

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

Dr.-Ing. Erik Ristenpart & Yannick Enders

ifs Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie
Hannover & Berlin

Weitere Verbundpartner und Co-Autoren/Autorinnen:

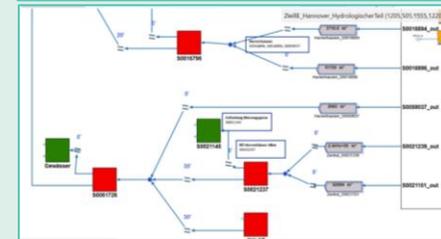
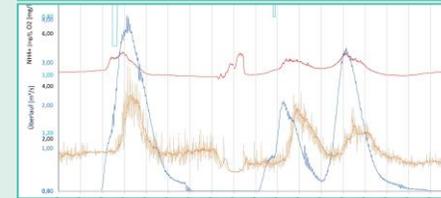
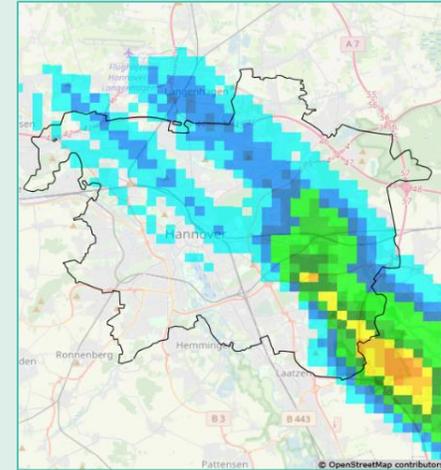
Alexander Krebs, Gudrun Tschirner-Vinke, EVIDEN, Paderborn

Stefanie Maßmann, Cuong Tran, Stadtentwässerung Hannover (SEH)

Alrun Jasper-Tönnies, hydro & meteo GmbH (h&m), Lübeck

Manfred Schütze, Christian Hübner, Inst. für Automation & Kommunikation (ifak), Magdeburg

Jürgen Krausewald, Inst. für angewandte Bauforschung (IAB), Weimar



1. Veranlassung & Aufgabenstellung
2. Anwendungsfälle, Komponenten und Aufbau des DZ
3. Ausgewählte Einzelkomponenten des Digitalen Zwillings
 - a. Echtzeitmessdaten
 - b. Überflutungsberechnung
4. Zusammenfassung und Ausblick

Ziele

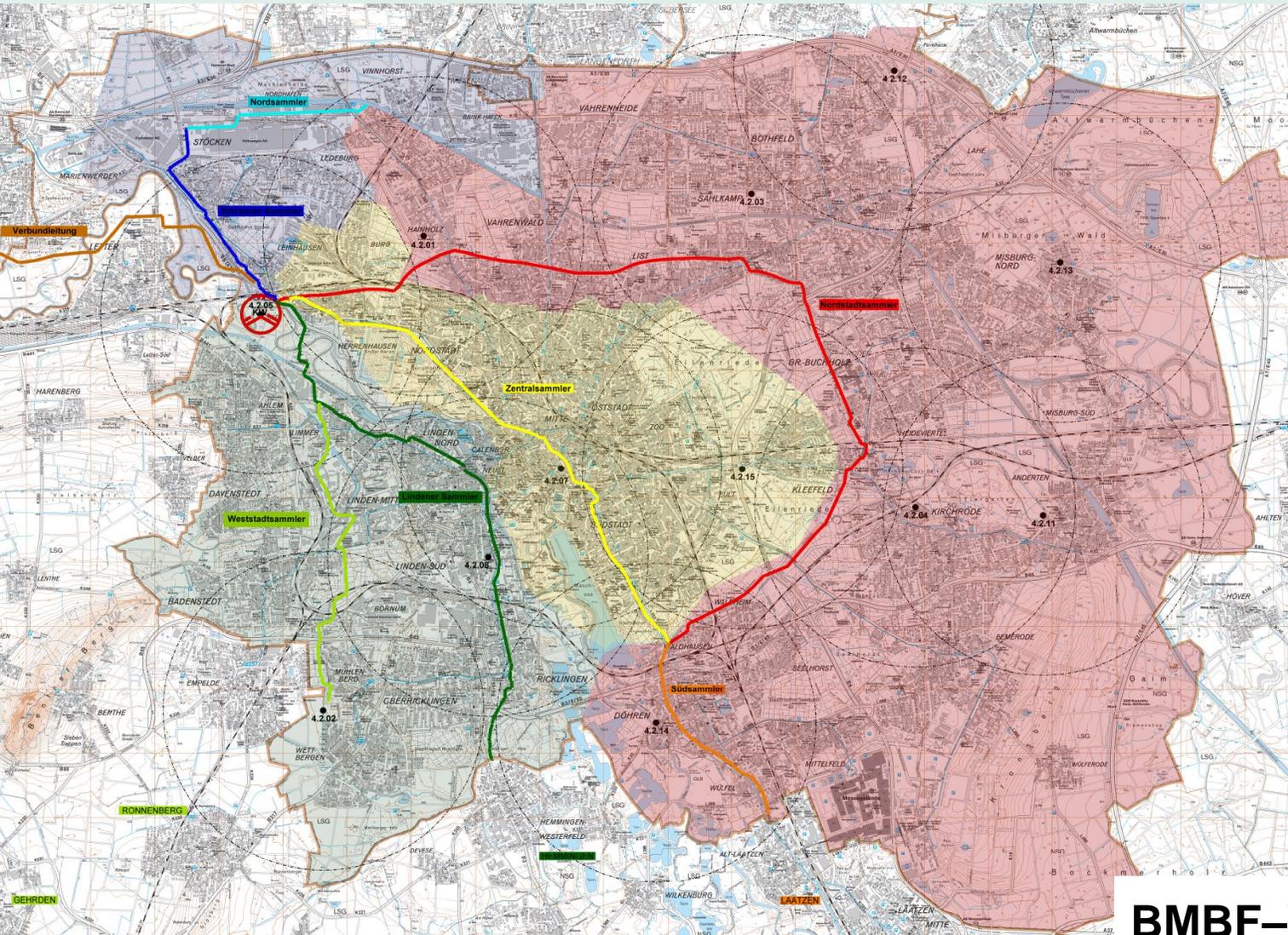
- Digitaler Zwilling (DZ) der städtischen Entwässerungsinfrastruktur Hannovers
- Proaktives Management von Starkregen (& Dürre)
- Einbeziehung/Aufbau von Sensorik für Monitoring und Vorhersagefunktionen
- Handlungswissen durch erklärbare KI für Entscheidungen des Fachpersonals bereitstellen

Lösung

- Digitaler Zwilling für reale und simulierte Extremwetzerszenarien
- Transparente, erweiterbare KI-Komponente zur Entscheidungsunterstützung für Maßnahmen
- Formalisierung und Integration von Erfahrungswissen
- Datenaustausch und Schnittstellen soweit möglich an Standards ausrichten

Technologie

- Vernetzter digitaler Zwilling der Subsysteme (Messdaten, Simulationsmodelle, Erfahrungswissen, Entscheidungsassistenz)
- Regel- und fallbasierte Wissenmodelle (Ontologien, Wissensgraphen, etc.)
- Semantische Analyse (Matching von Strategien) mit Erklärfunktionalität



Einzugsgebiet Landeshauptstadt Hannover

- Misch- und Trennsystem
- Kanalnetz:
Länge 2.548 km,
5 gr. Hauptsammler
- Länge Gewässer:
152 km
- entwässert in Leine
(und Ihme)
- zzgl. „Abwasser-
gäste“ Umland

BMBF–Verbundprojekt ZwiLE

GEFÖRDERT VOM



Digitaler Zwilling zum Management von Wasser-Extremereignissen

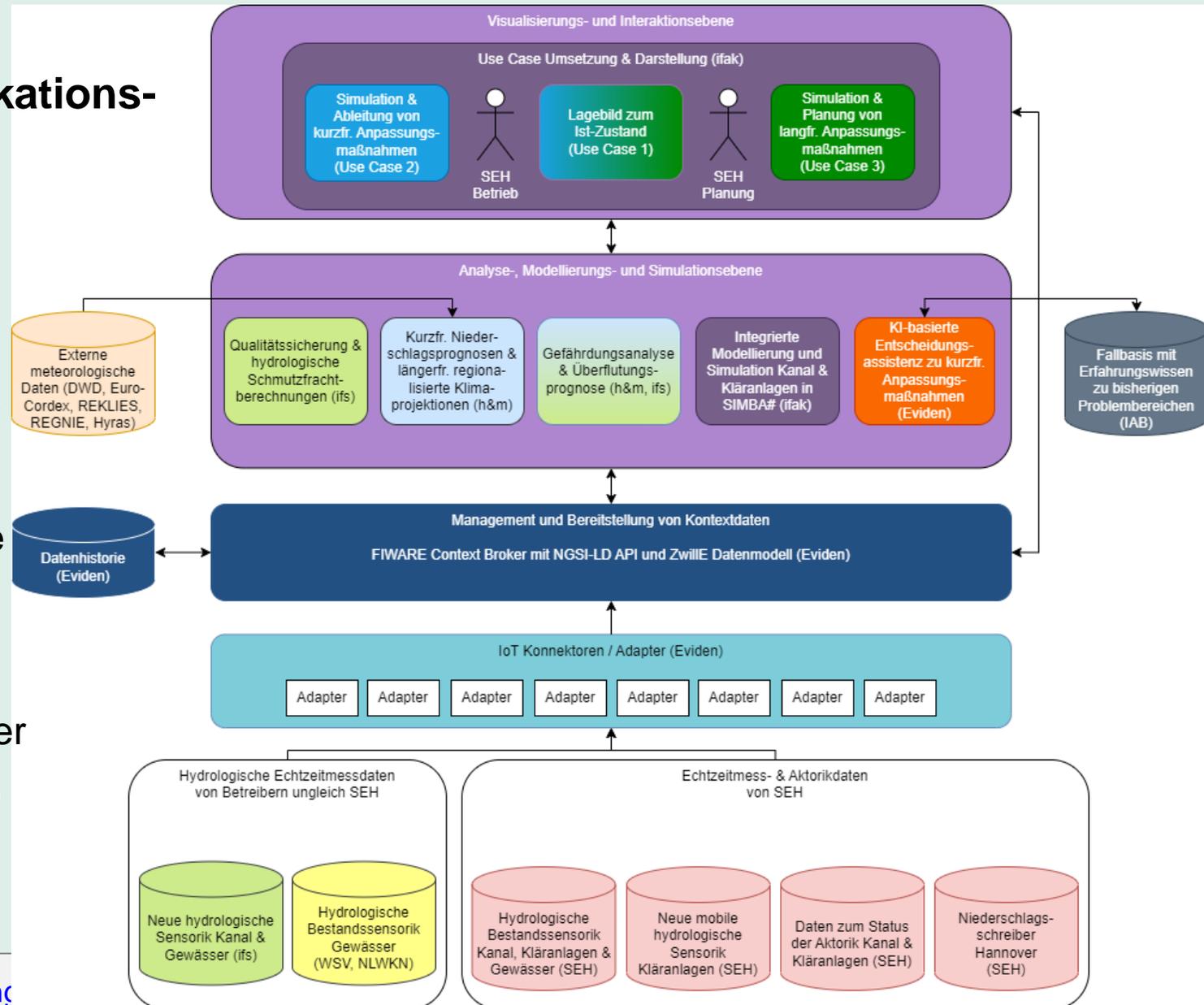
- (1) Abbildung des Ist-Zustands
Virtuelle Darstellung des jeweils aktuellen Ist-Zustands des Entwässerungssystems (online) inkl. des aus den Niederschlägen resultierenden Oberflächenabflusses & der stofflichen Gewässerbeschaffenheit
- (2) Vorschlag von Gegenmaßnahmen bei Wasser-Extremereignissen
Vorausschauende, kurzfristige Szenarioanalysen (online) mittels modelltechnischer Prognosen der wichtigsten Einflussfaktoren und Ableitung schwachstellenbezogener, auf Erfahrungswissen basierender Handlungsvorschläge mittels KI-basiertem Entscheidungsassistent (z.B. Abflusssteuerung u.a. betriebliche Eingriffe, Straßensperrungen etc.)
- (3) Planung von Infrastrukturanpassungen an Wasser-Extremereignisse
Langfristige Überplanung des Entwässerungssystems mittels modelltechnischer Prognosen inkl. Langzeitkontinuumssimulationen (grundlegende strateg. Ausrichtung, Aus-/Umbau Kanalisation, KLW etc.)

„Fach“-Komponenten

- **Sensorik** zur Erfassung von Echtzeitmessdaten (Hydraulik, Wasserbeschaffenheit und Aktorik in Kanalisation, Kläranlage und Gewässer, Niederschlag)
- Niederschlagsprognosen mit Radar-Nowcasts als Ensemblevorhersagen, Niederschlagssummen für hydrologische Simulation (s.u.) als Flächenmittel für 139 Teileinzugsgebiete (83 für Kanalnetz, 56 für die Gewässer)
- 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 (Case Based Reasoning- sowie regelbasierter Ansätze) für Handlungsempfehlungen, Basis: formalisiertes Erfahrungswissen (aus Interviews des Betriebspersonals, Hochwassereinsatzplan etc.)

Daten- und Kommunikationsinfrastruktur

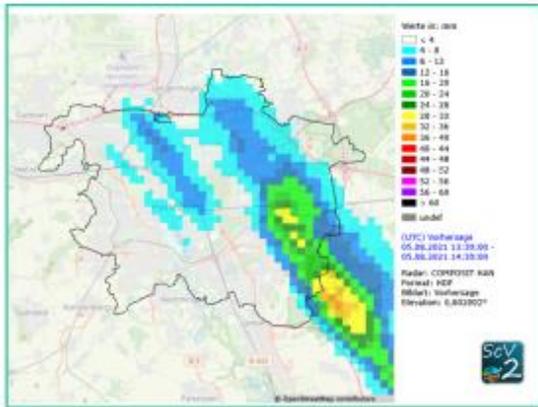
- aufbauend auf FIWARE Smart Water Referenzarchitektur (Open Source Software)
- für Integration der vorgenannten Bausteine in das Gesamtsystem des Digitalen Zwillings
- Unterstützung zahlreicher Schnittstellen- (z.B. File, HTTP(S), MQTT etc.)





Startseite des Demonstrators

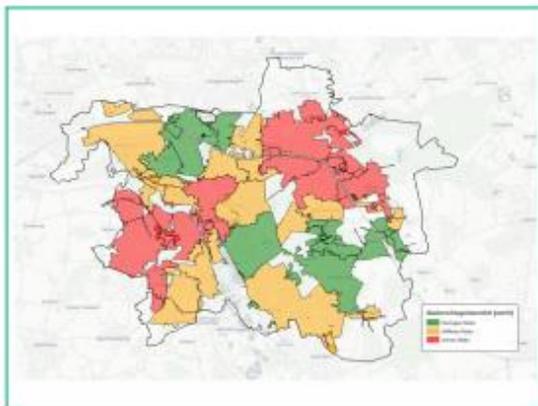
4 Karten zur Darstellung der Ist- und To-be-Situation des Entwässerungssystems (Use Cases 1 und 2)



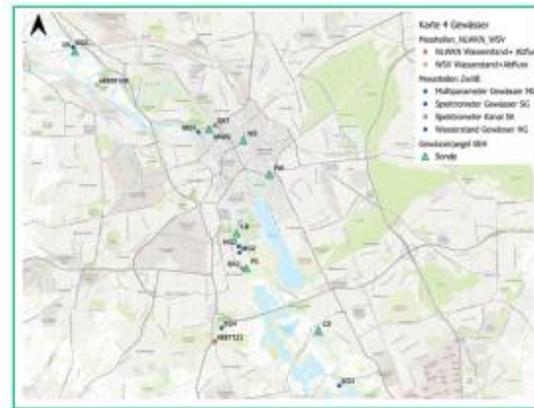
Karte 1: Niederschlagssituation / aktuell und Forecast



Karte 2: Überflutungssituation Oberfläche / aktuell, Forecast + Maßnahmen



Karte 3: Belastungssituation der Kanalisation / Sammler aktuell und Forecast + Maßnahmen



Karte 4: Situation Gewässer (Menge m. Hochwasser und Güte) aktuell, Forecast + Maßnahmen

a) Echtzeitmessdaten

- Sensorik zur Erfassung von Echtzeitmessdaten (Hydraulik und Wasserbeschaffenheit in Kanalisation, Kläranlage und Gewässer, Stellgrößen Aktorik in Abwasseranlagen, Niederschlag (Radar und terrestrische Stat.)
 - vorhandene Messungen unterschiedlicher Betreiber (Stadtentwässerung & Region Hannover, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung Bund)
 - temporäres Messprogramm mit neu errichteten kontinuierlichen Messstellen
 - Messstellen repräsentativ und exemplarisch in einem Regenwasserkanal und einer Mischwasserentlastung sowie ober- und unterhalb der zugehörigen Einleitstellen in Gewässern
 - „Güte“mesung mit UV/VIS-Spektrometern und Multi-Parameter-Sonden für Abwasser- und Gewässerbeschaffenheit, Ziel auch: kritische Eignungsprüfung der sehr aufwändigen Online-Sensorik
 - Durchflüsse in Kanalisation, Wasserstände in Gewässern

KRITIS 



Messkonzept

Erfassung
Emissionen
und Immissionen

Abkürzungen:

S = Spektrometer-/UV-VIS-Sonde

M = Multiparameter-Sonde

Q = Durchflussmessung

H = Wasserstandmessung

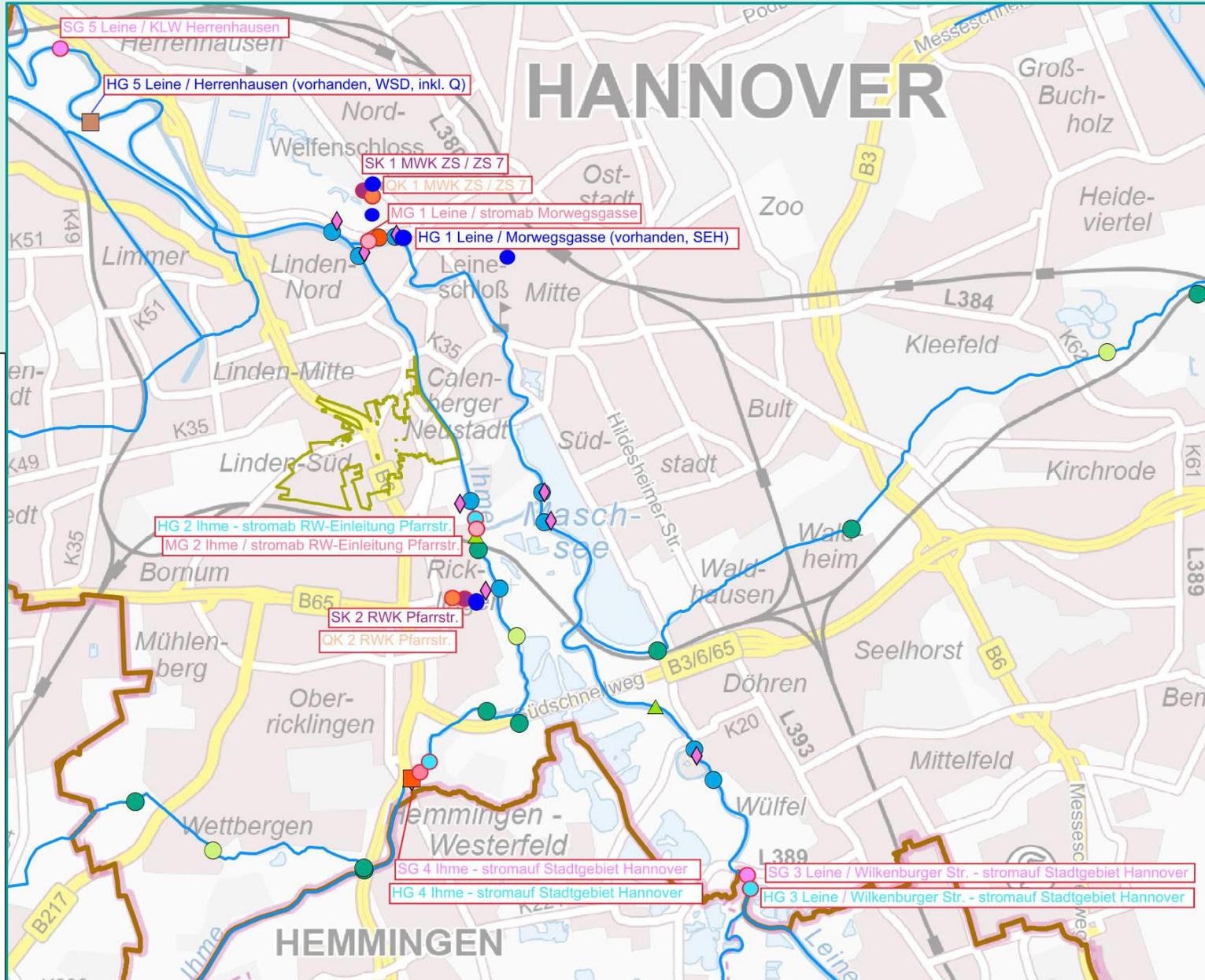
G = Gewässer

K = Kanalisation

1 - 5 = Messstellenummer

Messstellen externer Betreiber:

- NLWKN (W, Q)
- NLWKN (pH, O₂, Temp., Leitf.)
- ▲ Region Hannover (pH, O₂, Temp., Leitf.)
- WSD (W, Q)



Mischwasser-entlastung

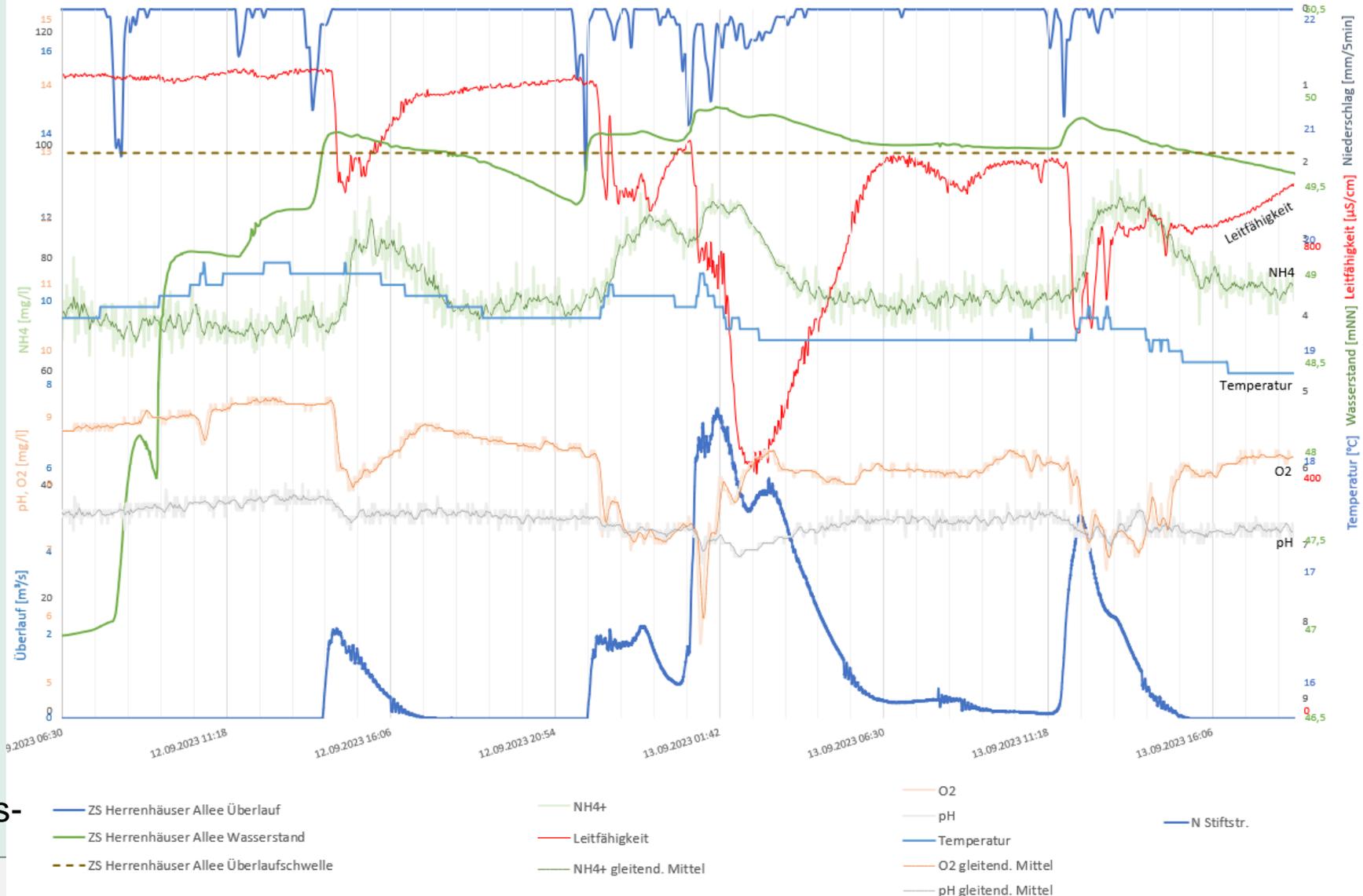
Mehrteiliges Entlastungsereignis

Q_{max} rd. 8 m³/s

Größter RÜ, Länge Schwelle rd. 40 m

Integration der Echtzeitmessdaten in den DZ (Entscheidungsassistenz etc.)

Starkregenereignis 12. -13.9.2023
Mischwasser-Zentralsammler RÜ Herrenhäuser Allee und Leine MG1

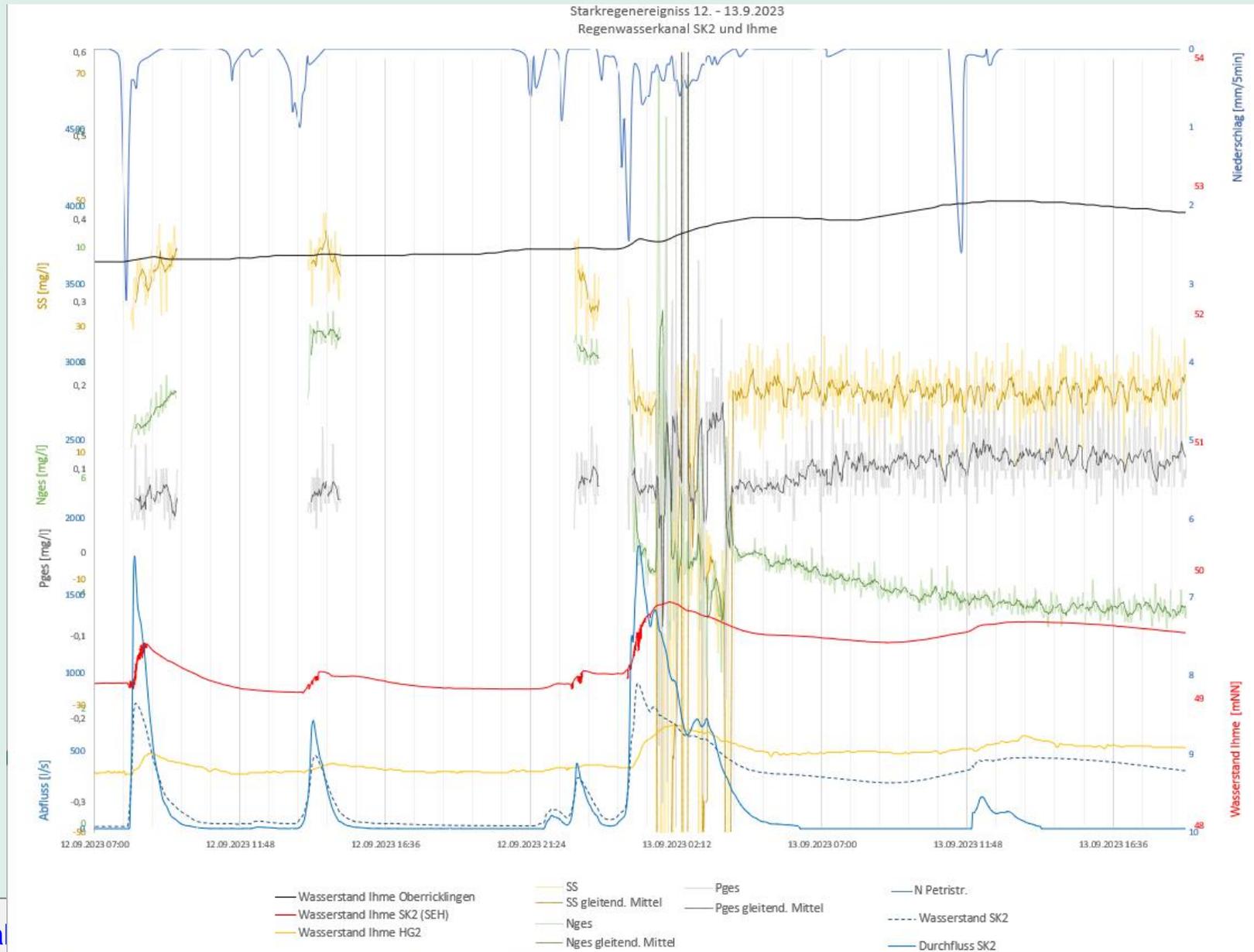


Regenwasser-einleitung

Ergebnisse UV/VIS-Spektrometer noch nicht hinreichend belastbar

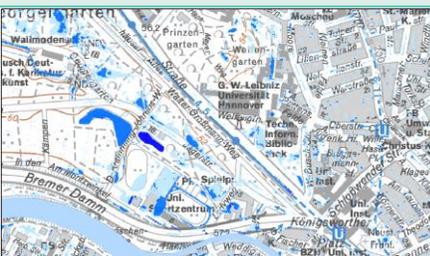
Ziel auch:

Beurteilung Auswirkungen Einleitungen auf Gewässer (u.a. Parameter DWA-A 102)

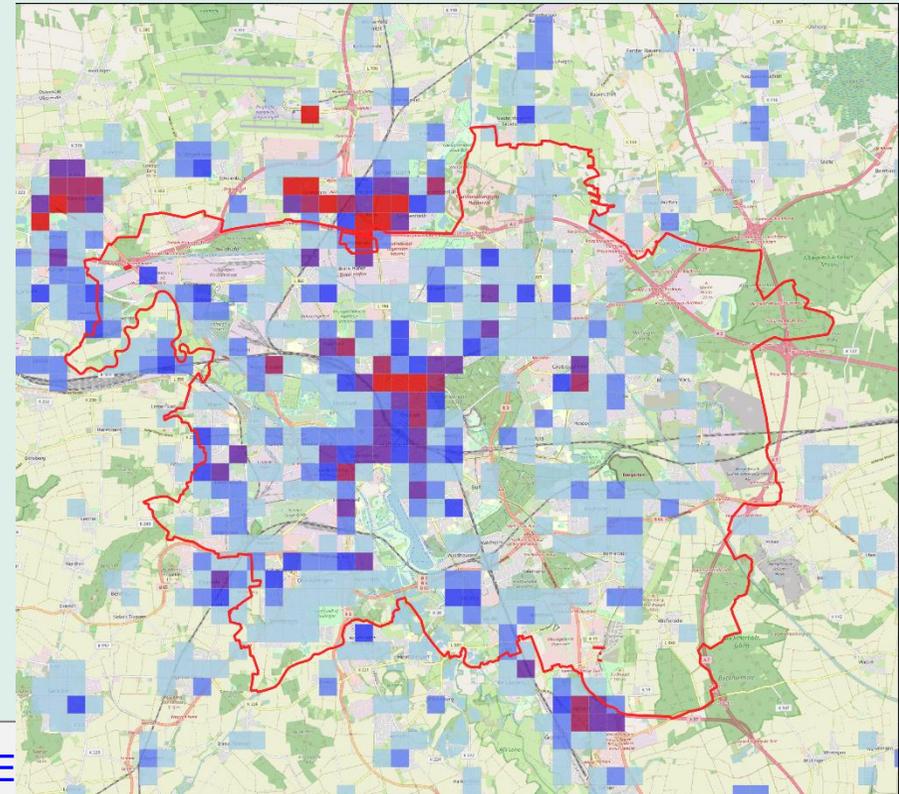


Mehrstufiges Modellierungskonzept

- Gekoppelte 2D-Oberflächenabfluss- und 1D-Kanalnetz-Simulationen (gesamtes Kanalnetz, alle städtischen Oberflächen) mit vorliegenden Rechenmodellen (HE), offline (zur Begrenzung des Rechenzeitaufwands)!
- **Stufe I:** Modellregensimulationen mit abgestufter Auswahl von Wiederkehrzeiten ⇒ Überflutungskarten als Fachwissensbasis für Gefährdungsanalyse
- **Stufe II:** Simulationen mit historischen Regenereignissen (Radardaten) und:
 - Abgleich & Evaluierung Berechnungsergebnisse mit dokumentierten Überflutungen (Betriebs- und Störungsmeldungen, Feuerwehreinsatzinformationen)
 - Identifikation von Kenngrößen zur Klassifizierung der historischen Regenereignisse ⇒ Ableitung Überflutungsrisikos
 - Risikoklassifizierung mittels Flächennutzungsdaten auf 500m-Raster, Zuweisung einer Risikokategorie (niedrig – mittel – hoch - sehr hoch) für jede Teilfläche gemäß Anteil der überfluteten Fläche
 - Erstellung von Niederschlagskarten für jedes Ereignis mit den maximalen Niederschlagsintensitäten in mehreren Dauerstufen (beginnend mit 15 min)



- **Stufe III:** Entwicklung einer Übertragungsfunktion mit Hilfe statistischer Verfahren und Maschinellen Lernen (z.B. Entscheidungsbäume)
 - Grundlage: diverse Starkregenereignisse, Validierung mit unabhängigen Ereignissen
 - Input (s.o.): maximale Niederschlagsintensitäten und vorgefertigte Risiko-Klassifizierungskarte,
 - Ergebnis: Risikokarte für jedes Ereignis
 - Vorhersagen: urbane Überflutungen unter Verwendung hochauflösender Niederschlagsprognosen (s.o.)



4. Zusammenfassung

- Umfangreiches und ambitioniertes Vorhaben (3 a + ½ a), aber für manche Abstimmungsprozesse (mit Kommune) noch zu kurz
- Bereits durchgeführte Arbeiten
 - Aufbereitung Niederschlagsdaten und Überflutungsanalyse läuft
 - Modellaufbau Kanalnetz weitestgehend abgeschlossen
 - Temporäres Messprogramm läuft, stationäre Messstellen ohnehin
 - Aufbau Erfahrungswissenbasis abgeschlossen, Entscheidungsassistenz in Erprobung
 - Daten- und Kommunikationsinfrastruktur für alle Datenquellen erprobt
- Nächste Arbeitsschritte:
 - Vollendung der vorgenannten Arbeiten
 - Aufbau Demonstrator bis Jahresende
 - Auswertung und Bewertung Emissionen und Immissionen