

Von grauer zu grüner Wasserinfrastruktur am Fallbeispiel Kiruna

J. Zischg^{1,*}, M. L. R. Goncalves¹, G. Leonhardt², M. Kleidorfer¹, W. Rauch¹, R. Sitzenfrei¹

¹Arbeitsbereich für Umwelttechnik, Institut für Infrastruktur, Universität Innsbruck, Technikerstrasse 13, 6020 Innsbruck, Österreich

²Urban Water Engineering, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, Luleå University of Technology, 97187 Luleå, Sweden

*Email des korrespondierenden Autors: jonatan.zischg@uibk.ac.at

Kurzfassung In dieser Arbeit wird ein möglicher Übergang von grauer (traditioneller) zu grüner Infrastruktur anhand der Stadt Kiruna (Schweden) untersucht, in der in den nächsten Jahrzehnten eine große Stadtumwandlung bevorsteht und die Implementierung von dezentralen (grünen) Entwässerungsanlagen angestrebt wird. Dabei wird die hydraulische Leistungsfähigkeit des städtischen Entwässerungssystems über die Zeit anhand von drei unterschiedlichen Implementierungsmaßstäben grüner Infrastruktur, sowie unter Berücksichtigung von zukünftigen Unsicherheiten (zufolge Klimawandel und Urbanisierung) untersucht. Im Zuge der Umwandlung werden die Systeme mit den verfolgten Strategien über die Zeit bewertet und ermöglichen dem Planer einen Vergleich der Systemvarianten und die Identifizierung von kritischen Zuständen. Zudem soll eine robuste Systemvariante ermittelt werden, welche unter einer großen Bandbreite möglicher zukünftiger Entwicklungen seine Funktionsfähigkeit beibehält. Der entwickelte generische Ansatz stellt eine Methodik zur Beurteilung jeglicher Stadttransformationsprozesse und deren Auswirkungen auf die Wasserinfrastruktur dar (bspw. Stadtwachstum, Absiedlung, Umsiedlung, etc.).

Schlagwörter: Stadtumwandlung, Entwässerung, Leistungsfähigkeit, LID, SWMM

1 EINLEITUNG

Neue Bestrebungen in der Siedlungswasserwirtschaft zielen darauf ab, leitungsgebundene (graue) Wasserinfrastruktur und die damit verbundene rasche Ableitung von Niederschlagswasser zu vermeiden. Neben einer Annäherung an den natürlichen Wasserkreislauf besteht die Erwartung, dass „grüne“ Konzepte flexibler und robuster hinsichtlich zukünftiger Veränderungen wie Klimawandel oder Urbanisierung sind (Kuzniecowa Bacchin *et al.* 2014; Cunha *et al.* 2016). Aus technischer Hinsicht soll dabei der Spitzenabfluss und das Abflussvolumen im Kanalsystem, sowie die Belastung der Vorfluter verringert werden. Des Weiteren spielen auch sozio-ökonomische Faktoren, wie naturnahe und attraktive Lebensraumgestaltung in Siedlungsgebieten, positive Auswirkungen auf das Mikroklima und die nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen, eine wichtige Rolle.

Die Umsetzung solcher „grüner“ Strategien kann zum Beispiel durch die Bereitstellung von zusätzlichen Grünflächen, Gründächern, Infiltrationsanlagen oder Retentionsanlagen usw. erfolgen, welche auch unter den Begriffen „Best Management Practices“ (BMP), „Sustainable Urban Drainage Systems“ (SUDS) oder „Low Impact Development“ (LID) bekannt sind (Fletcher *et al.* 2015). Im Folgenden wird der Begriff LID in diesem Zusammenhang verwendet. Um den wachsenden Anforderungen von Klimawandel und Urbanisierung gerecht zu werden, und vor allem die Unsicherheiten in der Prognose der Auswirkungen zu berücksichtigen, müssen verschiedene Szenarien mit unterschiedlichen Randbedingungen untersucht werden. Somit können potenzielle Schwachstellen im System aufgezeigt werden und Aussagen über die Robustheit der gewählten Strategie getroffen werden. Des Weiteren bildet es den Anknüpfungspunkt für mögliche Adaptierungskonzepte.

2 MATERIAL UND METHODEN

In Abb. 1 ist die Vorgehensweise dieser Arbeit graphisch dargestellt und wird in den nachfolgenden Abschnitten genauer beschrieben.

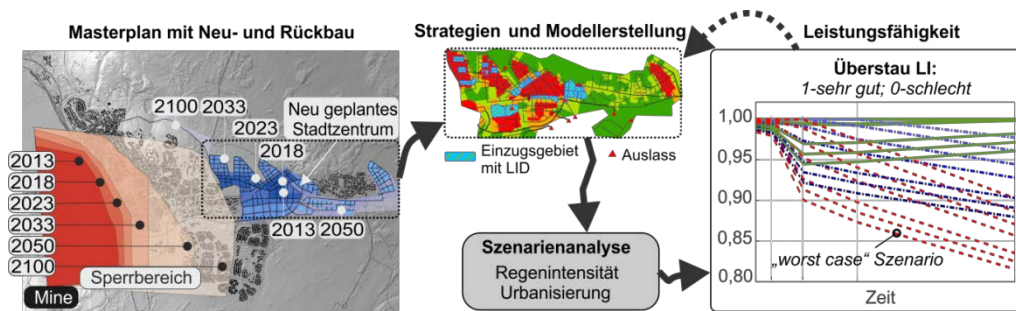


Abb. 1: Masterplan mit Stadtumwandlung der Fallstudie Kiruna (links); Erstellung der verschiedenen Planungsvarianten und Szenarienanalyse (Mitte); Analyse der Leistungsfähigkeit (rechts)

2.1 Fallstudie und Masterplan

Als Fallstudie wird die schwedische Stadt Kiruna mit etwa 20.000 Einwohnern verwendet. Die Stadt muss aufgrund sich ausdehnender Bergbauarbeiten in einer Eisenerzmine im Untergrund schrittweise umgesiedelt werden. Aus diesem Grund wird ein neues Stadtzentrum etwa 4km weiter östlich gebaut (siehe neues Stadtzentrum Abb. 1 links), während Teile der derzeitigen Stadt wegen erhöhtem Risiko von Rissen und Setzungen verlassen werden müssen (siehe Sperrbereich Abb. 1 links). Diese Umsiedlung betrifft auch die gesamte Wasserinfrastruktur, wobei Teile der derzeitigen Systeme rück- und andere Teile neu gebaut werden. Ebenso ist die Wasserversorgungsanlage entsprechend umzugestalten (Zischg *et al.* 2015). Durch den Neubau eines Stadtteils wird versucht die Stadt möglichst naturnah und attraktiv zu gestalten, wobei vor allem dezentrale Anlagen der Niederschlagswasserbehandlung und die Bereitstellung von zusätzlichen Grünflächen im Einzugsgebiet von 320 Hektar (neuer Stadtteil) angestrebt werden. Eine weitere Vorgabe ist die Beschränkung des Abflusses in den Fluss auf $15l/(s \cdot ha)$. Gleichzeitig soll die zukünftige Stadt aus architektonischer Sicht verdichtet werden. In Kiruna sind die Abwasserkanäle derzeit als Trennsystem ausgeführt, welches auch in Zukunft beibehalten wird. Die schrittweise Umsetzung der Umsiedlung basiert auf einem detaillierten Masterplan, welcher in Zusammenarbeit von Geologen, Architekten/Stadtplanern und Entscheidungsträgern entwickelt wurde (Leonhardt *et al.* 2015).

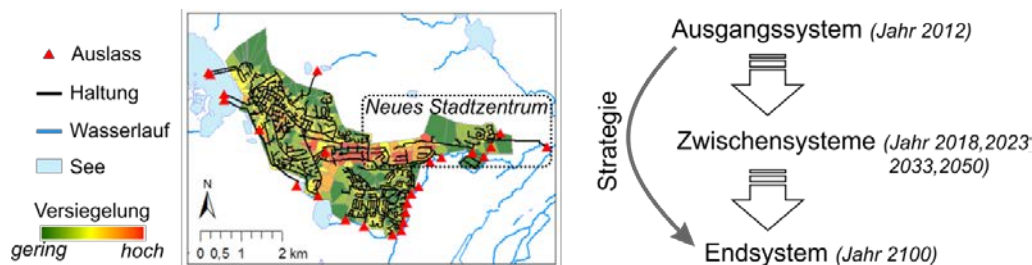


Abb. 2: Ausgangssystem und Vorgehensweise

2.2 Strategien und Modellerstellung

Das zukünftige Kanalnetz wird basierend auf Stadtentwicklungsplänen und dem Masterplan erstellt, welcher zeitliche Bau- und Rückbauabschnitte vorsieht (siehe Abb. 1 links). Das neu anzuschließende Einzugsgebiet wird mittels der Thiessen Methode auf die einzelnen Einläufe des Kanalnetzes aufgeteilt. Die maximalen Fließwege, sowie die Neigungen von Einzugsgebiet und Kanalnetz, werden mit Hilfe eines digitalen Geländemodells ermittelt. Des Weiteren wird der erwartete Flächenversiegelungsgrad aus Stadtentwicklungsplänen ermittelt und in Folge als „Basisszenario“ bezeichnet (siehe Abb. 4). In dieser Arbeit werden drei verschiedene Planungsvarianten verfolgt und miteinander verglichen, welche die Strategien darstellen (siehe Abb. 3).

In **Strategie 1** wird ein traditioneller Ansatz einer leitungsgebundenen Entwässerung, ohne Berücksichtigung von LIDs, verfolgt. Dabei ist zur Beschränkung des Abflusses vor der Einleitung in den Vorfluter ein Retentionsvolumen vorzusehen. In **Strategie 2** wird die Implementierung von drei zentralen Retentionsbecken innerhalb der Stadt untersucht, welche als temporäre Speicherteiche geplant werden. Dabei wird ungefähr 40% des Abflusses des neuen Zentrums in diesen zentralen LIDs behandelt (prognostizierter Bemessungsregen für das Jahr 2100).

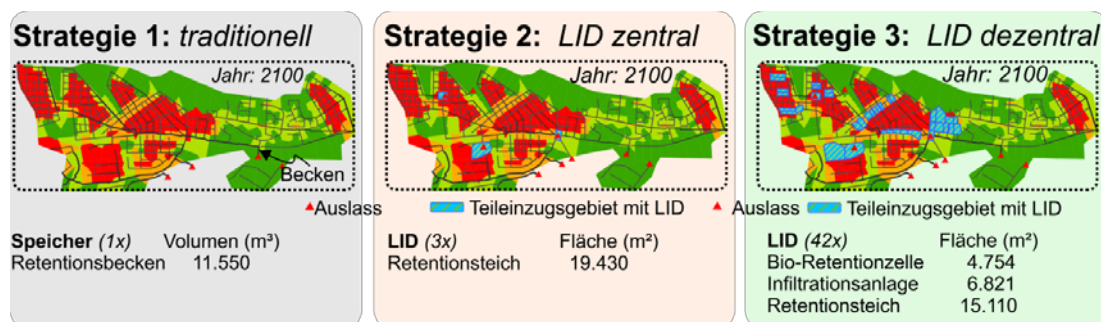


Abb. 3: Implementierungsstrategien des zukünftigen Regenwassersystems

Strategie 3 verfolgt einen dezentralen Ansatz, wobei das Regenwasser bereits lokal und räumlich verteilt behandelt wird. Zusätzlich zu den von der Stadtplanung gewünschten Speicherteichen, werden Bio-Retentionszellen und Infiltrationsanlagen an geeigneten Standorten eingeführt. Da Infiltration nur an bestimmten Orten zulässig bzw. möglich ist (hoher Grundwasserspiegel und felsiger Untergrund), muss teilweise eine Drainage mitverlegt werden, welche das filtrierte Wasser wieder zurück in den Kanal leitet. Auch bei dieser Alternative werden rund 40% des anfallenden Abflusses in den LIDs behandelt.

2.3 Szenarienanalyse

Nördlich des Polarkreises, wo sich Kiruna befindet, wird der Klimawandel laut Prognosen noch deutlicher als in Mitteleuropa zu spüren sein (Olsson *et al.* 2009). Schätzungen bezüglich der Jahresniederschlagsveränderungen belaufen sich in dieser Region auf eine Zunahme von 15% bis 50% in diesem Jahrhundert, wobei vor allem Starkregenereignisse zunehmen werden (SMHI 2012). Weitere große Unsicherheitsfaktoren bei dieser Fallstudie stellen Urbanisierung und Bevölkerungswachstum, im Zusammenhang mit der Wirtschaftlichkeit der Eisenerzmine, dar. Eine zuverlässige Vorhersage dieser Einflüsse ist nicht möglich. Um trotzdem all diese zukünftigen Unsicherheiten berücksichtigen zu können wird eine Szenarienanalyse durchgeführt, bei welcher zum Einen die Regenintensität über die Zeit vereinfacht linear erhöht wird (Szenario „Klima“) und zum Anderen die versiegelte (undurchlässige) Fläche, ausgehend von einem Basisszenario, variiert wird. Dabei wird eine Zunahme der versiegelten Flächen untersucht und als Szenario „Grau“ definiert. Andererseits wird eine Reduktion aller stark versiegelten Flächen der Teileinzugsgebiete (Undurchlässigkeit > 50%), wie zum Beispiel Parkplätze, untersucht um die Vision einer naturnahen Stadt zu realisieren (Szenario „Grün“). In Abb. 4 sind die untersuchten Szenarien zusammengefasst.

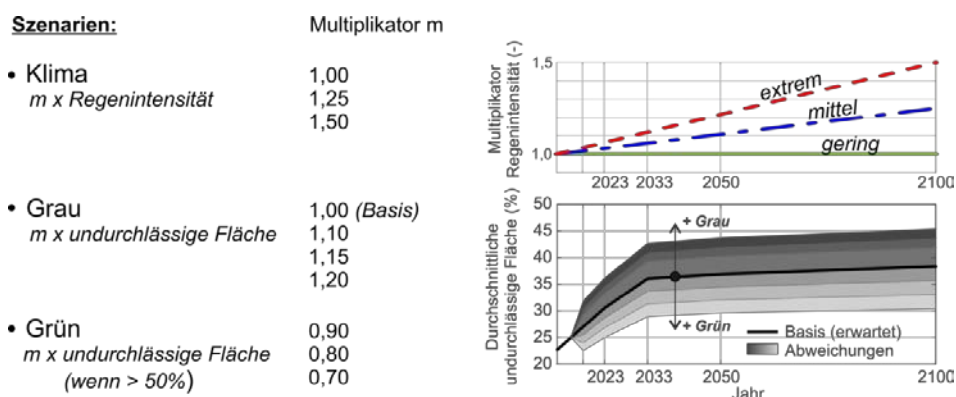


Abb. 4: Szenarien von klimatischen und anthropogenen Einflüssen

2.4 Leistungsfähigkeit

Die hydraulische Leistungsfähigkeit wird für den östlichen Teil der Stadt untersucht, wo das neue Zentrum schrittweise gebaut und an das existierende System angeschlossen wird (siehe eingerahmter Ausschnitt in Abb. 2). Die untersuchten Zeitschritte sind, in Übereinstimmung mit dem Masterplan, die Jahre 2018, 2023, 2033, 2050 und 2100. Zur hydraulischen Berechnung wird die Software SWMM verwendet. Als Regenereignis wird ein Euler II Bemessungsregen, mit der zuvor ermittelten maßgebenden Dauer von 180 Minuten und 10-jähriger Auftretenswahrscheinlichkeit herangezogen, um

gleichzeitig das Leitungssystem und die LID Anlagen aussagekräftig bewerten zu können. Zum Nachweis der Leistungsfähigkeit der Systeme zu verschiedenen Zeitpunkten, Strategien und Szenarien, werden globale Leistungsindikatoren (LI's) verwendet. Dies ermöglicht einen einfachen Vergleich zwischen Varianten auf Systemebene. Beim ersten Indikator „**Überstau LI**“ wird ein Überstaunachweis geführt. Dabei wird das Verhältnis aus Überstauvolumen und Oberflächenabflussvolumen bestimmt und von 1 abgezogen. Dieser globale Leistungsindikator ist 1, wenn kein Überstauauftritt, während bei Werten kleiner 1 diese Bedingung nicht erfüllt wird (Mair *et al.* 2012). Um die hydraulische Auslastung des Kanalnetzes zu bestimmen wird ein globaler Kapazitätsfaktor als „**Ausnutzungsgrad der Kanäle η_K** “ berechnet, bei welchem die maximale Füllhöhe der Kanäle im Verhältnis zum Rohdurchmesser längennormiert berechnet wird. Der „**Ausnutzungsgrad der Speicherbauwerke η_{LID}** “ (Becken oder LIDs) wird auf dieselbe Weise bestimmt. Die letzten beiden Faktoren können auch als Wirtschaftlichkeitsindikatoren angesehen werden, denn je näher der Wert bei 1 ist, desto größer ist der mittlere Ausnutzungsgrad der vorhandenen Kapazitäten.

3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1 Modellerstellung und Dimensionierung

Durch die LID Implementierung ergibt sich eine geringfügige Verringerung der undurchlässigen Fläche im Untersuchungsgebiet von ca. 0,4%, basierend auf der Annahme, dass die LID Fläche jeweils 50% von undurchlässiger und durchlässiger Fläche einnimmt. Die LID Anlagen werden schrittweise in den Abschnitten 2018, 2023 und 2033 implementiert (abhängig vom Ausbauzustand). Die maßgebende Regendauer für LID Dimensionierung ($D_{LID, design}$), unter Betrachtung wirtschaftlicher Größen, ergab 180 Minuten (siehe 2.2). Längere Regen mit gleicher Wiederkehrdauer, führen zu einem Überlauf, ohne jedoch Überstau in dem nachfolgenden Kanal zu verursachen. Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Zwischenspeicherung und der Retentionswirkung der LIDs (Strategie 2 und 3), die Kanaldurchmesser gegenüber Strategie 1 deutlich verringert werden können. Dies erkennt man beispielsweise bei Betrachtung der gemittelten Spitzenabflüsse (Q_{max}), welche bei Strategie 1 um ca. 1/3 größer sind. Die Überstausicherheit $LI=1$ wird bei allen Abschnitten gewährleistet und die mittlere Ausnutzung der Kanäle (η_K) ist größer als 65%. Ein Erreichen von $\eta_K = 1$ und $LI=1$ würde ein vollständig eingestautes Kanalsystem, ohne Überstau, bedeuten.

3.2 Leistungsfähigkeit

Abb. 5 zeigt die Ergebnisse der Szenarienanalyse für den Überstau-Indikator und den gemittelten Ausnutzungsgrad der Speicherbauwerke (LIDs und Retentionsbecken) für die 3 Szenarien 1 (traditionell), 2 (LID zentral) und 3 (LID dezentral). Während die unterschiedlichen Regenintensitäten als grün, blau und rot dargestellt sind, wird die Zunahme der Flächenversiegelung als dunklerer Farbton und die Abnahme als hellerer Farbton dargestellt. Eine Abnahme des Ausnutzungsgrades der Speicherbauwerke indiziert lediglich eine Überdimensionierung und stellt kein unmittelbares Schadensereignis dar. Bei der Überstauleistungsfähigkeit hingegen, kann ein Wert kleiner eins ($LI = 1$ kein Überstau, $LI < 1$ Überstau), durchaus zu einem unmittelbaren Schadensereignis führen. Bei Betrachtung der Überstauleistungsfähigkeit ist eine Verbesserung von Strategie 1 bis Strategie 3 ersichtlich.

Zusammenfassend stellen Strategie 2 und Strategie 3 ähnlich robuste Planungsvarianten gegenüber klimatischen und anthropogenen Veränderungen dar (geringerer Abfall der Leistungsfähigkeit für unterschiedliche Szenarien). Lediglich der Ausnutzungsgrad der LIDs, infolge einer Abnahme von undurchlässigen Flächen (dargestellt als Farbhelligkeit), unterscheidet sich bei Strategie 2 und 3. Der Grund dafür ist die Reduktion der versiegelten Flächen auch in Teileinzugsgebieten mit LID Anlagen, was sich verstärkt auf Ausnutzung bei der dezentralen LID Verteilung auswirkt. Auch kann ermittelt werden, welche Kombination aus klimatischen und anthropogenen Szenarien dieselben Leistungsfähigkeiten bewirken. Beispielsweise bewirkt eine Zunahme von 20% der versiegelten Fläche im Jahr 2100, dass jeweils nur noch 85%, 82% oder 85% (Strategie 1 bis 3) des derzeitigen 10-jährigen Bemessungsregens, vom System aufgenommen werden können, ohne Überstau zu bewirken (entspricht 6-jährigen Ereignissen (Dahlström 2010)).

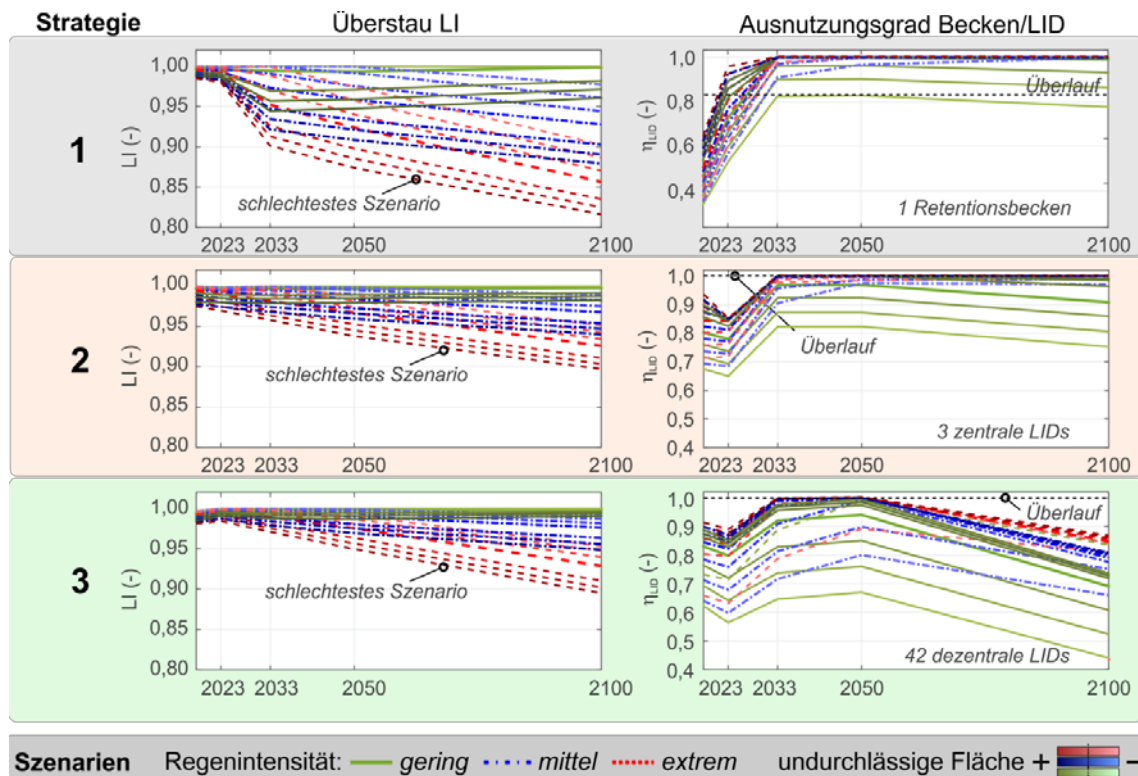


Abb. 5: Leistungsfähigkeit der 3 Strategien unter zukünftigen Unsicherheiten; LI Überstau (links) und Ausnutzungsgrad der Speicherbauwerke (rechts)

Durch die Verschlechterung der Überstau Leistungsfähigkeit, vor allem durch den zu erwartenden Klimawandel, müssen Adaptierungskonzepte entwickelt werden. Einerseits kann ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor in der Dimensionierung berücksichtigt werden, andererseits empfiehlt sich ein verstärkter Einsatz von „grüner“ Infrastruktur. Dies kann durch gezielte Reduktion undurchlässiger Fläche, aber auch durch dezentrale Speicher (z.B. LID Anlagen) erfolgen. In dieser Arbeit konnte eine deutliche Verbesserung der Robustheit hinsichtlich unsicherer zukünftiger Entwicklungen durch den Einbau von LID Anlagen gezeigt werden.

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

In dieser Arbeit wurde gezeigt, wie der zukünftige Masterplan einer Stadttransformation, in Zusammenhang mit der Siedlungsentwässerung, schrittweise umgesetzt werden kann. Dabei wurden mehrere Planungsalternativen, von traditioneller bis naturnaher Regenwasserbehandlung, optimiert und verglichen. Die Ergebnisse ergaben eine deutliche Robustheitssteigerung durch Einsatz von naturnahen Entwässerungskonzepten (LIDs), unter denselben Randbedingungen. Basierend auf diesen Ergebnissen werden Adaptierungskonzepte, basierend auf „grüner“ Infrastruktur, entwickelt und getestet, um auf zukünftige Unsicherheiten besser vorbereitet zu sein. Darüber hinaus dienen die ermittelten Leistungsfähigkeiten und Infrastrukturanpassungen als Grundlage für Kosten-Nutzen-Analysen.

5 DANKSAGUNG

Diese Arbeit entstand im Projekt „Green/Blue Infrastructure for Sustainable, Attractive Cities“ und wird im Rahmen des JPI Urban Europe im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie durchgeführt (Projektnummer 839743).

6 REFERENZEN

- Cunha M. C., Zeferino J. A., Simões N. E. and Saldarriaga J. G. (2016). Optimal location and sizing of storage units in a drainage system. *Environmental Modelling & Software* **83**, 155-66.
- Dahlström B. (2010). *Regnintensitet - en molnfyysikalisk betraktelse (Rain Intensity - a cloud physical contemplation)*, Svenskt Vatten AB.
- Fletcher T. D., Shuster W., Hunt W. F., Ashley R., Butler D., Arthur S., Trowsdale S., Barraud S., Semadeni-Davies A., Bertrand-Krajewski J.-L., Mikkelsen P. S., Rivard G., Uhl M., Dagenais D. and Viklander M. (2015). SUDS, LID,

- BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal* **12**(7), 525-42.
- Kuzniecowa Bacchin T., Ashley R., Sijmons D., Zevenbergen C. and Van Timmeren A. (2014). Green-blue multifunctional infrastructure: An urban landscape system design new approach. *ICUD 2014: Proceedings of the 13th IAHR/IWA International Conference on Urban Drainage, Sarawak, Malaysia, 7-12 September 2014*.
- Leonhardt G., Kuzniecowa Bacchin T., Mair M., Zischg J., Ljung S., Rogers B., Goldkuhl L., Gustafsson A. M., Sitzenfrie R., Blecken G.-T., Ashley R., Rauch W., van Timmeren A. and Viklander M. (2015). Relocating a city, challenges and opportunities for the transition of water infrastructure in Kiruna. In: *Proceeding of the 10th International Conference on Urban Drainage Modelling*, Mont-Sainte-Anne, Québec, Canada.
- Mair M., Sitzenfrie R., Kleidorfer M., Moderl M. and Rauch W. (2012). GIS-based applications of sensitivity analysis for sewer models. *Water science and technology* **65**(7), 1215.
- Olsson J., Berggren K., Olofsson M. and Viklander M. (2009). Applying climate model precipitation scenarios for urban hydrological assessment: A case study in Kalmar City, Sweden. *Atmospheric Research* **92**(3), 364-75.
- SMHI (2012). *Climate Change in Norrbotten County – consequences and adaptation*, County Administrative Board of Norrbotten.
- Zischg J., Mair M., Rauch W. and Sitzenfrie R. (2015). Stochastic Performance Assessment and Optimization Strategies of the Water Supply Network Transition of Kiruna During City Relocation. In: *World Environmental and Water Resources Congress 2015*, American Society of Civil Engineers, pp. 853-62.