

## **Der optimale Zentralisierungsgrad von Entwässerungssystemen: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft**

Amin E. BAKHSHIPOUR<sup>1</sup>, Ulrich DITTMER<sup>1</sup>, Wolfgang NOWAK<sup>2</sup> und Ali HAGHIGHI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Universität Stuttgart, Deutschland

<sup>2</sup> Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung, Universität Stuttgart, Deutschland

<sup>3</sup> Department of Civil Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

E-Mail Hauptautor: amin.ebrahim-bakhshipour@iswa.uni-stuttgart.de

### **Kurzfassung**

Regenwasserkanäle sind ein wichtiger Bestandteil der städtischen Infrastruktur mit einem direkten Einfluss auf öffentliche Gesundheit, Wirtschaft und Wohlergehen. Das traditionelle Design und Management von Regenwassersystemen setzt auf zentralisierte Infrastrukturen, welche in der Regel äußerst starr sind. Für die Bewältigung künftiger Herausforderungen wie Klimawandel, rasches Bevölkerungswachstum, steigende Urbanisierung, Umweltbedrohungen und zunehmende Wasserknappheit müssen die Wasserinfrastrukturen jedoch flexibler, anpassungsfähiger und nachhaltiger gestaltet werden. Das Prinzip der Dezentralisierung bietet zusammen mit den jüngsten Fortschritten bei Technologien für städtische Entwässerungssysteme neue Möglichkeiten, um die oben genannten Herausforderungen zu bewältigen. Insbesondere in stark bevölkerten Regionen machen jedoch die gegebenen Randbedingungen die Realisierung eines voll dezentralen oder zentralisierten Regenwassersystems vielfach unwirtschaftlich oder unmöglich. Jüngste Untersuchungen zeigen, dass Hybridlösungen, die die Vorteile zentralisierter und dezentraler Systeme kombinieren, zukunftsfähige Lösungen für die Regenwasserbewirtschaftung darstellen können. Dabei stellt sich in jedem Einzelfall von neuem die Frage nach dem angemessenen Grad der Zentralisierung. Dieser Beitrag gibt einen aktuellen Überblick über Studien zu dieser Fragestellung und zeigt auf wie mathematische Optimierung die Beantwortung dieser Frage unterstützen kann. Es werden Vorschläge für künftige Arbeiten zur Optimierung auf diesem Gebiet vorgestellt.

**Schlagerworte:** Zentralisierung, Dezentralisierung, Regenwasser, Optimierung

Regenwasserkanäle sind ein wichtiger Bestandteil der städtischen Infrastruktur mit einem direkten Einfluss auf öffentliche Gesundheit, Wirtschaft und Wohlergehen. Ist kein zuverlässiges Regenwassermanagementsystem vorhanden, können schwerwiegende ökonomische und ökologische Schäden, Infektionskrankheiten und sogar eine Gefährdung der öffentlichen Sicherheit in Folge von Überflutungen auftreten (Guo et al. 2008). Die traditionelle urbane Regenwasserbewirtschaftung basiert auf einer schnellen Ableitung des Regenwassers in zentralen Bordstein-Rinnen-Rohr-Netzwerken. Dieses Form der Entwässerung führt zu vielen negativen Auswirkungen auf die Umwelt, einschließlich hydrologischer Störungen, sinkendem Grundwasserspiegel, Überschwemmungen flussabwärts der Einleitstelle, Verschlechterung der Wasserqualität der Vorfluter, Kanalerosion und Schäden an Fließgewässerökosystemen. Neben diesen Effekten erfordern auch der Mangel an Kapital, eine fehlende stabile Energieversorgung, die Notwendigkeit der Gewährleistung eines zuverlässigen Betriebs und zunehmende Wasserknappheit einen Paradigmenwechsel im Management der urbanen Siedlungsentwässerungsstruktur. (Dhakal und Chevalier 2016; Zhang et al. 2015; Brown 2005; Winz et al. 2011; Reymond et al. 2016; Rocky Mountain Institute 2004).

Zu den bestehenden und kommenden Herausforderungen im Umgang mit Regenwasser zählen große Unsicherheiten in der Stadtentwicklung und im Bevölkerungswachstum vor allem in Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen und ökonomischen Beschränkungen. Die Bewältigung dieser Herausforderungen zusammen mit den negativen Auswirkungen der konventionellen Regenwasserbewirtschaftung hat in den letzten Jahrzehnten zu einem erheblichen Wandel der Strategien im Umgang mit Regenwasser geführt. Während die Planung sich in der Vergangenheit weitgehend auf Hochwasserminderung und Gesundheitsschutz konzentrierte, zielen neuere Ansätze

auf eine effiziente Planung unter Berücksichtigung eines breiten Spektrums von Umwelt-, Sanitär-, Sozial- und Wirtschaftsaspekten (Fletcher et al. 2014; Winz et al. 2011; Eggiman 2016; Reymond et al. 2016; Porse 2013; Poustie et al. 2014).

Basierend auf einer umfassenden Literaturrecherche gibt dieser Beitrag in seiner Vollversion einen Überblick über den Stand der Forschung zur mathematischen Optimierung der Dezentralisierung im Regenwassermanagement. Bestehende Lücken in diesem Bereich werden identifiziert und Vorschläge für künftige Arbeiten gegeben.

Die wichtigsten Anpassungsstrategien lassen sich in die Hauptkategorien (1) verteilte Maßnahmen und (2) Strukturmaßnahmen einteilen. Die Grundgedanken der verteilten Maßnahmen sind die Verringerung der versiegelten Oberflächen, der Rückhalt des Abflusses vor Ort, die Erhöhung von Infiltration und Evapotranspiration von Regenwasser und damit die Wiederherstellung der hydrologischen Bedingungen vor der Gebietsentwicklung (Zhang et al. 2015; Davis 2005; Dietz 2007). Strukturelle Maßnahmen hingegen versuchen die bestmögliche Konfiguration des Rohrnetzes und anderer Transport- oder Behandlungselemente finden.

In den letzten Jahren wurde von verschiedenen Forschergruppen viel Arbeit investiert, um die Konfiguration von dezentralen Regenwassermanagementsystemen zu optimieren. Die Auswertung der Literatur zeigt, dass dabei der mathematischen Optimierung verteilter Maßnahmen erhebliche Aufmerksamkeit gewidmet wurden, während sich nur wenige Studien mit strukturellen Maßnahmen befassen. In letzterem Fall ist die Anwendung der Graphentheorie notwendig, um das Netzwerk zu dezentralisieren und somit das Gesamtsystem in mehrere kleine Netzwerke aufzuteilen. Damit kann die optimale Anzahl und Lage der Speicher insbesondere in flachen Einzugsgebieten ermittelt werden.

Die meisten Studien gehen von den Verhältnissen in Industrieländern aus, wo bestehende Regenwassersysteme an neue Herausforderungen angepasst werden sollen. In vielen städtischen Zentren von Entwicklungs- und Schwellenländern sind solche zentralen Regenwassernetze jedoch nicht vorhanden und aufgrund von fehlenden finanziellen Mitteln auch nicht realisierbar. Ohne die Einschränkung durch ein gegebenes System sind die Spielräume für die Optimierung von Strukturen wesentlich größer als in Industrienationen. Auf der anderen Seite sind strengere einschränkende Randbedingungen (z.B. finanziell, institutionell) zu berücksichtigen. Damit ist auch die Notwendigkeit einer umfassenden Optimierung von strukturellen und verteilten Maßnahmen größer. Wie die Literaturrecherche gezeigt hat, besteht jedoch gerade im Bereich integrierter Methoden zur gemeinsamen Optimierung der Konfiguration von strukturellen und verteilten Maßnahmen eine große Forschungslücke.

Als weiterer Forschungsbedarf wurde die Entwicklung einer robusten Methodik zur Bewertung und zum Vergleich der ökonomischen und ökologischen Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit, der Verwundbarkeit und der Nachhaltigkeit des dezentralen, hybriden und zentralisierten Systems identifiziert. Eine solche Methodik ist derzeit nicht vorhanden, wie die Literaturstudie zeigt.

## **Danksagung**

Die Autoren danken dem DAAD für die Finanzierung eines Stipendiums das die vorgestellte Studie ermöglicht.

## **Literatur (ausgewählt)**

- Brown, R. R. (2005): Impediments to integrated urban stormwater management: the need for institutional reform. In: *Environmental Management* 36 (3), S. 455–468.
- Davis, A. P. (2005): Green engineering principles promote low impact development. In: *Environmental Science & Technology* (15), 338A–344A.

- Dhakal, K. P.; Chevalier, L. R. (2016): Urban stormwater governance: The need for a paradigm shift. In: *Environmental Management* 57 (5), S. 1112–1124.
- Dietz, M. E. (2007): Low Impact Development Practices. A review of current research and recommendations for future directions. In: *Water Air Soil Pollut* 186 (1-4), S. 351–363.
- Eggiman, S. J. (2016): The optimal degree of centralisation for wastewater infrastructures. A model-based geospatial economic analysis. ETH, Zürich.
- Eggimann, S.; Truffer, B.; Maurer, M. (2015): To connect or not to connect? Modelling the optimal degree of centralisation for wastewater infrastructures. In: *Water research* 84, S. 218–231.
- Fletcher, T. D.; Shuster, W.; Hunt, W. F.; Ashley, R. M.; Butler, D.; Arthur, S.; Trowsdale, S.; Barraud, S.; Semadeni-Davies, A.; Bertrand-Krajewski, J.-L.; Mikkelsen, P. S.; Rivard, G.; Uhl, M.; Dagenais, D.; Viklander, M. (2014): SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. In: *Urban Water Journal*, S. 1–18.
- Guo, Y.; Walters, G.; Savic, D. (2008): Optimal design of storm sewer networks: Past, present and future. In: IAHR/IWA (Hg.): 11th International Conference on Urban Drainage. ICUD. Edinburgh, UK.
- Maurer, M.; Scheidegger, A.; Herlyn, A. (2013): Quantifying costs and lengths of urban drainage systems with a simple static sewer infrastructure model. In: *Urban Water Journal* 10 (4), S. 268–280.
- Porse, E. (2013): Stormwater governance and future cities. In: *Water* 5 (1), S. 29–52.
- Poustie, M. S.; Deletic, A.; Brown, R. R.; Wong, T.; Haan, F. J. de; Skinner, R. (2014): Sustainable urban water futures in developing countries. The centralised, decentralised or hybrid dilemma. In: *Urban Water Journal* 12 (7), S. 543–558.
- Reymond, P.; Renggli, S.; Lüthi, C. (2016): Towards Sustainable Sanitation in an Urbanising World. In: Mustafa Ergen (Hg.): Sustainable Urbanization: InTech, zuletzt geprüft am 02.02.2017.
- Rocky Mountain Institute (2004): Valuing decentralized wastewater technologies: A catalog of benefits, costs, and economic analysis techniques. Unter Mitarbeit von Richard D. Pinkham, Eric Hurley, Kate Watkins, Amory B. Lovins, Jeremy Magliaro, Carl Etnier und Valerie Nelson.
- Winz, I.; Brierley, G.; Trowsdale, S. (2011): Dominant perspectives and the shape of urban stormwater futures. In: *Urban Water Journal* 8 (6), S. 337–349.
- Zhang, D.; Gersberg, R. M.; Ng, W. J.; Tan, S. K. (2015): Conventional and decentralized urban stormwater management. A comparison through case studies of Singapore and Berlin, Germany. In: *Urban Water Journal* 14 (2), S. 113–124.