



FONA

Nachhaltiges Wassermanagement



Inno_MAUS

Innovative Instrumente für ein Management urbaner Starkregenereignisse



Axel Bronstert

Universität Potsdam, Lehrstuhl für Hydrologie und Klimatologie

und

Georgy Ayzel, Ngai-Ham Chan, Yueli Chen, Frederik De Vos, Sophia Dobkowitz, Charan D. Jarajapu, Maik Heistermann, Anna Kiss, Sarah Lindenlaub, Guilherme Samproгна Mohor, Remko Nijzink, Omar M.A. Seleem, Annegret H. Thieken, Michael Thiemann, Qingsong Xu
von der Universität Potsdam, TU München, KISTERS AG, Mapular UG

sowie die assoziierten Partner:

BWB, SenBerlin, Stadt WÜ, BayLfU



Gesamtziel

Weiterentwicklung und Bereitstellung innovativer digitaler Instrumente, die sich flexibel in existierende kommunale Abläufe und Dateninfrastrukturen integrieren lassen.

Fünf spezifische Ziele → Arbeitspakete

AP1: Konvektive Extremniederschläge erfassen und vorhersagen

AP2: Urbane Abflussbildung & Potenziale urbaner Wasserretention quantifizieren

AP3: Abflussdynamik durch KI-Verfahren effizient simulieren

AP4: Starkregenspezifische Schäden an Gebäuden und Infrastruktur abschätzen

APX: Transparente und offene Schnittstellen realisieren

2 Modi der Anwendung

- I. Echtzeit-Vorhersagemodus
- II. Szenarienmodus



2 Pilotgebiete

Berlin

Testgebiet: „Berlin 1“
(Kreuzberg)

2 Pilotgebiete

Berlin

Testgebiet: „Berlin 1“
(Kreuzberg)



2 Pilotgebiete

Berlin

29. 6. 2017



2 Pilotgebiete

Berlin

29. 6. 2017



2 Pilotgebiete

Berlin

14. 4. 1902



2 Pilotgebiete

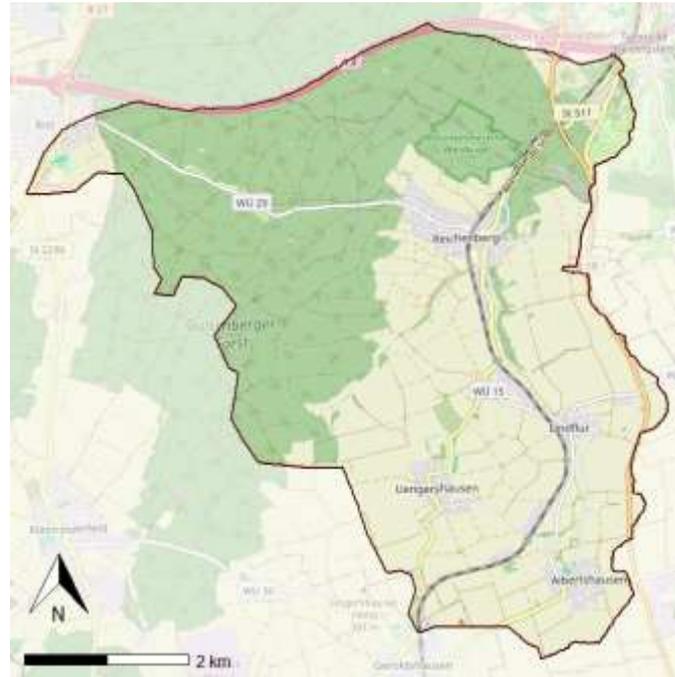
Würzburg

Testgebiet:
„Reichenberger Bach“
(extra-urbanes Gebiet)

2 Pilotgebiete

Würzburg

Testgebiet:
„Reichenberger Bach“
(extra-urbanes Gebiet)



Würzburg

„Reichenberger Bach“
am 15. Juli 2021



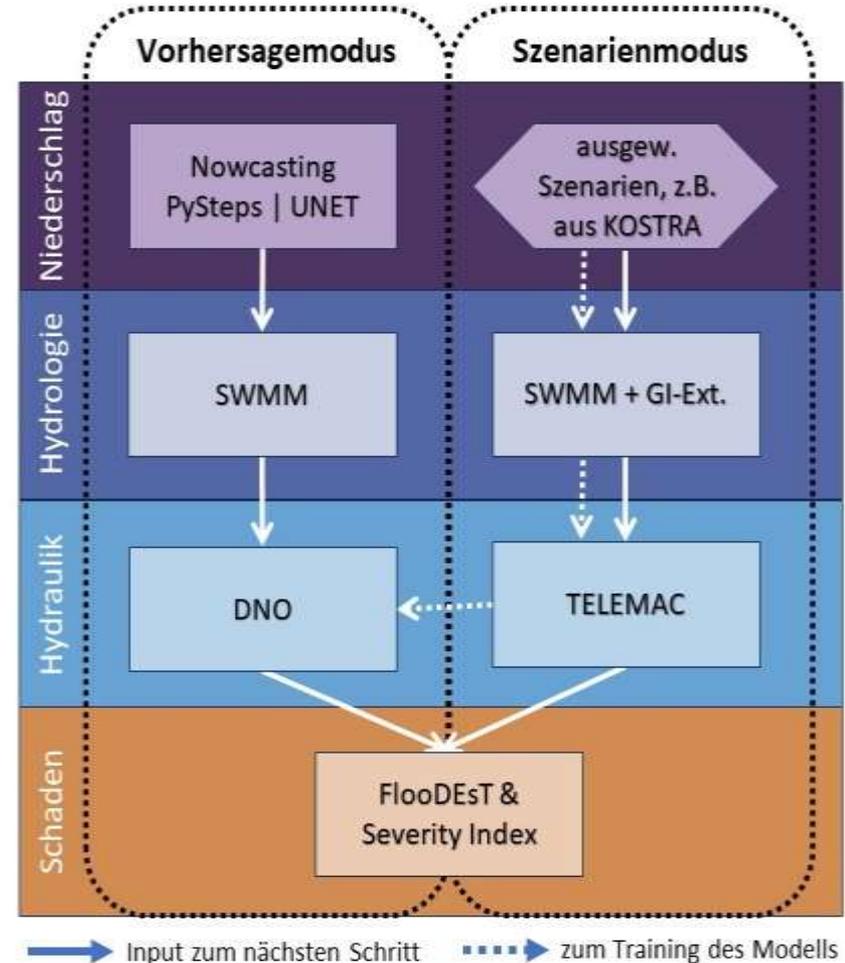
Würzburg

„Reichenberger Bach“
am 15. Juli 2021



2 Modi der Anwendung:

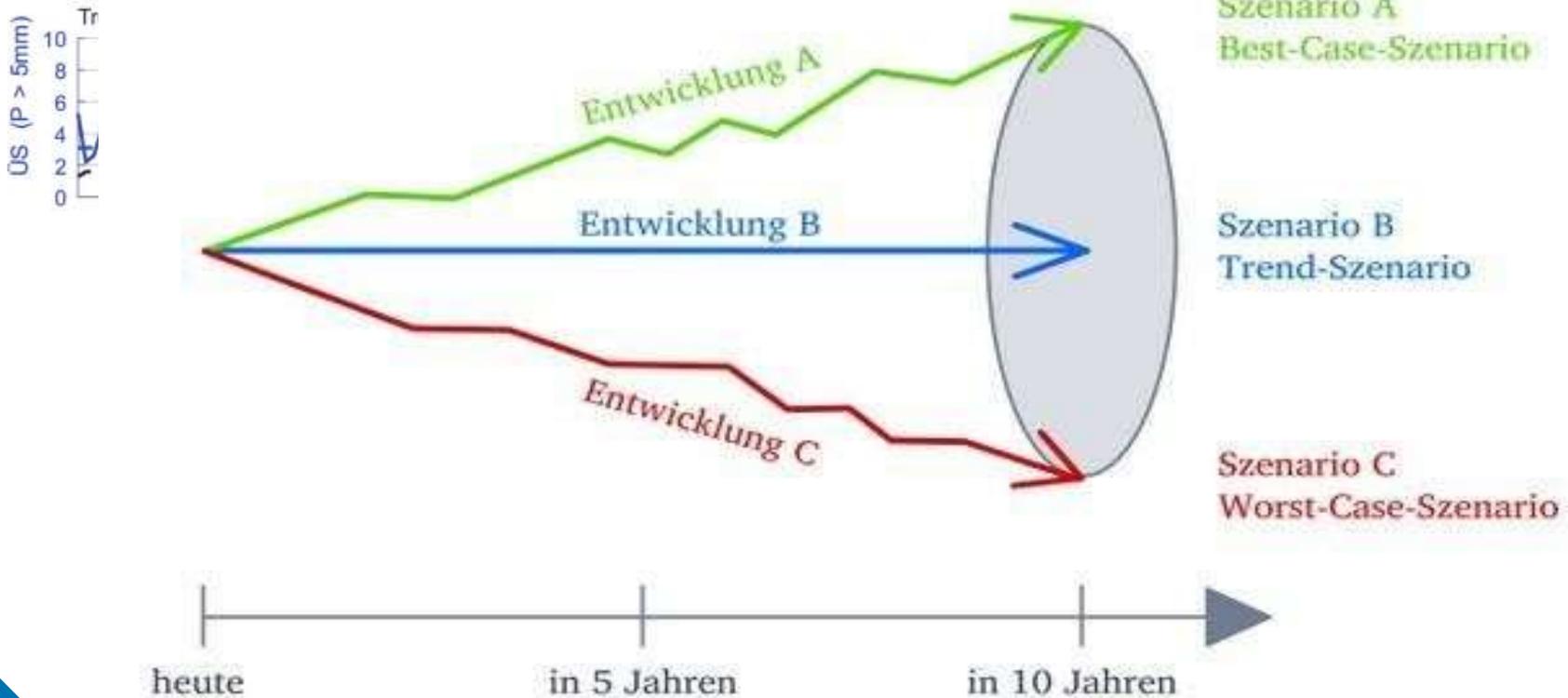
- I. **Vorhersagemodus:** lage- und zeitspezifische Vorhersage von Niederschlagsintensitäten, Abflussbildung, Überschwemmungen (Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit) und - soweit möglich - für potenzielle Schäden, inklusive Quantifizierung der Unsicherheiten
- II. **Szenarienmodus:** Quantifizierung und Bewertung unterschiedlicher Planungsoptionen zur Reduzierung der Auswirkungen und des Risikos durch urbane pluviale Hochwasserereignisse.



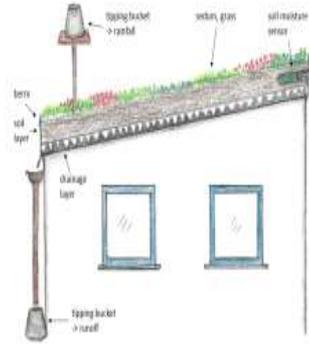
I. Vorhersagemodus

Überschwemmung infolge Starkregen in Berlin am 29 Juni 2017 (Bundesallee Ecke Trautenstraße)

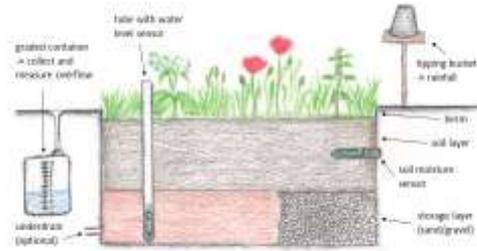
II. Szenarienmodus



Green roofs (GR)



Bioretention systems (BR)



„Sponge City“



Inno_MAUS

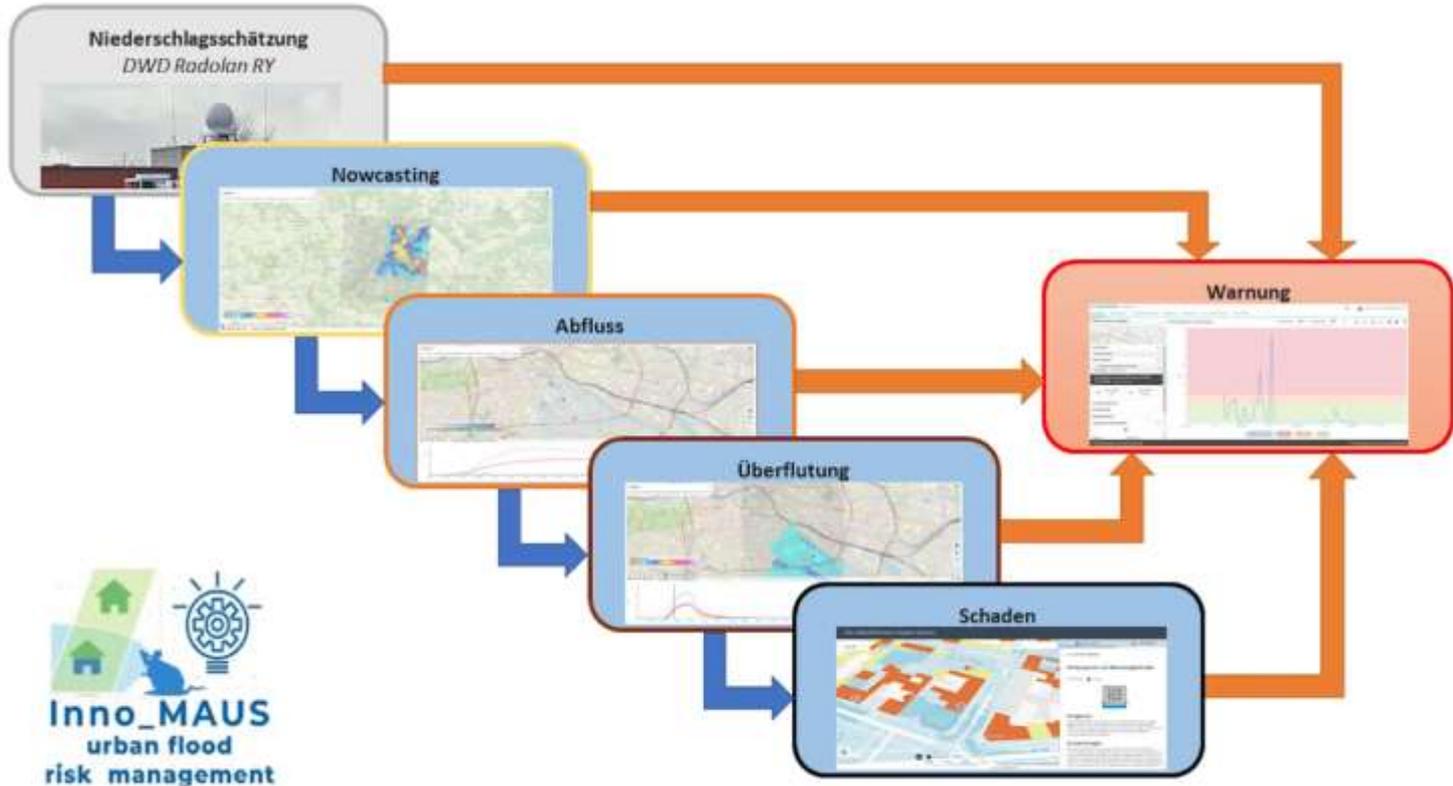
Innovative Instrumente für ein Management urbaner
Starkregenereignisse

Daten und Methoden

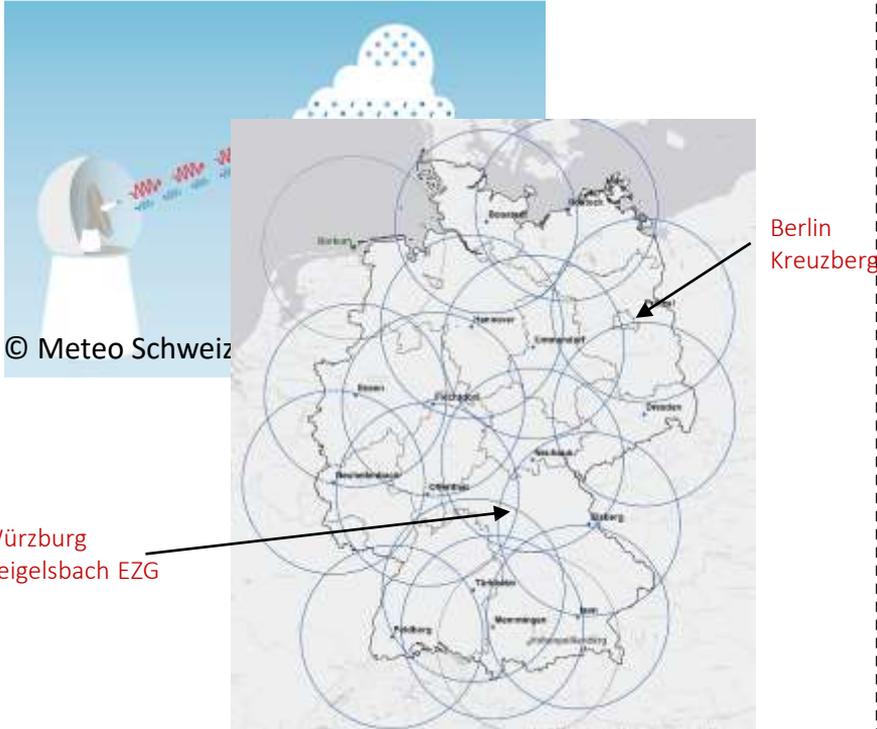


| Bezeichnung des Datensatzes | Daten/ Variablen | Abgeleitete Parameter | Quelle | Eingesetzt für welches Modell |
|--|--|---|---|-------------------------------|
| Landnutzung Berlin | <ul style="list-style-type: none"> Landnutzungsklassen | <ul style="list-style-type: none"> CN-Werte, Versiegelungsgrad, hydraul. Rauigkeiten | SenStadt Berlin; online über GeoPortal Berlin, (ALKIS Berlin 2024: Tatsächliche Nutzung) | SWMM; TELEMAC |
| Bodenkarte Berlin und Würzburg | <ul style="list-style-type: none"> Hydrologische Bodengruppe | <ul style="list-style-type: none"> CN-Werte | https://daac.ornl.gov/SOILS/guides/Global_Hydrologic_Soil_Group.html | SWMM; HEC-HMS; TELEMAC |
| DGM - 1m x 1m, Berlin | <ul style="list-style-type: none"> Geländehöhe | <ul style="list-style-type: none"> Topographie, Geländeneigung etc. | ALKIS Berlin, 2024 | TELEMAC |
| „Hausumringe Berlin“ | <ul style="list-style-type: none"> Koordinaten der Gebäudegrenzen | <ul style="list-style-type: none"> Gebäudegröße; Hydraulische Ränder | SenStadt Berlin; OSM | TELEMAC; FloodEst |
| Daten zur Infrastruktur Berlin | <ul style="list-style-type: none"> Typ und Lokation der Infrastruktur | <ul style="list-style-type: none"> Infrastruktur-Klasse, Lage-Koordinaten | OSM; Overture Maps Foundation (2024) | Severity Index; |
| Landnutzung Würzburg | <ul style="list-style-type: none"> Landnutzungsklassen | <ul style="list-style-type: none"> CN-Werte, Versiegelungsgrad, hydraul. Rauigkeiten | LfU Bayern (ALKIS BBV, 2022) | HEC-HMS; TELEMAC |
| DGM - 1m x 1m, Würzburg | <ul style="list-style-type: none"> Geländehöhe | <ul style="list-style-type: none"> Topographie, Geländeneigung, etc. | ALKIS BBV (2022); LfU Bayern, Stadt Würzburg | HEC-HMS; TELEMAC; FloodEst |
| Gewässerprofile Würzburg | <ul style="list-style-type: none"> Gewässerbathymetrie | <ul style="list-style-type: none"> Querprofile, Bruchkanten, Durchlässe, | LfU Bayern, Stadt Würzburg | TELEMAC |
| „Hausumringe Würzburg“ | <ul style="list-style-type: none"> Koordinaten der Gebäudegrenzen | <ul style="list-style-type: none"> Gebäudegröße; Hydraulische Ränder | BBV (2022), OSM | TELEMAC; FloodEst |
| Befragungsdaten zum Training des Schadensmodells | <ul style="list-style-type: none"> Gefahrendaten Expositionsdaten, Vulnerabilitätsdaten | | Thieken et al., 2017; Kellermann 2020; | FloodEst |

Modellanpassung, Ergänzung, Kopplung, Integration



1. Radargestützte Niederschlagsschätzung

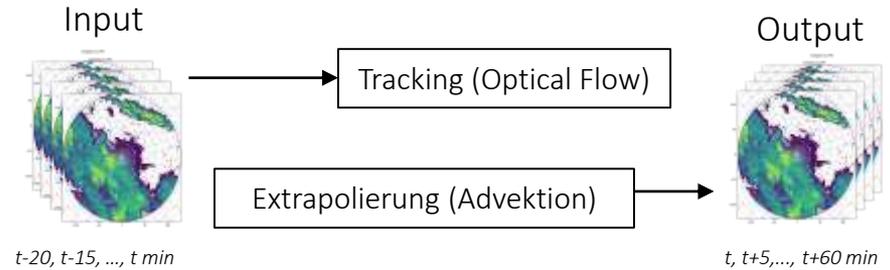


Gebiet: 1100 km x 900 km Zeitliche Auflösung: 5 min
Zeitraum: 2000-2023 Räumliche Auflösung: 1 km

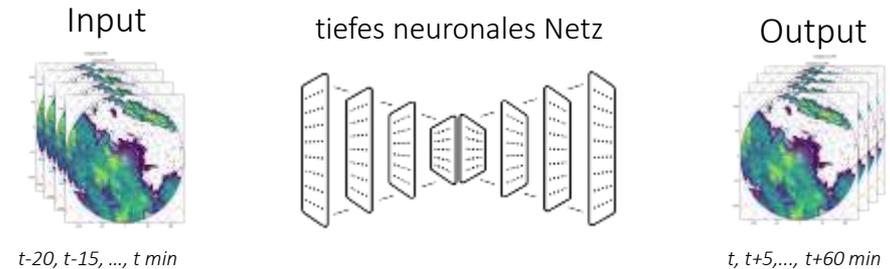
YW Radar-Kompositdaten des DWD

2. Radargestützte Niederschlagsvorhersage

Optical Flow basierte Methoden



Deep Learning

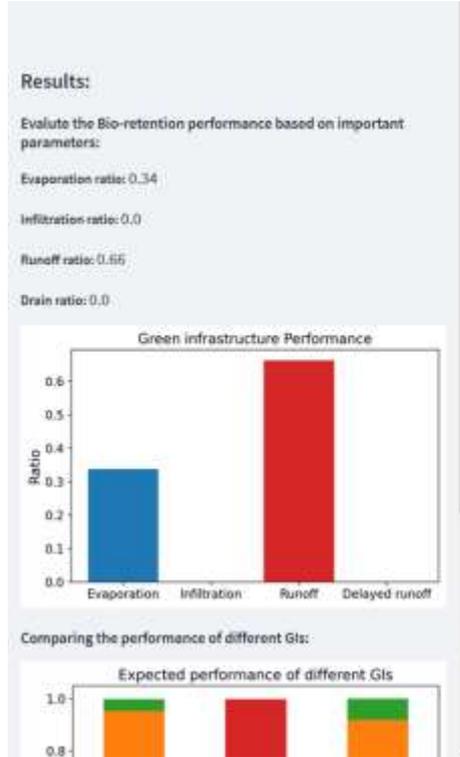


Tool zum Vergleich verschiedener GI Maßnahmen

Urban- hydrologische Modellierung
mit SWMM

Erweiterungen:

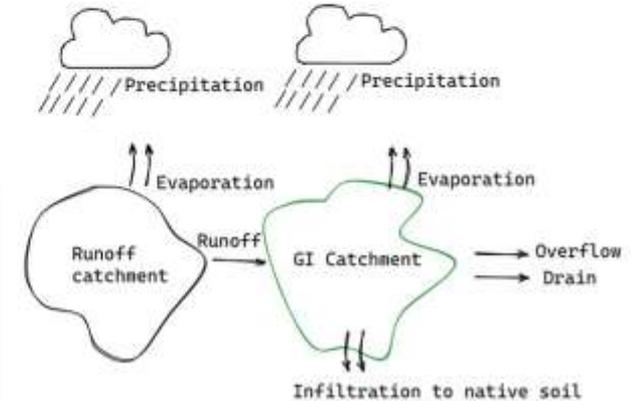
- GI-Anwendungen (deren Parametrisierungen)
- Vereinfachte Modellierung der konventionellen Straßentwässerung
- Übergabe an die hydraulischen Simulationen
- Web-Tool zum Vergleich verschiedener GI Maßnahmen



Quick Hydrologic-Hydraulic Screening Tool for Green Infrastructure

The inventory employs Storm Water Management Model (SWMM) simulations. GI units are placed in a separate catchment, receiving excess runoff from the upstream catchment (Runoff catchment) as shown in the below figure.

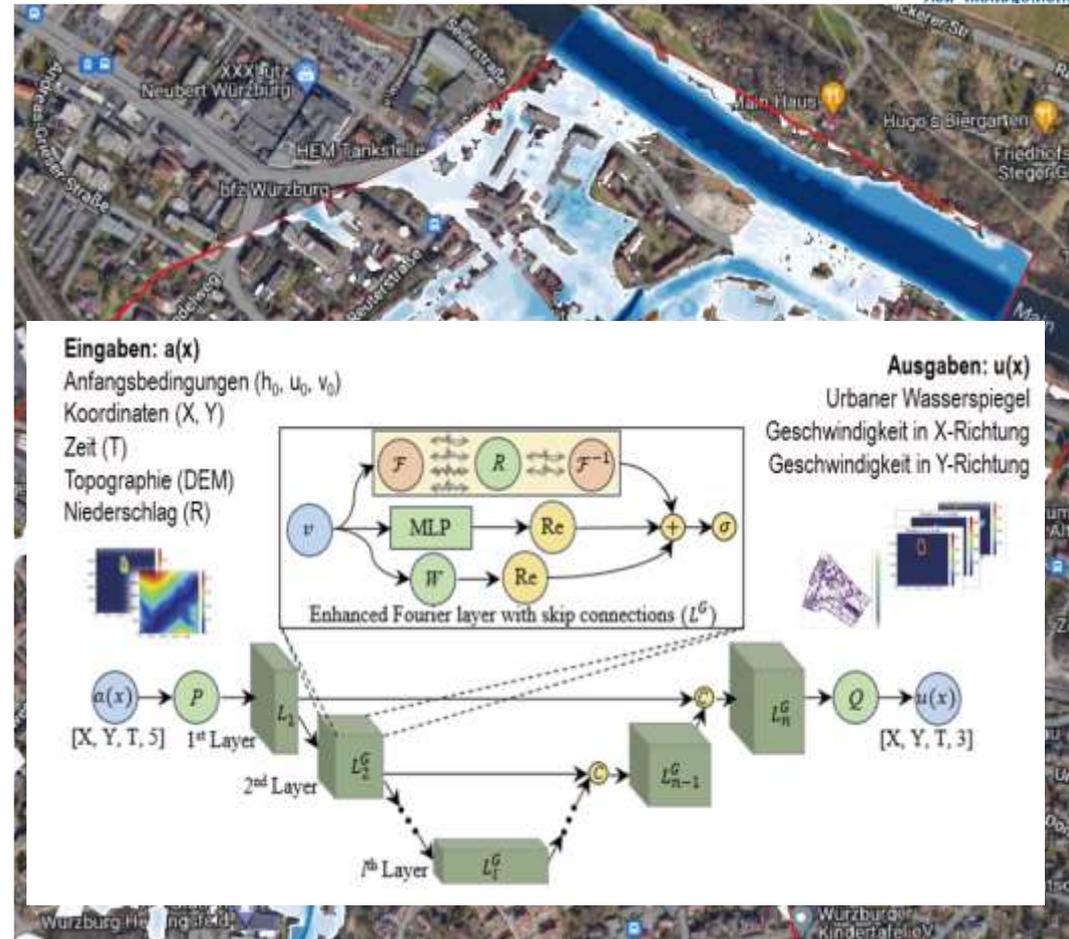
Inflows include combined runoff from the runoff catchment and direct rainfall onto the GI catchment. Outflows involve evaporation (if relevant), native soil infiltration (if applicable), drainpipe drainage (if needed), and overflow (if GI capacity is exceeded).

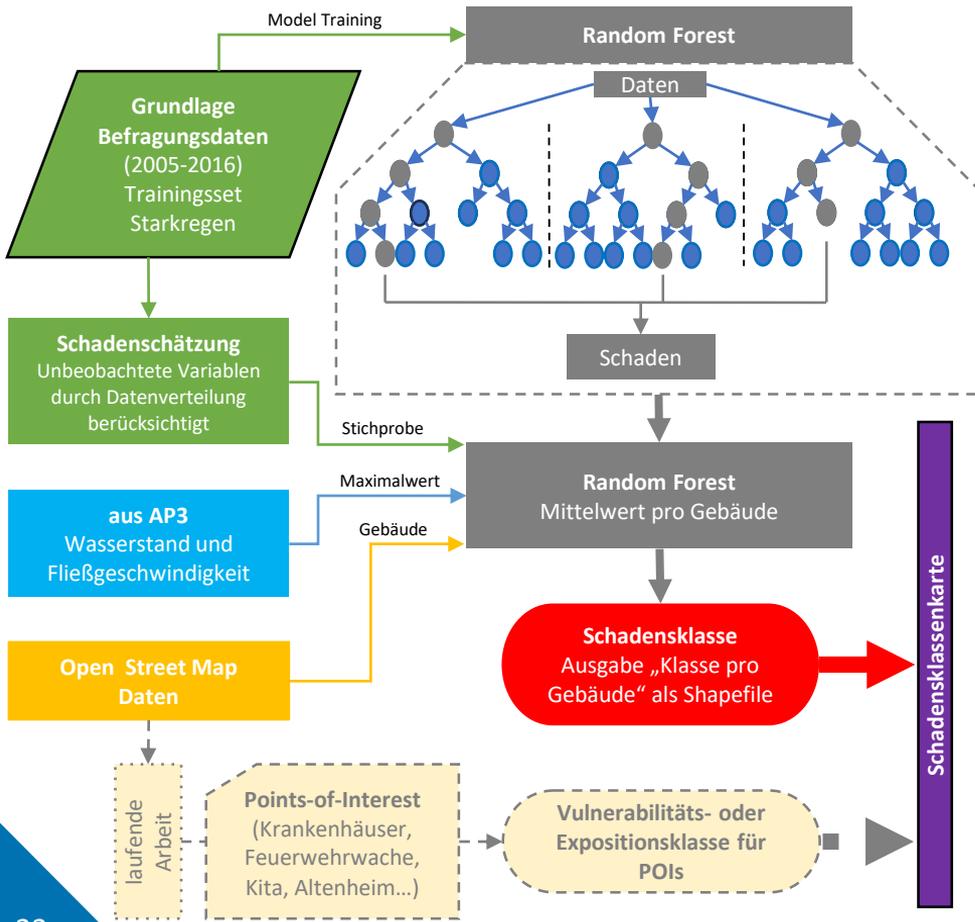


<http://urban-wa-ret.umwelt.uni-potsdam.de/>

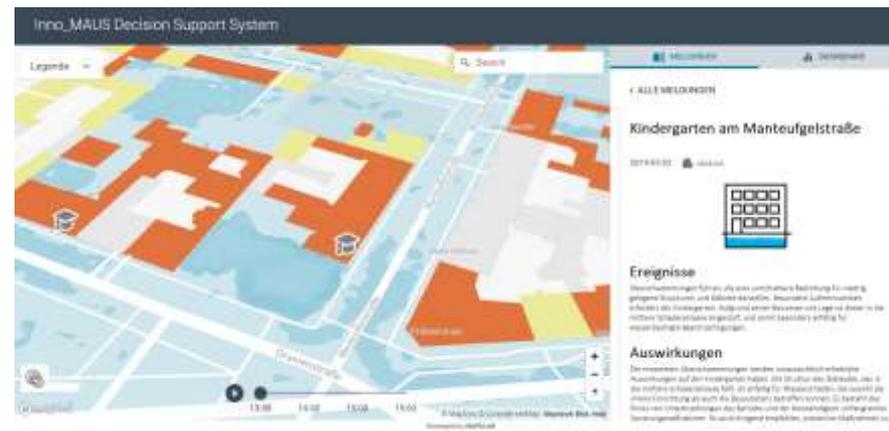
komplexe Fließwege in urbanen Räumen:

- Schlüssel zur Vorhersage, wo sich der Abfluss schadensträchtig konzentriert.
- Strömungsmechanik ist gut verstanden
- der hohe Rechenaufwand hydraulischer Modelle behindert deren Echtzeiteinsatz
- Ebenso Datenverfügbarkeit
- Durch die Entwicklung eines Advanced Deep Neural Operators (DNO) wird die Simulation substanziell beschleunigt.
- Diese Methodik kann für die Echtzeitvorhersage von Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten genutzt werden.





- Variablen: Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, Kontamination, Gebäudefläche, Vorsorgemaßnahmen, Keller und Baujahr
- in Progress: Validierung mit unabhängigen Daten





KISTERS Analytics

Niederschlagschätzung
DWD Radolan RY

UNET
ETL

PySteps
ETL

SWMM
Modell Adapter

HEC-HMS
Modell Adapter

Urban FloodCast
Modell Adapter

Urban FloodCast
Modell Adapter

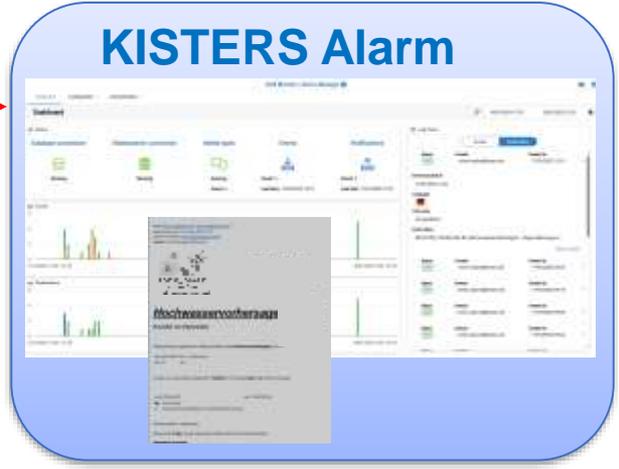
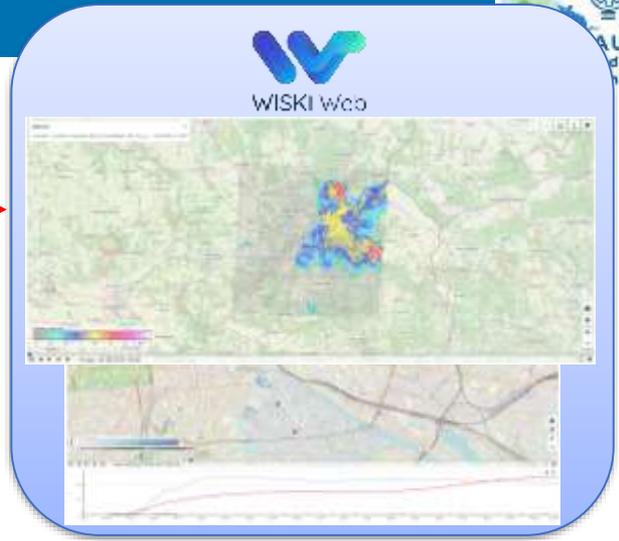
FloodEst, Severity Index
Modell Adapter

FloodEst, Severity Index
Modell Adapter

W
ü
r
z
b
u
r
g

Array Storage

- Schwellwert-
überschreitung
Niederschlag
- Niederschlag
Nowcast
- Abfluss
- Wasserstand und
-geschwindigkeit
- Schaden



Workflow Manager
Planung
Auslösung

Config Store
Model Konfiguration
ETL Konfiguration

Blob Store
Modellzustände
Statische Inputs



FONA

Nachhaltiges Wassermanagement



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Inno_MAUS

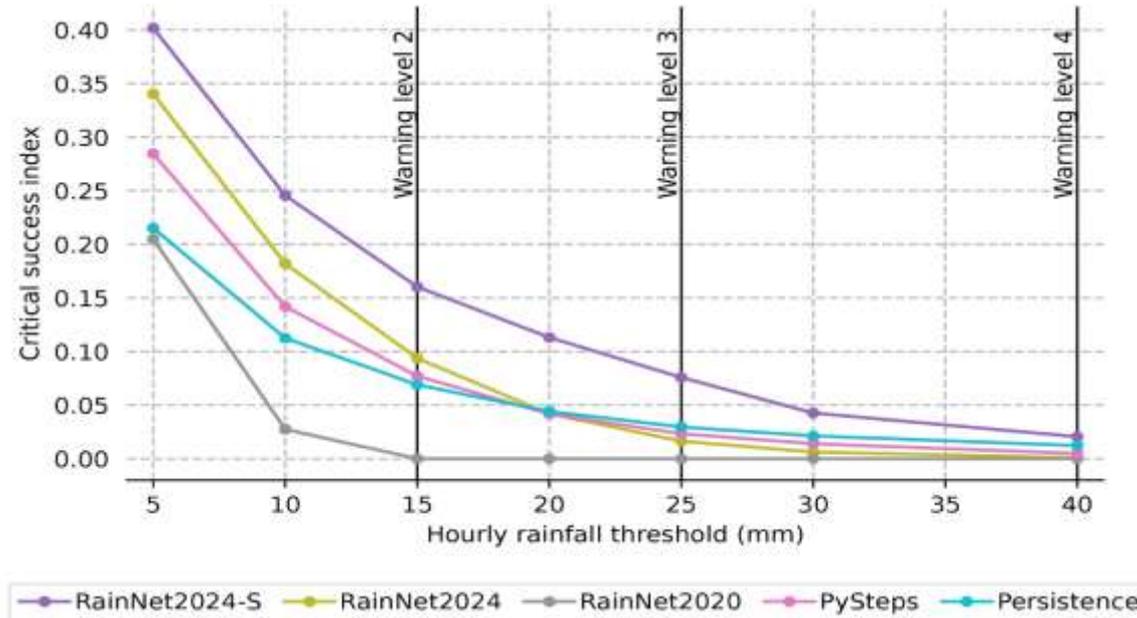
Innovative Instrumente für ein Management urbaner
Starkregenereignisse

Ausgewählte Ergebnisse



Vorhersage der Niederschlagsakkumulation über bestimmten Schwellenwerten (5,..., 40 mm / Stunde)

Auswertung für 19 613 Ereignisse < 6h, von der CatRaRE-Datenbasis



Fähigkeit (Skill, quantifiziert als CSI) der verschiedenen Vorhersagemodelle für unabhängige Testdaten (aus Ayzel und Heistermann, 2025).

Szenarienmodus:

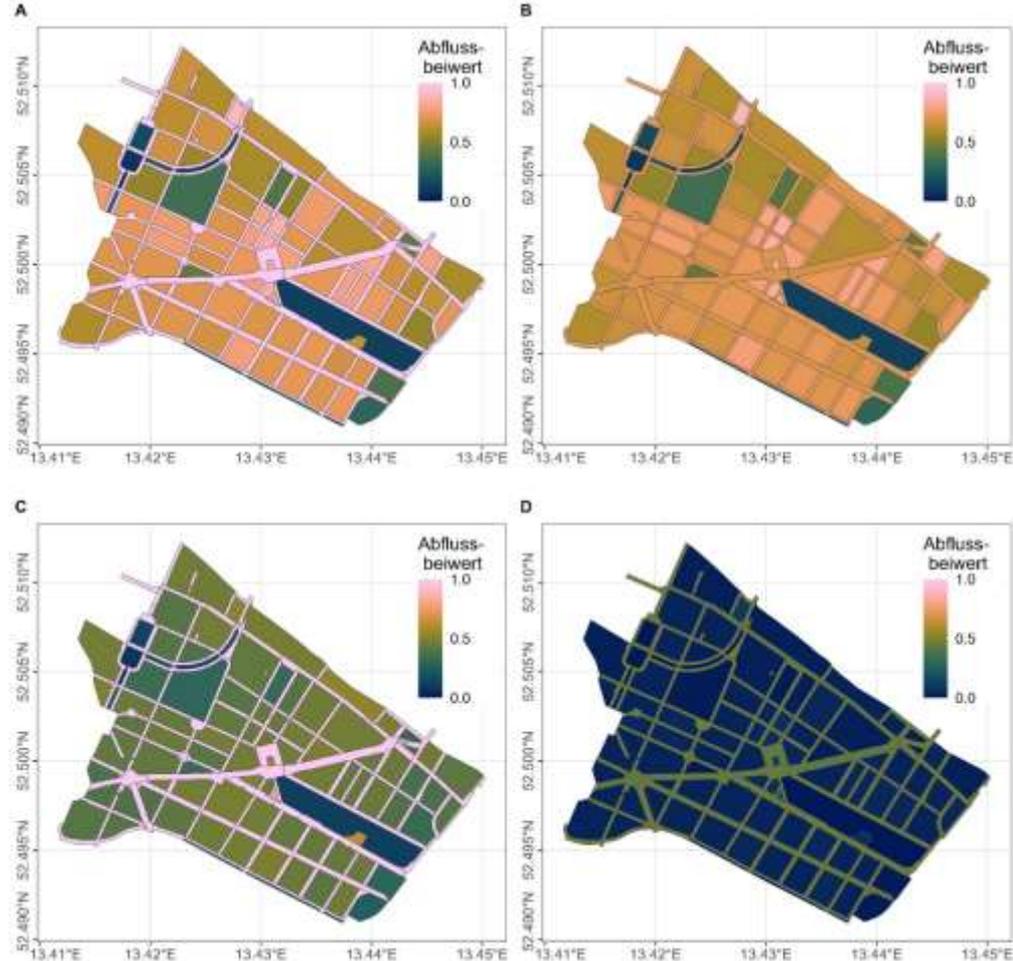
Urbanhydrologische Modellierung mit verschiedener Ausprägung der GI



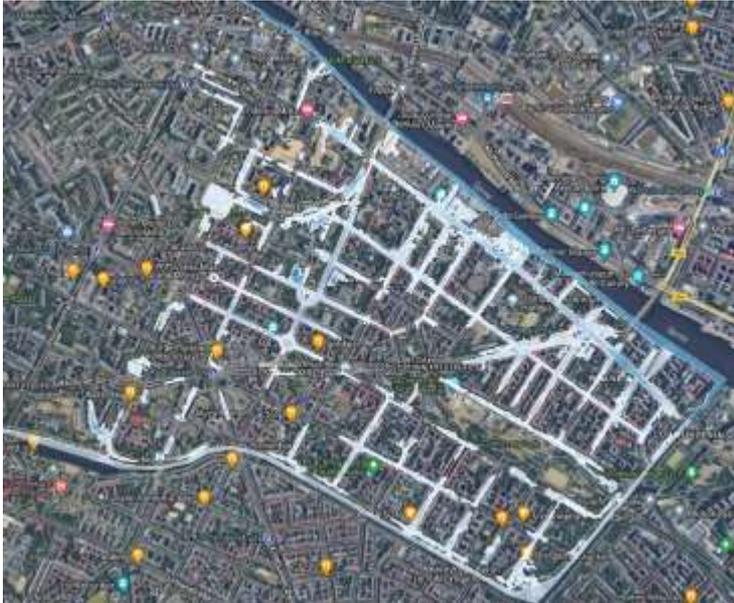
Idee: Andreas Kubatzki
Design: ChatGPT

Verteilung der Abflussbeiwerte in „Berlin1“ für einen 1-h, 100-jährlichen Starkregen (entspr. 48,9 mm)

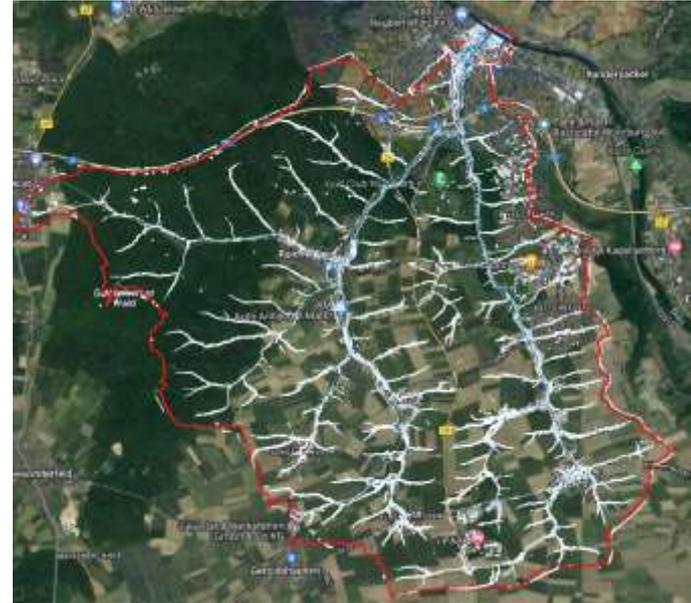
- a) ohne Grüne Infrastruktur und Gullys,
- b) mit Gullys zur Straßenentwässerung,
- c) mit Gründächern, die 50 % der Dachflächen bedecken,
- d) Kombination aus Gründächern auf allen Gebäuden und Rigolen auf 10 % des restlichen Gebietes



- Fortlaufende Verbesserung des hydraulischen Modells
- Erstellung der Trainingdatensätze für das KI-Tool

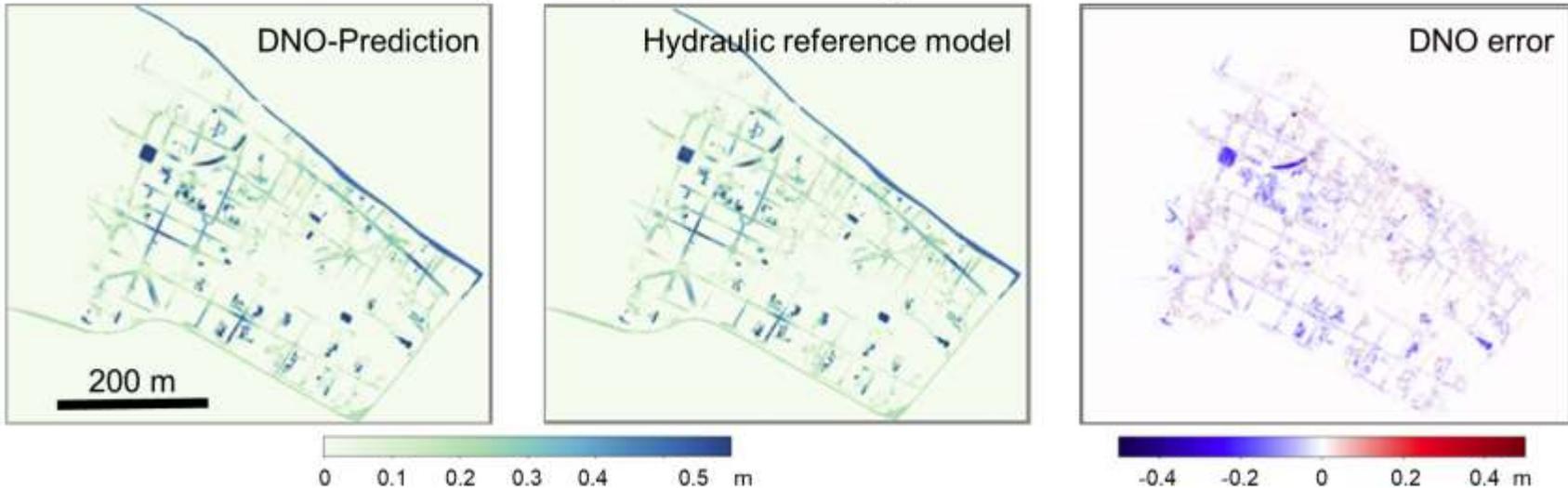


Simulation eines HN100 im
Modellgebiet in Berlin

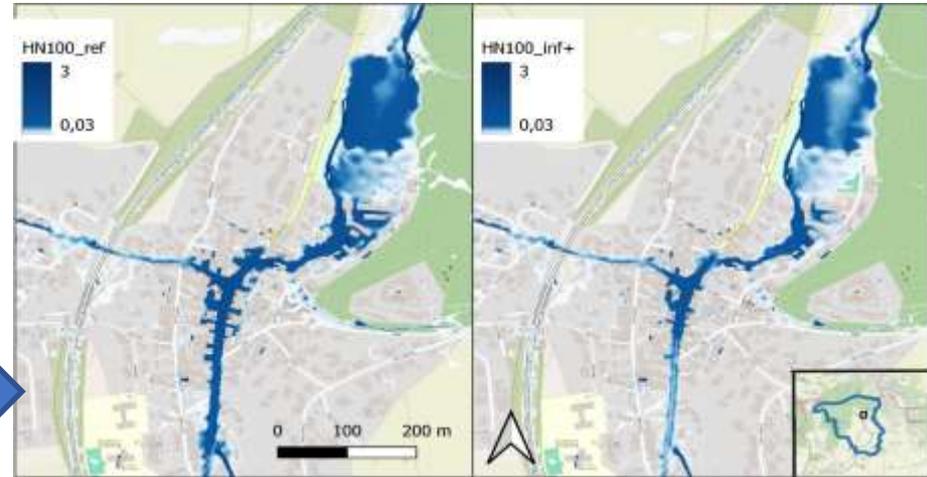
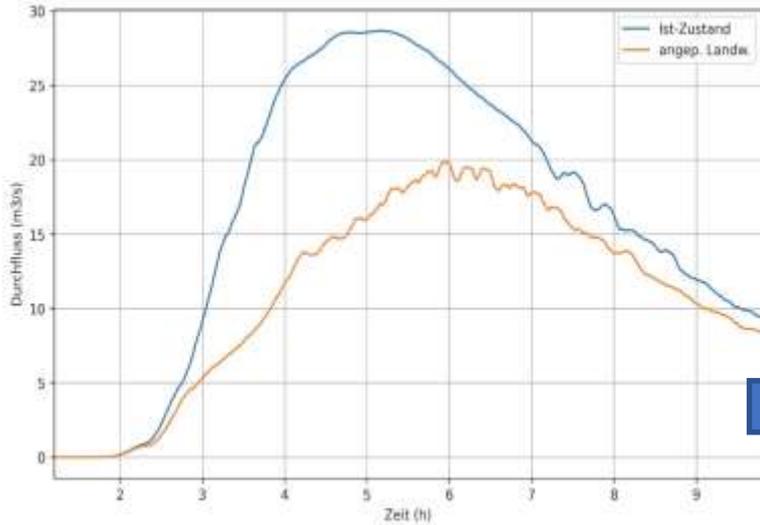


Simulation eines HN100 im
Modellgebiet in Würzburg

Example DNO prediction for study catchment Berlin I



Anwendung der DNO-Methodik für die Echtzeitvorhersage von Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung (Xu et al., under revision)



Simulierte Abflussganglinien am Gebietsauslass für Szenarien mit verschiedener Landnutzung bei einem 100-jährl. Niederschlag von 6-Stunden (ca. 70mm)

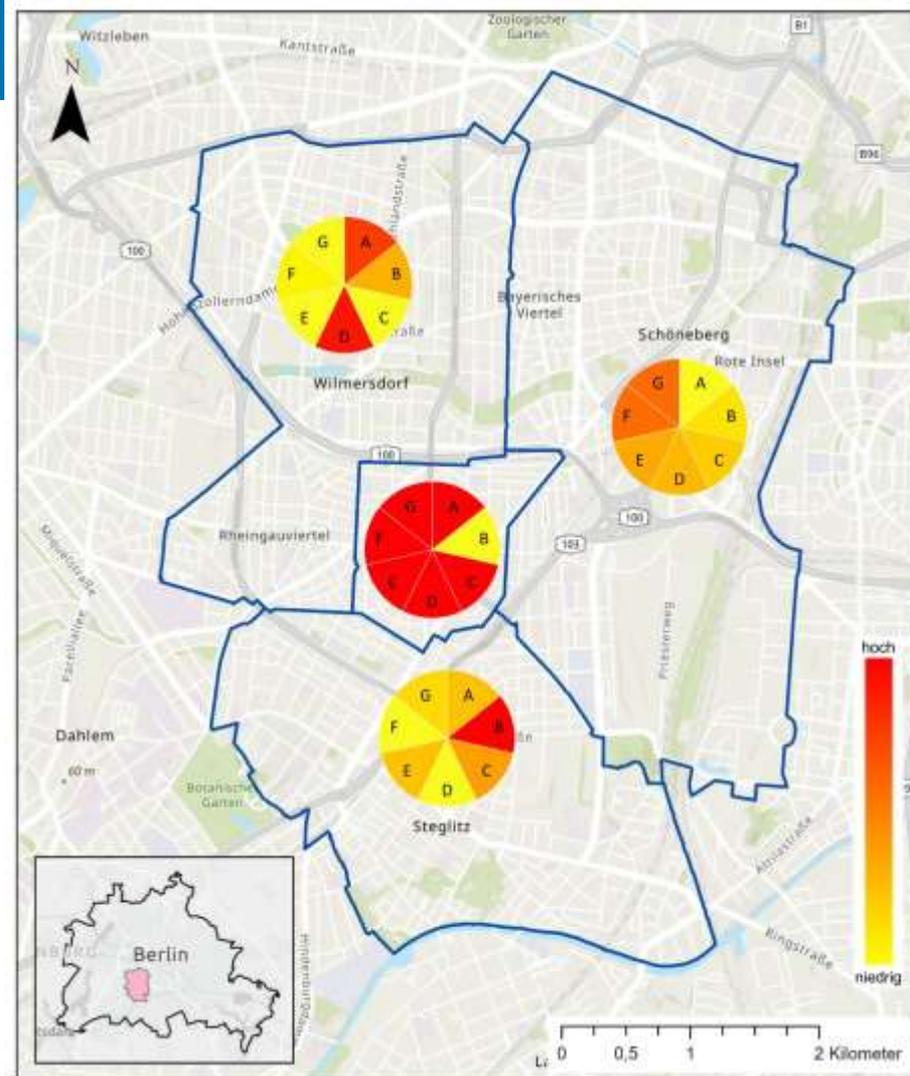
Simulierte Überflutungen (max. Wassertiefen) im Ortsteil „Reichenberg“ für Referenzszenario (links) und ein Szenario mit infiltrationsfördernden Maßnahmen bei einem 100-jährl. Niederschlag von 6-Stunden (ca. 70mm)

Analyse der Auswirkungen von Starkregen auf verschiedene Risikoelemente:

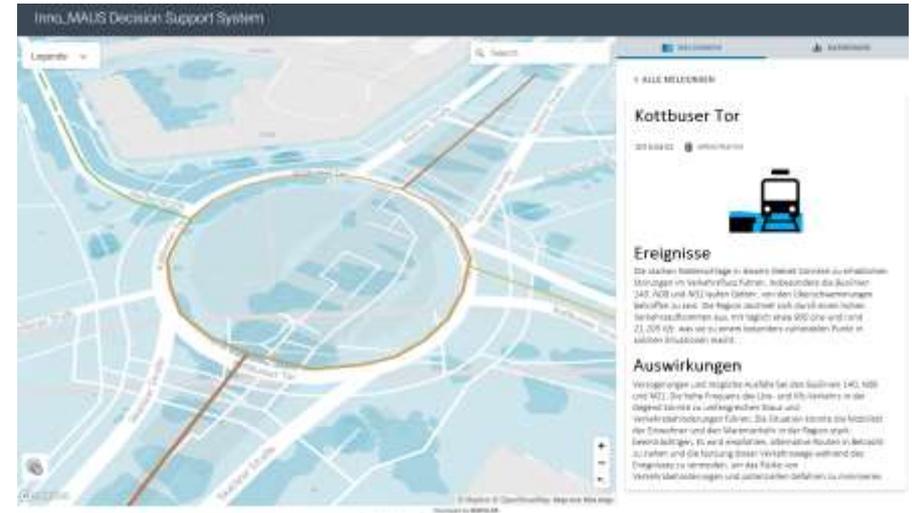
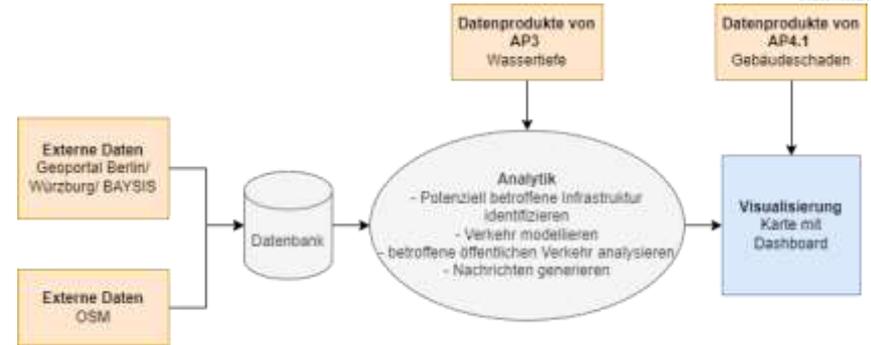
Indikatorbewertung in vier Berliner Stadtteilen:

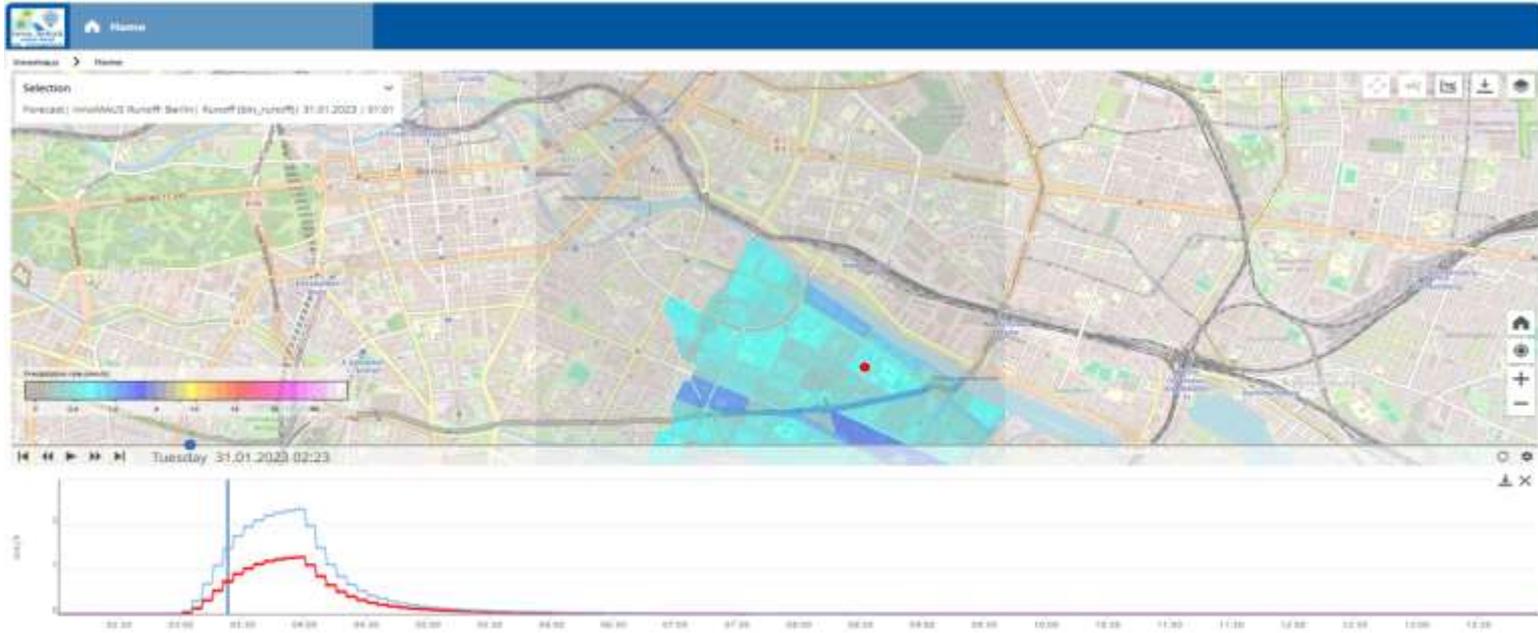
- Vulnerable Personen,
- Gebäude ohne vertikale Evakuierungsmöglichkeit,
- Fläche mit Einschränkung der Personenstabilität,
- Gebäude mit hohem oder sehr hohem Schaden,
- Kritische Objekte mit hoher oder sehr hoher Betroffenheit,
- Fläche mit Einschränkungen der Befahrbarkeit für PKWs,
- Eingeschränkte Fläche der Befahrbarkeit für BOS-Fahrzeuge;

Lindenlaub et al (2025), in review



- Modellierung von Schäden an der Verkehrsinfrastruktur durch Starkregen mit Berücksichtigung der sozioökonomischen Auswirkungen
- Aussagekräftige Visualisierung der potenziellen Gebäude- und Infrastrukturschäden mit Kartendarstellung und Dashboard, zur Unterstützung des Krisenmanagements





Demonstrator mit:

- öffentlich verfügbaren Daten
- verschiedenen Projekt-Ergebnissen

Implementierung Modell-Kette

- Analyse Modellversionen
- Modelladapter einrichten

Workshop Endnutzer:

- Frühjahr/Sommer 2025

Inno_MAUS

Innovative Instrumente für ein Management urbaner
Starkregenereignisse

Schlussfolgerungen und Ausblick



- Vorl *...aber immer noch (zu) niedrig* deutlich verbessert (bis Faktor 2)
- Urba *...aber teuer, aufwändig und bei „Super-Ereignissen“ begrenzter Mehrwert* r
- Urbar *...aber mit hohem Datenaufwand verbunden* aber nur mit Liebe zum Detail
- KI-Meth *... aber ohne Trainingsdaten kein AI-Modell...* zu ca. 100 mal schneller
- Methc *...aber Datenbegrenzung und -unsicherheiten besonders hoch...*
- In der *That's life: daher sind gründliche Analysen erforderlich...* (end) die Regel, nicht die Ausnahme

Was ist noch zu tun?

- Wirkung von Durchlässen in kleinen Gewässern ?
- Weitere Tests zur Übertragbarkeit des KI-Modells
- Direkte Anwendbarkeit bei Nutzern testen
- Erweiterung der Visualisierungsoptionen

- Abschätzung des Rückhaltepotentials zur Minderung von Wassermangel

- Anwenderworkshop



Vielen Dank:

- den Projektpartnern (aus 10 Ländern / 5 Kontinenten !)
- den assoziierten Partnern,
- für die Bereitstellung von Daten,
- für die finanzielle Förderung des Projektes durch das BMBF, und
- ... für Ihre Aufmerksamkeit !!