

# **Synthetische Niederschlagszeitreihen für die optimale Planung und den Betrieb von Stadtentwässerungssystemen – Das Projekt SYNOPSE**

S. van der Heijden<sup>1)</sup>, U. Haberlandt<sup>1)</sup>, A. Callau<sup>1)</sup>, H. Müller<sup>1)</sup>, T. Müller<sup>2)</sup>, T. Mosthaf<sup>2)</sup>,  
J. Seidel<sup>2)</sup>, A. Bárdossy<sup>2)</sup>, M. Lorenz<sup>3)</sup>, A. Wagner<sup>3)</sup>, S. Wagner<sup>3)</sup>, H. Kunstmann<sup>3)</sup>,  
S. Rohde<sup>4)</sup>, K.-I. Großkopf<sup>4)</sup>, A. Kuchenbecker<sup>4)</sup>, G. Hennings<sup>4)</sup>, K. Schroeder<sup>5)</sup>,  
A. Schäller<sup>5)</sup>, K.-J. Sympher<sup>5)</sup>, S. Maßmann<sup>6)</sup>, S. Krämer<sup>6)</sup>, M. Schönfeld<sup>6)</sup>, L. Fuchs<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup>Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau,  
Leibniz Universität Hannover

<sup>2)</sup> Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung, Lehrstuhl für Hydrologie und  
Geohydrologie, Universität Stuttgart

<sup>3)</sup> Institut für Geographie, Lehrstuhl für Regionales Klima und Hydrologie,  
Universität Augsburg

<sup>4)</sup> Hamburger Stadtentwässerung, Hamburg

<sup>5)</sup> Dr.-Ing. Pecher und Partner Ingenieurgesellschaft mbH, Berlin

<sup>6)</sup> Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH, Hannover

## **Kurzfassung**

Für die Planung und Optimierung von Stadtentwässerungssystemen mittels mathematischer Simulationsmodelle werden lange, kontinuierliche, zeitlich hochaufgelöste Niederschlagsreihen benötigt. Da beobachtete Zeitreihen dieser Art in Deutschland nicht flächendeckend vorliegen, werden Planungskonzepte durch die Verwendung unsicherer oder ungeeigneter Daten oft unwirtschaftlich und nicht nachhaltig. Eine gute Alternative ist die Verwendung synthetischer Niederschlagszeitreihen. Ziel des Projektes SYNOPSE ist die Untersuchung und Weiterentwicklung, das Testen und Vergleichen von Niederschlagsmodellen zur Erzeugung synthetischer Niederschlagsdaten unter Betrachtung verschiedener stadthydrologischer Anwendungsbereiche. Ausgehend von den Modellgebieten Hamburg, Braunschweig und Freiburg sowie den Bundesländern Baden-

Württemberg und Niedersachsen soll eine bundesweit übertragbare Datengenerierungsmethode entwickelt werden.

## **1 Einleitung und Projektziele**

Mit einem Wiederbeschaffungswert in Deutschland von etwa 687 Mrd. € stellen die Kanalnetze das bedeutendste Anlagevermögen der Kommunen und Städte dar. Die Aufgaben bezüglich der Entwässerungssysteme in Siedlungsgebieten haben sich von der reinen Bemessung mit geringen Wiederkehrzeiten zu ganzheitlicher Planung und Bewirtschaftung verlagert. Risikoabschätzungen und Klimawandel spielen hier ebenso eine Rolle wie ökonomische Betrachtungen über die Lebensdauer der Anlagen. Für die Beantwortung daraus erwachsender Fragestellungen sind langjährige Zeitreihen des Regengeschehens in hoher zeitlicher Auflösung (5 Minuten) unerlässlich, um mittels Simulation der Niederschlags-Abfluss-Prozesse belastbare Aussagen bezüglich des Auftretens auch sehr extremer Abflussverhältnisse zu erhalten. Während für die Bemessung einfacher Systeme die Anwendung von statistischen Bemessungsregen ausreichend ist, ist bei komplexeren Systemen die statistische Auswertung der Abflussdaten erforderlich, die aus den Niederschlag-Abfluss-Simulationen mit langjährigen Regenzeitreihen gewonnen werden, da nur so das stochastische Regengeschehen in all seinen Abfolgevarianten und seiner zeitlich-räumlichen Variabilität ausreichend berücksichtigt werden kann. Langjährige, kontinuierliche, zeitlich hoch aufgelöste Beobachtungen des Regengeschehens stehen jedoch in Deutschland nur in unzureichendem Maße zur Verfügung, häufig in einer zu kurzen Länge und vor allem an zu wenigen Orten. Dies führt dazu, dass intelligente Planungskonzepte mit unsicheren oder ungeeigneten Niederschlagsdaten durchgeführt werden müssen und damit wenig wirtschaftlich und nicht nachhaltig sind. Auf Basis der beobachteten Daten können jedoch synthetische Niederschlagszeitreihen in beliebiger Länge und für unbeobachtete Orte erzeugt werden, die die örtlichen Besonderheiten des Niederschlagsverhaltens gut nachbilden. Die Verwendung synthetischer langer Niederschlagszeitreihen als Belastung für die Simulationsmodelle ist somit eine gute Alternative zu den bisher verwendeten, nicht repräsentativen oder zu kurzen Beobachtungszeitreihen. Für die flächendeckende Anwendung, Akzeptanz und Konsistenz in Planung und Bewertung ist es erforderlich, ein einheitliches Verfahren für die Generierung von synthetischen

Regenzeitreihen zu entwickeln und zu testen und dieses den Anwendern in benutzerfreundlicher Form zur Verfügung zu stellen.

Hier setzt das durch das BMBF im Rahmen von NaWaM-INIS geförderte Projekt SYNOPSE an. Das Verbundprojekt besteht aus drei Forschungs- und fünf Praxispartnern und hat eine dreijährige Laufzeit von Mai 2013 bis April 2016. Hauptgegenstand der Untersuchungen in diesem Forschungsverbund ist die Weiterentwicklung, die Testung und der objektive Vergleich von mehreren Niederschlagsmodellen zur Erzeugung synthetischer Niederschlagsdaten für die Planung und Optimierung von Stadtentwässerungssystemen. Dabei werden speziell drei stadthydrologische Anwendungsbereiche betrachtet: 1) die Bemessung von Entwässerungssystemen bezüglich Abfluss und Überstau, 2) die Schmutzfrachtberechnung und die daraus resultierende Bemessung von Speicheranlagen o.ä., und 3) die Einschätzung der Steuerungswürdigkeit von Entwässerungssystemen. Die synthetischen Niederschlagszeitreihen werden für aktuelles und zukünftig erwartetes Klima sowie räumlich gleichmäßige und ungleichmäßige Überregnung erzeugt und getestet.

## **2 Modelle und Modellgebiete**

Das Projekt untersucht drei unterschiedliche Niederschlagsmodelle, die Regenreihen in einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten erzeugen, hinsichtlich ihrer Eignung für die Stadtentwässerung. Dies ist zum einen ein parametrisches, stochastisches Modell der Leibniz Universität Hannover (Haberlandt et al., 2008). Für dieses Modell werden aus Beobachtungsdaten bestimmte Charakteristiken der Niederschlagsereignisse wie Dauer und Höhe des Ereignisses ermittelt. An diese Charakteristiken werden Verteilungsfunktionen angepasst. Die Parameter dieser Wahrscheinlichkeitsverteilungen sind die eigentlichen Modellparameter, die zur Generierung von Niederschlag an unbeobachteten Orten regionalisiert werden müssen. Das zweite Modell ist ein nicht-parametrisches, stochastisches Niederschlagsmodell der Universität Stuttgart basierend auf dem NiedSim-Ansatz (Bárdossy et al., 2000). Auch dieses Modell basiert seine Generierung auf aus Messdaten abgeleiteten statistischen Eigenschaften des Niederschlags. Allerdings werden hier keine Einzelereignisse sondern das Niederschlagskontinuum mit

Kenngrößen wie Autokorrelation, Monatssumme oder Überschreitungswahrscheinlichkeiten für Tages- und 5-Minuten-Werte betrachtet. Die Universität Augsburg verfolgt einen Ansatz, bei dem räumlich zusammenhängende Niederschlagsfelder aus einem regionalen Klimamodell (WRF, Auflösung  $7 \times 7 \text{ km}^2$  und 24h) durch Downscaling mit einer räumlichen Auflösung von  $1 \times 1 \text{ km}^2$  generiert werden (Laux et al., 2011).

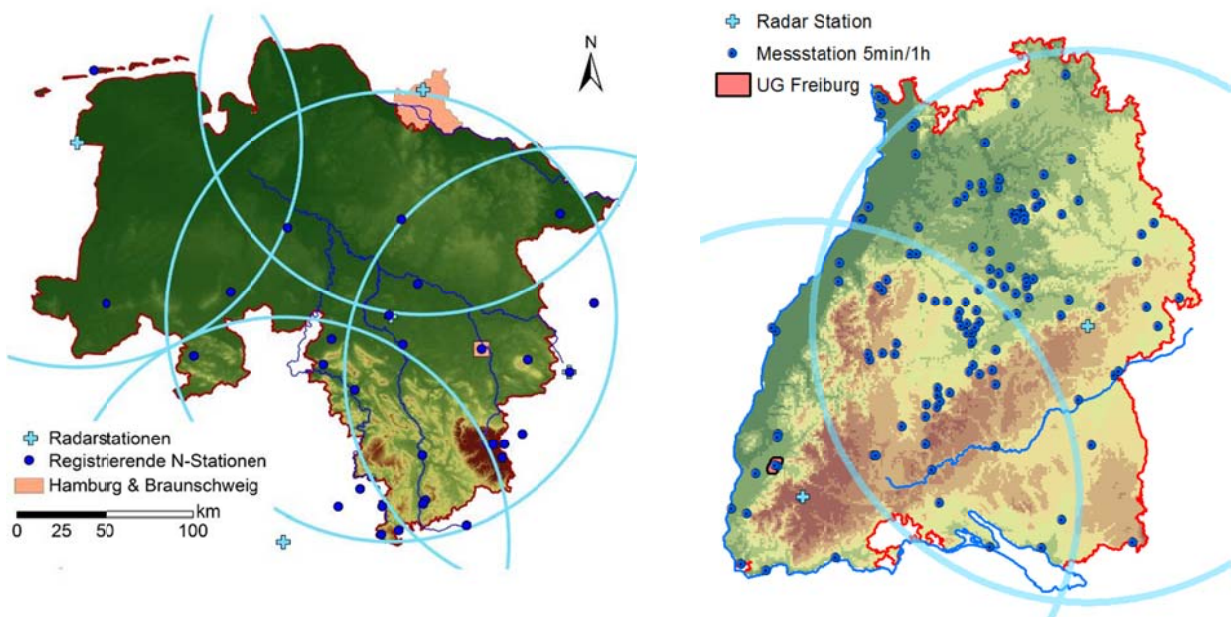



Abb. 1: Die Untersuchungsgebiete Niedersachsen (links) und Baden-Württemberg (rechts) mit den Modellstädten Hamburg, Braunschweig und Freiburg und die Verteilung der hochauflösenden Niederschlagsstationen (NDS: 5 min, BW: 5 min oder 1h) mit mindestens 10 Jahren Reihenlänge sowie die Radarabdeckung und Topografie beider Bundesländer.

Untersuchungsgebiete sind die Bundesländer Niedersachsen und Baden-Württemberg mit den drei Modellstädten Hamburg, Braunschweig und Freiburg im Breisgau (Abb. 1). Die Niederschlagsmodelle werden für die beiden Bundesländer kalibriert und dann die synthetischen Regenzeitreihen in den modellierten Kanalnetzen der Modellstädte durch die Praxispartner getestet. Tab. 1 gibt einen Überblick über die drei Standorte und die verwendete Modellierungssoftware für die Kanalnetzmodellierung.

Tab. 1: Kennzahlen der bei der Kanalnetzmodellierung betrachteten Untersuchungsgebiete

Standort	Braunschweig	Freiburg	Hamburg
Betreiber			
Klima	Übergang maritim-kontinental	Zentraleuropäisches Übergangsklima	Maritim
Mittlerer jährlicher Niederschlag	618 mm	908 mm	770 mm
Betrachtete Kanalnetze	Stadtzentrum: 278 km	Stadtgebiet: 794 km	Stadtzentrum: 1.729 km Harburg: 168 km
Modellierungs- Software	++SYSTEMS	Hystem-Extran KOSIM	Hystem-Extran
Referenz- Niederschlagsreihe	30 Jahre 1985-2014	20 Jahre 1995-2014	50 Jahre 1961-2010

### 3 Bisherige Ergebnisse

Die generierten synthetischen Zeitreihen müssen auf verschiedene Arten auf Plausibilität geprüft werden. Hierzu gehört einerseits der Vergleich mit gemessenen Zeitreihen, der anhand verschiedener Niederschlagscharakteristika und statistischer Kenngrößen durchgeführt wird. Andererseits werden die synthetischen Niederschläge als Belastung für die von den Praxispartnern aufgebauten Kanalnetzmodelle für die drei Untersuchungsgebiete verwendet. Hier geht es um die Überprüfung, ob die synthetischen Niederschläge das Verhalten der Kanalnetze in Bezug auf Ein- und Überstauhäufigkeiten und -volumen sowie hinsichtlich Schmutzfrachtberechnung gut wiedergeben. Als Vergleich dienen auf Beobachtungen basierende Referenzregenreihen der Praxispartner (siehe Tab. 1).

Aus Platzgründen können hier nur einige wenige Zwischenergebnisse präsentiert werden, die einen Eindruck von der Art der durchgeführten Untersuchungen und dem bisher erreichten Stand des Projektes vermitteln sollen. Abb. 2 zeigt den Vergleich

verschiedener gemessener und simulierter Niederschlagskennwerte für die Stadt Hamburg. Es ist ersichtlich, dass die unterschiedlichen Niederschlagsmodelle die gemessenen Werte unterschiedlich gut reproduzieren.

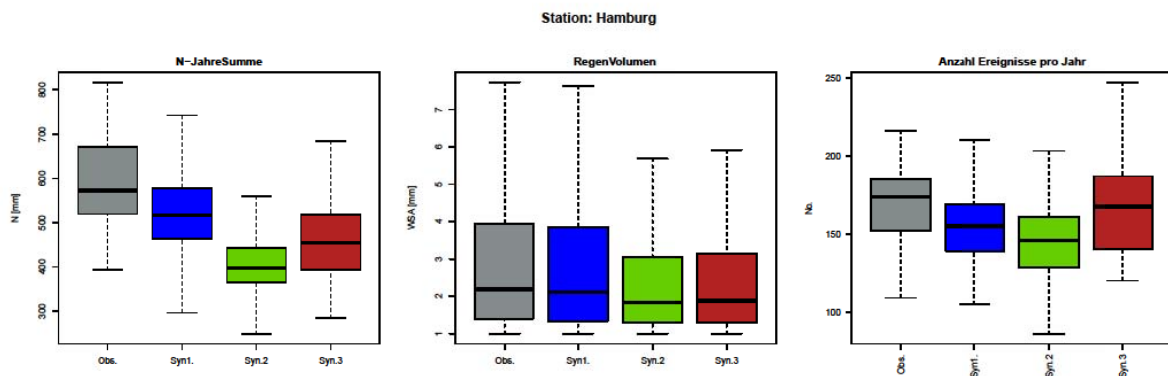


Abb. 2: Vergleich einiger Niederschlagscharakteristika aus Beobachtungsdaten und synthetischen Reihen der drei Modelle am Standort Hamburg

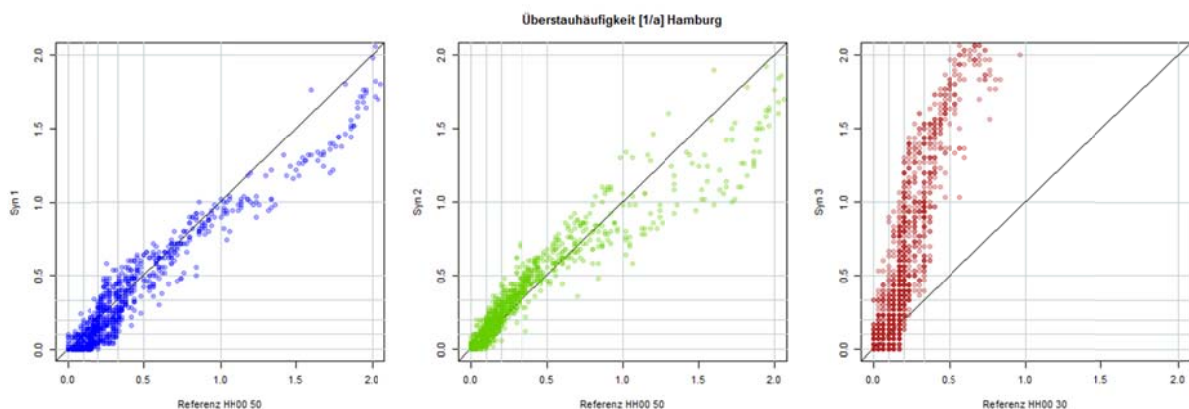


Abb. 3: Vergleich von schachtweisen Überstauhäufigkeiten erzeugt durch die beobachtete Referenzregenreihe und die drei synthetischen Zeitreihen am Standort Hamburg

Gleiches gilt für das in Abb. 3 präsentierte Überstaugeschehen im Hamburger Kanalnetz. Dabei ist ersichtlich, dass eine gute Reproduktion der Niederschlagscharakteristika nicht automatisch eine gute Reproduktion des Überstaugeschehens bedeutet und umgekehrt. Diese Tatsache unterstreicht die Wichtigkeit der abflusseitigen Validierung der synthetischen Niederschlagsreihen. Die Güte und Rangfolge der Niederschlagsmodelle ist ortsabhängig variabel, was

zum gegenwärtigen Zeitpunkt den Vergleich der Modelle und die Auswahl einer empfehlenswerten Methode noch erschwert. Es zeigt sich jedoch, dass bereits mit den ersten getesteten synthetischen Niederschlagsdaten für einige Zielgrößen gute Ergebnisse mit hoher Übereinstimmung erzielt werden können. Insbesondere die Ergebnisse im Bereich der Schmutzfrachtberechnung sind vielversprechend.

## **4 Ausblick**

Die eingehenden Analysen und Vergleiche führen in einem iterativen Prozess zu einer immer besseren Anpassung aller drei Niederschlagsmodelle an die real beobachteten Verhältnisse und an die Erfordernisse der Stadtentwässerung. Die verbleibende Projektzeit wird genutzt werden, um einerseits weiter intensiv an der Verbesserung der Modelle zu arbeiten und andererseits die Analyse der Ergebnisse zu spezifizieren, um eine praxistaugliche Validierung zu ermöglichen. Darauf aufbauend sollen Praxisempfehlungen für die Verwendung synthetischer Niederschlagsdaten gegeben werden

Weitere wichtige Fragestellungen, die innerhalb des Projektes beantwortet werden, behandeln die Generierung synthetischer Niederschläge mit räumlicher Konsistenz, um eine ungleichmäßige Überregnung der Kanalnetzmodelle simulieren zu können. Basierend auf einer mittleren Klimaprognose werden die drei Niederschlagsmodelle außerdem für zukünftige erwartete Verhältnisse angepasst und dazu verwendet, synthetische Zeitreihen für ein mögliches zukünftiges Klima zu erzeugen. Damit erhalten die Praxispartner die Möglichkeit, ihre Kanalnetze auf Zukunftsfähigkeit zu untersuchen, was bei derartigen Anlagen mit Lebensdauern von vielen Jahrzehnten auch eine wichtige wirtschaftliche Fragestellung ist.

## **Literatur**

- Bárdossy, A., Giese, H., Haller, B., und Ruf, J. (2000): Erzeugung synthetischer Niederschlagsreihen in hoher zeitlicher Auflösung für Baden-Württemberg. *Wasserwirtschaft*, 90(11): 548-553.
- Haberlandt, U., Ebner von Eschenbach, A.-D. und Buchwald, I. (2008): A space-time hybrid hourly rainfall model for derived flood frequency analysis. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12:1353-1367.

Laux, P., Vogl, S., Qiu, W., Knoche, H. R. und Kunstmann, H. (2011): Copula-based statistical refinement of precipitation in RCM simulations over complex terrain. Hydrol. Earth Syst. Sci., 15(7): 2401-2419.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. Sven van der Heijden  
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau  
Leibniz Universität Hannover  
Appelstraße 9a  
30167 Hannover  
vdheijden@iww.uni-hannover.de