

Abschätzung und Berücksichtigung der zukünftigen Schmutzfrachten aus dem Zentralen Speicherkanal der Stadt Graz bei der Erweiterung der Kläranlage Graz

Günter Gruber, Thomas Hofer, Stefan Messerschmied, Kajetan Beutle

- 1) TU Graz, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Graz, AUT
- 2) Ingenieurgemeinschaft DI Bilek & DI Krischner GmbH, Graz, AUT
- 3) Süddeutsche Abwasserreinigungs-Ingenieur GmbH, Ulm, GER
- 4) Holding Graz Wasserwirtschaft, Graz, AUT

Abstract: Durch den Zentralen Speicherkanal (ZSK) ist es in Graz zukünftig möglich, die Entlastungsfrachten von 21 der insgesamt 35 Mischwasserüberläufe entlang der Mur temporär zu speichern und nach den Regenereignissen einer ordnungsgemäßen Reinigung auf der Kläranlage Graz zuzuführen. Durch ein im Kläranlagen-Zulauf installiertes Online-Monitoring-System ist es möglich, die dabei auftretende Stofffrachtdynamik getrennt für Trockenwetter- und für Regenwetterbedingungen messtechnisch mit hoher zeitlicher Auflösung zu erfassen. Darauf basierend ist es auch möglich, die Entleerungsfrachten des im ZSK zwischengespeicherten Volumens zur Kläranlage Graz abzuschätzen und damit auch den dadurch erzielbaren Stoffrückhalt von der Mur für jedes Mischwasserereignis zu quantifizieren. Bisherige Auswertungen von 15 Entleerungsereignissen im Zeitraum von November 2016 bis Juni 2017 mit einem durchschnittlichen Speichervolumen von 16.580 m³ im ZSK ergaben auf Basis des chemischen Sauerstoffbedarfs CSB einen mittleren Stoffrückhalt von rund 5,4 t bei einer Bandbreite von 3,2 t und 8,5 t je Entleerungsereignis. Hochgerechnet auf den in Umsetzung befindlichen Vollausbau des ZSK mit einem aktivierbaren zukünftigen Gesamtspeichervolumen von 106.000 m³ kann auf Basis der 15 Entleerungsereignisse von einem mittleren CSB-Stoffrückhalt von 59 % bei einer Bandbreite von 47 % bis 72 % bezogen jeweils auf die mittleren, aktuellen CSB-Frachten im Zulauf zur Kläranlage bei Trockenwetterbedingungen ausgegangen werden. Diese im ZSK zukünftig zurückgehaltenen Stofffrachten müssen jetzt allerdings bei der geplanten Erweiterung der Kläranlage Graz mitberücksichtigt werden. In welcher Form dies geschehen ist, sowie der aktuelle Stand der Planungsphase für die Erweiterung der Kläranlage Graz bilden einen weiteren Schwerpunkt dieses Beitrages.

Key Words: Kläranlage, Kläranlagenerweiterung, Mischwasser, Speicherkanal, Online-Monitoring, Schmutzfracht, Schmutzfrachtdynamik

1 Einleitung

Das urbane Entwässerungssystem von Graz steht derzeit vor zwei wesentlichen zukünftigen Herausforderungen. Zum einen führt das stetig steigende Bevölkerungswachstum im Stadtgebiet zu einer Erhöhung der der Kläranlage Graz zugeleiteten Stofffrachten (2001: 225.000 E, 2017: 287.000 E, 2020: 294.630 E, 2034: 329.000 E prognostiziert). Zum anderen vergrößert sich durch die Errichtung des Zentralen Speicherkanals (ZSK) entlang der Mur das zukünftig nutzbare Speichervolumen im Kanalnetz um zusätzliche 94 000 m³, was deutlich mehr ist als der aktuelle durchschnittliche Trockenwetterzulauf zur Kläranlage (68.700 m³/d). Der ZSK ist durch die Errichtung von zwei Murkraftwerken in Graz-Gössendorf (Inbetriebnahme 2012) und in Graz-Puntigam (Inbetriebnahme 2019) notwendig geworden und dient zum einen der langfristigen Sicherstellung des Entwässerungskomforts im Stadtgebiet von Graz (Ableitungsfunktion in das Unterwasser der beiden Murkraftwerke) und zum anderen der Zwischenspeicherung der Entlastungsfrachten aus 21 von insgesamt 35 vorhandenen Mischwasserüberläufen (MÜ) entlang der Mur (Speicherfunktion), welche dann zukünftig jeweils nach den Mischwasserereignissen und sobald die Kläranlage Graz wieder hydraulische Kapazitäten dafür hat, einer ordnungsgemäßen Reinigung auf der Kläranlage zugeführt werden können.

Während das zukünftig zu erwartende hydraulische und stoffliche Abwasser-aufkommen zufolge der Bevölkerungszunahme durch die laufende Eigen- und Fremdüberwachung auf der Kläranlage und durch einwohnerspezifische Frachtansätze relativ gut abgeschätzt werden kann (ATV-DVWK-A 198, 2003), sind die zukünftigen aus den ZSK-Entleerungen resultierenden Schmutzfrachten zur Kläranlage deutlich schwieriger abzuschätzen, da diese sowohl eine hohe hydraulische Dynamik als auch eine hohe stoffliche Variabilität aufweisen (Gujer, 2013). Messtechnisch können derartige Stofffrachten aber mittlerweile durch das gleichzeitige Messen von Durchflussraten und den dazu korrespondierenden Stoffkonzentrationen mit Online-Systemen erfasst werden und die Multiplikation dieser beiden Messgrößen ergibt den zeitlichen Verlauf der auftretenden Stofffrachten (Gruber et al., 2005, Gruber et al., 2006, Brzezińska et al., 2016).

Aufgrund der besonders großen hydraulischen und stofflichen Variabilität an Mischwasserüberläufen (Gruber et al., 2004) stellt dort allerdings sowohl das direkte Messen als auch das Beprobieren von entlasteten Stofffrachten eine besondere Herausforderung dar und ist aus wirtschaftlichen Gründen wohl auch nur für gezielte, temporäre Messkampagnen möglich.

Demgegenüber können Stofffrachtverläufe im Zulaufbereich von Kläranlagen deutlich einfacher gemessen werden, da dort zum einen Durchflussmengen-

messsysteme generell vorgeschrieben sind (ÖWAV, 2007) und zum anderen die maximalen Zulaufmengen zu Kläranlagen systembedingt zumeist mit der ca. 2-fachen maximalen Trockenwetterdurchflussrate limitiert sind. Die Messung der Zulaufstoffkonzentrationen basiert hier allerdings zumeist auf laboranalytischen, mengenproportionalen Tagesmittelwerten aus der gesetzlich vorgeschriebenen Eigenüberwachung (AEV, 1996), woraus nur sehr schwer detailliertere Informationen über die dynamischen Stofffrachtverläufe abgeleitet werden können. Erst der Einsatz von Online-Monitoring-Systemen auch zur Messung der relevanten Stoffkonzentrationen erlaubt es, die sehr unterschiedlichen Stofffrachtverläufe sowohl bei Trockenwetter- als auch bei Regenwetterbedingungen messtechnisch genauer zu erfassen. Damit ist es auch möglich, für den Trockenwetterfall typische Tagesgänge der relevanten Stoffkonzentrationen mit einer hohen zeitlichen Auflösung zu generieren. Im Regenwetterfall können damit wiederum sowohl temporär auftretende Frachtspitzen als auch Verdünnungseffekte in hoher zeitlicher Auflösung gemessen werden.

In diesem Beitrag wird eine Methodik vorgestellt, mit der die bis dato unbekannte Stofffrachtdynamik im Zulauf zur Kläranlage Graz mithilfe von Online-Monitoring-Systemen messtechnisch mit hoher zeitlicher Auflösung erfasst werden kann. Dadurch kann zum einen zusätzliches Wissen über die Stofffrachtdynamik 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 Kläranlage Graz durchgeführt werden.

Die Ergebnisse dieser Frachtabschätzungen wurden jetzt auch für die anstehende Erweiterung der Kläranlage Graz berücksichtigt. In welcher Form dies geschehen ist, sowie der aktuelle Stand der Planungsphase für die Erweiterung der Kläranlage bildet einen weiteren Schwerpunkt dieses Beitrages.

2 Methodik zur Abschätzung zukünftiger Entleerungsfrachten aus dem ZSK Graz

Die gewählte Methodik zur Quantifizierung der Stofffrachtdynamik im Mischwasserfall basiert auf einer Unterscheidung der Stofffrachten bei Trockenwetter- und bei 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

Trockenwetter-Tagesgänge für die Durchflussrate Q (Abbildung 1a) und die dazugehörige Stoffkonzentration C (Abbildung 1b) auf Basis von zeitlich hoch aufgelösten Messdaten zu ermitteln. Die Unterscheidung von Trockenwetter- und Regenwettertagen erfolgt dabei durch die beiden Kriterien der maximalen täglichen Durchflussrate Q und des täglichen Zulaufvolumens zur Kläranlage. Basierend auf kalibrierten und geprüften Messdaten können mithilfe einer statistischen Auswertung typische durchschnittliche Trockenwetter-Tagesgänge generiert werden. Durch Multiplikation der Durchflussraten Q und der korrespondierenden Stoffkonzentrationen C ergeben sich daraus schließlich typische durchschnittliche Trockenwetter-Stofffrachtverläufe F (Abbildung 1c), die dann in weiterer Folge mit den real gemessenen Mischwasser- oder aber auch mit den ZSK-Entleerungsereignissen verglichen werden können.

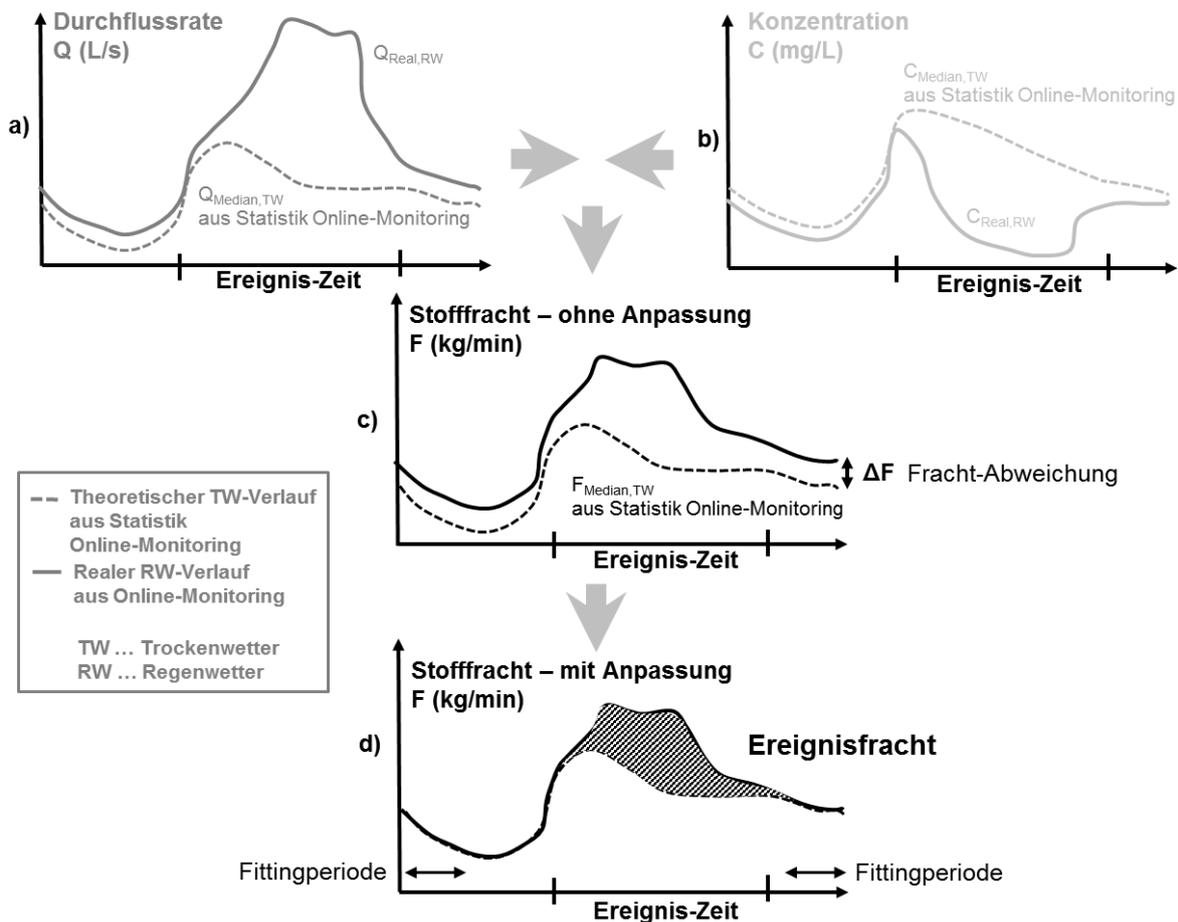


Abbildung 1: Methodik zur Quantifizierung der Stofffrachtdynamik im Zulauf zur Kläranlage Graz während Mischwasser- und auch ZSK-Entleerungsereignissen.

Da die damit ermittelbaren typischen Trockenwetter-Tagesgänge jeweils den Durchschnitt aller Trockenwettertage einer Untersuchungsperiode repräsentieren, entsteht dabei in den Zeiträumen vor und nach dem betrachteten Ereignis zwangsläufig eine Frachtabweichung ΔF zum real gemessenen Frachtverlauf (Fittingperioden). Um die daraus dann interessierende Ereignisfracht (Netto-

Fracht) ermitteln zu können, ist eine Minimierung der Frachtabweichung ΔF innerhalb dieser Fittingperioden notwendig, was in zwei Schritten erfolgt. Im 1. Schritt wird zunächst der real gemessene Frachtverlauf in den Fittingperioden durch Anwendung einer frei wählbaren Filterfunktion geglättet, um eventuell vorhandene Unstetigkeiten und ein Rauschen aus der Frachtganglinie zu entfernen. Im 2. Schritt wird die Ganglinie der durchschnittlichen Trockenwetter-Stofffracht (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 statistischen Trockenwetter-Frachtganglinie kann schließlich der Netto-Frachtanteil (die Ereignisfracht) des jeweiligen Mischwasser- oder ZSK-Entleerungsereignisses inklusive der dabei aufgetretenen Stofffracht-Dynamik abgeschätzt werden.

2.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Das betrachtete Untersuchungsgebiet umfasst das gesamte Stadtgebiet von Graz (127,6 km² mit 35,0 km² befestigter und davon wiederum ca. 20,2 km² an die Kanalisation angeschlossener Fläche), wobei für diese Studie nur der Zentrale Speicherkanal ZSK und die Kläranlage Graz mit der aktuellen Ausbaugröße von 500.000 EW₆₀ ($Q_{\max, \text{TW}} = 1,6 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\max, \text{MW}} = 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$) betrachtet und untersucht wurden.

Der Zentrale Speicherkanal ZSK umfasst zwei Bauabschnitte, die jeweils an den Bau der Wasserkraftwerke (WKW) Graz-Gössendorf (ZSK I) bzw. WKW Graz-Puntigam (ZSK II) gekoppelt sind. Der erste Bauabschnitt des ZSK I wurde bis 2012 gemeinsam mit dem WKW Graz-Gössendorf errichtet und weist mit einer Länge von 3,2 km und einem Regel-Querschnitt von 3,2 x 2,5 m ein aktivierbares Speichervolumen von 25.000 m³ auf. Gemeinsam mit der zweiten Ausbaustufe (ZSK II) mit weiteren 69.000 m³ aktivierbarem Speichervolumen, die seit Herbst 2017 gerade gemeinsam mit dem Bau des WKW Graz-Puntigam läuft, wird der ZSK I+II zukünftig auf einer Gesamtlänge von 8,4 km ein aktivierbares Gesamtspeichervolumen von 94.000 m³ aufweisen (Kainz et al., 2011). Nach der Fertigstellung und Inbetriebnahme des ZSK werden die Entlastungsmengen von 21 der insgesamt 35 Mischwasserüberläufen entlang der Mur im ZSK in mehreren Speicherkaskaden, getrennt durch hydraulisch versenkbare Wehre, temporär zwischengespeichert werden können und damit auch nicht mehr in die Mur gelangen. Die Entleerung des zwischengespeicherten Volumens im ZSK erfolgt

je nach hydraulischer Kapazität der Kläranlage nach jedem Regenereignis direkt in den Zulaufbereich der Kläranlage Graz, wobei eine maximale Entleerungszeit von 24 Stunden angestrebt wird. Derzeit verfügt der ZSK I über ein maximal aktivierbares Speichervolumen von 25.000 m³. In Kombination mit dem bestehenden Mischwasserüberlaufbecken (MÜB, 12.000 m³) im Zulaufbereich der Kläranlage Graz stehen damit derzeit schon insgesamt 37.000 m³ an Speicherraum zur Verfügung. Planmäßig können davon rund 14.000 m³ rein gravitativ über einen Verbindungskanal vom ZSK direkt in das Zulaufgerinne der Kläranlage entleert werden. Die verbleibenden 23.000 m³ können über das bereits vorhandene Pumpwerk beim MÜB in den Zulauf zur Kläranlage gepumpt werden.

Das von der TU Graz und der Holding Graz Wasserwirtschaft betriebene Online-Monitoring-Netzwerk umfasst neben Online-Messstationen zur Erfassung der hydraulischen und stofflichen Dynamik im Zulauf und Ablauf der Abwasserreinigungsanlage (ARA) Graz noch eine Vielzahl weiterer Messpunkte. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die während dieser Studie betriebenen Qualitäts-Messstationen („Q“) an den zentralen Emissionspunkten in die Mur sowie über zusätzliche Messstationen zur Erfassung der Hydraulik („H“) im Zentralen Speicherkanal ZSK und zur Erfassung der Niederschlagsdynamik („P“) im gesamten Stadtgebiet.

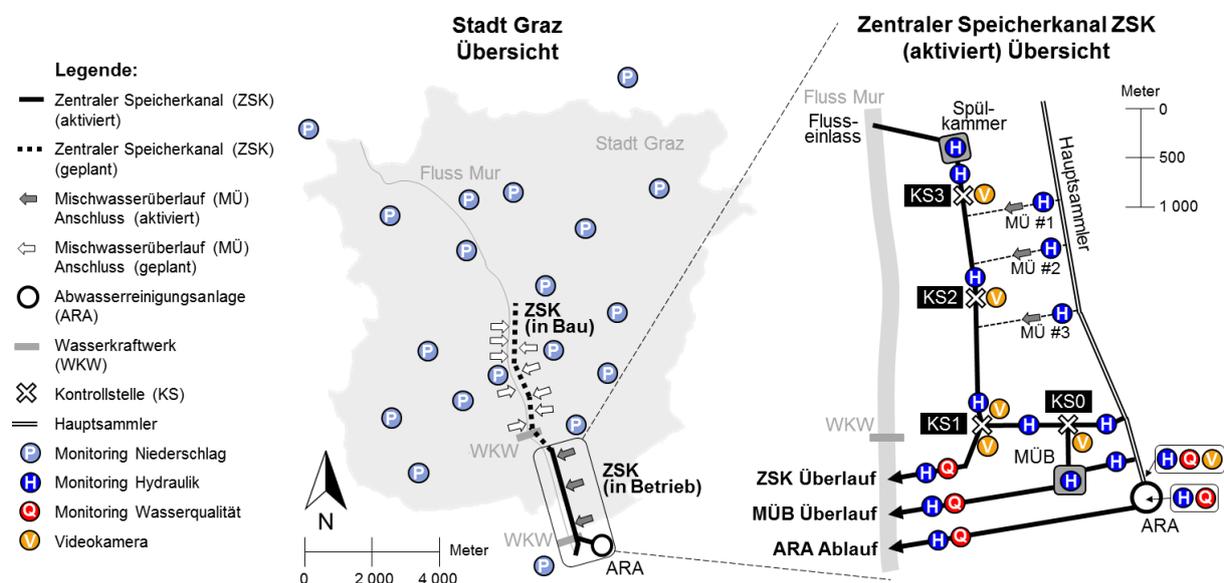


Abbildung 2: Links: Übersicht des Zentralen Speicherkanals ZSK und der Niederschlagsmessstationen („P“) im Stadtgebiet von Graz. Rechts: Übersicht des in Betrieb befindlichen Teils des ZSK I mit allen zentralen Emissionspfaden und Messstationen zur Erfassung der Hydraulik („H“) und der Wasserqualität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

2.2 Beschreibung der verwendeten Online-Sensorik

Im Rahmen dieser Studie wurden 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-Messungen) 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. Dafür installierte man im Zulaufbereich eine Bypass-Wanne der Fa. unimon vom Typ „uni-pass“ mit einem Fassungsvermögen von ca. 120 L und einem Querschnitt von 600 cm² (Abbildung 3), in welcher die o. a. Sonden im Deckel fixiert sind (Abbildung 4) und welche von einer Exzenter-Schneckenpumpe mit einer Durchflussrate von ca. 1,6 L/s kontinuierlich mit Rohabwasser aus dem Zulauf der Kläranlage beschickt wird. Viermal am Tag werden die Bypass-Wanne und die installierten Sonden automatisch mit Reinwasser gespült und gereinigt.

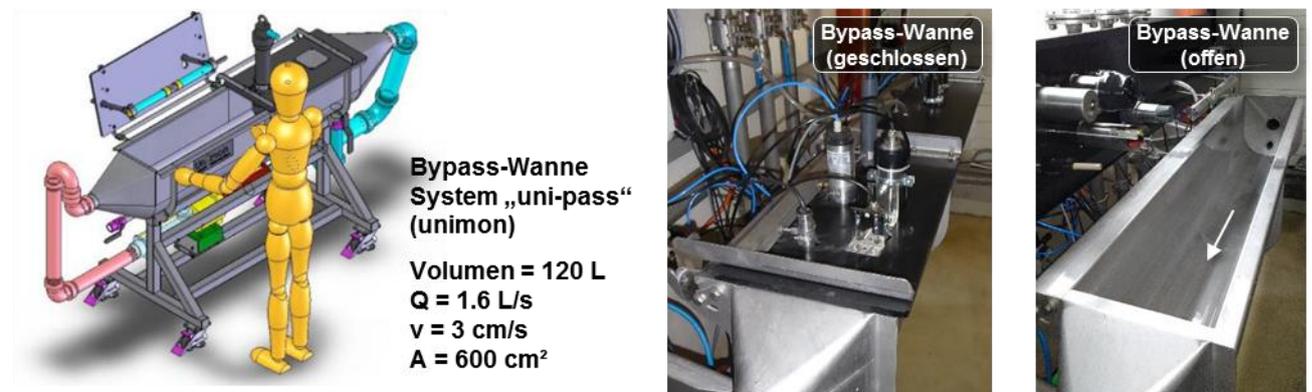


Abbildung 3: „Uni-pass“ Bypass-Wanne der Messstelle ARA Zulauf der Fa. unimon GmbH (<http://www.unimon.ch>)

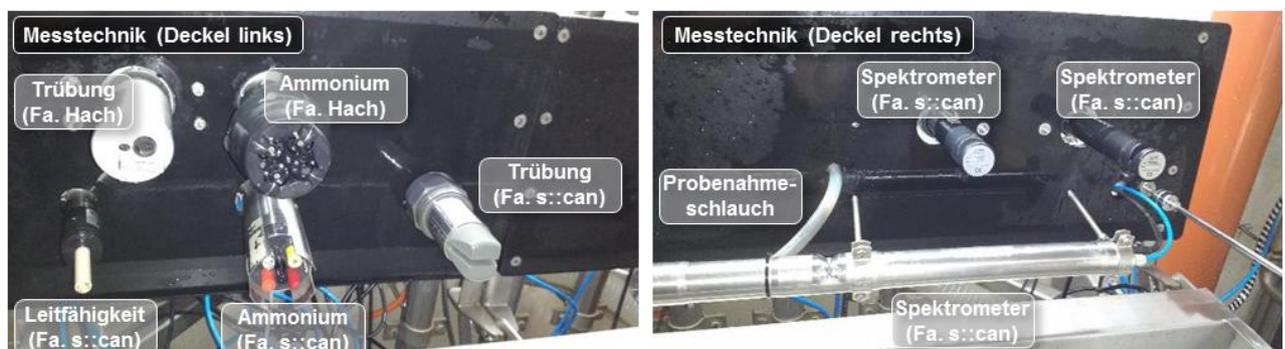


Abbildung 4: Installierte Sonden im Deckel der Bypass-Wanne der Messstelle ARA Zulauf

Neben der tageszeitlichen Variabilität können damit nun auch kurzzeitige Konzentrationsspitzen und Verdünnungseffekte infolge von Regenereignissen im Zulauf zur Kläranlage Graz mit hoher zeitlichen Auflösung erfasst werden.

Um eine durchgehend hohe Datenqualität im Medium Rohabwasser im Zulauf zur Kläranlage zu gewährleisten, wurde während der Studie 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 laboranalytische Messkampagnen mit automatischen Probennahmesystemen durchgeführt. Die damit kalibrierten Messsignale der Stoffkonzentrationen wurden kontinuierlich anhand der täglich verfügbaren, mengenproportionalen Tagesmittelwerte aus der Eigenüberwachung des ARA Labors validiert. Die Konzentrationsunterschiede lagen dabei 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

3.1 Auswertung von 15 ZSK-Entleerungsereignissen

Als Datenbasis zur Anwendung der vorgestellten Methodik standen die zeitlich hoch aufgelösten Messdaten (2 min Intervall) von insgesamt 428 Tagen bzw. 61 Wochen im Zeitraum vom 29.04.2016 bis zum 30.06.2017 zur Verfügung, von denen 423 Tage als valide definiert und für die Auswertungen verwendet werden konnten. Die Unterscheidung zwischen Trockenwetter- und Regenwettertagen erfolgte durch die beiden Kriterien maximale Durchflussrate zur ARA von 1,4 m³/s und ein maximales Tageszulaufvolumen von 80.000 m³/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 in Trocken- und Regenwettertage im Untersuchungszeitraum 29.04.2016 – 30.06.2017

Valide Tage	Trockenwetter-Tage	Tage mit Regenwettereinfluss
423 (von 428)	206	217

Die statische Auswertung der Trockenwetter-Tagesgänge erfolgte mithilfe von Perzentilauswertungen aller verfügbaren, validen Messdaten, die auch als

Boxplotdarstellungen visualisiert werden können. Abbildung 5 enthält beispielhaft die nach dieser Vorgehensweise ausgewerteten Trockenwetter-Tagesgänge für die Durchflussrate Q (L/s) und die CSB-Konzentration (mg/L) unterschieden jeweils zwischen Werktagen und Wochenendtagen.

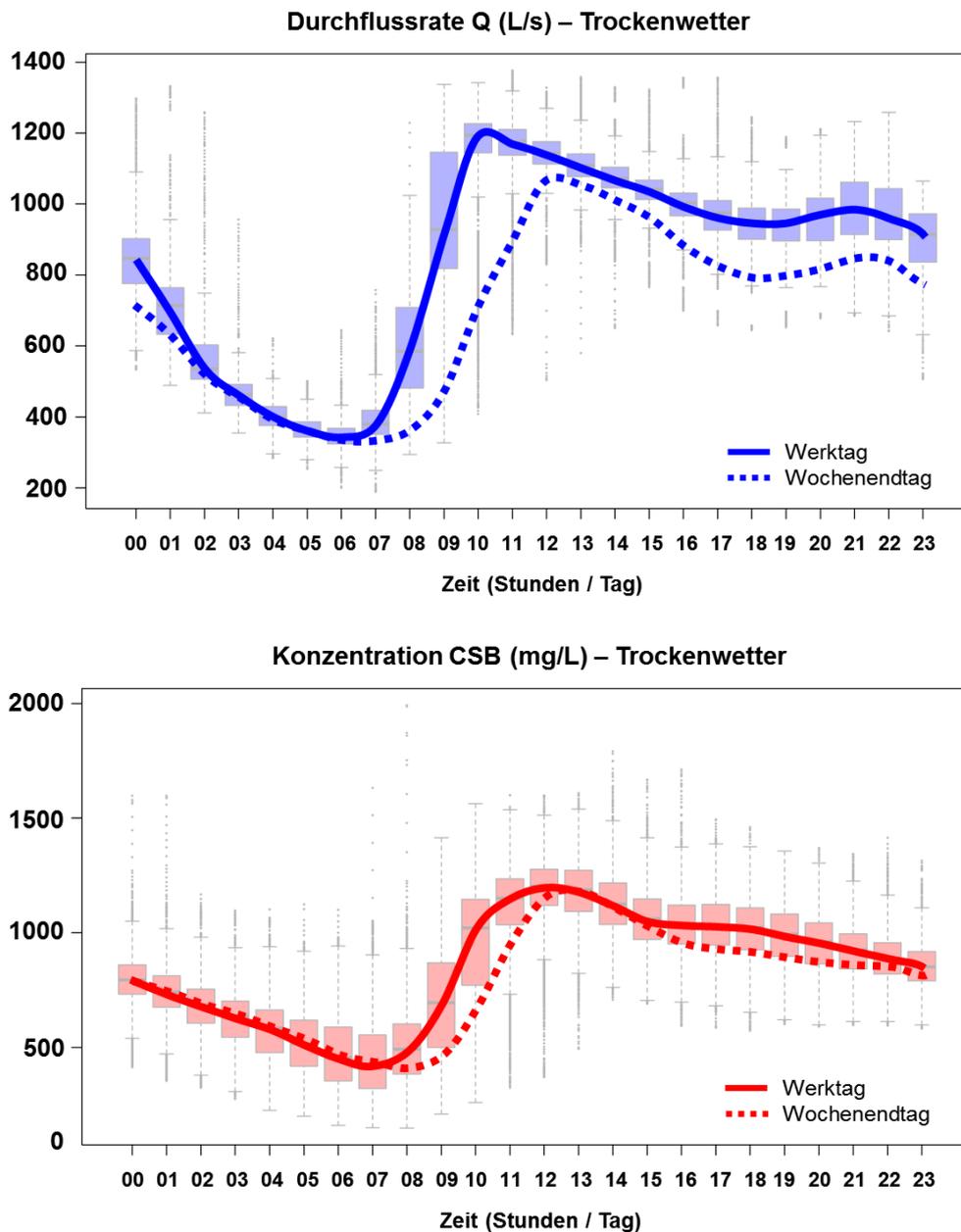


Abbildung 5: Statistische Verteilung der Trockenwetter-Tagesgänge für die Durchflussrate Q (L/s) und die CSB-Konzentration (mg/L) im Zulauf zur ARA Graz im Untersuchungszeitraum 29.04.2016 – 30.06.2017.

Für die Werktage 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 (um 10 Uhr) als am Wochenende (um 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 hin 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 betrug im Untersuchungszeitraum rund 68.700 m³. Die mittlere CSB-Konzentration bei Trockenwetter betrug 895 mg/L, woraus eine mittlere CSB-Tagesfracht bei Trockenwetter von rund 58.100 kg resultierte. Analog dazu betrug die mittlere BSB₅-Tagesfracht im Untersuchungszeitraum bei Trockenwetter 29.500 kg (432 mg/L) und die mittlere AFS-Tagesfracht bei Trockenwetter lag bei rund 24.400 kg (355 mg/L).

Im Untersuchungszeitraum konnten insgesamt 15 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 dazugehörigen Entleerungszeiträume, die vorangegangenen Trockenwettertage, die Entleerungsdauern und -volumina und ob bei den Mischwasserereignissen eine MÜB-Entlastung bei mehr als 23.000 m³ stattgefunden hat oder nicht.

Tabelle 2: Übersicht der 15 untersuchten ZSK-Entleerungsereignisse mit vorangegangenen Trockenwetterperioden, Entleerungsdauern und -volumina und ob eine MÜB-Entlastung bei mehr als 23.000 m³ aufgetreten ist oder nicht

Entleerungs-Ereignis Nr.	Entleerungszeitraum	Vorangegangene Trockenwettertage (Tage)	Entleerungsdauer (min)	Entleerungsvolumen (m ³)	MÜB-Entlastung (ja/nein)
1	2016-11-21 07:30 / 2016-11-21 22:45	0	915	16.400	nein
2	2017-02-08 13:00 / 2017-02-09 06:15	1	1.035	15.200	nein
3	2017-02-18 00:00 / 2017-02-18 15:30	6	930	15.200	nein
4	2017-03-01 05:40 / 2017-03-01 18:22	4	762	13.900	nein
5	2017-04-04 23:00 / 2017-04-05 22:45	16	1.425	17.900	nein
6	2017-04-29 00:45 / 2017-04-29 23:00	0	1.335	23.000	ja
7	2017-05-23 12:30 / 2017-05-24 08:30	0	1.200	12.400	nein
8	2017-06-03 01:45 / 2017-06-04 09:30	8	1.905	23.000	ja
9	2017-06-04 23:15 / 2017-06-05 07:00	0	465	12.900	nein
10	2017-06-07 07:00 / 2017-06-07 11:30	1	270	10.100	nein
11	2017-06-08 07:00 / 2017-06-08 16:20	0	560	12.600	nein
12	2017-06-10 13:30 / 2017-06-11 08:15	1	1.125	17.200	nein
13	2017-06-13 07:12 / 2017-06-13 20:30	1	798	15.200	nein
14	2017-06-23 22:00 / 2017-06-24 20:45	9	1.365	20.700	nein
15	2017-06-25 18:30 / 2017-06-27 01:30	0	1.860	23.000	ja
Minimum	x	x	270	10.100	x
Mittelwert	x	x	1.063	16.580	x
Maximum	x	x	1.905	23.000	x

Das Entleerungsvolumen lag dabei im Mittel bei 16.580 m³ und variiert je nach Ereignisgröße zwischen 10.100 m³ und 23.000 m³. Die Anzahl der vorangegangenen Trockenwettertage bewegte sich zwischen 0 und 16 Tagen.

Die berechneten Entleerungsfrachten wurden für die vier Stoffgrößen CSB, BSB₅, AFS und NH₄-N ausgewertet und sind in der Tabelle 3 dargestellt. Als mittlere Entleerungsfrachten ergaben sich für den CSB 5.380 kg, für den BSB₅ 2.770 kg, für den AFS 1.750 kg und für den NH₄-N 150 kg.

Tabelle 3: Übersicht der 15 ZSK-Entleerungsereignisse mit den Entleerungsvolumina und den Entleerungsfrachten für CSB, BSB₅, AFS und NH₄-N

Entleerungs- Ereignis Nr.	Entleerungs- volumen Q (m ³)	Entleerungs- fracht CSB (kg)	Entleerungs- fracht BSB ₅ (kg)	Entleerungs- fracht AFS (kg)	Entleerungs- fracht NH ₄ -N (kg)
1	16.400	3.200	1.700	930	180
2	15.200	4.870	2.540	900	130
3	15.200	7.930	4.440	5.130	160
4	13.900	3.210	1.640	1.370	110
5	17.900	7.710	4.210	2.290	160
6	23.000	6.170	3.170	1.910	140
7	12.400	5.270	2.740	1.330	110
8	23.000	5.930	2.800	1.210	230
9	12.900	4.180	2.290	1.540	110
10	10.100	3.530	1.890	2.640	110
11	12.600	3.500	1.870	880	160
12	17.200	4.590	2.190	1.640	180
13	15.200	3.920	1.660	980	120
14	20.700	8.150	4.150	1.660	180
15	23.000	8.510	4.310	1.770	210
Minimum	10.100	3.200	1.640	880	110
Mittelwert	16.580	5.380	2.770	1.750	150
Maximum	23.000	8.510	4.440	5.130	230

Im Vergleich der CSB-Entleerungsfrachten wiesen die Ereignisse 3, 5, 14 und 15 verhältnismäßig hohe Werte von mehr als 7 000 kg auf. Mit Ausnahme von Ereignis 15 lagen bei diesen 4 Ereignissen die vorangegangenen Trockenwetterperioden zwischen 6 und 9 Tagen, beim Ereignis 15 bei 0 Tagen. Das Verhältnis der Frachten von CSB und BSB₅ lag bei allen 15 Ereignissen in etwa zwischen 1,8 und 2,1. Einzig Ereignis 13 wies mit 2,36 ein höheres Verhältnis auf. In Bezug auf die AFS-Frachten konnten bei den zwei Ereignissen 3 und 10 vergleichsweise hohe Entleerungsfrachten von 5.130 kg bzw. 2.640 kg festgestellt werden.

In der Tabelle 4 sind die durchschnittlichen Entleerungskonzentrationen in mg/L für alle 15 Ereignisse jeweils für den CSB, BSB₅, AFS und NH₄-N ausgewertet worden. Die einzelnen Konzentrationen wurden dabei aus dem Quotienten der ermittelten Entleerungsfrachten in kg und den zugehörigen Entleerungsvolumina in m³ berechnet.

Tabelle 4: Übersicht der Entleerungsvolumina und der durchschnittlichen Entleerungskonzentrationen für CSB, BSB₅, AFS und NH₄-N der 15 ZSK-Entleerungsereignisse

Entleerungs-Ereignis Nr.	Entleerungsvolumen Q (m ³)	Entleerungskonzentration CSB (mg/L)	Entleerungskonzentration BSB ₅ (mg/L)	Entleerungskonzentration AFS (mg/L)	Entleerungskonzentration NH ₄ -N (mg/L)
1	16.400	195	104	57	11
2	15.200	320	167	59	9
3	15.200	522	292	338	11
4	13.900	231	118	99	8
5	17.900	431	235	128	9
6	23.000	268	138	83	6
7	12.400	425	221	107	9
8	23.000	258	122	53	10
9	12.900	324	178	119	9
10	10.100	350	187	261	11
11	12.600	278	148	70	13
12	17.200	267	127	95	10
13	15.200	258	109	64	8
14	20.700	394	200	80	9
15	23.000	370	187	77	9
Minimum	10.100	195	104	53	6
Mittelwert	16.580	326	169	113	9
Maximum	23.000	522	292	338	13

Die Entleerungskonzentrationen für den CSB lagen im Mittel bei 326 mg/L (Spannweite von 195 mg/L bis 522 mg/L). Vergleichsweise hohe CSB-Konzentrationen über 400 mg/L konnten bei den Ereignissen 3, 5 und 7 festgestellt werden. Die Entleerungskonzentrationen für den BSB₅ lagen im Mittel bei 169 mg/L (Spannweite von 104 mg/L bis 292 mg/L). Die Entleerungskonzentrationen für den AFS lagen im Mittel bei 113 mg/L (Spannweite von 53 mg/L bis 338 mg/L). Das Ereignis 3 wies dabei eine höhere Konzentration von mehr als 300 mg/L auf. Die Entleerungskonzentrationen für NH₄-N lagen im Mittel bei 9 mg/L (Spannweite von 6 mg/L bis 13 mg/L).

Zur Validierung der ermittelten mittleren CSB-Konzentration im ZSK I wurden vergleichende Messdaten einer Online-Monitoring-Messstation an einem innerstädtischen Mischwasserüberlauf (MÜ-R05) von Graz herangezogen, an dem im Zeitraum von 2003 bis 2012 bereits Mischwasserentlastungen in hoher zeitlicher Auflösung stofflich erfasst wurden (Gruber et al., 2005) und welcher zukünftig auch an den ZSK II angebunden sein wird.

Die am MÜ-R05 angeschlossene kanalisierte Einzugsgebietsfläche entspricht mit rund 615 ha ca. 8 % der gesamten kanalisierten Fläche von Graz. Die Kalibrierung der Messdaten erfolgte dabei auf Basis von laboranalytischen Messkampagnen mit Ansätzen aus Lepot et al. (2016). Daraus resultierte an diesem MÜ-R05 eine mittlere CSB-Entlastungskonzentration von rund **292 mg/L** (Datenbasis: 47 Entlastungsereignisse am MÜ-R05 in die Mur im Zeitraum von 2009 bis 2011).

Diese mittlere CSB-Ereigniskonzentration lag damit in einem sehr ähnlichen Konzentrationsbereich wie die mittleren 326 mg CSB/L, welche sich aus der Auswertung der 15 Entleerungsereignisse im ZSK I ergaben.

Weiters wurden an diesem MÜ-R05 im Rahmen des dzt. noch laufenden Forschungsprojektes (T)EMPEST alle 73 Mischwasserereignisse eines Jahres konventionell und mengenproportional beprobt und von den meisten dieser Ereignisse auch die in der Abbildung 6 dargestellten Standardabwasserparameter analysiert (Gruber et al. 2020). Dabei sind die am MÜ-R05 durchgeführten Laboranalysen in der Abbildung 6 mit „MWK“ bezeichnet.

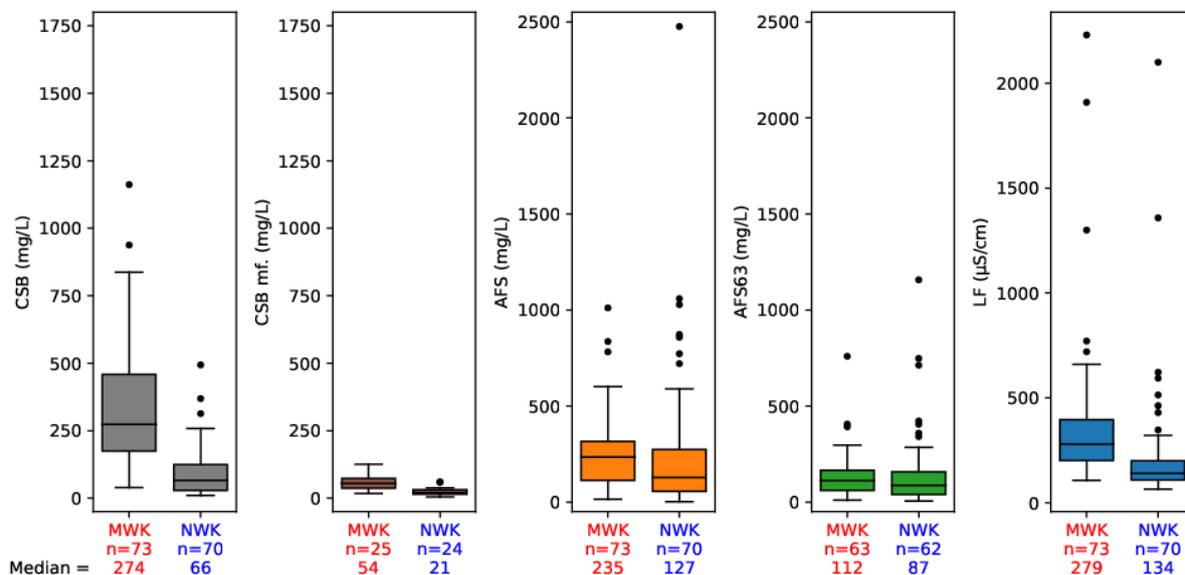


Abbildung 6: Ergebnisse der (T)EMPEST-Standardparameter-Untersuchungen in den 73 Mischwasserereignisproben am MÜ-R05 eines Jahres (01.10.2017 – 30.09.2018) aus Gruber et al. (2020).

Und auch hier lag der CSB-Median am MÜ-R05 in den 73 untersuchten Proben mit **274 mg/L** wieder in einem sehr ähnlichen Konzentrationsbereich wie die mittleren 326 mg CSB/L aus der Auswertung der 15 Entleerungsereignisse im ZSK I.

3.2 Extrapolation der Entleerungsfrachten für den ZSK-Vollausbau

Da im Untersuchungszeitraum des Projekts das aktivierbare Speichervolumen mit der Summe aus dem MÜB (12.000 m³) und dem ZSK I (11.000 m³ ausgespiegelt über das MÜB) mit 23.000 m³ begrenzt war, wurden weiterführende Abschätzungen der potenziellen ZSK-Entleerungsfrachten für den ZSK-Vollausbau (106.000 m³ nutzbarer Speicherraum) angestellt und auf diesen zukünftigen Zustand extrapoliert.

Zur Abschätzung der potenziellen ZSK-Entleerungsfrachten wurde einfach das zukünftige Gesamtspeichervolumen mit den durchschnittlichen Entleerungskonzentrationen für CSB, BSB₅, AFS und NH₄-N multipliziert. Um möglichst realistische Annahmen für die Entleerungskonzentrationen treffen zu können, wurden hierfür nur die Konzentrationswerte der Ereignisse 6, 8, 14 und 15 verwendet, da nur diese 4 Ereignisse jeweils ein Entleerungsvolumen von mehr als 20.000 m³ aufwiesen und daher am ehesten einer vollständigen Ausnutzung des vorhandenen Speicherraums entsprachen. Die Ereignisse 6, 8 und 15 haben dabei auch die vollständige Speicherkapazität von 23.000 m³ während der Untersuchungsperiode erreicht und dann auch jeweils einen Überlauf aus dem MÜB zur Folge gehabt.

Die daraus resultierenden potenziellen Entleerungsfrachten sind in der Tabelle 5 zusammengefasst und liegen für den CSB zwischen 27,3 t und 41,8 t (Mittelwert von 34,2 t), für den BSB₅ zwischen 12,9 t und 21,2 t (Mittelwert von 17,1 t), für den AFS zwischen 5,6 t und 8,8 t (Mittelwert von 7,8 t) und für den NH₄-N zwischen 0,6 t und 1,1 t (Mittelwert von 0,9 t).

Tabelle 5: Extrapolation der Entleerungsfrachten in kg für CSB, BSB₅, AFS und NH₄-N bei einem ZSK-Vollausbau mit 106.000 m³ aktivierbarem Speichervolumen

Extrapolation ZSK I + ZSK II + MÜB (106.000 m ³)	Entleerungs- volumen V (m ³)	Entleerungs- fracht CSB (kg)	Entleerungs- fracht BSB ₅ (kg)	Entleerungs- fracht AFS (kg)	Entleerungs- fracht NH ₄ -N (kg)
Minimum	106.000	27.300	12.900	5.600	600
Mittelwert		34.200	17.100	7.800	900
Maximum		41.800	21.200	8.800	1.100

Bezieht man diese extrapolierten Entleerungsfrachten auf durchschnittliche aktuelle Trockenwetterfrachten, so ergeben sich dadurch für den CSB zusätzliche Entleerungsfrachten zwischen 47 % und 72 % (Mittelwert von 59 %), für den BSB₅ zwischen 44 % und 72 % (Mittelwert von 58 %), für den AFS zwischen 23 % und 36 % (Mittelwert von 32 %) und für NH₄-N zwischen 18 % und 33 % (Mittelwert von 27 %), welche zukünftig auf der Kläranlage zusätzlich zu reinigen sein werden bzw. zukünftig nicht mehr in die Mur entlastet werden.

Für die Abschätzung der zu erwartenden N_{ges}-Frachten aus den ZSK-Entleerungen wurde ein im Kläranlagen-Zulauf in den Jahren 2012 bis 2016 relativ konstant gemessener, mittlerer Anteil von 64,2 % NH₄-N am N_{ges} herangezogen und daraus die N_{ges}-Frachten abgeschätzt. Daraus resultiert auf Basis der in der Tabelle 5 angegebenen mittleren 900 kg NH₄-N-Entleerungsfracht eine abgeschätzte mittlere N_{ges}-Entleerungsfracht von 1.402 kg, welche für die Dimensionierung der Belebungsbecken angenommen wurde.

4 Grundlagenermittlung für die Erweiterung der Kläranlage Graz

4.1 Stoffliche Belastung der Kläranlage

Für die Grundlagenermittlung für die Erweiterung der Kläranlage Graz wurden die Betriebstagebücher im Zeitraum 2012 – 2016 ausgewertet. Demnach wurde die Kläranlage Graz in diesem Zeitraum hydraulisch und ohne eine Unterscheidung zwischen Trockenwetter- und Regenwettertagen zu berücksichtigen im Mittel mit 83.000 m³/d beschickt ($Q_{TW,max} = 90.000 \text{ m}^3/\text{d}$ und $Q_{MW,max} = Q_{ARA} = 276.480 \text{ m}^3/\text{d}$).

Die Analyse der stofflichen Belastung ergab für diesen Zeitraum auf Basis der Kohlenstoff-Summenparameter CSB und BSB₅ einen signifikanten Anstieg in den durchschnittlichen Tageszulaufmengen bzw. in den daraus resultierenden Einwohnerwerten (EW). Für den CSB konnte in diesem Zeitraum ein Anstieg von 438.313 EW₁₂₀ (2012) auf 480.826 EW₁₂₀ (2016) verzeichnet werden. Auf Basis des BSB₅ fand ein vergleichbarer Anstieg von 504.555 EW₆₀ (2012) auf 560.194 EW₆₀ (2016) statt. Da es sich bei den genannten Werten jeweils um Tagesmittelwerte im Zeitraum eines gesamten Jahres handelt, wurden zusätzlich auch noch die Überschreitungen der einzelnen Tageswerte über der aktuellen Ausbaugröße der Kläranlage von 500.000 EW₆₀ ermittelt. Auf Basis des CSB lagen diese Überschreitungen zwischen 104 Tagen (2012) und 150 Tagen (2016) und auf Basis des BSB₅ lagen mit 188 Tagen (2012) und 246 Tagen (2016) noch deutlich häufigere Überschreitungen der aktuellen Ausbaugröße vor.

4.2 Analyse der Reinigungsleistung der Kläranlage

Trotz der offensichtlichen stofflichen BSB₅-Überlastung der Kläranlage traten allerdings bei den CSB-Ablaufkonzentrationen in all den 5 ausgewerteten Jahren (2012 – 2016) keinerlei Ablaufgrenzwert-Überschreitungen von 75 mg/L auf. Auch die durchschnittlichen CSB-Eliminationsraten konnten mit einer Bandbreite von 94,7 – 96,0 % (> 85 %) im Jahresdurchschnitt deutlich eingehalten werden. Bei den BSB₅-Ablaufkonzentrationen gab es im Jahr 2013 3 und im Jahr 2016 4 Grenzwertüberschreitungen von 15 mg/L, die allerdings bei der Eigenüberwachungsdichte der Kläranlage im Toleranzbereich (25 zulässige Überschreitungen pro Jahr) der 1. AEV für kommunales Abwasser lagen. Die vorgegebenen BSB₅-Mindest-Eliminationsraten von > 95 % waren allerdings mit einer Bandbreite von 98 % – 98,7 % ebenfalls wieder sehr deutlich eingehalten.

Beim Ges-P lagen die Jahresmittelwerte zwischen 0,54 mg/L (2012) und 0,85 mg/L (2016) und damit auch wesentlich unterhalb des mit 1,0 mg/L festgelegten Grenzwerts.

Einzig der Parameter Ammonium-Stickstoff $\text{NH}_4\text{-N}$ wies eine erhöhte Anzahl von Überschreitungen der zulässigen Ablaufkonzentration von maximal 5 mg/L bei Temperaturen über 8 °C auf: 43 (2012), 8 (2013), 20 (2014), 50 (2015), 15 (2016). Der vorgegebene Mindestreinigungswirkungsgrad für den Gesamtstickstoff im Jahresmittel von 70 % bei Temperaturen über 12 °C wurde dabei allerdings mit Werten zwischen 72,9 und 75,4 % ebenfalls wieder deutlich eingehalten.

Zusammenfassend kann daher nach diesen Analysen festgestellt werden, dass die Kläranlage Graz trotz häufiger Überschreitungen der maximalen BSB_5 -Zulaufstofffrachten die Ablaufgrenzwerte bei den Kohlenstoffsummenparameter sowie auch beim Gesamtphosphor immer noch deutlich einhält. Probleme gibt es aufgrund der Belastungssituation allerdings zeitweise mit der Nitrifikation, wo der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Grenzwert von 5 mg/L bei Temperaturen über 8 °C in den Jahren 2012 mit 43-mal und 2015 mit 50-mal häufiger überschritten wurde, wie das gemäß der 1. AEV für kommunales Abwasser zulässig ist.

4.3 Festlegung der zukünftigen Ausbaugröße der Kläranlage

Für die Erweiterung der Kläranlage Graz wurde im Rahmen der im November 2017 abgeschlossenen Grundlagenermittlung schließlich die Periode Juli 2016 – Juni 2017 herangezogen, in der die Kläranlage auf BSB_5 -Basis im Durchschnitt mit 590.270 EW_{60} und einem 85 %-Perzentilwert von 710.171 EW_{60} belastet war. Ausgehend von diesem 85 %-Perzentilwert wurde die zukünftige Entwicklung im Einzugsgebiet der Kläranlage für einen Planungshorizont bis 2034 noch um eine abgeschätzte Zuwachsrate von 14,7 % erhöht, woraus sich die jetzt angestrebte Ausbaugröße von **815.000 EW_{60}** ergibt.

5 Planungsstand zur Erweiterung der Kläranlage Graz

Unter Berücksichtigung der im Rahmen der Grundlagenermittlung erfassten zukünftigen Entwicklung soll die Kläranlage Graz nun für eine Anschlussgröße von 815.000 EW_{60} ausgebaut werden. Die erforderliche Erweiterung bezieht sich dabei allerdings nur auf die schmutzfrachtdefinierten Anlagenteile (Belebungsbecken). Die hydraulisch definierten Anlagenteile (belüfteter Fett- und Sandfang, Vorklärbecken, Kläranlagen-Pumpwerke und Nachklärbecken) können im Wesentlichen weiter betrieben werden, da sich der maximale hydraulische Zufluss zur Kläranlage nicht ändern wird.

5.1 Dimensionierung der biologischen Stufe

Die Bemessung der biologischen Stufe beruht auf den aktuellen 85%-Werten im Ablauf der Vorklärung erhöht um die oben beschriebene Zuwachsrate für den Planungshorizont 2034.

Entsprechend DWA-A 198 ist der klärtechnische Nachweis für die niedrigste und höchste Abwassertemperatur im Ablauf des biologischen Reaktors (2-Wochen-Mittel) zu führen. Im Rahmen der Grundlagenermittlung wurden die minimalen und maximalen Abwassertemperaturen folgendermaßen ausgewertet (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Auswertung der minimalen und maximalen Abwassertemperaturen im Ablauf der Belebungsstufe auf Basis von 2-Wochenmittelwerten

	Min 2-Wochenmittel	Max 2-Wochenmittel
	°C	°C
2016	12,57	21,82
2017	12,62	21,36

Auf der Kläranlage Graz liegen die minimalen Abwassertemperaturen im Winter und lagen allerdings in den ausgewerteten Jahren stets über 12 °C. Auf einen klärtechnischen Nachweis bei Abwassertemperaturen unter 12 °C kann daher verzichtet werden.

Auf Grundlage der ermittelten Daten wurden schließlich die Nachweise für Abwassertemperaturen von 12°C, 15°C und 20°C geführt.

5.1.1 Berücksichtigung der ZSK-Entleerungsergebnisse

Für die Bemessung der Kläranlage wurde jener Entleerungslastfall berücksichtigt, bei dem das gesamte aktivierbare ZSK-Speichervolumen von 94.000 m³ (Vollausbau) inkl. den 12.000 m³ des bereits vorhandenen MÜBs vor der Kläranlage, d. h. in Summe 106.000 m³ Speichervolumen, innerhalb von 24 Stunden zur Kläranlage entleert wird, um ev. auftretende Geruchsprobleme aus dem ZSK zu vermeiden. Für den dabei gleichzeitig stattfindenden Trockenwetterzufluss während der Entleerung wurde für die Bemessung ein maximal möglicher Trockenwetterzufluss von 90.000 m³/d angenommen, um auch einen zukünftigen Anstieg zu berücksichtigen.

Für die Dynamik des täglichen Trockenwetterzulaufs wurden die Ergebnisse der von der TU Graz durchgeführten Trockenwetteranalysen berücksichtigt (siehe Abbildung 5). Die Entleerung des ZSKs kann dabei zukünftig durch Steuerung des Überlaufwehres (gravitative Entleerung) bzw. über die Entleerungspumpen am MÜB an den Tagesgang des Trockenwetterzulaufs angepasst werden. Daraus

lässt sich für die Bemessung das in der Tabelle 7 und Abbildung 7 dargestellte Entleerungsszenarium generieren, bei welchem die Kläranlage während der 24 Stunden der Entleerung hydraulisch relativ konstant mit 2.286 L/s belastet wird.

Tabelle 7: Entleerungsszenarium bei $Q_{d,TW,max} = 90.000 \text{ m}^3/\text{d}$ und einer vollständigen Entleerung des ZSK + MÜB = 106.000 m^3 innerhalb von 24 Stunden

Uhrzeit	Dauer	$Q_{d,TW,max}$		$Q_{ZSK+MÜB}$		Gesamtzufluss	
		Q [L/s]	V [m ³]	Q [L/s]	V [m ³]	Q [L/s]	V [m ³]
0 h		1.070	0	1.200	0	2.270	0
2 h	2 h	770	7.704	1.500	8.640	2.270	16.344
4 h	2 h	620	5.544	1.650	10.800	2.270	16.344
6 h	2 h	570	4.464	1.700	11.880	2.270	16.344
8 h	2 h	715	4.104	1.572	12.240	2.287	16.344
10 h	2 h	1.415	5.148	850	11.320	2.265	16.468
12 h	2 h	1.365	10.188	900	6.120	2.265	16.308
14 h	2 h	1.265	9.828	1.000	6.480	2.265	16.308
16 h	2 h	1.215	9.108	1.050	7.200	2.265	16.308
18 h	2 h	1.165	8.748	1.100	7.560	2.265	16.308
20 h	2 h	1.215	8.388	1.050	7.920	2.265	16.308
22 h	2 h	1.115	8.748	1.150	7.560	2.265	16.308
24 h	2 h	1.065	8.028	1.200	8.280	2.265	16.308
Summe:	24 h	Summe:	90.000 m³	Summe:	106.000 m³	Summe:	196.000 m³

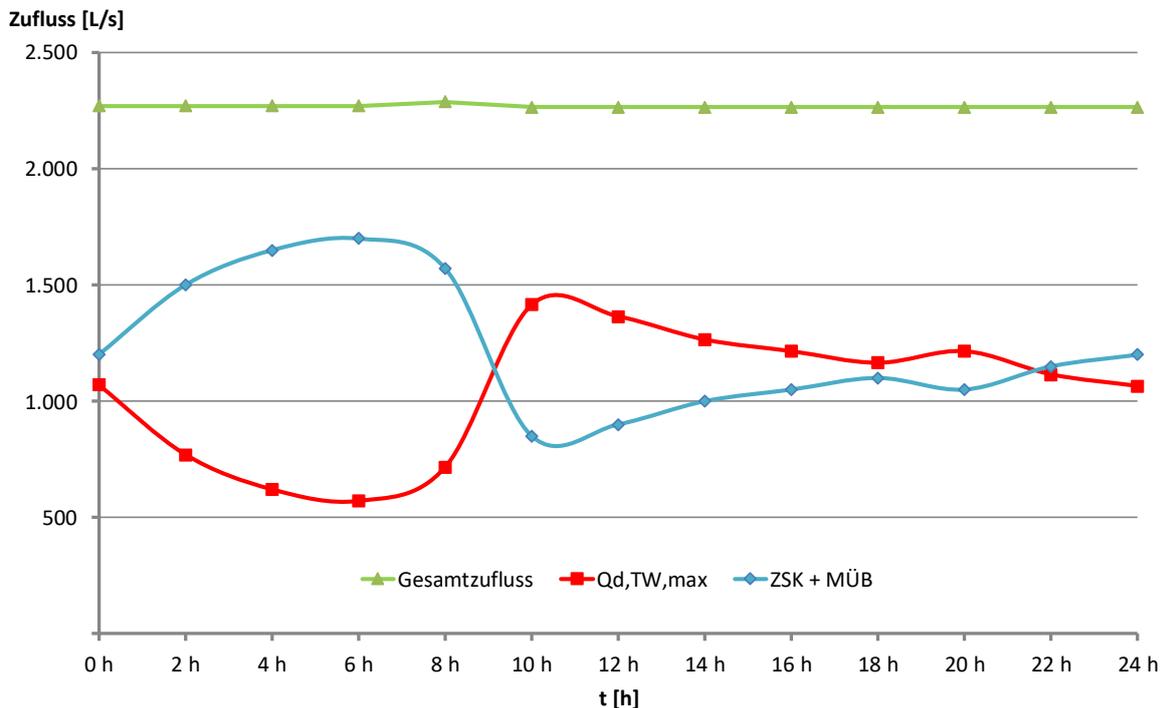


Abbildung 7: Entleerungsszenarium bei $Q_{d,TW,max} = 90.000 \text{ m}^3/\text{d}$ und einer vollständigen Entleerung des ZSK + MÜB = 106.000 m^3 innerhalb von 24 Stunden.

Für die Frachtabeschätzungen für dieses Entleerungsszenarium wurden zum einen die prognostizierten Zulauffrachten für den Planungshorizont 2034 und zum anderen die von der TU Graz abgeschätzten mittleren Entleerungsfrachten beim ZSK-Vollausbau (siehe Tabelle 5) miteinander addiert. In der Tabelle 8 sind die

einzelnen Bemessungsfrachten für das Entleerungsszenarium bei $Q_{d,TW,max} = 90.000 \text{ m}^3/\text{d}$ und einer vollständigen Entleerung des ZSK + MÜB (106.000 m^3) innerhalb der angestrebten Entleerungszeit von 24 Stunden dargestellt.

Tabelle 8: Angenommene Zulauffrachten für das Entleerungsszenarium der gesamten 106.000 m^3 ZSK+MÜB-Speichervolumen innerhalb der angestrebten 24 Stunden Entleerungszeit bei $Q_{d,TW,max} = 90.000 \text{ m}^3/\text{d}$

Parameter	Zulauffracht 2034 85 %-Wert TW/RW	Zulauffracht ZSK TUG-Abschätzung	Gesamte Zulauffracht 85 %-Wert + TUG
CSB	85.629 kg/d	34.200 kg/d	119.829 kg/d
BSB ₅	48.874 kg/d	17.100 kg/d	65.974 kg/d
N _{ges}	6.368 kg/d	1.402 kg/d	7.770 kg/d
P _{ges}	943 kg/d	245 kg/d	1.188 kg/d

5.1.2 Untersuchte Lastfälle für die Dimensionierung der Belebungsbecken

In der nachfolgenden Tabelle 9 werden die untersuchten 9 Lastfälle für die Dimensionierung der Belebungsbecken tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 9: Die 9 untersuchten Lastfälle für die Dimensionierung der Belebungsbecken

Temperatur	TW	RW	TW + ZSK
12 °C	LF 4	LF 5	LF 6
15 °C	LF 7	LF 8	LF 9
20 °C	LF 10	LF 11	LF 12

Dabei wird mit „TW + ZSK“ jeweils das im Kapitel 5.1.1 beschriebene ZSK-Entleerungsereignis angesetzt.

In der Tabelle 10 sind die Bemessungsergebnisse der 9 untersuchten Lastfälle für die Dimensionierung des erforderlichen Belebungsbeckenvolumens zusammengefasst, woraus der Lastfall 4 mit Nitrifikation und Denitrifikation bei 12 °C als maßgeblicher Lastfall für die Dimensionierung der Belebungsbecken hervorgeht. Daraus resultiert ein erforderliches Belebungsbeckengesamtvolumen von **83.448 m³**.

Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse der 9 untersuchten Lastfälle für die Dimensionierung des erforderlichen Belebungsbeckenvolumens

	Temp.	Fracht	RV	TS _{BB}	Beckenvolumen [m ³]		
			[-]	kg/m ³	DN	N	Erforderliches Volumen
Lastfall 4	12 °C	TW	0,76	3,92	39.221	44.227	83.448
Lastfall 5	12 °C	RW	0,76	3,92	6.327	46.400	52.727
Lastfall 6	12 °C	TW + ZSK	0,76	3,92	20.693	55.948	76.641
Lastfall 7	15 °C	TW	0,76	3,92	33.314	33.314	66.628
Lastfall 8	15 °C	RW	0,76	3,92	4.830	35.419	40.249
Lastfall 9	15 °C	TW + ZSK	0,76	3,92	16.038	42.281	58.319
Lastfall 10	20 °C	TW	0,76	3,92	21.620	20.772	42.392
Lastfall 11	20 °C	RW	0,76	3,92	2.931	21.910	24.841
Lastfall 12	20 °C	TW + ZSK	0,76	3,92	10.315	26.525	36.840

Im Rahmen des klärtechnischen Nachweises für die Nachklärung wurde auch der mögliche Feststoffgehalt TS_{BB} in der Belebung berechnet und ergab sich dort mit einem Wert von TS_{BB} = 3,92 g/L, der auch für die Dimensionierung des erforderlichen Belebungsbeckenvolumens angesetzt wurde. Bei allen 9 Lastfällen wurde das gleiche Rücklauf-Verhältnis (RV) verwendet, so dass auch der Feststoffgehalt in den Belebungsbecken immer gleich (3,92 g/L) ist.

Der Tabelle 10 kann entnommen werden, dass bei Trockenwetterabfluss (Lastfall 4, 7 und 10) das jeweils größte Beckenvolumen benötigt wird. Dies ist darin begründet, dass bei Trockenwetterabfluss die Eliminationsleistung am höchsten sein muss.

Bei Regenwetter (Lastfälle 5, 8 und 11) wird durch den hohen Abfluss mehr Stickstoff ausgetragen, so dass rechnerisch weniger DN-Volumen erforderlich ist.

Bei der Entleerung des ZSK (Lastfälle 6, 9 und 12) wird trotz der hohen Fracht weniger Beckenvolumen als beim reinen Trockenwetterabfluss benötigt, was damit begründet werden kann, dass bei diesem Betriebsfall die Stickstoffbelastung in Bezug auf die hydraulische Belastung relativ gering ist.

Der Tabelle 10 kann auch entnommen werden, dass mit steigender Abwassertemperatur weniger Beckenvolumen erforderlich wird. Um diesem Umstand entgegenzuwirken, kann der Feststoffgehalt in den Belebungsbecken bei höheren

Temperaturen reduziert werden. Dies kann dadurch erreicht werden, dass die Förderleistung der Rücklaufschlammumpen gedrosselt werden kann, was auch zu Energieeinsparungen führt.

Zusätzlich reduziert sich bei einem geringeren Feststoffgehalt im Belebtschlamm auch der erforderliche Sauerstoffeintrag, so dass sich auch hieraus Kosteneinsparungen ergeben sollten.

5.1.3 Geplante Ausgestaltung der Belebungsbeckenerweiterung

Auf Basis des maßgebenden Lastfalls 4 ergibt sich ein erforderliches Gesamtbelebungsbeckenvolumen V_{BB} von 83.448 m³. Zieht man davon das dzt. schon vorhandene V_{BB} von 51.920 m³ ab, resultiert daraus ein zusätzlicher Volumenbedarf von 31.528 m³. Vorgesehen ist dafür nun der Neubau eines Belebungsbeckens „Bio 4“ bestehend aus 8 Kaskaden mit einem Volumen von jeweils 3.970 m³ (Gesamtvolumen 31.760 m³).

Die biologische Stufe besteht dzt. aus 3 Teilen, die jeweils in Serie und in zwei parallelen Straßen durchflossen werden:

Bestand:	Bio 1	20.500 m ³
	Bio 2	15.300 m ³
	Bio 3	16.120 m ³
	Gesamt	51.920 m ³

Zukünftig:	+ Bio 4	31.760 m ³
-------------------	---------	-----------------------

Davon werden zukünftig die Bio 4 und die Beckengruppe Bio 2/3 parallel beaufschlagt und betrieben werden. Die Bio 4 wird als 2-straßiges Kaskadenbecken mit insgesamt 8 Kammern (Kaskaden) ausgeführt werden. Die Umwälzung der einzelnen Kaskaden erfolgt über vertikale Rührwerke. Der Ablauf der Bio 4 wird an den Freispiegelkanal zwischen dem Ablauf der Bio 3 und dem Verteilbauwerk der Nachklärung angeschlossen werden. Das für den Betrieb der Bio 4 erforderliche Rezirkulationspumpwerk (getauchte Propellerpumpen) wird stirnseitig an der Bio 4 angebaut werden. Die Förderung der Rezirkulation in die Bio 1 erfolgt über zwei gedückerte Kanäle DN 1000 (unter der MÜSE und dem Kollektor), welche in die Bio 1 einmünden.

6 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 Kläranlage Graz und dem Planungsteam der IG VATTER SAG, sowie auch dem Labor-, Messtechnik- und IT-Team am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz aussprechen.

7 Literatur

- AEV (1996). 1. Allgemeine Abwasseremissionsverordnung 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., Hochedlinger, M. und Kainz, H. (2004). Quantifizierung von Schmutzfrachten aus Mischwasserentlastungen mit online-Messtechnik, *Wiener Mitteilungen*, Band 187 (2004).
- Gruber, G.; Winkler, S.; Pressl, A.: (2005). Continuous monitoring in sewer networks an approach for quantification of pollution loads from CSOs into surface water bodies, *Water Science & Technology* 52 (12), 2005, pp 215-223.
- Gruber, G., Bertrand-Krajewski, J.-L., De Beneditis, J., Hochedlinger, M. and Lettl, W. (2006). Practical aspects, experiences and strategies by using UV/VIS sensors for long-term sewer monitoring, *Water Practice & Technology* 001:01 (2006).
- Gujer W. (2013). *Siedlungswasserwirtschaft*, Springer-Verlag.
- Gruber G., Pichler M., Hofer T., Maier R. und Clara M. (2020). Die Beprobung von Jahresschmutzfrachten in einem Mischwasser- und einem Niederschlagswasserkanal bei Regenwetter. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*. Volume 74, Issue 5-6/20. Springer-Verlag GmbH Austria. <https://doi.org/10.1007/s00506-020-00658-9> (Open Access).

- Kainz H., Sprung W., Maurer G., Pirkner W., Gamerith V. und Gruber G. (2011). Speicherkanäle für die Mischwasserbewirtschaftung in Graz. *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.
- ÖWAV (2007). ÖWAV-Regelblatt 38: Überprüfung stationärer Durchflussmess-einrichtungen 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:

Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Günter GRUBER

Technische Universität Graz, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und
Landschaftswasserbau
Stremayrgasse 10/I, 8010 Graz, Österreich

Tel.: +43 316 873 8373

E-Mail: guenter.gruber@tugraz.at