

# WaX – Verbundprojekt Zwille

## Projektergebnisse

12.03.2025 | WaX-Abschlusskonferenz, Berlin

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**FONA**

Nachhaltiges Wassermanagement

**WaX**  
Wasser-Extremereignisse

# Ausgangslage und Herausforderungen

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

## Zu überwindende Herausforderungen

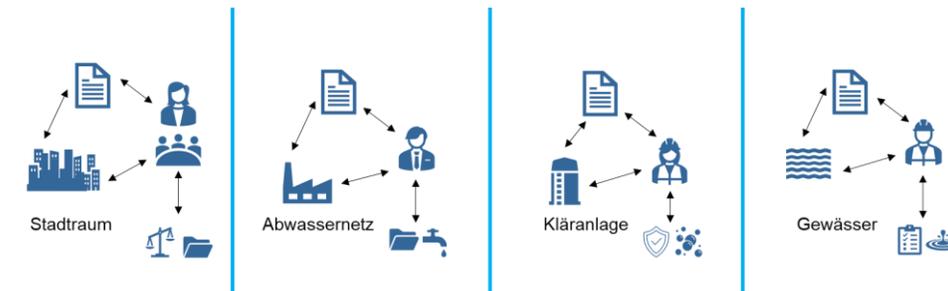
- Fehlende Vernetzung der verschiedenen Teilbereiche im Wassersektor (separate Datensilos)  
→ fehlendes ganzheitliches Datenbild
- Integrale Betrachtung scheitert u.a. an fehlenden Daten, veraltetem Datenmanagement, unzureichender Datenstandardisierung
- Digitalisierungsansätze für Prognose und Risikomanagement 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: Julian Stratenschulte, dpa



Quelle: Julian Stratenschulte, dpa



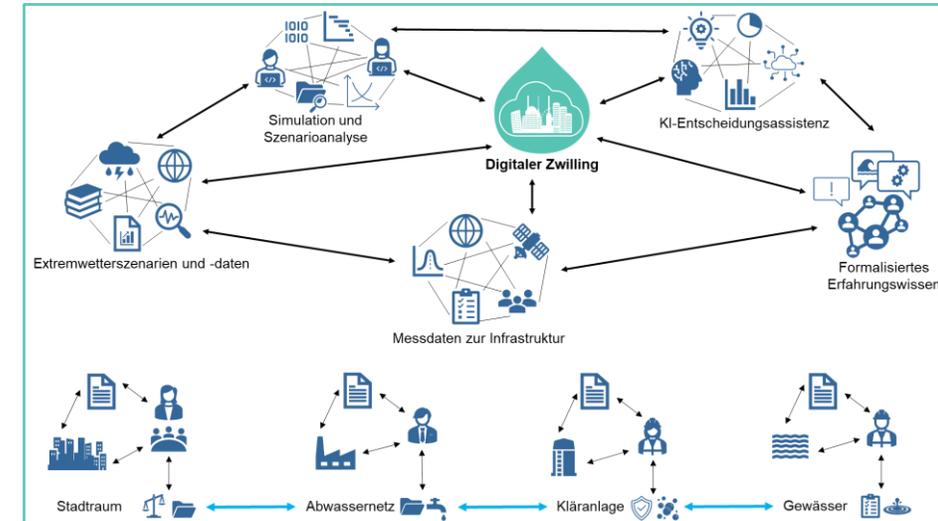
Teilbereiche im Wassersektor

# 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?



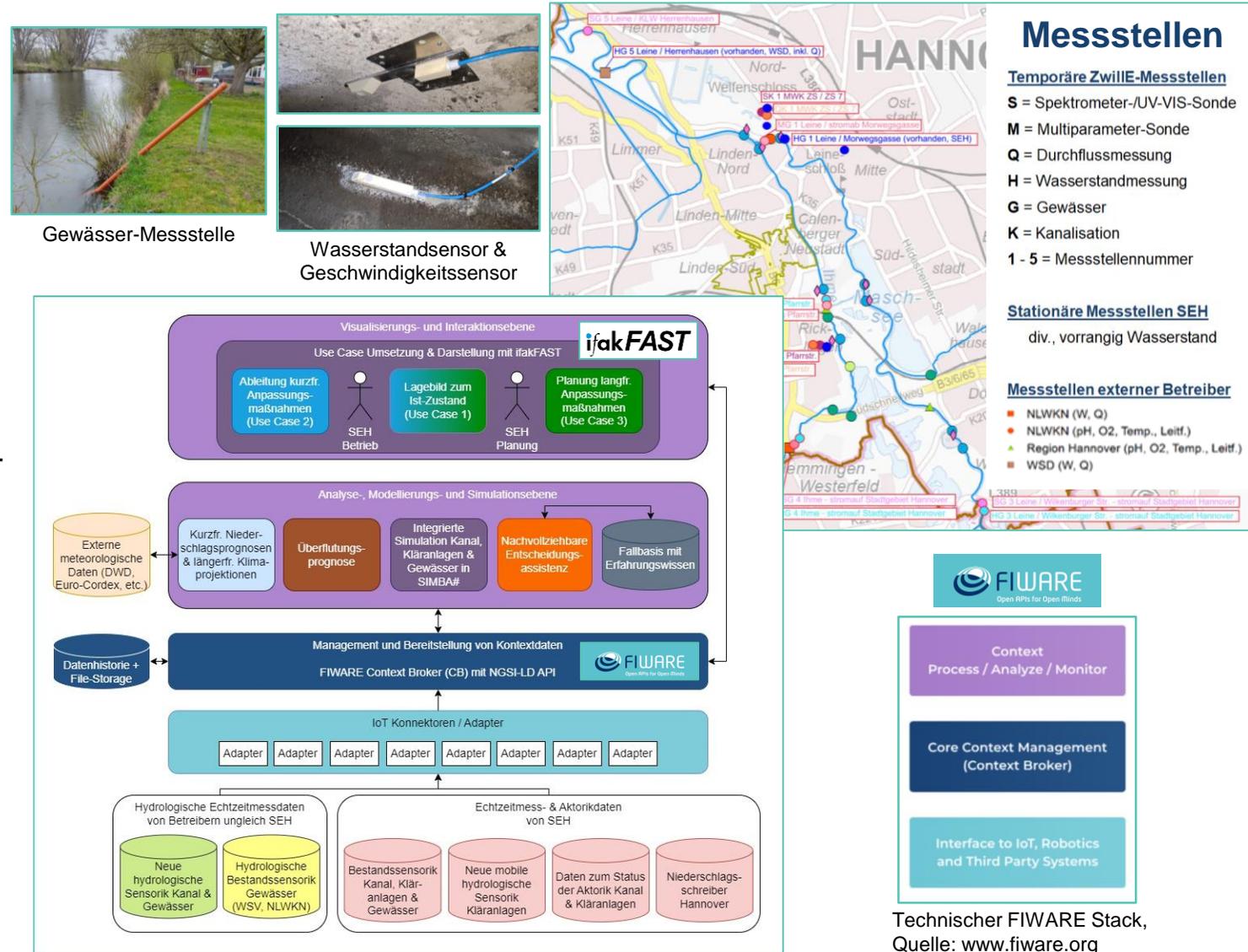
3



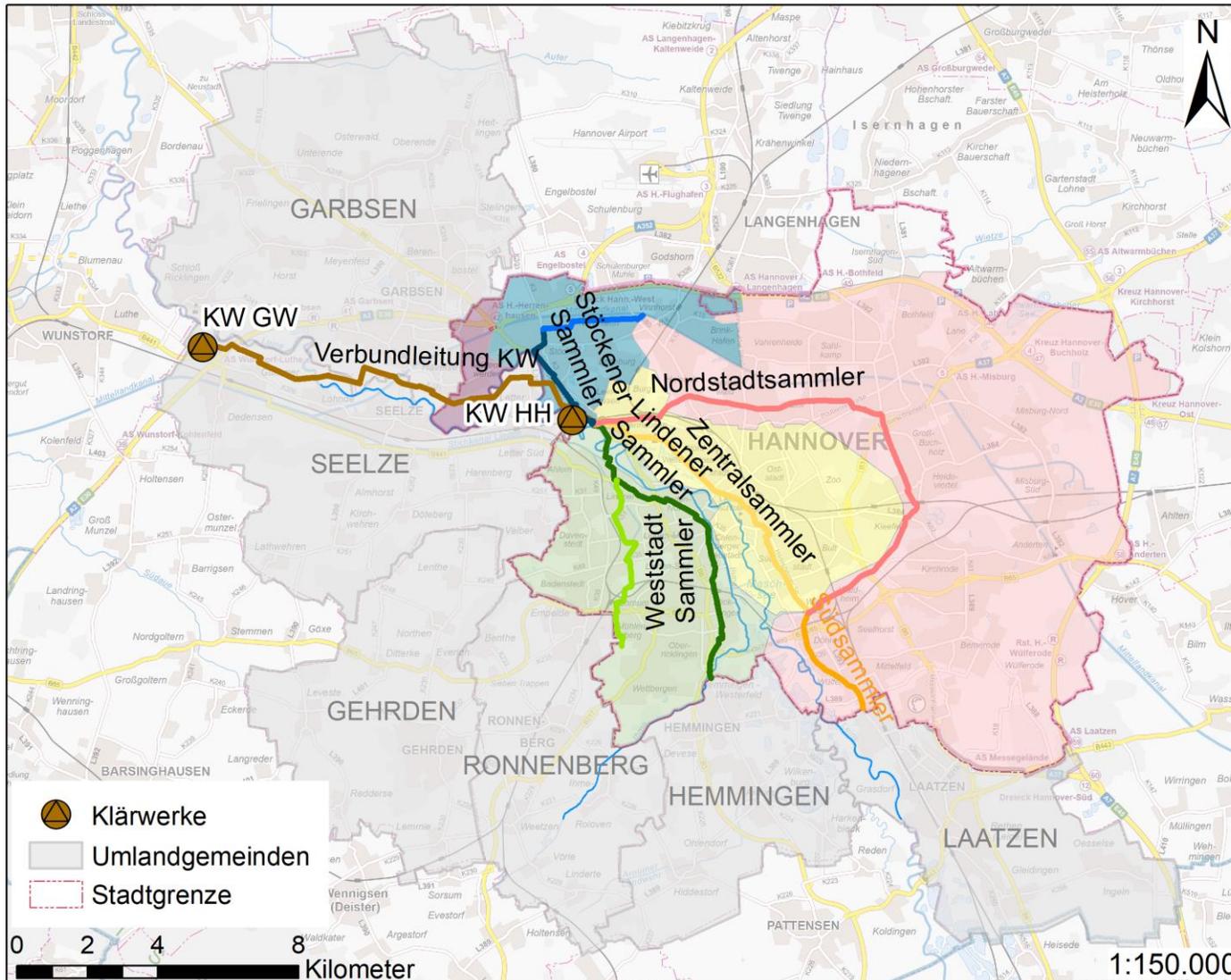
# Systemarchitektur & Daten- und Kommunikationsinfrastruktur (DKI)



- Entwicklung eines **technischen Architekturkonzepts** für die **Integration der versch. Teilkomponenten** des Digitalen Zwillinges in ein Zwille-Gesamtsystem
- Umsetzung einer **Daten- und Kommunikationsinfrastruktur (DKI)** unter Nutzung des **FIWARE-Frameworks** (= offener, wiederverwendbarer und übertragbarer Open-Source-Software Ansatz)
- Realisierung einer **Komponente zur Konfiguration und Verwaltung der Datenkommunikation** mit der DKI, die die **Anbindung von verteilten Datenquellen erleichtert** (z.B. über die Gateways von Messtechnik-Herstellern wie GO Systemelektronik oder NIVUS)
- **Unterstützung zahlreicher Schnittstellenformate** (z.B. File, HTTP(S), SFTP, REST, MQTT, CSV)
- Entwicklung eines **technischen Ansatzes zur Einbindung von Echtzeitmessdaten** (hydrologisch, meteorologisch) **von SEH-Bestandssensoren**
- **Datensilos werden aufgebrochen** und Daten aus unterschiedlichen, verteilten Quellen in eine einheitliche Struktur zusammengeführt
- **Visualisierung von Messdaten, Prognosen und Simulationsergebnissen** mit der OSS **ifakFAST**



# Echtzeitfähiges integriertes Simulationsmodell



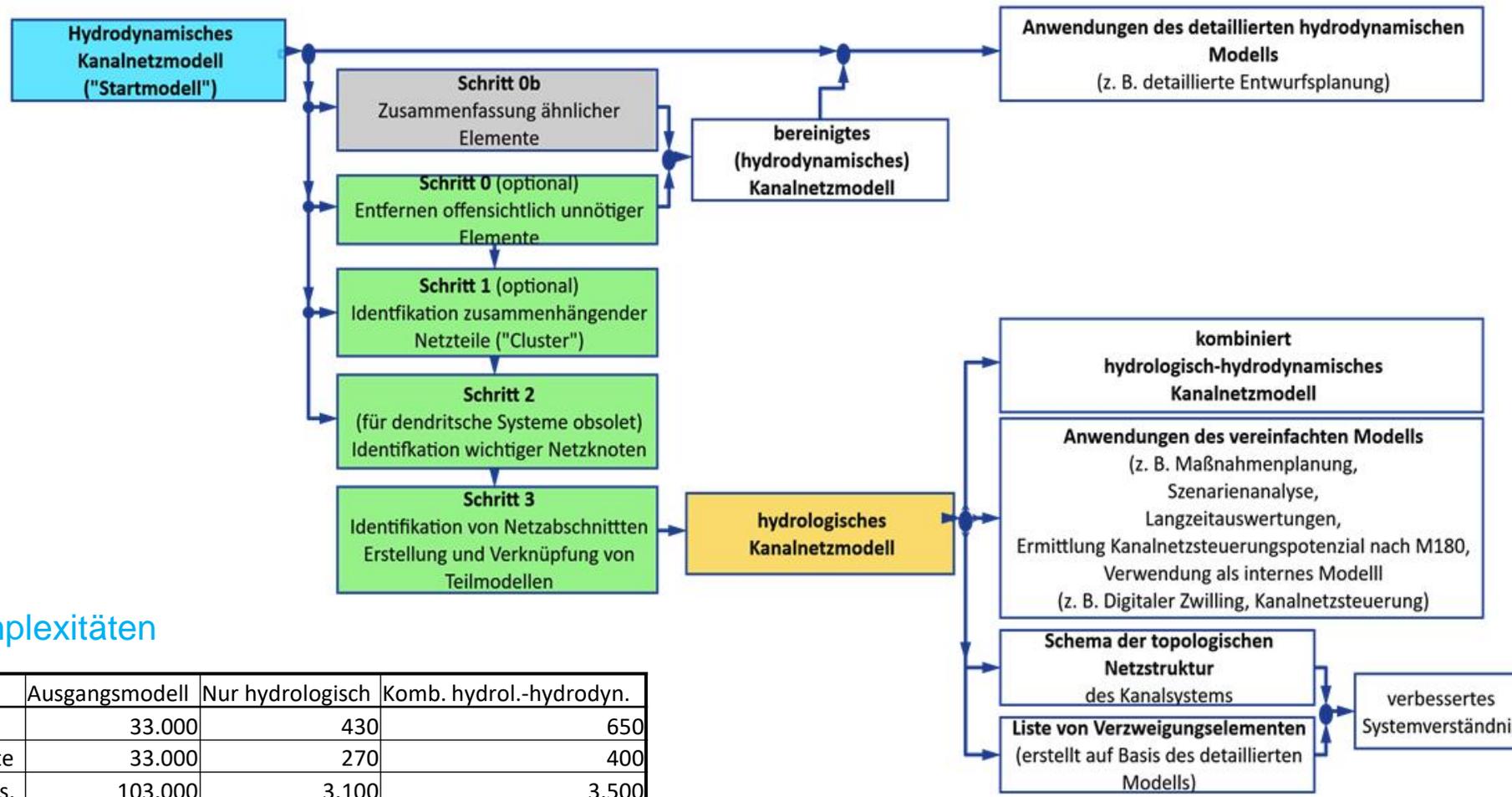
Quelle: Stadtentwässerung Hannover

## Einzugsgebiet Landeshauptstadt Hannover

- 550.000 Einwohner
- 204 km<sup>2</sup> Stadtfläche
- Kanalnetz:
  - Misch- und Trennsystem
  - Länge 2.548 km
  - 5 große Hauptsammler (∅ bis zu 3 m)
  - 65.000 Haltungen
  - 62 Abwasserpumpwerke
  - 54 Regen- und HW-Pumpwerke
  - 71 Regenrückhaltebecken
- Entwässert in Leine, Ihme und Wietze (über 400 Einleitstellen)
- Länge Gewässer: 152 km
- 2 Klärwerke im Verbund mit Kapazität von insg. 1,25 Mio. Einwohnergleichwerten
- „Abwassergäste“ aus 6 Umlandgemeinden

# Echtzeitfähiges integriertes Simulationsmodell

## Erarbeitete Methodik der Modellreduktion für den Digitalen Zwilling



## Modellkomplexitäten

	Ausgangsmodell	Nur hydrologisch	Komb. hydrolog.-hydrodyn.
Rohre	33.000	430	650
Einzugsgebiete	33.000	270	400
Module insges.	103.000	3.100	3.500

# Echtzeitfähiges integriertes Simulationsmodell

## Ergebnisse

Automatisierte Methodik zur Modellvereinfachung

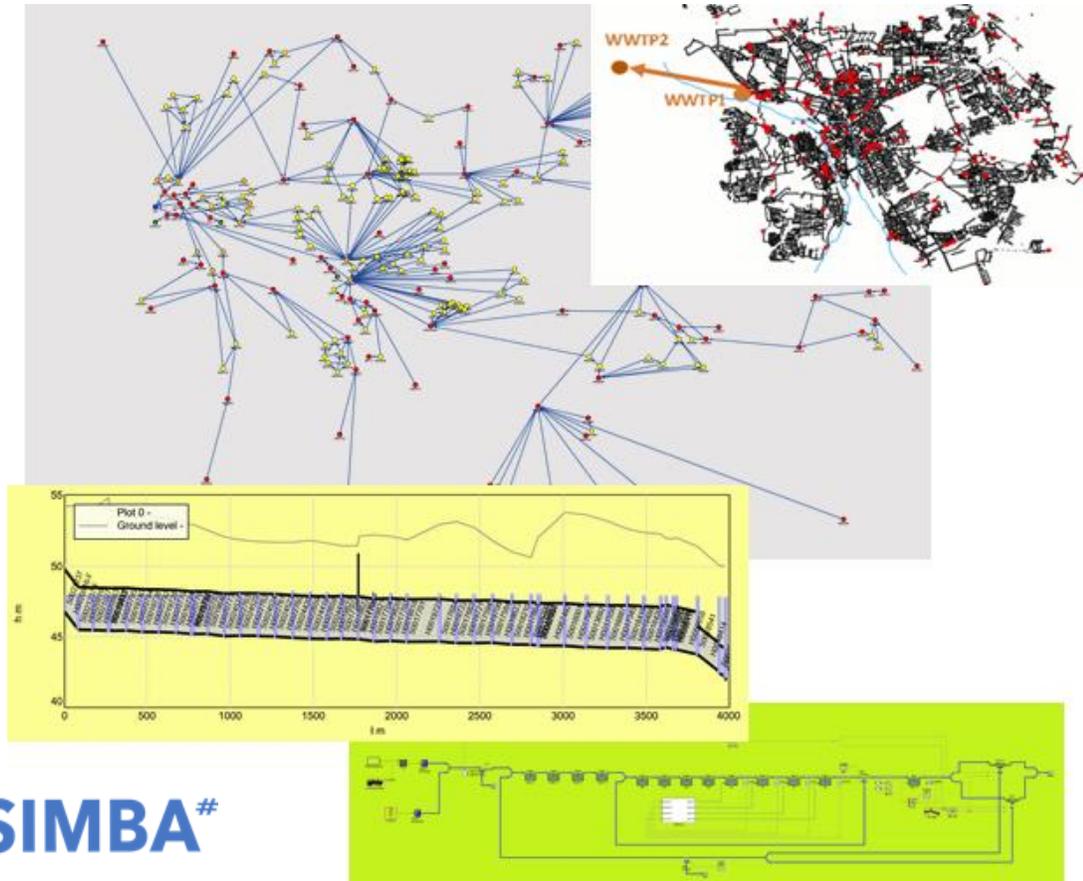
Erarbeitung der integralen Komponenten des Simulationsmodells:

- Kanalnetz, einschließlich Niederschlags-Abfluss-Modellierung

Unterschiedliche Kanalnetzmodelle für verschiedene 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
  - Implementierung im Simulationssystem SIMBA#

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



# Überflutungsberechnung mit RadEF

Entwicklung eines Verfahrens zur Überflutungsabschätzung auf Basis von Radardaten und stadtweit vorhandenen Überflutungskarten

RadEF für: Radar based fast Estimation of Flooding

**Vorbereitung:** Gekoppelte 2D-Oberflächenabfluss- und 1D-Kanalnetz-Simulationen  
– gesamtes Kanalnetz, alle städtischen Oberflächen

**Zwischenschritt:** Auswertung von Niederschlagsdaten nach der maximalen Wiederkehrzeit über Dauerstufen von 15 Min. bis 24 Std., Einteilung in Risikoklassen

*Lange Rechenzeit –  
Verwendung für Nachsimulationen*

Simulationen auf Basis von Modellregen für 7 Wiederkehrzeiten von 2 bis 100 Jahren

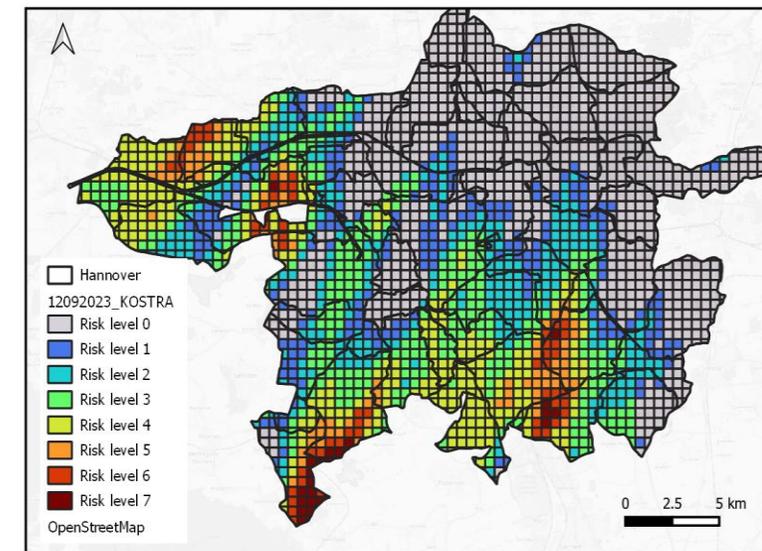


Eingangsdaten für RadEF

Simulation von 10 Starkregenereignissen, Zeitraum 2002 – 2023, mit angeeichten Radardaten



Referenzsimulation für Validierung



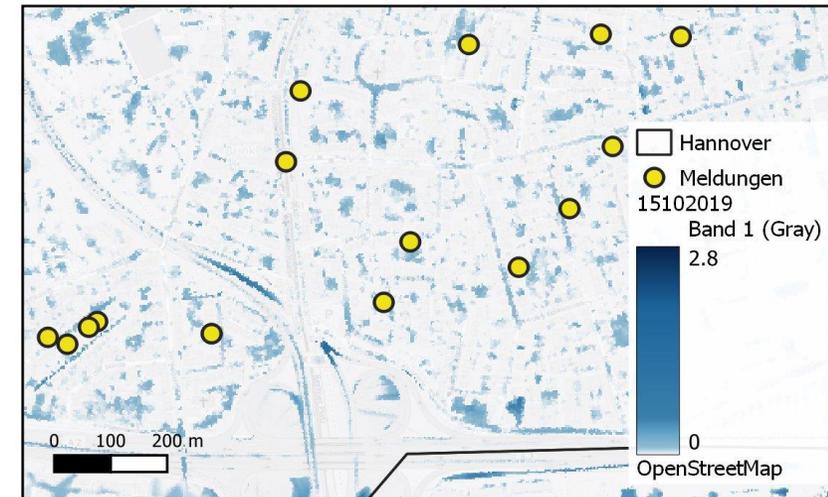
**Erstellung von Überflutungskarten:** durch mosaikartige Verschneidung von vorhandenen Überflutungskarten anhand der 500 m-Risikokarten

*GIS-gestützte Modellierung*

## Ergebnis:

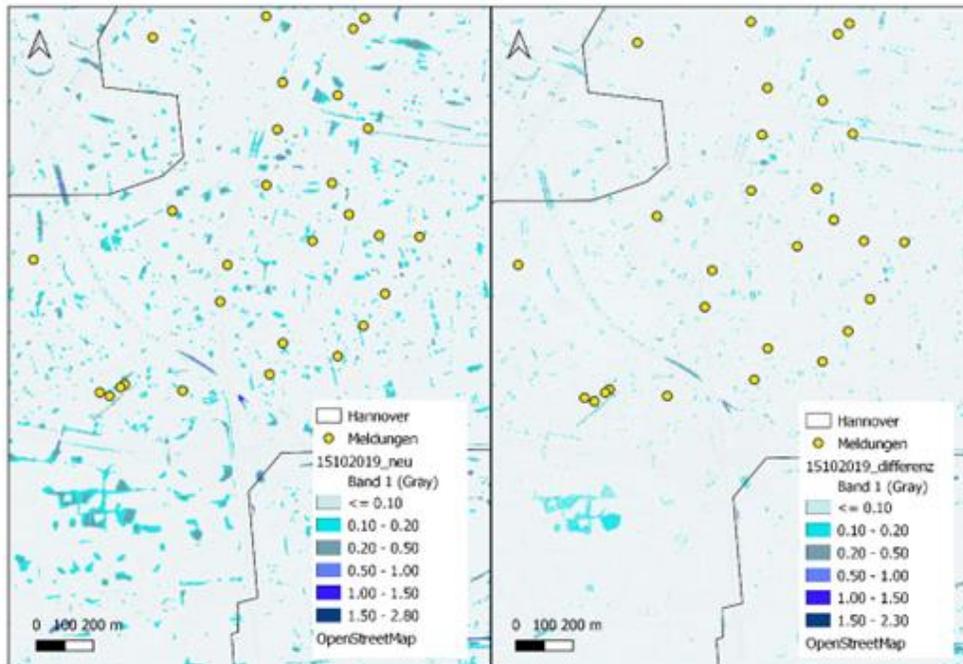
**Überflutungskarte** (max. Wasserstand) für das jeweilige Regenereignis, **stadtweit auf einem 3 m Raster**

- Kurze Berechnungszeit (< 2 Min.) für ein Starkregenereignis
- Geeignet für den Echtzeit-Einsatz im Digitalen Zwilling!
- Berechnung von mehreren Karten:
  1. Überflutung – aktuell
  2. Überflutung – Vorhersage
  3. Überflutung – maximale Vorhersage



## Validierung durch Vergleich mit Referenzsimulationen im gekoppelten 1D/2D-Modell

- Weitgehend gute Übereinstimmung der resultierenden Wasserstände bei 10 realen Ereignissen davon 7 unabhängige, z.B. Pearson Korrelation: 0,81
- Für Wasserstände oberhalb des Grenzwerts von 0,5 m ergibt sich im Mittel:  
Trefferquote POD = 72%, Anteil von falschen Alarmen FAR = 34%



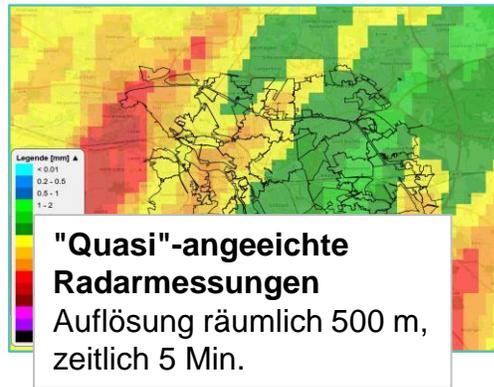
Wasserstand [m] als Ergebnis des RadEF-Verfahrens

Abs. Differenz [m] im Vergleich zur Referenzsimulation

Ereignis	Dauer [h]	RadEF mittl. Wasserstand [m]	Pearson Correlation	MAE [m]	RMSE [m]	POD	FAR	CSI
						w > 0,5 m	w > 0,5 m	w > 0,5 m
15.10.2019*	2	0,03	0,82	0,02	0,06	0,99	0,66	0,34
16.06.2020*	3	0,03	0,82	0,02	0,05	0,73	0,3	0,55
14.08.2020*	2	0,02	0,83	0,01	0,05	0,92	0,62	0,37
17.07.2002	48	0,01	0,72	0,01	0,06	0,45	0,11	0,43
22.05.2002	2	0,03	0,81	0,02	0,05	0,87	0,41	0,55
25.06.2006	4	0,01	0,86	0,01	0,05	0,63	0,24	0,53
26.08.2010	24	0,02	0,84	0,02	0,06	0,52	0,12	0,49
22.06.2017	1	0,02	0,81	0,01	0,04	0,76	0,29	0,58
28.07.2018	12	0,01	0,81	0,01	0,04	0,92	0,57	0,42
12.09.2023	24	0,01	0,8	0,01	0,05	0,39	0,04	0,38
<b>Mittelwert</b>		0,02	0,81	0,01	0,05	0,72	0,34	0,46

Quelle: Jasper-Tönnies et al., 2025; eingereicht in: Hydrologie und Wasserwirtschaft

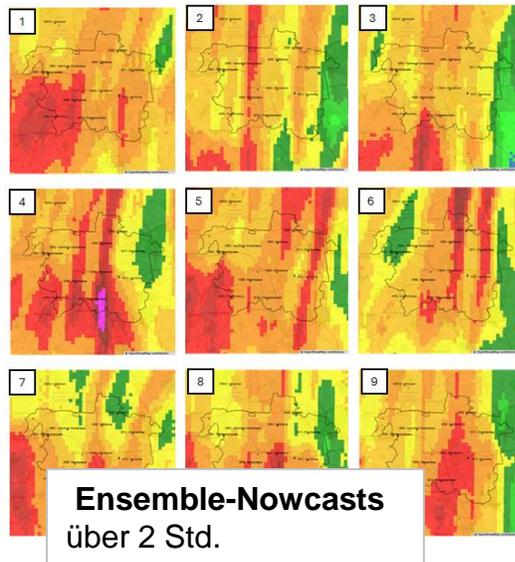
# RadEF: Echtzeit-Einsatz im Digitalen Zwilling



RadEF



mit Software SCOUT hydro & meteo



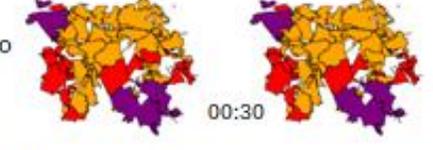
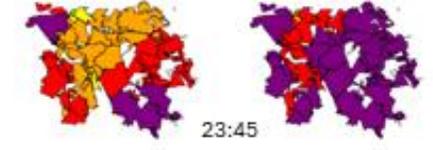
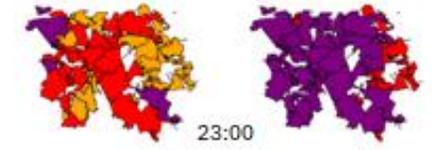
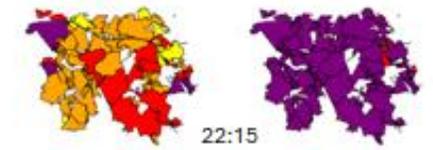
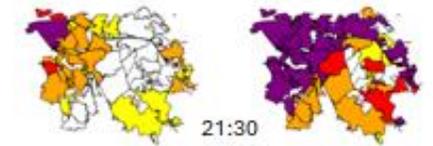
RadEF



RadEF



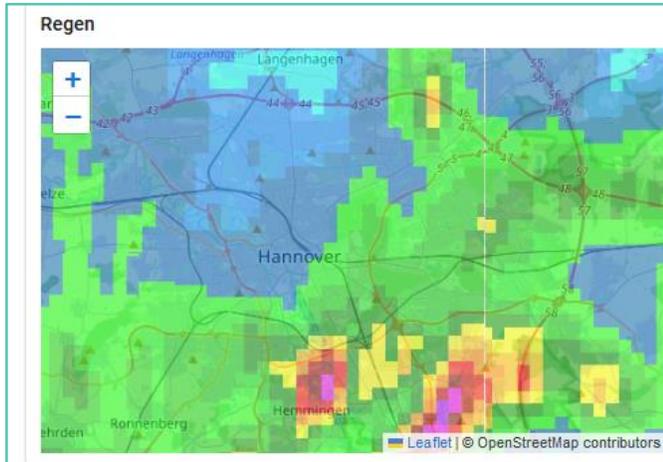
2h Vorhersage Maximum von 10 Ensembles



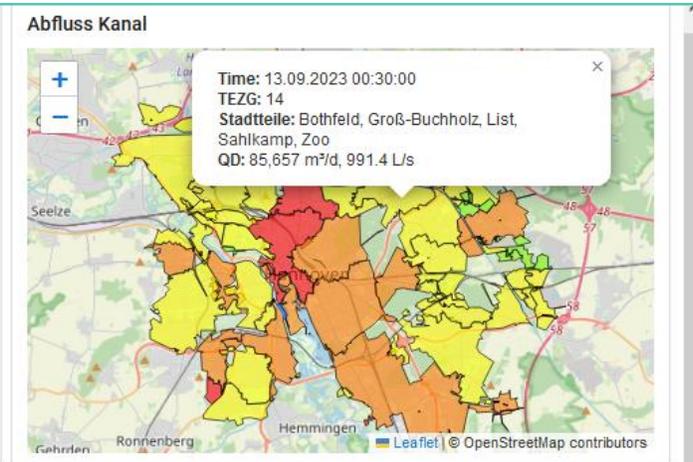
Überflutungsrisiko aus Vorhersage und max. Vorhersage von 10 Ensembles, Beispiel: Starkregenereignis vom 12.09.2023

# Frontend zur integrierten Ergebnisdarstellung

Karte 1: Niederschlagsituation  
(aktuell und Vorhersage)



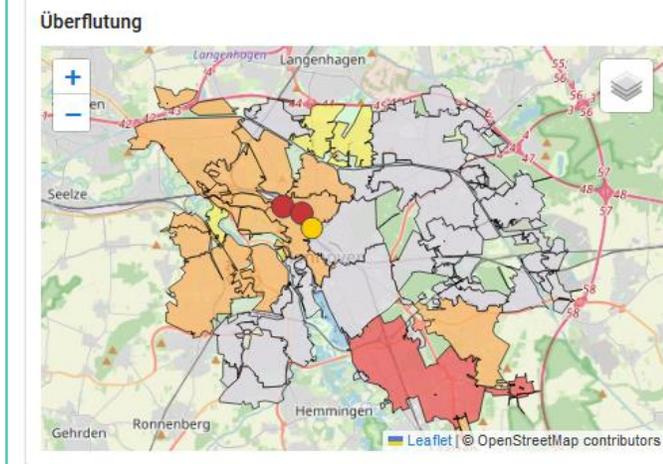
Karte 2: Belastungssituation Kanal  
(aktuell und Vorhersage) sowie Maßnahmvorschläge



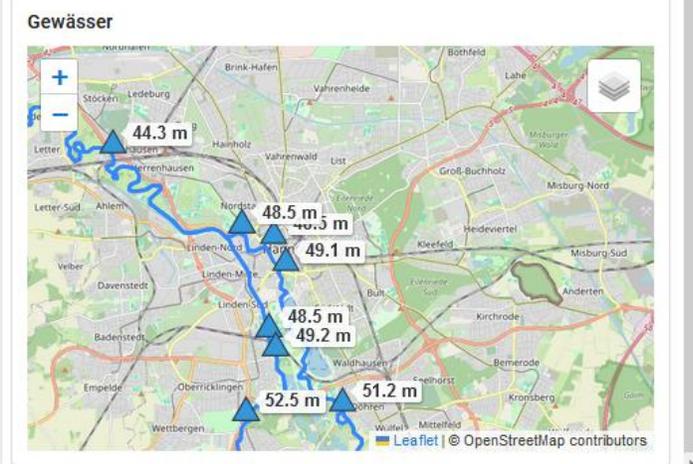
## Einstiegsseite des Digitalen Zwillings

- Adressatenkreis: Betriebsmitarbeitende der Stadtentwässerung Hannover (Leitwarte Kanal sowie Leitwarte Klärwerk), d.h. Fachpersonal und nicht allgemeine Bevölkerung
- 4 Übersichtskarten, jeweils mit detaillierteren Unteransichten
- Darstellung der Ist- (= Anwendungsfall 1) sowie der Prognose-Situation (= Anwendungsfall 2) des integrierten Entwässerungssystems mit seinen verschiedenen Teilbereichen

Karte 3: Überflutungssituation auf der Oberfläche  
(aktuell und Vorhersage) sowie Maßnahmvorschläge



Karte 4: Situation im Gewässer – Pegelstände und Wasserqualität  
(aktuell) sowie Maßnahmvorschläge (betriebl. Hochwasserplan)



# Übertragbarkeit und Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis

## Weiterentwicklung und Nutzung des Digitalen Zwillings bei der Stadtentwässerung Hannover

Stadtentwässerung  
**Hannover**  
Wir klären das.



Nutzung der automatisierten Methode zur Erstellung hochperformanter DZ-Simulationsmodelle aus detaillierten Kanalnetzmodellen / -datenbanken für andere Anwendungsfälle

Kombinierte Online-Erfassung von Einleitungen und daraus resultierenden Auswirkungen im Gewässer (Wassermenge und -beschaffenheit) unter Nutzung der DK1 zur Anbindung von unterschiedlichen verteilten Datenquellen

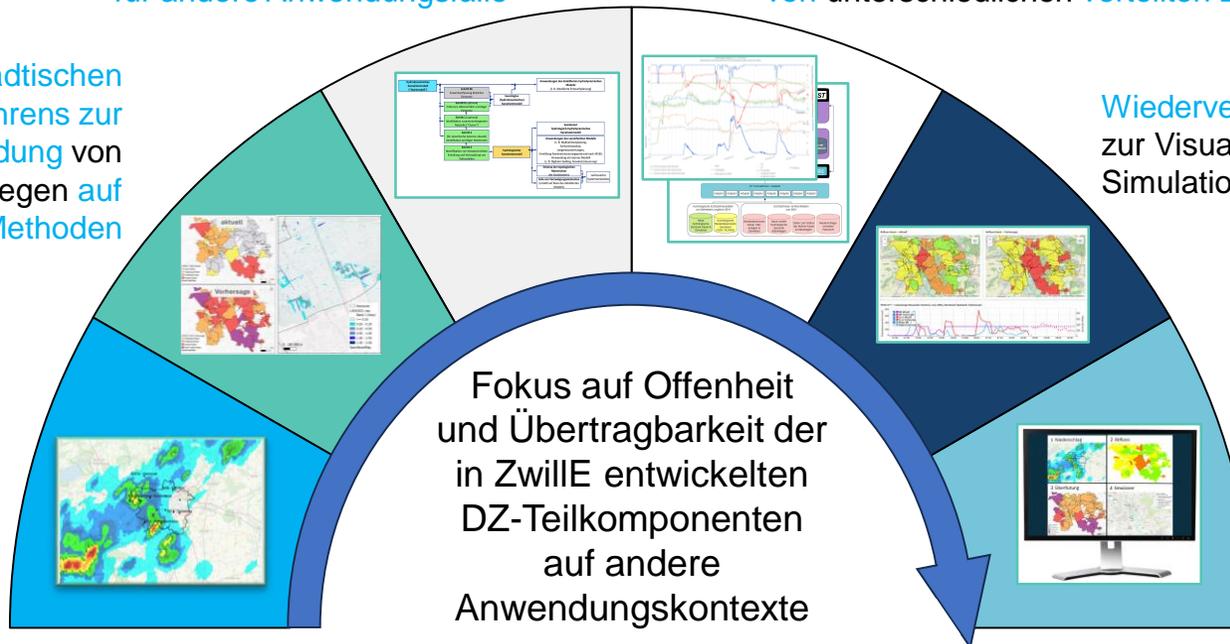
(Weiter-)Entwicklung von städtischen Warnsystemen unter Nutzung des Verfahrens zur Vorhersage der Überflutungsgefährdung von urbanen Einzugsgebieten durch Starkregen auf Basis wenig rechenintensiver Methoden

Wiederverwendung der ifakFAST Dashboards zur Visualisierung von Messdaten, Prognosen und Simulationsergebnissen für andere Anwendungsfälle

Nutzung des Verfahrens zur Erzeugung von hochauflösenden Prognosen für extreme Niederschlagsereignisse in der h&m Software SCOUT

Fokus auf Offenheit und Übertragbarkeit der in Zwille entwickelten DZ-Teilkomponenten auf andere Anwendungskontexte

Zwille-Komponenten als Grundlage für die Konzipierung und Entwicklung von Digitalen Zwillingen zum Starkregen-Management für andere Städte





# Vielen Dank

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



GEFÖRDERT VOM



Stadtentwässerung Hannover  
Wir klären das.



hydro & meteo



EVIDEN