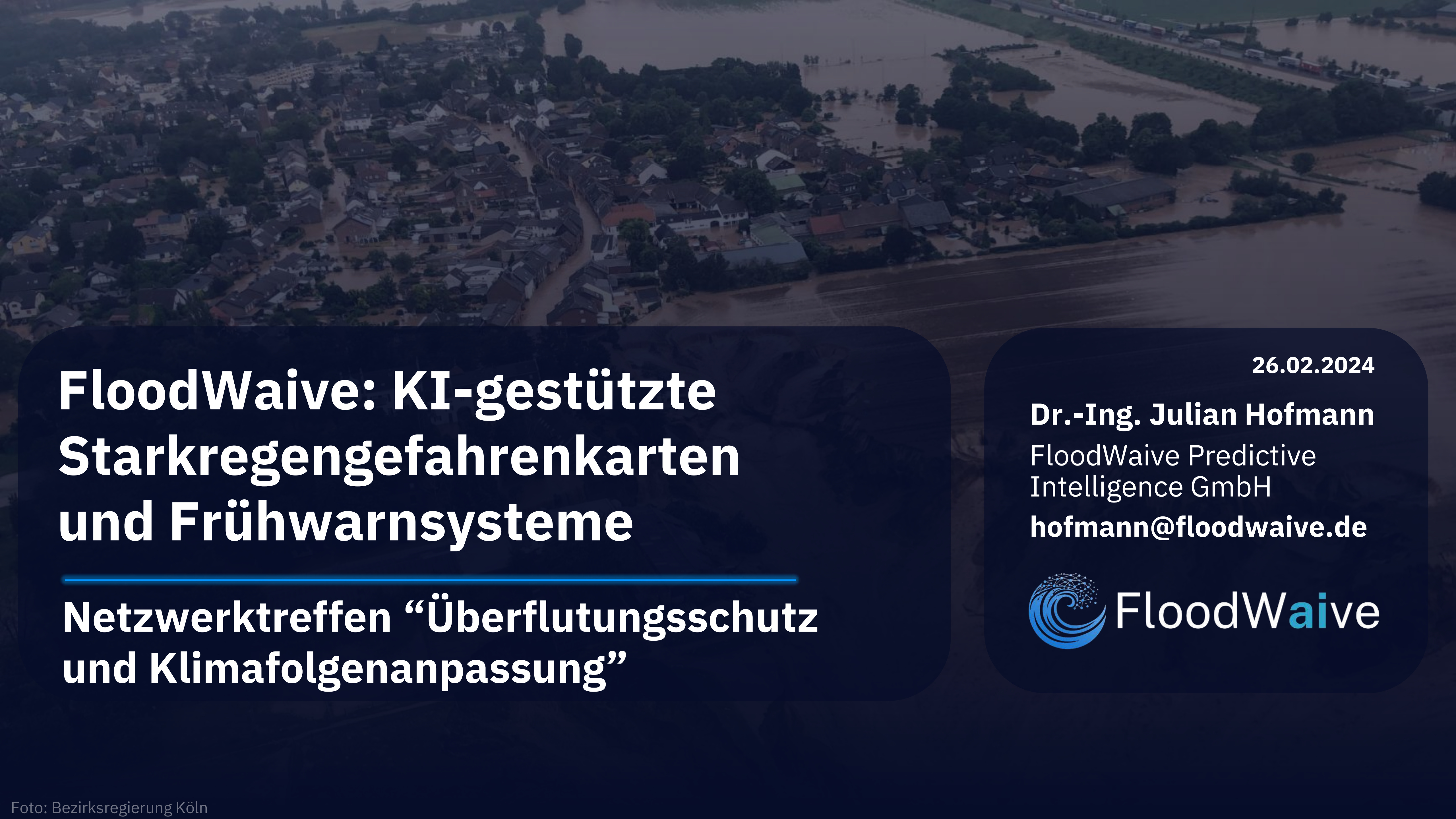


FloodWaive: KI-gestützte Starkregengefahrenkarten und Frühwarnsysteme

Netzwerktreffen “Überflutungsschutz und Klimafolgenanpassung”

26.02.2024

Dr.-Ing. Julian Hofmann
FloodWaive Predictive Intelligence GmbH
hofmann@floodwaive.de

FloodWaive

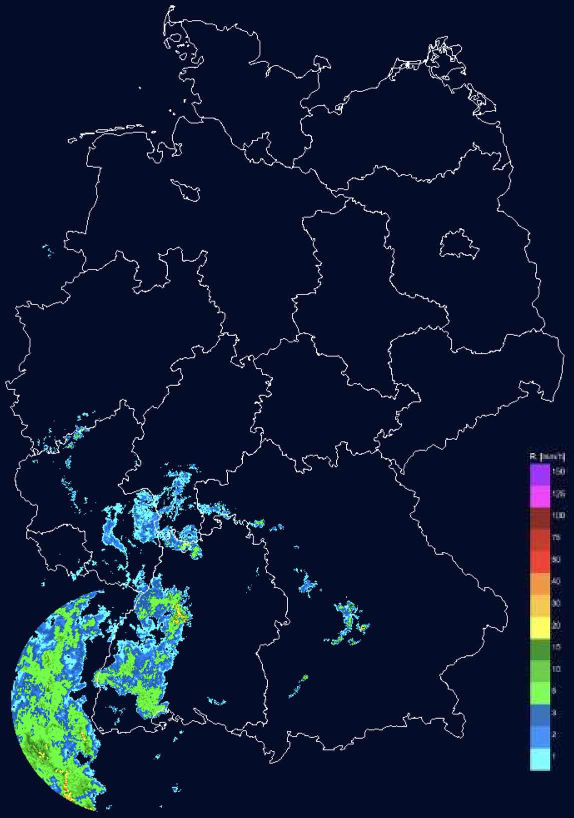
Foto: Bezirksregierung Köln

PROBLEM

Zahlreiche N-Vorhersagen | Keine Impaktvorhersagen verfügbar!

Niederschlagsvorhersage
Juli 2021

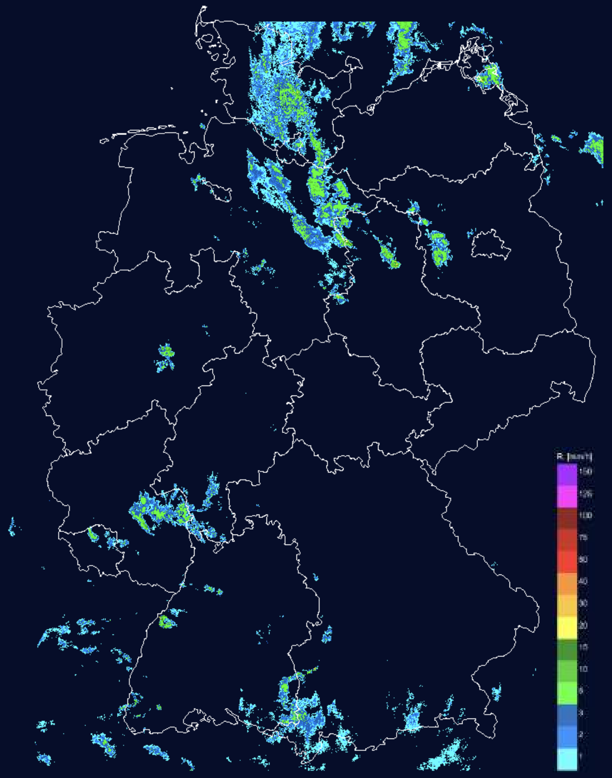
DWD Rainfall 12.07.2021 22:00


R [mm/h]
150
125
100
75
50
40
30
20
15
10
5
3
2
1

Animation: FloodWaive Predictive Intelligence GmbH
Source: Deutscher Wetterdienst, RADOLAN 2021

Niederschlagsvorhersage
Mai / Juni 2024

DWD Rainfall 31.05.2024 00:00


R [mm/h]
150
125
100
75
50
40
30
20
15
10
5
3
2
1

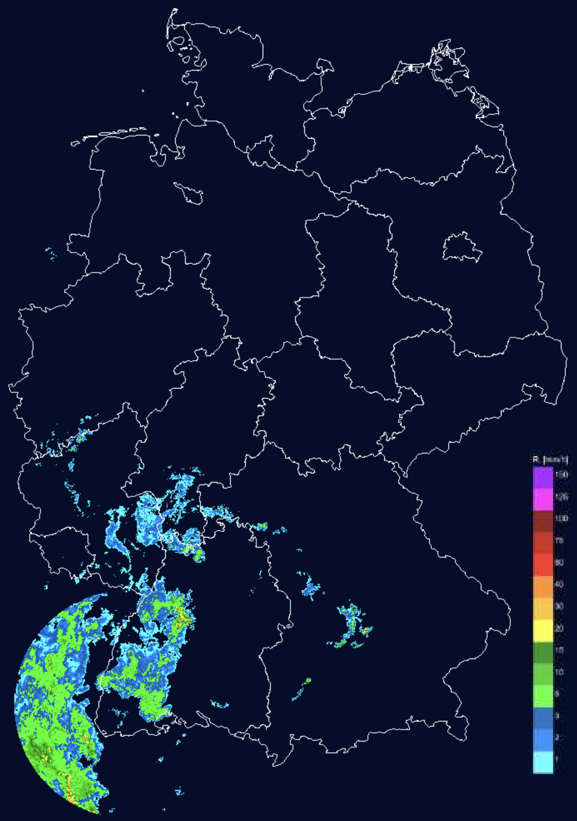
Animation: FloodWaive Predictive Intelligence GmbH
Source: Deutscher Wetterdienst, RADOLAN 2024

PROBLEM

Zahlreiche N-Vorhersagen | Keine Impaktvorhersagen verfügbar!

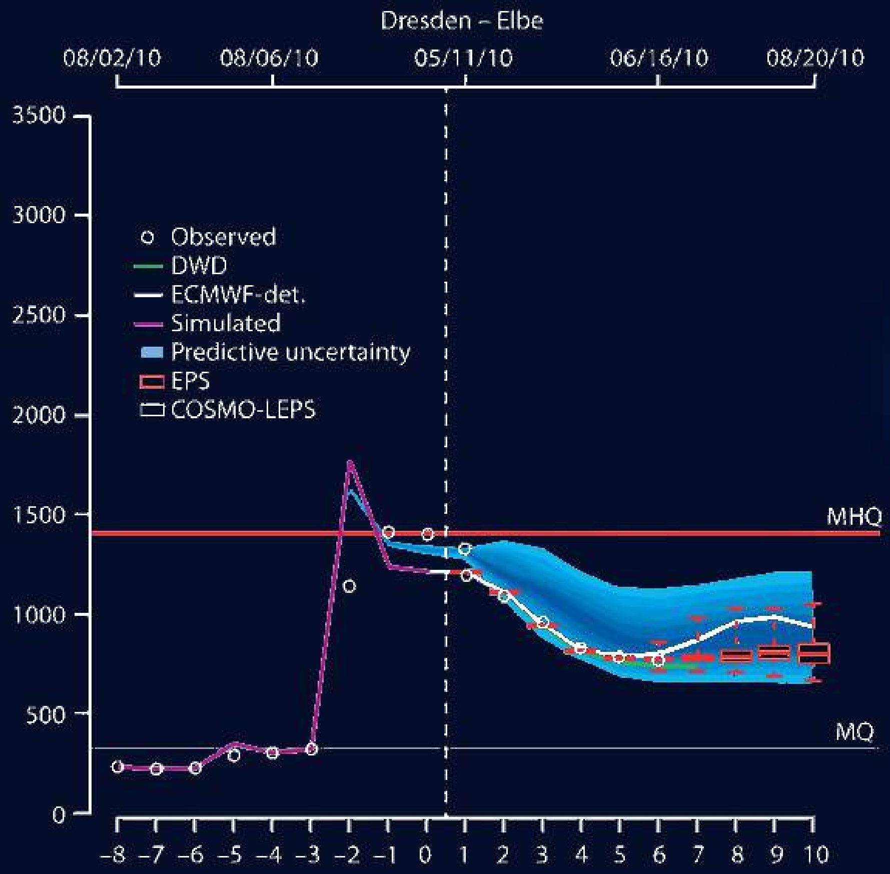
Niederschlagsvorhersage Juli 2021

DWD Rainfall 12.07.2021 22:00



Animation: FloodWaive Predictive Intelligence GmbH
Source: Deutscher Wetterdienst, RADOLAN 2021

Abflussvorhersagen an Pegeln großer Flüsse



Quelle: Schreiner, 2022 - Elbe

Problem

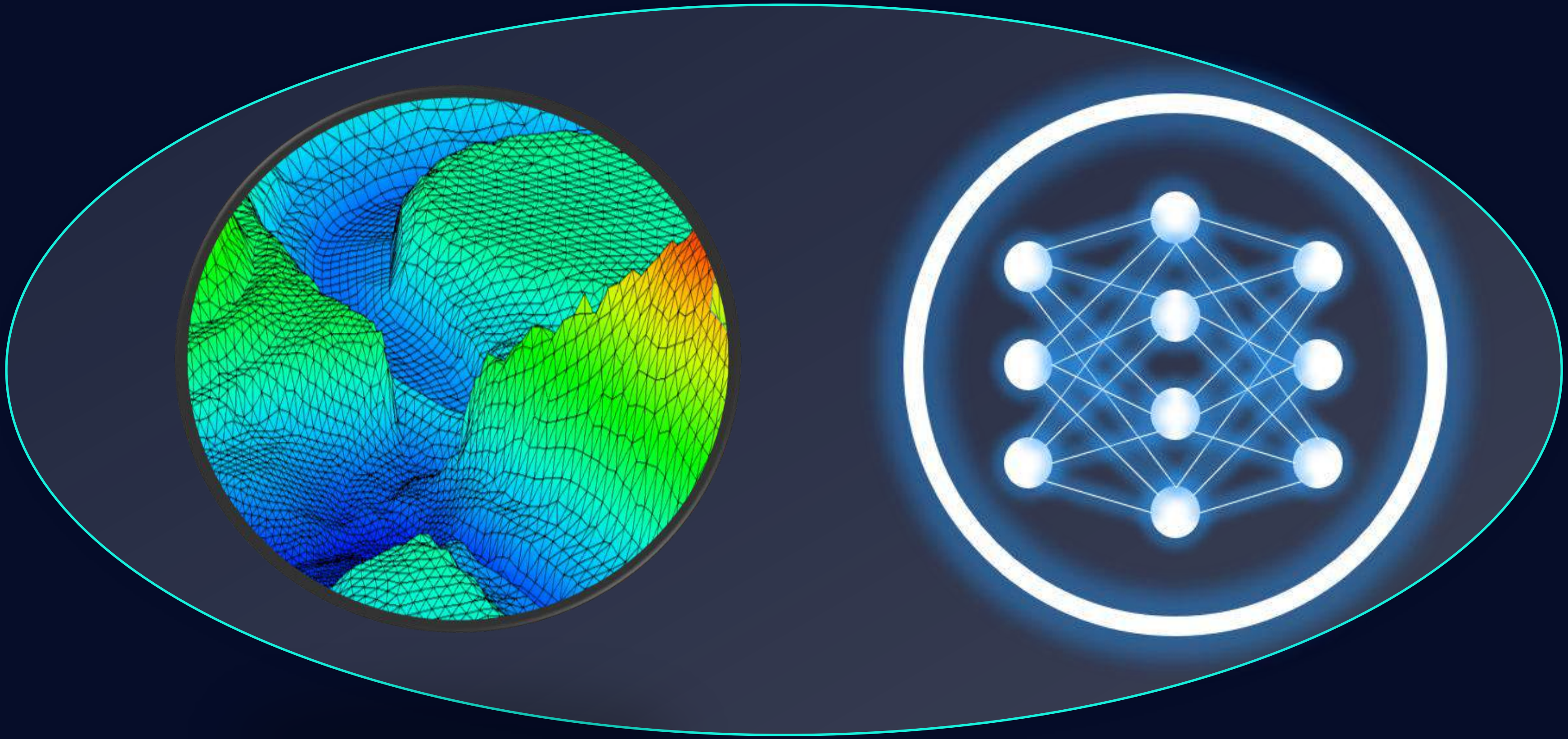
keine Auswirkungen ableitbar!

Marius Bulling, 2024

Rechenzeit klassischer 2D-Modelle > 48h

HYBRIDER ANSATZ

Fusion: Hydraulische Modelle mit Künstlicher Intelligenz



Kurze Rechenzeit

Hohe Modellgüte

Hohe Skalierbarkeit

PROBLEM

Enorme Rechenanforderungen 2D Hydraulische Simulationen

Kontiunität: $$\frac{\partial \mathrm{h}}{\partial \mathrm{t}} + \frac{\partial \bar{U} h}{\partial \mathrm{x}} + \frac{\partial \bar{V} h}{\partial \mathrm{y}} = 0$$

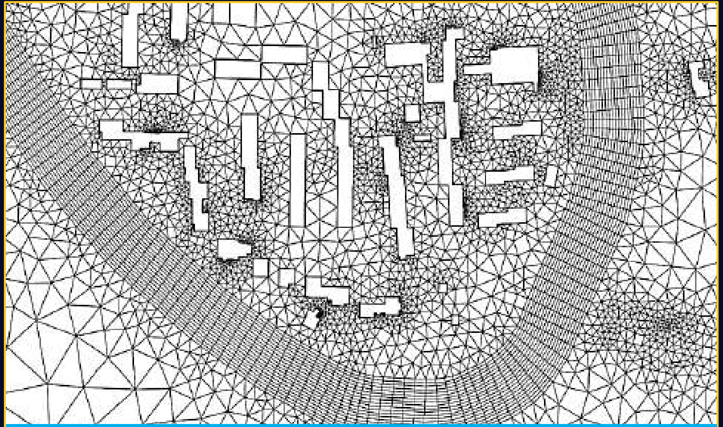
X Impuls: $$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \bar{U}\frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + v\frac{\partial \bar{U}}{\partial y} = -g\frac{\partial z_w}{\partial x} - \frac{1}{h}\frac{\tau_{bx}}{p} + v\left(\frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial y^2}\right) + \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial}{\partial x}D_{xx} + \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial}{\partial x}D_{xy}$$

Y Impuls: $$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \bar{V}\frac{\partial \bar{V}}{\partial y} + u\frac{\partial \bar{V}}{\partial x} = -g\frac{\partial z_w}{\partial y} - \frac{1}{h}\frac{\tau_{bx}}{p} + v\left(\frac{\partial^2 \bar{V}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{V}}{\partial y^2}\right) + \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial}{\partial y}D_{xy} + \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial}{\partial y}D_{yy}$$

(1) Lokale Beschl.
(2) Konvekt. Beschl.
(3) Gravitationskraft
(4) Sohlreibung
(5) Innere Reibung
(6) Dispersion

Verwendung von 2D physikalisch-basierter Software als Training

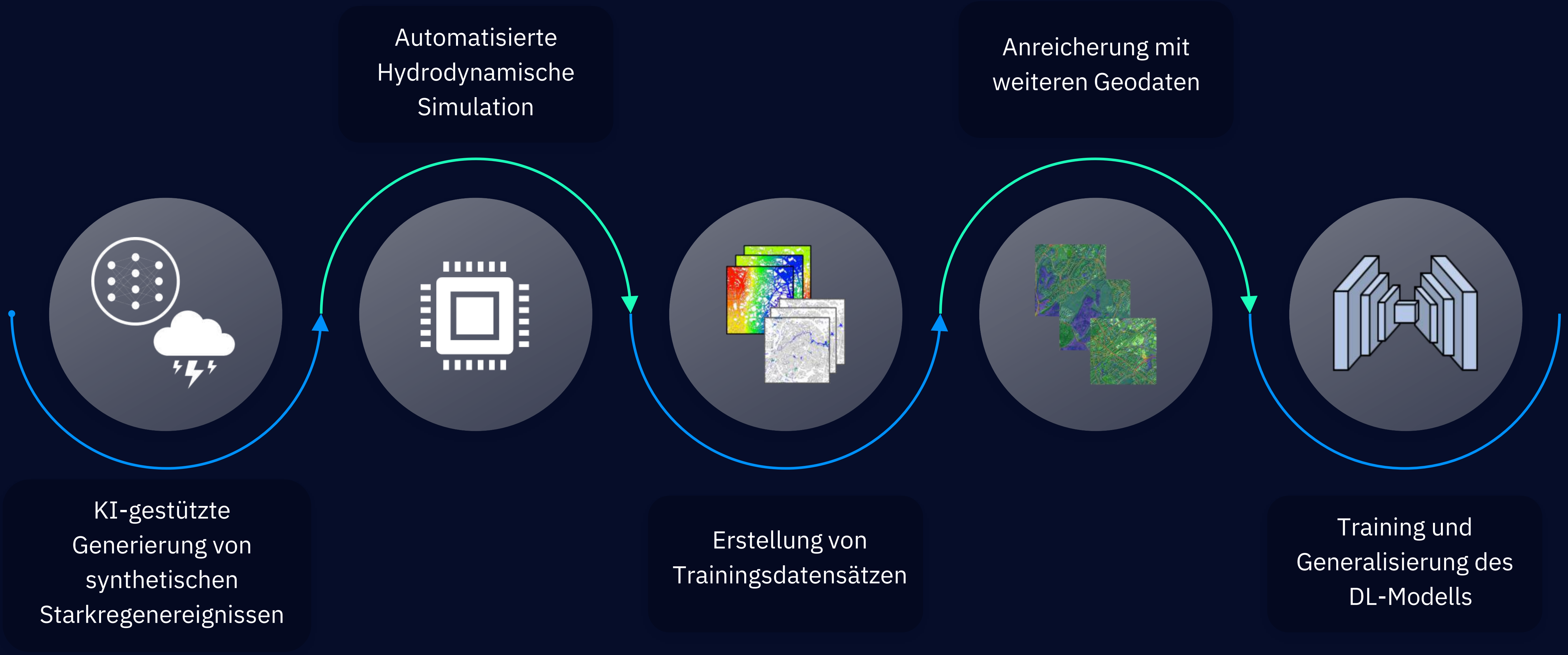
- Lösung der vollständigen 2D Flachwassergleichung
- Räumliche & zeitliche Diskretisierung: Finite Volumen Verfahren
- Flexible Mesh: Lokale Anpassungen der Auflösungen möglich
- Berechnungen auf Grafikkarten möglich (GPU-Support)



Lösung der 2D Flachwassergleichung für jede Zelle!

HYBRIDER ANSATZ

Trainingsablauf des generalisierten KI-Modells DeepWaive



KI-gestützte Generierung von synthetischen Starkregenereignissen

Automatisierte Hydrodynamische Simulation

Erstellung von Trainingsdatensätzen

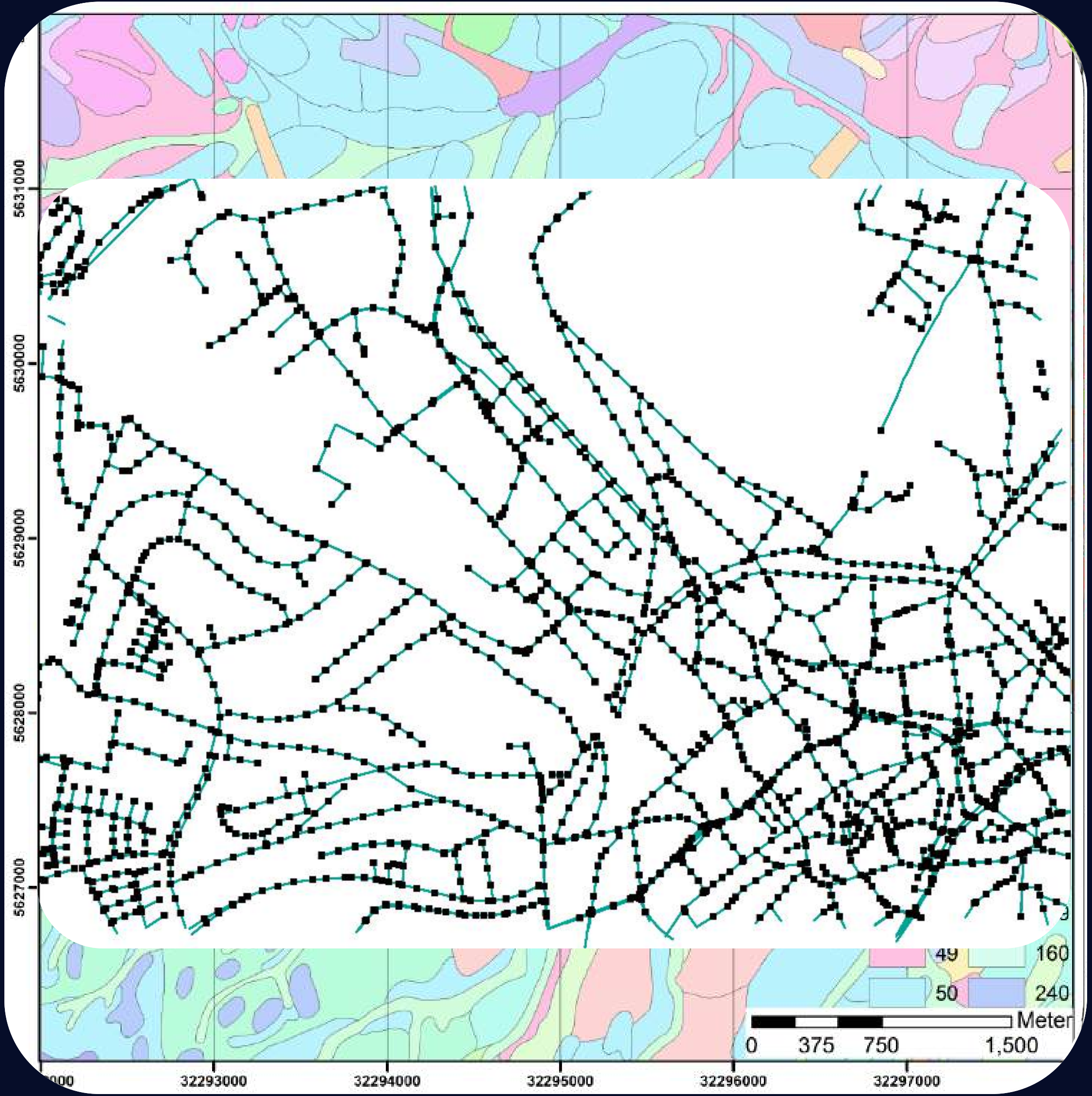
Anreicherung mit weiteren Geodaten

Training und Generalisierung des DL-Modells

DEEPWAIVE

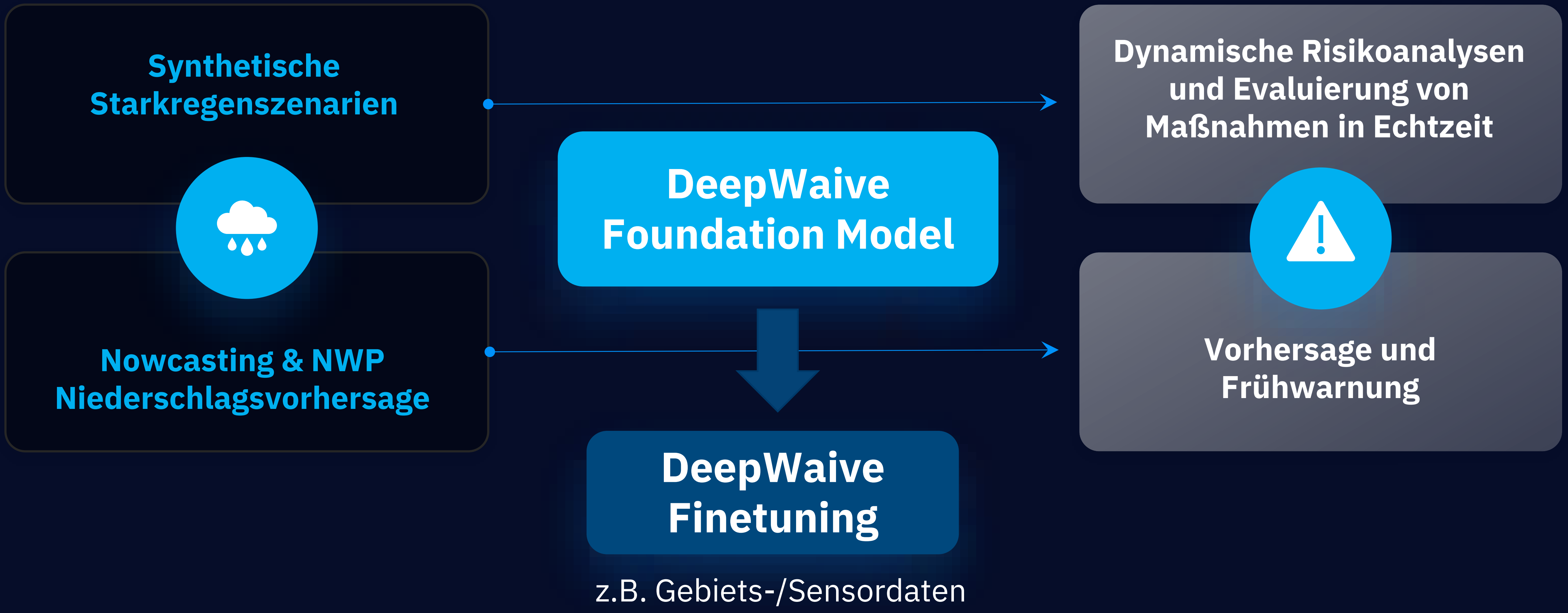
Eingehende Geodaten zur Modellaufstellung

- Digitale Orthophotos
- Digitales Geländemodell
  Auflösung 1 x 1 m (DGM1)
- Digitales Landschaftsmodell
  (ATKIS-Flächennutzung)
- Gebäudedaten
- Bodendaten | Infiltration
- Gewässer | Kanalnetz


5631000
5630000
5629000
5628000
5627000
000
32293000
32294000
32295000
32296000
32297000
49
160
50
240
Meter
0
375
750
1,500

LÖSUNG

DeepWaive: Zwei Einsatzwecke - Risikoanalyse & Frühwarnung



Synthetische Starkregenszenarien

Nowcasting & NWP Niederschlagsvorhersage

DeepWaive Foundation Model

DeepWaive Finetuning

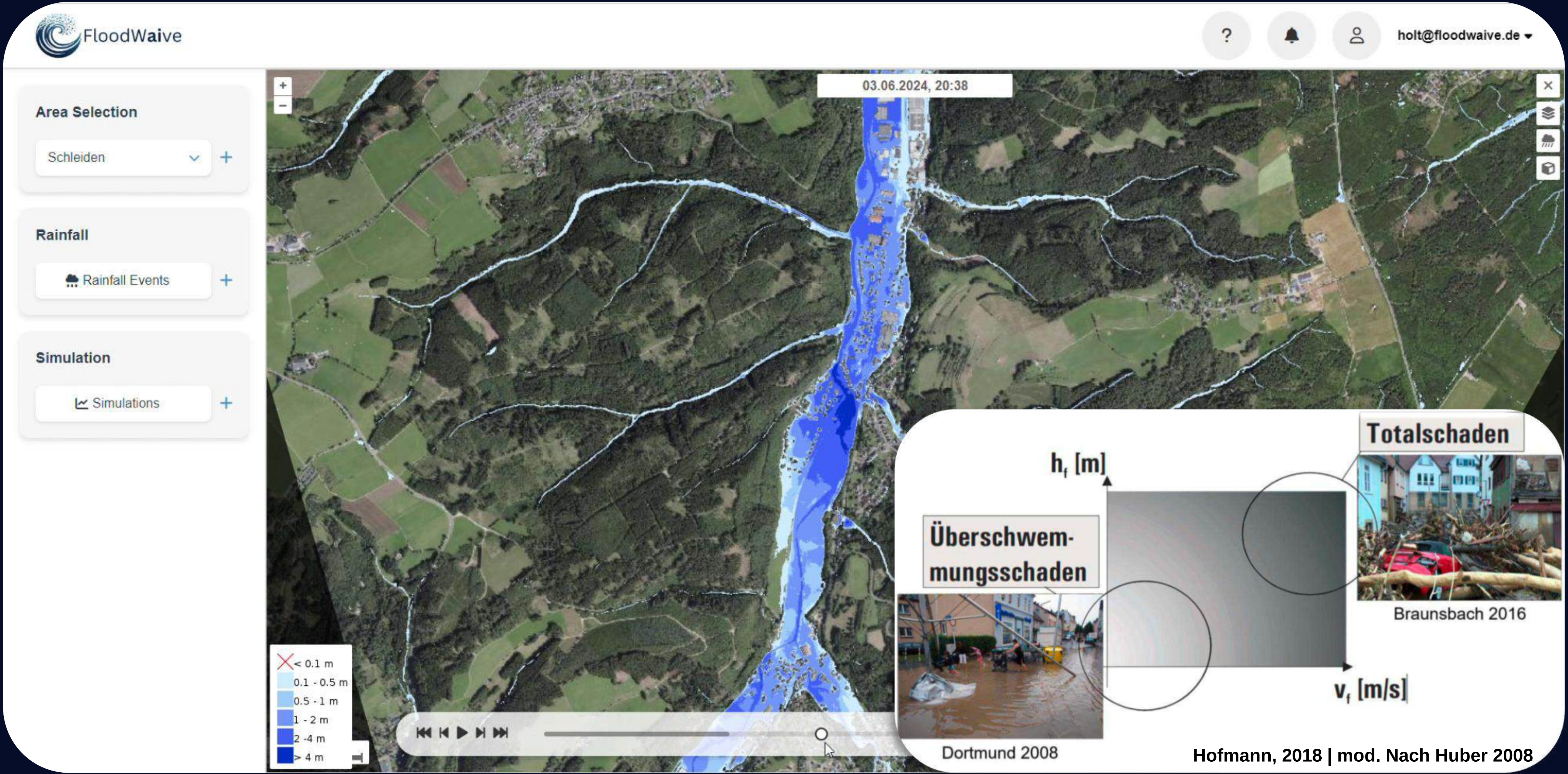
z.B. Gebiets-/Sensordaten

Dynamische Risikoanalysen und Evaluierung von Maßnahmen in Echtzeit

Vorhersage und Frühwarnung

PROGNOSE-AS-A-SERVICE | ÜBERALL & JEDERZEIT

Vorhersage von Flusshochwasser & Starkregenüberflutungen



FloodWaive

holt@floodwaive.de

Area Selection

Schleiden

Rainfall

Rainfall Events

Simulation

Simulations

03.06.2024, 20:38

< 0.1 m
0.1 - 0.5 m
0.5 - 1 m
1 - 2 m
2 -4 m
> 4 m

Totalschaden
h_f [m]
Überschwem-mungsschaden
v_f [m/s]
Braunsbach 2016
Dortmund 2008

Hofmann, 2018 | mod. Nach Huber 2008

BENCHMARKING

Vergleich: Hydraulisches 2D-Modell mit KI-Hybrid-Modell

2D Hydrodynamisches Model

Rechenzeit: 780 min

Heterogener Niederschlag: 50mm/h

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0 3.0 4.0 5.0

Water Depth [m]

DeepWaive Model

Rechenzeit: 0.25 sec

Heterogener Niederschlag: 50mm/h

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0 3.0 4.0 5.0

Water Depth [m]

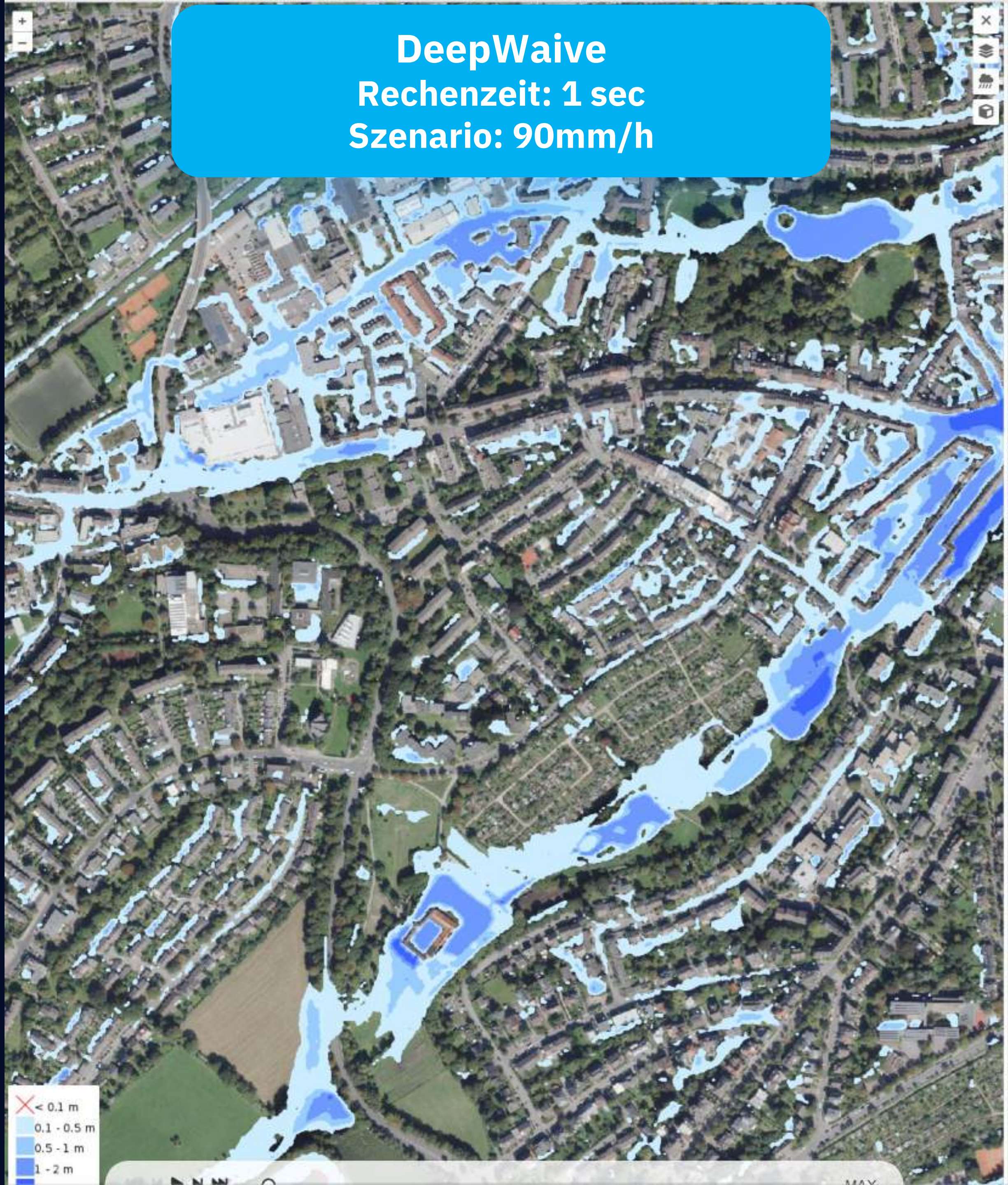
Performance Vergleich

Beschleunigung: 10^5

R^2: 0.301
RMSE: 0.00

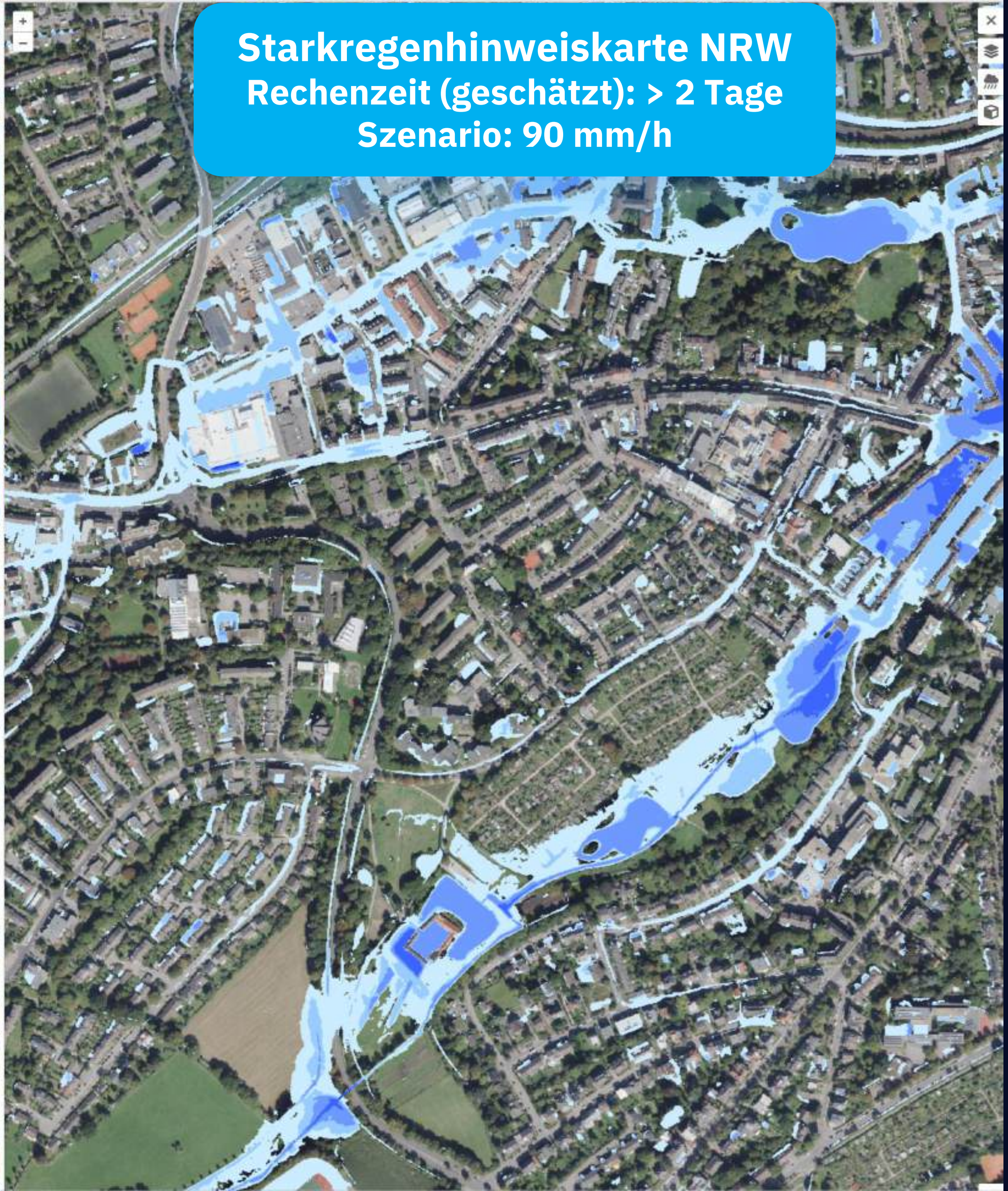
0.05 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0

Water Depth Differences [m]

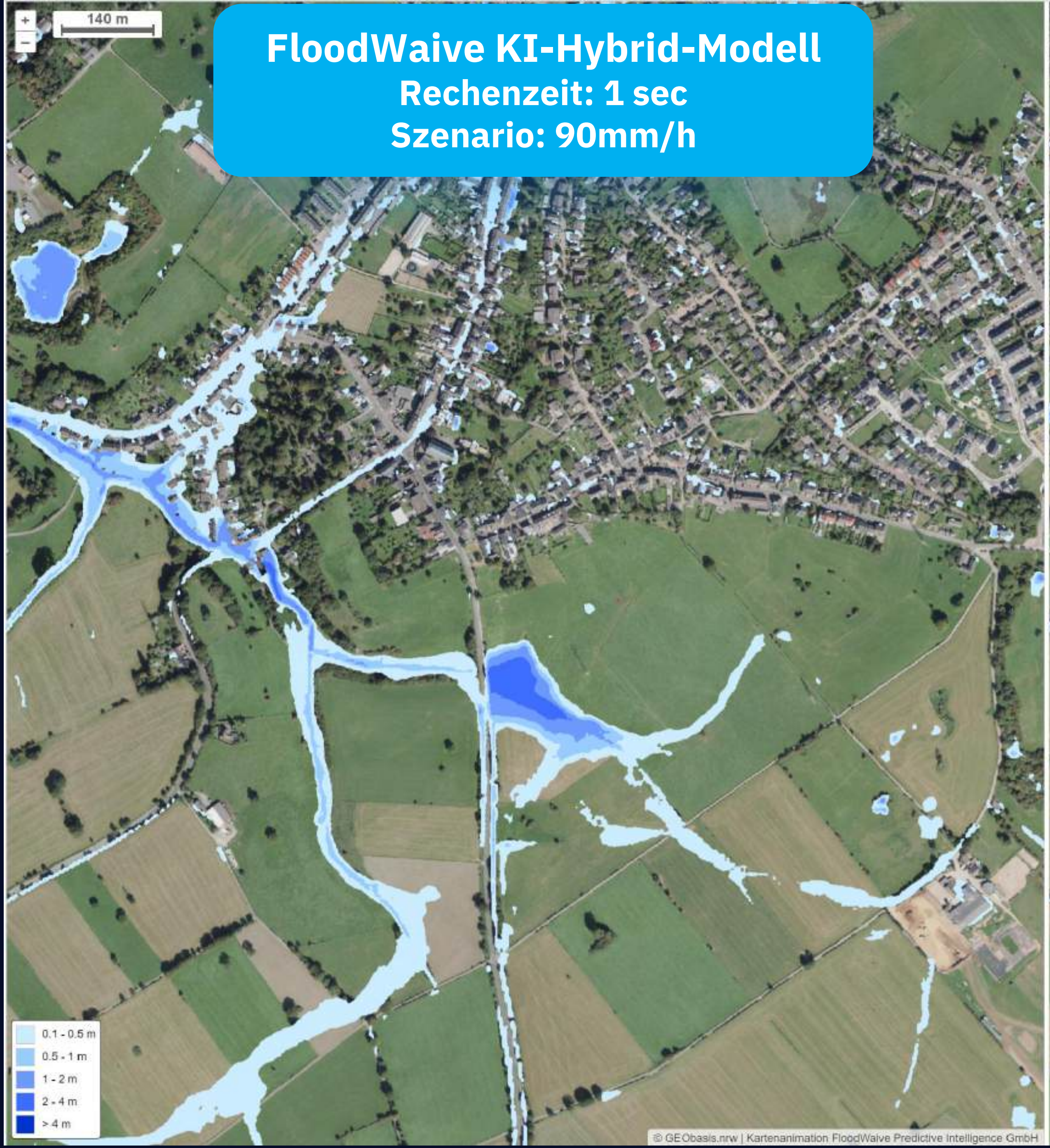


DeepWaive
Rechenzeit: 1 sec
Szenario: 90mm/h

< 0.1 m
0.1 - 0.5 m
0.5 - 1 m
1 - 2 m
MAX

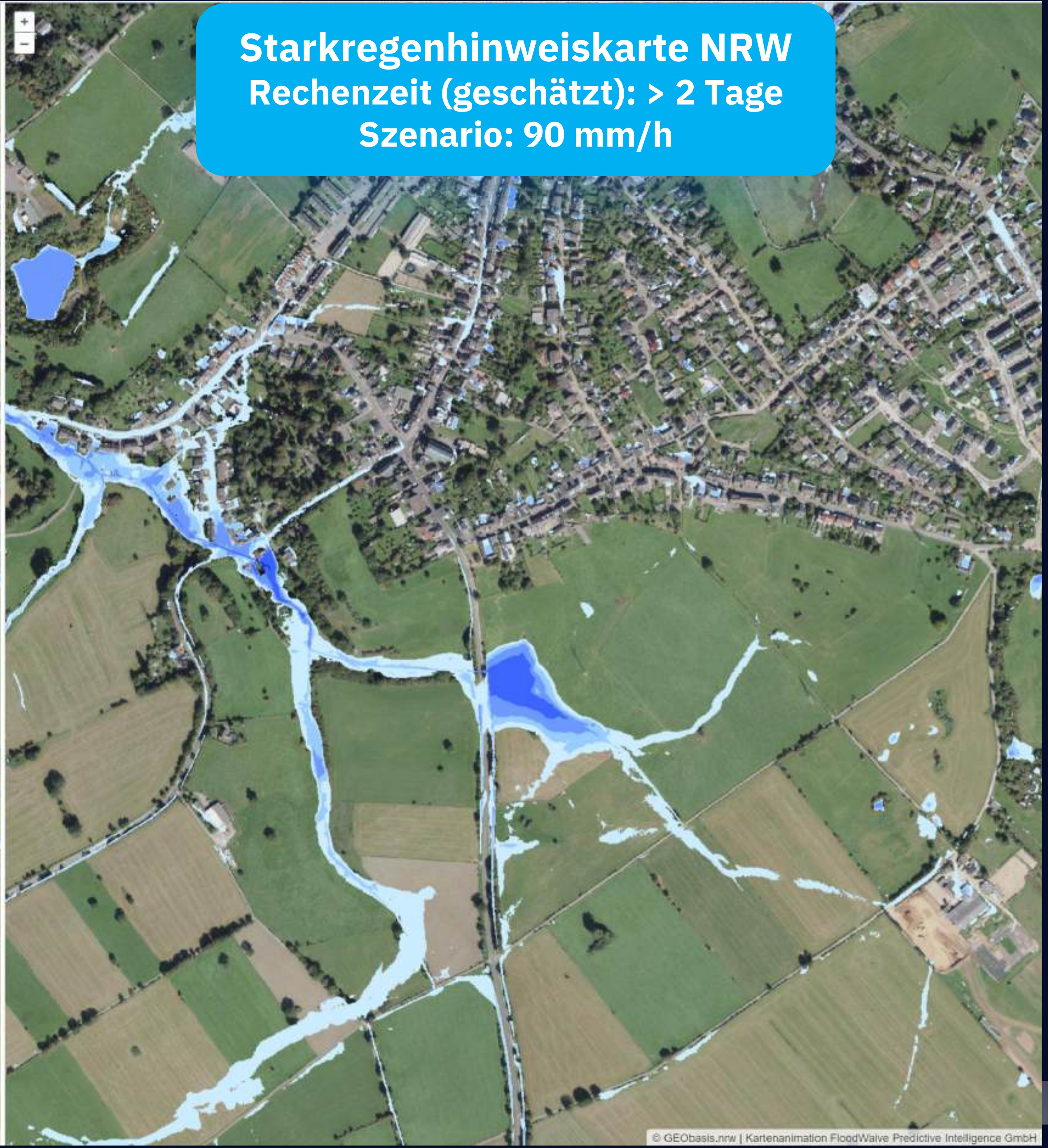


Starkregenhinweiskarte NRW
Rechenzeit (geschätzt): > 2 Tage
Szenario: 90 mm/h



FloodWaive KI-Hybrid-Modell
Rechenzeit: 1 sec
Szenario: 90mm/h

© GEObasis.nrw | Kartenanimation FloodWaive Predictive Intelligence GmbH

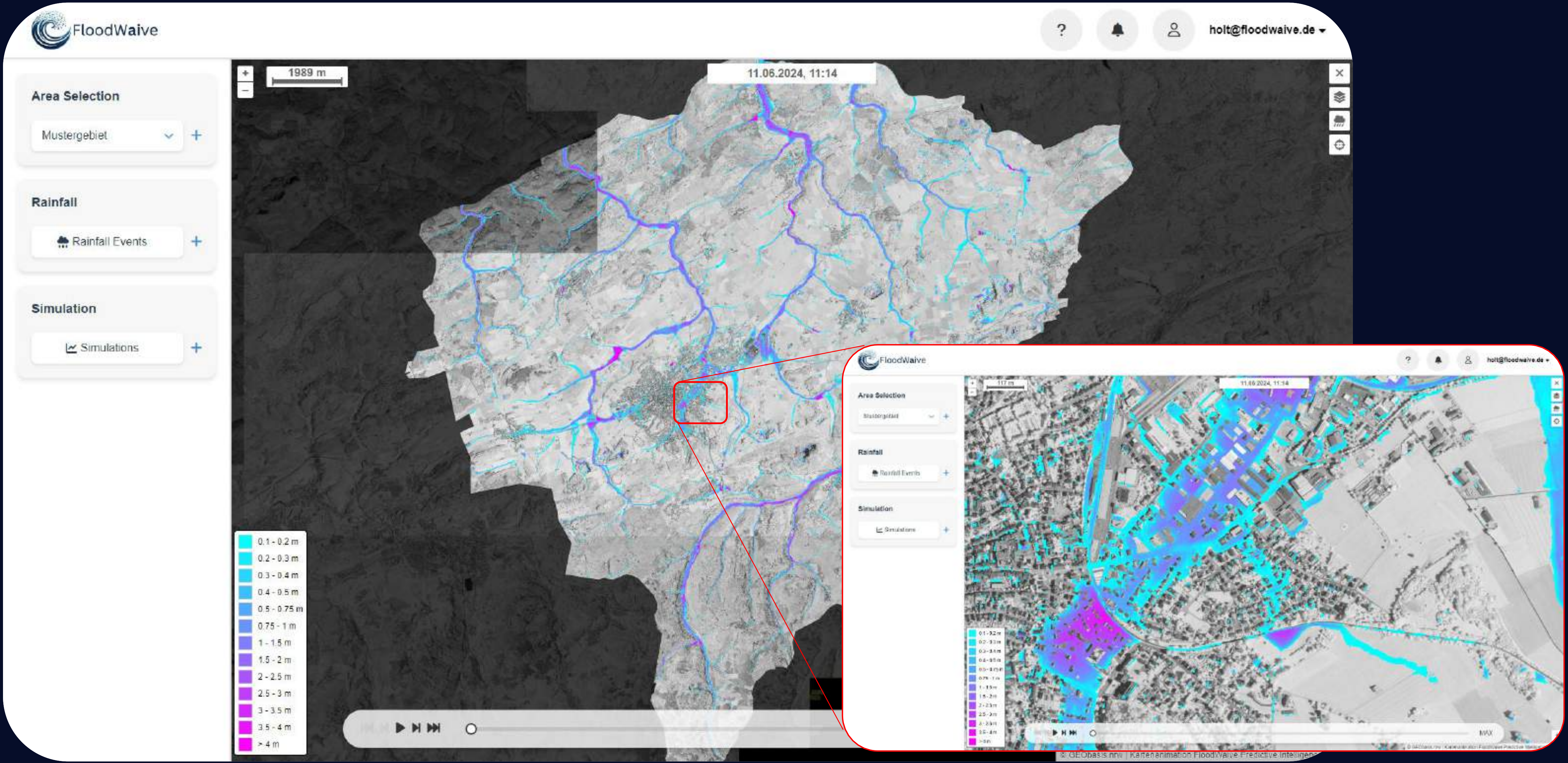


Starkregenhinweiskarte NRW
Rechenzeit (geschätzt): > 2 Tage
Szenario: 90 mm/h

© GEObasis.nrw | Kartenanimation FloodWaive Predictive Intelligence GmbH

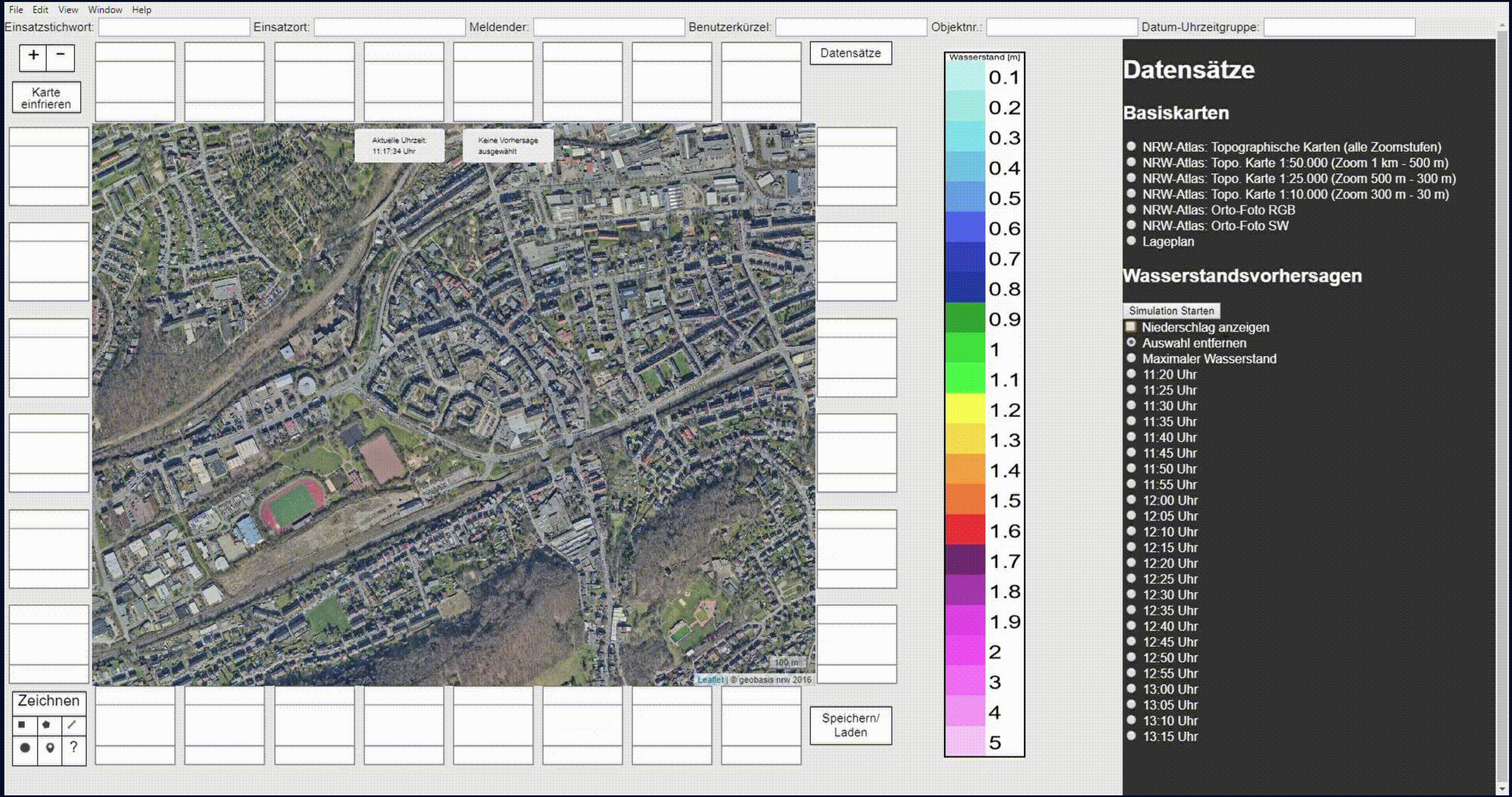
RISIKOANALYSE-AS-A-SERVICE | ÜBERALL & JEDERZEIT

Sehr große Gebiete | 1 m Aufösung | 1 Sek. Rechenzeit


FloodWaive
?
holt@floodwaive.de
Area Selection
Mustergebiet
Rainfall
Rainfall Events
Simulation
Simulations
1989 m
11.06.2024, 11:14
0.1 - 0.2 m
0.2 - 0.3 m
0.3 - 0.4 m
0.4 - 0.5 m
0.5 - 0.75 m
0.75 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
2 - 2.5 m
2.5 - 3 m
3 - 3.5 m
3.5 - 4 m
> 4 m
117 m
MAX
© GEObasis.nrw | Kartenanimation FloodWaive Predictive Intelligence

MÖGLICHKEITEN

Einbindung in Einsatzführungssysteme (z.B. EFTAS oder Fireboard)


File
Edit
View
Window
Help
+
−
Karte einfrieren
Datensätze
Zeichnen
?
Speichern/ Laden
Wasserstand [m]
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
1.8
1.9
2
3
4
5
100 m
Leaflet | © geobasis nrw 2016
Simulation Starten

Einsatzstichwort:
Einsatzort:
Meldender:
Benutzerkürzel:
Objektnr.:
Datum-Uhrzeitgruppe:

Aktuelle Uhrzeit: 11:17:34 Uhr

Keine Vorhersage ausgewählt

Datensätze

Basiskarten

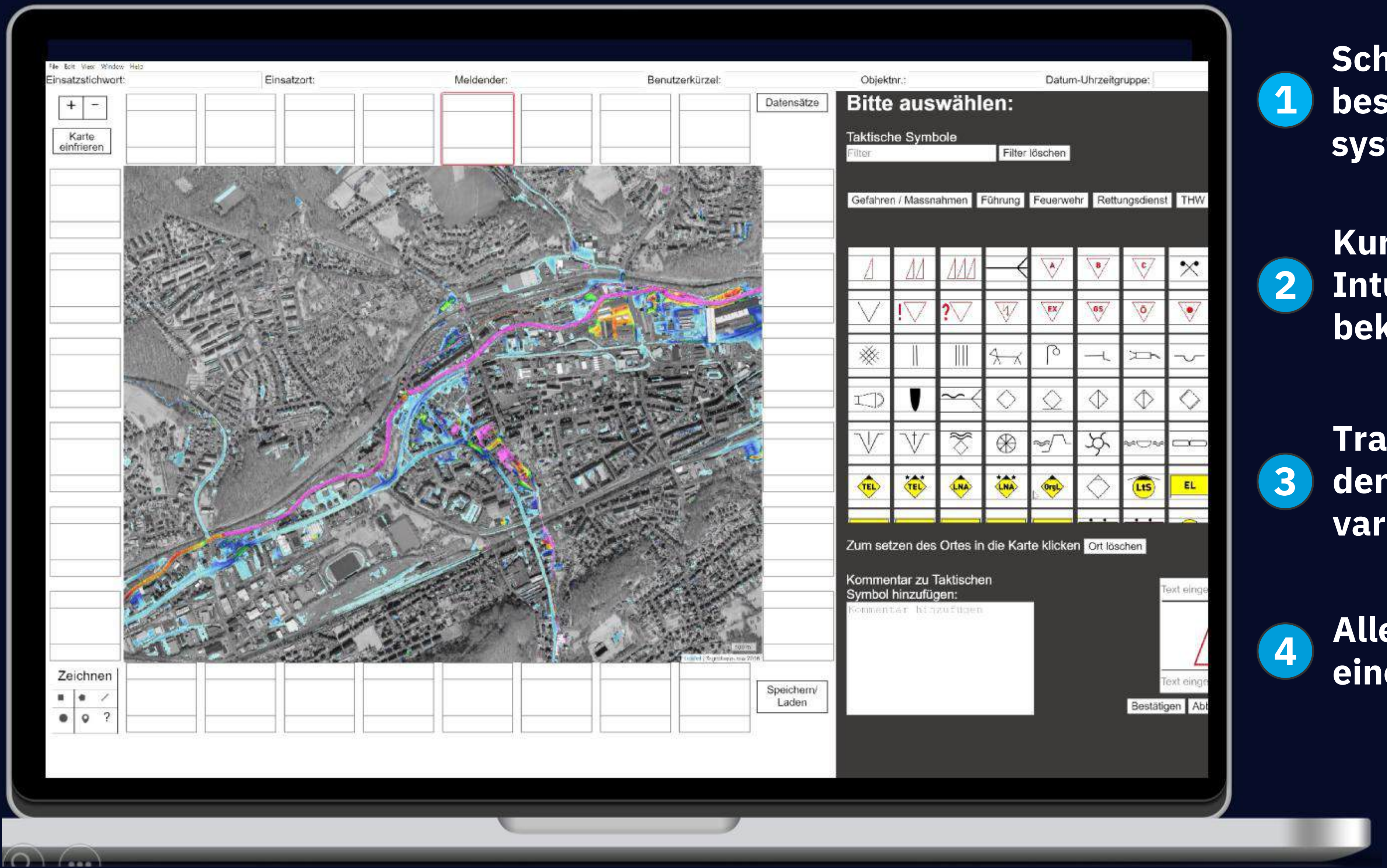
- NRW-Atlas: Topographische Karten (alle Zoomstufen)
- NRW-Atlas: Topo. Karte 1:50.000 (Zoom 1 km - 500 m)
- NRW-Atlas: Topo. Karte 1:25.000 (Zoom 500 m - 300 m)
- NRW-Atlas: Topo. Karte 1:10.000 (Zoom 300 m - 30 m)
- NRW-Atlas: Orto-Foto RGB
- NRW-Atlas: Orto-Foto SW
- Lageplan

Wasserstandsvorhersagen

☐ Niederschlag anzeigen
○ Auswahl entfernen
● Maximaler Wasserstand
● 11:20 Uhr
● 11:25 Uhr
● 11:30 Uhr
● 11:35 Uhr
● 11:40 Uhr
● 11:45 Uhr
● 11:50 Uhr
● 11:55 Uhr
● 12:00 Uhr
● 12:05 Uhr
● 12:10 Uhr
● 12:15 Uhr
● 12:20 Uhr
● 12:25 Uhr
● 12:30 Uhr
● 12:35 Uhr
● 12:40 Uhr
● 12:45 Uhr
● 12:50 Uhr
● 12:55 Uhr
● 13:00 Uhr
● 13:05 Uhr
● 13:10 Uhr
● 13:15 Uhr

INTEGRATION FEUERWEHRSYSTEME

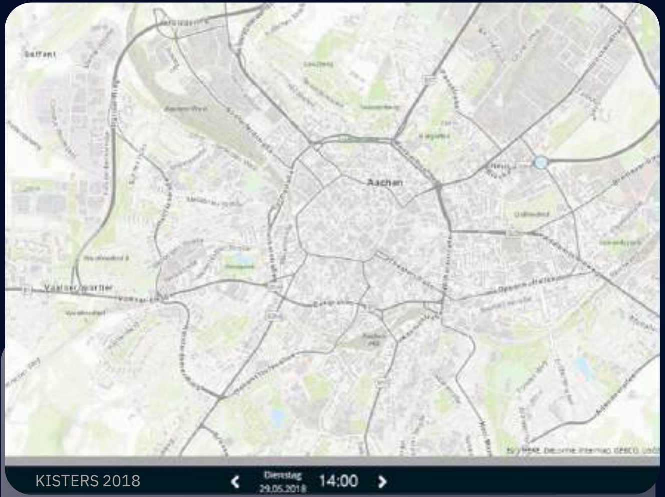
Einbindung in Einsatzführungssysteme (z.B. EFTAS oder Fireboard)


Einsatzstichwort:
Einsatzort:
Meldender:
Benutzerkürzel:
Objektnr.:
Datum-Uhrzeitgruppe:
+
−
Karte einfrieren
Datensätze
Bitte auswählen:
Taktische Symbole
Filter
Filter löschen
Gefahren / Massnahmen
Führung
Feuerwehr
Rettungsdienst
THW
TEL
TEL
LNA
LNA
OrgL
LtS
EL
Zum setzen des Ortes in die Karte klicken
Ort löschen
Kommentar zu Taktischen Symbol hinzufügen:
Kommentar hinzufügen
Text einge
Text einge
Bestätigen
Abb
Zeichnen
?
Speichern/ Laden

1. Schnelle Einbindung in bestehende Informations-systeme
2. Kurze Einarbeitung und Intuitive Nutzung durch bekannte Umgebung
3. Training und Schulung für den Ereignisfall mit Hilfe variabler Szenarien
4. Alle Informationen in einem System

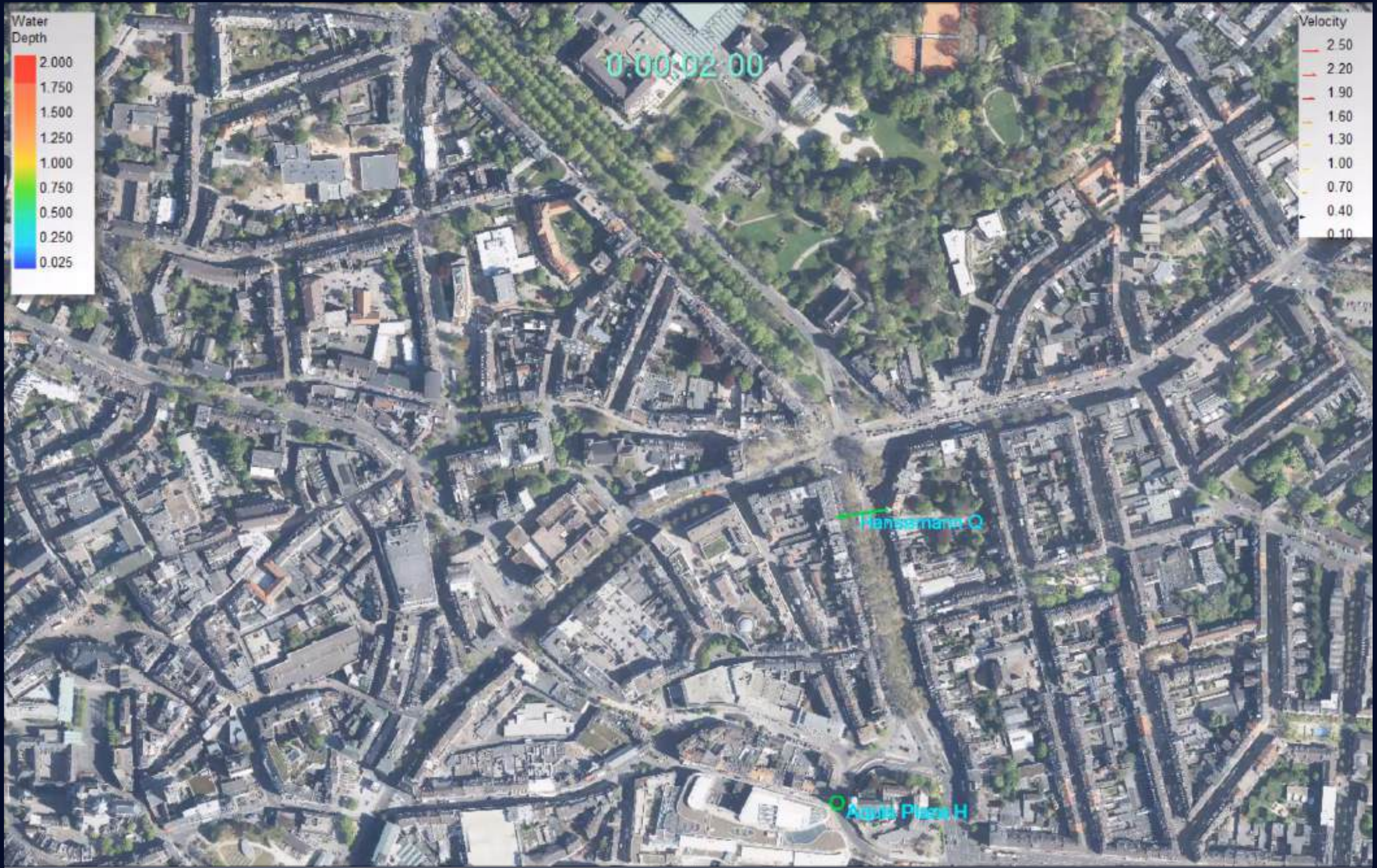
BEISPIELDEMONSTRATOR

Nachrechnung des Starkregenereignisses 29.05.2018 in Aachen


Aachen
KISTERS 2018
Dienstag
29.05.2018
14:00

Niederschlagsvorhersage 29.05.18

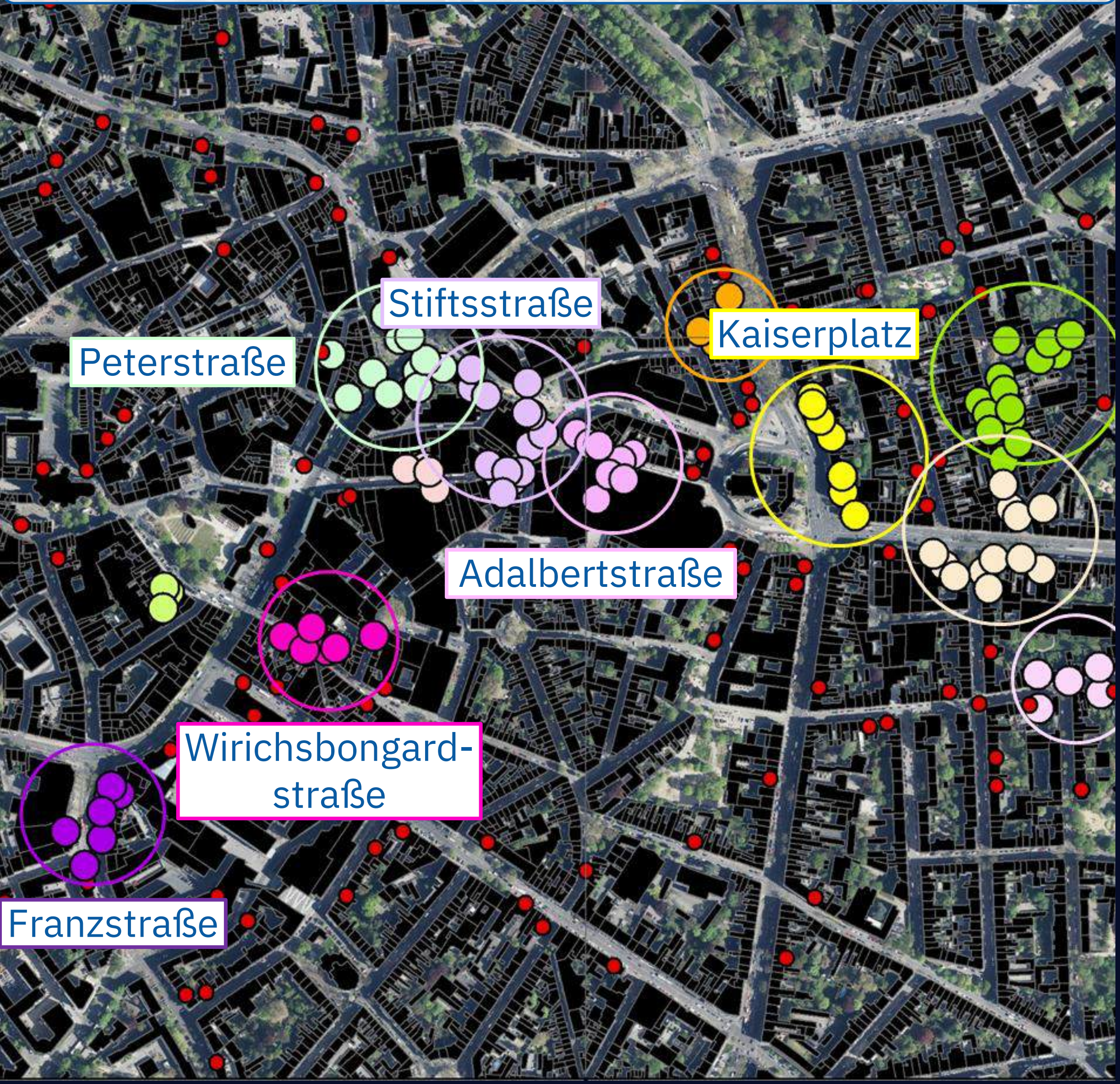
**Rechenzeit:
1 second**


Water Depth
2.000
1.750
1.500
1.250
1.000
0.750
0.500
0.250
0.025
0:00:02:00
Velocity
2.50
2.20
1.90
1.60
1.30
1.00
0.70
0.40
0.10
Hansemann Q
Aquis Plaza H

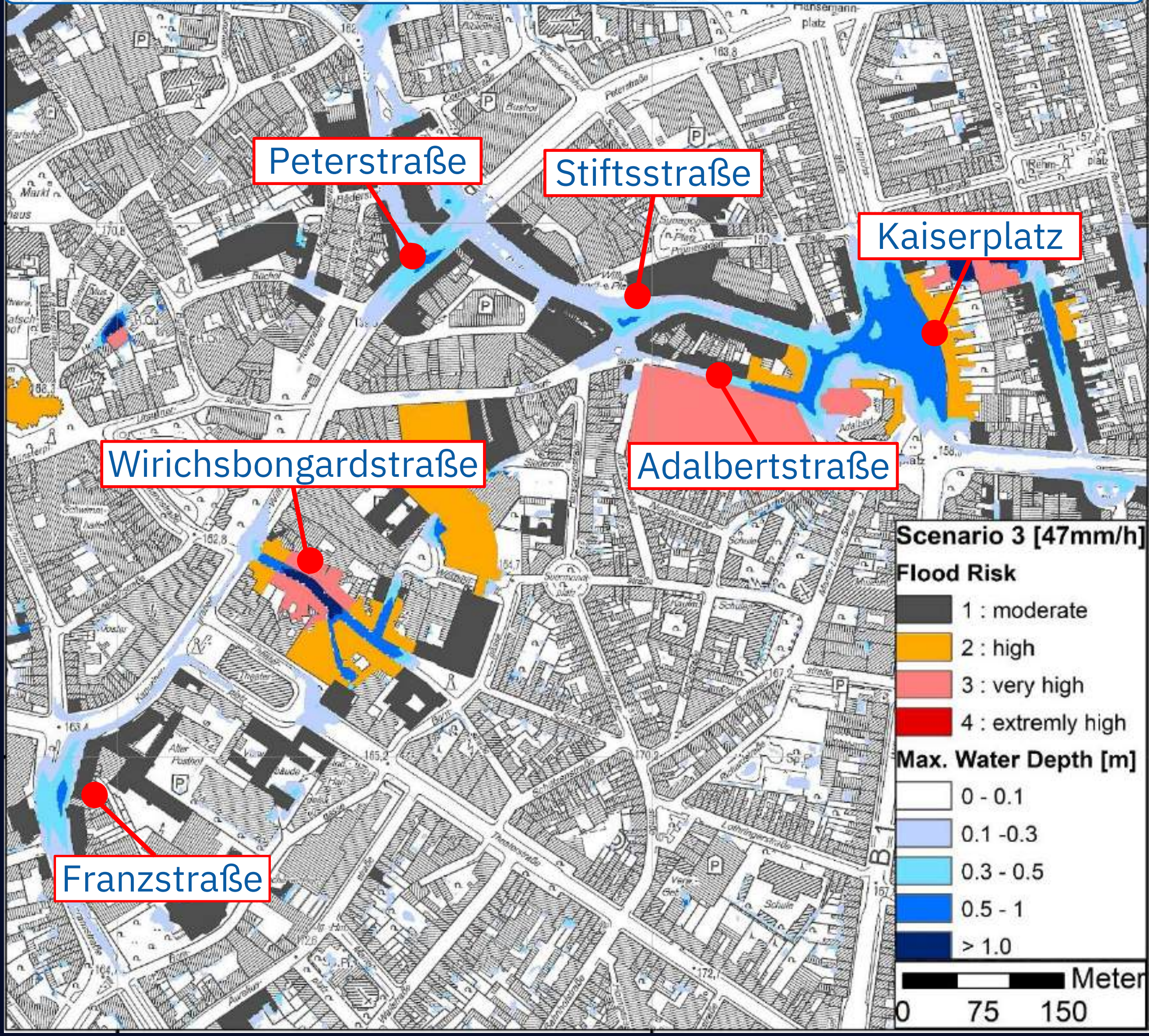
Vorhersage des KI-Hybrid-Modells

Modellvalidierung des Starkregenereignisses 29.05.2018

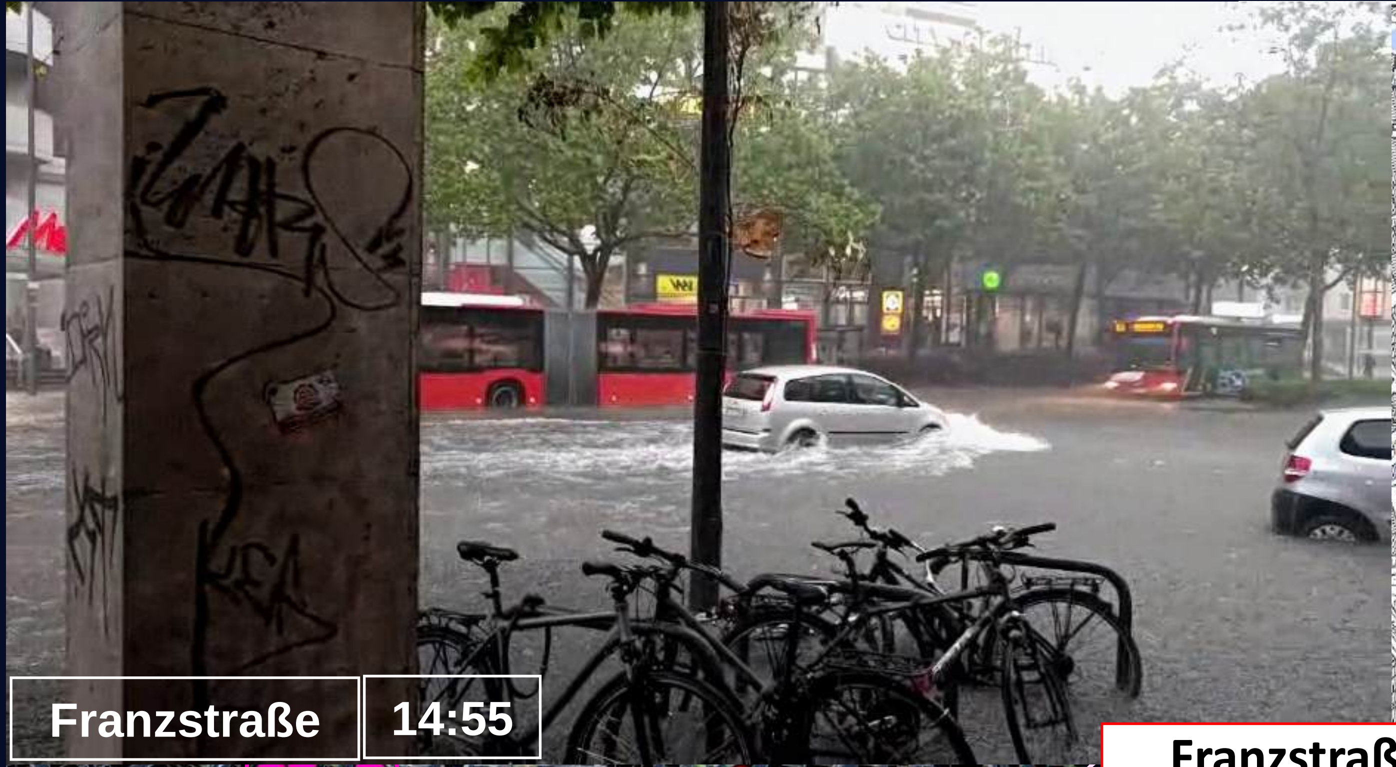
Emergency Calls 29.05.2018 Aachen

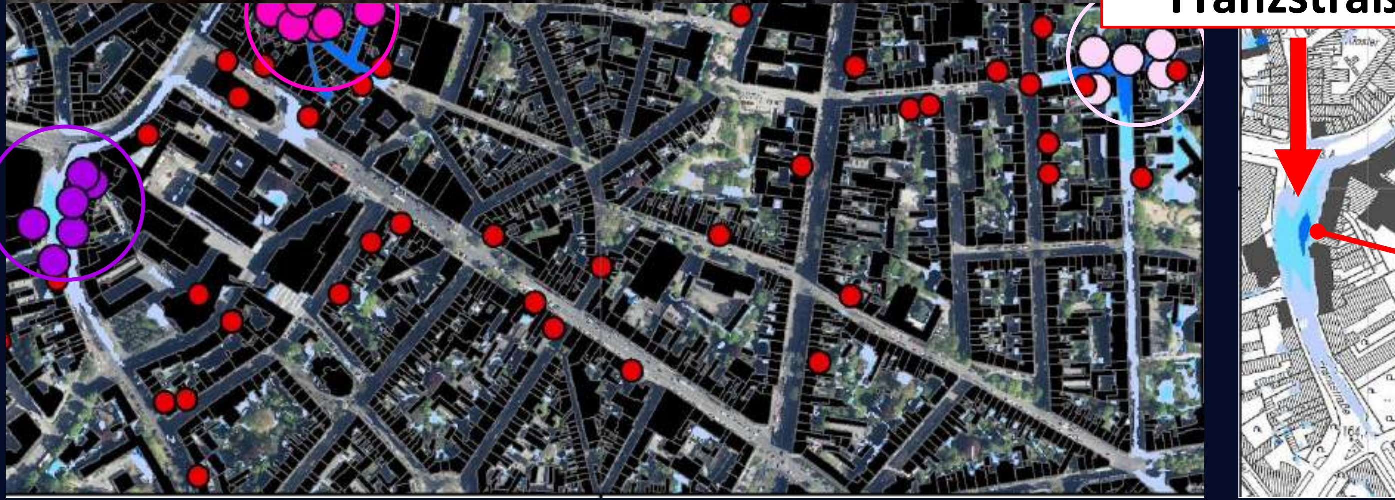

Stiftsstraße
Kaiserplatz
Peterstraße
Adalbertstraße
Wirichsbongard-
straße
Franzstraße

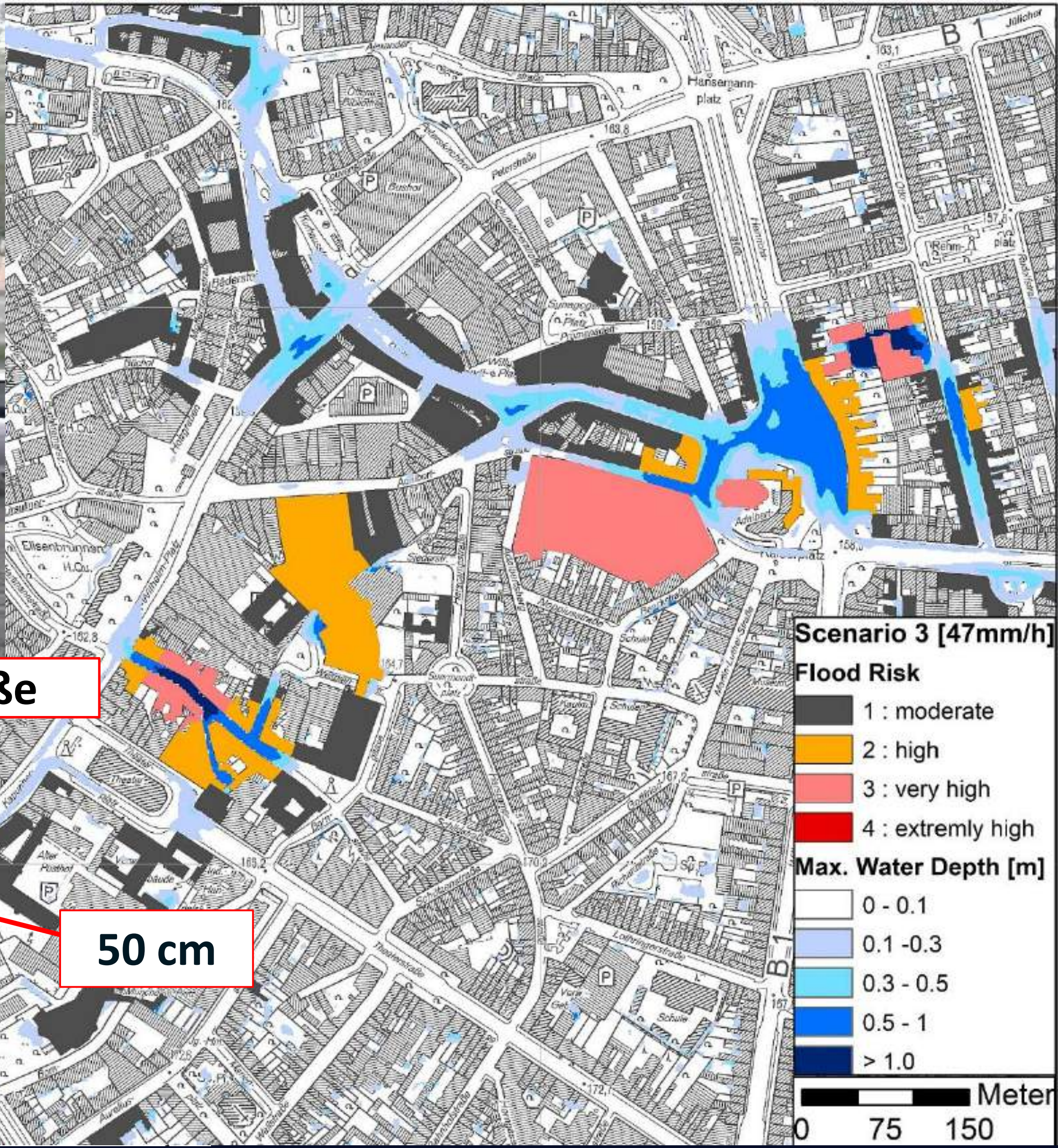
Hindcast Simulation


Peterstraße
Stiftsstraße
Kaiserplatz
Wirichsbongardstraße
Adalbertstraße
Franzstraße
Scenario 3 [47mm/h]
Flood Risk
1 : moderate
2 : high
3 : very high
4 : extremly high
Max. Water Depth [m]
0 - 0.1
0.1 -0.3
0.3 - 0.5
0.5 - 1
> 1.0
Meter
0
75
150

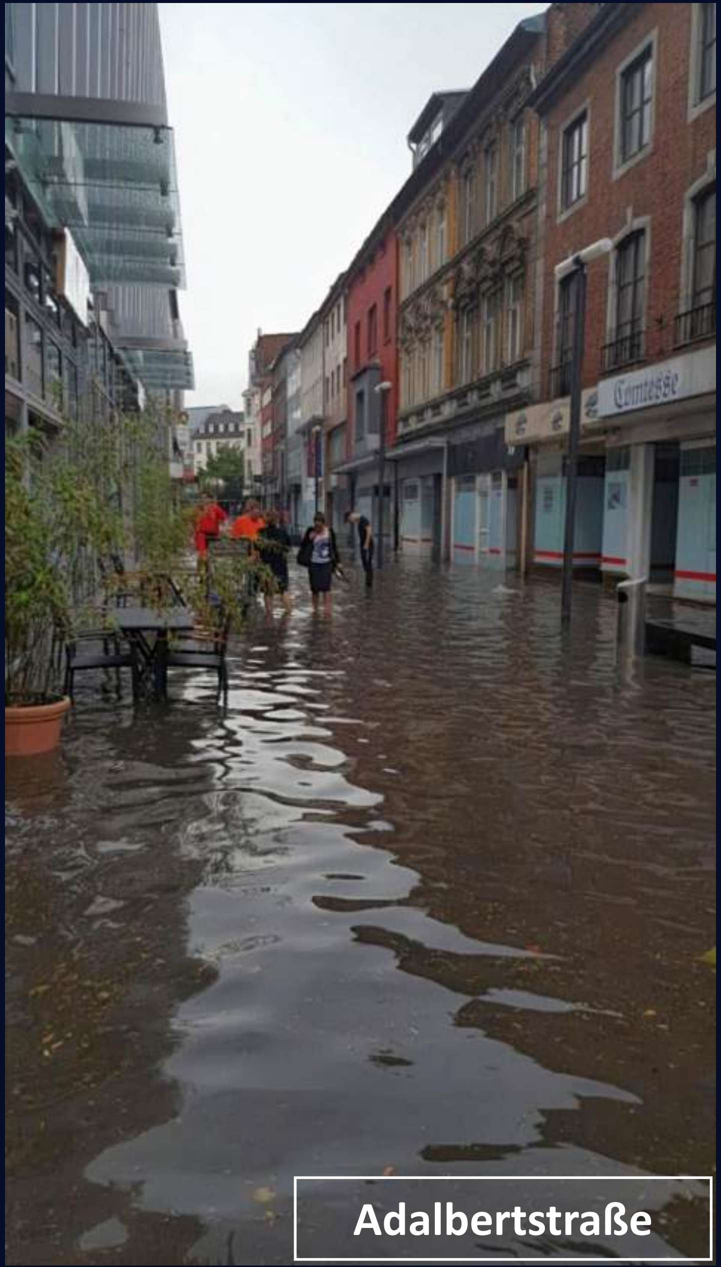
Modellvalidierung des Starkregenereignisses 29.05.2018

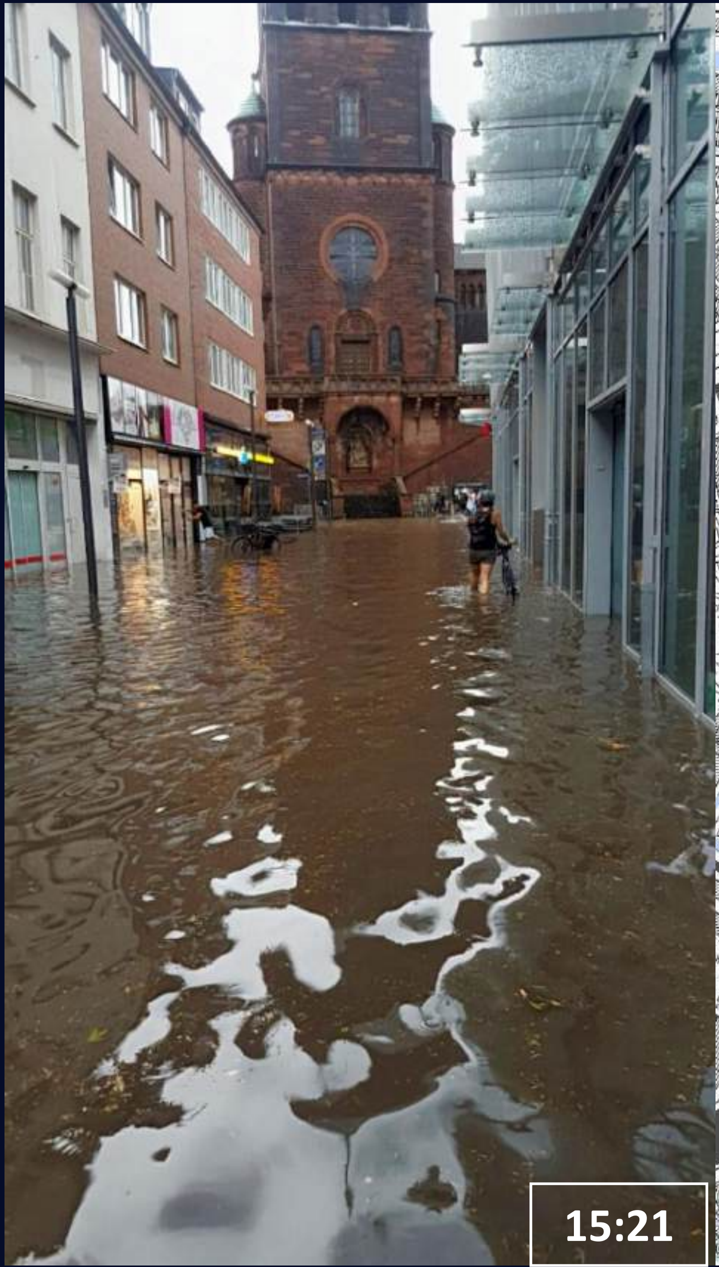

Franzstraße
14:55

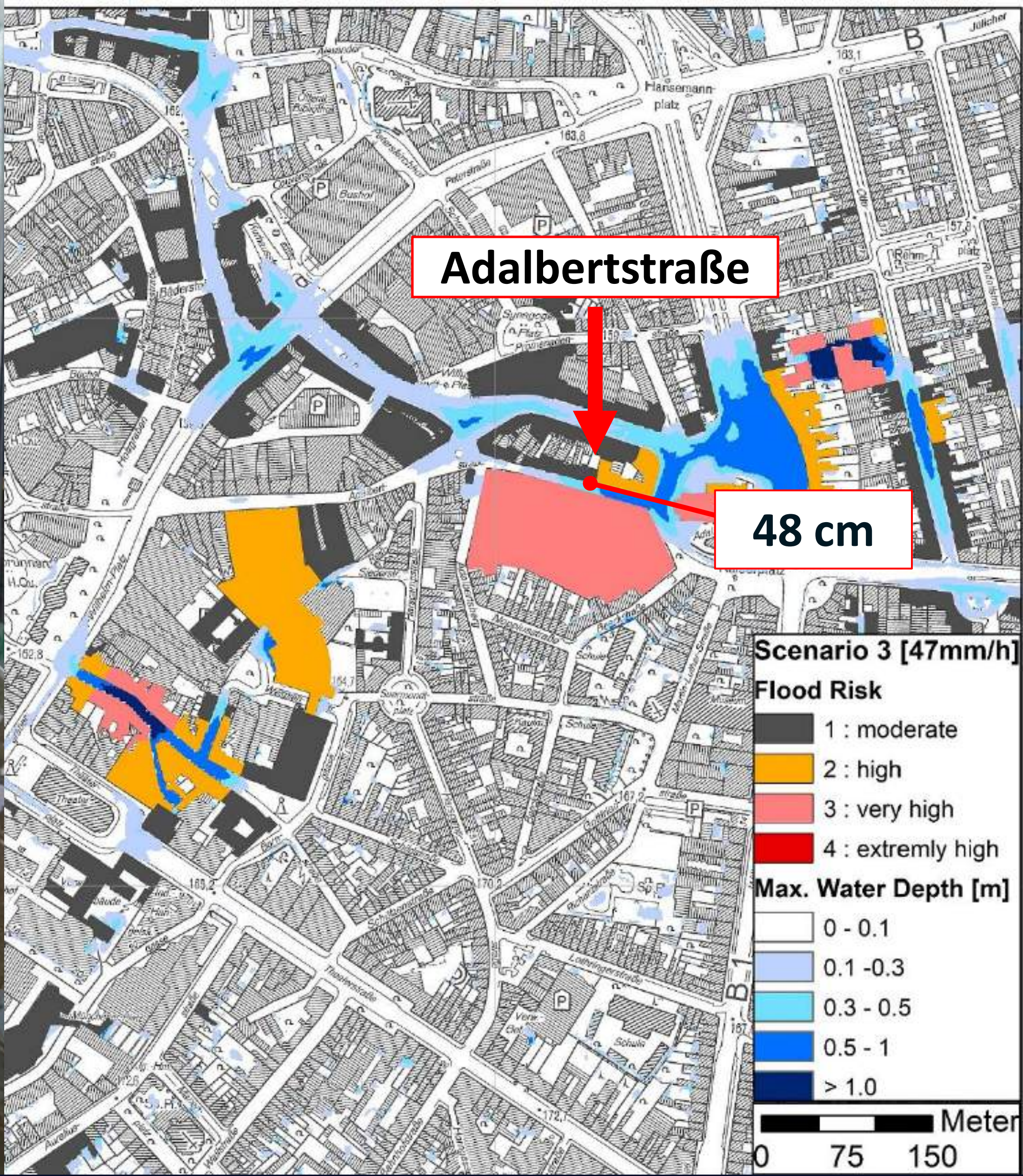



Franzstraße
50 cm
B 1
Hansemann-platz
Scenario 3 [47mm/h]
Flood Risk
1 : moderate
2 : high
3 : very high
4 : extremly high
Max. Water Depth [m]
0 - 0.1
0.1 -0.3
0.3 - 0.5
0.5 - 1
> 1.0
Meter
0
75
150

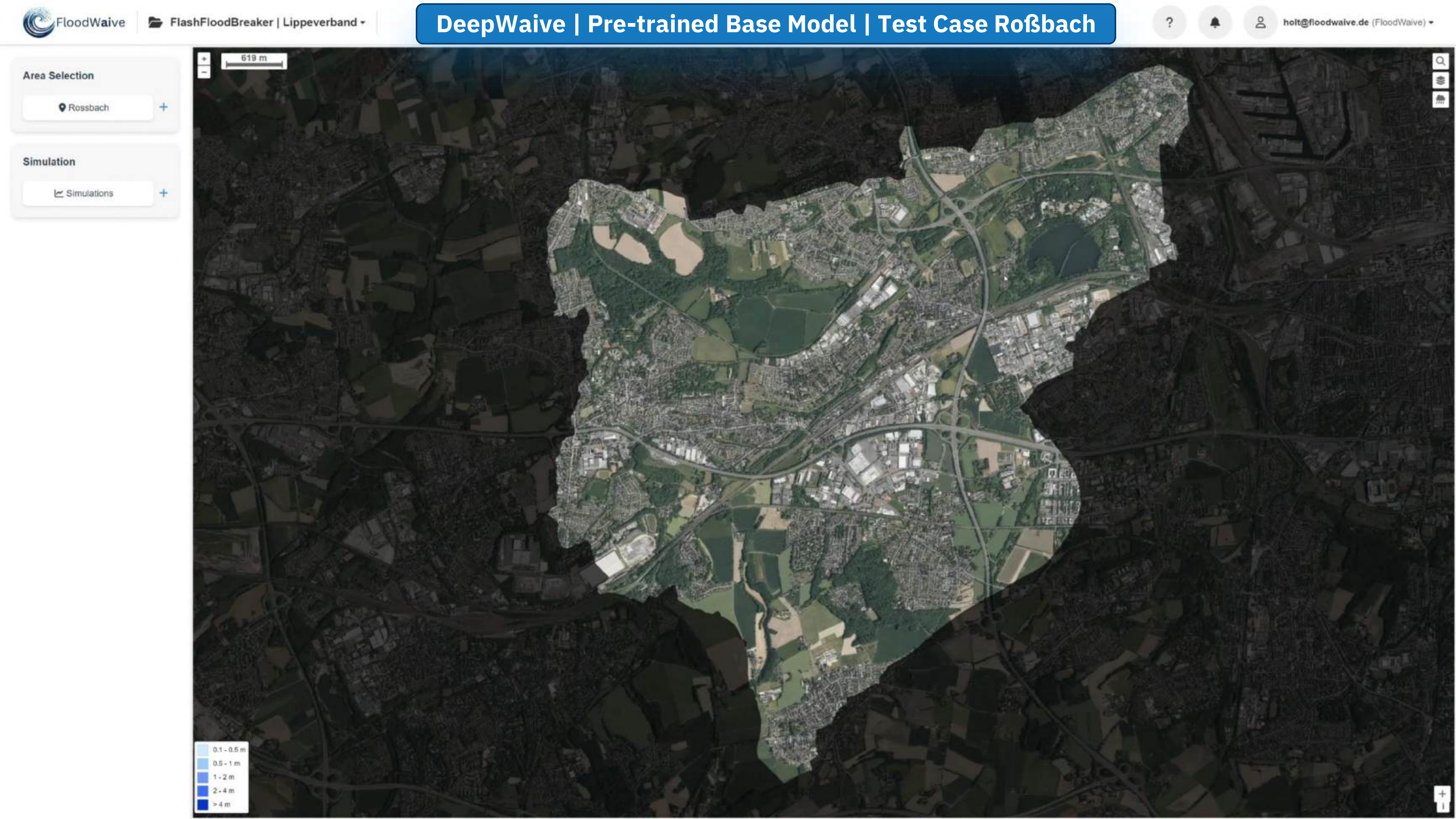
Modellvalidierung des Starkregenereignisses 29.05.2018

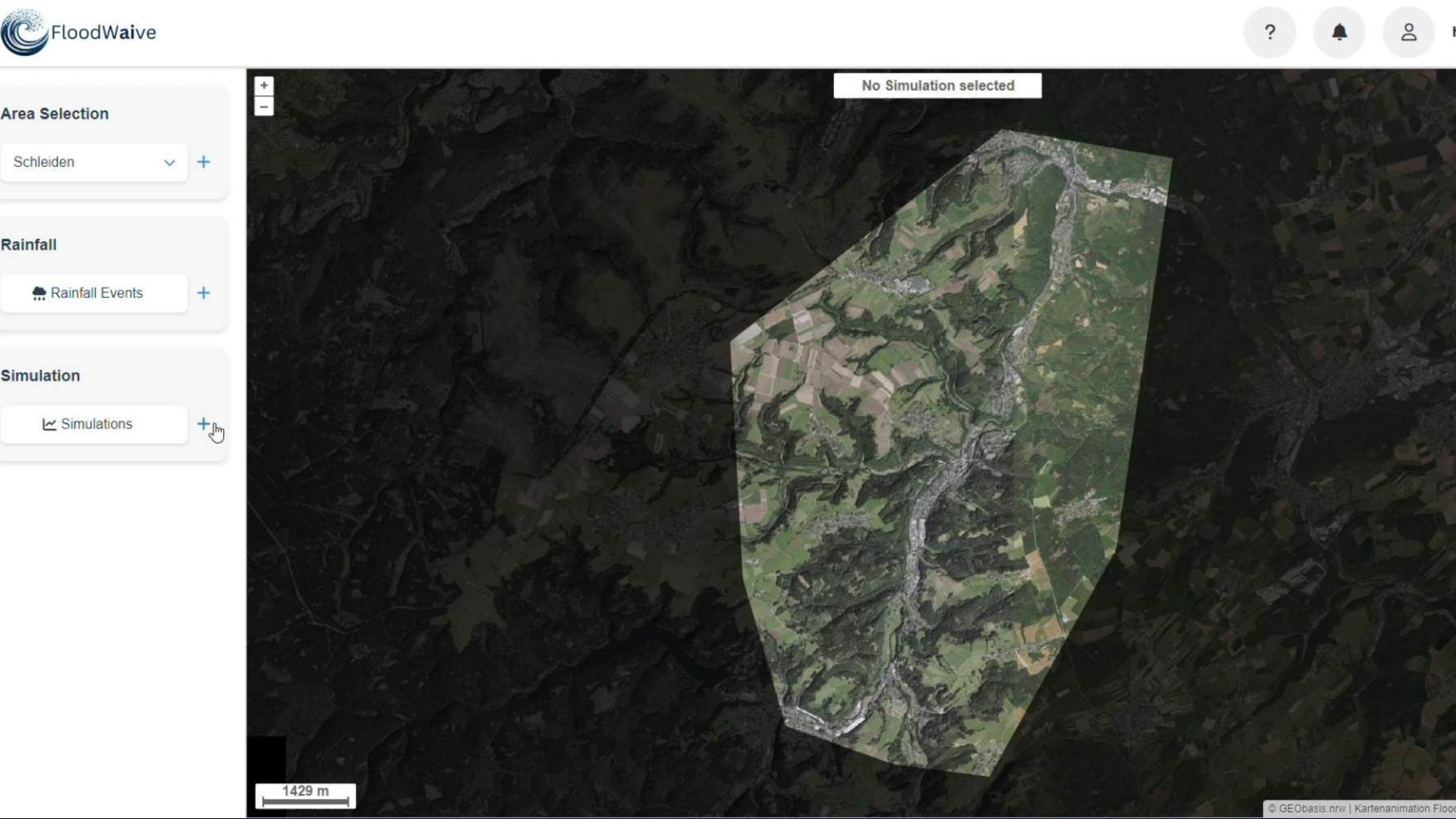

Adalbertstraße




Adalbertstraße
48 cm
Scenario 3 [47mm/h]
Flood Risk
1 : moderate
2 : high
3 : very high
4 : extremly high
Max. Water Depth [m]
0 - 0.1
0.1 -0.3
0.3 - 0.5
0.5 - 1
> 1.0
Meter
0
75
150

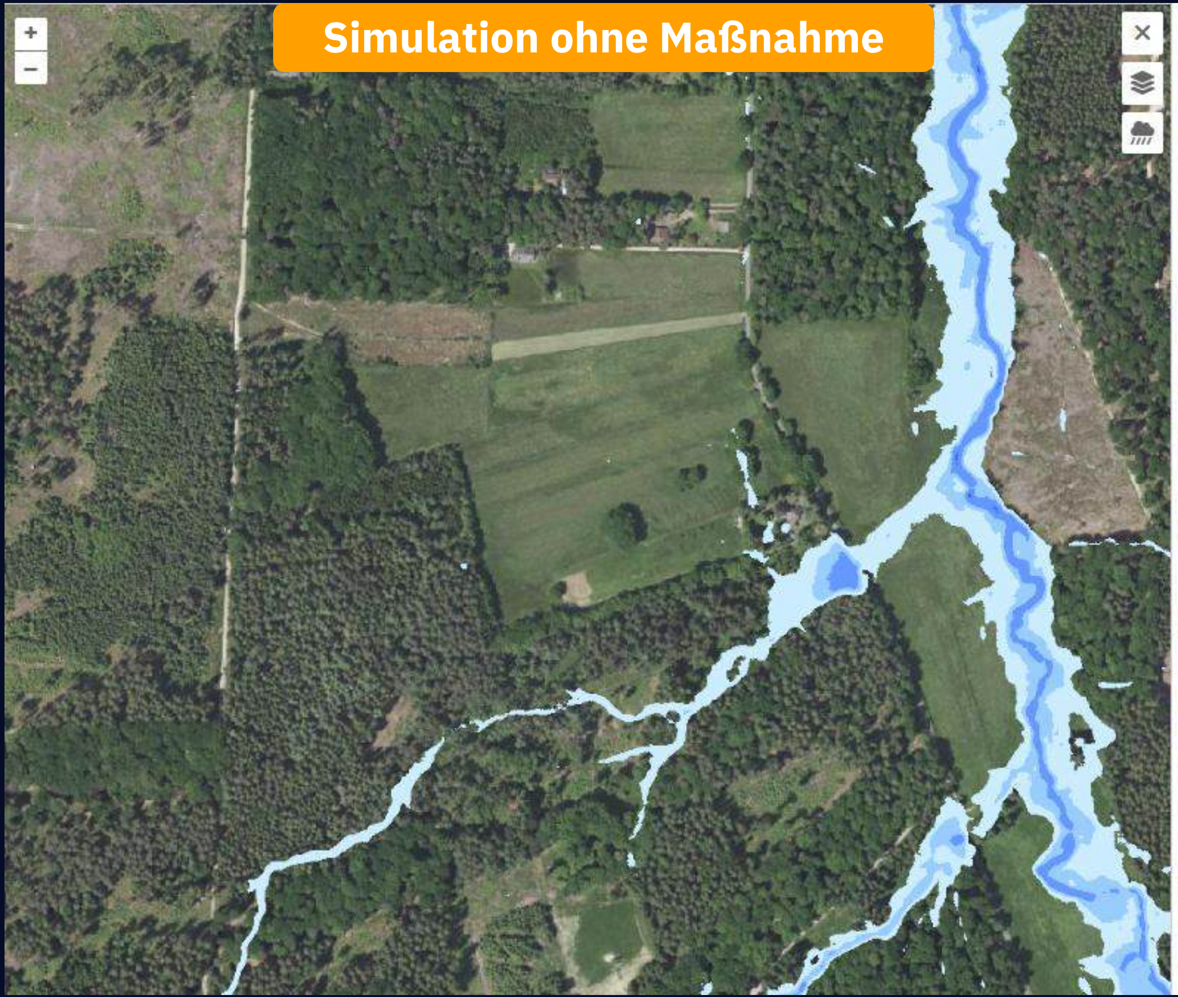
DeepWaive | Pre-trained Base Model | Test Case Roßbach

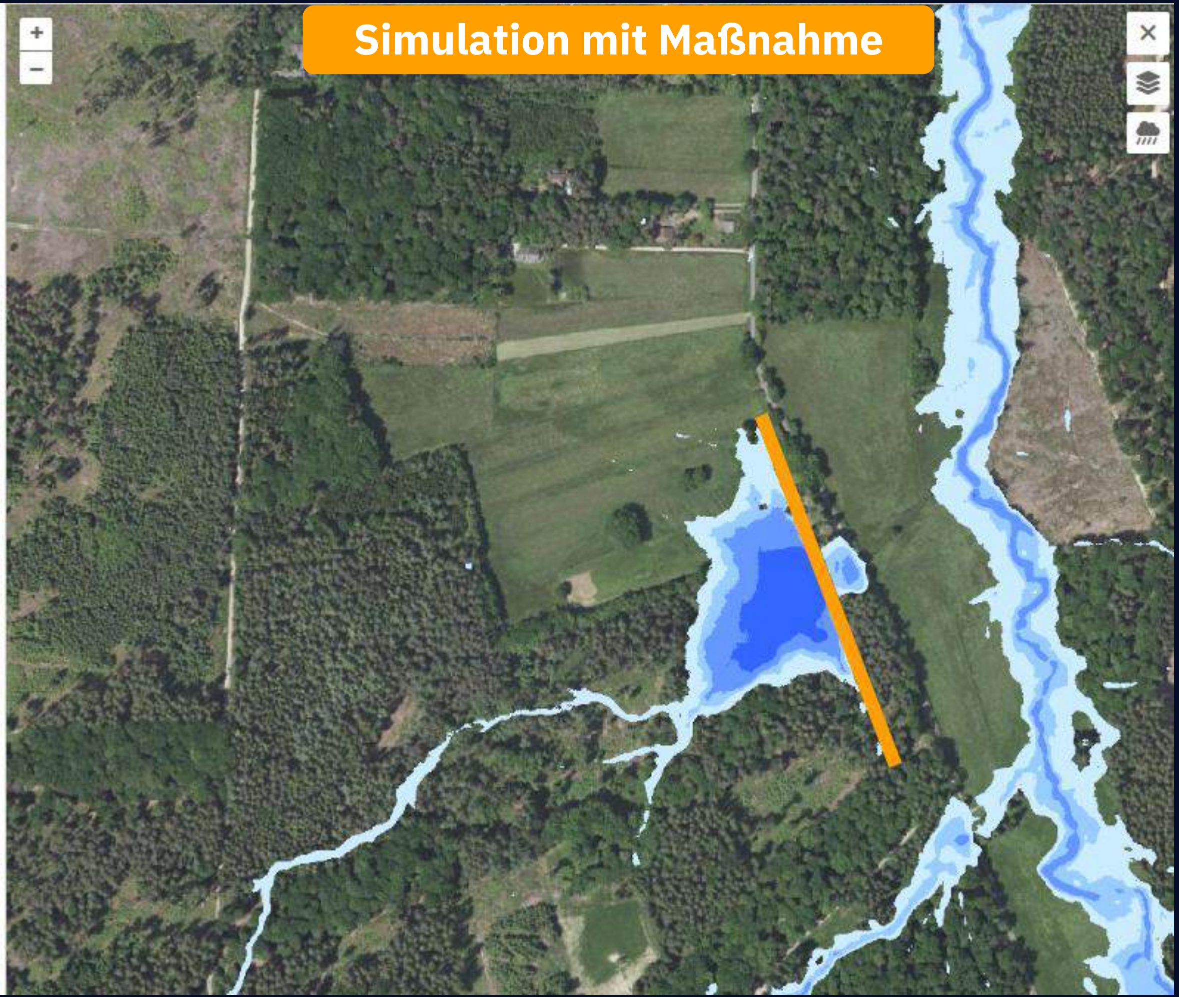

FloodWaive
FlashFloodBreaker | Lippeverband
?
holt@floodwaive.de (FloodWaive)
Area Selection
Rossbach
+
Simulation
Simulations
+
619 m
0.1 - 0.5 m
0.5 - 1 m
1 - 2 m
2 - 4 m
> 4 m


FloodWaive
?
Area Selection
Schleiden
+
Rainfall
Rainfall Events
+
Simulation
Simulations
+
No Simulation selected
+
−
1429 m
© GEObasis.nrw | Kartenanimation Floo

Echtzeitplanung von Maßnahmen

Echtzeitsimulationen zur Wirkungsanalyse von Maßnahmen

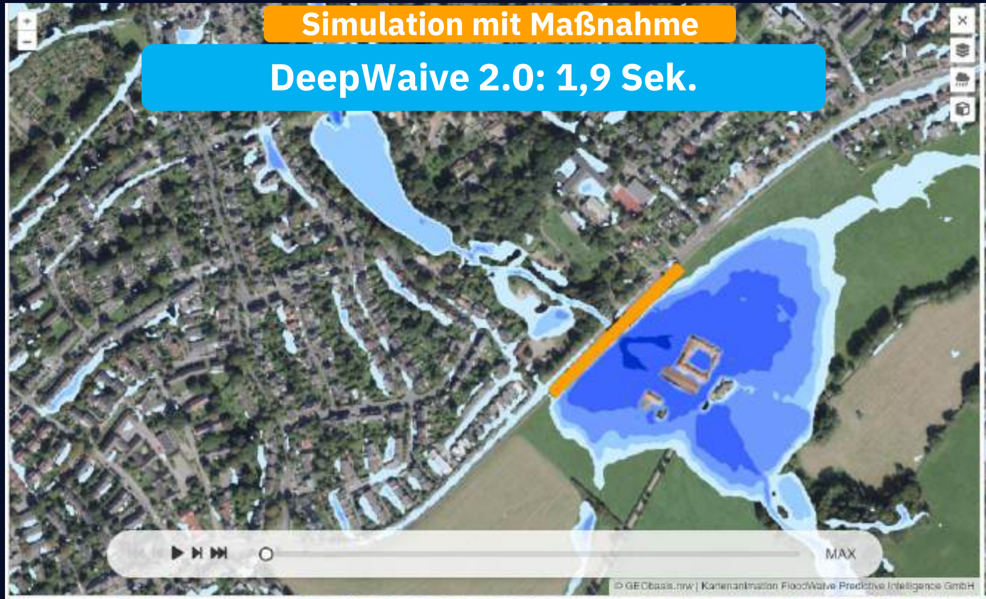

Simulation ohne Maßnahme


Simulation mit Maßnahme

Maßnahmen können Live im Modell via Webbrowser (FloodWaive-Plattform) editiert werden

BENCHMARKING

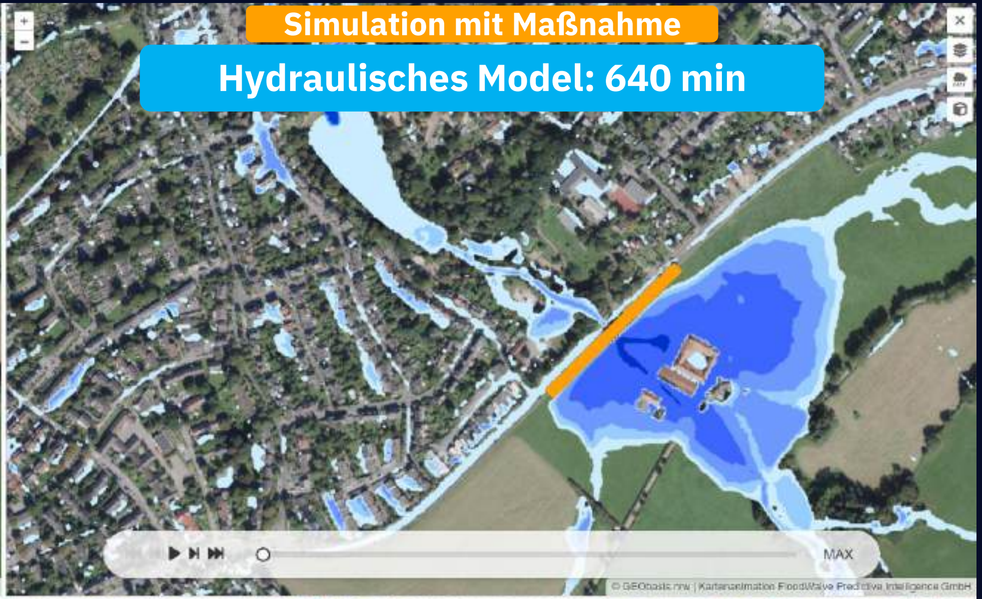
Echtzeitsimulationen zur Wirkungsanalyse von Maßnahmen



Simulation mit Maßnahme

DeepWaive 2.0: 1,9 Sek.

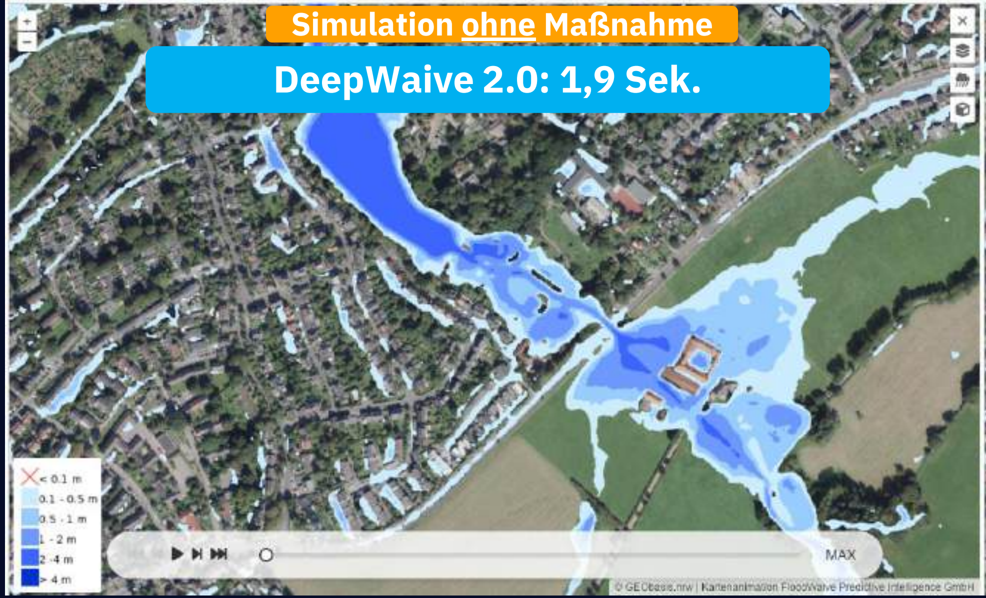
MAX
© GEObasis.nrw | Kartenanimation FloodWaive Predictive Intelligence GmbH



Simulation mit Maßnahme

Hydraulisches Model: 640 min

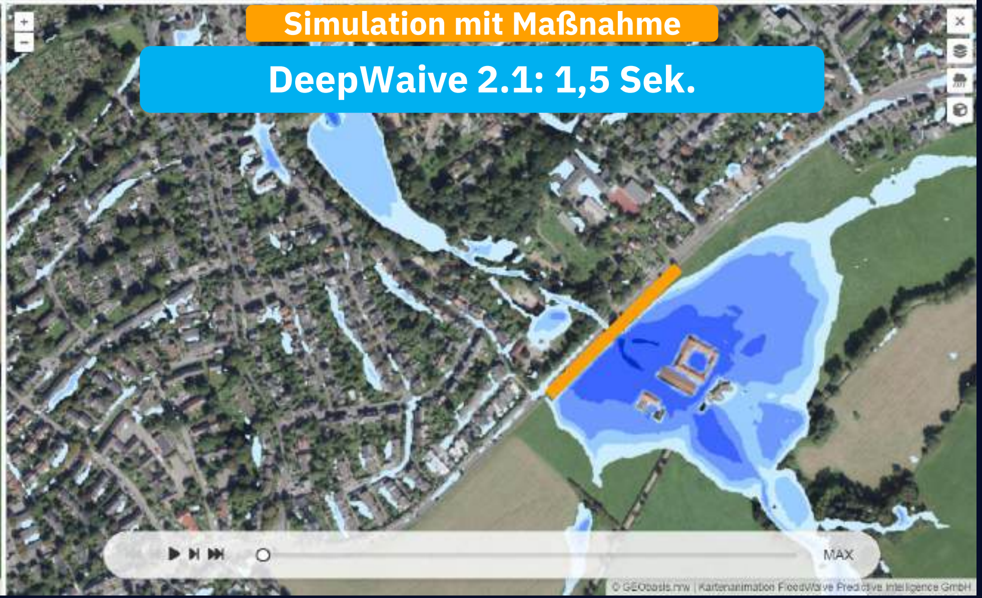
MAX
© GEObasis.nrw | Kartenanimation FloodWaive Predictive Intelligence GmbH



Simulation ohne Maßnahme

DeepWaive 2.0: 1,9 Sek.

< 0.1 m
0.1 - 0.5 m
0.5 - 1 m
1 - 2 m
2 - 4 m
> 4 m
MAX
© GEObasis.nrw | Kartenanimation FloodWaive Predictive Intelligence GmbH



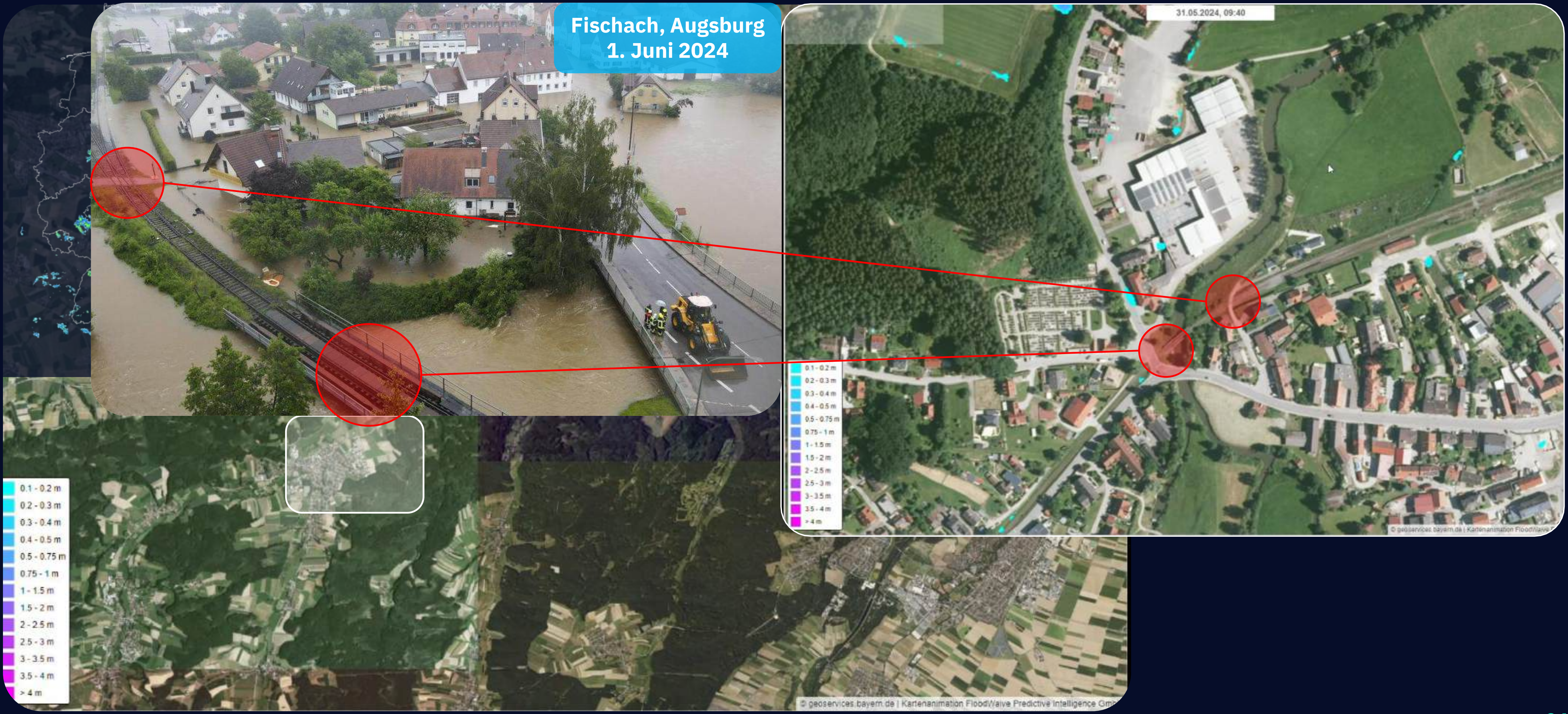
Simulation mit Maßnahme

DeepWaive 2.1: 1,5 Sek.

MAX
© GEObasis.nrw | Kartenanimation FloodWaive Predictive Intelligence GmbH

SEKUNDENSCHNELLE BERECHNUNG

Beispieleinsatz: Hochwasservorhersage 1. Juni 2024 | Fischach

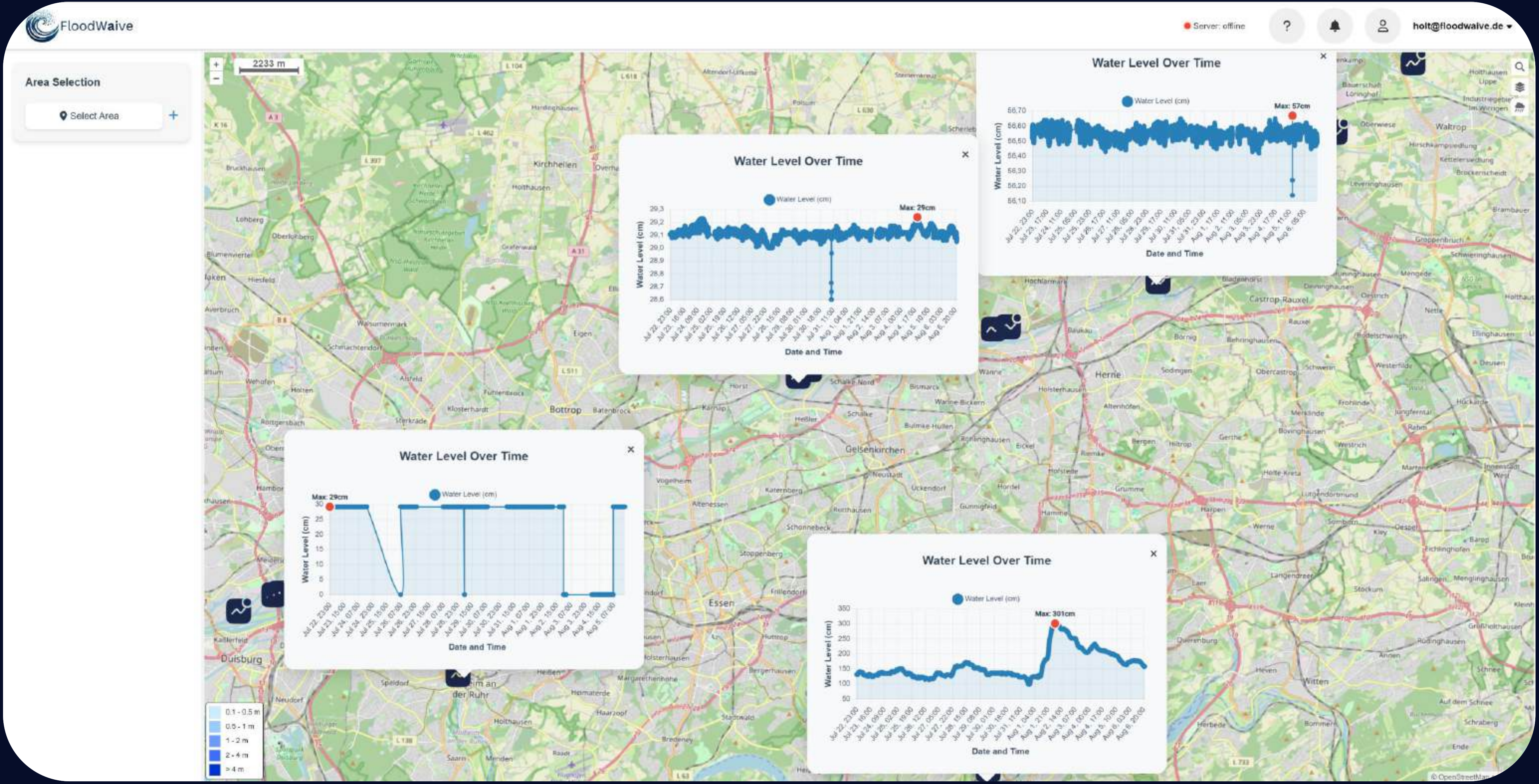

Fischach, Augsburg
1. Juni 2024
31.05.2024, 09:40
0.1 - 0.2 m
0.2 - 0.3 m
0.3 - 0.4 m
0.4 - 0.5 m
0.5 - 0.75 m
0.75 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
2 - 2.5 m
2.5 - 3 m
3 - 3.5 m
3.5 - 4 m
> 4 m
0.1 - 0.2 m
0.2 - 0.3 m
0.3 - 0.4 m
0.4 - 0.5 m
0.5 - 0.75 m
0.75 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
2 - 2.5 m
2.5 - 3 m
3 - 3.5 m
3.5 - 4 m
> 4 m

© geoservices.bayern.de | Kartenanimation FloodWaive P

© geoservices.bayern.de | Kartenanimation FloodWaive Predictive Intelligence Gmb

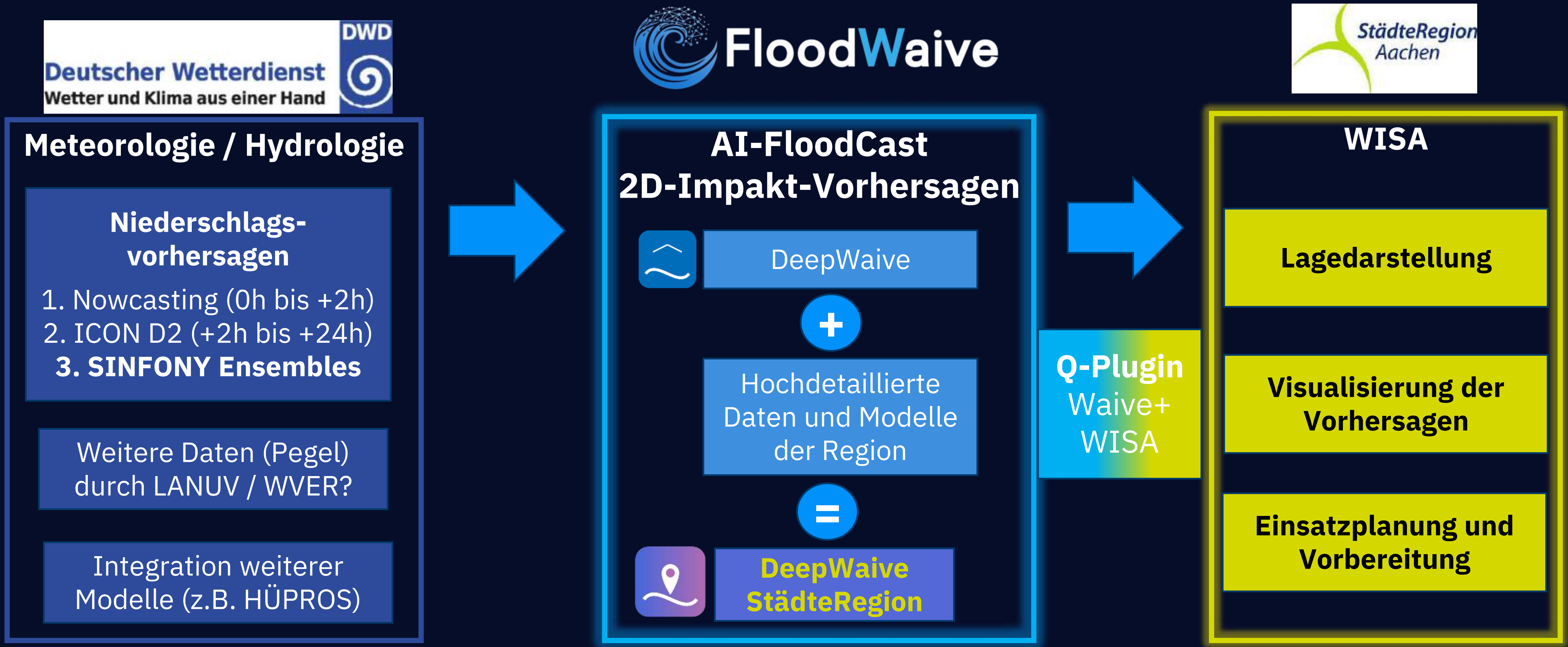
UPDATES FLOODWAIVE CLOUD 2.0

Einbindung von Online Pegeldaten & Sensordaten


FloodWaive
Server: offline
holt@floodwaive.de
Area Selection
Select Area
2233 m
Water Level Over Time
Water Level (cm)
Max: 57cm
Date and Time
Water Level Over Time
Water Level (cm)
Max: 29cm
Date and Time
Water Level Over Time
Water Level (cm)
Max: 29cm
Date and Time
Water Level Over Time
Water Level (cm)
Max: 301cm
Date and Time
0.1 - 0.5 m
0.5 - 1 m
1 - 2 m
2 - 4 m
> 4 m
Gelsenkirchen
Bottrop
Essen
Herne
Castrop-Rauxel
Duisburg
© OpenStreetMap

INFRAH PROJEKT

Datenfluss / Pipeline der Vorhersagen



DWD
Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Meteorologie / Hydrologie

Niederschlagsvorhersagen

1. Nowcasting (0h bis +2h)
2. ICON D2 (+2h bis +24h)
3. **SINFONY Ensembles**

Weitere Daten (Pegel) durch LANUV / WVER?

Integration weiterer Modelle (z.B. HÜPROS)

FloodWaive

AI-FloodCast
2D-Impakt-Vorhersagen

DeepWaive

+

Hochdetaillierte Daten und Modelle der Region

=

DeepWaive StädteRegion

Q-Plugin
Waive+
WISA

StädteRegion Aachen

WISA

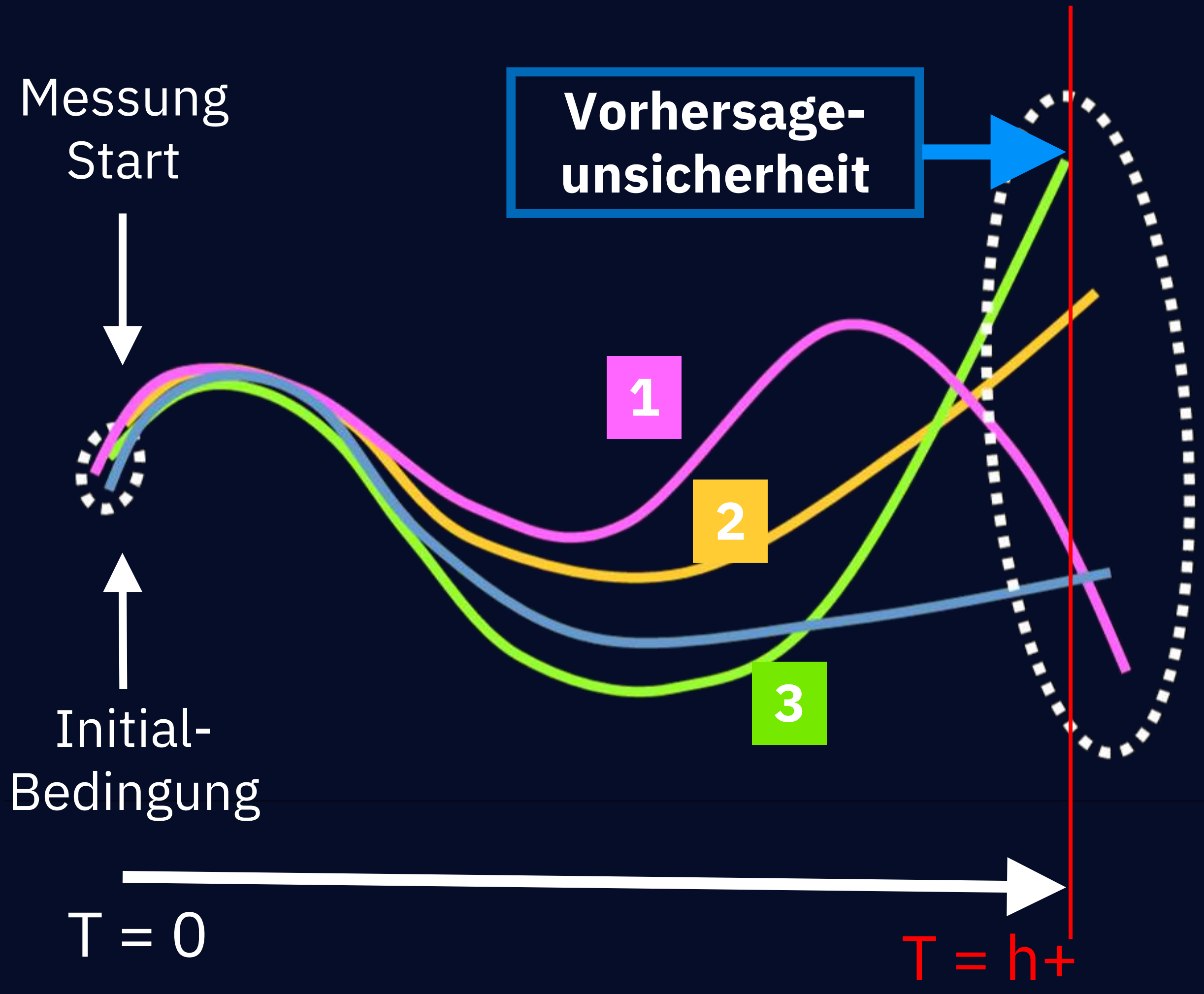
Lagedarstellung

Visualisierung der Vorhersagen

Einsatzplanung und Vorbereitung

PROBABILISTIK

Verfahren der ensemble-basierten Überflutungsvorhersage



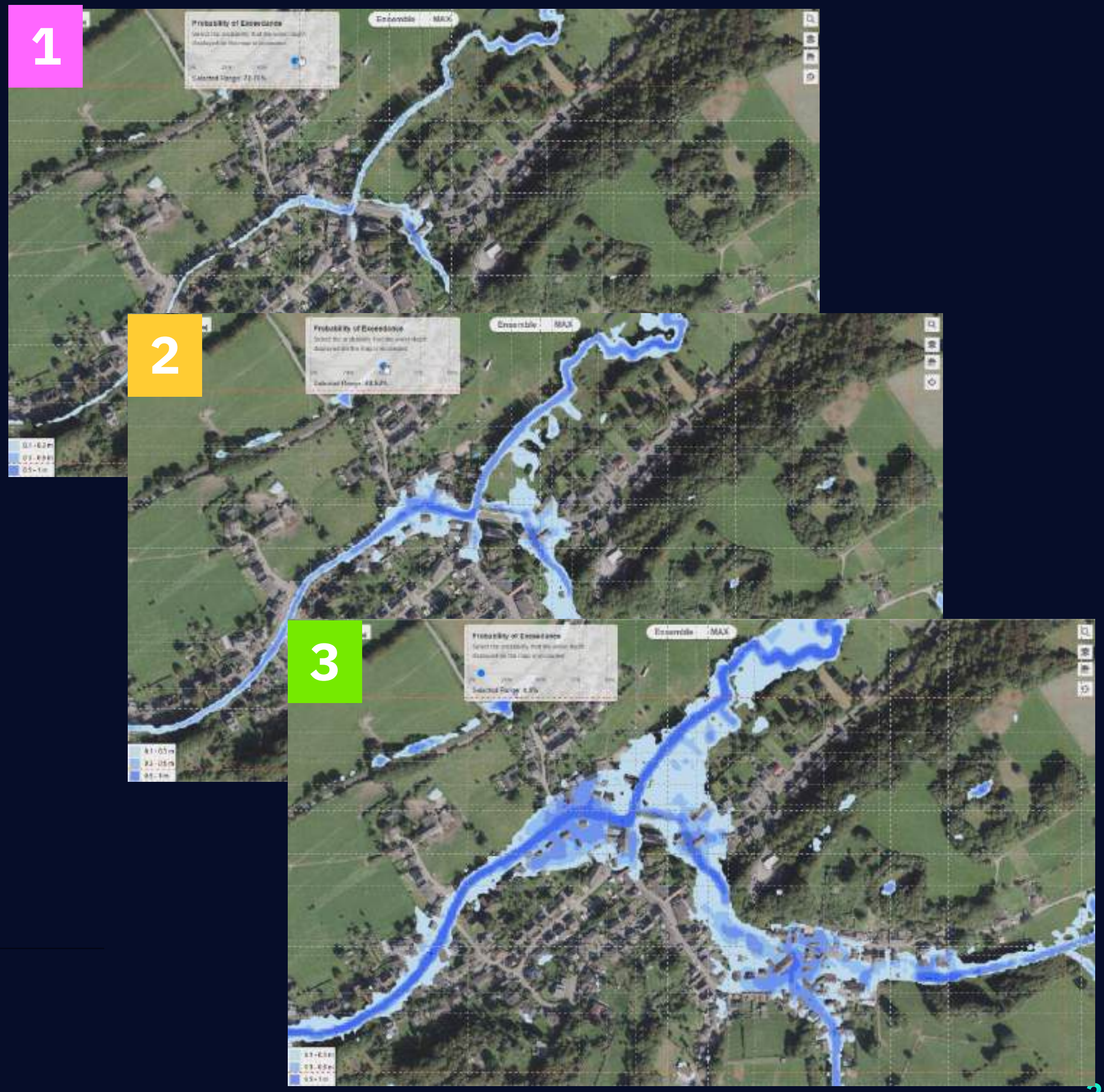
Messung Start

Vorhersage-unsicherheit

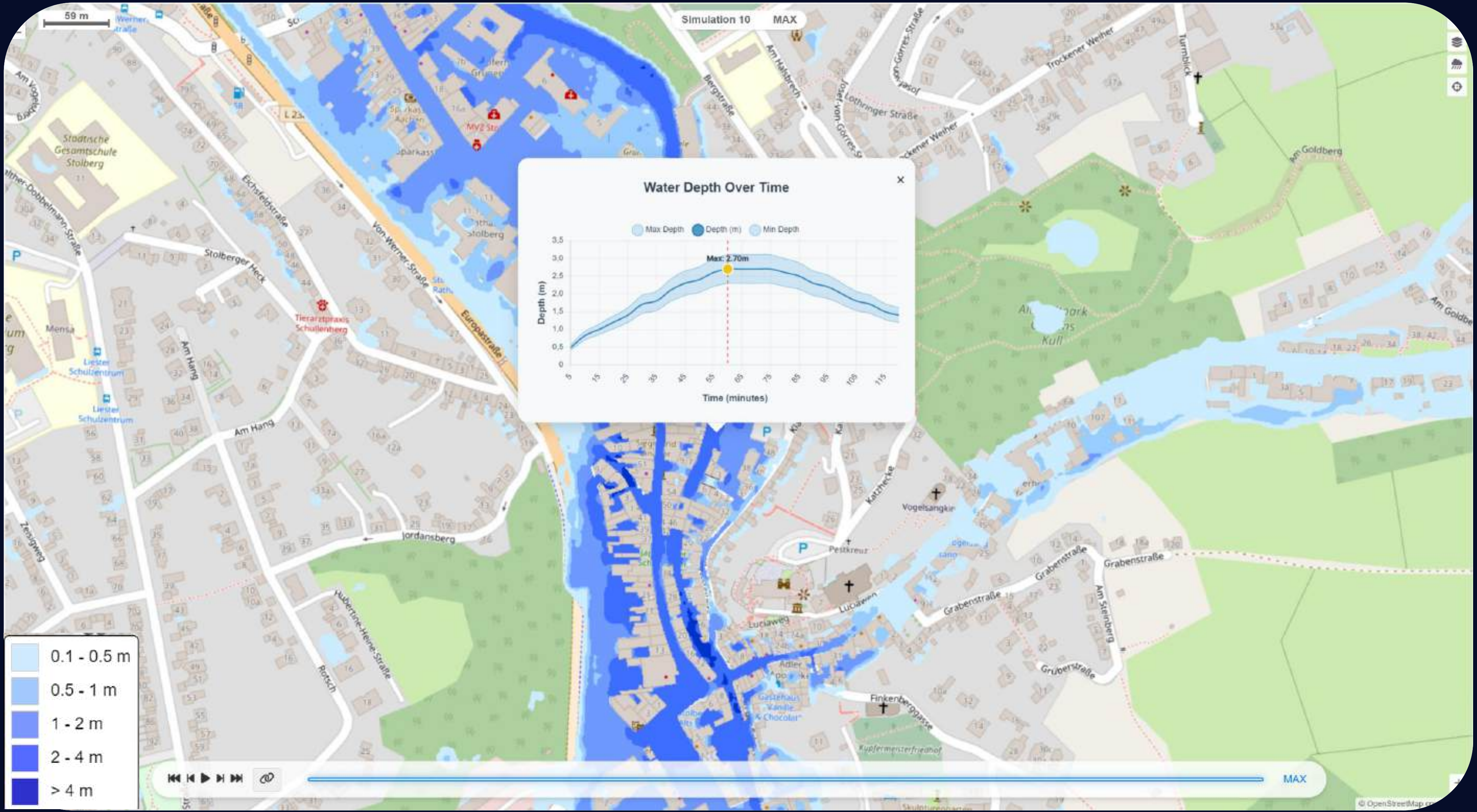
Initial-Bedingung

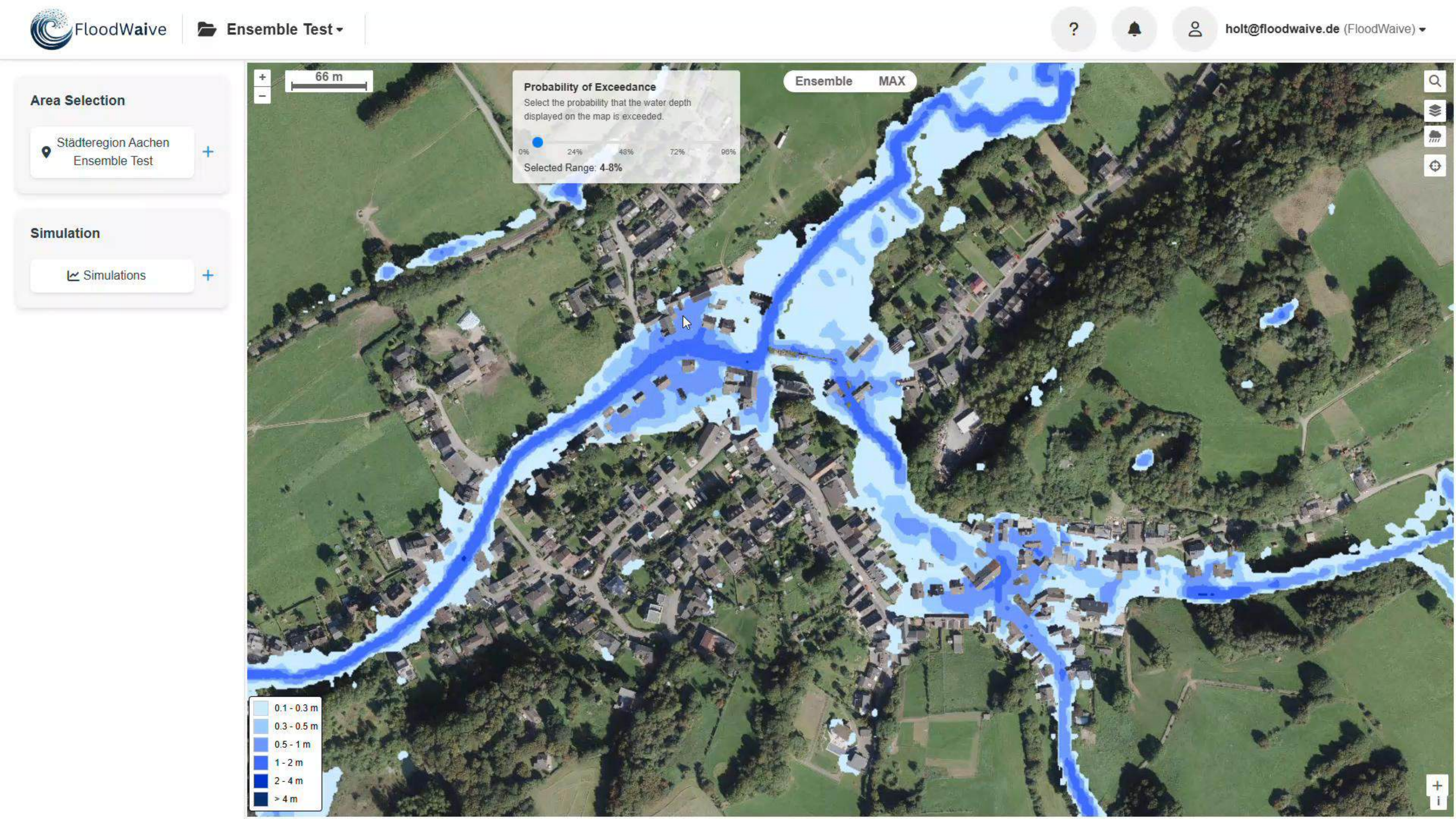
T = 0

T = h+



Adhoc-Berechnung Esembles | Überflutungswahrscheinlichkeiten


59 m
Simulation 10
MAX
Water Depth Over Time
×
Max Depth
Depth (m)
Min Depth
Max: 2.70m
Depth (m)
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0
5
15
25
35
45
55
65
75
85
95
105
115
Time (minutes)
0.1 - 0.5 m
0.5 - 1 m
1 - 2 m
2 - 4 m
> 4 m
MAX
© OpenStreetMap


FloodWaive
Ensemble Test
?
holt@floodwaive.de (FloodWaive)
66 m
Ensemble
MAX
0%
24%
48%
72%
96%
0.1 - 0.3 m
0.3 - 0.5 m
0.5 - 1 m
1 - 2 m
2 - 4 m
> 4 m

Area Selection

Städteregion Aachen
Ensemble Test

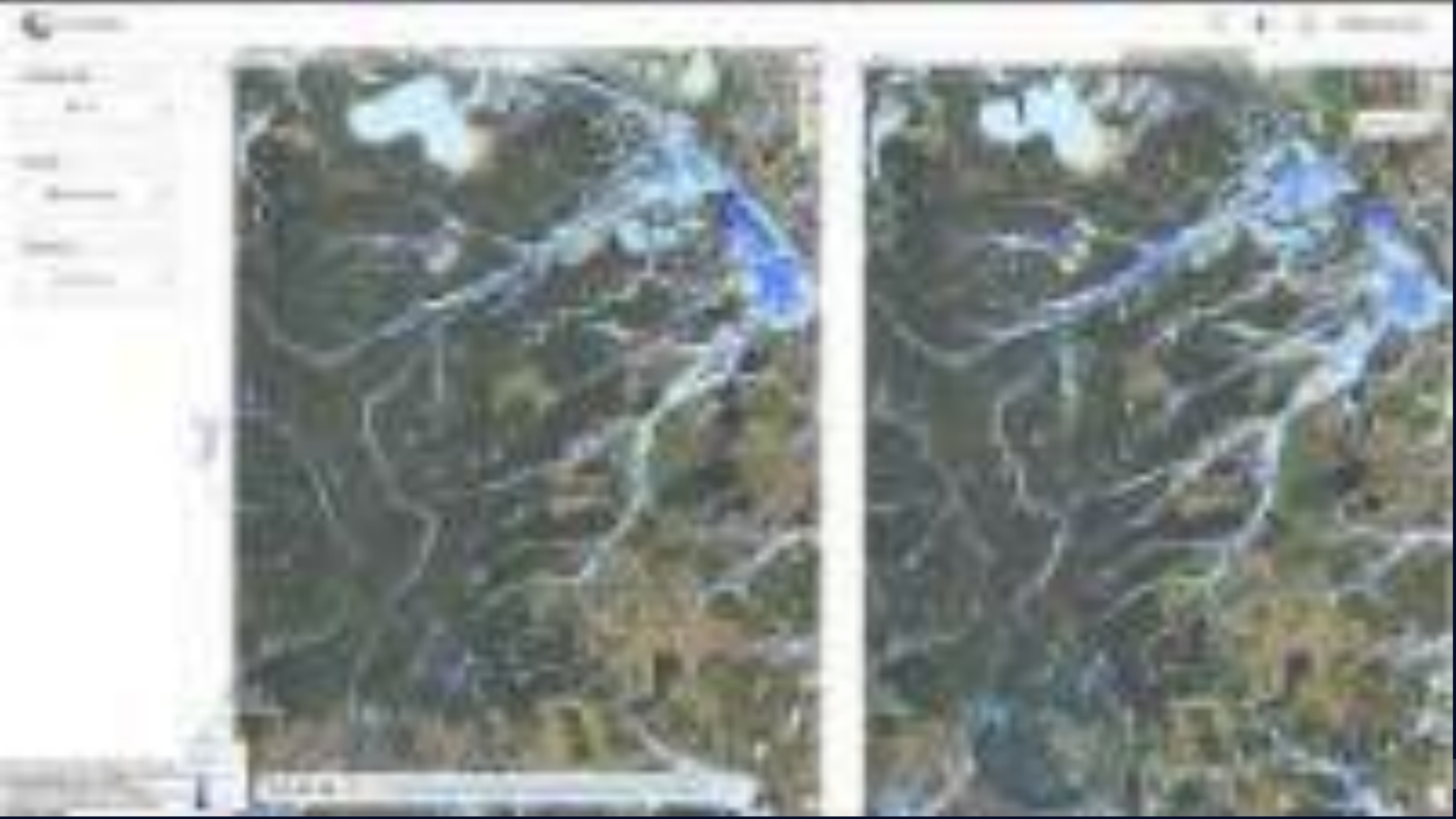
Simulation

Simulations

Probability of Exceedance

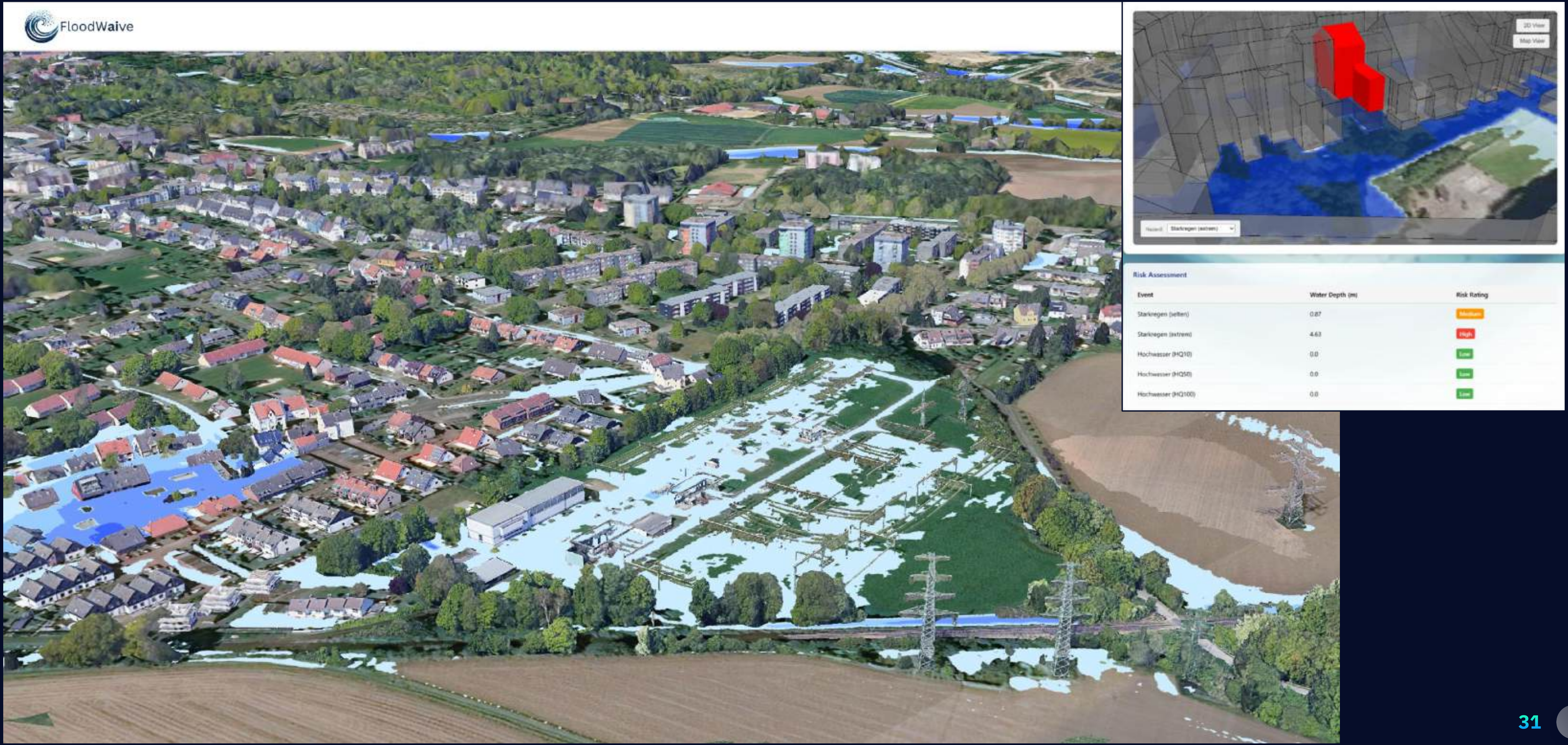
Select the probability that the water depth displayed on the map is exceeded.

Selected Range: **4-8%**



VISUALISATION

Fast and Adaptive: 3D Representations of Simulations



Hazard: Starkregen (extrem)

Risk Assessment

Event	Water Depth (m)	Risk Rating
Starkregen (selten)	0.87	Medium
Starkregen (extrem)	4.63	High
Hochwasser (HQ10)	0.0	Low
Hochwasser (HQ50)	0.0	Low
Hochwasser (HQ100)	0.0	Low

FloodWaive

Thank you for your attention!

FloodWaive Predictive Intelligence GmbH
Jülicher Straße 209d, 52070 Aachen
info@floodwaive.de
www.floodwaive.de

AI RiskAnalyzer
Rapid Risk Analytics and Dynamic Evaluation of Protective Measures

AI FloodCast
Impact-based Flood Forecasting and Early Warning

Flood Risk Consulting
Event Location-based Flood Risk Profiling and Assessment

Foto: Bezirksregierung Köln