

# Urbane Entwässerung neu gedacht

Niederschlagswasserqualität, integrale Planung, modifiziertes Mischsystem,  
Kanalnetzsteuerung

**Nils-Kristof Kabisch, Sören Hornig, Katrin Bauerfeld, Maike Beier**

*Untersuchungen zeigen, dass Niederschlagswasser im urbanen Raum erheblich mit Schmutzstoffen belastet ist. Es kann nicht einfach ungereinigt in die Vorfluter geleitet werden. Mit einem ganzheitlichen Niederschlagswassermanagement werden neben verschiedenen dezentralen Maßnahmen bestehende Infrastrukturen wie Mischkanalisation und Klärwerke eingebunden, um die Stadtentwässerung schrittweise in ein resilientes und wirtschaftliches System zu transformieren.*

## Zielstellung

Aktuelle Erhebungen zeigen deutlich, dass Niederschlagswasser im urbanen Raum nicht unerheblich mit Schmutzstoffen belastet ist. [1 – 4] Die Höhe und Art der Belastung ist dabei stark abhängig von der jeweiligen Flächennutzung. Insbesondere das Niederschlagswasser, welches von stark befahrenen Straßen oder Industrie- und Gewerbegebieten abfließt, kann erheblich mit Stoffen wie beispielsweise Feststoffen oder Schwermetallen belastet sein, welche vor der Einleitung in das Gewässer entfernt werden müssen. Mit der durch das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) gesetzlich festgelegten Priorisierung der Trennentwässerung, also der getrennten Ableitung und Behandlung von Schmutz- und Niederschlagswasser, ergibt sich daraus die Notwendigkeit, das Niederschlagswasser flächendeckend dezentral beispielsweise über Filter zu reinigen, was einen erheblichen Investitions- und Betriebsaufwand bedeutet. Gleichzeitig sind jedoch gerade in größeren Städten durch die größtenteils noch bestehende Mischkanalisation und die kommunalen Kläranlagen erhebliche Kapazitäten zur zentralen Reinigung des Niederschlagswassers vorhanden, die bei einer ausschließlichen Trennentwässerung ungenutzt bleiben würden.

Basierend auf diesen Rahmenbedingungen wurde mit der modifizierten qualitätsbasierten Entwässerung ein neuer und ganzheitlicher Ansatz für das Niederschlagswassermanagement in urbanen Räumen entwickelt. Dieser sieht vor, die vorhandene Infrastruktur – und hier insbesondere die zentrale kommunale Kläranlage – weiterhin zur Niederschlagswasserbehandlung zu nutzen, gleichzeitig jedoch, die in einem Mischsystem bei starken Regenfällen bisher einkalkulierten Abschläge ins Gewässer vollständig zu vermeiden. Erreicht werden soll dies durch

1. flankierende, dezentrale Abkopplungs- und Behandlungsmaßnahmen an der Oberfläche,
2. eine Maximierung der Speicher- und Behandlungskapazitäten der vorhandenen Entwässerungs- und Behandlungsanlagen sowie durch
3. die auf der Niederschlagswasserqualität basierende flexible (!) Nutzung verschiedener Ableitungswege.

Durch die synergetische Nutzung vorhandener Infrastruktur (Misch- und Trennkanalisation und Kläranlage) wird so der Grundstein für eine ressourcen- und umweltschonende Transformation hin zu einer zukunftsorientierten, resilienten und wirtschaftlichen Stadtentwässerung gelegt.

### Verschmutzung von Niederschlagswasser (Niederschlagswasserqualität)

In der Vergangenheit wurden, mit dem Fokus auf eine weitergehende Verbesserung des chemischen Zustands der Gewässer, insbesondere die mit der Schmutzwasserableitung verbundenen Punktquellen wie zum Beispiel Kläranlagen oder Mischwasserabschläge bewertet [5 – 7] und mit einer Begrenzung belegt. Diffuse Quellen wie etwa aus der Landwirtschaft oder der Eintrag von Stoffen aus dem urbanen Niederschlagswasserablauf sind zum einen deutlich schwieriger zu erfassen, zum anderen sind Maßnahmen zur Vermeidung oder Reduzierung der Schadstoffeinträge durch ihre Diffusität konzeptionell komplex, in der Umsetzung und im Betrieb mit hohen Kosten verbunden und oft in der Effizienz begrenzt. Gerade deswegen stellt die weitergehende Charakterisierung der Niederschlagswasserverschmutzung in städtischen Gebieten in Art und Menge über das bisher übliche Maß hinaus, eine, für die Planung und Einführung von entsprechenden Maßnahmen, maßgebliche Basisinformation dar.

Die Charakterisierung und Klassifizierung von Einzugsgebieten und Schadstoffquellen sind dabei von vielen Randbedingungen abhängig [8]. Typische Randbedingungen sind zum Beispiel Ablagerungen auf undurchlässigen, befestigten Oberflächen, verwendete Baumaterialien für Fassaden und Dächer, Verkehrsintensität, vorhandene Grünflächen, Einfluss von Industrieflächen oder temporäre Bautätigkeiten. [3] Ein Ansatz zur Strukturierung der Einträge ist die Ableitung aus der Oberflächennutzung mit mehreren Hauptgruppen wie zum Beispiel

aktivitätsbezogene, landbedeckungsbezogene, verhaltensbezogene und atmosphärische Ablagerungen [9, 2]. Neben klassischen Schmutzstoffen wie Feststoffen, organischen Schmutzstoffen und Nährstoffen befinden sich häufig auch Schwermetalle oder verschiedene Spurenstoffe in erhöhter Konzentration im Niederschlagswasserablauf. Folglich kann in Abhängigkeit der Einzugsgebietscharakteristik die Verschmutzung von Niederschlagswasser stark variieren. Neben den potenziellen Quellen von Schadstoffen haben beispielsweise Entwässerungsart, Häufigkeit der Straßenreinigung, der zeitliche Abstand zum letzten Regenereignis [10] sowie die generellen Wetterbedingungen im Einzugsgebiet einen Einfluss auf Konzentrationen und Frachten an Schadstoffen im Niederschlagswasser. **Tabelle 1** zeigt einen Überblick der Niederschlagswasserqualität in Abhängigkeit der Flächennutzung.

Auffällig an den Niederschlagswasserqualitäten sind insbesondere die großen Bandbreiten der auftretenden Konzentrationen einiger Parameter, die aus den beschriebenen Einflussfaktoren resultieren. Für die Bewertung der Relevanz der Niederschlagsqualität ist daher nicht alleine die Konzentration zu betrachten, sondern die eingetragene Schmutzstofffracht, die durch die Multiplikation der Konzentration mit der eingeleiteten Wassermenge berechnet wird.

**Biozide:** Neben den klassischen Qualitätsparametern wurden im Niederschlagswasserablauf in den letzten Jahren aber auch eine Vielzahl anthropogener Spurenstoffe nachgewiesen [11 – 13]. Die Gruppe der Biozide hat dabei im städtischen Bereich ei-

**Tabelle 1:** Zusammenfassung der Niederschlagswasserqualität in Abhängigkeit der Flächennutzung [1].

Pollutant levels associated with various types of urban land uses								
Source type	EMC concentration and range (mg/L)							<i>Escherichia coli</i> (MPN/100 mL)
	TSS	TVS	BOD	COD	NH <sub>4</sub>	Pb	PAH (ng/L)	
Urban open areas	126.3	-	7.9	36.0	0.1	0.061		
Residential areas	85.1		8.5	80.0	0.56	0.141		
Commercial areas	21 – 1104	28 – 124	5 – 17	20 – 120	0.03 – 3.7	0.01 – 0.44	1.0	10 – 10 <sup>3</sup>
	50.4		9.9	146.2		0.133		
Industrial areas	18 – 2582	75 – 85	5 – 22	37 – 365	0.31 – 4.6	0.1 – 3.1	1.0 – 3.5	102 – 104
	50.4		9.9	146.2		0.133		
Highways	45 – 375	35 – 72	8 – 17	40 – 70	0.2 – 1.1	0.6 – 1.2		10
	<b>194.5</b>		23.9	136.5		<b>0.33</b>		
	156.9	18 – 86	8 – 32	89 – 209	0.02 –	0.201	365	
Roof runoff	11 – 5700				2.8	0.01 – 34	– 60 000	10 – 10 <sup>3</sup>
	12.3 – 216	40 – 88	2.8 – 8.1	57.9 – 80.6	0.4 – 3.8	0.001 – 0.03		10 <sup>2</sup> – 10 <sup>4</sup>
Gully pot liquors	15 – 840	185	6.8 – 241	25 – 109	0.7 – 1.39	0.06 – 0.85		10 – 10 <sup>3</sup>

Values in **bold** type are for Motorways and *italics* are for other main roads; urban open areas include green space, parks, sports fields, cemeteries etc. Table compiled from Hall & Ellis (1985), Luker & Montague (1994), Butler & Clark (1995) and Mitchell (2001).  
EMC, event mean concentration; TSS, total suspended solids; BOD, biological oxygen demand; COD, chemical oxygen demand; PAH, polyaromatic hydrocarbons; MPN, most probable number; TVS, total volatile solids.

nen großen, bisher wenig beachteten Anteil [14 – 16]. Neben der Verwendung zur Reinigung von Gehwegen und Bodenplatten werden biozide Wirkstoffe wie Carbendazim häufig zum Schutz von Fassaden in Fassadenfarben oder Putz eingesetzt [17] und können durch den Kontakt mit Niederschlagswasser aus entsprechend behandelten Fassaden ausgewaschen werden [14 – 16]. Im Niederschlagswasserkanal wurden zum Beispiel durch *Wicke et al.* [18] Konzentrationen von wenigen  $\mu\text{g/L}$  nachgewiesen, die damit aber bereits geltende Höchstkonzentrationen von Umweltqualitätsnormen überschreiten und somit durchaus signifikant den Zustand von Gewässern beeinflussen. Bekannt ist auch, dass Biozidkonzentrationen im Niederschlagswasser sowohl im Labor als auch unter natürlichen Wetterbedingungen nicht nur über einen längeren Expositionszeitraum sondern auch innerhalb eines individuellen Regenereignisses abnehmen [14, 15]. Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass eine Erschöpfung von Bioziden allein durch Auswaschen auch nach mehreren Tausend Millimetern Beregnung nur Größenordnungen von maximal 30 % erreicht [14] und Biozide damit als Schadstoffquelle über viele Jahre im urbanen Raum berücksichtigt werden müssen. Ein Spülstoß wie er bei vielen abwassertechnisch relevanten Parametern im Kanal auftreten kann, wurde unter bestimmten Voraussetzungen auch für einzelne biozide Wirkstoffe festgestellt. Gewöhnliche Regenereignisse weisen jedoch keine derartige Charakteristik auf [16]. Insgesamt ist festzustellen, dass die aus dem Nutzungsverhalten von Biozidprodukten resultierende Dynamik der Biozidfrachten in der Trennkanalisation sowohl innerhalb eines Regenereignisses als auch über einen längeren Zeitraum bisher weitestgehend unbekannt ist.

**Mikroplastik:** Ein weiterer und aktuell viel diskutierter Parameter ist Mikroplastik. Der Regenwasserabfluss scheint ein naheliegender Eintragspfad von Mikroplastik (Typ B) in die aquatische Umwelt zu sein. Die Bedeutung dieses Eintragspfades wird als hoch eingeschätzt, die tatsächliche Dynamik und Variabilität ist jedoch weitestgehend unbekannt. Erste Untersuchungen zeigen das Auftreten von Mikroplastik in Regenrückhaltebecken [20] und implizieren damit das Auftreten von Mikroplastik im urbanen Niederschlagswasserabfluss. Autoreifen nehmen dabei eine entscheidende Rolle ein. Während des Gebrauchs geben Reifen eine große Bandbreite an Partikeln in der Größe von wenigen Nanometern und einigen hundert Mikrometern ab. Nach *Bertling et al.* entstehen so jährlich im Durchschnitt mehr als 1 kg zinkhaltiger Reifenabrieb pro Person in Deutschland. [19] Diese Partikel können

durch Niederschlag abtransportiert werden und so in die Gewässer, Kanalisation und Abwasserbehandlungsstufen gelangen [21]. Zusätzlich stehen Mikroplastikpartikel aus Reifenabrieb unter Verdacht, organische Schadstoffe durch Sorption zu binden und damit ebenfalls in den Wasserkreislauf zu verlagern [22]. Das Wissen über Einflussfaktoren und Dynamik des Eintrages von Mikroplastik und Transport im Regenwasserabfluss sind folglich ebenfalls wichtige Informationen für die Gestaltung eines auf die weitergehende Reinhaltung der Gewässer angepassten Regenwassermanagements.

Die zentrale Abwasserreinigung weist mit der aktuell vorhandenen Verfahrenstechnik sowohl für Biozide als auch Mikroplastik bereits eine konstant gute Reinigungsleistung auf, die durch den weitergehenden Ausbau einer 4. Reinigungsstufe noch weiter gestärkt werden wird. Die dezentralen Behandlungssysteme am Einleitungspunkt der Trennkanalisation oder vorgelagert angeordnet, werden erst nach und nach auf die neuen Anforderungen hin ausgerichtet und die Leistungsfähigkeit wird aktuell im Betrieb noch untersucht und optimiert.

### Konzept der qualitätsbasierten Entwässerung

Die Kanalisation dient der Sammlung und Ableitung von Abwasser in besiedelten Gebieten und ist damit ein essenzieller Beitrag zur Stadthygiene. Gleichzeitig wird durch die gezielte Ableitung städtischer Vernässung und Überflutung vorgebeugt und damit die urbane Infrastruktur geschützt. Um diese existenziellen Aufgaben zu erfüllen, wurden in der Vergangenheit zwei verschiedene Kanalisationsformen eingesetzt: die Misch- und die Trennkanalisation.

Da Mischwasserüberläufe aus der Mischkanalisation zu einem zwar zeitlich begrenzten jedoch frachtmäßig nicht unerheblichen Schmutzstoffeintrag in die Gewässer führen [23], ist die Trennkanalisation das bevorzugte System in Deutschland. Dies ist inzwischen gesetzlich im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) verankert. Während in Neubaugebieten oder Bereichen mit einer geringen Verdichtung die Trennentwässerung bereits weitgehend flächendeckend umgesetzt ist, ist die Transformation vorhandener Mischkanäle insbesondere in innerstädtischen Bestandsquartieren schwierig. So wurde der Anteil der Mischkanalisation am gesamten Kanalnetz in Deutschland zwischen 2001 und 2016 trotz gesetzlicher Vorgabe nur um 6,5 % von 48 auf 41,5 % reduziert. [24]. Insbesondere in den alten Innenstadtgebieten und damit den Quartieren mit hoher Bevölkerungsdichte ist aufgrund der Gebäudestruktur und weitgehenden Versiegelung der

Flächen nach wie vor ein erheblicher Anteil Mischkanalisation vorhanden oder, trotz Umstellung, der weiterhin im Schmutzwasserkanal abgeleitete Anteil an Niederschlagswasser erheblich, was zu einer Überlastung dieses auf hydraulische Schwankungen nicht ausgelegten Kanaltyps führt.

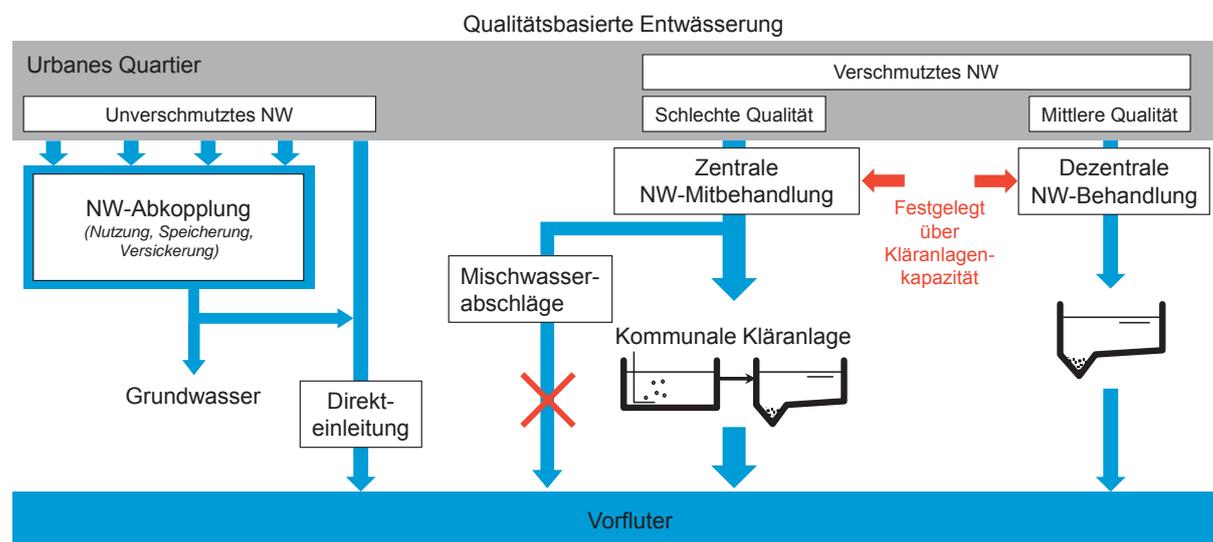
Mit der modifizierten qualitätsbasierten Entwässerung (vgl. **Bild 1**) wird eine neue Entwässerungsstrategie für urbane Quartiere aufgezeigt, die unter Beibehaltung der vorhandenen Mischkanalisation die zentrale Reinigung von verschmutztem Niederschlagswasser auf der kommunalen Kläranlage vorsieht, wobei durch die Ausnutzung der vorhandenen Kapazitäten im Kanalnetz und in der Kläranlage sowie durch den flankierenden Einsatz dezentraler Abkopplungs- und Behandlungsmaßnahmen, gleichzeitig dem Ansatz der Trennentwässerung gefolgt wird und Mischwasserabschläge komplett vermieden werden.

Ein wesentlicher Aspekt der qualitätsbasierten Entwässerung ist dabei die gezielte Einbindung der kommunalen Kläranlage in die Niederschlagswasserbehandlung für stark verschmutzte Teilströme, die, wie zuvor dargestellt, in bestimmten Stadtquartieren anfallen (örtliche Varianz) oder über die Regendauer variieren (zeitliche Varianz, zum Beispiel der sogenannte Spülstoß). Deutschlandweit sind über 200 kommunale Kläranlagen im Einsatz, die eine Ausbaugröße größer 100 000 Einwohnerwerte (EW) aufweisen und damit für die Behandlung von Abwasser aus Großstädten zuständig sind [25]. Diese Kläranlagen sind nach dem technischen Regelwerk bemessen und können damit mit mindestens der 2-fachen Menge des 85%-Perzentils des Trockenwetterabflusses belastet werden.

Die qualitätsbasierte Entwässerung sieht vor, diese Kapazitäten weiterhin zu nutzen und sogar zu erweitern, um insbesondere das stark verschmutzte

Niederschlagswasser aus dem Einzugsgebiet über die bestehende Mischkanalisation zur zentralen Behandlung zur kommunalen Kläranlage zu leiten. Insbesondere hinsichtlich der im Niederschlagswasser enthaltenen Schmutzstoffe wie abfiltrierbarer Stoffe (AFS), Schwermetalle aber auch Biozide und Mikroplastik weist die kommunale Kläranlage gute Reinigungsleistungen auf und unterliegt anders als die dezentralen NW-Behandlungsanlagen einer kontinuierlichen Ablaufüberwachung [23, 26, 19, 27]. Bezüglich Mikroplastik konnte beispielsweise festgestellt werden, dass über 99 % des Mikroplastiks im Klärschlamm akkumuliert und damit aus dem Abwasser entfernt wird. [28, 27, 29] Vermehrt kommen auf kommunalen Kläranlagen auch Verfahren zur weitergehenden Elimination von Mikroschadstoffen (beispielsweise Medikamentenreste und Pestizide) sowie Filteranlagen zum Einsatz, sodass die Eliminationsleistung hinsichtlich weiterer im Niederschlagswasser vorkommender Schmutzstoffe zukünftig noch erweitert wird.

Weiterhin haben zahlreiche Studien gezeigt, dass eine nach dem technischen Regelwerk bemessene Kläranlage häufig über den Bemessungsabfluss hinaus mit Mischwasser belastet werden kann. [30] So wird beispielsweise die Belebungsstufe der Kläranlage Hildesheim mit bis zu 5 000 m<sup>3</sup>/h belastet, was dem 3,2-fachen des 85 %-Perzentils des Trockenwetterabflusses entspricht. Eine weitere Steigerung der hydraulischen Kapazität kann durch angepasste Betriebsstrategien erreicht werden. [31 – 35] Beispielsweise konnte in [31] großtechnisch für die Kläranlagen Schönfeld und Wünschendorf nachgewiesen werden, dass eine Verdopplung der behandelbaren Mischwassermenge durch den Einsatz der Umfahrung der Belebungsstufe möglich ist. Zu beachten ist bei der Zielsetzung einen möglichst großen Anteil des Niederschlagswassers der Kläran-



**Bild 1:**  
Prinzipische Skizze der qualitätsbasierten Entwässerung.  
© ISAH

lage abschlagsfrei zuzuführen, dass auch die Speicherkapazitäten im Kanalnetz bestmöglich etwa durch eine Kanalnetzsteuerung ausgenutzt werden. Ein Beispiel für die Umsetzung einer solchen Steuerung ist die ADESBA-Steuerung im Einzugsgebiet Hildesheim. [36]

Die aktuelle Alternative der Niederschlagswasserbehandlung erfolgt weitgehend ortsnah und damit dezentral im Quartier mit entsprechend hohem Investaufwand und geringerer technischer Komplexität. Im Kontext der modifizierten, qualitätsbasierten Entwässerung ist das Ziel, die dezentralen Maßnahmen entsprechend ihrer bisherigen Einsatzbereiche für die schwach verschmutzten Anteile des Niederschlagswassers weiter umzusetzen und in das Gesamtkonzept einzubinden, um so Ableitungsvolumen im Mischkanal für die verschmutzten Anteile freizuhalten. Als dezentrale Reinigungsverfahren werden unter anderem Retentionsbodenfilter (RBF) eingesetzt, die im innerstädtischen Kontext neben der Reinigungsleistung auch noch als blau-grüne Infrastruktur [37] positive Effekte auf die Quartiersqualität haben. Für RBFs im Mischsystem ist bekannt, dass organische Schmutzstoffe in der Regel zu mehr als 80 % und abfiltrierbare Stoffe (AFS) zu mehr als 90 % zurückgehalten werden. In Abhängigkeit der eingesetzten Filtermaterialien können auch Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor sowie Schwermetalle effektiv zurückgehalten werden [38–40]. Für den Rückhalt von Bioziden zeigen erste Untersuchungen von RBFs im Quartier [39] oder mit nachgeschalteten Adsorberfiltern [41] ebenfalls Wirkungsgrade von bis zu 80 %.

### Integrale Stadtplanung

Das vorgestellte Konzept der qualitätsbasierten Entwässerung sieht für das un- oder nur leichtverschmutzte Niederschlagswasser die Abkopplung einzelner Gebiete von der Kanalisation vor. Dadurch kann Niederschlagswasser ortsnah versickert oder abgeleitet und die Kanalisation entlastet werden. Weiterhin soll, insbesondere bei Starkregenereignissen, auch die Oberfläche zur temporären Ableitung von Niederschlagswasser genutzt werden. Durch den temporären Verschluss der Kanalisation und der kontrollierten oberflächigen Ableitung des Niederschlagswassers (beispielsweise durch hochfahrbare Wehre), werden eine Überlastung der Kanalisation und damit Mischwasserabschläge vermieden. Das Wasser wird in diesem Fall an der Oberfläche auf geeigneten Flächen gespeichert, direkt in den Vorfluter abgeleitet oder auf Grünflächen versickert. Die Ausgestaltung der Fließwege und Konzepte einer oberflächigen Ableitung sollte

dabei direkt an die Maßnahmen und Planungen zur Resilienzstärkung der Städte gegenüber Starkregenereignissen im Rahmen der Überflutungsvorsorge angebunden werden.

Voraussetzung für diese Art der Niederschlagswasserbewirtschaftung sind natürlich angepasste Betriebs- und Alarmkonzepte sowie eine hinreichend genaue Kenntnis über das Fließverhalten. Als Querschnittsdisziplin kann hier die Stadtplanung wesentlich zu einem wirkungsvollen urbanen Wassermanagement beitragen. So hat die Flächenvorsorge in Bezug auf Starkregengefahren ein großes Potenzial bei der Minimierung von Risiken, die Kommunen können über die Bauleitplanung steuernd eingreifen und zum Beispiel durch Freihaltung von Flächen oder durch Vorgaben für die detaillierte Planung und Gestaltung von Nutzungen und Bauwerken in Gefahrenbereichen Risiken mindern.

Insbesondere die zuvor beschriebene Form der Oberflächennutzung zur (Not-)Abkopplung von Niederschlagswasser erfordert eine kooperative integrale Stadtplanung und eine gute Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachdisziplinen.

### Ausblick

Im Rahmen von TransMiT ([www.transmit-zukunftstadt.de](http://www.transmit-zukunftstadt.de)) werden bis 2022 relevante Planungs- und Systemkomponenten des oben beschriebenen Konzepts untersucht und für die Auslegung und Umsetzung in anderen Kommunen praxisorientiert beschrieben. Hierzu gehören unter anderem: Datenverdichtung zur verbesserten oberflächigen Abflussmodellierung, großtechnische Datenaufnahme zur Modellierung von oberflächigen Abflüssen wie die Untersuchung der Oberflächenrauigkeit auf das Abflussverhalten, Entwicklung einer Niederschlagswasserweiche zur flexiblen Steuerung des Entwässerungsweges, modelltechnische Untersuchungen zur Identifizierung von Speicherräumen im Kanal und Ableitung von Steuerungsgrößen unter Berücksichtigung des oberflächigen Abflusses. Großtechnische Versuche auf der Kläranlage Hildesheim zur Flexibilisierung der annehmbaren Mischwassermenge sowie qualitative Messungen von Niederschlagswasser und die beispielhafte Erprobung von Retentionsbodenfiltern runden die Datenerhebung ab.

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung im Rahmen der Förderinitiative RES:Z / Zukunftsstadt und den Stadtentwässerungen Hildesheim AÖR und Braunschweig GmbH für die Unterstützung und Erprobung in der Praxis.

## LITERATUR

- [1] Ellis, J. B., Mitchell, G.: Urban diffuse pollution [online]. Key data information approaches for the Water Framework Directive. *Water and Environment Journal*, 20 (1), (2006), p. 19 – 26. ISSN 1747-6585. Verfügbar unter: doi:10.1111/j.1747-6593.2006.00025.x.
- [2] Lundy, L., Ellis, J. B., Revitt, D. M.: Risk prioritisation of stormwater pollutant sources [online]. *Water research*, 46 (20), (2012), p. 6589 – 6600. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.watres.2011.10.039.
- [3] Sillanpää, N., Koivusalo, H.: Stormwater quality during residential construction activities: influential variables [online]. *Hydrological Processes*, 29 (19), (2015), p. 4238 – 4251. ISSN 1099-1085. Verfügbar unter: doi:10.1002/hyp.10493.
- [4] Kozak, C., Fernandes, C. V. S., Braga, S. M., do Prado, L. L., Froehner, S., Hilgert, S.: Water quality dynamic during rainfall episodes: integrated approach to assess diffuse pollution using automatic sampling [online]. *Environmental monitoring and assessment*, 191 (6), 402. ISSN (2019), p. 0167 – 6369. Verfügbar unter: doi:10.1007/s10661-019-7537-6
- [5] Tixier, C., Singer, H. P., Oellers, S., Müller, S. R.: Occurrence and fate of carbamazepine, clofibric acid, diclofenac, ibuprofen, ketoprofen, and naproxen in surface waters [online]. *Environmental science & technology*, 37 (6), (2003), p. 1061 – 1068. ISSN 0013-936X. Verfügbar unter: doi:10.1021/es025834r.
- [6] Reemtsma, T., Weiss, S., Mueller, J., Petrovic, M., González, S., Barcelo, D., Ventura, F., Knepper, T. P.: Polar pollutants entry into the water cycle by municipal wastewater [online]. *A European perspective. Environmental science & technology*, 40 (17), (2006), p. 5451 – 5458. ISSN 0013-936X. Verfügbar unter: doi:10.1021/es060908a.
- [7] Heberer, T.: Tracking persistent pharmaceutical residues from municipal sewage to drinking water [online]. *Journal of Hydrology*, 266 (3-4), (2002,) p. 175 – 189. ISSN 00221694. Verfügbar unter: doi:10.1016/S0022-1694(02)00165-8.
- [8] Müller, A., Österlund, H., Marsalek, J., Viklander, M.: The pollution conveyed by urban runoff [online]. *A review of sources. The Science of the total environment*, 709, (2019), 136125 [Zugriff am: 20. Januar 2020]. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.136125
- [9] Petrucci, G., Gromaire, M.-C.; Shorshani, M. F.; Chebbo, G.: Nonpoint source pollution of urban stormwater runoff [online]. *A methodology for source analysis. Environmental science and pollution research international*, 21 (17), (2014), p. 10225 – 10242. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11356-014-2845-4.
- [10] Kasting, U.: Reinigungsleistung von zentralen Anlagen zur Behandlung von Abflüssen stark befahrener Straßen. Dissertation. Universität kaiserslautern. Kaiserslautern, 2002.
- [11] Clara, M., Ertl, T., Giselbrecht, G., Gruber, G., Hofer, T., Humer, F., Kretschmer, F., Kolla, L., Scheffknecht, C., Weiß, S., Windhofer, G.: Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien, 2014.
- [12] Gasperi, J., Sebastian, C., Ruban, V., Delamain, M., Perrot, S., Wiest, L., Mirande, C., Caupos, E., Demare, D., Kessoo, M. D. K., Saad, M., Schwartz, J. J., Dubois, P., Fratta, C., Wolff, H., Moilleron, R., Chebbo, G., Cren, C., Millet, M., Barraud, S., Gromaire, M. C.: Micropollutants in urban stormwater [online]. Occurrence, concentrations, and atmospheric contributions for a wide range of contaminants in three French catchments. *Environmental science and pollution research international*, 21 (8), (2014), p. 5267 – 5281. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11356-013-2396-0.
- [13] Zgheib, S., Moilleron, R., Chebbo, G.: Priority pollutants in urban stormwater [online]. Part 1 – case of separate storm sewers. *Water research*, 46 (20), (2012), p. 6683 – 6692. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.watres.2011.12.012.
- [14] Burkhardt, M., Zuleeg, S., Vonbank, R., Schmid, P., Hean, S., Lamani, X., Bester, K., Boller, M.: Leaching of additives from construction materials to urban storm water runoff [online]. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 63 (9), (2011), p. 1974 – 1982. ISSN 0273-1223. Verfügbar unter: doi:10.2166/wst.2011.128.
- [15] Burkhardt, M., Zuleeg, S., Vonbank, R., Bester, K., Carmeliet, J., Boller, M., Wangler, T.: Leaching of biocides from façades under natural weather conditions [online]. *Environmental science & technology*, 46(10), (2012), p. 5497 – 5503. ISSN 0013-936X. Verfügbar unter: doi:10.1021/es2040009.
- [16] Bollmann, U.E., Vollertsen, J., Carmeliet, J., Bester, K.: Dynamics of biocide emissions from buildings in a suburban stormwater catchment – concentrations, mass loads and emission processes [online]. *Water research*, 56, (2014), p. 66 – 76. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.watres.2014.02.033.
- [17] Burkhardt, M.: Einsatz von Bioziden in Fassaden. *Applika-Thema*, 2006, (12).
- [18] Wicke, D., Matzinger, A., Rouault, P.: Relevanz organischer Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins. *Kompetenzzentrum Wasser Berlin*. Berlin, 2015.
- [19] Bertling, J., Bertling, R., Hamann, L.: *Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen. Kurzfassung der Konsortialstudie. Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik Umsicht (Hrsg.). Oberhausen, Juni 2018.*
- [20] Liu, F., Olesen, K. B., Borregaard, A. R., Vollertsen, J.: Microplastics in urban and highway stormwater retention ponds [online]. *Science of The Total Environment*, 671, (2019), p. 992 – 1000. ISSN 0048-9697 [Zugriff am: 20. Januar 2020]. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.03.416.
- [21] Galafassi, S., Nizzetto, L., Volta, P.: Plastic sources [online]. *A survey across scientific and grey literature for their inventory and relative contribution to microplastics pollution in natural environments, with an emphasis on surface water. The Science of the total environment*, 693, (2019), p. 133499. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.07.305.
- [22] Hüffer, T., Wagner, S., Reemtsma, T., Hofmann, T.: Sorption of organic substances to tire wear materials [online]. *Similarities and differences with other types of microplastic. TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 113, (2019), p. 392 – 401. ISSN 01659936. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.trac.2018.11.029.
- [23] Welker, A.: Emissionen von gefährlichen Stoffen aus den Abwasserentsorgungssystemen vor dem Hintergrund der EG-WRRL. *TU Kaiserslautern*, 2006.
- [24] Dettmar, J., Brombach, H.: *Im Spiegel der Statistik: Abwasserkanalisation und Regenwasserbehandlung in Deutschland. KA : Korrespondenz Abwasser, Abfall*, 66 (5), (2019), S. 354 – 364.

- [25] DWA-Arbeitsgruppe BIZ-1.1: „Kläranlagen-Nachbarschaften“. 31. Leistungsnachweis kommunaler Kläranlagen. Verfahren der Stickstoffelimination im Vergleich. KA : Korrespondenz Abwasser, Abfall : Organ der DWA, 66 (10) (2019).
- [26] Brombach, H., Weiss, G., Fuchs, V.: A new database on urban runoff pollution: comparison of separate and combined sewer systems [online]. Water Science and Technology, 51 (2), (2005), p. 119 – 128. ISSN 0273-1223. Verfügbar unter: doi:10.2166/wst.2005.0039.
- [27] Siegel, H., Thyen, E.: Pilotscreening nach Mikroplastik am Zentralkläwerk Lübeck. Aufkommen und Verteilung von Mikroplastik in einer kommunalen Kläranlage. KA : Korrespondenz Abwasser, Abfall, 67 (2), (2020), S. 105 – 111.
- [28] Magnusson, K., Norén, F.: Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant [online], 2014. Verfügbar unter: <https://pdfs.semanticscholar.org/5a62/de092403c29b6e2de1f87021ee5d30849ffe.pdf>.
- [29] Vollertsen, J., Hansen, A. A.: Microplastic in Danish wastewater: Sources, occurrences and fate, 2017.
- [30] Seggelke, K.: Integrierte Bewirtschaftung von Kanalnetz und Kläranlage zur Reduzierung der Gewässerbelastung. Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2002. Hannover: ISAH, 2002. Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover. 124. ISBN 3-921421-54-3.
- [31] Günther, N.: Das Bypassverfahren – Möglichkeiten zur vermehrten Mischwasserbehandlung und zur Verringerung der Nachklärbeckenbelastung. Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft, Technische Universität Dresden. Dresden, 2019. Dresdner Berichte. Band 45.
- [32] Technische Maßnahmen zur Behandlung von erhöhten Mischwasserabflüssen in der Kläranlage. August 2016. Hennef: DWA, August 2016. DWA-Themen. T 3/2016. ISBN 9783887212841.
- [33] Krebs, P., Kühn, V., Ahnert, M., Günther, N.: Interreg III-C-Project SiTaR, Sub-Projekt 19: Mischwasserbehandlung im Nachklärbecken, 2007.
- [34] Günther, N., Ahnert, M., Kühn, V.: Bypassführung von Mischwasser – Möglichkeiten und Grenzen. Teil 2: Eliminationsleistung und Substitutionspotenzial für Mischwasserspeichervolumen. KA : Korrespondenz Abwasser, Abfall : Organ der DWA, 62 (4) (2015).
- [35] Günther, N., Ahnert, M., Kühn, V.: Bypassführung von Mischwasser – Möglichkeiten und Grenzen. Teil 1: Einsatzmöglichkeit zur vermehrten Mischwasserbehandlung und bei ungünstigen Betriebsbedingungen. KA : Korrespondenz Abwasser, Abfall : Organ der DWA, 61 (4) (2014).
- [36] Pabst, M.: Vorkonfektionierte Abflusssteuerung für Kanalnetze, 2017. Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover. ISBN 9783921421932.
- [37] Czorny, E., Schmidt, D., Elsner, K., Beier, M.: Resilienzstärkung urbaner Quartiere. Reduzierte Hitzebelastung durch Integration des Wassersektors. Transforming Cities, 5 (1) (2020).
- [38] Frechen, F.-B.: Retentionsbodenfilter (RBF) in Hessen – Ergänzungsuntersuchungen zum Phosphor- und Schwermetallrückhalt. Hessen. Kassel: Kassel Univ. Press, 2013. Wasser – Abwasser – Umwelt. Bd. 35. ISBN 978-3-86219-666-1.
- [39] Pinnekamp, J., Koenen, S., Stappert, U., Tondera, K., Dahmen, H., Baxpehler, H., Kiesewski, R.: Betriebsoptimierung von Retentionsbodenfiltern im Mischsystem. Abschlussbericht. Vergabe-Nr. 08/058.2 Einzelauftrag 11.2. Düsseldorf, 2013.
- [40] Ruppelt, J., Tondera, K., Pinnekamp, J., Schreiber, C., Kistemann, T., Arnold, U., Welp, G.: Einfluss verschiedener Betriebsparameter auf die Reinigungsleistung von Retentionsbodenfiltern im Mischsystem. In: Pinnekamp, J.: Hg. 51. Essener Tagung für Wasserwirtschaft „Wasserwirtschaft im Umbruch“. 14. bis 16. März 2018 in der Messe Essen Ost. Aachen: Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V., 2018, 32/1–32/14. ISBN 978-3-938996-53-9.
- [41] Burkhardt, M., Schmidt, S., Gohl, M., Zenker, A., Schmocker, M., Zbinden, D., Loretz, A., Bigler, R., Boller, M.: Behandlung von Regenwasser. Großtechnische Erfahrung mit unterirdischer Retention und nachgeschaltetem Adsorberfilter. Aqua und Gas, (4), (2017), S. 78 – 85.

## AUTOR\*INNEN



**Nils-Kristof Kabisch**, M. Sc.  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover  
Kontakt: [kabisch@isah.uni-hannover.de](mailto:kabisch@isah.uni-hannover.de)



**Dr.-Ing. Maïke Beier**  
Leiterin Forschungsfeld Abwasser und Wassermanagement

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover  
Kontakt: [beier@isah.uni-hannover.de](mailto:beier@isah.uni-hannover.de)



**Sören Hornig**, M. Sc.  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig  
Kontakt: [so.hornig@tu-braunschweig.de](mailto:so.hornig@tu-braunschweig.de)



**Dr.-Ing. Katrin Bauerfeld**  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig  
Kontakt: [k.bauerfeld@tu-bs.de](mailto:k.bauerfeld@tu-bs.de)