

# Online-Qualitätsmessungen zur Abschätzung des Steuerungspotenzials im Mischsystem

A. Bachmann-Machnik\*, J. Wetzel und U. Dittmer

Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Univ. Stuttgart, Bandtäle 2, D-70569 Stuttgart

\*Email des korrespondierenden Autors: [anna.bachmann@iswa.uni-stuttgart.de](mailto:anna.bachmann@iswa.uni-stuttgart.de)

**Kurzfassung** Qualitätsbasierte Kanalnetzsteuerungen können die Gewässerbelastung aufgrund von Mischwasserentlastungen vermindern. Um das Potenzial von Online-Qualitätsmessungen als Grundlage für eine qualitätsbasierte Steuerung abzuschätzen, wurde ein Regenüberlaufbecken im Mischsystem mit Online-Qualitätssonden ausgestattet. Durchfluss- und Qualitätsdaten wurden für 33 Ereignisse am Becken ausgewertet und auf Spülstoßphänomene untersucht. Es waren keine signifikanten Korrelationen zwischen der Ausprägung der Spülstöße mit verschiedenen Ereignischarakteristika wie vorangegangene Trockenwetterphase, Niederschlagsintensität oder Niederschlagssumme erkennbar. Dies deutet darauf hin, dass der Ansatz von Akkumulation und Abtrag allein keine ausreichende Grundlage für eine qualitätsbasierte Kanalnetzsteuerung darstellt.

*Schlagwörter:* Online-Qualitätsmessungen, Mischwasserentlastungen, Kanalnetzsteuerung

## 1 EINLEITUNG

Kurzzeitige Spitzen von Abfluss und Schadstoffkonzentrationen durch Mischwasserentlastungen können aquatische Ökosysteme nachhaltig schädigen (z. B. Ellis und Hvitved-Jacobsen, 1996; Ellis, 2000; Borchardt et al., 1998; Burton und Pitt, 2002; Casadio, et al. 2010; Passerat et al., 2011) und den ökologischen und chemischen Zustand der Gewässer beeinträchtigen. Verbundsteuerungen im Kanalnetz können Emissionen aus Mischsystemen effektiv reduzieren (z. B. Weinreich et al., 1997; Pleau et al., 2005; Dirckx et al., 2011; Seggelke et al., 2013). Trotz der positiven Betriebserfahrungen, die im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte seit den 1980er Jahren beschrieben wurden (z. B. Schilling et al., 1989; Schütze et al., 2004), hat sich die Verbundsteuerung in der Praxis nicht durchgesetzt.

Bei den bisher umgesetzten Steuerungsarten handelt es sich fast ausschließlich um volumenbasierte Steuerungen d. h., dass das übergeordnete Ziel der Steuerung die Minimierung emittierter Volumina darstellt. Da eine Verminderung der Überlaufvolumina jedoch nicht immer in einer Minimierung der ökologischen Auswirkungen resultiert (siehe Rauch und Harremoës, 1999), führen rein volumenbasierte Steuerungsstrategien nicht zwangsläufig zu einer Optimierung der Gewässerqualität. Die Überlagerung von Verdünnungseffekten mit Spülstößen kann während Regenereignissen schwer vorhersehbare und große Schwankungen von Schadstoffkonzentrationen im Ereignisverlauf hervorrufen. Qualitätsbasierte Steuerungen sollen diese Effekte berücksichtigen und somit in Hinblick auf emittierte Frachten optimale Steuerungsentscheidungen treffen. Die Berücksichtigung von Verschmutzungskonzentrationen bei qualitätsbasierten Steuerungen kann dabei sowohl direkt durch Online-Qualitätsmessungen (im Folgenden als qualitätsabhängige Steuerung bezeichnet) erfolgen als auch indirekt durch Schmutzfrachtmodellierungen. Bei der Verwendung von Ergebnissen aus Schmutzfrachtmodellierungen als Eingangsgröße für die Steuerung stellt sich die Frage, ob Phänomene wie beispielsweise Akkumulation und Abtrag an der Oberfläche sowie Sedimentation und Remobilisierung im Kanal in den Schmutzfrachtmodellen ausreichend genau implementiert sind, um diese Phänomene realitätsnah nachbilden zu können, so dass eine optimale Steuerungsentscheidung basierend auf Modellierungsergebnissen getroffen wird.

Um diesen Zusammenhängen nachzugehen, wurde ein Regenüberlaufbecken (RÜB) mit online UV-Vis Spektrometersonden zur Qualitätsmessung ausgerüstet. In diesem Beitrag wird eine umfassende Auswertung der Qualitätsdaten in Verbindung mit Durchflussdaten durchgeführt. Die Untersuchung der Daten soll Aufschluss darüber geben, ob und inwieweit Schmutzfrachtsimulationen als Grundlage zur qualitätsabhängigen Steuerung dienen können und welche Vorteile die Verwendung von Online-Qualitätsmessungen als Input von Kanalnetzsteuerungen liefern kann.

## 2 MATERIAL UND METHODEN

### 2.1 Untersuchungsgebiet und Monitoring

Das mit UV-Vis Spektrometersonden ausgestattete RÜB ist als Fangbecken im Nebenschluss konstruiert (siehe Abbildung 1). Das RÜB verfügt über ein Speichervolumen von 713 m<sup>3</sup> bei einem Drosselabfluss von 126 l/s. Es ist angeschlossen an ein Gebiet mit 4.730 Einwohnern und einer undurchlässigen Fläche von 106 ha. Die verwendeten Niederschlagsdaten stammen von einem Regenschreiber in 4,3 km Entfernung zum RÜB.

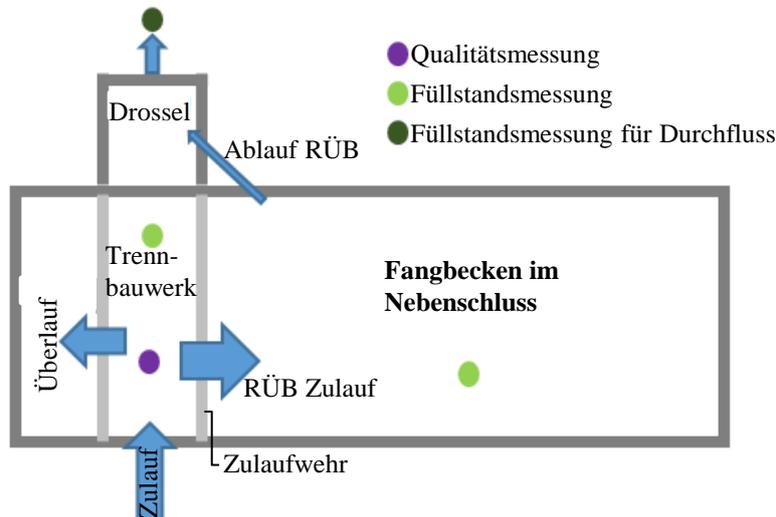


Abbildung 1: Querschnitt der überwachten Fangbecken im Nebenschluss; Ansicht von oben nach Klippstein und Dittmer (2012)

Im Trennbauwerk des RÜB wurde eine UV-Vis Spektrometersonde (s::can sprectro::lyser) zur Messung der Äquivalenzzkonzentrationen von abfiltrierbaren Stoffen (AFS), chemischem Sauerstoffbedarf (CSB) und Nitrat installiert. Werte für die Parameter wurden in 5-Minuten Intervallen aufgezeichnet. Die Sonde wurden global auf die vom Hersteller angebotene Kalibrierung „Zulauf Kläranlage“ kalibriert. Die Messungen starteten im August 2014 und wurden bis August 2016 fortgesetzt.

### 2.2 Datenauswertung

Fracht- und Volumencharakteristiken im Zulauf des Trennbauwerks wurden für 33 Ereignisse von August bis Oktober 2014 an einem RÜB ausgewertet. Ein Ereignis definiert dabei in diesem Beitrag den Zeitraum, ab dem ein bestimmter Wasserstand (oberhalb des maximalen Trockenwetterabflusses) im Trennbauwerk überschritten wird bis zum dem Zeitpunkt, ab dem der Wasserstand wieder unterschritten wird, unabhängig davon, ob Zulauf zum RÜB stattgefunden hat oder ob das Becken wieder vollständig geleert ist. Auf diese Weise soll die Erfassung von Trockenwetterzulauf im Trennbauwerk bei langsamer Beckenentleerung, der zu einer Verschleierung von Spülstößen bei Regenereignissen führen kann, weitestgehend ausgeschlossen werden. Im Gegensatz zur Ereignisdefinition wird ein Regenereignis in diesem Beitrag als der Zeitraum definiert, in dem der Regenschreiber an mehr als drei aufeinander folgenden Minuten Niederschlag aufzeichnet.

Die Verteilungsfunktionen von kumulierter Masse gegen kumuliertes Volumen ( $M(V)$ -Kurve) im Zulauf des Trennbauwerks wurden für jedes Ereignis aufgetragen (siehe Bertrand-Krajewski et al., 1998). Zusätzlich wurde für jedes Ereignis ein Spülstoßindex (SI) errechnet, der das Verhältnis der kumulierten durchgelaufenen Fracht bei 30 % des Volumendurchgangs wiedergibt (siehe

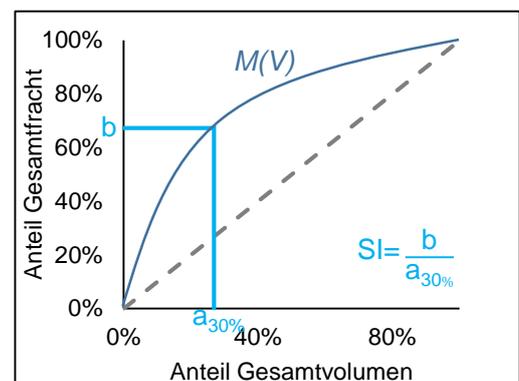
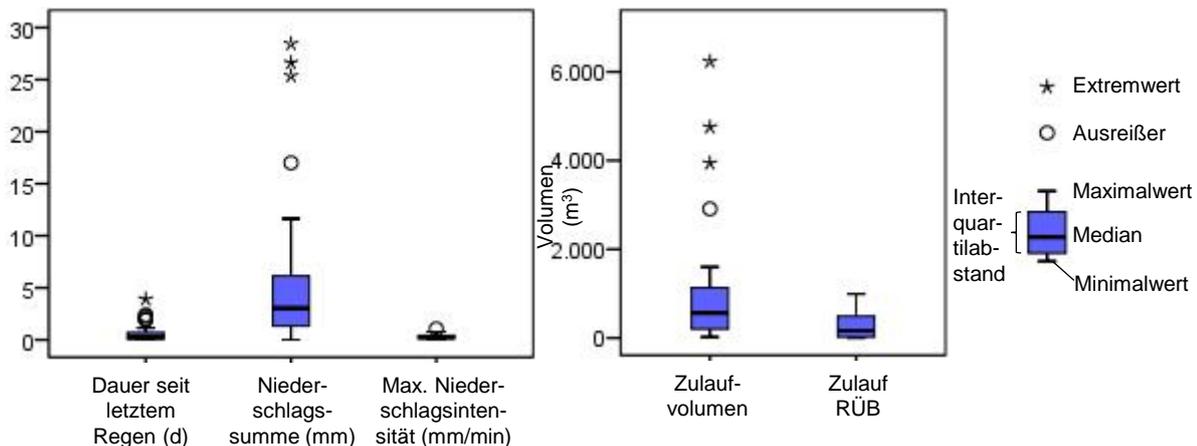


Abbildung 2:  $M(V)$ -Kurve mit Berechnung Spülstoßindex (SI)

### 3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Bei 25 der insgesamt 33 ausgewerteten Ereignisse wurde ein Zulauf zum RÜB verzeichnet, bei drei der ausgewerteten Ereignisse fand ein Beckenüberlauf statt. Die Charakteristika der zu den ausgewerteten Ereignissen gehörenden Niederschläge, die in 4,3 km Entfernung zum untersuchten RÜB aufgezeichnet wurden, sowie eine Abschätzung der jeweiligen Zulaufvolumina, sind in Abbildung 3 dargestellt. Die Dauern seit Aufzeichnung des letzten Regenereignisses liegen zwischen 14 Minuten und 4 Tagen. Die Niederschlagssummen der jeweiligen Regenereignisse liegen zwischen 0 und 28 mm bei maximalen



Intensitäten zwischen 10 und 180 l/(s·ha).

Abbildung 3: Niederschlagscharakteristika [links] und Volumina [rechts] der ausgewerteten Ereignisse (n=33); RÜB = Regenüberlaufbecken; Ausreißer liegen zwischen dem 1,5- und 3fachen der Boxhöhe, Extremwerte (Sternsymbol) mehr als das 3fache vom Interquartilabstand entfernt.

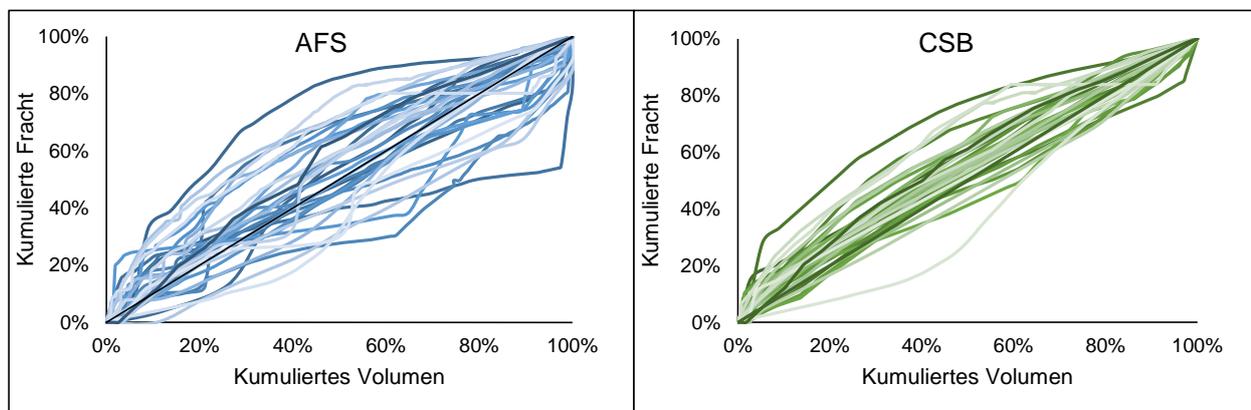


Abbildung 4: M(V)-Diagramme der ausgewerteten Ereignisse für abfiltrierbare Stoffe (AFS) [links] und chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) [rechts]

Abbildung 4 zeigt, dass die  $M(V)$ -Kurven für die ausgewerteten Ereignisse für AFS und CSB. Bis auf wenige Ereignisse sind bei beiden Stoffen keine eindeutigen Spülstoßphänomene erkennbar. Abbildung 5 zeigt die Korrelation der Spülstoßindizes von AFS, CSB und Nitrat mit verschiedenen Niederschlags- und Ereignischarakteristika. Es ist erkennbar, dass der Spülstoßindex bei Nitrat eher unter 1 liegt, d. h. dass keinerlei Spülstoß nachweisbar ist. Dies ist plausibel und dadurch erklärbar, dass Nitrat gelöst vorliegt und im untersuchten Einzugsgebiet hauptsächlich grundwasserbürtig ist. Die Spülstoßindizes bei AFS liegen insgesamt höher als beim CSB, aber eindeutige Spülstöße ( $SI > 2$ ) sind bei AFS nur bei zwei Ereignissen und bei CSB gar nicht erkennbar. Die Unregelmäßigkeit und starken Unterschiede in der Ausprägung der Spülstöße decken sich mit vorherigen Untersuchungsergebnissen (z. B. Saget et al. (1996)).

Signifikante Korrelationen zwischen den untersuchten Einflussparametern und dem Spülstoßindex sind nicht nachweisbar. Ebenso wenig ist eine signifikante Korrelation zwischen Ereignisfracht und Dauer seit letztem Regenereignis erkennbar (siehe Abbildung 6). Nur bei der Analyse des Zusammenhangs

zwischen Ereignisdauer und Ereignisfracht ist ein schwacher Zusammenhang erkennbar, der mit dem zunehmenden Einfluss der Trockenwetterkonzentration bei längeren Regenereignissen zusammenhängen könnte.

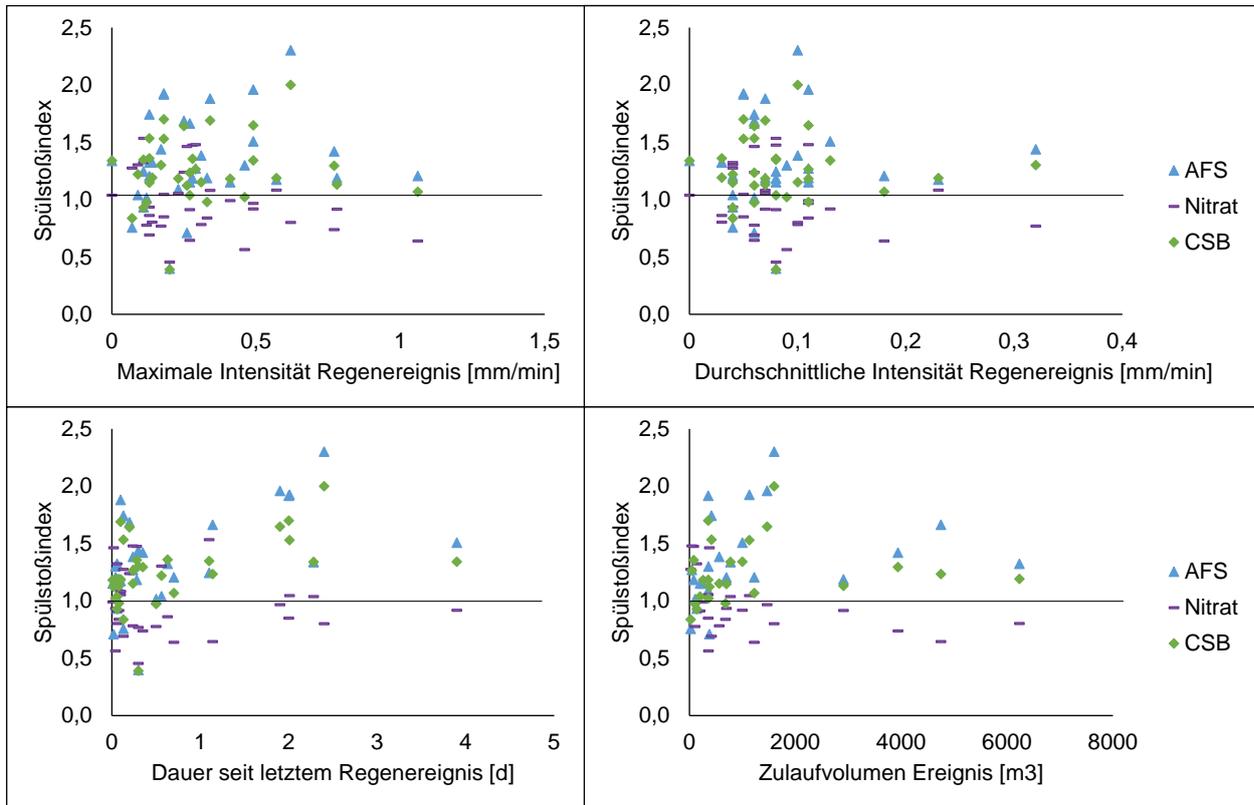


Abbildung 5: Korrelation der Spülstoßindizes mit maximaler Intensität des Regenereignisses [oben links], durchschnittlicher Niederschlagsintensität [oben rechts], Dauer seit letztem Regenereignis [unten links] und Zulaufvolumen des Ereignisses [unten rechts]

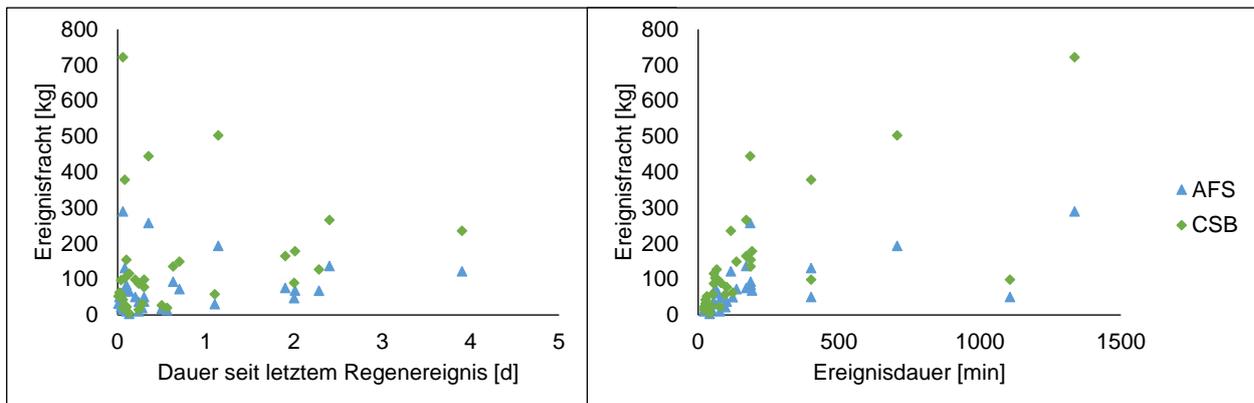


Abbildung 6: Korrelation der Ereignisfracht mit Dauer seit letztem Regenereignis [links] und Dauer des Einstauereignisses [rechts]

In gängigen Schmutzfrachtmodellen wie beispielsweise KOSIM oder EPA SWMM können entweder konstante Konzentrationen im Oberflächenabfluss oder Akkumulations- und Abtragsansätze für die Berechnung der Abflusskonzentrationen bei Regenwetter angesetzt werden. Für beide Berechnungsansätze werden konstante Modellparameter wie z. B. maximale Akkumulationsmengen auf der Oberfläche oder konstante Abtragsraten benötigt. Lassen sich diese Parameter nicht als Konstanten in den Messdaten identifizieren bzw. lassen sich keinerlei sonstige Zusammenhänge, die in Schmutzfrachtmodellen für die Spülstoßmodellierung verwendet werden (z. B. Abhängigkeit der Verschmutzung des Oberflächenabflusses von vorangegangener Trockenwetterdauer), erkennen, so muss davon ausgegangen werden, dass eine Schmutzfrachtmodellierung nicht hinreichend genaue Eingangsgrößen für eine qualitätsbasierte Kanalnetzsteuerung liefern kann.

Die bisher ausgewerteten Daten zeigen starke Unterschiede in Auftreten und Ausprägung von Spülstößen. Es sind keinerlei signifikante Korrelationen zwischen den in vielen Schmutzfrachtmodellen als Modellierungsparameter für die Modellierung von Schmutzfrachten und der Stärke der Spülstoßausprägung in den ausgewerteten Daten erkennbar. Dies deutet darauf hin, dass eine realitätsnahe Schmutzfrachtmodellierung als Grundlage einer qualitätsbasierten Abflusssteuerung im untersuchten System nicht möglich ist. Allerdings sind auch nur wenige bzw. sehr schwache Spülstöße vorhanden, so dass eine rein volumenbasierte Kanalnetzsteuerung zur Entlastung der Gewässer ausreichend scheint. Weitere Datenauswertungen sind nötig, um diese Zusammenhänge weiter zu bestätigen.

#### 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Bei einzelnen Ereignissen im untersuchten Zeitraum konnten Spülstöße identifiziert werden. Allerdings konnten keine wiederkehrenden Muster oder eindeutige Zusammenhänge, wann und in welchem Umfang Spülstöße auftreten, festgestellt werden. Für eine modellbasierte Entwicklung von Steuerungsstrategien wird daher empfohlen, sich auf volumenbasierte Steuerungen zu beschränken, da die Verwendung modellierter Frachtströme nicht unbedingt die tatsächlichen Frachtverläufe wiedergibt. Eine Verwendung von Online-Qualitätsdaten für eine qualitätsabhängige Steuerung kann diese Wissenslücke überbrücken und somit einen Beitrag zur Reduktion der emittierten Frachten leisten.

#### 5 DANKSAGUNG

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert. Die verwendeten Daten wurden im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojekts SAMUWA erhoben. Die Autoren bedanken sich bei der DBU und dem Bundesministerium BMBF für die Förderung des Projekts.

#### 6 REFERENZEN

- Bertrand-Krajewski, J.-L.; Chebbo, G.; Saget, A. (1998): Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon. In: *Water Res* 32 (8), S. 2341–2356.
- Borchardt, D.; Fischer, J.; Mauch, E. (1998): Auswirkungen von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose von Fließgewässern. In: *gwf Wasser - Abwasser* (7), S. 395.
- Burton, G. A.; Pitt, R. (2002): *Stormwater effects handbook. A toolbox for watershed managers, scientists, and engineers*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers.
- Casadio, A.; Maglionico, M.; Bolognesi, A.; Artina, S. (2010): Toxicity and pollutant impact analysis in an urban river due to combined sewer overflows loads. In: *Water Sci Technol* 61 (1), S. 207–215.
- Dirckx, G.; Schütze, M.; Kroll, S.; Thoeye, C.; Gueldre, G. de; Van De Steene, B. (2011): Cost-efficiency of RTC for CSO impact mitigation. In: *Urban Water Journal* 8 (6), S. 367–377.
- Ellis, J. (2000): Risk assessment approaches for ecosystem responses to transient pollution events in urban receiving waters. In: *Chemosphere* 41 (1-2), S. 85–91.
- Ellis, J. B.; Hvitved-Jacobsen, T. (1996): Urban drainage impacts on receiving waters. In: *J Hydraul Res* 34 (6), S. 771–783.
- Klippstein, C.; Dittmer, U. (2012): *Betrieb von Regenüberlaufbecken. Handbuch für den Betrieb von Regenüberlaufbecken in Baden-Württemberg; fachliche Grundlagen und Empfehlungen für die Praxis*. 1. Aufl., Stand November 2012. Stuttgart: DWA, Landesverband Baden-Württemberg.
- Passerat, J.; Ouattara, N. K.; Mouchel, J.-M.; Rocher, V.; Servais, P. (2011): Impact of an intense combined sewer overflow event on the microbiological water quality of the Seine River. In: *Water Res* 45 (2), S. 893–903.
- Pleau, M.; Colas, H.; Lavallée, P.; Pelletier, G.; Bonin, R. (2005): Global optimal real-time control of the Québec urban drainage system. In: *Environmental Modelling and Software* 20 (4), S. 401–413.
- Rauch, W.; Harremoës, P. (1999): Genetic algorithms in real time control applied to minimize transient pollution from urban wastewater systems. In: *Water Res* 33 (5), S. 1265–1277.
- Saget, A.; Chebbo, G.; Bertrand-Krajewski, J.-L. (1996): The first flush in Sewer systems. In: *Water Sci Technol* 33 (9), S. 101–198.
- Schilling, W.; Döring, R.; Green, M. J.; Hartong, H. J.; Jaquet, G.; Kido, Y.; Petersen, S. O. (1989): Real time control of urban drainage systems. In: *IAWPRC*. London.
- Schütze, M.; Campisano, A.; Colas, H.; Schilling, W.; Vanrolleghem, P. A. (2004): Real time control of urban wastewater systems—where do we stand today? In: *Journal of Hydrology* 299 (3-4), S. 335–348.

- 
- Seggelke, K.; Löwe, R.; Beeneken, T.; Fuchs, L. (2013): Implementation of an integrated real-time control system of sewer system and waste water treatment plant in the city of Wilhelmshaven. In: Urban Water Journal 10 (5), S. 330–341.
- Weinreich, G.; Schilling, W.; Birkely, A.; Moland, T. (1997): Pollution based real time control strategies for combined sewer systems. In: Water Sci Technol 36 (8-9), S. 331–336.