

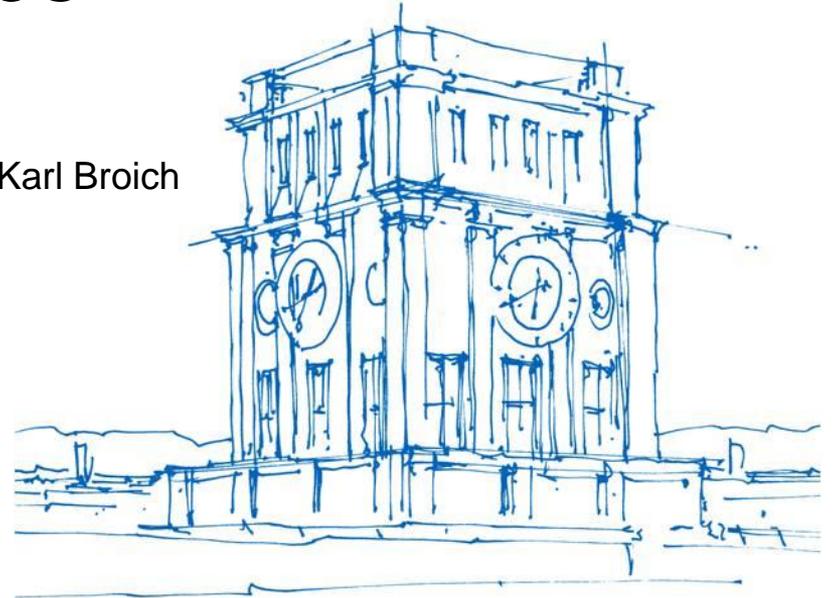
Gefährdung durch Starkregenereignisse – Erfahrungen aus dem Projekt HiOS

Prof. Dr.-Ing. Markus Disse, Dr.-Ing. Maria Kaiser, Dr.-Ing. Karl Broich

Technische Universität München

Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement

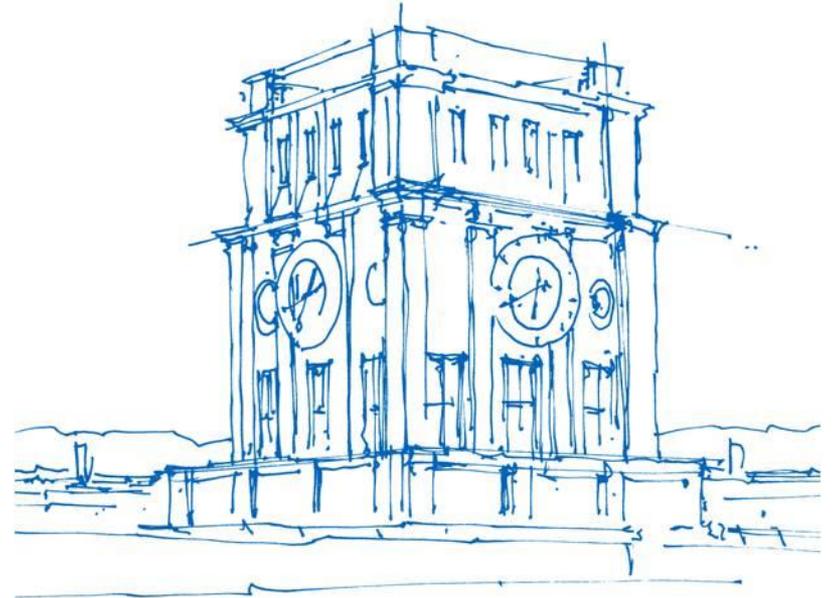
29. Juni 2022



Uhrenturm der TUM

Inhalt

- Einführung
- Vergleich von 4 HD-Modellen
- GIS-ML-basierte Methode
- Zusammenfassung



Uhrenturm der TUM

Einführung



Starkregen und Sturzfluten - Problematik

Intensives, kurzes und
kleinräumiges Ereignis



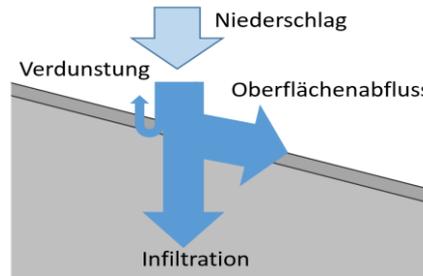
Erschwerte Vorhersage.
Stationäre Betrachtung
nicht möglich.



Das Niederschlags-
volumen ist relativ gering



Sehr sensitiv auf
Veränderlichkeit von
Infiltration und Retention.



Es existiert oft keine
Pegelanbindung.



Eingabewerte für das
hydrodynamische Modell
müssen hydrologisch
berechnet werden.

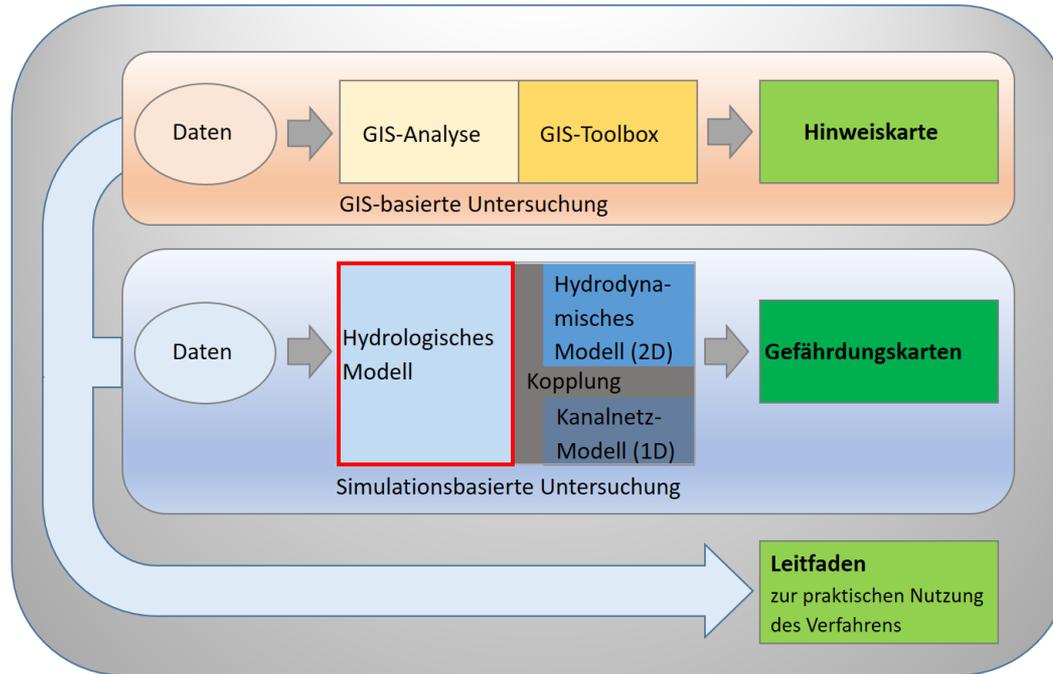


Das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben HiOS

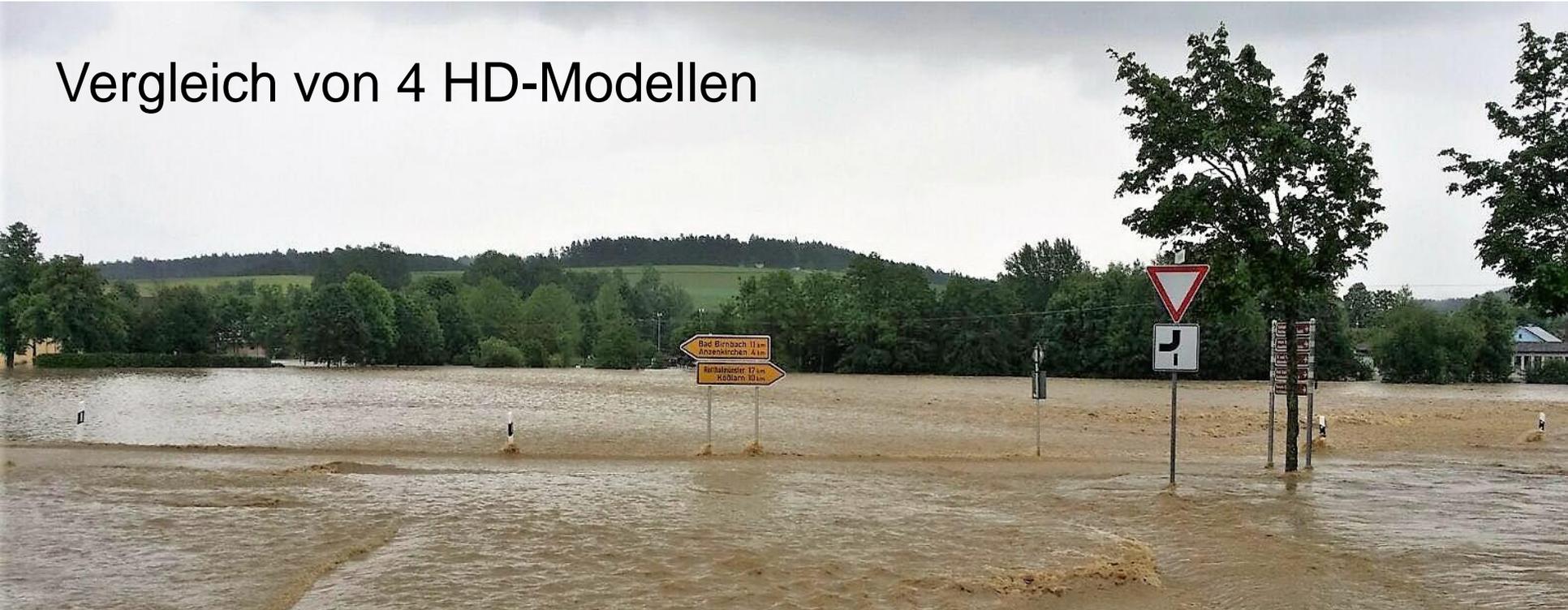
Projektname	Hinweiskarte Oberflächenabfluss und Sturzflut (HiOS)
Projektlaufzeit	01.08.2017 – 31.03.2021
Fördervolumen	1.855.396 €
Fördergeber	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
Betreuung	Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 69
Projektpartner	Technische Universität München Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement, Prof. Disse Ludwig-Maximilians-Universität Department für Geographie, Prof. Ludwig Leibniz-Rechenzentrum der Bay. Akademie der Wissenschaften Prof. Kranzmüller



Produkte : Hinweiskarte, Gefährdungskarten, Leitfaden



Vergleich von 4 HD-Modellen



Ziel:

Test von vier hydrodynamischen Modellen auf ihre Eignung zur Simulation von Sturzfluten

Vorgehen:

Durchführung von 5 Benchmarktests und anschließend Modellvergleich für 2 Städte mit historischen Ereignissen (Baierdorf, 21.7.2007 und Simbach am Inn, 1.6.2016)

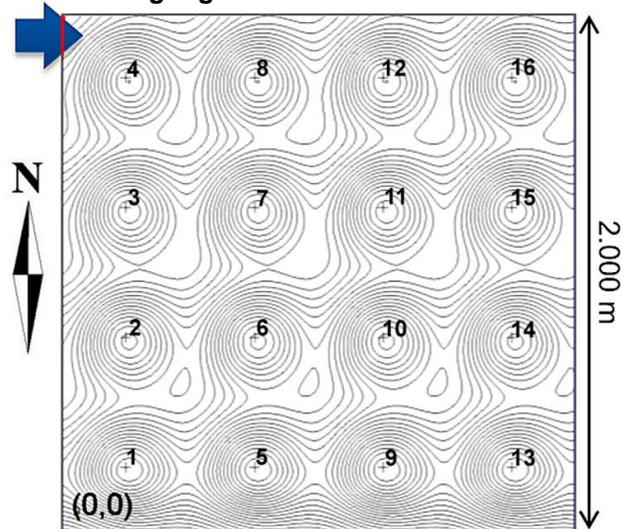
- BMT 1: Benetzung einer horizontalen Ebene (1d, AL)
- BMT 2: Benetzen und Trockenfallen eines geneigten Strands (1d, PV)
- BMT 3: Überschwemmung eines nicht verbundenen Wasserkörpers (1d, PV)
- BMT 4: Auffüllen von Vorlandsenken (2d, PV)
- BMT 5: Oberflächenabfluss in urbanen Gebieten (2d, PV)

Néelz, S., Pender, G., 2013. Benchmarking the latest generation of 2D hydraulic modelling packages, Report – SC120002. Environment Agency, Bristol.

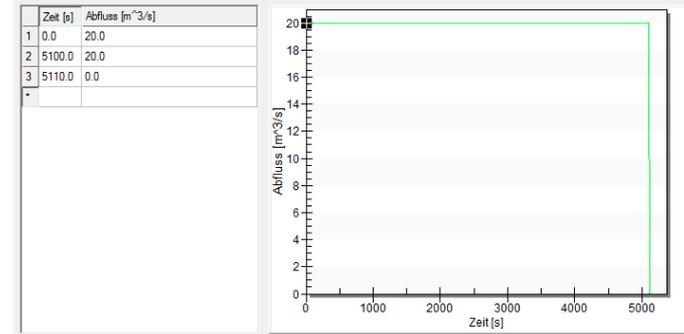
BMT - 4: Auffüllen von Vorlandsenken

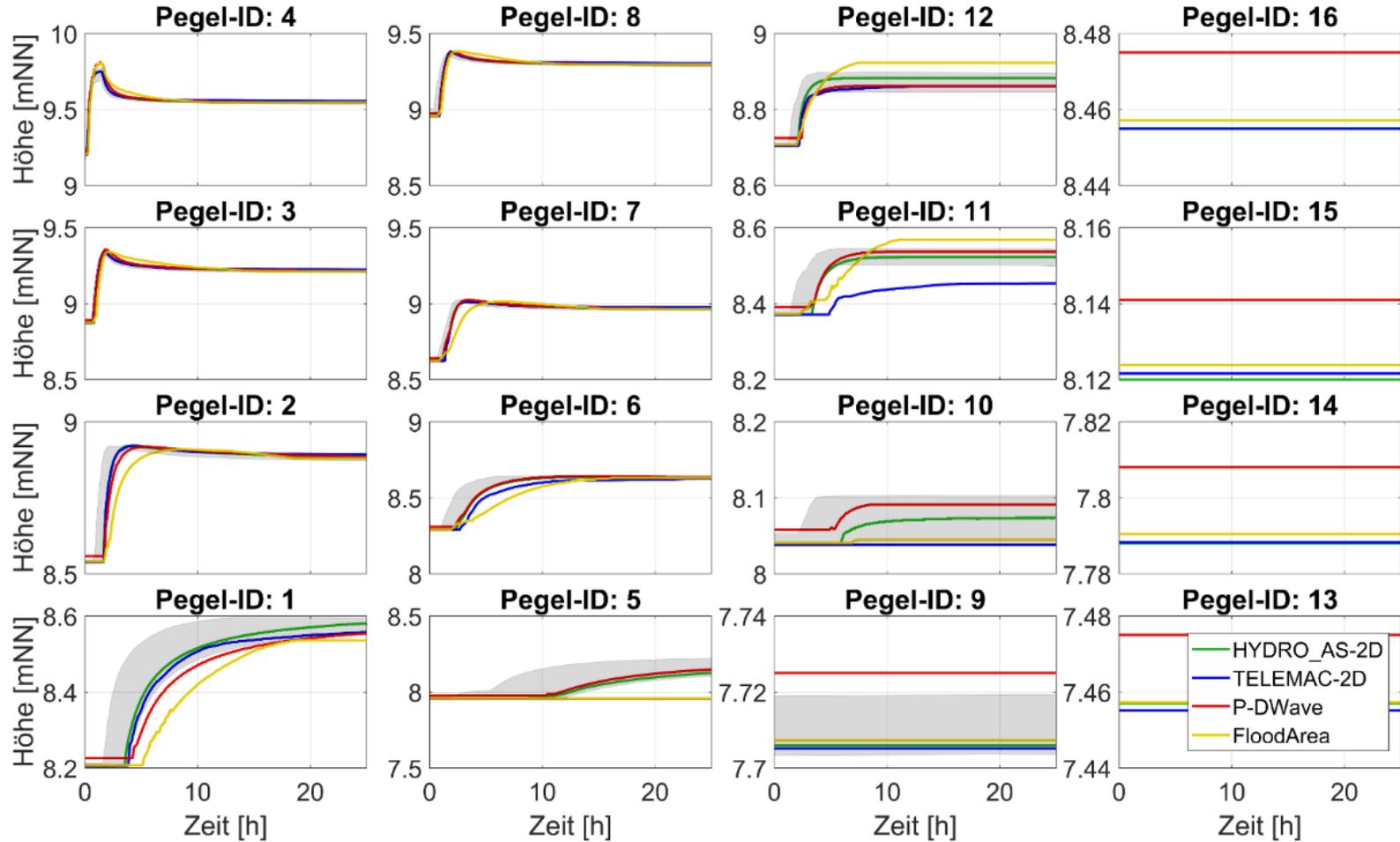
- Test von Benetzung und Trockenfallen anhand sehr flacher Senken (max. 0,5 m tief)

Randbedingung

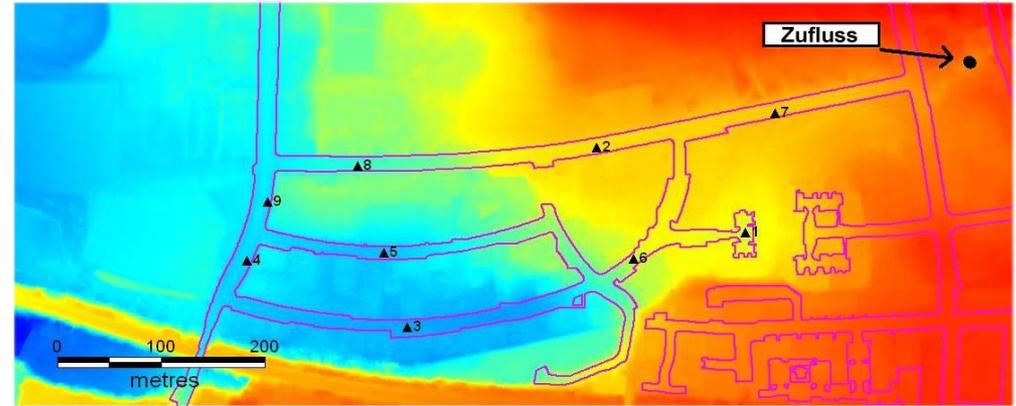


Randbedingung



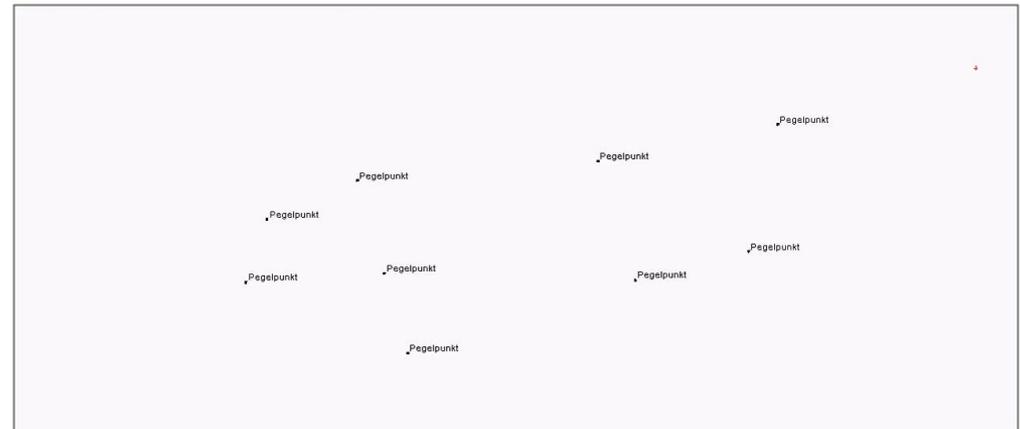


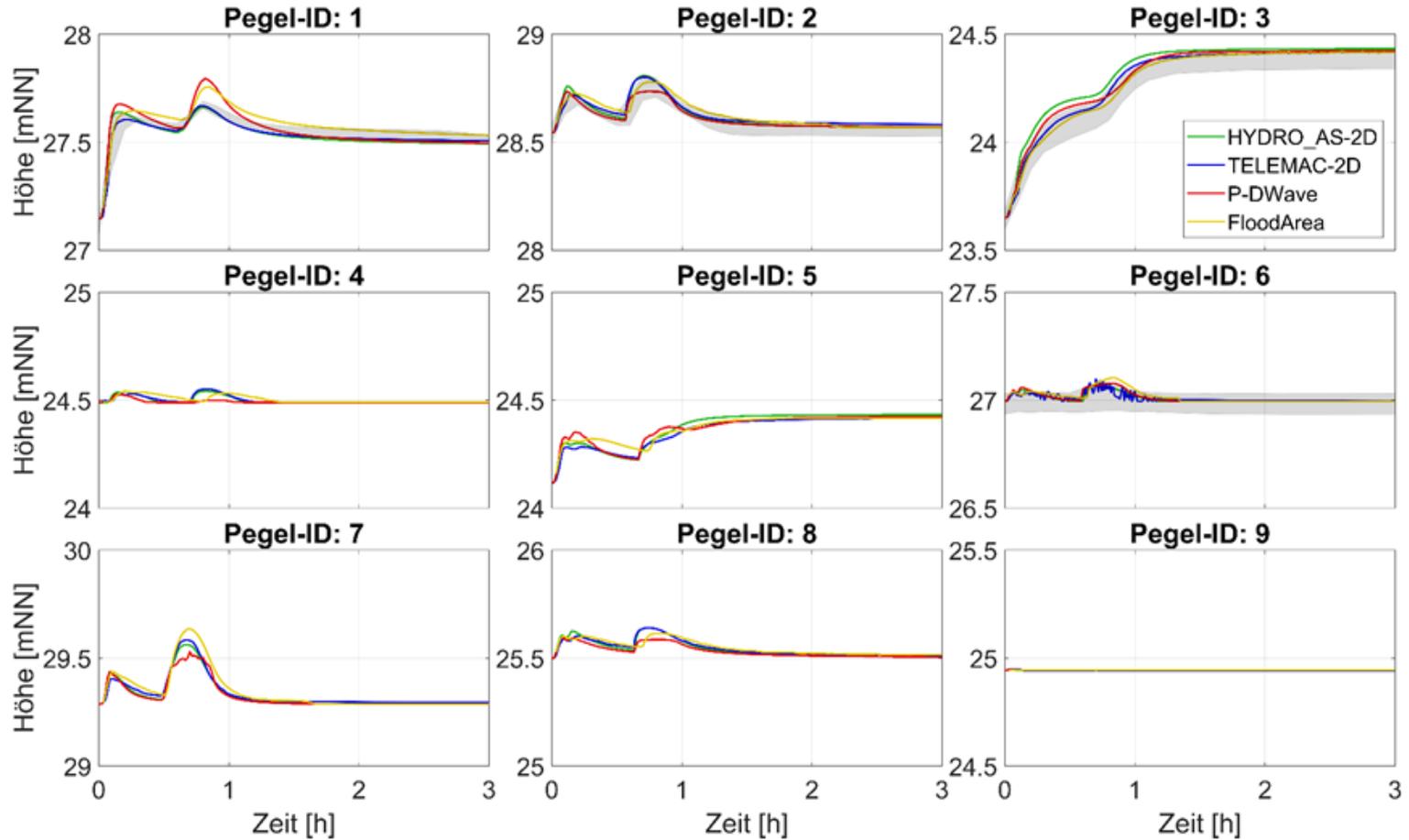
- Simulation eines realen und komplexen Geländes
- Modellierung von Starkregen in Kombination mit Zufluss zu späterem Zeitpunkt



Randbedingung

- Flächiger Niederschlag mit 400 mm/h
- Zufluss von konstant 5m³/s beginnen 38min nach Berechnungsstart

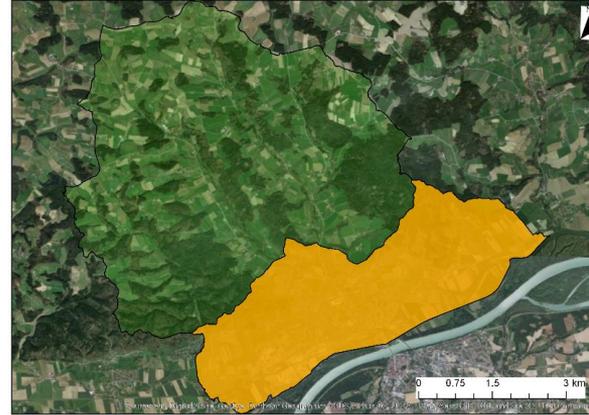




Modellvergleich für zwei ausgewählte Städte

Simbach a. Inn:

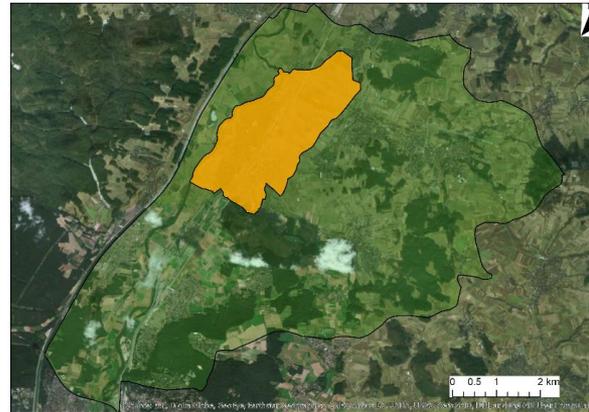
EZG	Größe: 45,9 km ²
	Auflösung: 5 x 5 m
SG	Größe: 14,5 km ²
	Auflösung: 2 x 2 m



Einzugsgebiet von Simbach a. Inn

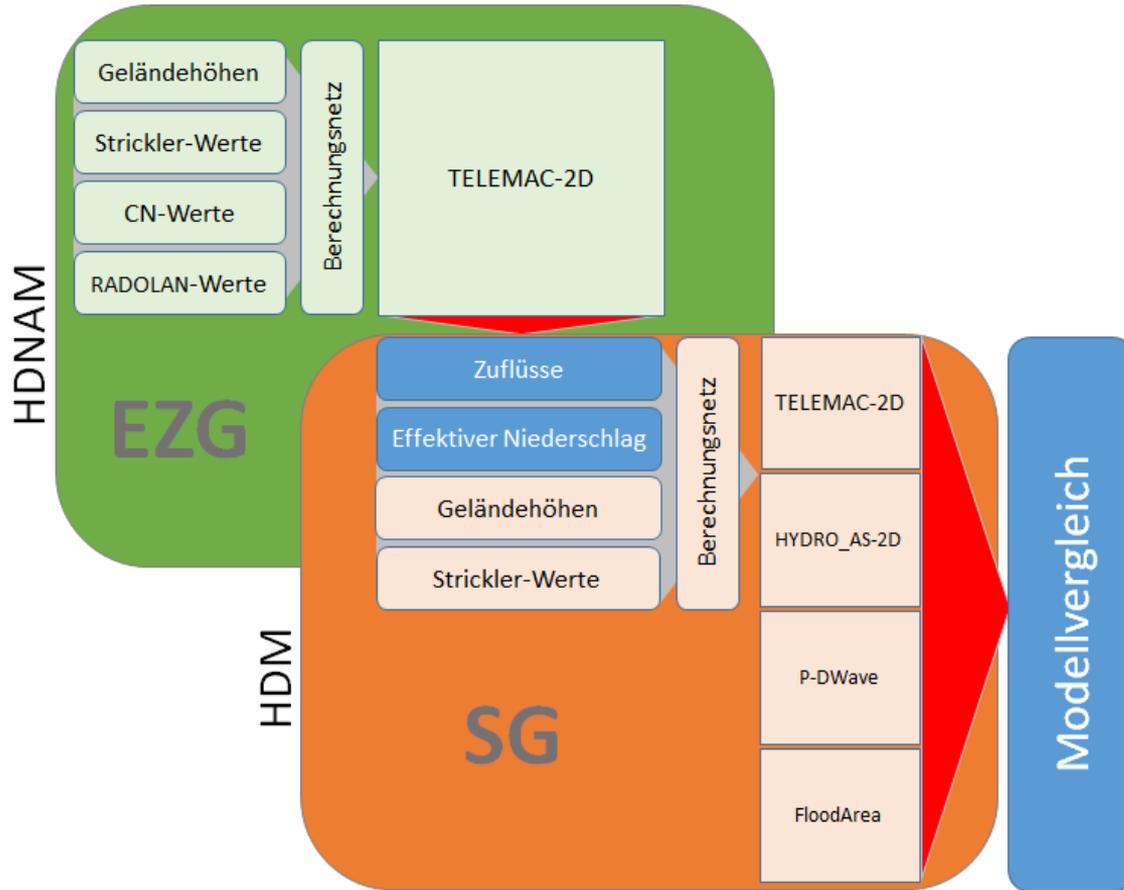
Baiersdorf:

EZG	Größe: 58,4 km ²
	Auflösung: 5 x 5 m
SG	Größe: 6,65 km ²
	Auflösung: 2 x 2 m



Einzugsgebiet von Baiersdorf

Modellvergleich für zwei ausgewählte Städte



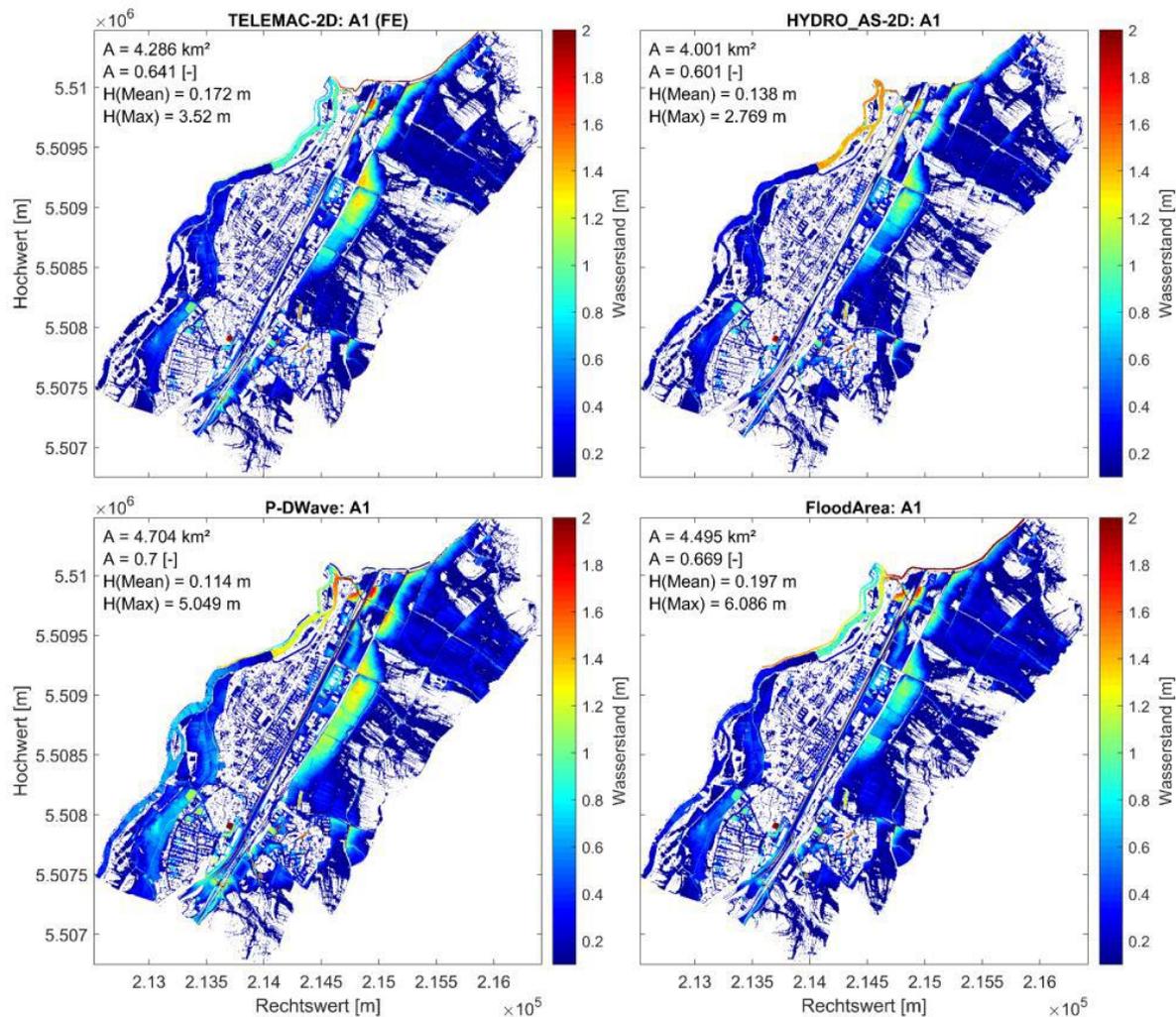
Modellvergleich

Baiersdorf

Maximale

Wasserstände

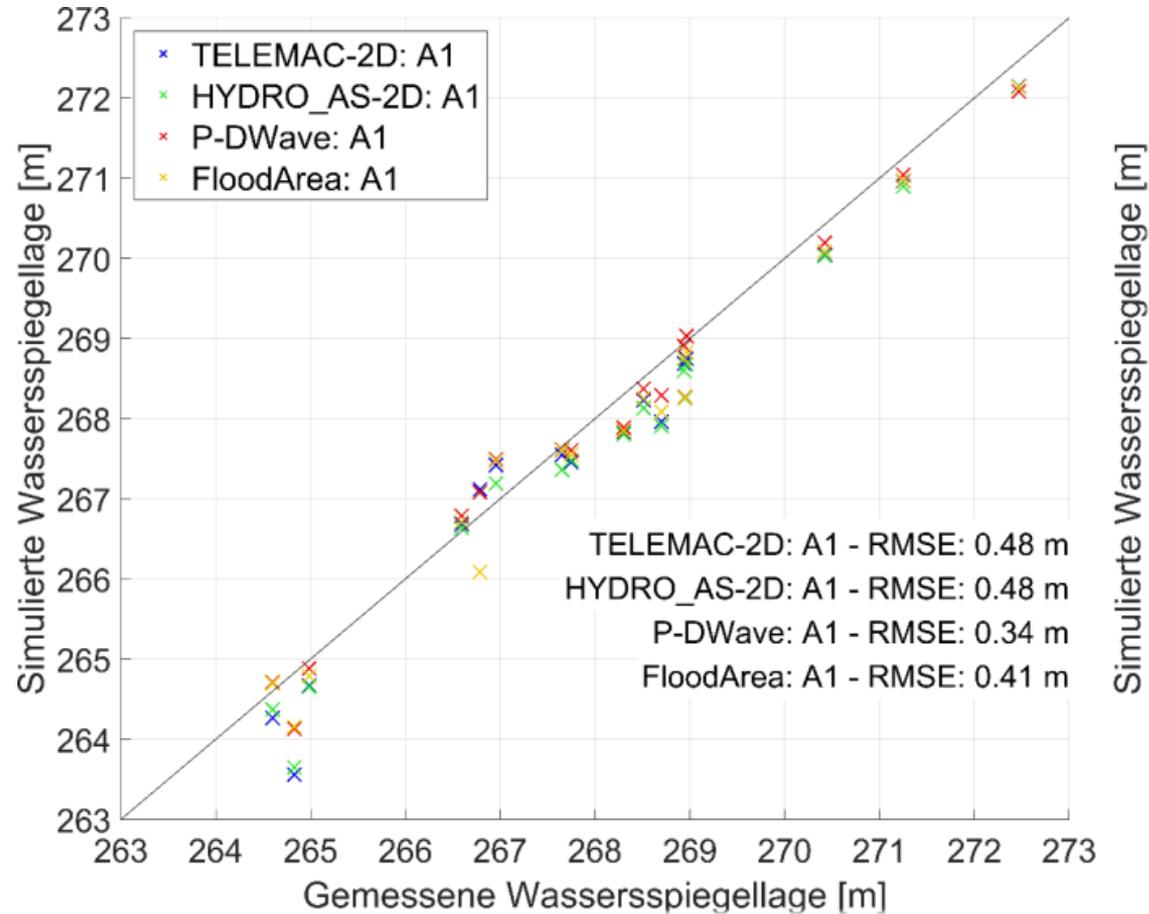
($H \geq 1,5$ cm)



Modellvergleich

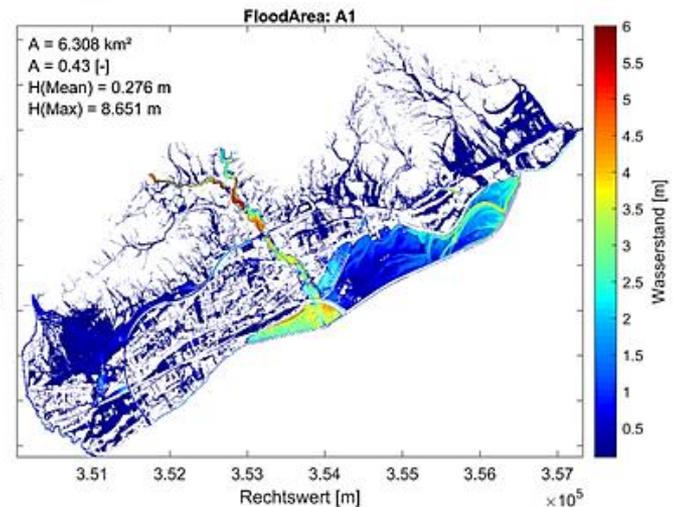
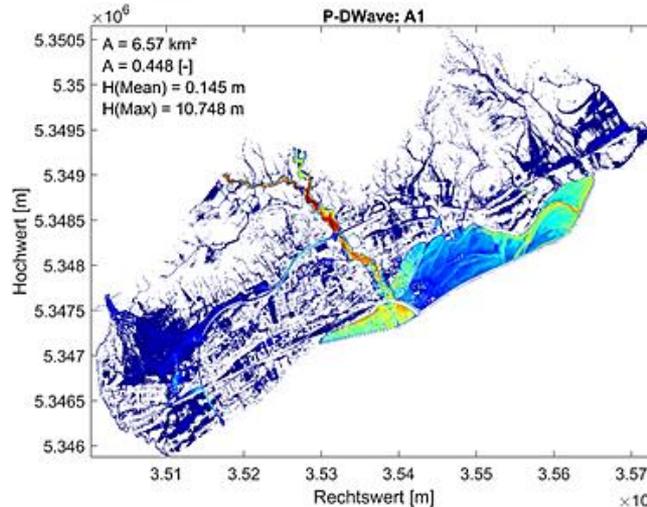
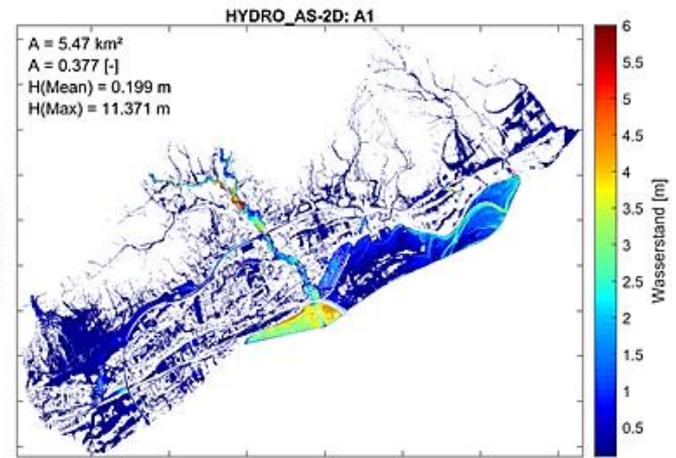
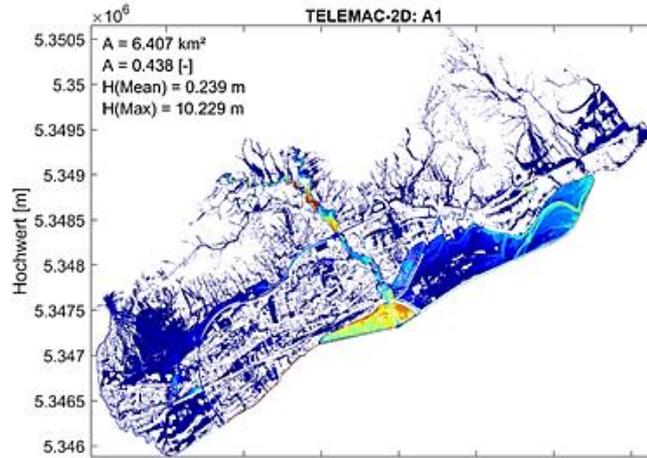
Baiersdorf

Vergleich berechnete vs.
gemessene Wasser-
spiegellagen



Modellvergleich Simbach a. Inn

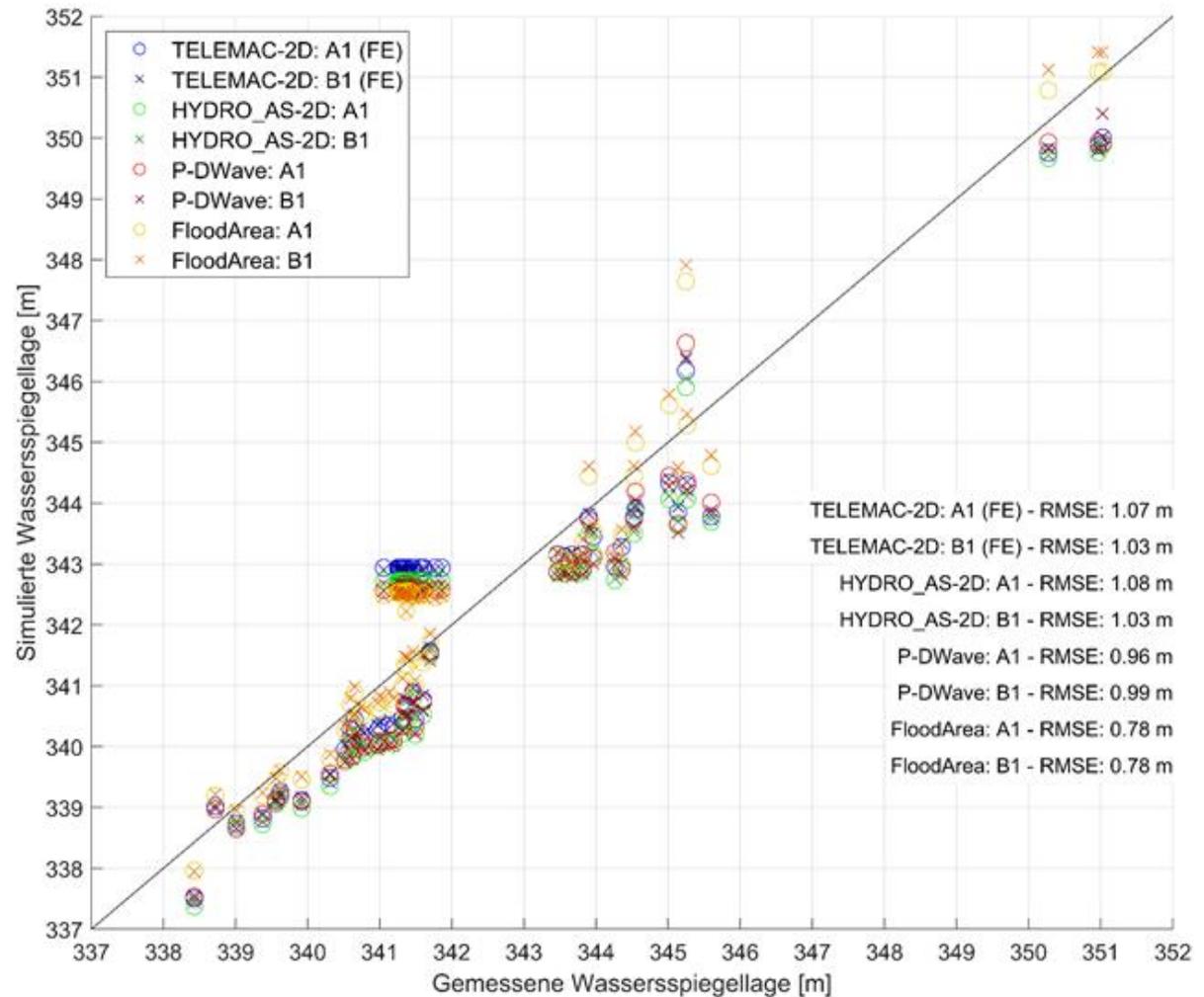
Maximale
Wasserstände
($H \geq 1,5$ cm)



Modellvergleich

Simbach a. Inn

Vergleich berechnete vs.
gemessene Wasser-
spiegellagen



Vergleich der Rechenzeiten

Geschwindigkeit im Vergleich mit TELEMAC-2D:

	TELEMAC-2D: FE	HYDRO_AS-2D	P-DWave	FloodArea
Baiersdorf	1x	10x	47x	15x
Simbach a. Inn	1x	9x	22x	9x
	TELEMAC-2D: FV	HYDRO_AS-2D	P-DWave	FloodArea
Baiersdorf	1x	1,6x	7x	2,2x
Simbach a. Inn	1x	4,4x	11x	4,5x

Vergleich **praktischer** Geschwindigkeiten für ausgewählten Anwendungsfall (kein Benchmarktest)

- TELEMAC-2D: Nutzung von Linux Cluster (56 - 112 Kerne)
- HYDRO_AS-2D: Nutzung von Compute Cloud (2 - 4 Kerne; ohne GPU-Beschleunigung)
- P-DWave: Compute Cloud (1 Kern)
- FloodArea: Lokaler Server (12 Kerne)

Tabellarischer Modellvergleich



	TELEMAC-2D	HYDRO_AS-2D	P-DWave	FloodArea
Eignung Sturzflutmodellierung	Ja	Ja	Ja	Ja
Lizenzierung	Open Source	Kommerziell	Kommerziell	Kommerziell
Markteinführung / Nutzeranzahl	Alt / Hoch	Alt / Hoch	Neu / Niedrig	Mittel / Mittel
Bedienbarkeit	Aufwändig	Mittel	Einfach	Einfach
Aufwand Erstellung Modelle	Hoch	Mittel	Niedrig	Niedrig
Niederschlagsverteilung	Räumlich-zeitlich	Räumlich-zeitlich	Zeitlich	Zeitlich
Hydrologische Ansätze im Modell	Ja	Kommerziell	Ja	Nein
Rechengeschwindigkeit (praktisch)	Schnell	Mittel	Langsam	Mittel
Modifizierungen im Code	Ja	Nein	Nein	Nein

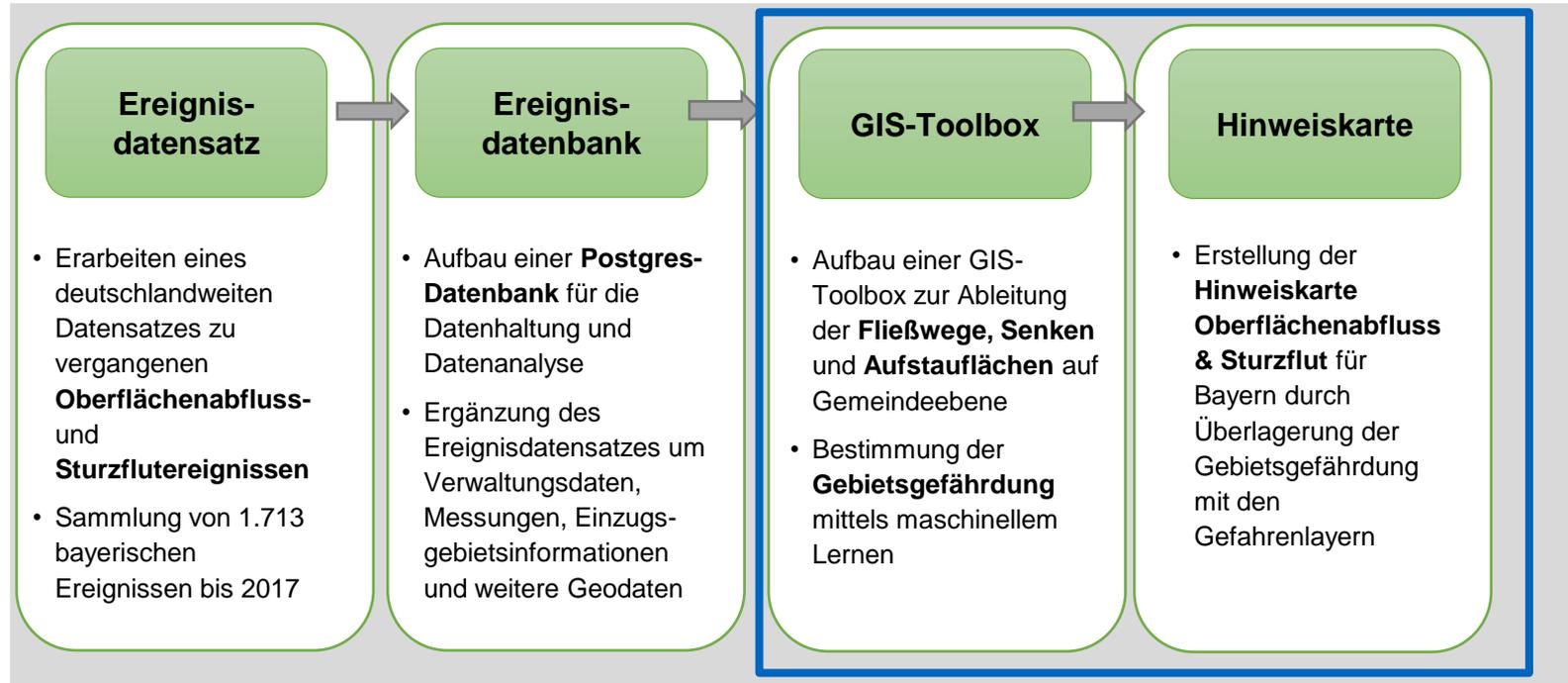
Fazit

- Alle hydrodynamischen Modelle geeignet
- Vorteile von TELEMAC-2D überwiegen

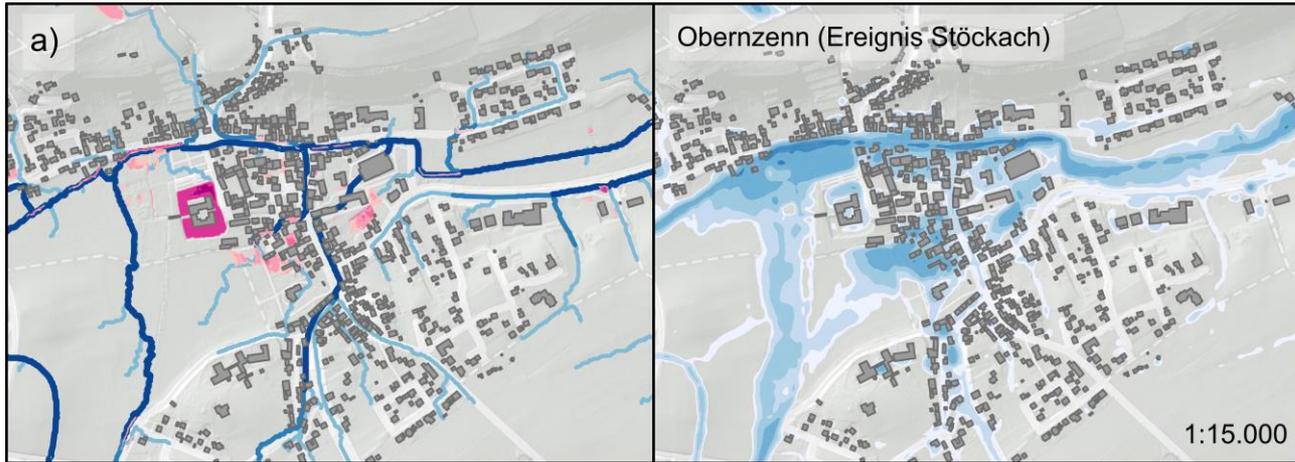
GIS-ML-basierte Methode



Entwicklung der Hinweiskarte



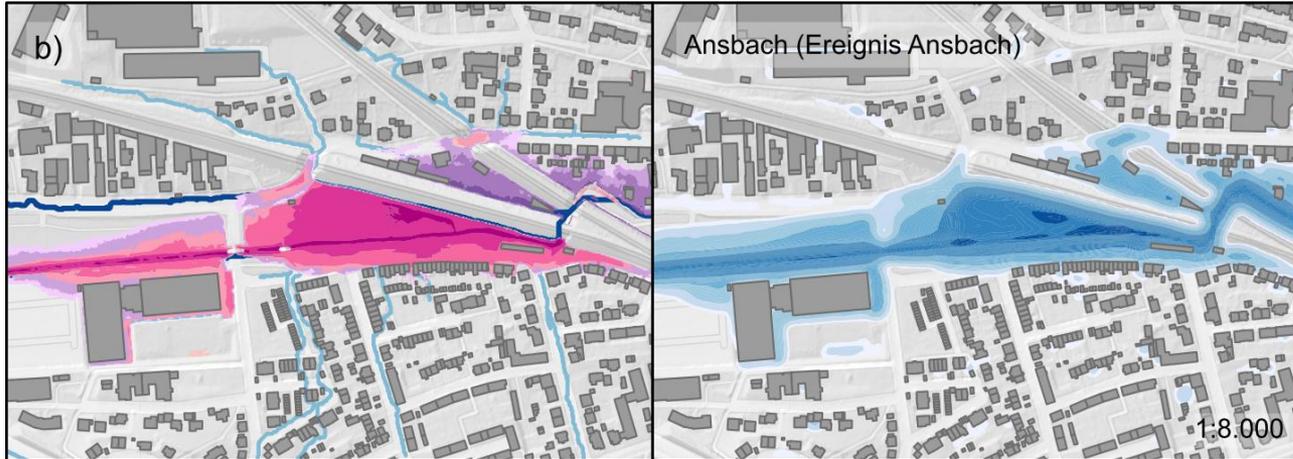
Pros and Cons of the GIS Toolbox



Max. Aufstautiefe	Max. Senktiefe	Einzugsgebietsfläche	Max. Überflutungstiefe
> 0,1 - 0,2 m	> 0,1 - 0,2 m	> 1 - 5 ha	> 0,05 - 0,10 m
> 0,2 - 0,5 m	> 0,2 - 0,5 m	> 5 - 10 ha	> 0,10 - 0,25 m
> 0,5 - 1,0 m	> 0,5 - 1,0 m	> 10 ha	> 0,25 - 0,50 m
> 1,0 - 2,0 m	> 1,0 - 2,0 m		> 0,50 - 1,00 m
> 2,0 - 4,0 m	> 2,0 - 4,0 m		> 1,00 - 2,00 m
> 4,0 m	> 4,0 m		> 2,00 m

Comparison of GIS analysis with hydrodynamic modeling of Stöckach (N10 duration level 6h)

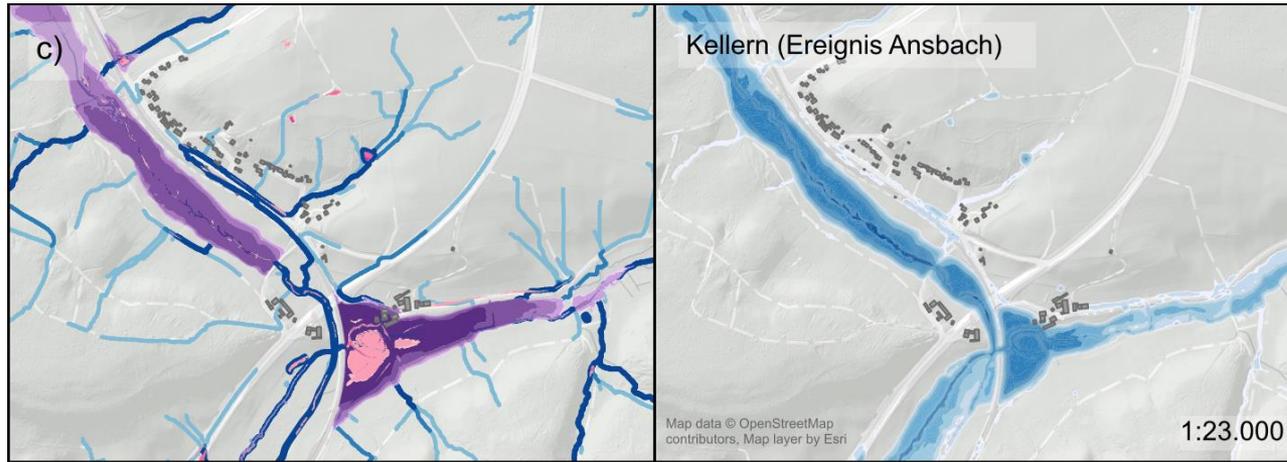
Pros and Cons of the GIS Toolbox



Max. Aufstautiefe	Max. Senkentiefe	Einzugsgebietsfläche	Max. Überflutungstiefe
> 0,1 - 0,2 m	> 0,1 - 0,2 m	> 1 - 5 ha	> 0,05 - 0,10 m
> 0,2 - 0,5 m	> 0,2 - 0,5 m	> 5 - 10 ha	> 0,10 - 0,25 m
> 0,5 - 1,0 m	> 0,5 - 1,0 m	> 10 ha	> 0,25 - 0,50 m
> 1,0 - 2,0 m	> 1,0 - 2,0 m		> 0,50 - 1,00 m
> 2,0 - 4,0 m	> 2,0 - 4,0 m		> 1,00 - 2,00 m
> 4,0 m	> 4,0 m		> 2,00 m

Comparison of GIS analysis with hydrodynamic modeling of Ansbach (N100 duration level 9h)

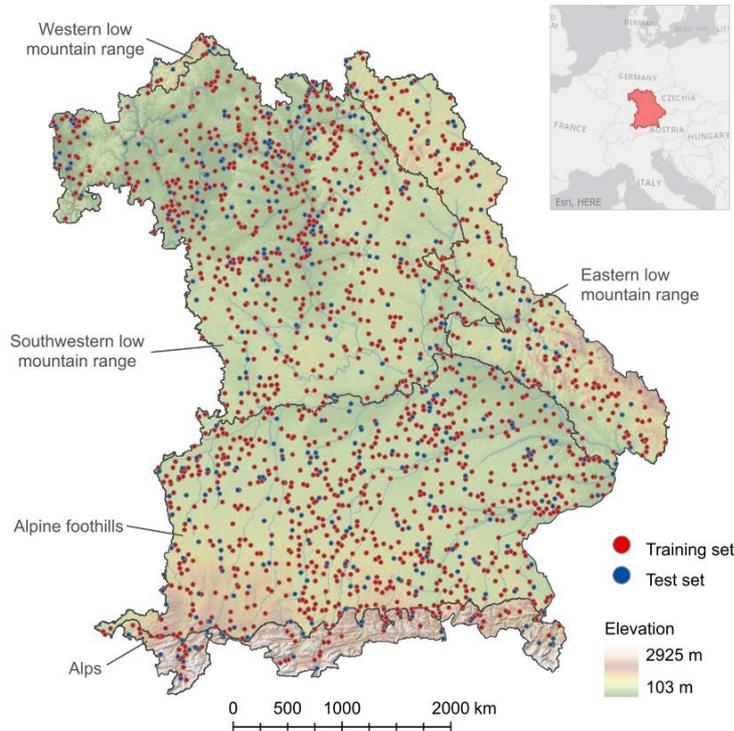
Pros and Cons of the GIS Toolbox



Max. Aufstautiefe	Max. Senkentiefe	Einzugsgebietsfläche	Max. Überflutungstiefe
> 0,1 - 0,2 m	> 0,1 - 0,2 m	> 1 - 5 ha	> 0,05 - 0,10 m
> 0,2 - 0,5 m	> 0,2 - 0,5 m	> 5 - 10 ha	> 0,10 - 0,25 m
> 0,5 - 1,0 m	> 0,5 - 1,0 m	> 10 ha	> 0,25 - 0,50 m
> 1,0 - 2,0 m	> 1,0 - 2,0 m		> 0,50 - 1,00 m
> 2,0 - 4,0 m	> 2,0 - 4,0 m		> 1,00 - 2,00 m
> 4,0 m	> 4,0 m		> 2,00 m

Comparison of GIS analysis with hydrodynamic modeling of Ansbach (N100 duration level 9h)

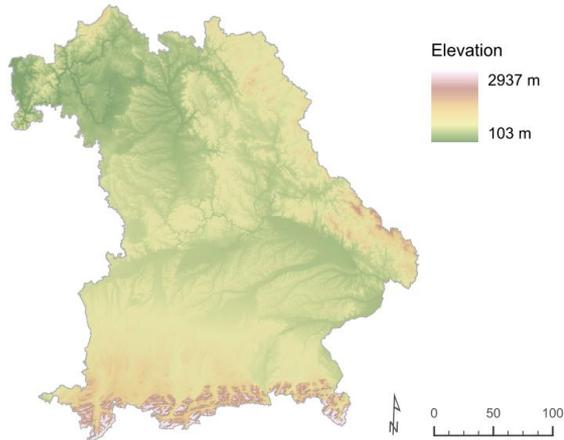
Derivation of a FFSM by use of machine learning



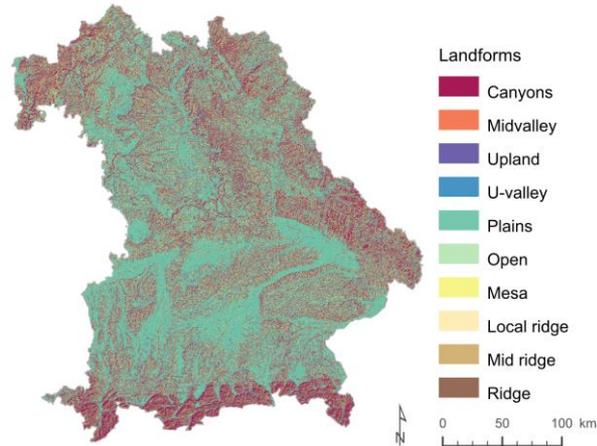
- Dataset consisting of 932 affected and 932 unaffected locations (1864 locations).
- Affected locations from HiOS database
- Random selection of unaffected localities from the remaining localities
- Coverage of all Bavarian regions is guaranteed
- Data set shows a good spatial coverage of Bavaria

Derivation of the FFSM - Topography

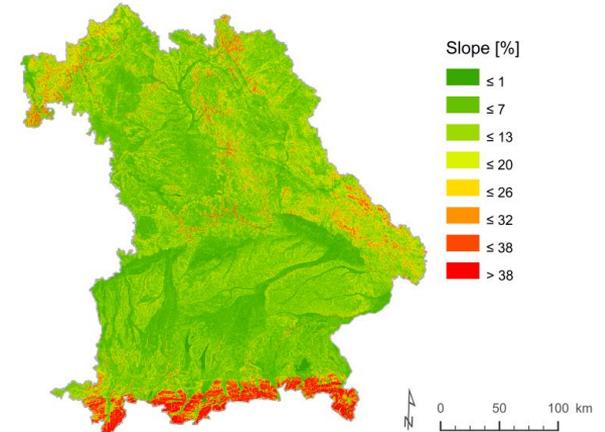
Elevation



Landforms

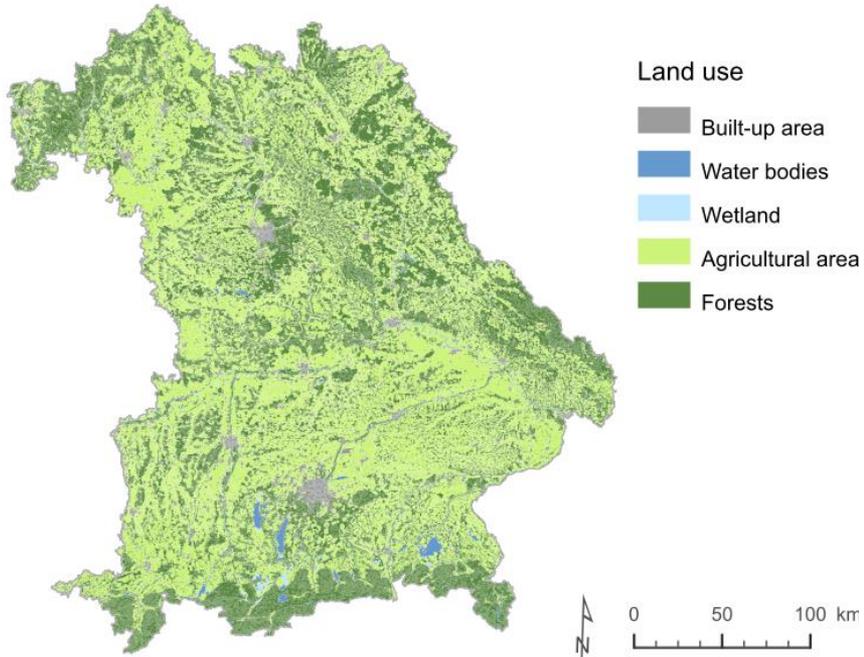


Slope

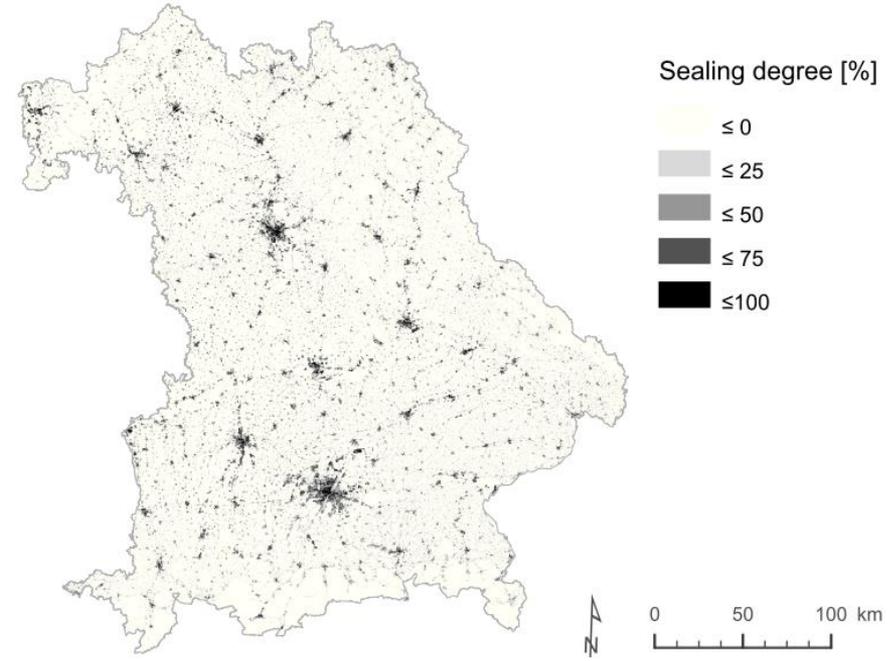


Derivation of the FFSM - Land use

Land use

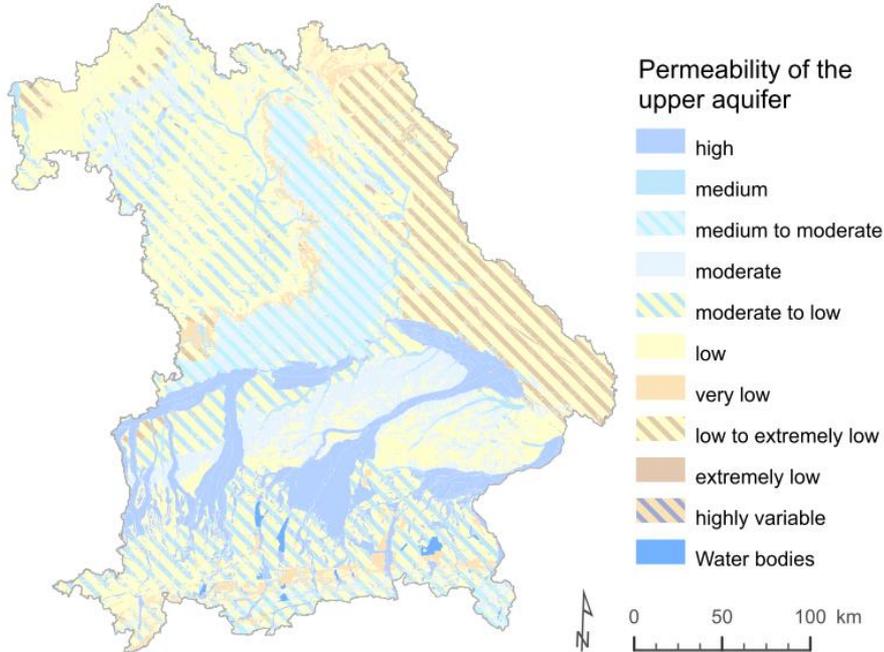


Percentage of Sealing

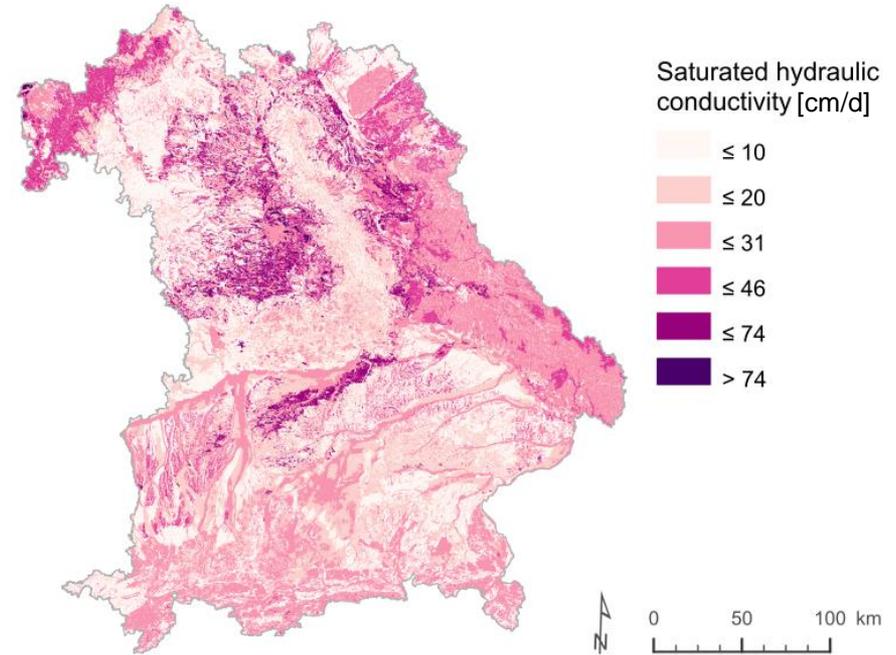


Derivation of the FFSM - Soil and Geology

Permeability of the upper aquifer

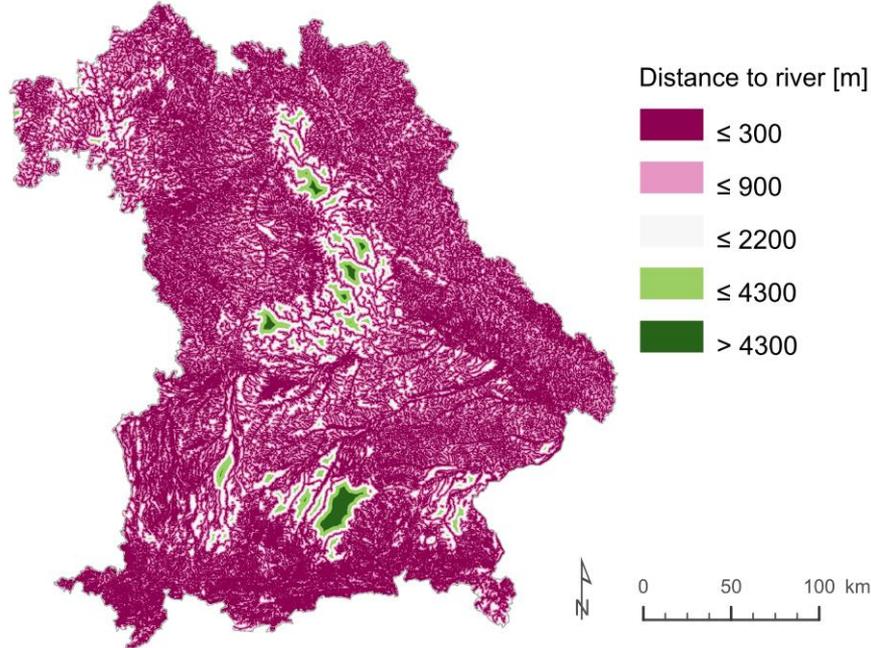


Saturated hydraulic conductivity (topsoil layer)

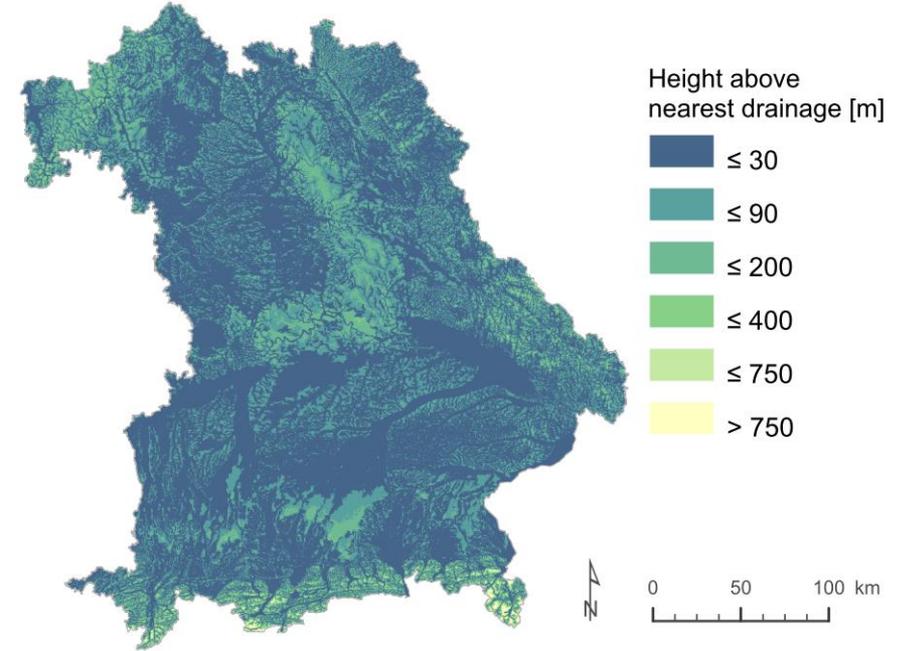


Derivation of the FFSM - Water bodies

Distance to the river

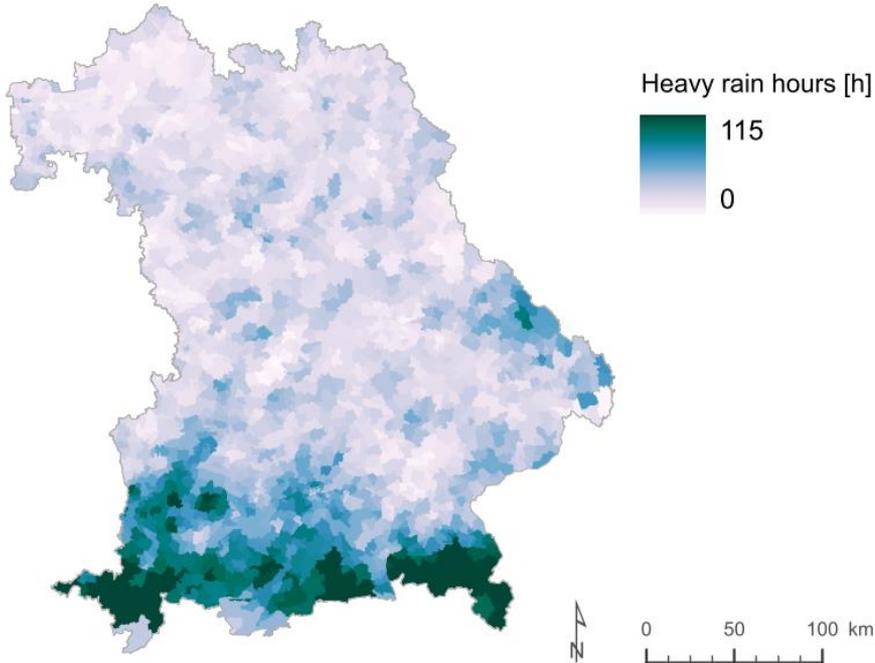


Height above the nearest drainage (HAND)



Derivation of the FFSM - Precipitation

Heavy rain hours



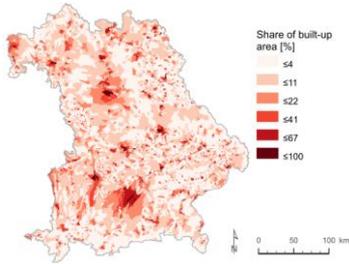
Dataset by GDV and DWD (2018):

Heavy rain hours since 2001 per zip code area

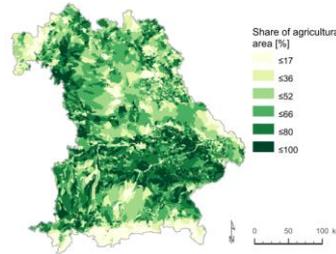
This dataset sums up all hours of heavy rain that occurred in Germany since 2001 per zip code area. To qualify as heavy rain, the rain event had to exceed 25 l/m^2 in 1 h or 35 l/m^2 in 6 h.

Derivation of the FFSM - Watershed characteristics

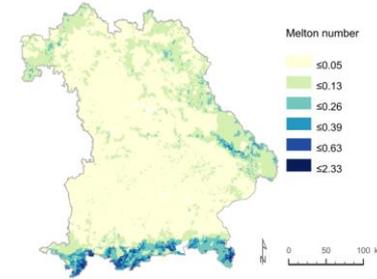
Percentage of built-up area



Percentage of agricultural area

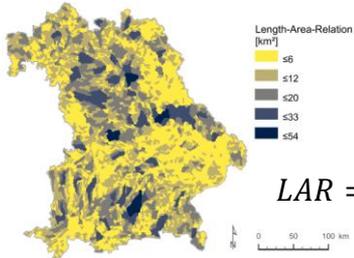


Melton ruggedness number



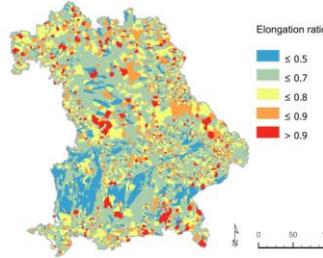
$$M = \frac{R}{\sqrt{A}}$$

Length-Area-Relation



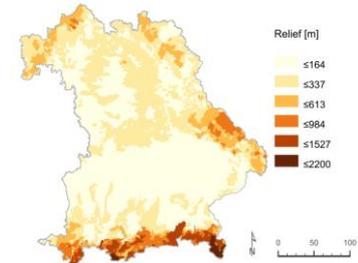
$$LAR = 1.4 \times A^{0.6}$$

Elongation ratio



$$E = 2 \times \frac{\sqrt{A\pi}}{L_b}$$

Relief

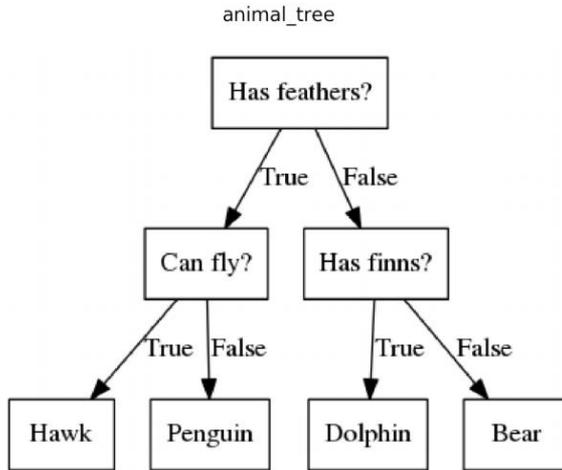


$$R = H_{max} - H_{min}$$

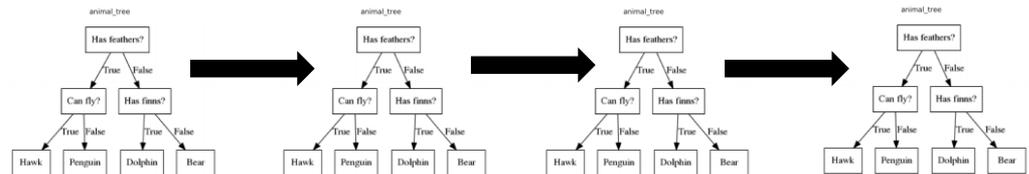
Derivation of the FFSM – Decision Tree

Application of **CatBoost Classifier** (= Gradient boosting on decision trees)

Decision Tree



Multiple decision trees are trained sequentially and adaptively



Derivation of the FFSM – Model performance

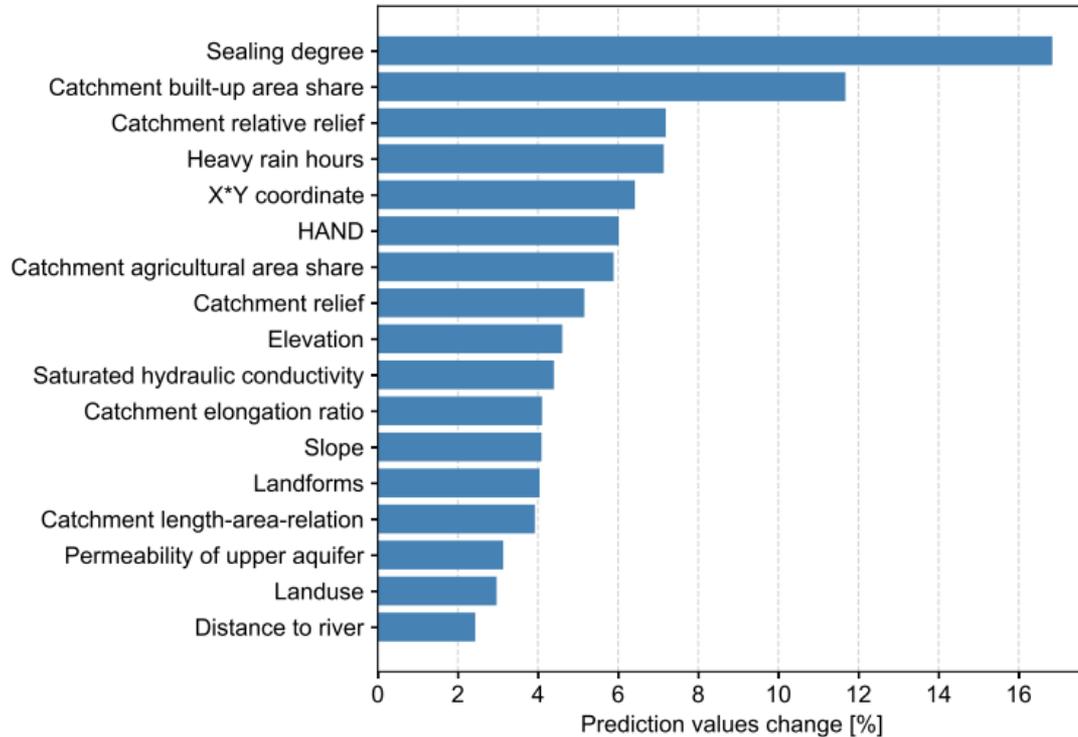
Statistical measure	Catboost
True positive (TP)	141
True negative (TN)	144
False positive (FP)	43
False negative (FN)	45
Sensitivity [%]	75,81
Specificity [%]	77,01
Accuracy	76,41

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN}$$

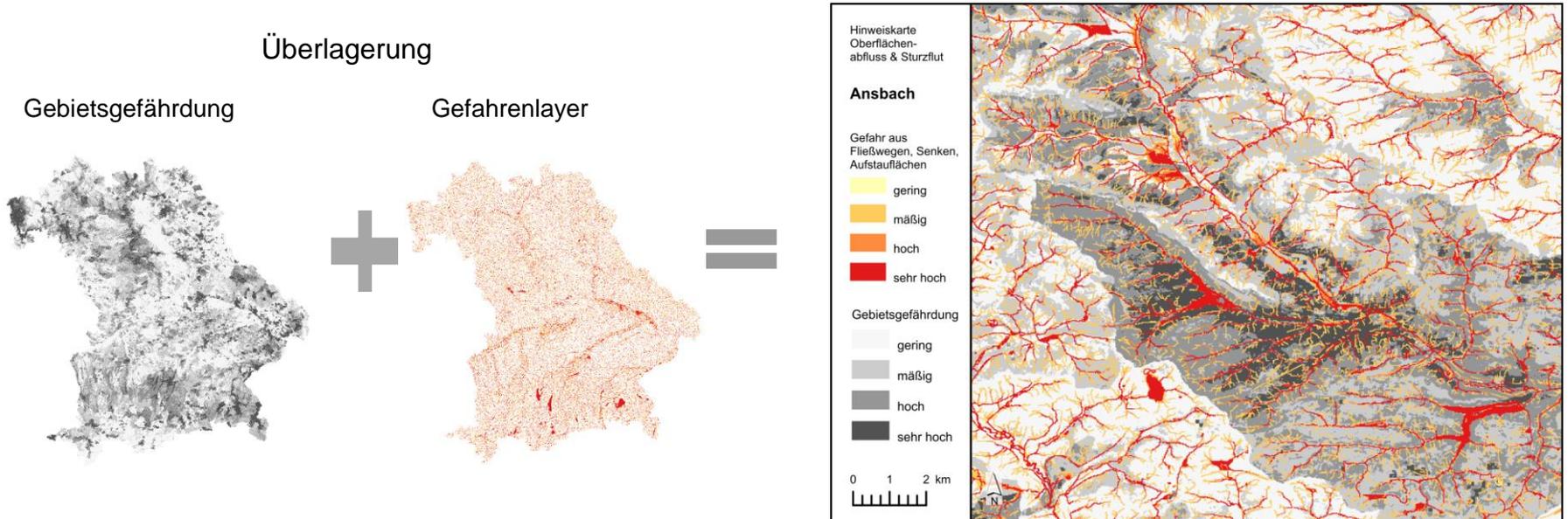
$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP}$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$$

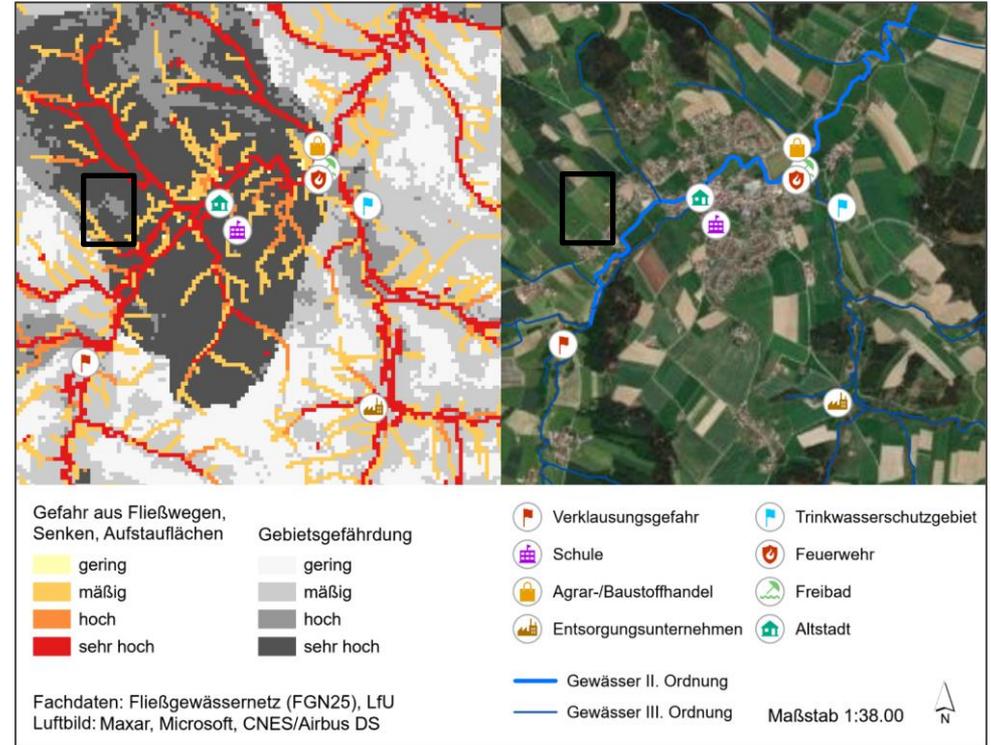
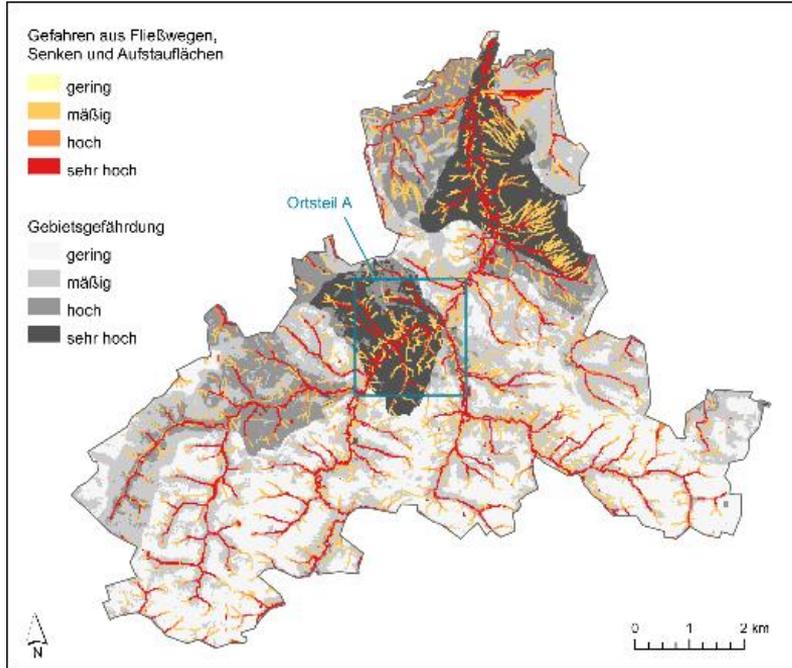
Derivation of the FFSM – Feature importance



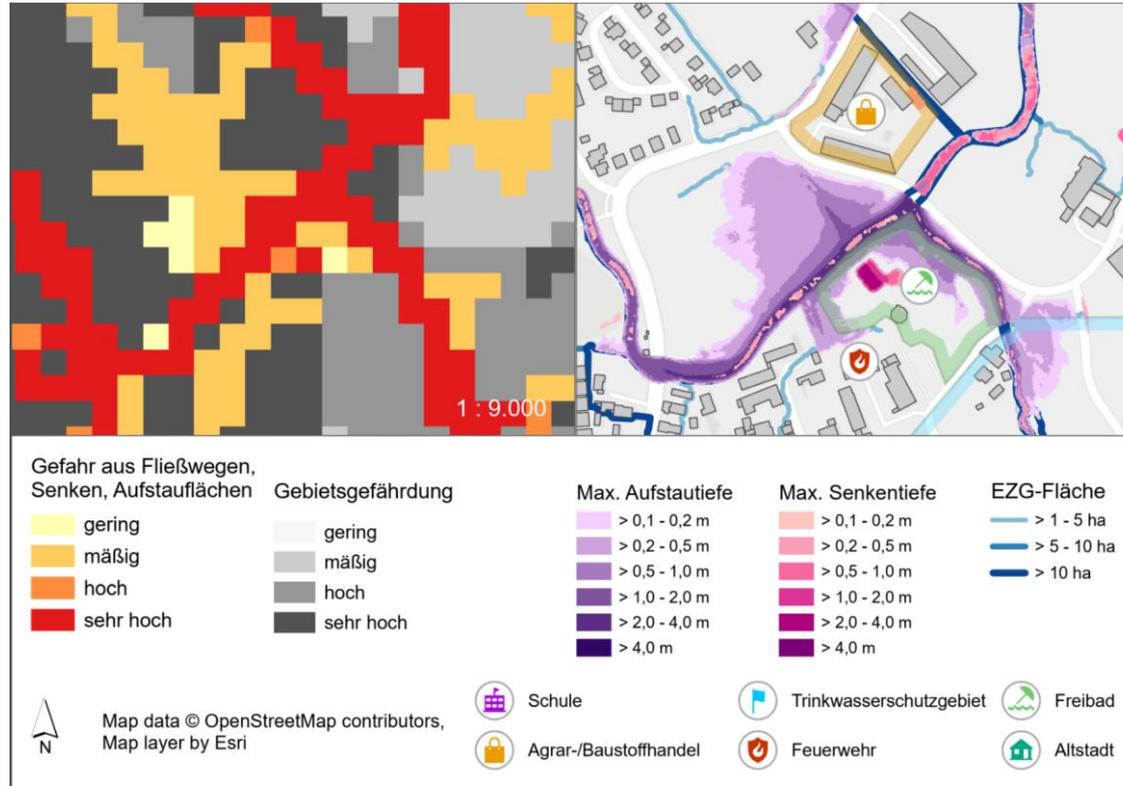
Erstellung der Hinweiskarte



Beispielauswertung der Hinweiskarte

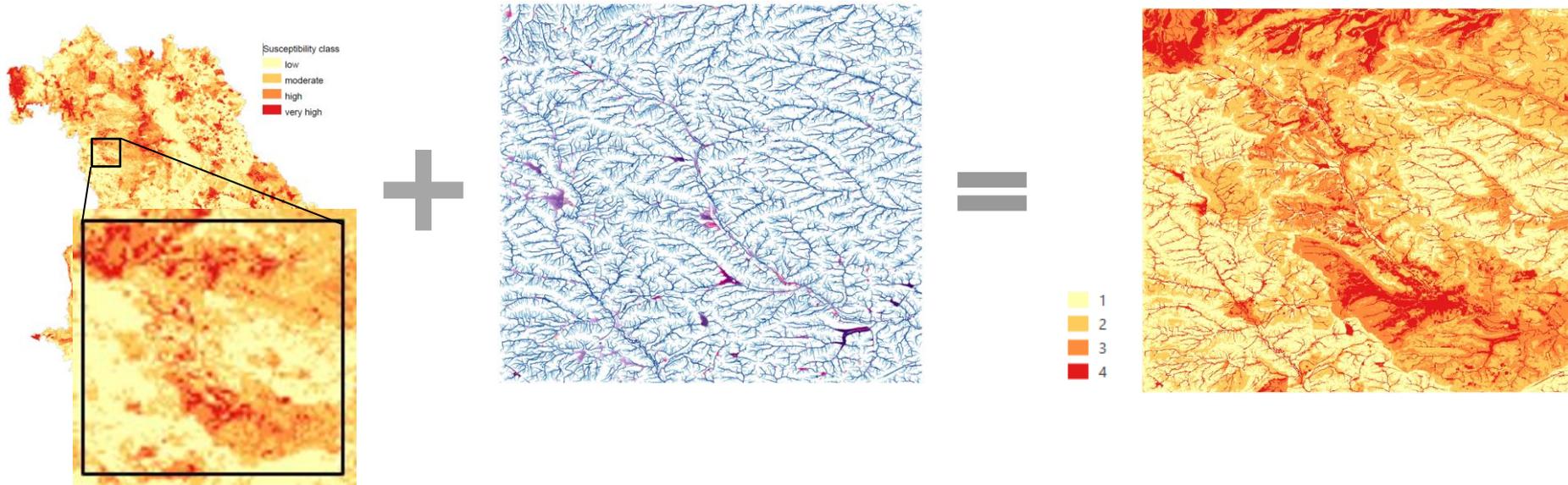


Beispielauswertung der Hinweiskarte



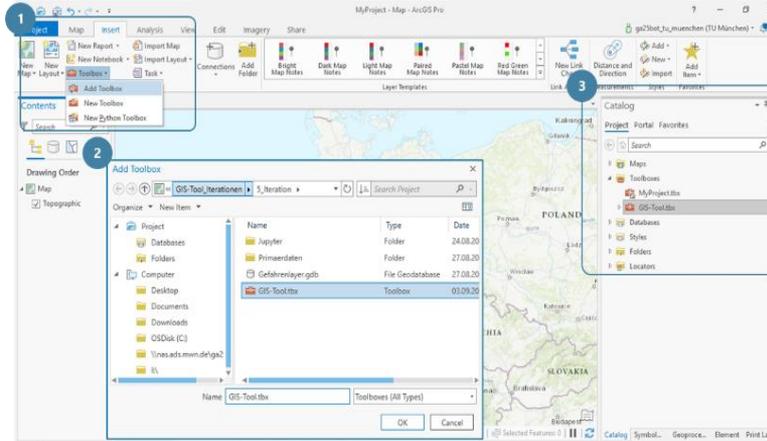
Reference Map for Surface Runoff and Flash Floods

Flash Flood Susceptibility Map combined with Hazard Layers (GIS toolbox)
gives the final **Reference Maps**



Die HiOS-Toolbox für *ArcGIS Pro*

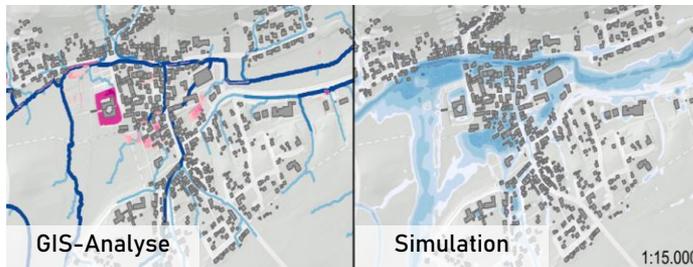
- Ableitung und Visualisierung der Gefährdung durch Oberflächenabfluss und Sturzflut für ein **beliebiges Gemeindegebiet** Bayerns mit der HiOS-Toolbox für *ArcGIS Pro 2.7*
- Die HiOS-Toolbox als Werkzeug für **Wasserwirtschaftsämter, Kommunen und Ingenieurbüros**



Fazit (Hinweiskarte)

Gefahrenlayer

- + Gute Lagegenauigkeit
- + Hinweise auf maximale Füllung der Senken- bzw. Austaflächen
- Belastungsunabhängige Ableitung ohne Berücksichtigung von bodenphysikalischen oder hydrologischen Einflussgrößen
- Diskrepanz zw. abgeleiteten, linienhaften Fließwegen und realen Überflutungsflächen



Gebietsgefährdung

- + Berücksichtigung vieler Einflussfaktoren (z.B. Topografie, Boden, Einzugsgebiet)
- + Abbildung des komplexen Zusammenspiels der verschiedenen Einflussfaktoren
- Belastungsunabhängige Ableitung
- Keine Berücksichtigung von Nachbarschaftsverhältnissen zwischen den Rasterzellen

Die Hinweiskarte vereint das Beste aus GIS-Analyse und Machine Learning und liefert wertvolle Hinweise auf erhöhte Gefährdungen durch Oberflächenabfluss und Sturzflut.

Zusammenfassung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Zusammenfassung

- Sturzfluten können grundsätzlich überall auftreten
- Für Bayern gibt es inzwischen eine landesweite Referenzkarte für Sturzfluten
- Diese Karte kann durch neue Ereignisse verbessert werden (maschinelles Lernen)
- Gefahrenkarten sind notwendig für detaillierte Gefahrenanalysen
- (alle) 2-dimensionalen hydrodynamischen Modelle sind dafür geeignet
- Für zuverlässige Vorhersagen des Abflussbeiwertes sind die Anfangsbedingungen von entscheidender Bedeutung
- Die Vorhersage von kleinräumigen Niederschlägen ist das größte Forschungsdefizit

<http://www.hios-projekt.de/de>

