

# Simulationsstudie über die bakteriologische Belastung von Fließgewässern durch Mischwasserentlastungen

S. Worreschk<sup>1,\*</sup>, T.G. Schmitt<sup>1</sup>, I. Hobus<sup>2</sup>, G. Kolisch<sup>2</sup> und J. Hansen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität Kaiserslautern, Paul-Ehrlich-Str. 14, D-67663 Kaiserslautern

<sup>2</sup>WiW – Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH, Postfach 202063, D-42220 Wuppertal

<sup>3</sup>Universität Luxemburg – Campus Kirchberg, Siedlungswasserwirtschaft und Wasserbau 6, rue R. Coudenhove-Kalergi, L-1359 Luxemburg

\*Email der korrespondierenden Autorin: silja.worreschk@bauing.uni-kl.de

**Kurzfassung** Die bakteriologische Belastung von Fließgewässern hat Auswirkungen auf die Gewässerqualität und somit auch auf deren Nutzung als Badegewässer. In diesem Beitrag wird eine Methode vorgestellt, mit der die bakteriologischen Einträge durch Mischwasserentlastungen in ein Fließgewässer mittels eines Schmutzfrachtmodells ermittelt werden können. Simulationen wurden für ein Untersuchungsgebiet für einen Ist- und einen Ausbauzustand durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen Größenordnungen der bakteriologischen Verschmutzung durch Mischwasserentlastungen für die Indikatorbakterien *E. coli* und Intestinale Enterokokken. Die daraus resultierenden Bakterieneinträge wurden in einer Gesamtbilanz mit denen aus dem Kläranlagenablauf und aus diffusen Quellen verglichen. Im Untersuchungsgebiet verursachen Mischwasserentlastungen mehr als 40 % der gesamten bakteriologischen Belastung des betrachteten Flusses. Abschließend werden Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität und zum Einhalten der Grenzwerte der EG-Badegewässerrichtlinie vorgeschlagen.

**Schlagwörter:** bakteriologische Belastung, Mischwasserentlastung, EG-Badegewässerrichtlinie, Kanalnetzmodellierung

## 1 EINLEITUNG

Zur Beurteilung der Gewässergüte von Fließgewässern müssen alle Eintragspfade von Verschmutzungen betrachtet werden. Gewässer verunreinigende Stoffe können durch Kläranlagenabläufe, Mischwasserentlastungen und diffuse Quellen eingetragen werden. Speziell die Mischwasserentlastungen stellen, abhängig vom Ausbauzustand der Sonderwerke einen Belastungsschwerpunkt dar. Die Auswirkungen von Nährstoffeinträgen auf Fließgewässer durch Mischwasserentlastungen sind weitgehend erforscht (z. B. Behrendt et al., 2003). Hingegen gibt es wenige Untersuchungen zum Eintrag von Bakterien in Fließgewässer durch Mischwasserüberläufe in Mitteleuropa (z. B. Passerat et al., 2011; Rechenburg et al., 2006). In anderen Ländern, wie beispielsweise den USA (Murray et al.) oder Großbritannien (Ashley & Dabrowsky, 1995) wurde in mehreren Studien der Einfluss von Mischwasserentlastungen auf die Bakteriologie von Gewässern untersucht. Diese Untersuchungen stellen eine gute Grundlage dar, sind aber unter Umständen aufgrund von unterschiedlichen Randbedingungen, wie z. B. der Charakteristik des Einzugsgebiets oder der Bevölkerungsdichte nicht übertragbar (Ham et al., 2009).

Dieser Beitrag stellt eine Methode zur Ermittlung der bakteriologischen Belastung von Fließgewässern durch Mischwasserentlastungen mit einem Schmutzfrachtmodell vor. Die damit berechneten Entlastungsfrachten werden mit denen aus dem Kläranlagenablauf und diffusen Quellen bilanziert.

Hintergrund der Betrachtungen ist das „Gutachten zur Entwicklung der Nährstofffrachten und der bakteriologischen Belastungen der Sauer beim Ausbau der Kläranlage Bleesbrück“ in Luxemburg (Worreschk et al., 2013). Es wurde durch den Abwasserverband SIDEN (Syndicat Intercommunal de Dépollution des Eaux résiduaires du Nord) beauftragt, mit dem Ziel geplante Ausbaumaßnahmen an der Kläranlage Bleesbrück sowie im Bereich des Kanalnetzes und der Mischwasserentlastungsbauwerke in Hinblick auf die Entwicklung der bakteriologischen Belastungen sowie der Nährstoffeinträge zu bewerten. Betrachtet wird das Einzugsgebiet der unteren Sauer (Gewässer I. Ordnung) zwischen den Gütemessstellen Michelau und Bettendorf auf einer Flusslänge von ca. 20 km. Das Untersuchungsgebiet weist 183 km<sup>2</sup> auf und ist überwiegend ländlich geprägt. Im untersuchten Gebiet wird der Großteil des Abwassers in der vom SIDEN betriebenen Kläranlage Bleesbrück gereinigt. Die Kläranlage wurde in den 60er Jahren für 60.000 EW auf das Reinigungsziel der Kohlenstoffelimination gebaut und soll jetzt für

die Stickstoffelimination mit einer Anschlussgröße von 130.000 EW erweitert werden. Zudem ist eine Sanierung des Kanalnetzes und der Mischwasserentlastungsbauwerke vorgesehen. Die bakteriologische Belastung nimmt bei dem Gutachten einen hohen Stellenwert ein, da die Sauer in der Vergangenheit als Badegewässer ausgewiesen war, derzeit aber die Grenzwerte der EG-Badegewässerrichtlinie nicht eingehalten werden.

## 2 SIMULATION DER BAKTERIOLOGISCHEN BELASTUNG

### 2.1 Simulationsmodell KOSMO

Die Emissionen aus dem Kanalnetz werden über eine Modellabbildung und Simulation mit dem detaillierten Schmutzfrachtmodell KOSMO berechnet (Schmitt, 1994). Die Abflussmodellierung im Kanalnetz kann bei KOSMO entweder hydrodynamisch oder hydrologisch erfolgen. In der Studie wurde der hydrologische Ansatz nach Kalinin-Miljukov angewendet, da ein ländliches Einzugsgebiet vorliegt. Bei der Oberflächenabflussbildung werden Verdunstungs-, Benetzungs- und Muldenverluste von den befestigten Flächen berücksichtigt; bei Berücksichtigung nicht-befestigter Flächen werden zusätzlich Versickerungsverluste einbezogen. Die Modellierung der Abflusskonzentration auf der Oberfläche erfolgt hydrologisch mit Hilfe einer linearen Speicherkaskade mit in der Regel drei Speichern. KOSMO berücksichtigt die Oberflächenverschmutzung mit Hilfe von Akkumulations- und Abtragsprozessen. Der Stofftransport im Kanalnetz wird als advektiver Prozess bei vollständiger Durchmischung simuliert. In den Speicherräumen können Absetzprozesse berücksichtigt werden.

### 2.2 Einzugsgebiet und Kanalnetz

Im Ausgangszustand befinden sich im Einzugsgebiet der Kläranlage Bleesbrück 11 Regenüberläufe und 14 Regenüberlaufbecken. Vor der Kläranlage wird der Mischwasserzufluss auf den Bemessungszufluss der Kläranlage begrenzt, indem die überschüssige Wassermenge direkt in die Sauer entlastet wird. Aufgrund von sanierungsbedürftigen Kanälen und durch den Anschluss von Außengebieten an die Kanalisation ist der Fremdwasseranteil hoch. Durch den Ausbau der Kläranlage Bleesbrück kann zukünftig insgesamt mehr Mischwasser in der Kläranlage behandelt werden, allerdings nimmt auch der Schmutzwasseranfall durch den prognostizierten Bevölkerungsanstieg zu. Die Entlastung unmittelbar vor der Kläranlage soll aufgehoben und der Fremdwasseranfall durch eine Sanierung der Kanäle reduziert werden. Das aktuelle Planungskonzept sieht zudem vor, bestehende Regenüberläufe durch Regenüberlaufbecken zu ersetzen, um einen größeren Teil des Mischwassers zu speichern und in Durchlaufbecken zusätzlich einen Teil der partikulären Stoffe durch Sedimentation zurückzuhalten.

### 2.3 Eingangsdaten für das Modell

Das Modell KOSMO benötigt als Eingangsdaten Konzentrationen für den Trockenwetter- sowie den Niederschlagsabfluss. Als Indikatorbakterien wurden E. coli und Intestinale Enterokokken in Anlehnung an die EG-Badegewässerrichtlinie ausgewählt. Gemessene bakteriologische Konzentrationen lagen nur an der Gewässergütemessstelle in der Sauer in Bettendorf vor. Da ein weiteres Messprogramm in der Studie nicht vorgesehen war, wurden die bakteriologischen Konzentrationen im Trockenwetter- und Niederschlagsabfluss aus Literaturwerten bestimmt (Marsalek und Rochfort 2004, Waldhoff 2008). Die im Modell verwendeten Konzentrationen sind in Tabelle 1 dargestellt. Für die Nährstoffparameter Stickstoff und Phosphor lagen Messungen vor, welche nach der Auswertung als Eingangsdaten für das Modell verwendet werden konnten.

Tabelle 1: Konzentrationen der bakteriologischen und Nährstoffparameter

Konzentrationen	N	P	E. coli	Enterokokken
	[mg/l]	[mg/l]	[KBE/100ml]	[KBE/100ml]
Trockenwetterabfluss	24,8	3,8	1,7E+06	3,7E+05
Niederschlagsabfluss	3,0	0,8	3,7E+05	7,2E+04
Mischwasserabfluss	5,8	1,1	5,3E+05	1,1E+05
Kläranlagenablauf	18,4	1,7	1,0E+05	2,3E+04

## 2.4 Ergebnisse der Langzeitsimulation

Mit dem erstellten Modell wurden Langzeitsimulationen auf der Basis einer 13-jährigen Niederschlagsreihe (1997-2009, Messstation Bleesbrück) für den Ist- und den Ausbauzustand durchgeführt. Um die Belastung auch während der Tourismussaison beurteilen zu können, wurde jeweils ein Lastfall für das Sommer- sowie das Winterhalbjahr simuliert.

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass im Ausbauzustand durch die Erweiterung der Kläranlage sowie dem Ausbau der Mischwasserbauwerke eine Verbesserung des derzeitigen Zustandes erreicht wird. Das Gesamtentlastungsvolumen nimmt im Ausbauzustand im Mittel um 26 % ab. Hingegen nimmt der Gesamtabfluss im Kanalnetz zwischen Ist- und Ausbauzustand durch den Belastungsanstieg im Einzugsgebiet der Kläranlage Bleesbrück zu. Ausgewählte Simulationsergebnisse für den Ist- sowie den Ausbauzustand sind in Tabelle 2 dargestellt. Durch den Rückgang des Gesamtentlastungsvolumens nehmen auch die Entlastungsfrachten ab. Die Gesamtentlastungsrate der Langzeitsimulation nach ATV-A 128 (1992) verringert sich von 61 % auf 46 %. Die Abnahme um 15 % ist eine positive Entwicklung, allerdings erscheint nach Erfahrungswerten aus anderen Projekten eine Entlastungsrate von 46 % immer noch relativ hoch.

Tabelle 2: Entlastungsfrachten und –volumen für den Ist- sowie den Ausbauzustand

		Ist-Zustand	Ausbau- zustand	prozentuale Änderung [%]
Entlastungsvolumen	[m³/a]	1.1 Mio.	816.000	26
Nges-Entlastungsfracht	[kg/a]	6.430	3.660	43
Pges-Entlastungsfracht	[kg/a]	1.210	660	45
E. coli-Entlastungsfracht	[KBE/a]	5,87E+15	3,79E+15	35
Enterokokken-Entlastungsfracht	[KBE/a]	1,20E+15	7,62E+14	37
Entlastungsrate	[%]	61	46	15

Obwohl im Sommer geringfügig weniger Niederschlag als im Winter fällt (53 %), treten 51 % des jährlichen Entlastungsvolumens im Sommer auf. Die Entlastungsfrachten verhalten sich proportional zum Entlastungsvolumen. Die Entlastungsrate im Sommer ist mit 53 % deutlich höher als im Winter (41 %), was auf ein häufigeres Auftreten von starken Regenfällen zurückgeführt werden kann. Im Allgemeinen führen die Sauer und ihre Nebengewässer im Sommer meist weniger Wasser als im Winter und somit dürften gewässerkritische Mischwasserentlastungen überwiegend im Sommer auftreten.

Im Allgemeinen präsentieren die Ergebnisse typische Größenordnungen für E. coli und Enterokokken aus Mischwasserentlastungen für ein ländliches Einzugsgebiet in Mitteleuropa. Durch Validation der berechneten Werte mit Ergebnissen aus anderen Studien sowie Messungen in der Sauer konnten Übereinstimmungen der Größenordnungen belegt werden.

## 3 BILANZIERUNG DER BAKTERIOLOGISCHEN BELASTUNG VON FLÜSSEN

### 3.1 Bilanzierung aller Eintragspfade

Um den Einfluss der Mischwasserentlastungen im Vergleich zu den Frachten aus dem Kläranlagenablauf und den diffusen Quellen zu beurteilen, werden die einzelnen Frachten für den Ist- sowie den Ausbauzustand bilanziert. Die diffusen Belastungen werden über den Oberflächen- und Basisabfluss in die Sauer eingetragen. Dieser Abfluss wird aus der Differenz der Zuflüsse und Abflüsse abzüglich der Einleitungen aus den Punktquellen im Bilanzraum abgeschätzt. Der ermittelte Wasserzufluss aus diffusen Quellen nimmt im Ist-Zustand einen Anteil von 89 % ein. Der Anteil der Punktquellen beträgt somit 11 %, wovon 2 % auf Mischwasserentlastungen entfallen. Im Ausbauzustand erhöht sich der Anteil der Punktquellen am Gesamtabfluss auf 17 %, wobei nur noch 1 % durch Mischwasserentlastungen entsteht.

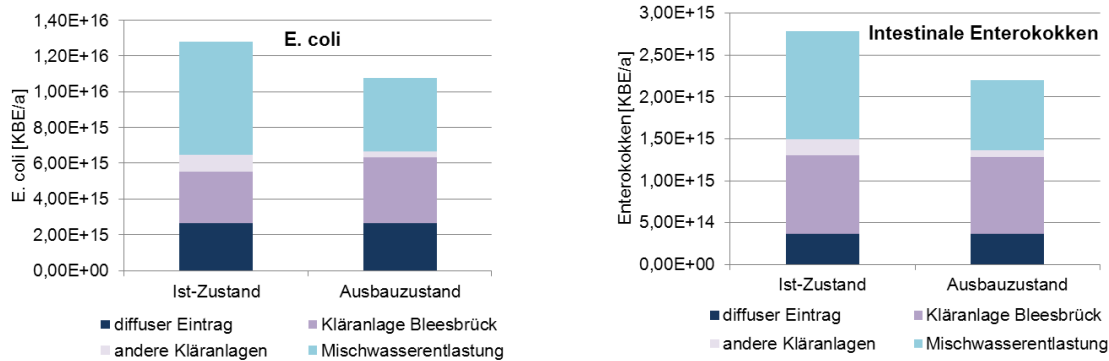


Abbildung 1: Jahresfrachten von E. coli und Intestinale Enterokokken aus Mischwasserentlastungen, Kläranlagenablauf und diffusen Quellen im Bilanzraum für den Ist- sowie den Ausbauzustand

Abbildung 1 zeigt die anteilig bilanzierten E. coli- und Enterokokken-Frachten aus Punkt- und diffusen Quellen im Untersuchungsraum. Im Ist-Zustand ist der Anteil der Mischwasserentlastungen noch deutlich höher als im Ausbauzustand. Verglichen mit den anderen Quellen haben sowohl E. coli als auch Enterokokken einen hohen Anteil an der Gesamtbelastung. Im Ist-Zustand resultieren 49 % der gesamten E. coli Belastung aus Mischwasserentlastungen, obwohl der Anteil am Gesamtabfluss nur bei 2 % liegt. Im Ausbauzustand reduziert sich der Mischwasserentlastungsanteil an der Gesamtbelastung auf 38 %.

### 3.2 Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerqualität

In Abbildung 2 ist die mittlere bakteriologische Konzentration und der berechnete Konzentrationsanteil, der im Bilanzraum eingetragen wird im Längsverlauf der Sauer für den Ausbauzustand dargestellt. Für die Berechnung der Konzentrationen werden die eingetragenen Frachten in den Bilanzraum, die Vorbelastung in Michelau und Ettelbrück aus der Messkampagne 2011 sowie der mittlere Durchfluss berücksichtigt. In Ettelbrück steigt die Konzentration aufgrund des Zuflusses der Alzette in die Sauer stark an. Am Messpunkt in Bettendorf ist ein Anstieg aufgrund des Ablaufs der Kläranlage Bleesbrück zu verzeichnen.

Durch den Ausbau der Kläranlage und der Mischwasserbehandlung werden die Einträge in die Sauer reduziert, jedoch können die Grenzwerte der EG-Badegewässerrichtlinie für eine ausreichende Qualität durch diese Maßnahmen alleine nicht eingehalten werden. Die Anforderungen können nur durch eine Maßnahmenkombination im Einzugsgebiet sowie im oberen Flusslauf erfüllt werden. Um die Belastungen aus den Mischwasserentlastungen zu reduzieren, können an Belastungsschwerpunkten Retentionsbodenfilter zur Mischwasserbehandlung eingesetzt werden und/oder Volumen der Regenüberlaufbecken vergrößert werden. Mit der Einbindung einer Filteranlage und einer UV-Anlage auf der Kläranlage Bleesbrück könnte die E. coli-Ablaufkonzentration auf 50 KBE/100ml und die Enterokokken-Ablaufkonzentration auf 10 KBE/100ml reduziert werden (Popp & Huber, 2005). Zudem ist es erforderlich die Vorbelastung der Alzette zu reduzieren, wenn möglich auf das Niveau der Sauer.

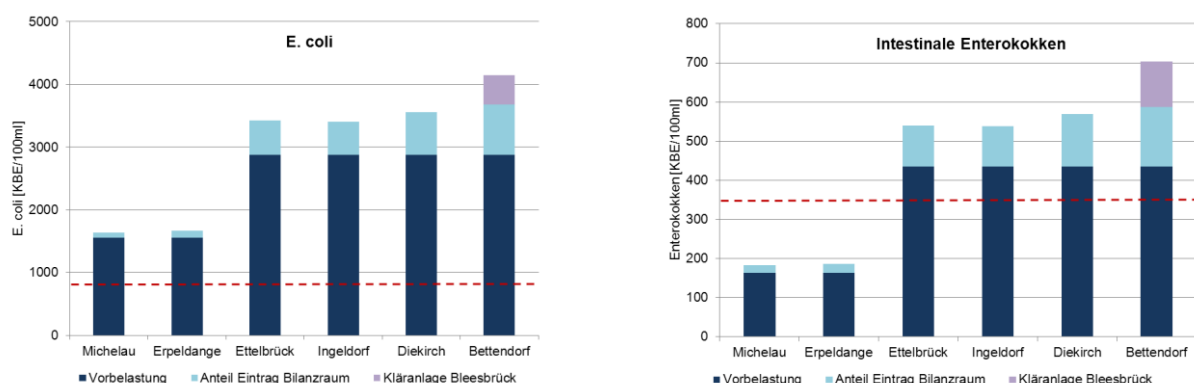


Abbildung 2: Berechneter Konzentrationsanteil für Punkt- und diffuse Quellen für den Bilanzraum im Ausbauzustand im Längsschnitt der Sauer (- - - Grenzwert EG-Badegewässerrichtlinie)

## 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

In dem Paper wurde eine Methode zur Berechnung von bakteriologischen Frachten durch Mischwasserentlastungen mit einem Schmutzfrachtmodell vorgestellt. Es konnten Größenordnungen für durch Mischwasserentlastungen in Gewässer eingetragene E.-coli und Enterokokken-Frachten für ein ländliches Einzugsgebiet in Mitteleuropa aufgezeigt werden. Für eine bessere Validierung der berechneten Ergebnisse sollte eine Messkampagne im Untersuchungsgebiet über eine längere Zeitspanne durchgeführt werden. Die Belastungen aus den Mischwasserentlastungen dominieren mit mehr als 40 % für E.-coli sowie Enterokokken die Bilanz aller Eintragspfade. Die Emissionen aus Mischwasserentlastungen führen zu einer hohen, aber kurzzeitigen Belastung der Sauer im Sommer wie im Winter. Im Gegensatz dazu sind die niedrigeren Emissionen der Kläranlage und der diffusen Quellen kontinuierlich.

Der Vergleich zwischen Ist- und Ausbauzustand zeigt, dass die geplanten Maßnahmen positive Auswirkungen auf die Entwicklung der Frachten haben, die Grenzwerte der EG-Badegewässerrichtlinie dennoch nicht eingehalten werden können. Bei einer Reduzierung der Vorbelastung der Alzette auf das Konzentrationsniveau der Sauer in Erpeldange in Kombination mit einer Hygienisierung des Kläranlagenablaufs der Kläranlage Blesbrück können bei Trockenwetter die Grenzwerte der EG-Badegewässerrichtlinie für eine ausreichende Qualität eingehalten werden. Da der Großteil der bakteriologischen Belastung aus Mischwasserentlastungen resultiert, sollte ein höheres spezifisches Speichervolumen von Regenüberlaufbecken an Belastungsschwerpunkten geprüft werden. Generell erhöht die Anerkennung der Sauer als Badegewässer nach der EG-Badegewässerrichtlinie die touristische Attraktivität der Region erheblich und unterstützt die wirtschaftliche Entwicklung.

## 5 REFERENZEN

- Ashley, R.M. and Dabrowsky, W. (1995). Dry and Storm Weather Transport of Coliforms and Fecal Streptococci in Combined Sewage. *Water Science & Technology*, 31 (7), pp. 311-320.
- ATV (1992). Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen. ATV-Regelwerk, Arbeitsblatt A 128, Hennef, April 1992.
- Behrendt, H., Bach, M., Kunkel, R., Opitz, D., Pagenkopf, W.-G., Scholz, G. and Wendland, F. (2003). Internationale Harmonisierung der Quantifizierung von Nährstoffeinträgen aus diffusen und punktuellen Quellen in die Oberflächengewässer Deutschlands. Texte 82/03, Umweltbundesamt, Hrsg., Berlin.
- EG (2006). RICHTLINIE 2006/7/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG
- Ham, Y., Kobori, H. and Takasago, M. (2009). Effects of Combined Sewer Overflow and Stormwater on Indicator Bacteria Concentrations in the Tama River due to the High Population Density of Tokyo Metropolitan Area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152 (1-4), pp.459-468.
- Marsalek, J. and Rochfort, Q. (2004). Urban Wet-Weather Flows: Sources of Fecal Contamination Impacting on Recreational Waters and Threatening Drinking Water Sources, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A: Current Issues*, 67 (20-22), pp. 1765-1777.
- Murray, K., Fisher, L., Therrien, J., George, B. and Gillespie, J. (2001). Assessment and Use of Indicator Bacteria to Determine Sources of Pollution to an Urban River. *Journal of Great Lakes Research*, 27 (2), pp. 220-229.
- Passerat, J., Ouattara N.K., Mouchel J.-M., Rocher, V. and Servais, P. (2011). Impact of an intense combined sewer overflow event on the microbiological water quality of the Seine River. *Water Research*, 45 (2), pp. 893-903.
- Popp, W. and Huber, S. (2005). Überprüfung der Abtötung bzw. Inaktivierung ausgewählter Krankheitserreger in Abwasser durch UV-Strahlung im Vergleich zur Reduktion von Fäkalindikatorbakterien und Untersuchungen zur Wiederverkeimung. Schlussbericht, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Hrsg., München.
- Rechenburg, A., Koch, Ch., Claßen, Th. and Kistemann, Th. (2006). Impact of sewage treatment plants and combined sewer overflow on the microbiological quality of surface water. *Water Science & Technology*, 54 (3), pp. 95-99.
- Schmitt, T.G. (1994). Detaillierte Schmutzfrachtberechnung nach ATV- Arbeitsblatt A-128. *Korrespondenz Abwasser*, 41 (12), pp. 2213 – 2230.
- Waldhoff, A. (2008). Hygienisierung von Mischwasser in Retentionsbodenfiltern (RBF). Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft der Universität Kassel, Band 30, Kassel.
- Worreschk, S., Schmitt, T.G., Hobus, I., Kolisch, G. and Hansen, J. (2013). Simulation Study of Bacteriological Pollution Load of Rivers by CSOs. Novatech 2013, 8th International Conference „Planning and technologies for sustainable urban water management“. 23. - 27. Juni 2013 in Lyon.