

Digitaler Zwilling zum KI-unterstützten Management von Wasser-Extremereignissen in der Stadt Hannover

Erik Ristenpart¹, Yannick Enders¹, Alexander Krebs², Gudrun Tschirner-Vinke²,
Cuong Tran³, Stefanie Maßmann³, Alrun Jasper-Tönnies⁴, Manfred Schütze⁵,
Christian Hübner⁵ und Jürgen Krausewald⁶

¹ ifs Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH, Hannover, Deutschland

² EVIDEN, Paderborn, Deutschland

³ Stadtentwässerung Hannover (SEH), Hannover, Deutschland

⁴ hydro & meteo GmbH (h&m), Lübeck, Deutschland

⁵ ifak Institut für Automation und Kommunikation e. V., Magdeburg, Deutschland

⁶ Institut für angewandte Bauforschung gGmbH, Weimar (IAB), Deutschland

Kurzfassung: Es wird die Entwicklung eines digitalen Zwillings für die Entwässerungsinfrastruktur der Stadt Hannover beschrieben. Er stellt das digitale Abbild des Entwässerungssystems mit städtischen Oberflächen, Kanalnetz, Kläranlagenverbund und Gewässern dar. Mit ihm werden die siedlungswasserwirtschaftlichen Auswirkungen extremer Regenereignisse prognostisch abgeschätzt und mithilfe eines KI-basierten Assistenten nachvollziehbare und proaktive Handlungsempfehlungen zur Minimierung dieser Auswirkungen abgeleitet. Es handelt sich um ein aufwändiges System komplexer, integrierter Modell- und Datenkopplungen zur virtuellen Darstellung des vollständigen Prozessgeschehens in einem sehr großen Untersuchungsgebiet.

Zu den näher erläuterten Einzelkomponenten des Digitalen Zwillings gehören die Sensorik zur Erfassung von Echtzeitmessdaten, Niederschlagsprognosen, ein integriertes Simulationsmodell zur virtuellen Abbildung von Kanalnetz und Kläranlagen, detaillierte 2D-Oberflächenabfluss-Simulationen, eine nachvollziehbare KI-basierte Entscheidungsassistenz für die Bereitstellung von Handlungsempfehlungen und eine Daten- und Kommunikationsinfrastruktur.

Key-Words: Digitaler Zwilling, Wasserextremereignisse, Überflutung, Echtzeitmessdaten, Niederschlagsprognosen, Simulationsmodelle

1 Einleitung und Veranlassung

Extreme Wetterereignisse, verbunden mit Starkregen und Sturzfluten, sind eine schon länger bekannte Naturerscheinung. Sie nehmen in Folge des Klimawandels besonders in den Sommermonaten zu. Als Ergebnis kann es dadurch vor allem im urbanen Bereich schnell zu Überlastungen der Kanalnetze kommen, die wiederum Überflutungen von Straßen und Unterführungen aber auch größerer zusammenhängender Gebiete hervorrufen können.

Der Umgang mit solchen Wasser-Extremereignissen im Hinblick sowohl auf die kurz- als auch langfristige Minimierung schädlicher Auswirkungen ist schwierig. Eine örtlich und zeitlich differenzierte Vorhersage der Starkregenereignisse unterliegt großen Unsicherheiten, so dass sich diese für die Prognose der hydraulischen Effekte in der Kanalisation und vor allem auf der Oberfläche nochmals problematischer gestaltet. Bei der Voraussage beider Phänomene, der zu erwartenden Niederschläge und erst recht der möglichen Gefährdungen, mittels detaillierter Modelle, sind die erreichbaren Simulationsdauern zudem ein limitierender Faktor, der Vorhersagezeiten stark reduziert.

Vor dem Hintergrund dieser Problematik wird im Rahmen des Verbundprojekts "ZwillE", gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Wasser-Extremereignisse (WaX)“, ein Digitaler Zwilling für die Entwässerungsinfrastruktur der Stadt Hannover entwickelt. Mit diesem digitalen Abbild des Entwässerungssystems mit städtischen Oberflächen, Kanalnetz, Kläranlagenverbund und Gewässern sollen die siedlungswasserwirtschaftlichen Auswirkungen extremer Regenereignisse prognostisch abgeschätzt und mithilfe eines KI-basierten Assistenten nachvollziehbare und proaktive Handlungsempfehlungen zur Minimierung dieser Auswirkungen abgeleitet werden. In diesem Beitrag stellen wir die bisherigen Arbeitsergebnisse bei seiner Realisierung vor.

2 Anwendungsfälle und Aufbau des Digitalen Zwillings

Die Anforderungen an das Gesamtsystem Digitaler Zwilling, an die zugrunde liegende Daten- und Kommunikationsinfrastruktur (DKI) sowie an eine nachvollziehbare Entscheidungsassistenz wurden aus Sicht unterschiedlicher Stakeholder (Betreiber und Nutzer des Entwässerungssystems, Kommune, Einwohner, Gewässerschutz, Ordnungsdienste) abgeleitet. Dabei wurden drei umzusetzende Anwendungsfälle identifiziert:

(1) Abbildung des Ist-Zustands:

Darstellung des jeweils aktuellen Ist-Zustands des physischen Entwässerungssystems einschließlich des aus aktuellen Niederschlägen resultierenden aktuellen Oberflächenabflusses in den städtischen Teileinzugsgebieten sowie der aktuellen stofflichen Gewässerbeschaffenheit (Qualität), sowohl auf Basis von Echtzeitmessdaten als auch von aktuellen Simulationsergebnissen.

- (2) Vorschlag kurzfristiger Maßnahmen gegen die negativen Auswirkungen von Wasser-Extremereignissen:
Vorausschauende Szenarioanalysen mit kurzfristiger zeitlicher Orientierung (online) durch Einbeziehung modelltechnischer Prognosen der wichtigsten Einflussfaktoren und fortlaufenden Abgleich mit Echtzeitmessdaten, daraus Ableitung schwachstellenbezogener, auf Erfahrungswissen basierender Gegenstrategien als nachvollziehbare Handlungsvorschläge mittels KI-basierter Entscheidungsassistent (z. B. Abflusssteuerung u.a. betriebliche Eingriffe, Straßensperrungen, Nutzerwarnungen).
- (3) Langfristige Planung von Infrastrukturanpassungen an Wasser-Extremereignisse: Szenarioanalysen (offline) mit langfristiger zeitlicher Orientierung auf Grundlage modelltechnischer Prognosen einschließlich Langzeitkontinuumssimulationen für die Überplanung des Entwässerungssystems (grundlegende strategische Ausrichtung und konkreter Aus-/Umbau Kanalisation, Klärwerke, etc.) zur Bewältigung zukünftiger Anforderungen z. B. infolge klimatischer Veränderungen

Die Anwendungsfälle (1) und (2) erfordern einen Onlinebetrieb des Digitalen Zwillings in Echtzeit, wohingegen Fall (3) für die Planungsprozesse einen Offlinebetrieb erlaubt.

Der Digitale Zwilling ist aus den folgenden Einzelkomponenten zusammengesetzt:

- Sensorik zur Erfassung von Echtzeitmessdaten (hydraulische Größen und Wasserbeschaffenheit in Kanalisation, Kläranlage und Gewässer, Stellgrößen der Aktorik in den Abwasseranlagen, Niederschlag aus Radar- und terrestrischen Messungen)
- Niederschlagsprognosen mittels Radar-Nowcasts als Ensemblevorhersagen
- Integriertes, im wesentlichen hydrologisches Simulationsmodell zur virtuellen Abbildung von Kanalnetz und Kläranlagen (Simba#)
- Detaillierte 2D-Oberflächenabflusssimulationen (Hystem-Extran, offline) zur Vorhersage des Überflutungsrisikos mittels Übertragungsfunktionen
- Nachvollziehbare KI-basierte Entscheidungsassistenz für die Bereitstellung von Handlungsempfehlungen auf Basis des formalisierten Erfahrungswissens
- Daten- und Kommunikationsinfrastruktur aufbauend auf der FIWARE Smart Water Referenzarchitektur (Open Source Software) für die Integration der vorgenannten Bausteine in das Gesamtsystem des Digitalen Zwillings

Das Architekturkonzept für das ZwillE-Gesamtsystem mit den Abhängigkeiten der einzelnen Komponenten ist in Abbildung 1 dargestellt. Eine nähere Beschreibung der Komponenten erfolgt in den nachfolgenden Abschnitten.

Mit Hilfe der zuvor aufgeführten Komponenten des Digitalen Zwillings der städtischen Entwässerungsinfrastruktur Hannovers wird die Durchführung vorausschauender Szenarioanalysen zu extremen Wetterereignissen, die Bestimmung daraus resultierender

wahrscheinlicher Problembereiche innerhalb des Entwässerungssystems und die resultierende Ermittlung von Handlungsempfehlungen für das technische Personal der Stadtentwässerung zur Entscheidungsunterstützung ermöglicht.

Das Kanalnetz im Modellgebiet hat eine Gesamtlänge von rd. 2.500 km, verfügt über rd. 64.000 Haltungen und eine angeschlossene befestigte Fläche von rd. 26.000 ha.

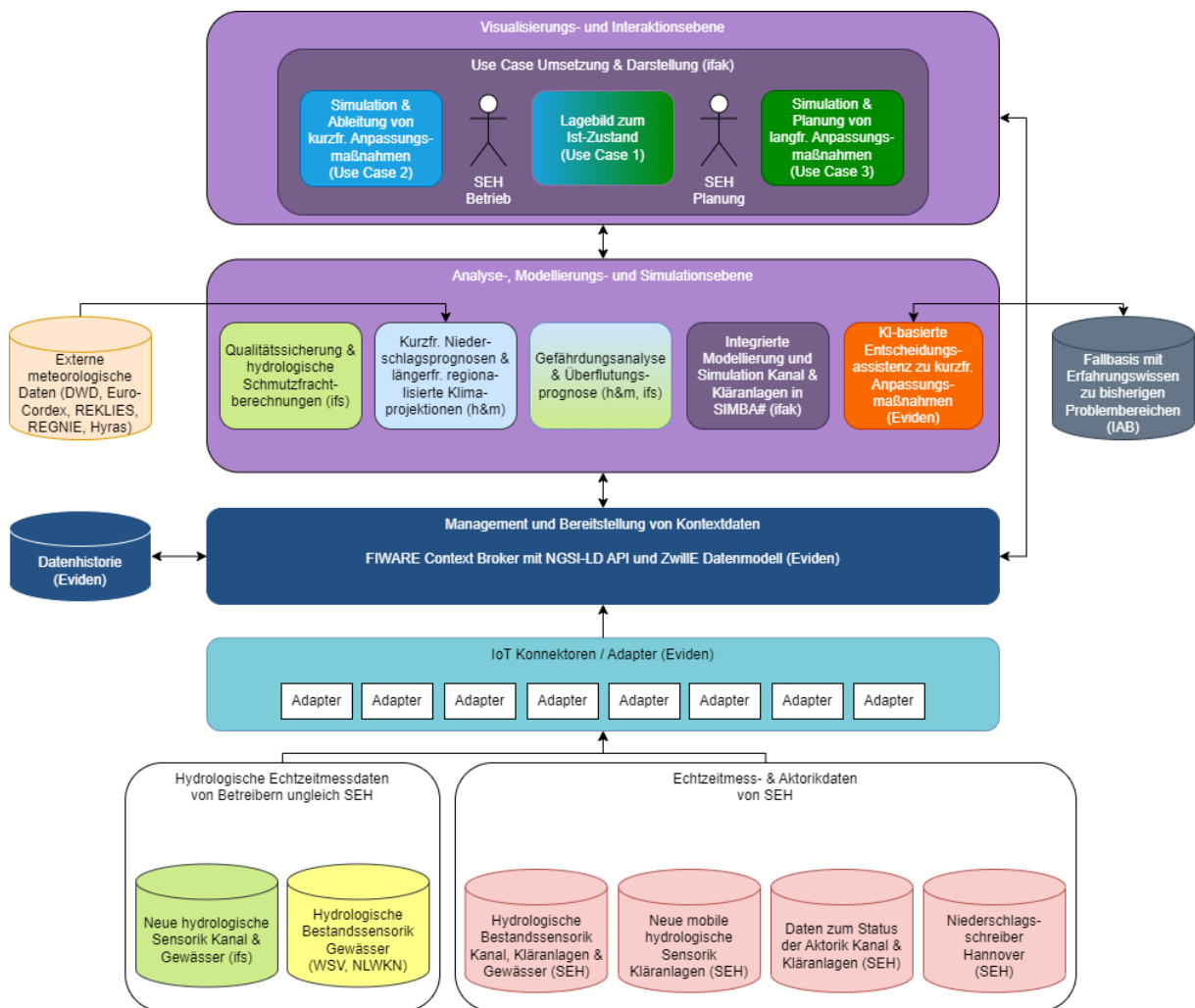


Abbildung 1: Architekturkonzept für den Digitalen Zwilling.

3 Einzelkomponenten des Digitalen Zwillings

3.1 Echtzeitmessdaten

Im Digitalen Zwilling werden nicht nur die statischen Systemdaten der vorhandenen städtischen Infrastruktur abgebildet, sondern auch die dynamischen Prozessdaten in Form von Echtzeitmessdaten von Niederschlag, Wassermenge und -qualität. Diese Daten stammen aus den verschiedensten Quellen. Es werden zum einen Daten vor-

handener Messeinrichtungen unterschiedlicher Betreiber (Stadtentwässerung Hannover, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes) in Kanalnetz, Kläranlagen und Einleitungsgewässern verfügbar gemacht. Zum anderen wird ein temporäres Messprogramm mit neu eingerichteter Sensorik ebenfalls in den drei o.g. Bereichen des Entwässerungssystems durchgeführt.

Die Messkonzeption erfolgte auch unter Einbeziehung der Anforderungen der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) der EU sowie des DWA-Arbeitsblatts 102-2 bzw. Merkblatts 102-3 hinsichtlich zu erfassender Parameter sowie der Beurteilungspunkte im Gewässer. Ziel ist die Erfassung sowohl der Emissionen aus Abwassereinleitungen als auch der Immissionen in den Gewässern. Daraus abgeleitet soll mit Hilfe des Digitalen Zwillings langfristig auch eine Minimierung der Gewässerbelastung erzielt werden.

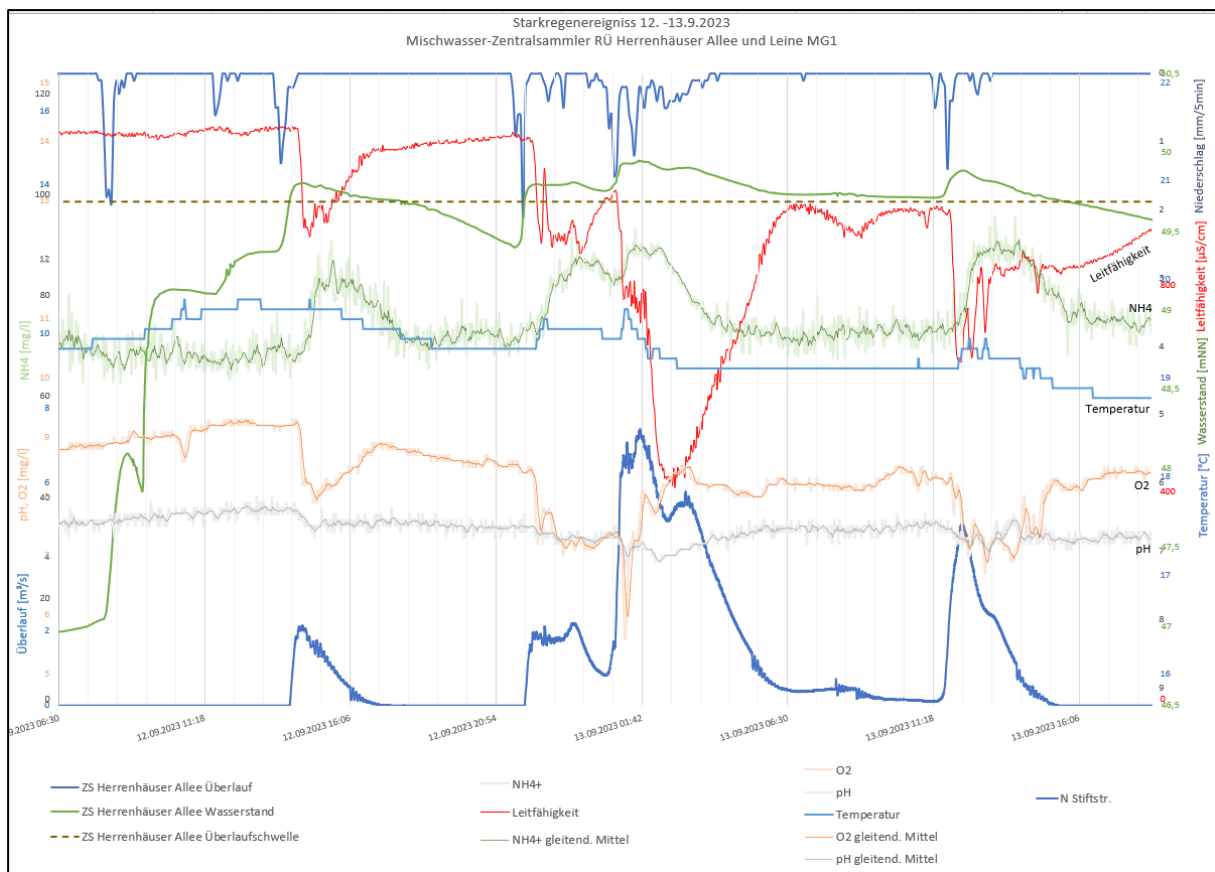


Abbildung 2: Niederschlagsereignis mit Mischwasserüberlauf und Auswirkungen auf die Gewässerbeschaffenheit.

An der Gewässermessstelle MG 1 unmittelbar unterhalb der o. g. Mischwasserentlastung konnten die Auswirkungen von Überlaufereignissen auf die Gewässerbeschaffenheit mittels der dortigen Multi-Parameter-Sonde eindeutig erfasst werden. Dies ist

in Abbildung 2 exemplarisch an einem Ereignis dargestellt und zeigt den starken Rückgang von Sauerstoff (hellrot) und Leitfähigkeit (rot), das geringfügige Absinken von pH (grau) und den Anstieg der Temperatur (hellblau) im Gewässer unterhalb der Einleitstelle.

Die neu installierte temporäre Messtechnik besteht aus UV/VIS-Spektrometer-Sonden, die die Strahlung im UV- und im sichtbaren (VIS) Bereich nutzen, und Multi-Parameter-Sonden zur Erfassung der Abwasser- und Gewässerbeschaffenheit sowie aus Durchfluss- und Wasserstandmesstechnik. Die Messstellen sind repräsentativ und exemplarisch in einem Regenwasserkanal und einer Mischwasserentlastung sowie in den Gewässern ober- und unterhalb der zugehörigen Einleitstellen angeordnet. Der kontinuierliche Betrieb der Messeinrichtungen hat ab Dezember 2022 schrittweise begonnen.

Die Auswertung der Messergebnisse der UV/VIS-Spektrometer hinsichtlich des Einflusses der Regen- und Mischwassereinleitungen auf die Gewässerbeschaffenheit ist derzeit noch in Arbeit. Sie gestaltet sich wegen der größeren Entfernung der Messstelle zu den Einleitstellen allerdings schwieriger, da Konzentrationsänderungen der Wasserinhaltsstoffe noch nicht eindeutig zugeordnet werden können.

3.2 Niederschlagsprognosen

Für die Simulation des hydrologisch-hydraulischen Prozessgeschehens (s. u.) stellen die Niederschläge die wesentliche Belastungsgröße dar. Radarmessungen, kombiniert mit Daten terrestrischer Stationen, bieten die beste Datenquelle für aktuelle Niederschlagsschätzungen. Für diesen Input werden korrigierte und angeeichte Niederschlagsmessdaten des DWD-Radars Hannover und der 11 städtischen Regenschreiberstationen in Nahezu-Echtzeit aufbereitet. Der Bezug von numerischen Wettermodelldaten (z. B. ICON-D2-EPS) wurde eingerichtet. Niederschlagsprognosen mittels Radar-Nowcasts werden als Ensemblevorhersagen erzeugt und für den Online-Dienst im Digitalen Zwilling bereitgestellt.

Die Übergabe der Niederschlagssummen für die hydrologische Simulation (siehe Kapitel 3.3) erfolgt als Flächenmittel für 83 Teileinzugsgebiete für das Kanalnetz und für 56 Teileinzugsgebiete für die Gewässer. Ergänzend wurde ein Rasterdatensatz mit einer höheren räumlichen Auflösung von 500 m auf einem kartesischen Gitter erzeugt, der den Zeitraum 12/2017 bis 10/2021 mit einem Zeitschritt von 5 Minuten abdeckt. Er wird genutzt, um den in Kapitel 3.4 auf Basis von Ensemble-Nowcasts entwickelten Ensembleansatz zur Überflutungsvorhersage durch die Simulation von realen Niederschlagsereignissen zu evaluieren.

Außerdem erfolgen Auswertungen auf Basis von Klimaprojektionsdaten, um eine Abschätzung möglicher Effekte des Klimawandels auf regionaler und lokaler Ebene auf die betrachteten Wasser-Extremereignisse zu ermöglichen. Dazu wird zusätzlich zu regionalen Klimamodellen ein Simulationslauf des konvektionsauflösenden Modells

CCLM-CPM mit einer horizontalen Auflösung von ca. 3 km und einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde genutzt, das laut aktuellen Studien Niederschlag im Vergleich zu regionalen Klimamodellen mit einer Auflösung von 12,5 km (entsprechend EURO-CORDEX, EUR-11) realistischer abbildet. Zudem wurden Kriterien für die Auswahl eines geeigneten Downscaling-Verfahrens zusammengestellt, um Klimaprojektionsdaten für die Szenarioanalysen mittels hydrologischer Simulationen aufzubereiten.

3.3 Hydrologisches Simulationsmodell

Als eine weitere Komponente des Digitalen Zwillings wurde ein integriertes, im Wesentlichen hydrologisches, in Teilbereichen aber auch hydrodynamisches Simulationsmodell von Kanalnetz und Kläranlagen zur virtuellen Abbildung und Prognose der dynamischen Prozesse entwickelt und aufgebaut. Insbesondere die unmittelbare Kopplung von hydrodynamisch und hydrologisch modellierten Netzteilen in einem einzigen Modell stellt hierbei ein Novum dar. Grundlage für den Modellaufbau waren die von der SEH zur Verfügung gestellten Systemdaten zum Kanalnetz (insbesondere der vorhandenen detailliert-hydrodynamischen und vereinfacht-hydrologischen Kanalnetzmodelle).

Zur automatisierten Erstellung eines performanten Simulationsmodells des Kanalnetzes für den Digitalen Zwilling wurde das von Schütze et al. (2024) beschriebene Verfahren verwendet. Dieses ermöglicht es zudem spätere Aktualisierungen des Kanalnetzes (beispielsweise nach Baumaßnahmen) aufwandsarm auch im Digitalen Zwilling zu berücksichtigen.

Zunächst wurden die einzelnen Teilmodelle unter Nutzung und Weiterentwicklung der Simulationssoftware Simba# (ifak 2024) aufgebaut. Die Teilmodelle umfassen ebenfalls die oben bereits genannten Bereiche der Wasserinfrastruktur und wurden dann in ein Gesamtmodell integriert. Anschließend wird das integrierte Simulationsmodell für die Beobachtung des Ist-Zustands, die Szenario-Analyse und die Ableitung resultierender Problemstellungen genutzt.

3.4 Detaillierte 2D-Oberflächenabfluss-Simulation

Für die Gefährdungsanalyse im Hinblick auf Überflutungen im urbanen Raum werden detaillierte 2D-Oberflächenabfluss-Simulationen offline durchgeführt. Vorliegende Rechenmodelle des gesamten Kanalnetzes und aller städtischen Oberflächen wurden dazu von der SEH übernommen. Simuliert wird mit dem stadtweiten, detaillierten, gekoppelten 2D-Oberflächenabfluss- und 1D-Kanalnetzmodell (HYSTEM-EXTRAN). Aufgrund der langen Rechenzeiten der Modelle wurde ein mehrstufiges Modellierungskonzept festgelegt. In Stufe I werden Modellregensimulationen mit einer abgestuften Auswahl unterschiedlicher Wiederkehrzeiten durchgeführt, um die vorhandenen Überflutungskarten als Fachwissensbasis für die Gefährdungsanalyse nutzen zu können (vgl. Abbildung 3).

In Stufe II werden Simulationen mit realen historischen Regenereignissen vorgenommen und deren Auswirkungen hinsichtlich dokumentierter Überflutungen überprüft, um die Übertragbarkeit der erarbeiteten Erkenntnisse aus Stufe I (Modellregenerberechnungen) zu evaluieren. Dafür werden von der SEH dokumentierte historische Daten von Hochwasser- und Starkregenereignissen einschließlich Messergebnissen, Betriebs- und Störungsmeldungen sowie Feuerwehreinsatzinformationen in Hannover ausgewertet und aufbereitet.



Abbildung 3: Überflutungskarte für einen 50-jährlichen Modellregen mit markierten Problembereichen und Gegenmaßnahmen in der Wissensbasis.

Es erfolgte dann die Identifikation von Kenngrößen, mithilfe derer sich die historischen Regenereignisse klassifizieren lassen und eine Einschätzung des Überflutungsrisikos abgeleitet werden kann. Mittels der Überflutungskarte, die aus der Überflutungsbeurteilung für ein 100-jährliches Ereignis resultiert, und der Flächennutzung wird dabei eine Risikoklassifizierung auf einem 500 m-Raster vorgenommen. Anhand des Anteils der überfluteten Fläche wird jede Teilfläche in eine der folgenden 4 Risikokategorien eingeteilt: niedriges – mittleres – hohes - sehr hohes Risiko. Zusätzlich werden für jedes Ereignis Niederschlagskarten erstellt, die die maximalen Niederschlagsintensitäten in mehreren Dauerstufen, beginnend mit 15 min, enthalten.

In Stufe III kommt ein zuvor mit Hilfe statistischer Verfahren und Verfahren aus dem Maschinellen Lernen (z. B. Entscheidungsbäume) entwickeltes Modell als Übertragungsfunktion zum Einsatz. Es arbeitet mit den maximalen Niederschlagsintensitäten aus den Niederschlagskarten und der vorgefertigten Risiko-Klassifizierungskarte als Input. Als Ergebnis wird eine Risikokarte für das jeweilige Ereignis berechnet. Das statistische Modell wurde auf Grundlage mehrerer Ereignisse aufgesetzt und wird mit

unabhängigen Ereignissen validiert. Unter Einbeziehung der hochauflösenden Niederschlagsprognosen (siehe Kapitel 3.2) lassen sich dann auch Vorhersagen zu urbanen Überflutungen treffen.

Schließlich wurde ein Visualisierungskonzept für das Überflutungsrisiko im Digitalen Zwilling mit Hilfe von GIS-Anwendungen erarbeitet. Die Darstellung der Ensemble-Überflutungsvorhersagen erfolgt dabei auf unterschiedlichen Layern, die eine Interpretationsebene, die Ebene von Teileinzugsgebieten und von Detailansichten enthalten.

3.5 KI-basierte Entscheidungsassistenz für Handlungsempfehlungen

Schließlich wird eine Entscheidungsassistenz für die Bereitstellung von in ihrer Wirksamkeit validierten Handlungsempfehlungen für den Umgang mit Extremwetter szenarien konzipiert und technisch umgesetzt, die die Entscheidungsträger auf Basis einer erweiterbaren Wissens- bzw. Fallbasis unter Nutzung nachvollziehbarer KI-Methoden (Case Based Reasoning- sowie regelbasierter Ansätze) bei der Auswahl geeigneter schwachstellenbezogener Gegenmaßnahmen beim Umgang mit aktuellen bzw. zu erwartenden pluvialen Überflutungssituationen auf der Oberfläche an relevanten Lokalisationen im Stadtgebiet von Hannover unterstützt. Dies geschieht durch eine Kombination der Simulationsergebnisse an zu prognostizierten Problemstellen innerhalb des Entwässerungssystems mit dem formalisierten Erfahrungswissen zu erfolgversprechenden Gegenstrategien in vergleichbaren früheren Situationen bzw. Fällen. Die zuvor genannte Wissens- bzw. Fallbasis wurde dabei auf Grundlage der Erhebung von Erfahrungswissen mittels Befragungen z. B. des Betriebspersonals des Netzbetreibers in Bezug auf die in den beiden Leitwarten Kanalnetz- und Klärwerksbetrieb im Falle von Extremwetterereignissen aktuell jeweils umgesetzten Maßnahmen bzw. Gegenstrategien der Ordnungsdienste bei Störfällen (Polizei, Feuerwehr, Katastrophenschutz), aber auch aus vorhandenen Dokumentationen (z. B. Betriebsanweisungen, Hochwassereinsatzplan) erstellt.

3.6 Daten- und Kommunikationsinfrastruktur

Die softwaretechnische Umsetzung des Gesamtsystems dieses Digitalen Zwillings fußt auf dem Konzept für die IT-Systemarchitektur und der Umsetzung der Daten- und Kommunikationsinfrastruktur (DKI) samt Schnittstellendefinition. Das Architekturkonzept baut auf der sog. FIWARE Smart Water Referenzarchitektur auf, die an diesen Anwendungsfall angepasst wurde. FIWARE stellt dabei einen offenen Baukasten von Open Source Software-/Plattformkomponenten dar, um verteilte smarte Applikationen (z. B. Digitale Zwillinge, Data Spaces etc.) für unterschiedliche Branchen effizient entwickeln zu können und nutzt NGSI LD (Next Generation Service Interface Linked Data) als zentrales, standardisiertes Schnittstellenformat (API), wobei auch proprietäre Schnittstellen (z. B. der installierten Sensorik etc.) über Adapter (sog. Generic Enablers) angebunden werden können.

Kernbestandteil der technischen Umsetzung der DKI stellt die Entwicklung einer Komponente zur Konfiguration und Verwaltung der Datenkommunikation vom und zum sog. FIWARE Context Broker dar, die die Anbindung von externen Datenquellen (z. B. über die Gateways unterschiedlicher Messtechnik-Hersteller wie GO Systemelektronik oder NIVUS) an die DKI durch eine Unterstützung zahlreicher Schnittstellen- (z. B. File, HTTP(S), SFTP, REST, SOAP, MQTT, AMQP, Kafka etc.) und unterschiedlicher Datenbankformate) erleichtert. Auf diese Weise können Datensilos aufgebrochen und (Echtzeit-) Messdaten automatisiert aus unterschiedlichen verteilten Quellen in einer einheitlichen Struktur zusammengeführt und den einzelnen Komponenten des Digitalen Zwillings für eine sich anschließende Analyse und Visualisierung z. B. über eine MQTT-basierte Kommunikationsarchitektur bereitgestellt werden.

Der Fokus der zuvor beschriebenen Arbeiten liegt dabei auf der Erzielung einer hohen Offenheit und Übertragbarkeit der Herangehensweise auf andere Städte und Gemeinden, so dass der gewählte Ansatz mit geringem Anpassungsbedarf auch für andere Anwendungsfälle außerhalb von Hannover replizierbar ist.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde gezeigt, dass es sich bei dem Digitalen Zwilling für die Entwässerungsinfrastruktur der Stadt Hannover um ein aufwändiges System komplexer, integrierter Modell- und Datenkopplungen handelt, das ein vollständiges virtuelles Abbild des Prozessgeschehens in einem realen, sehr großen Untersuchungsgebiet darstellt. Alle maßgeblichen Datenerfassungs- und Modellierungswerkzeuge wurden entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik genutzt bzw. weiterentwickelt.

Die softwaretechnische Umsetzung des Gesamtsystems erforderte den Aufbau einer sehr umfassenden IT-Systemarchitektur und insbesondere die sorgfältige Umsetzung einer Daten- und Kommunikationsinfrastruktur (DKI), die unterschiedlichste interne und externe Datenquellen verknüpft. Derzeit befindet sich ein Demonstrator des Digitalen Zwillings im Aufbau, der alle Funktionalitäten des Gesamtsystems beinhaltet.

5 Dank

Ein besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), welches das Projekt ZwiLE im Rahmen der Fördermaßnahme „Wasser-Extremereignisse“ (WaX) im Programm „Forschung für Nachhaltigkeit“ (FONA) unter dem Förderkennzeichen 02WEE1627D u. a. fördert.

6 Literatur

Burrichter B., Koltermann da Silva J., Quirnbach M. (2022). KI-basierte Vorhersage kanalinduzierter Überflutungen. Tagung Aqua Urbanica, Zweideln-Glattfelden/Schweiz, 13.-15.11.2022.

ifak (2024). Simba#6. Manual. Institut für Automation und Kommunikation e. V. (ifak), Magdeburg.

ifs (2024) und (2023). Digitaler Zwilling zum KI-unterstützten Management von Wasser-Extremereignissen im urbanen Raum, Zwischenberichte, WaX – Verbundprojekt ZwillE, Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH, Hannover.

Einfalt T., Jasper-Tönnies A., Castro B. et al. (2023). Transfer and extension of experience from urban heavy rain flood risk warning, under review for Natural Hazards, PREPRINT (Version 1) available at Research Square: <https://www.researchsquare.com/article/rs-3398604/v1>.

Hofmann J. and Echterhoff J. (2020). KI-gestütztes Frühwarnsystem für Starkregenereignisse. ABWASSERREPORT, Nr. 4.

Jasper-Tönnies A., Einfalt T., Schütze M., Ristenpart E. and Strehz, A. (2023). Niederschlagskomponenten für Echtzeitanwendungen in der Stadthydrologie als Teil eines digitalen Zwillings für die Stadt Hannover, Tag der Hydrologie, Bochum, 22.-23.03.2023.

Schütze M., de Matos K., Schmidt T. and Alex J. (2024): Scalable model simplification for hydrodynamic sewer system models, 16th Int. Conf. on Urban Drainage, Delft, 09.–14.06.2024.

Korrespondenz an:

Erik Ristenpart
ifs Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH
D-30159 Hannover, Stiftstr. 12, Deutschland
Tel.: +49 (0)511-70139-14
E-Mail: ristenpart@ifs-hannover.de