

Anpassung von Entwässerungssystemen an Urbanisierung und Klimawandel

C. Urich, R. Sitzenfrei, M. Kleidorfer, W. Rauch

Arbeitsbereich für Umwelttechnik, Universität Innsbruck, Technikerstraße 13,
6020 Innsbruck, Österreich

Kurzfassung: Städte sind ständigen Veränderungen unterworfen, neben zu- und abnehmender Bevölkerung verändern sich auch die Bedürfnisse der Bevölkerung und somit die Anforderungen an den Lebensraum Stadt und damit auch an die Wasserinfrastruktur. Neben den geänderten Anforderungen an die Siedlungsentwässerung stellt vor allem der Klimawandel die bestehende Wasserinfrastruktur vor große Herausforderung. So kann durch die prognostizierte Zunahme von Starkregenereignissen in vielen Städten der Schutz vor Überflutung nur mehr unzureichend erfüllt werden. Um neue Strategien und Technologien zur Anpassung von Entwässerungssystemen auf ihre Wirksamkeit testen zu können wird das strategische Planungstool DAnCE4Water entwickelt. DAnCE4Water ermöglicht das Testen von Technologien und Strategien in einer integrierten dynamischen urbanen Umgebung unter Berücksichtigung von sozialen sowie klimatischen Veränderungen. Im Folgenden wird ein Überblick über das DAnCE4Water Framework gegeben und anhand eines einfachen Anwendungsbeispiels das Potential von DAnCE4Water gezeigt. Hierfür wird eine Stadt mitsamt der Siedlungsentwässerung 20 Jahre in die Zukunft entwickelt und das Potential von Infiltrationsanlagen zur Kompensierung der Effekte aus Klimawandel und Urbanisierung untersucht.

Key-Words: DAnCE4Water, VIBe, UrbanSim, Stadtentwicklung, dynamische Infrastrukturanpassung

1 Einleitung

Urbane Räume sind ständigen Veränderungen unterworfen, neben zu- und abnehmender Bevölkerung verändern sich auch die Bedürfnisse der Bevölkerung und somit die Anforderungen an den Lebensraum Stadt und damit auch an die Wasserinfrastruktur. Stand am Anfang der Siedlungsentwässerung neben dem Ziel saubere hygienische Verhältnisse zu gewährleisten der Schutz vor Überflutungen im Vordergrund wurde in den letzten Jahrzehnten der Umweltschutz immer wichtiger. In den letzten Jahren wurde erkannt, dass die Siedlungswasserwirtschaft neben den traditionellen Funktionen auch einen wichtigen Beitrag zur Steigerung des Wohlbefindens der Bevölkerung in einer Stadt beitragen kann [Brown et al., 2009].

Neben den geänderten Anforderungen an die Siedlungsentwässerung stellt vor allem der Klimawandel die bestehende Infrastruktur vor große Herausforderung. So kann durch die prognostizierte Zunahme von Starkregenereignissen in vielen Städten der Schutz vor Überflutung mit den bestehenden Entwässerungssystemen nur mehr unzureichend erfüllt werden. Um den neuen Anforderungen gerecht zu werden wurden in den letzten Jahren neue Technologien und Konzepte für die Regenwasserbehandlung entwickelt. In Australien wurde die Behandlung von Regenwasser in den urbanen Raum integriert (Water Sensitive Urban Design - WSUD). Anstatt das Regenwasser so schnell wie möglich zum nächsten Vorfluter zu „entsorgen“ wird es als wichtiges Element der Stadtplanung verstanden. Neben dem Schutz vor Überflutung sowie dem Schutz der Gewässer können so auch die Effekte der Aufheizung von Städten im Sommer (urban heat island) gemildert werden. Die Wirksamkeit dieser Technologien und Konzepte konnte an vielen kleineren Projekten bereits erfolgreich gezeigt werden. Auf die Frage ob sich durch die Anwendung solcher dezentraler Technologien die Siedlungsentwässerungssysteme in Zukunft flexibler und anpassungsfähiger gestalten konnte bis jetzt allerdings noch keine befriedigende Antwort gefunden werden [Ashley et al., 2005].

In EU FP7 Projekt „*Prepared enabling change*“ werden neue Technologien und Strategien zur Anpassung der Siedlungsentwässerungssysteme entwickelt. Um diese Strategien und Technologien auf ihre Wirksamkeit in urbanen Räumen testen zu können wird an der *Universität*

Innsbruck in Zusammenarbeit mit der *Monash University* dem *Center for Water Sensitive Cities* und *Melbourne Water* das strategische Planungstool *DAnCE4Water* entwickelt. *DAnCE4Water* ermöglicht das Testen von Technologien und Strategien in einer integrierten dynamischen urbanen Umgebung unter Berücksichtigung von sozialen sowie klimatischen Veränderungen. Die Simulation der dynamischen Umgebung erfolgt durch drei Module (siehe Abbildung 1).

1. Das *Societal Transitions Module*, welches das sozio-technische System abbildet.
2. Das *Urban Development Module*, das die Entwicklung des urbanen Raumes modelliert.
3. Das *Bio-Physical Module*, welches die bestehende Infrastruktur anpasst sowie neue Infrastruktur erstellt und die Leistungsfähigkeit des Systems beurteilt.

Mithilfe von *DAnCE4Water* können „Was wäre wenn“ Fragen beantwortet werden die in Form von Szenarien definiert werden. Was wäre wenn sich die Bevölkerung einer Stadt in den nächsten Jahren verdoppelt, sich die Intensität von Starkregenereignissen Aufgrund des Klimawandels um den Faktor 1,3 erhöht und die Stadt auf eine Anpassungsstrategie mit dezentralen Lösungen setzt? *DAnCE4Water* beantwortet die Frage durch die Simulation von möglichen zukünftigen Realisierungen der Stadt des sozio-technischen Systems sowie der physischen Infrastruktur und deren Leistungsfähigkeit.

Im Folgenden wird ein Überblick über das *DAnCE4Water* Framework gegeben und anhand eines einfachen Anwendungsbeispiels basierend auf [Urich et al., 2011] das Potential von *DAnCE4Water* gezeigt. Hierfür wird ein urbaner Raum mitsamt der Siedlungsentwässerung 20 Jahre in die Zukunft entwickelt und das Potential von Infiltrationsanlagen zur Kompensierung der Effekte aus Klimawandel und Urbanisierung untersucht.

2 DAnCE4Water Framework

Im Folgenden werden die einzelnen Module von DAnCE4Water vorgestellt. In Abbildung 2 sind die wichtigsten Module von DAnCE4Water dargestellt. Diese können in zwei Gruppen unterteilt werden: Module mit denen der Anwender interagiert d.h. Szenarien definiert (*Scenario Input Module*) und die Ergebnisse aufbereitet (*Reporting and Presentation Module*). Sowie dem eigentlichen dynamischen Modell welches aus den drei Modulen; *Societal Transitions Module*, *Urban Development Module* und *Bio-Physical Module* besteht.

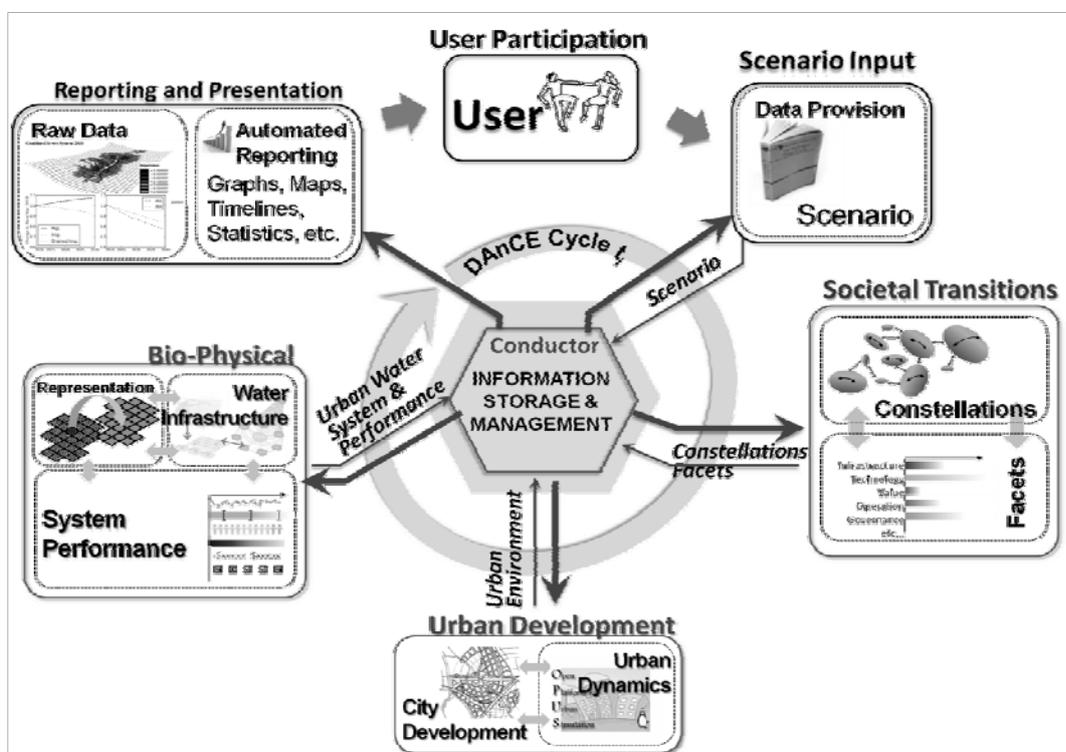


Abbildung 1: DAnCE4Water Konzept

Das Herzstück von DAnCE4Water ist der sogenannte *Conductor*, an ihn werden die einzelnen Module angedockt, er verwaltet die Daten und steuert die Simulation. Die programmiertechnische Umsetzung erfolgte mit DynaMind [Urich et al., 2012] einem Framework zur integrierte Modellierung.

2.1 Szenarien

Die Szenarien definieren Randbedingungen und externe Einflüsse unter welchen mögliche Anpassungsstrategien getestet werden. Dies sind beispielsweise ein Masterplan für die Stadtentwicklung und Bevölkerungsprognosen für das *Urban Development Module* oder Klimawandel Szenarien für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Infrastruktur. Szenarien werden im *Szenario Input Module* definiert. Basierend auf den Szenarien entwickeln die Module die Stadt, das sozio-technische System sowie die Infrastruktur in die Zukunft.

2.2 Societal Transitions Module

Die gesellschaftlichen Anforderungen an die Siedlungswasserwirtschaft umfassen grundlegende Bedürfnisse wie Überflutungsschutz, Gewässerschutz, Hygiene und das Bedürfnis nach sauberem Trinkwasser. Werden die grundlegenden Bedürfnisse einer Gesellschaft erfüllt, werden „höhere“ Bedürfnisse immer wichtiger. Ist beispielsweise der Schutz vor Überflutungen ausreichend und steht genügend sauberes Trinkwasser zur Verfügung tritt der Umweltschutz immer weiter in den Vordergrund. Unterschiedliche Technologien befriedigen diese Bedürfnisse unterschiedlich gut. So schützen traditionelle Entwässerungssysteme die Bevölkerung vor Überflutungen indem sie das Regenwasser zu einem Vorfluter leiten. Neuere Technologien integrieren das Regenwasser in den urbanen Raum, setzen es als städteplanerisches Element zur Schaffung von Naherholungsräumen ein und helfen so nicht nur gegen Überflutungen sondern wirken auch kühlend in urbanen Wärmeinseln. Damit wird das Wohlbefinden der Bevölkerung gesteigert. Welche Technologie nun eingesetzt wird hängt stark von den bestehenden Managementstrukturen in der Siedlungswasserwirtschaft ab. So bestehen gesetzliche Rahmenbedingungen, Regelwerke sowie Erfahrung mit den bestehenden Technologien weshalb diese bevorzugt Anwendung finden. Durch eine Änderung der gesellschaftlichen Bedürfnisse wie z.B. einem gesteigertem Umweltbewusstsein oder übergeordneten Einflüssen wie Klimawandel, kommt ein bestehendes System welches die neuen Anforderungen nicht erfüllen kann unter Druck. Neue Technologien, die die neuen Anforderungen besser erfüllen, werden gestärkt und kommen vermehrt zum Einsatz. Diese Dynamik kann mithilfe des *Societal Transition Module* simuliert werden.

Im *Societal Transition Module* werden die etablierten Technologien sowie deren Managementstrukturen als Regime bezeichnet. Durch externe Einflüsse, wie das politische und ökonomische Klima und durch gesellschaftliche Bedürfnisse wird Druck auf das Regime ausgeübt und bietet Möglichkeiten für Nischen (neue Technologien). Das *Societal Transition Module* modelliert die Dynamik zwischen Regime, Nische und den externen Einflüssen. Die Stärke des Regimes und der Nischen beeinflussen die Auswahl der verwendeten Technologien im *Bio-Physical Module*. So kann simuliert werden wie sich eine neue Technologie im Laufe der Zeit (bei Erfolg) durchsetzt oder (bei Versagen) ausstirbt. Eine detaillierte Beschreibung über das verwendete Modell wird in [de Haan et al., 2011] gegeben.

2.3 Urban Development Module

Städte sind ständigen Veränderungen unterworfen. Neben einer raschen Zunahme der Bevölkerung in Großstädten stellt auch der massive Bevölkerungsrückgang in manchen urbanen Räumen die existierende Wasserinfrastruktur vor große Herausforderungen. Um Anpassungsstrategien an verschiedene Masterpläne der Stadtentwicklung sowie Bevölkerungsprognosen zu testen, wurde das Softwarepaket UrbanSim [Waddell, 2002] in DAnCE4Water integriert. UrbanSim beschreibt die Entscheidungsprozesse der Hauptakteure innerhalb eines urbanen Raumes auf Haushaltsebene. So suchen Haushalte entsprechend ihrer Charakteristik (Einkommen, Anzahl der Kinder, etc.) nach einer passenden Wohnmöglichkeit und besiedeln somit neue Flächen. In die Entscheidung bezieht der Haushalt die Nachbarschaft, Verkehrsanbindung aber auch Umwelteinflüsse mit ein. Bauträger suchen nach einem passenden Grundstück um ein neues Gebäude zu errichten oder ein bestehendes Gebäude zu sanieren. Basierend auf den Bevölkerungs- und demographischen Prognosen sowie einem Masterplan für die Stadtentwicklung wird die urbane Umgebung in einem jährlichem Zeitschritt in die Zukunft entwickelt. UrbanSim wurde vollständig in das Urban Development Modules integriert.

2.4 Bio-Physical Module

Im Bio-Physical Module wird die Wasserinfrastruktur an die neuen Randbedingungen aus dem *Societal Transitions Module* und *Urban Development Module* angepasst. Hierfür stehen verschiedene Technologien z.B. Infiltration von Dachwässern, Regenwasserspeicher und -nutzungen, Trennsysteme oder Mischwassersysteme zur Verfügung. Um dezentrale Technologien zu platzieren werden detaillierte Informationen über die Siedlungsstruktur benötigt. So benötigt man für die Dimensionierung einer Infiltrationsanlage die angeschlossene Dachfläche sowie die freie Grundstücksfläche um zu überprüfen ob genügend freie Fläche zur Verfügung steht. Um die Simulationen zu beschleunigen wird in DAnCE4Water das Stadtgebiet vereinfacht aus „Blöcken“ (hier 200 x 200 m, die räumliche Auflösung kann jedoch angepasst werden) dargestellt. Basierend auf der räumlich verteilten Bevölkerungsdichte und der Bebauungsart können mithilfe von Standard Bebauungsformen sowie statistischen Auswertungen die benötigten Informationen bestimmt werden. In [Bach et al., 2011] wird das Model für eine Wohnsiedlung gezeigt.

Die Anpassung der Infrastruktur erfolgt in mehreren Schritten. Im ersten Schritt werden dezentrale Systeme platziert. Die Auswahl der eingesetzten Technologie erfolgt unter Einbeziehung von technischen, ökonomischen sowie sozialen Kriterien. Nachdem die dezentralen Strukturen installiert wurden, werden in einem nächsten Schritt die Netzwerke der Wasserinfrastruktur angepasst. Diese umfasst den Anschluss neu erschlossener Siedlungsgebiete an das bestehende Kanal- und Wasserversorgungssystem sowie die Adaptierung des bestehenden Systems. Die Bemessung der Systeme erfolgt nach den jeweils gültigen Regelwerken. Anschließend wird die Leistungsfähigkeit des Systems mithilfe von externen Simulationstools berechnet. Die Ergebnisse der Berechnung werden anschließend in DAnCE4Water zurückgespielt und den anderen Modulen zur Verfügung gestellt. Somit kann im Societal Transition Module eine gesteigerte Akzeptanz einer Technologie bei Befriedigung möglichst vieler Bedürfnisse oder ein Akzeptanzverlust bei Versagen modelliert werden. Ebenso wird im Urban Development Module die Besiedelung neuer Gebiete beeinflusst, indem beispielweise Gebiete mit Überflutungsgefahr gemieden werden.

3 Anwendungsbeispiel

Um das Potential von DAnCE4Water zu zeigen wurde in [Urich et al., 2011] die Wirksamkeit von Infiltrationsanlagen als Anpassungsstrategie für Klimawandel und Stadtwachstum untersucht. Als Anpassungsstrategie wird die Platzierung von Infiltrationsanlagen an die Sanierung der Gebäude gekoppelt. Das heißt, wird ein neues Gebäude errichtet oder ein Gebäude saniert, wird falls der notwendige Platz am Grundstück vorhanden ist eine Infiltrationsanlage installiert. Die Anpassungsstrategie wird an Städten mit der Charakteristik einer Alpinen Stadt wie Innsbruck (Österreich) getestet. Hierfür wird eine Vielzahl virtueller Städte mit Hilfe der in [Sitzenfrei et al., 2010] vorgestellte Methodik generiert. Virtuelle Städte weisen eine statistische Ähnlichkeit zu realen Städten auf. Die Generierung erfolgt mit Parameterbereichen, die aus realen Fallstudien extrahiert wurden. So befindet sich Innsbruck beispielsweise in einem U-förmigen Tal mit einer Bevölkerung von rund 120.000 Einwohnern. Mithilfe von Algorithmen wird neben der Topographie, Landnutzungs- und Bevölkerungsdaten auch eine Mischkanalisation zur Siedlungsentwässerung erstellt. Die so erstellte Fallstudie wird als initialer Datensatz (siehe Abbildung 2) verwendet, der mithilfe des *Urban Development Modules* und des *Biophysical Modules* in die Zukunft entwickelt wird.

3.1 Ausgangssystem

Basierend auf den statistischen Parametern für die Stadt Innsbruck werden die Topographie, Landnutzung und Bevölkerungsdaten sowie die initiale Mischwasserkanalisation generiert. Hierfür wird in einem ersten Schritt das Layout des Kanalsystems unter Berücksichtigung der Topographie generiert. Im Anschluss werden Mischwasserüberläufe und Speicherbauwerke platziert und das Mischwassersystem entsprechend dem Stand der Technik dimensioniert [Urich et al., 2010].

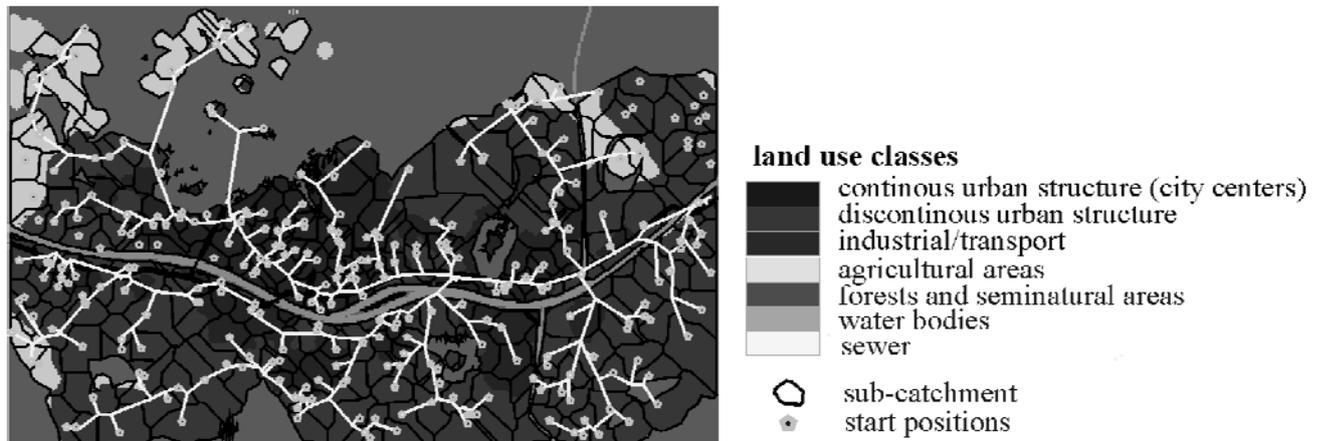


Abbildung 2: Initiale Siedlungsstruktur mit Mischwassersystem (Urich et al., 2010)

3.2 Klimawandel

Als Klimawandelszenario wird eine Zunahme in den Niederschlagsintensitäten angenommen. Hierfür wird in [Arnbjerg-Nielsen, 2012] je nach technischer Lebensdauer des Kanalsystems sowie Wiederholungsperiode und Dauer eine Zunahme der Niederschlagsintensität von 10-50% berücksichtigt. Es wird eine lineare Zunahme der Regenintensitäten bis 2030 angenommen. Als Regen wird ein Modellregen vom Typ Euler II mit einer Wiederkehrperiode von 5 Jahren und einer Dauer von 2 Stunden angenommen [De Toffol, 2006].

3.3 Stadtentwicklung (UDM)

Für das Anwendungsbeispiel wurde eine UrbanSim Modell basierend auf dem Eugen-Gridcell Beispiel in DAnCE4Water integriert. Das Modell basiert auf einer rasterbasierten Beschreibung der Stadt mit einer Auflösung von 200 x 200 m. Das verwendete Modell simuliert die Dynamik auf Haushaltsebene, somit wird eine detaillierte Beschreibung des urbanen Raumes benötigt. Dies umfasst neben den einzelnen Haushalten inklusive demographischer Informationen wie Haushaltsgröße und Einkommen auch Daten über die Bebauung und Arbeitsplätze in den entsprechenden Rasterzellen. Die benötigten Daten konnten, basierend auf den Daten der Landnutzung und Bevölkerung und statistischen Verteilungen, rekonstruiert werden [Patterson and Bierlaire, 2010].

Für das Anwendungsbeispiel wurde ein Stadtentwicklungsszenario basierend auf [ÖROK-Prognosen, 2010] verwendet. Die Prognosen zeigen einen nur sehr leichten Anstieg der Bevölkerung bis 2030. Allerdings

kommt es aufgrund eines Trends zu mehr Ein-Personen Haushalten zu einer signifikanten Zunahme des Wohnraumbedarfes (siehe Abbildung 3).

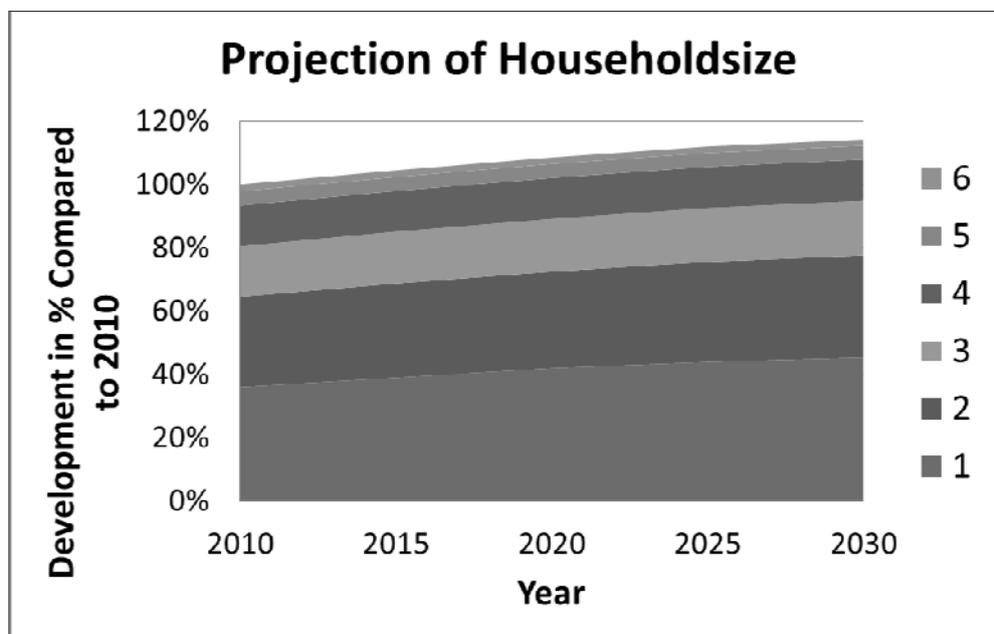


Abbildung 3: Bevölkerungsprognose laut ÖROK-Prognose für Innsbruck, Österreich

3.4 Anpassung der Wasserinfrastruktur

Um neubesiedelte Gebiete an das bestehende Kanalsystem anzuschließen wurde das in [Urich et al., 2010] beschriebene agentenbasierte Modell entsprechend erweitert. Das verwendete Modell zur Erstellung des Layouts kann mit der Entstehung von Ameisenstraßen verglichen werden. Ameisen (Agenten) suchen in ihrer Umgebung nach einem zufälligen Muster nach Nahrung. Wird eine Nahrungsquelle gefunden wird der Pfad zurück zum Nest mithilfe eines Pheromons markiert. Nachfolgende Ameisen werden von dieser Spur angezogen und finden so die Nahrungsquelle. Auf dem Rückweg markiert die Ameise erneut den Pfad, so nimmt die Intensität der Markierung immer weiter zu und zieht weitere Ameisen an. Anstelle einer Nahrungsquelle versuchen die Agenten ein bestehendes Kanalsystem zu finden. Als Ausgangspunkt für die Suche dient der Schwerpunkt des neu anzuschließenden Einzugsgebiets. Um es den Agenten zu ermöglichen das bestehende Kanalsystem zu finden, wird es mithilfe eines Feldes markiert. Die Intensität des Feldes nimmt

mit zunehmender Entfernung zum bestehenden System ab (Abbildung 4). Aus den Pfaden der Agenten kann das Layout des Kanalsystems extrahiert werden. In Abbildung 4 wird die Erweiterung eines bestehenden Systems gezeigt. Die Dimensionierung der neu angeschlossenen Rohrleitungen erfolgt mithilfe des Fließzeitverfahrens. Für die neu anzuschließenden Gebiete wird ein Versiegelungsgrad von 40% angenommen.

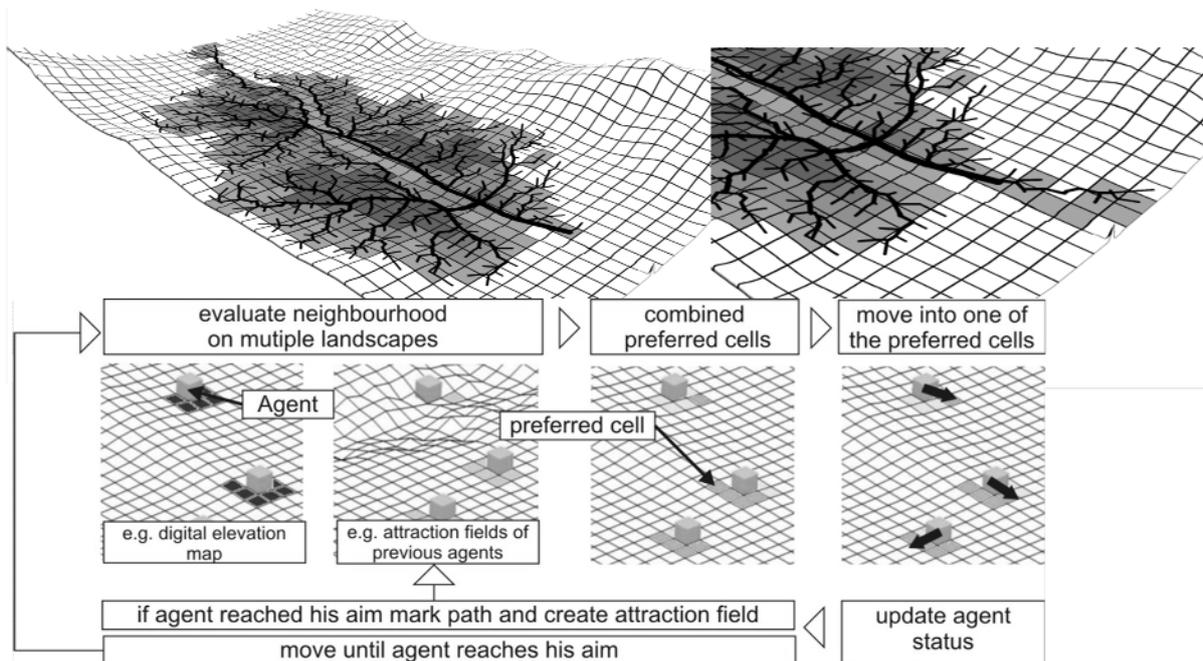


Abbildung 4: Erweiterung der Siedlungsstruktur samt Mischwassersystem

In der Beispielanwendung werden nur Infiltrationssysteme untersucht. Dabei wird angenommen, dass in den dicht bebauten Gebieten innerhalb des Stadtkernes die benötigte Fläche für ein Infiltrationssystem nicht ausreicht und diese nur am Stadtrand installiert werden können. Die Bemessung der Infiltrationssysteme erfolgt nach der deutschen Richtlinie [DWA-A 117, 2006].

3.5 Leistungsfähigkeit

Für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit wird die Software SWMM 5.0 [Rossman, 2004] zur hydrodynamischen Kanalnetzsimulation verwendet. Hierfür wird ein Input File generiert, das Mischkanalisation und Infiltrationsanlagen enthält. Die Ergebnisse der hydrodynamischen Simulation werden anschließend in DAnCE4Water importiert.

Im Anwendungsbeispiel werden zwei hydraulische Bewertungsfunktionen (PI) evaluiert.

PI1 beurteilt die Leistungsfähigkeit des Mischsystems als Verhältnis zwischen dem gesamten zum Abfluss kommenden Regenwassers (V_R) und dem, welches an der Kläranlage behandelt wird (V_{WWTP}). Infiltriertes Regenwasser wird nicht berücksichtigt. Wird der gesamte abflusswirksame Niederschlag zur Kläranlage transportiert wird dies daher mit 1 bewertet. Diese Bewertungsfunktion entspricht dem Wirkungsgrad der Weiterleitung in den Österreichischen Regelwerken bzw. eins minus der Entlastungsrate der deutschen Regelwerke.

$$PI1 = \frac{V_{WWTP}}{V_R} (-) [0 | 1]$$

PI4 beurteilt die Leistungsfähigkeit hinsichtlich Überflutung. Hierfür wird von 1 das Verhältnis aus dem Volumen das aus dem Kanalsystem austritt (V_P) und des abflusswirksamen Regenvolumens (V_R) abgezogen. Tritt kein Abflussvolumen aus dem Entwässerungssystem aus (keine Überflutung), wird dies daher mit 1 bewertet.

$$PI4 = 1 - \frac{V_P}{V_R} (-) [0 | 1]$$

Eine detaillierte Beschreibung der verwendeten Indikatoren kann [Möderl, 2009] entnommen werden.

3.6 Simulationen

Es wurden vier unterschiedliche Klimawandelszenarien (1; 1,1; 1,3; 1,5) mit je vier Erneuerungsraten (0,0; 1,0; 3,0; 5,0) untersucht. Für jede Konfiguration wurden 100 virtuelle Städte erstellt und 20 Jahre in die Zukunft entwickelt. Insgesamt wurden so 1.600 Simulationen durchgeführt und anschließend statistisch ausgewertet.

4 Resultate

In Abbildung 5 ist das Basisszenario dargestellt. Für das Basisszenario wird keine Anpassung an den Klimawandel durchgeführt, dies entspricht einer Erneuerungsrate von 0%. Als Klimawandelszenario wird eine Zunahme der Regenintensität von 1,5 angenommen. Links ist die Veränderung der Bevölkerung und der versiegelten Fläche als Veränderung zum Ausgangssystem dargestellt. In der rechten Abbildung erkennt man, wie die beiden Bewertungsfunktionen mit der Zeit immer weiter abnehmen. So verschlechtert sich die Leistungsfähigkeit hinsichtlich Mischwasseremissionen (PI1) auf 70% und die Leistungsfähigkeit hinsichtlich Überflutung auf 78% der Ausgangswerte.

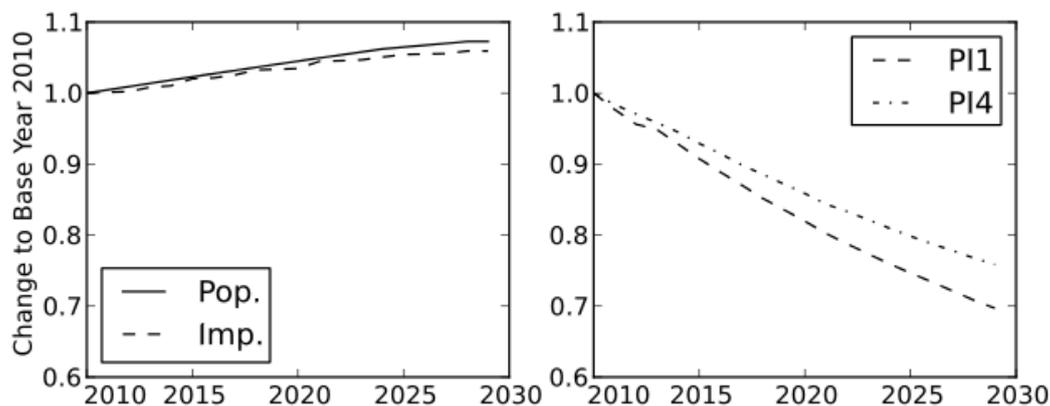


Abbildung 5: Basisszenario (2010 – 2030) Erneuerungsrate 0%; Klimafaktor 1,5 (Urich et al., 2011)

In Abbildung 6 wird eine Zunahme der Regenintensität um den Faktor 1,5 angenommen sowie eine Sanierungsrate (RR) von 5%. Links ist zusätzlich zur Entwicklung der gesamten versiegelten Fläche und der Bevölkerung auch die versiegelte Fläche, die an das Kanalsystem angeschlossen ist, dargestellt. Wie aus der Abbildung ersichtlich wird, nimmt diese im Laufe der Zeit durch den vermehrten Einsatz von Infiltrationssystemen immer weiter ab. Allerdings kann wie auf der rechten Seite von Abbildung 6 dargestellt die gewählte Anpassungsstrategie die Effekte aus Stadtentwicklung und Klimawandel nicht vollständig kompensieren.

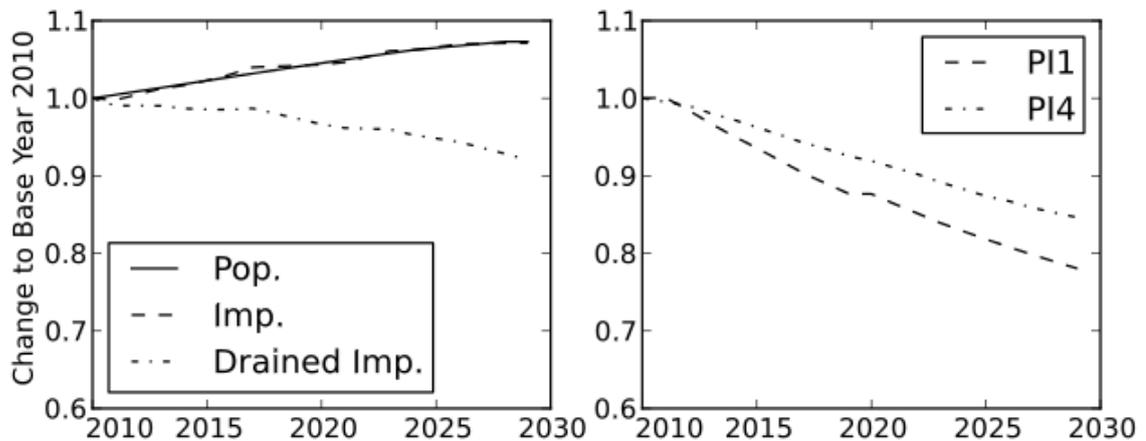


Abbildung 6: Szenario (2010 – 2030) Erneuerungsrate 5%; Klimafaktor 1,5 (Urich et al., 2011)

Neben der zeitlichen Entwicklung der Bewertungsfunktionen (Abbildung 6 und Abbildung 7) kann die zeitliche Veränderung des urbanen Raumes auch räumlich referenziert untersucht werden. In Abbildung 7 sind Bevölkerung sowie die versiegelten Fläche für das Jahr 2010 und 2020 dargestellt. Weiter kann man die Erweiterung des Kanalsystems im Jahr 2020 erkennen. In Abbildung 7 werden auch die überfluteten Schächte dargestellt. So erkennt man, dass die Wässer aus den neu angeschlossenen Gebieten vom bestehenden Mischsystem nicht vollständig aufgenommen werden können und es im Bereich des Anschlusses zu Überflutungen (flooding) kommt.

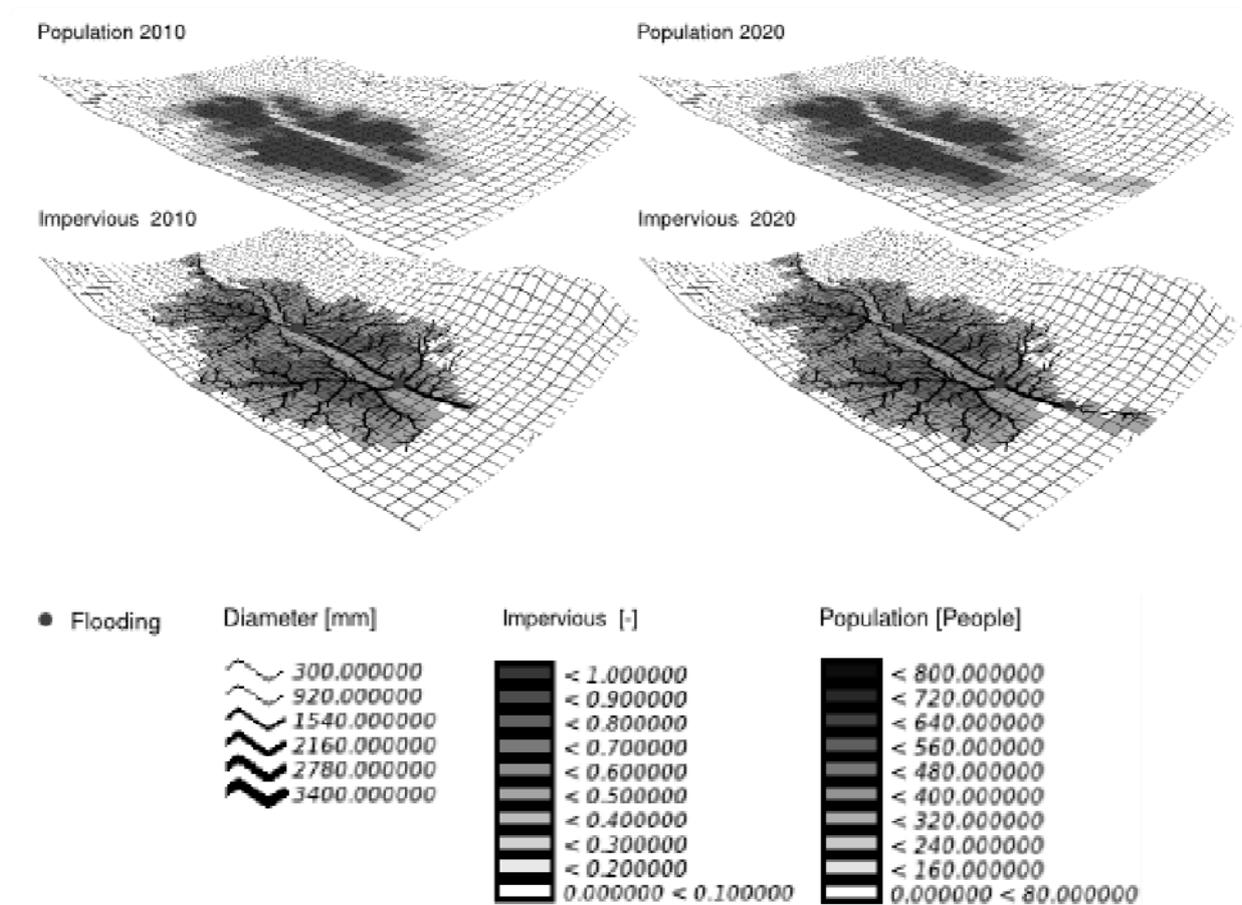


Abbildung 7: Stadt und Infrastrukturwachstum zwischen 2010 und 2020

In Abbildung 8 wurden die Ergebnisse der 1.600 untersuchten Szenarien statistisch ausgewertet. Die Boxplots wurden nach Regenintensitäten gruppiert. Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass lediglich eine geringe Steigerung der Intensitäten (Faktor für Klimawandel (CF) von 1,1) mit der untersuchten Anpassungsstrategie kompensiert werden kann.

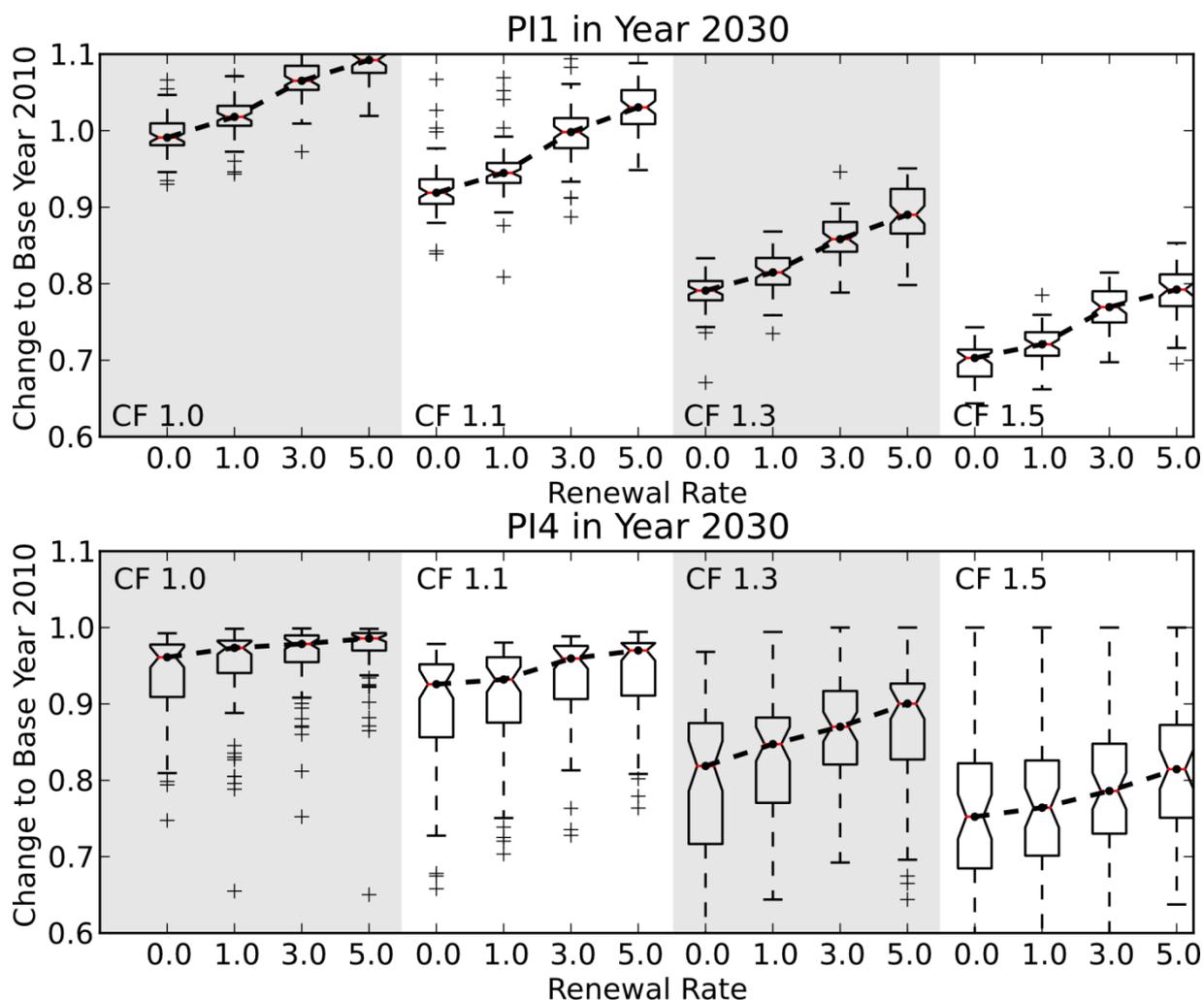


Abbildung 8: Szenario (2010 – 2030) RR 5%; CF 1,5 (Urich et al., 2011)

Das vorgestellte Anwendungsbeispiel soll das Potential von DAnCE4Water zeigen. Die präsentierte Methodik ermöglicht eine dynamische Berücksichtigung der Entwicklung der Wasserinfrastruktur und Beurteilung deren Leistungsfähigkeit.

5 Zusammenfassung

Städte sind ständigen Veränderungen unterworfen, neben zu- und abnehmender Bevölkerung verändern sich auch die Bedürfnisse der Bevölkerung und somit die Anforderungen an den Lebensraum Stadt und somit an die Wasserinfrastruktur. Um Anpassungsstrategien an den Klimawandel sowie Urbanisierung zu testen werden neue Tools benötigt, die diese Interaktionen abbilden können. Mit DAnCE4Water wird in die-

ser Arbeit ein Werkzeug vorgestellt, welches es ermöglicht Anpassungsstrategien der urbanen Wasserinfrastruktur unter Berücksichtigung sozio-technischer Veränderungen, Stadtentwicklung und der dynamischen Anpassung der Infrastruktur zu testen. Das Potential von DAnCE4Water wurde an einem Anwendungsbeispiel gezeigt. Hierfür wurde für einen urbanen Raum mit der Charakteristik von der Stadt Innsbruck, Österreich untersucht ob sich durch die Versickerung von Dachwässern die Auswirkungen von Klimawandel- und Stadtentwicklungsszenarien kompensieren lassen. Als Strategie wurde angenommen, dass die Installation an die Erneuerungsrate der Gebäude gekoppelt ist. Wird ein Gebäude renoviert oder ein neues Gebäude errichtet, wird - falls ausreichend Platz am Grundstück vorhanden ist - eine Infiltrationsanlage installiert. Um die Anpassungsstrategie zu testen wurde die Stadt 20 Jahre in die Zukunft entwickelt und es wurden unterschiedliche Klimawandelszenarien und Sanierungsraten untersucht. Insgesamt wurden so 1.600 Simulationen durchgeführt und statistisch ausgewertet. Wie gezeigt, ermöglichte es DAnCE4Water Veränderung der Bewertungsfunktionen über die Zeit zu untersuchen, des Weiteren können auch lokale Probleme identifiziert werden. Die statistische Auswertung hat ergeben, dass lediglich eine geringe Steigerung der Intensitäten mit der untersuchten Anpassungsstrategie kompensieren werden kann.

Danksagung: Diese Arbeit wurde durch das EU Framework Programme 7 Projekt PREPARED: Enabling Change (Vertragsnummer 244232.) finanziert.

Literatur

- Arnbjerg-Nielsen K. (2012). Quantification of climate change effects on extreme precipitation used for high resolution hydrologic design. *Urban Water Journal*, (March), 1-9.
- Ashley R. M., Balmforth D. J., Saul A. J. and Blanskby J. D. (2005). Flooding in the future: predicting climate change, risks and responses in urban areas. *Water Science & Technology*, **52** (5), 265-273.
- Bach P. M., Hellbach C., Urich C., McCarthy D. T., Sitzenfrei R., Kleidorfer M., Rauch W. and Deletic A. (2011). Characterising a city for integrated performance assessment of water infrastructure in the DANCE4Water framework. *12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil, 10-15 September 2011*,
- Brown R. R., Keath N. and Wong T. H. F. (2009). Urban water management in cities: historical, current and future regimes. *Water Science & Technology*, **59** (5), 847-855.
- de Haan J., Ferguson B., Brown R. and Deletic A. (2011). A Workbench for Societal Transitions in Water Sensitive Cities. 2011/09//, Porto Alegre/Brazil.
- De Toffol S. (2006). *Sewer system performance assessment - an indicator based methodology*. Dissertation, Unit of Environmental Engineering, University of Innsbruck.
- DWA-A 117 (2006). *Bemessung von Regenrückhalteräumen*. DWA,
- Möderl M. (2009). *Modelltechnische Analyse von Netzwerksystemen der Siedlungswasserwirtschaft*. Dissertation, Universität Innsbruck.
- ÖROK-Prognosen (2010). *Kleinräumige Bevölkerungsprognose für Österreich 2010-2030 mit Ausblick bis 2050 („ÖROK-Prognosen“)*. STATISTIK AUSTRIA,
- Patterson Z. and Bierlaire M. (2010). Development of prototype UrbanSim models. *Environment and Planning B: Planning and Design*, **37** (2), 344-366.
- Rossmann L. A. (2004). *Storm water management model - User's manual Version 5.0*. National Risk Management Research Laboratory - U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Sitzenfrei R., Fach S., Kinzel H. and Rauch W. (2010). A multi-layer cellular automata approach for algorithmic generation of virtual case studies: VIBe. *Water Science and Technology*, **61** (1), 37-45.
- Urich C., Burger G., Mair M. and Rauch W. (2012) DynaMind - A Softwaretool for Integrated Modelling of Urban Environments and their Infrastructure. *10th International Conference on Hydroinformatics*, 14.-18. Juli 2012, Hamburg, Deutschland

- Urich C., Sitzenfrei R., Möderl M. and Rauch W. (2010). An agent based approach for generating virtual sewer systems. *Water Science and Technology*, **62** (5), 1090-1097.
- Urich C., Bach P. M., Hellbach C., Sitzenfrei R., Kleidorfer M., McCarthy D. T., Deletic A. and W R. (2011). Dynamics of cities and water infrastructure in the DAnCE4Water model. *Proceedings of the 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil, 10-15 September 2011*, 113-113.
- Waddell P. (2002). UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning. *Journal of the American Planning Association*, **68** (3), 297-314.

Korrespondenz an:

Christian Urich

Universität Innsbruck
Arbeitsbereich Umwelttechnik
Technikerstraße 13
A-6020 Innsbruck
Tel: +43 512 507 6921
Fax: +43 512 507 2911
Email: christian.urich@uibk.ac.at

