

WaX – Verbundprojekt Zwille

Überblick zum Projektstand

20.09.2023 | WaX-Statusseminar, Potsdam

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FONA

Nachhaltiges Wassermanagement

WaX
Wasser-Extremereignisse

Handlungsbedarf & Herausforderungen

Keine Vernetzung im Wassersektor



- Klimawandel stellt Städte und Gemeinden immer häufiger vor extreme Belastungsproben
→ Betreiber siedlungswasserwirtschaftlicher Infrastrukturen müssen mit Überschwemmungen sektorübergreifend umgehen können
- Wirtschaftliche und ökologische Schäden infolge zunehmender hydrologischer Extremereignisse erfordern neue Ansätze für das Management des Wassersektors im urbanen Funktionsraum



Quelle: Heiko Kueverling/Shutterstock.com

Zu überwindende Herausforderungen

- Fehlende Vernetzung der Akteursräume im Wassersektor (Datensilos)
→ fehlendes ganzheitliches Datenbild
- Integrale Betrachtung scheitert u.a. an fehlenden Daten, veraltetem Datenmanagement, unzureichender Datenstandardisierung
- Digitalisierungsansätze für Prognose und Risikomanagement bislang nur auf einzelne Teilaspekte beschränkt, z.B. Starkregengefahrenkarten
- Kanalnetzsteuerung findet bislang oftmals nur manuell und häufig nach „subjektiver“ Entscheidung statt
- Prognosen und Warnungen erfolgen bisher häufig ohne Verknüpfung zu einer konkreten, in städtischen Routineabläufen verankerten Maßnahmenplanung



Quelle: Scherbinator/Shutterstock.com



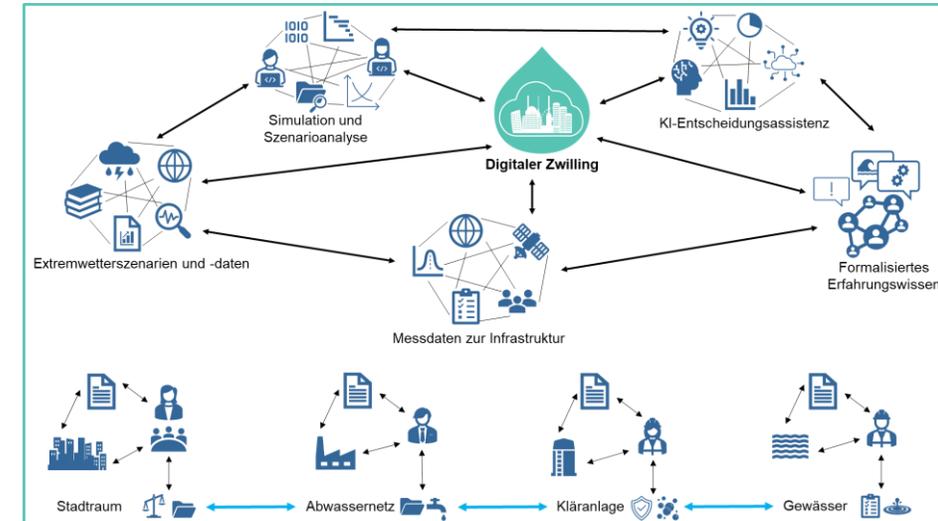
Akteursräume im Wassersektor

Zielsetzung von ZwiLE



Entwicklung eines

- **Digitalen Zwilling** als virtuelles Abbild der städtischen Entwässerungsinfrastruktur am Beispiel der Stadt Hannover
- mit **integrierter Betrachtung** von Einzugsgebieten, Kanalnetz, Klärwerksverbund, oberirdischen Einleitungsgewässern,
- welcher auf Basis von **Echtzeitmessdaten** den **aktuellen Ist-Zustand** des abgebildeten Entwässerungssystems darstellt
- und durch **Einbindung von hochauflösenden Niederschlagsvorhersagen und Klimaprojektionen** die Durchführung von **vorausschauenden Szenarioanalysen** mit kurz- und langfristiger zeitlicher Orientierung ermöglicht,
- auf deren Basis dem **technischen Fachpersonal** der Stadtentwässerung unter **Nutzung von formalisiertem Erfahrungswissen** **nachvollziehbare Maßnahmenvorschläge** für die proaktive Bewältigung von realen oder fiktiven hydrologischen Krisensituationen unterbreitet werden



ZwiLE Anwendungsfälle

#1 Ist

Wie ist der aktuelle Zustand der Entwässerungsinfrastruktur?



#2 Akute Maßnahmen

Wie reagieren wir im Extremfall?
Präzise Vorhersagen



#3 Planung und Anpassung

Wie müssen wir unser Entwässerungssystem langfristig anpassen?



3



Projektpartner

und ihre Arbeitsschwerpunkte (Teilprojekte)

Zwille



Stadtentwässerung
Hannover
Wir klären das.



ifak



EVIDEN

Definition Extremwetter-szenarien und Systemanforderungen; Erprobung

Messprogramm und Analyse Überflutungsgefährdung

Hochauflösende Modelle zur Niederschlagsprognose

Modellierung und Simulation; Entw. Gesamtsystemprototyp und Use Case Umsetzung

Erfahrungswissen und Gegenstrategien

Konsortialführung

Kommunikations- & Dateninfrastruktur und nachvollziehbare Entscheidungsassistenz

Assoziierte Partner:

- Stadtentwässerung Hildesheim, Kommunale Anstalt des öffentlichen Rechts
- Kommunale Umwelt-Aktion UAN e. V.
- Region Hannover

Betrachtete Extremwetzerszenarien und Anforderungen an den Digitalen Zwilling



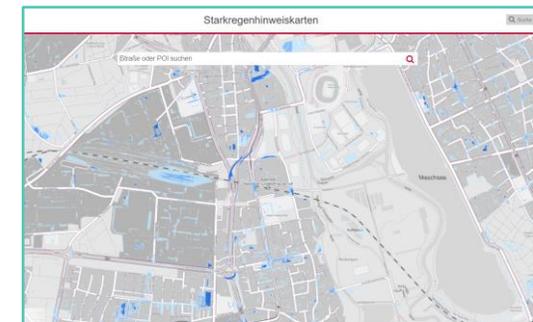
Anforderungsanalyse

- Anforderungen an den Digitalen Zwilling aus Sicht unterschiedlicher Stakeholder erhoben (SEH Betriebspersonal, SEH Planungsbeauftragte, SEH IT, Modellierer, Messstellenbetreiber, Anbieter von meteorologischen Vorhersagen etc.)
- Aktuell: Konkretisierung und Priorisierung der erhobenen Anforderungen an den Digitalen Zwilling (DZ) aus Sicht der Stadtentwässerung Hannover als Basis für die Konzipierung des Projektdemonstrators
- Für die drei Anwendungsfälle **Bezüglich der Aspekte**
 - Ist-Zustand
 - Akute Maßnahmen
 - Planung und Anpassung
 - Welche Daten und Informationen?
 - Welcher Detaillierungsgrad?
 - Welche Visualisierungs- und Darstellungsform?

UId - Beschreibung der Anforderungen	Betroffene DZ	
1x Der Nutzungsanforderung d (insb. P dition Anwach	<ul style="list-style-type: none"> 5x Zusätzlich sollen dem Nutzer „virtuelle Messstellen“ aus dem Beobachtemodell angezeigt werden. 6x Es sollte eine Detailansicht zu den einzelnen physischen und virtuellen Messstellen existieren (Messstellennummer, Art der Messstelle etc.; Darstellung der aktuell gemessenen Werte, Zeitstempel, Maßeinheiten, Verlauf (für eine bestimmte auszuwählende Zeitspanne) → Trenddarstellung, Min-Max-Werte usw.) 	<ul style="list-style-type: none"> GUI, SIMBA-Beobachtemodell GUI, Informationen zu den einzelnen Messstellen und Messwerten aus der Dateninfrastruktur
2x (vgl. N warte Nieder darstell schlag	<ul style="list-style-type: none"> 7x In einem separaten Fenster soll dem Nutzer die aktuelle Wittersituation in Hannover auf einer Karte dargestellt werden (z.B. Wie viel Niederschlag fällt in den einzelnen TEÖs gerade ab?); Zusätzlich soll im Fenster mit der aktuellen Wittersituation das Vorliegen einer kritischen Niederschlagsprognose für den Nutzer deutlich angezeigt werden. 	<ul style="list-style-type: none"> GUI, AP 4 Dienst auf Basis von Messwerten zum aktuellen Niederschlag aus der Dateninfrastruktur
3x (vgl. N einer K reueille Entw	<ul style="list-style-type: none"> 8x Für den Nutzer soll eine Möglichkeit zum Wechsel zu einer Niederschlagsprognose innerhalb des Fensters mit der Wetterdarstellung existieren; hier zunächst nur Auswahl (unterschiedliche zeitliche Prognosehorizonte) und Darstellung der Niederschlagsprognose auf einer Karte. 	<ul style="list-style-type: none"> GUI, AP 4 Niederschlagsprognosedienst
4x Die D größt aktuell diskont den Nu	<ul style="list-style-type: none"> 9x Der Nutzer soll eine Möglichkeit zur Auswahl einer konkreten Niederschlagsprognose haben, um die daraus resultierenden Auswirkungen für die einzelnen Teilbereiche des Entwässerungssystems ermitteln und darstellen zu lassen (→ Übergang zum UC 2); Alternativ: Bei Vorliegen einer kritischen Niederschlagsprognose für die nähere Zukunft erweist die DZ selbstständig die daraus resultierenden Auswirkungen (UC 2) und alarmiert bei kritischen Situationen den Nutzer entsprechend (weil dieser sich vielleicht hauptsächlich auf die Beobachtung der aktuellen Ist-Situation konzentriert). 	<ul style="list-style-type: none"> GUI, Niederschlags-Alarmierungsdienst AP 4, Datenübergabe von AP 4 Niederschlagsprognosedienst an AP 4.3-Tool bzw. SIMBA-Prädiktionsmodell
10x Für das Szenario 3: Möglichkeit zur Darstellung und nutzerseitige Auswahl von realen oder hypothetischen Pegelprognosen (von NI/WON?) bzw. von oberliegenden Leine- / Ithme-Pegel (von		<ul style="list-style-type: none"> GUI, Informationen zu den einzelnen Pegelständen, Pegel-Alarme

Extremwetzerszenarien aus Sicht der Siedlungswasserwirtschaft Hannover

- Ist-Analyse und Konkretisierung von Extremwetzerszenarien für den Anwendungsfall Hannover:
 - Lokale Überflutungen infolge von Starkregenereignissen
 - Mischwasserentlastungen (bei Niedrigwasser im Gewässer) infolge von Starkregenereignissen
 - Flusshochwasser in Verbindung mit Starkregenereignissen
 - Lange Trockenwetterperioden
 - Hitze in der Stadt – Regenwassermanagement



Systemarchitektur und Umsetzung einer Daten- und Kommunikationsinfrastruktur (1/2)

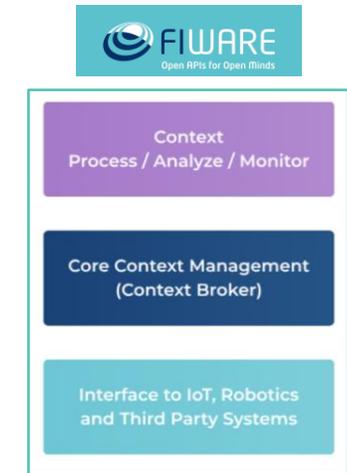


Zielsetzung

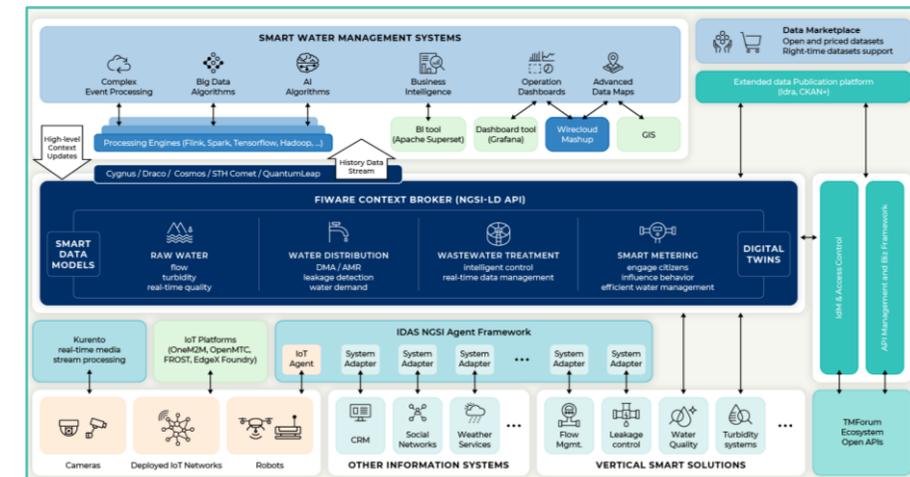
- Entwicklung eines technischen Architekturkonzepts samt Schnittstellendefinition als Basis für die Integration der einzelnen Bausteine des Digitalen Zwillings in ein Zwille-Gesamtsystem
- Umsetzung einer auf Standards basierenden Daten- und Kommunikationsinfrastruktur
- Fokus auf Offenheit und Übertragbarkeit des Ansatzes auf andere Städte und Gemeinden

Lösungsansatz

- Nutzung des FIWARE-Frameworks als offener, wiederverwendbarer und übertragbarer Open-Source-Software Ansatz
- FIWARE = offener Baukasten mit Plattformkomponenten, um verteilte smarte Applikationen (z.B. Digitale Zwillinge, Data Spaces etc.) für unterschiedliche Anwendungsbereiche effizient zu entwickeln
- NGSI-LD (Next Generation Service Interface-Linked Data) als zentrales, standardisiertes Schnittstellenformat (API) von FIWARE; proprietäre Schnittstellen sind über Adapter (sog. Generic Enablers) anbindbar
- Ausgangspunkt: FIWARE Smart Water Referenzarchitektur → Anpassung an den Zwille Anwendungsfall
- Adaption und Erweiterung des in FIWARE4Water genutzten Datenmodells für Zwille und den Anwendungsfall Hannover



Technischer FIWARE Stack, Quelle: www.fiware.org



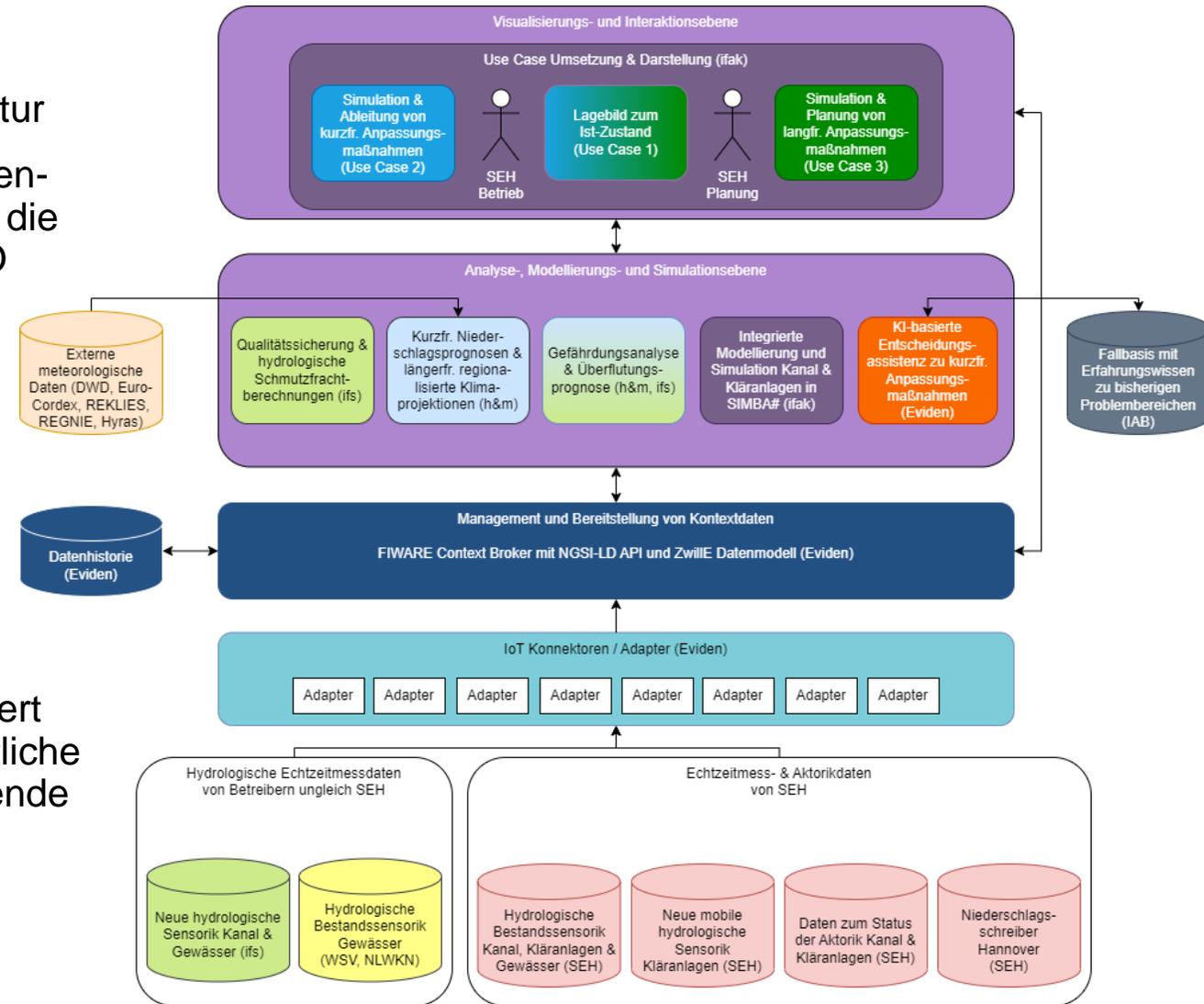
FIWARE Smart Water Reference Architecture, Quelle: www.fiware.org

Systemarchitektur und Umsetzung einer Daten- und Kommunikationsinfrastruktur (2/2)



Ergebnisse

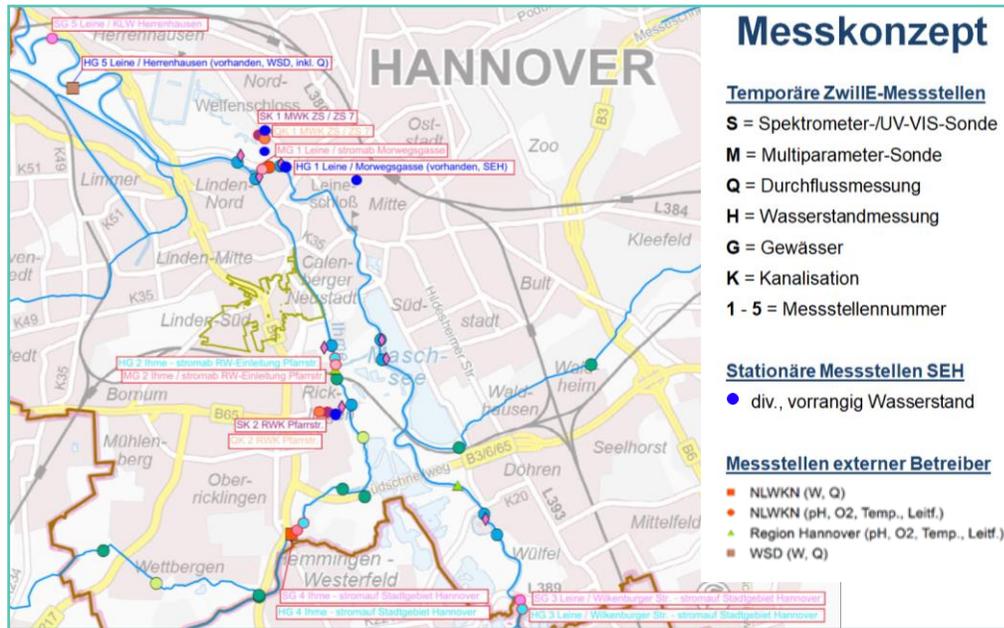
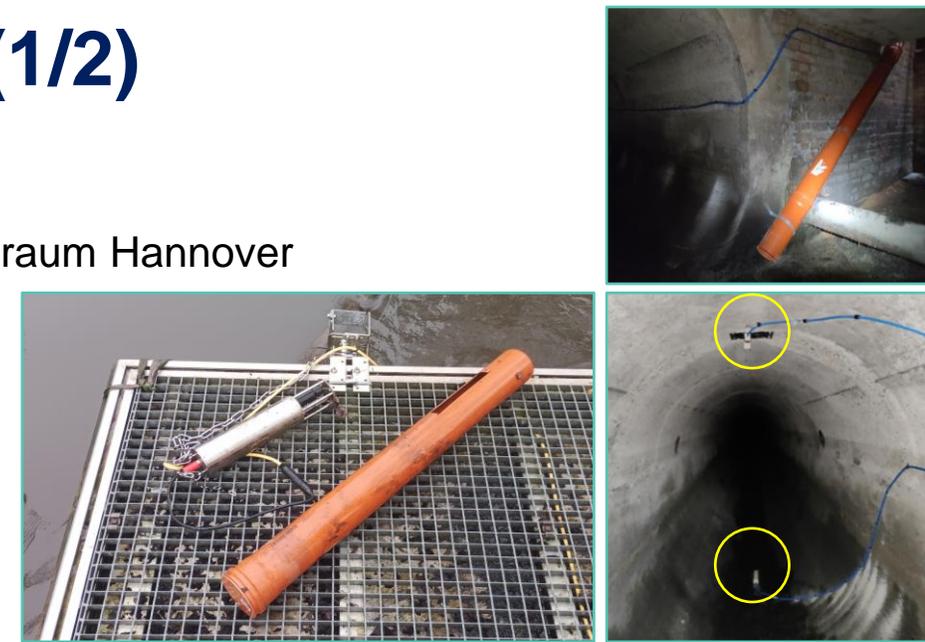
- Spezifikation der Daten- und Kommunikationsinfrastruktur
- Entwicklung einer Komponente zur Verwaltung der Datenkommunikation vom und zum FIWARE Context Broker, die die Anbindung von externen Datenquellen (z.B. von GO oder NIVUS Gateways) erleichtert
- Dabei Unterstützung zahlreicher Schnittstellenformate, z.B. File, HTTP(S), FTP(S), REST, SOAP, MQTT, AMQP, Kafka, Datenbanken, ...
- Abstimmung eines technischen Ansatzes mit SEH, um Echtzeitmessdaten (hydrologisch, meteorologisch) von Bestandssensorik aus dem SEH-Leitstellennetzwerk für den Digitalen Zwilling verfügbar zu machen
- Datensilos können aufgebrochen und Daten automatisiert aus unterschiedlichen, verteilten Quellen in eine einheitliche Struktur zusammengeführt und für eine sich anschließende Analyse und Visualisierung bereitgestellt werden
- Ansatz ist mit geringem Anpassungsbedarf für andere Anwendungsfälle außerhalb von Hannover replizierbar



Messdatenerfassung und -verarbeitung (1/2)

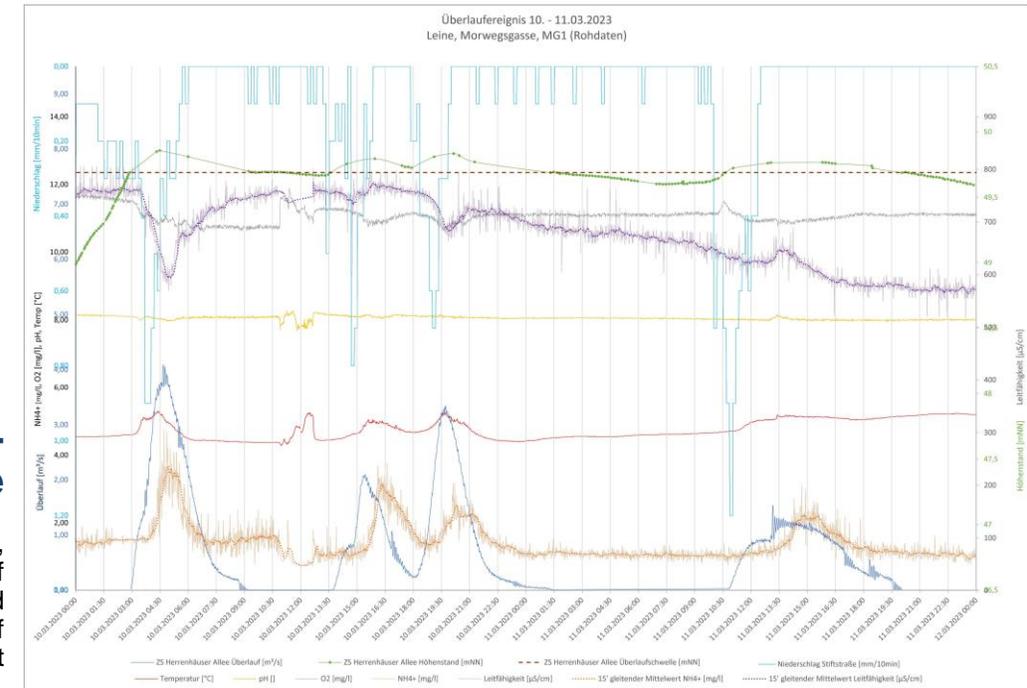
Ergebnisse

- Datenrecherche und -strukturierung zu bisherigen Messkampagnen im Großraum Hannover sowie Herausarbeiten von Erkenntnissen über Wasser-Extremereignisse
- Konzept des Messprogramms für Wassermengen und -beschaffenheit (in Kanalisation, Klärwerken, Gewässern; Neu- und Bestandssensorik; letztere von SEH sowie von externen Betreibern)
- Installation und Inbetriebnahme der neuen Messtechnik (Multi-Parameter-Sonden, UV/VIS-Spektrometer, portable Durchflussmesstechnik)
- Regelmäßige Sensorkalibrierung, Online-Bereitstellung der Messdaten



Mess- ergebnisse

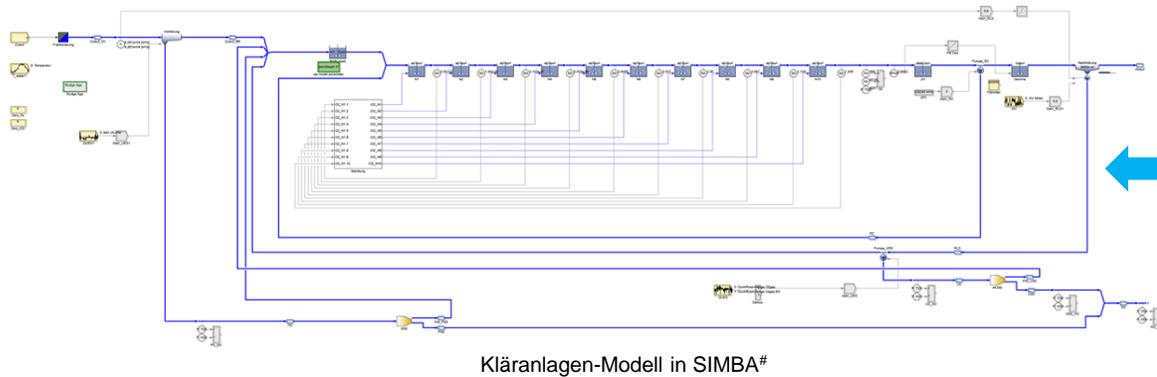
Niederschlag,
Mischwasserüberlauf
und
Auswirkungen auf
Gewässerbeschaffenheit



Messdatenerfassung und -verarbeitung (2/2)

Ergebnisse

- Installation der neuen mobilen Sensorik auf den Klärwerken
- Planung und Vorbereitung der Feldkalibrierung der installierten Neusensorik mittels Bestandssensorik und zusätzlicher Laboranalytik
- Anschließend: Flexible Standortwahl der mobilen Sensorik an verschiedenen Stellen auf den Klärwerken zur Kalibrierung der Kläranlagen-Modelle in SIMBA#
- Umsetzung eines Konzepts zur Datenverarbeitung und -qualitätssicherung sowie zur kontinuierlichen Datenkommunikation



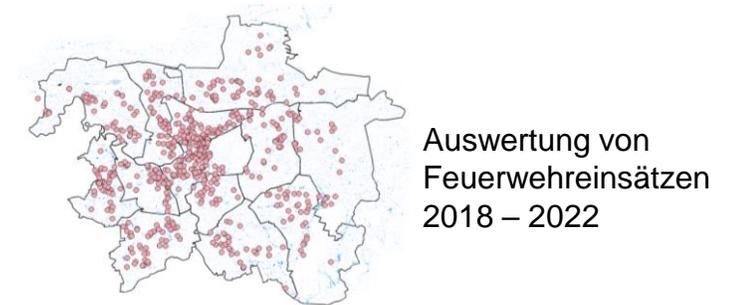
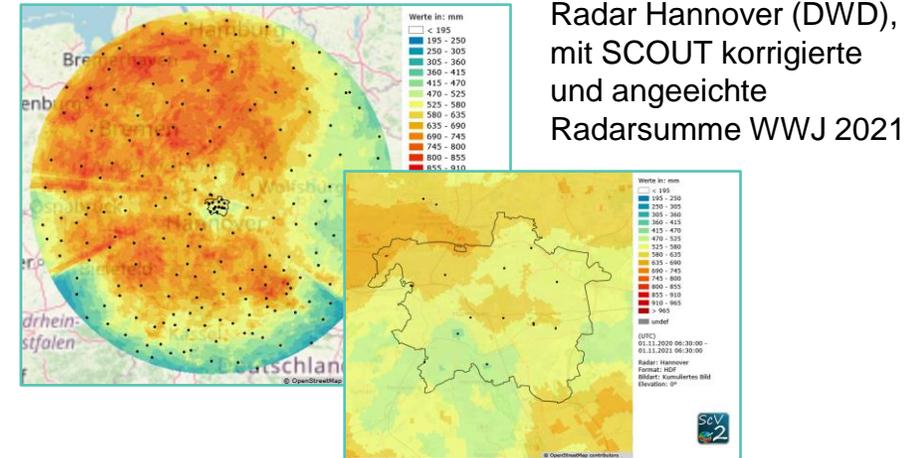
Installation der mobilen Messtechnik auf dem Klärwerk Herrenhausen



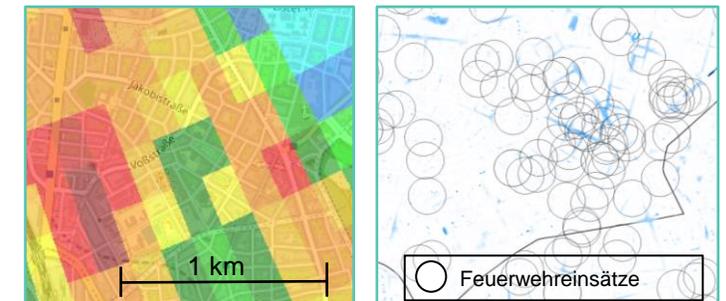
Hochauflösende Prognosemodelle für extreme Niederschlagsereignisse

Ergebnisse

- Aufbereitung historischer Niederschlagsmessdaten (vom DWD und SEH)
 - Qualitätsprüfung von Stationsmessungen, automatisierte Korrektur und Aneichung von Radardaten mit Stationsmessungen
 - Berechnung von radarbasierten Teil-Einzugsgebietssummen für Hannover (Kanalsystem und Gewässer) für den Zeitraum 2001 – 2021 als Input für die Durchführung von Szenarioanalysen in SIMBA#
- Echtzeitsystem zur Bereitstellung von Echtzeitmessdaten und Niederschlagsprognosen als Online-Dienst
 - Entwicklung eines Verfahrens zur automatisierten Korrektur und Quasi-Aneichung von Radardaten in Nahezu-Echtzeit
 - Berechnung von Ensemble-Nowcasts mit einer Vorhersagezeit von bis zu zwei Stunden auf Basis von Radardaten in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung (Radar Hannover, polar Sweep, 250 m x 1°, Zeitschritt 5 min)
- Überflutungsvorhersage
 - Entwicklung eines Verfahrens zu Überflutungsvorhersage auf Basis von Ensemble-Nowcasts (zur Berücksichtigung von Vorhersage- und Messunsicherheiten) und stadtweit vorhandenen Überflutungskarten
 - Prototypische Visualisierung mit WebGIS
 - Validierung anhand von dokumentierten Feuerwehreinsätzen und Überflutungssimulationen für zwei exempl. Untersuchungsgebiete im gekoppelten 1D/2D-Modell



Ereignisanalyse: Niederschlag, Überflutungen und Feuerwehreinsätze



Entwicklung des integrierten Simulationsmodells

Ergebnisse

Erarbeitung der integralen Komponenten des Simulationsmodells:

- **Kanalnetz, einschl. Niederschlags-Abfluss-Modellierung**
Unterschiedliche Kanalnetzmodelle für unterschiedliche Use Cases:
 - Hydrodynamische (sehr detaillierte) Abflusssimulation
 - Hydrologische (vereinfachte) Abflusssimulation
 - Kombinierte hydrodynamisch-hydrologische Abflusssimulation
- **Pumpwerke (Aufteilung des Abwassers auf die Klärwerke)**
- **Klärwerksverbund aus zwei Klärwerken**
- **Berücksichtigung von Oberflächengewässern**
- **Steuerungslogik**

Einbindung in den Digitalen Zwilling mit Hilfe des Open Source Frameworks ifakFAST: <https://fast.ifak.eu/>

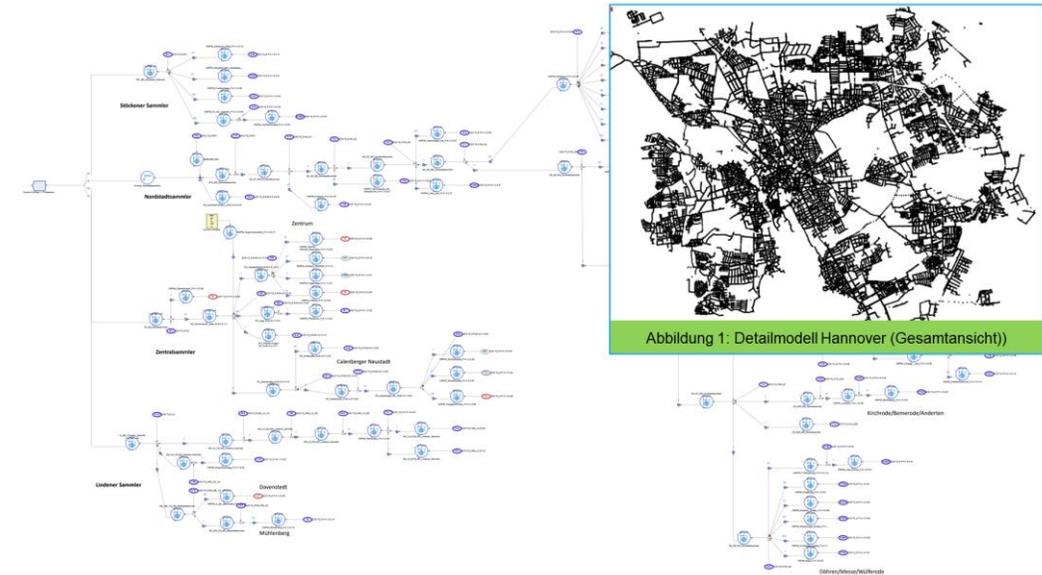


Abbildung 1: Detailmodell Hannover (Gesamtansicht)

Abbildung 2: Kanalnetzmodell Hannover

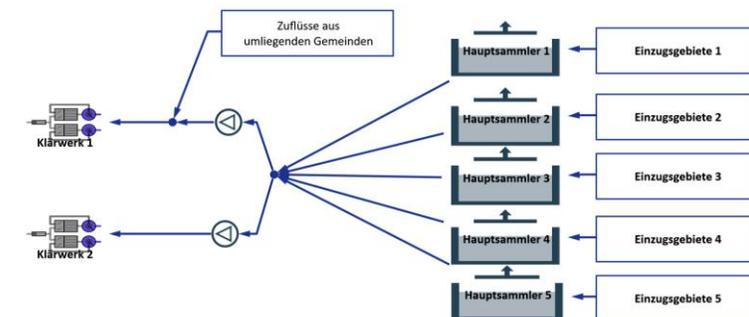


Abbildung 3: Grobschema des Gesamtsystems „Abwasser Hannover“

Nachvollziehbare Entscheidungsassistenz und Erhebung von Erfahrungswissen (1/2)

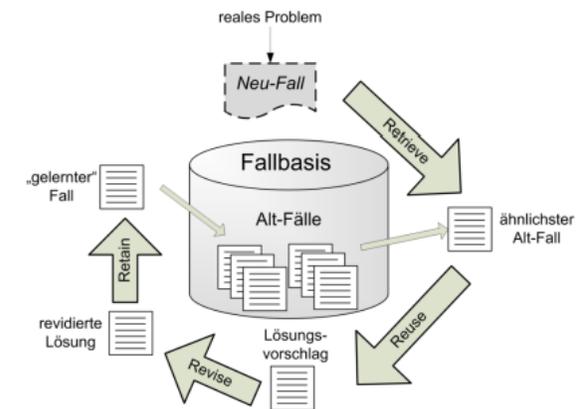


Zielsetzung

- Entwicklung eines KI-basierten Assistenten, der dem technischen Betriebspersonal kurzfristige Maßnahmenvorschläge für ein Agieren in akuten/realen oder fiktiven hydrologischen Krisensituationen liefert
- Dabei Einbeziehung von zuvor erhobenem Erfahrungswissen des Betriebspersonals bzw. von externen Experten zu geeigneten Lösungsansätzen in hinsichtlich ihrer Merkmale vergleichbaren früheren Situationen
- Verbesserung der Nachvollziehbarkeit, Akzeptanz und der späteren Umsetzungschancen durch eine transparente Erläuterung der vorgeschlagenen Handlungsempfehlungen mittels regel- oder fallbasierter Wissensmodelle (Erklärbare KI)

Lösungsansatz

- Anwendung eines Case-based Reasoning (CBR) Ansatzes
- CBR = KI-Methode zum Lösen von Problemen durch analoges Schließen auf Basis eines sog. Case Repository, in dem bereits gelöste Problemsituationen als Fälle gespeichert sind
- Vektor Embeddings: Aktuelle und frühere Fälle werden durch mehrdimensionale Eigenschaften beschrieben und in numerische Vektoren umgewandelt
- K-Nearest-Neighbour-Algorithmus: Der Vektor des aktuellen Falls wird mit den Fallvektoren aus dem Case Repository verglichen, um diejenigen früheren Fälle mit der größten Ähnlichkeit zum aktuellen Problem (gemessen z. B. anhand des euklidischen Abstands) zu ermitteln
- Basierend auf den ähnlichsten Fällen aus dem Case Repository werden passende Lösungen für den aktuellen Fall für das Fachpersonal in nachvollziehbarer Weise vorgeschlagen

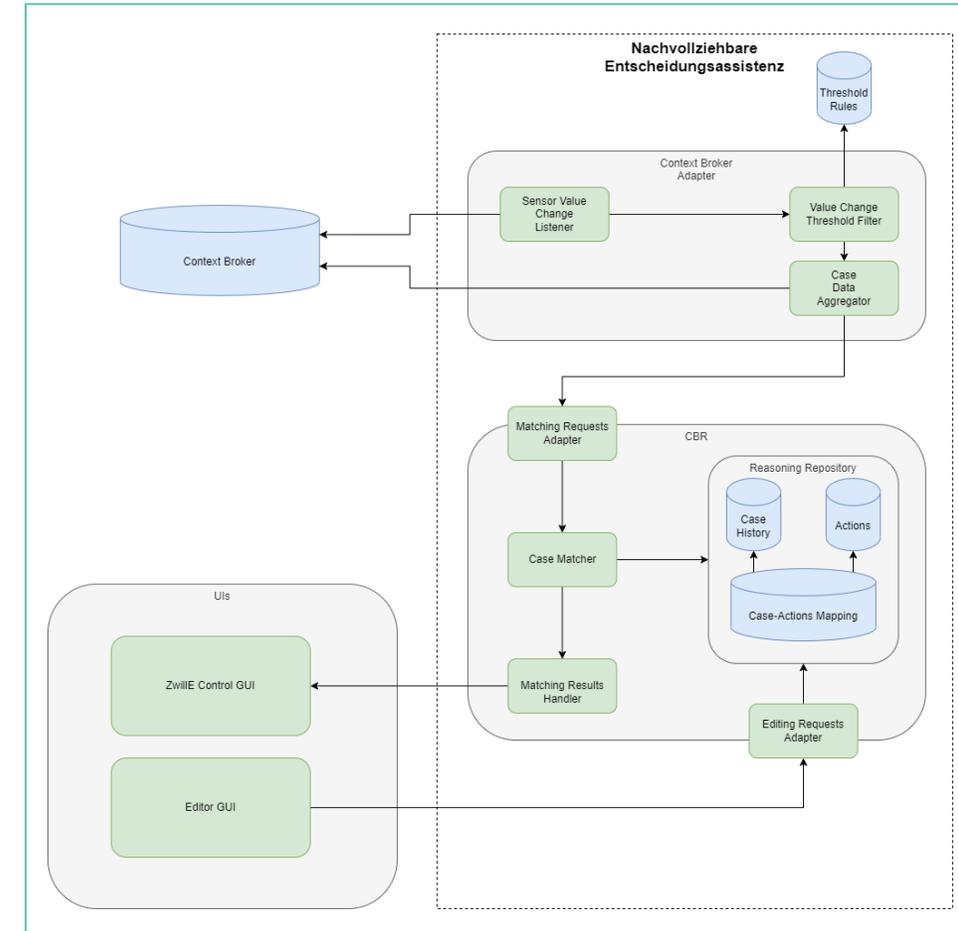
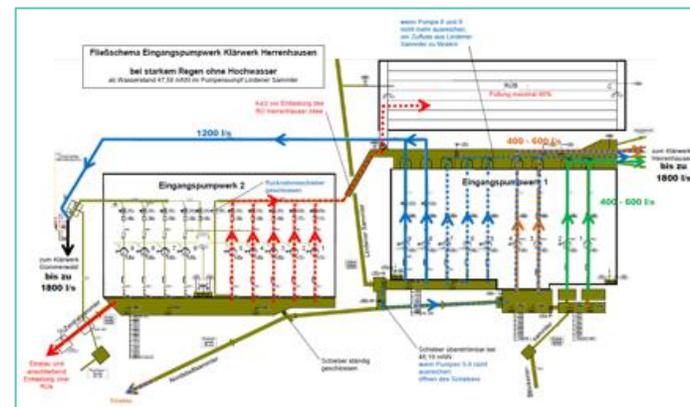


Quelle: Kowalski / Kater (2011): Case-based Reasoning in Supply Chains, S. 10

Nachvollziehbare Entscheidungsassistenz und Erhebung von Erfahrungswissen (2/2)

Ergebnisse

- Erstellung einer funktionalen Spezifikation und Micro-Services-Architektur für eine CBR-basierte nachvollziehbare Entscheidungsassistenz
- Definition eines Datenmodells zur multidimensionalen Beschreibung von Problemsituationen / Fällen
 - Ursächliches / auslösendes Niederschlagsereignis
 - Resultierende hydrologische Situation (Wassermengen und -beschaffenheit) innerhalb des Entwässerungssystems
 - Lösungsbeschreibung und Angaben zu deren Bewährungsgrad
- Proof-of-Concept Umsetzung des CBR-Tools mit generierten Testdaten
- Auswertung und Formalisierung von bei SEH dokumentiertem Erfahrungswissen zur Steuerung der Eingangspumpwerke der Klärwerke als Wissensbaustein für die Entscheidungsassistenz
- Vorbereitung von Befragungen des Betriebspersonals zur Sammlung von ergänzendem implizitem Erfahrungswissen



Bisherige Maßnahmen im Bereich Ergebnistransfer und Vernetzung



Wiss. Konferenzbeiträge:
3



Fachvorträge:
7



Sonstiges:
3

Ergebnistransfer und Vernetzung

Projektvorstellungen auf Messen:
2



Betreuung v. Abschlussarbeiten:
4

Vernetzungsaktivitäten:
7



Vielen Dank

Kontakt: Dr. Alexander Krebs (alexander.krebs@eviden.com)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Stadtentwässerung
Hannover
Wir klären das.



hydro & meteo

