November 2016 bis Mai 2017 mit einem durchschnittlichen Speichervolumen von 16 700 m³ ergaben auf Basis des chemischen Sauerstoffbedarfs CSB einen mittleren Stoffrückhalt von rund 6,3 t je Entleerungsereignis. Hochgerechnet auf den in Umsetzung begriffenen Ausbau des ZSK mit einem potenziell aktivierbaren Gesamtspeichervolumen von 106 000 m³ kann je Ereignis von einem CSB-Stoffrückhalt von bis zu 72 % im Vergleich zur aktuellen mittleren CSB-Fracht im Zulauf zur Kläranlage bei Trockenwetter ausgegangen werden.

Keywords: Kläranlage, Mischwasserereignis, Online-Monitoring, Schmutzfrachtdynamik, Speicherkanal

1 Einleitung

Das Entwässerungssystem von Graz steht derzeit vor zwei wesentlichen

Herausforderungen für die Zukunft. Zum einen führt das stetig steigende Bevölkerungswachstum im Stadtgebiet sowohl zu einer Erhöhung der Durchflussmengen als auch der abgeleiteten Stofffrachten im Kanalnetz (2001: 225 000 E, 2017: 287 000 E, 2034: 329 000 E prognostiziert). Zum anderen vergrößert sich das vorhandene und nutzbare Speichervolumen im Kanalnetz durch den zweistufigen Bau des Zentralen Speicherkanals ZSK entlang der Mur. Dieser Kanal dient zum einen zur Sicherstellung des Entwässerungskomforts im Stadtgebiet und zum anderen zur Fassung und Zwischenspeicherung der Entlastungsmengen aus vorhandenen Mischwasserüberläufen (MÜ) in die Mur, um diese Mischwässer nach Regenereignissen geregelt der Abwasserreinigungsanlage ARA Graz zur Reinigung zuzuführen.

Während das zukünftig zu erwartende hydraulische und stoffliche Abwasseraufkommen auf Basis der Bevölkerungszunahme über einwohnerspezifische Frachtansätze gut abgeschätzt werden kann (ATV-DVWK-A 198, 2003), ist für die zusätzlichen Frachtabschätzungen von gesammelten Mischwasserentlastungen aus dem Zentralen Speicherkanal ZSK eine detailliertere Betrachtung notwendig, da diese sowohl eine hohe hydraulische Dynamik wie auch eine hohe zeitliche und stoffliche Variabilität aufweisen (Gujer, 2013). Derartige Stofffrachten können hinsichtlich ihrer Quantität und Dynamik mittels Online-Monitoring von Durchflussraten und den korrespondierenden Stoffkonzentrationsverläufen erfasst werden. Die Multiplikation beider Signale ergibt den zeitlichen Verlauf der auftretenden Stofffrachten (Brzezińska et al., 2016).

Betrachtet man als Ort für das Online-Monitorings den Zulauf zu einer ARA, so können die dort auftretenden Durchflussraten noch relativ leicht erfasst werden, da in Österreich zum einen eine Zulaufmengenmessung auf Kläranlagen generell vorgeschrieben ist (OEWAV, 2007b) und zum anderen die maximal auftretenden Durchflussmengen zu den Kläranlagen systembedingt limitiert sind. Die ankommenden Stofffrachten hingegen basieren in der Regel auf analytischen Tagesmittelwerten aus der gesetzlich vorgeschriebenen Eigenüberwachung (1. AEV, 2016). Dadurch können daraus alleine keine detaillierten Informationen über die ankommende Stofffrachtdynamik ermittelt werden. Der Einsatz von Online-Monitoring-Systemen erlaubt es allerdings, die zumeist unbekannte Stofffrachtdynamik sowohl bei Trockenwetter- wie auch bei Regenwetterbedingungen

messtechnisch zu erfassen. Für den Trockenwetterfall können damit typische Tagesgänge der Stoffkonzentrationen ermittelt werden. Im Regenwetterfall bei Mischwasserabfluss können damit sowohl temporär auftretende Frachtspitzen als auch Verdünnungseffekte in hoher zeitlicher Auflösung detektiert werden.

In diesem Beitrag wird eine Methode vorgestellt, mit der die bis dato unbekannte Stofffrachtdynamik im Zulauf zur ARA Graz mithilfe von Online-Monitoring-Systemen messtechnisch in hoher zeitlicher Auflösung erfasst werden kann. Dadurch kann zum einen zusätzliches Wissen über die Durchfluss- und Stofffrachtdynamik im Kanalnetz bei Trockenwetter- und vor allem aber auch bei Regenwetterbedingungen gewonnen werden und zum anderen können damit auch Abschätzungen der zusätzlich aus den Entleerungsvorgängen des ZSK resultierenden Schmutzfrachten im Zulauf zur ARA Graz und der damit reduzierten Gewässerbelastung durchgeführt werden.

2 Methodik

Die gewählte Methodik zur Quantifizierung der Stofffrachtdynamik im Mischwasserfall basiert auf der Trennung zwischen den Stofffrachten im Trockenwetter- und Regenwetterabfluss (Metadier & Bertrand-Krajewski, 2011). Der schematische Ablauf der Methodik ist in Abbildung 1 dargestellt. Um den jeweiligen Trockenwetteranteil während eines Regenereignisses im Mischwasserabfluss abschätzen zu können, ist es notwendig, charakteristische Tagesgänge für die Durchflussrate Q (Abbildung 1a) und die Stoffkonzentration C (Abbildung 1b) auf Basis von zeitlich hoch aufgelösten Messdaten zu ermitteln. Die Trennung von Trockenwetter- und Regenwettertagen erfolgt dabei durch die beiden Kriterien der maximalen täglichen Durchflussrate und des täglichen Zulaufvolumens zur ARA. Basierend auf geprüften und kalibrierten Messdaten erfolgt eine statistische Auswertung, um daraus typische durchschnittliche Tagesgänge zu bestimmen. Durch Multiplikation von Durchflussrate Q und Stoffkonzentration C ergeben sich daraus typische durchschnittliche Stofffrachtverläufe F bei Trockenwetter (Abbildung 1c).

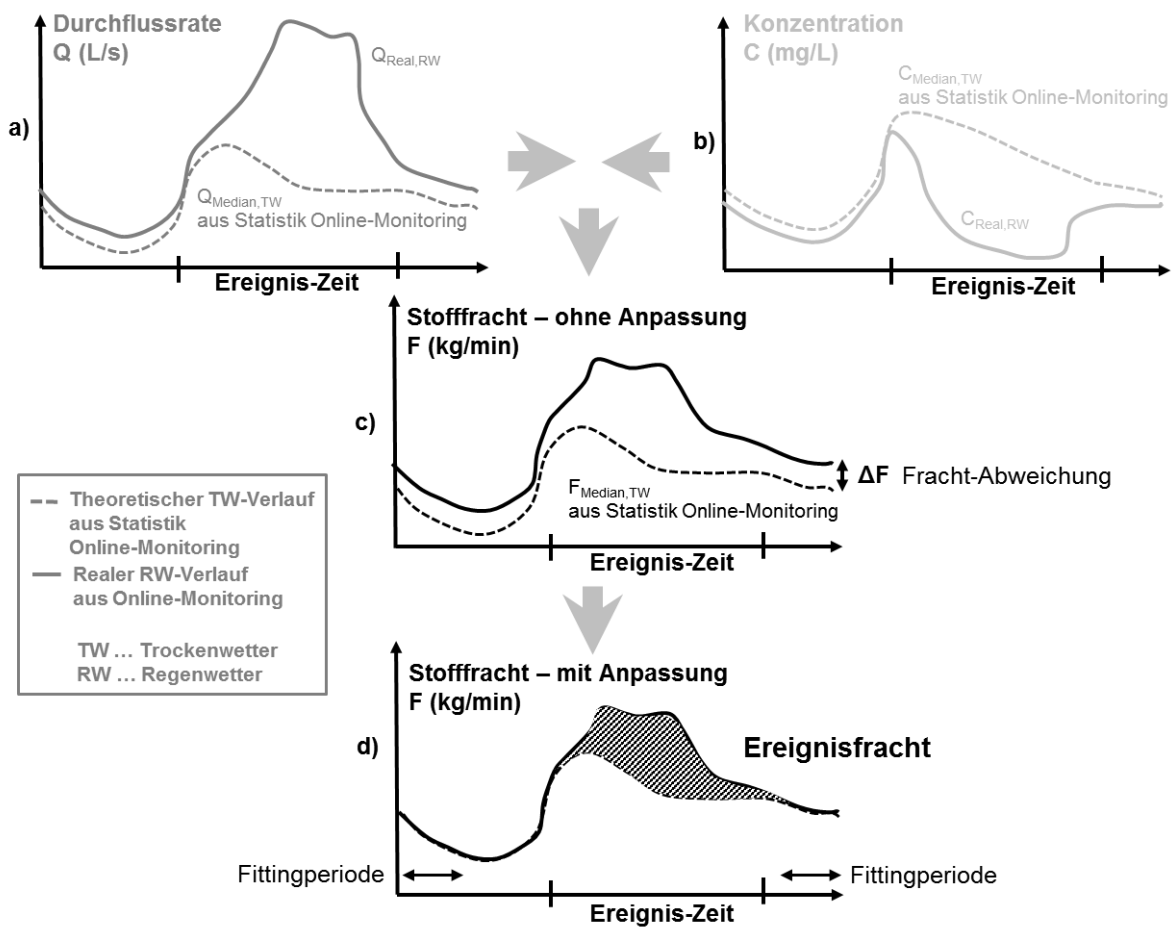


Abbildung 1: Methodik zur Quantifizierung der Stofffrachtdynamik von Mischwasserereignissen.

Da die ermittelten typischen Tagesgänge jeweils den Durchschnitt aller Trockenwettertage der Untersuchungsperiode darstellen, entsteht dabei zwangsläufig eine Frachtabweichung ΔF zum real gemessenen Frachtverlauf in den Zeiträumen vor und nach dem betrachteten Ereignis (Fittingperioden). Um die Netto-Fracht des Ereignisses ermitteln zu können, ist eine Minimierung der Frachtabweichung ΔF innerhalb der Fittingperioden notwendig, was in zwei Schritten erfolgt. In Schritt 1 wird der real gemessene Frachtverlauf in den Fittingperioden durch Anwendung einer frei wählbaren Filterfunktion geglättet, um eventuell vorhandene Unstetigkeiten und Rauschen aus der Frachtganglinie zu entfernen. In Schritt 2 wird die Ganglinie der durchschnittlichen Stofffracht bei Trockenwetter (basierend auf der statistischen Auswertung der Online-Monitoring-Messdaten) soweit an die real gemessene Frachtganglinie angepasst bzw. konstant verschoben, bis die Frachtabweichung ΔF in den Fittingperioden kleiner gleich 1 % der gesamten Stofffracht des Ereignisses entspricht (Abbildung

1d). Durch Subtraktion der real gemessenen Frachtganglinie und der angepassten, durchschnittlichen Frachtganglinie bei Trockenwetter wird der Netto-Frachtanteil des jeweiligen Mischwasserereignisses inklusive der dabei aufgetretenen Dynamik bestimmt.

2.1 Untersuchungsgebiet

Das betrachtete Untersuchungsgebiet umfasst das gesamte Stadtgebiet von Graz, wobei für die vorliegende Studie der Zentrale Speicherkanal ZSK sowie die ARA Graz (Ausbaugröße: 500 000 EW, $Q_{\max, \text{TW}} = 1,6 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\max, \text{MW}} = 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$) betrachtet und untersucht wurden.

Der Zentrale Speicherkanal ZSK umfasst zwei Ausbaustufen, die jeweils an den Bau der Wasserkraftwerke (WKW) Graz-Gössendorf (ZSK I) bzw. WKW Graz-Puntigam (ZSK II) gekoppelt sind. Die erste Ausbaustufe des ZSK I wurde 2012 gemeinsam mit dem WKW Graz-Gössendorf errichtet und weist mit einer Länge von 3,2 km und einem Querschnitt von $3,2 \times 2,5 \text{ m}$ ein aktivierbares Speichervolumen von 25 000 m^3 auf. In der zweiten Ausbaustufe (ZSK II) mit 69 000 m^3 aktivierbarem Speichervolumen, die ab Herbst 2017 zusammen mit dem Bau des WKW Graz-Puntigam erfolgen wird, wird der ZSK I+II zukünftig auf einer Gesamtlänge von 8,4 km ein aktivierbares Gesamtspeichervolumen von 94 000 m^3 aufweisen (Kainz et al., 2011). Nach der Fertigstellung und Inbetriebnahme werden die Entlastungsmengen von insgesamt 21 angebundenen Mischwasserüberläufen im ZSK in mehreren Speicherkaskaden, getrennt durch hydraulisch versenkbare Wehre, temporär gespeichert werden. Die Entleerung des zwischengespeicherten Volumens im ZSK erfolgt nach jedem Regenereignis direkt in den Zulaufbereich der ARA Graz, wo es je nach Kapazität der Anlage zugeführt und gereinigt wird. Derzeit verfügt der ZSK I über ein aktivierbares Speichervolumen von 25 000 m^3 . In Kombination mit dem bestehenden Mischwasserüberlaufbecken (MÜB, 12 000 m^3) im Zulaufbereich der ARA Graz stehen damit derzeit schon insgesamt 37 000 m^3 an Speicherraum zur Verfügung. Planmäßig können davon rund 14 000 m^3 rein gravitativ über einen Verbindungskanal vom ZSK direkt in das Zulaufgerinne der ARA entleert werden. Die verbleibenden rund 23 000 m^3 können im Nachgang vom ZSK in Richtung MÜB und dort über das bereits vorhandene Pumpwerk in den Zulauf der ARA gepumpt werden.

Das von der TU Graz und der Holding Graz Wasserwirtschaft betriebene Online-Monitoring-Netzwerk umfasst neben Online-Monitoring-Messstationen zur Erfassung der hydraulischen und stofflichen Dynamik im Zulauf und Ablauf der ARA Graz noch eine Vielzahl weiterer Messpunkte. Abbildung 2 zeigt eine Übersicht aller derzeit schon betriebenen Messstationen (Bezeichnung „Q“) an den zentralen Emissionspunkten in die Mur sowie zusätzliche Messstationen zur Erfassung der Hydraulik (Bezeichnung „H“) im Zentralen Speicherkanal ZSK und zur Erfassung der Niederschlagsdynamik (Bezeichnung „P“) verteilt über das gesamte Stadtgebiet.

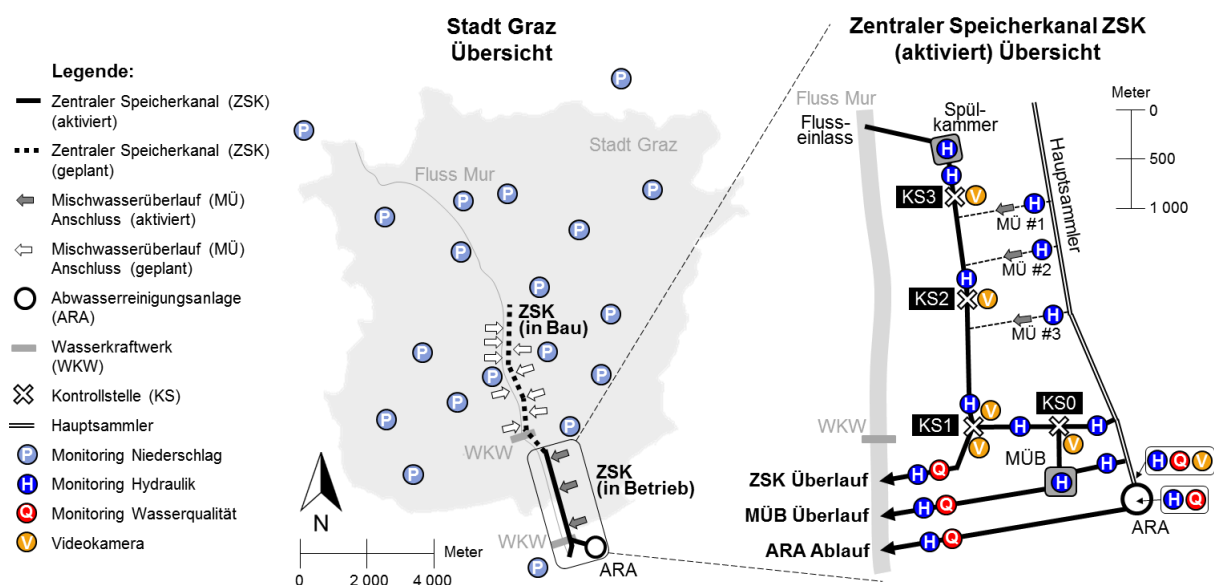


Abbildung 2: Links: Übersicht des Zentralen Speicherkanals ZSK und der Niederschlagsmessstationen („P“) im Stadtgebiet von Graz. Rechts: Übersicht des in Betrieb befindlichen Teil des ZSK mit allen zentralen Emissionspfaden und Messstationen zur Erfassung der Hydraulik („H“) und Wasserqualität („Q“).

2.2 Materialien

Im Rahmen dieser Studie werden Messdaten zur Hydraulik und der Abwasserqualität der seit April 2016 betriebenen Online-Monitoring-Station im Zulaufbereich der ARA Graz herangezogen. An diesem Messpunkt werden zusätzlich zur Durchflussrate (MID-Messung) auch noch die Konzentrationen der Summenparameter chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), biochemischer Sauerstoffbedarf nach fünf Tagen (BSB₅) und abfiltrierbare Stoffe (AFS) mittels UV-VIS Spektrometrie (Langergraber et al., 2003) sowie Ammonium-Stickstoff (NH₄-N) mittels ionenselektiver ISE-Sonden

(Winkler et al., 2004) kontinuierlich in hoher zeitlicher Auflösung (2 min Intervall) gemessen. Neben der tageszeitlichen Variabilität können damit beispielsweise auch kurzzeitige Konzentrationsspitzen und Verdünnungseffekte infolge von Regenereignissen erfasst werden.

Um eine durchgehend hohe Messqualität im Medium Rohabwasser zu gewährleisten, wurde ein intensives Wartungs- und Reinigungsintervall der Sonden (bedarfsorientiert über Alarmierungsgrenzen bzw. alle zwei Wochen) durchgeführt und mit einer kontinuierlichen semi-automatischen Datenprüfung (Branisavljevic et al., 2010) kombiniert. Zur Kalibrierung der Sonden wurden mehrere analytische Messkampagnen unter Verwendung von automatischen Probenahmesystemen durchgeführt. Die damit kalibrierten Messsignale der Stoffkonzentrationen wurden kontinuierlich anhand von täglich verfügbaren analytischen Tagesmittelwerten des ARA Labors validiert. Die Konzentrationsunterschiede lagen durchgehend innerhalb einer Bandbreite von $\pm 25\%$, was auch der erreichbaren Genauigkeit von Online-Sensoren zur Erfassung der Abwasserqualität aus Literaturangaben entspricht (Caradot et al., 2015).

3 Ergebnisse

Als Datenbasis zur Anwendung der vorgestellten Methodik standen die zeitlich hoch aufgelöste Messdaten (2 min Intervall) von 361 als valide befundenen Tagen im Zeitraum vom 30.04.2016 bis zum 30.04.2017 zur Verfügung. Die Unterscheidung zwischen Trockenwetter- und Regenwettertagen erfolgte durch eine maximale Durchflussrate zur ARA von $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$ und ein maximales Tageszulaufvolumen von $80\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ (siehe Tabelle 1). Diese beiden Kriterien berücksichtigen an den Regenwettertagen auch den auftretenden Nachlauf von Mischwasser nach Ereignisende, der aufgrund der Größe des Stadtgebiets bis zu zwei Tage andauern kann.

Tabelle 1: Aufteilung der validen Tage im Zeitraum von 30.04.2016 – 30.04.2017.

Valide Tage	Tage – Trockenwetter (Werktag, Wochenendtag)	Tage – Regenwettereinfluss
361	199 (127, 72)	162

Die statische Auswertung der Trockenwetter-Tagesgänge erfolgte mithilfe von Perzentilauswertungen aller verfügbaren Messdaten, die auch als Boxplotdarstellungen visualisiert werden können. Abbildung 3 enthält die nach dieser Vorgehensweise ausgewerteten Trockenwetter-Tagesgänge für die Durchflussrate Q (L/s) und die CSB-Konzentration (mg/L) unterschieden jeweils für Werktag und Wochenendtag. Für die Werktag ist zusätzlich die statistische Verteilung mittels stundenweisen Boxplots hinterlegt, was einen Hinweis auf die stündliche Variabilität gibt. Anhand der Durchflussrate Q ist erkennbar, dass die Tagesspitze an Werktagen jeweils um zwei Stunden früher (10 Uhr) als am Wochenende (12 Uhr) auftritt. Die absolute Tagesspitze an Werktagen ist auch deutlich höher als an den Wochenendtagen. Die CSB-Konzentration weist am Wochenende ebenfalls einen späteren Anstieg zur Tagesspitze auf, jedoch sind die Tagesmaxima hierbei annähernd identisch. Das Tagesminium tritt um etwa 6 Uhr für die Durchflussrate Q bzw. um etwa 7 Uhr für die CSB-Konzentration auf. Das mittlere Zulaufvolumen zur ARA Graz bei Trockenwetter beträgt rund 71 000 m³. Die mittlere CSB-Konzentration bei Trockenwetter beträgt aktuell 820 mg/L, woraus eine aktuelle mittlere CSB-Tagesfracht bei Trockenwetter von rund 58 000 kg resultiert. Analog dazu beträgt die aktuelle mittlere BSB₅-Tagesfracht bei Trockenwetter 33 000 kg (mittlere BSB₅-Konzentration = 460 mg/L) und die mittlere AFS-Tagesfracht bei Trockenwetter liegt aktuell bei rund 25 000 kg (mittlere AFS-Konzentration = 350 mg/L).

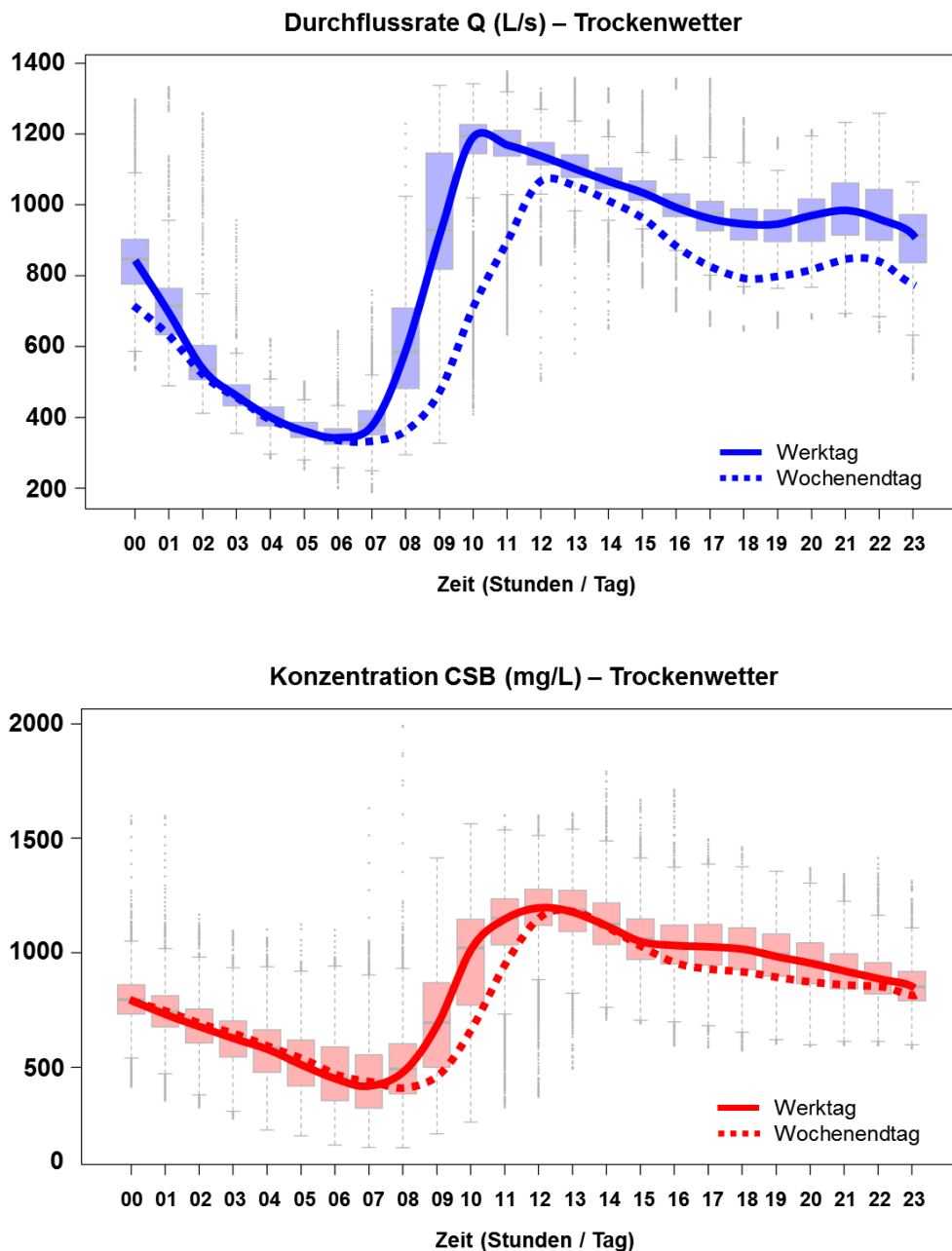


Abbildung 3: Aktuelle statistische Verteilung der Trockenwetter-Tagesgänge für die Durchflussrate Q (L/s) und die CSB-Konzentration (mg/L) im Zulauf zur ARA Graz.

Im Untersuchungszeitraum konnten bisher sieben Entleerungen in der derzeitigen Ausbaustufe des Zentralen Speicherkanals ZSK I nach Regenereignissen messtechnisch erfasst und auch hinsichtlich der zusätzlichen Entleerungsstofffrachten ausgewertet werden. Tabelle 2 zeigt die zugehörigen Entleerungszeiträume und –volumina der zwischengespeicherten Mischwasserentlastungsmengen im ZSK I. Das Entleerungsvolumen

lag dabei im Mittel bei 16 700 m³ und variiert je nach Ereignisgröße zwischen 12 300 und 23 000 m³. Die Ereignisse 2 – 5 weisen eine vorangegangene Trockenwetterperiode von 1 – 16 Tagen auf, wohingegen die Ereignisse 1, 6 und 7 direkt an Folgetagen von kleineren Regenereignissen stattfanden. Zusätzlich ist bei diesen drei Ereignissen anzumerken, dass diese vor bzw. nach der winterlichen Streusalzsaision stattgefunden haben, was auch ein Indiz für tendenziell geringere Entleerungsfrachten darstellt.

Tabelle 2: Messtechnisch erfasste ZSK-Entleerungsereignisse.

Ereignis #	Entleerungszeitraum		Entleerungsvolumen (m ³)	Vorangegangene Trockenwettertage
1	21.11.2016 07:30	21.11.2016 20:29	16 500	0
2	08.02.2017 08:00	09.02.2017 06:30	21 300	1
3	17.02.2017 23:39	18.02.2017 12:59	15 200	6
4	01.03.2017 05:39	01.03.2017 15:22	13 200	4
5	05.04.2017 09:11	05.04.2017 19:15	12 300	16
6	29.04.2017 10:09	29.04.2017 22:41	15 300	0
7	23.05.2017 00:36	24.05.2017 20:00	23 000	0
Min	x	x	12 300	x
Mittel	x	x	16 700	x
Max	x	x	23 000	x

Die berechneten Entleerungsfrachten wurden für die drei Stoffgrößen CSB, BSB₅ und AFS ausgewertet und sind in der Tabelle 3 dargestellt. Die CSB-Entleerungsfracht betrug bisher im Mittel 6 300 kg (Minimum: 2 900 kg, Maximum: 7 900 kg). Dabei ist eine Abhängigkeit der Frachtgrößen von der vorherigen Trockenwetterperiode erkennbar, da die Ereignisse 1, 6 und 7 mit einer Vorperiode von 0 Tagen deutlich geringere Frachten aufwiesen als der Rest der Ereignisse, obwohl sich die Entleerungsvolumina in gleichen Größenordnungen bewegten. Dieser Effekt zeigte sich bei den BSB₅-Entleerungsfrachten (Mittel: 3 200 kg, Minimum: 1 500 kg, Maximum: 4 600 kg) ebenfalls und in einer noch deutlicheren Ausprägung auch bei den AFS-Entleerungsfrachten (Mittel: 3 000 kg, Minimum: 420 kg, Maximum: 4 500 kg).

Tabelle 3: Berechnete ZSK-Entleerungsfrachten je Ereignis.

ZSK-Entleerungsfrachten je Ereignis			
Ereignis #	CSB (kg)	BSB₅ (kg)	AFS (kg)
1	5 000	2 600	1 300
2	7 600	4 600	4 500
3	7 900	3 800	4 500
4	7 700	3 200	3 900
5	7 000	2 800	2 800
6	2 900	1 500	420
7	6 100	4 000	3 400
Min	2 900	1 500	420
Mittel	6 300	3 200	3 000
Max	7 900	4 600	4 500

Als Bezugsgröße zwischen Volumen und Fracht je Entleerung diene die berechnete mittlere Entleerungskonzentration je Ereignis (siehe Tabelle 4). Die mittlere Entleerungskonzentration für CSB lag demnach bei den 7 bisher ausgewerteten Ereignissen im Mittel bei 398 mg/L (Minimum: 190 mg/L, Maximum: 583 mg/L). Ein tendenziell ähnliches Bild ergab sich für den BSB₅ (Mittelwert: 195 mg/L, Minimum: 98 mg/L, Maximum: 250 mg/L) und auch für den AFS (Mittelwert: 183 mg/L, Minimum: 27 mg/L, Maximum: 296 mg/L).

Eine gesonderte Betrachtung der Ereignisse 1, 6 und 7, die alle außerhalb der Wintersaison lagen, ergab eine mittlere CSB-Konzentration von nur noch 252 mg/L.

Tabelle 4: Berechnete mittlere ZSK-Entleerungskonzentrationen je Ereignis.

Mittlere ZSK-Entleerungskonzentrationen je Ereignis			
Ereignis #	CSB (mg/L)	BSB₅ (mg/L)	AFS (mg/L)
1	303	158	79
2	357	216	211
3	520	250	296
4	583	242	295
5	569	228	228
6	190	98	27
7	265	174	148
Min	190	98	27
Mittel	398	195	183
Max	583	250	296

4 Schlussfolgerungen

Bisher konnten sieben Entleerungsereignisse aus dem Zentralen Speicherkanal ZSK I in den Zulauf zur ARA Graz messtechnisch erfasst und ausgewertet werden. Die Entleerungskonzentrationen lagen dabei im Mittel für CSB bei 398 mg/L, für BSB₅ bei 195 mg/L und für AFS bei 183 mg/L. Bei der bisher aufgetretenen durchschnittlichen Speicherraumausnutzung von 16 700 m³ je Ereignis kann dabei von einem Stoffrückhalt von etwa 6,3 t für CSB, etwa 3,2 t für BSB₅ und rund 3,0 t für AFS ausgegangen werden.

Bei ergiebigeren Regenfällen in den Sommermonaten können tendenziell größere Mischwassermengen im Kanalnetz und auch größere Entlastungsmengen über Mischwasserüberläufe erwartet werden, was auch bereits zu einer höheren Ausnutzung des Speicherraums im ZSK I führen wird. Ausgehend vom aktuell vorhandenen Gesamtspeichervolumen im ZSK I von 37 000 m³ und den bisher berechneten mittleren Entleerungskonzentrationen liegt beispielsweise der potenzielle Stoffrückhalt für CSB im ZSK I in einem Bereich von 9,3 t – 14,7 t, was einem relativen Frachtanteil von etwa 16 – 25 % bezogen auf die aktuellen durchschnittlichen CSB-Tagesfrachten zur ARA bei Trockenwetter entspricht.

Durch die gerade in Bau befindliche zweite Ausbaustufe des ZSK wird sich das nutzbare Speichervolumen von aktuell 37 000 m³ um den Faktor 2,86 auf insgesamt 106 000 m³ erhöhen. Der potenzielle Stoffrückhalt für CSB-Frachten würde damit bei einer Vollausschüttung des Speicherraums auf rund 26,5 t – 42,0 t ansteigen, was wiederum einem relativen Frachtanteil von bis zu maximal 45 – 72 % einer durchschnittlichen aktuellen CSB-Tagesfracht zur ARA bei Trockenwetter entsprechen würde.

Durch den Betrieb des ZSK werden die Entlastungsfrachten von Mischwasserüberläufen während Regenereignissen bereits derzeit in den genannten Größenordnungen aufgefangen, temporär zwischengespeichert und einer anschließenden gezielten Reinigung auf der ARA Graz zugeführt. Dadurch werden die Schmutzstoffeinträge aus Mischwasserentlastungen in die Mur dauerhaft reduziert, was als positiver Effekt auf die Gewässerqualität zu bewerten ist. Diese zentrale Maßnahme wird die Stadt

Graz dabei wesentlich unterstützen, den Stand der Technik für Mischwasserentlastungen in Österreich nach dem ÖWAV-Regelblatt 19 (ÖEWAV, 2007a) zu erreichen.

Zur Validierung der bisher berechneten mittleren CSB-Konzentration im ZSK I können auch vergleichende Messdaten einer Online-Monitoring-Messstation an einem innerstädtischen Mischwasserüberlauf (MÜ-R05) von Graz herangezogen werden, an dem im Zeitraum von 2003 bis 2012 bereits Mischwasserentlastungen in hoher zeitlichen Auflösung stofflich erfasst wurden (Gruber et al., 2004) und welcher zukünftig auch an den ZSK II angebunden sein wird. Die daran angeschlossene kanalisierte Einzugsgebietsfläche entspricht mit rund 456 ha ca. 8 % der gesamten kanalisierten Fläche von Graz. Die Kalibrierung der Messdaten erfolgte dabei auf Basis von durchgeführten analytischen Messkampagnen mit Ansätzen aus Lepot et al. (2016). Daraus resultierte eine mittlere CSB-Entlastungskonzentration am betrachteten MÜ von rund 292 mg/L (Basis: 47 Entlastungsereignisse über den MÜ in die Mur im Zeitraum von 2009 bis 2011). Diese mittlere CSB-Ereigniskonzentration ist rund 100 mg/L kleiner als der ermittelte Wert der CSB-Entleerungskonzentration im ZSK I. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die meisten der sieben bisher ausgewerteten Entleerungsereignisse dieser Studie in die Winterperiode mit in der Regel höheren stofflichen Belastungen fielen (z. B. durch Ausbringung von Streusalz), kann davon ausgegangen werden, dass sich der CSB-Mittelwert für Entleerungsereignisse unter Berücksichtigung von zukünftigen Entleerungsereignissen in den Sommermonaten tendenziell reduzieren und damit der mittleren Entlastungskonzentration am betrachteten MÜ-R05 annähern wird.

Mithilfe der gewonnenen Messdaten der Online-Monitoring-Station im Zulauf zur ARA Graz ist es möglich, detaillierte Erkenntnisse über die stoffliche Dynamik aus dem gesamten Kanalnetz inklusive ZSK für die ARA in Trockenwetter- und Regenwetterperioden zu erhalten. Diese Kenntnis über typische Frachttagesgänge bei Trockenwetterbedingungen kann auch dafür genutzt werden, um Tageszeiten mit geringeren Zulauffrachten zu identifizieren. Diese Zeiten können und sollten auch zur Entleerung von zusätzlichen Stofffrachten aus dem ZSK genutzt werden, um die Stofffrachtbelastung für die ARA möglichst kontinuierlich zu halten und um problematische Frachtspitzen zu reduzieren. Da das installierte Online-

Monitoring-System auch zukünftig weitergeführt und betrieben werden soll, wird es mit der vorgestellten Methodik möglich sein, auch die zukünftigen Entleerungsvorgänge des ZSK in den kommenden Monaten zu erfassen. Dies wird zu noch detaillierteren Aussagen über die Dynamik von Mischwasserereignissen im Zulauf zur ARA Graz beitragen. Die daraus ableitbaren Ergebnisse und Erkenntnisse können zum einen zur Entwicklung von optimalen Bewirtschaftungsstrategien für den ZSK und zum anderen auch zu einem möglichst stabilen und effizienten zukünftigen Kläranlagenbetrieb beitragen.

5 Danksagung

Unser Dank geht an die Verantwortlichen der Holding Graz Wasserwirtschaft, welche die Durchführung dieser Studie ermöglicht und über die gesamte Projektlaufzeit auch tatkräftigst unterstützt haben. Einen ganz besonderen Dank wollen wir den Mitarbeitern der ARA Graz und auch unserem Labor-, Messtechnik- und IT-Team am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz aussprechen.

6 Literatur

- AEV (2016). *Verordnung für kommunales Abwasser*, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- ATV-DVWK (2003). *Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 - Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Germany.
- Branisavljevic N., Prodanovic D. und Pavlovic D. (2010). Automatic, semi-automatic and manual validation of urban drainage data. *Water Science and Technology*, **62**(5), 1013–1021.
- Brzezińska A., Zawilski M. und Sakson G. (2016). Assessment of pollutant load emission from combined sewer overflows based on the online monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*, **188**(9).

- Caradot N., Sonnenberg H., Rouault P., Gruber G., Hofer T., Torres A., Pesci M. und Bertrand-Krajewski J.-L. (2015). Influence of local calibration on the quality of online wet weather discharge monitoring: feedback from five international case studies. *Water Science and Technology*, **71**(1), 45–51.
- Gruber G., Winkler S. und Pressl A. (2004). Quantification of pollution loads from CSOs into surface water bodies by means of online techniques. *Water Science and Technology*, **50**(11), 73–80.
- Gujer W. (2013). *Siedlungswasserwirtschaft*, Springer-Verlag.
- Kainz H., Sprung W., Maurer G., Pirkner W., Gamerith V. und Gruber G. (2011). "Speicherkanäle für die Mischwasserbewirtschaftung in Graz" in *Aqua Urbanica* 2011. Graz, Austria, 44.
- Langergraber G., Fleischmann N. und Hofstaedter F. (2003). A multivariate calibration procedure for UV/VIS spectrometric quantification of organic matter and nitrate in wastewater. *Water Science and Technology*, **47**(2), 63–71.
- Lepot M., Torres A., Hofer T., Caradot N., Gruber G., Aubin J.-B. und Bertrand-Krajewski J.-L. (2016). Calibration of UV/Vis spectrophotometers: A review and comparison of different methods to estimate TSS and total and dissolved COD concentrations in sewers, WWTPs and rivers. *Water Research*, **101**, 519–534.
- Metadier M. und Bertrand-Krajewski J. L. (2011). Assessing dry weather flow contribution in TSS and COD storm events loads in combined sewer systems. *Water Science and Technology*, **63**(12), 2983–2991.
- OEWAV (2007a). *ÖWAV - Regelblatt 19 - Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen*, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien, Österreich.
- OEWAV (2007b). *ÖWAV - Regelblatt 38 - Überprüfung stationärer Durchflussmesseinrichtungen auf Abwasserreinigungsanlagen*, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria.
- Winkler S., Rieger L., Saracevic E., Pressl A. und Gruber G. (2004). Application of ion-sensitive sensors in water quality monitoring. *Water Science and Technology*, **50**(11), 105–114.

Korrespondenz an:

Dipl.-Ing. Thomas Hofer
TU Graz, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau
Stremayrgasse 10/I, A-8010 Graz
Tel.: +43 316 873 6768
Fax: +43 316 873 8367
Email: thomas.hofer@tugraz.at