

Wie gut sind 2D-hydrodynamische Modelle zur Simulation von Sturzfluten in urbanen Gebieten geeignet?

Thomas Pflugbeil, Qing Lin, Karl Broich, Markus Disse

Einleitung

- Starkregenereignisse mit folgenreichen Sturzflutereignissen haben in den letzten Jahren zugenommen (800 Mio. Euro versicherter Schaden durch Starkregen in 2016 [Quelle: [1]).
- Vorgaben für die hydrodynamische Modellierung von Starkregen und Sturzfluten fehlen bisher und sollen untersucht werden (Diskretisierung, Inputdaten, Kanalnetzdaten, etc.).
- Es werden vier verschiedene 2D-hydrodynamischen Modelle für die Simulation von Sturzfluten in zwei Schritten getestet: (1) Anhand von fünf **Benchmarktests** (wird im Folgenden vorgestellt); (2) Anhand von zwei **realen Sturzflutereignissen**.

Modelle

	Entwickler	Grundgleichung	Lösungsverfahren	Zeitschrittverfahren
HYDRO_AS-2D	Firma Hydrotec [2]	Dynamische Welle	FD	Explizit
TELEMAC-2D	Konsortium (Artelia, BAW, EDF, CEREMA, HR Wallingford) [3]	Dynamische Welle	FD / FE	Implizit
P-DWave	Jorge Leandro [4]	Diffusive Welle	FD	Explizit
FloodArea	Firma geomer [5]	Kinematische Welle	FV	Explizit

Vereinfachung der Flachwassergleichung: $\frac{\partial(Q^2)}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial h}{\partial x} - gA(I_E - I_S) = 0$ $\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$

Benchmarktests

BMT-1 (nach [6]):

- Input: W / 1D / Modell: 5000 m
- Ausbreitung Dammbruchwelle ($n = 0,01$)
- Analytische Lösung vorhanden (bei $v = 1$ m/s)
- Test verschiedener Gitterauflösungen

BMT-2 (nach [6]):

- Input: W / 1D / Modell: 5000 m (25 x 25 m)
- Ausbreitung Welle auf Strand (Steigung: 0,1 %)
- Test verschiedener Rauigkeiten

BMT-3 (nach [7], siehe Abb. 1):

- Input: W / 2D / Modell: 700 x 100 m (10 x 10 m)
- Füllen eines nicht verbundenen Sees

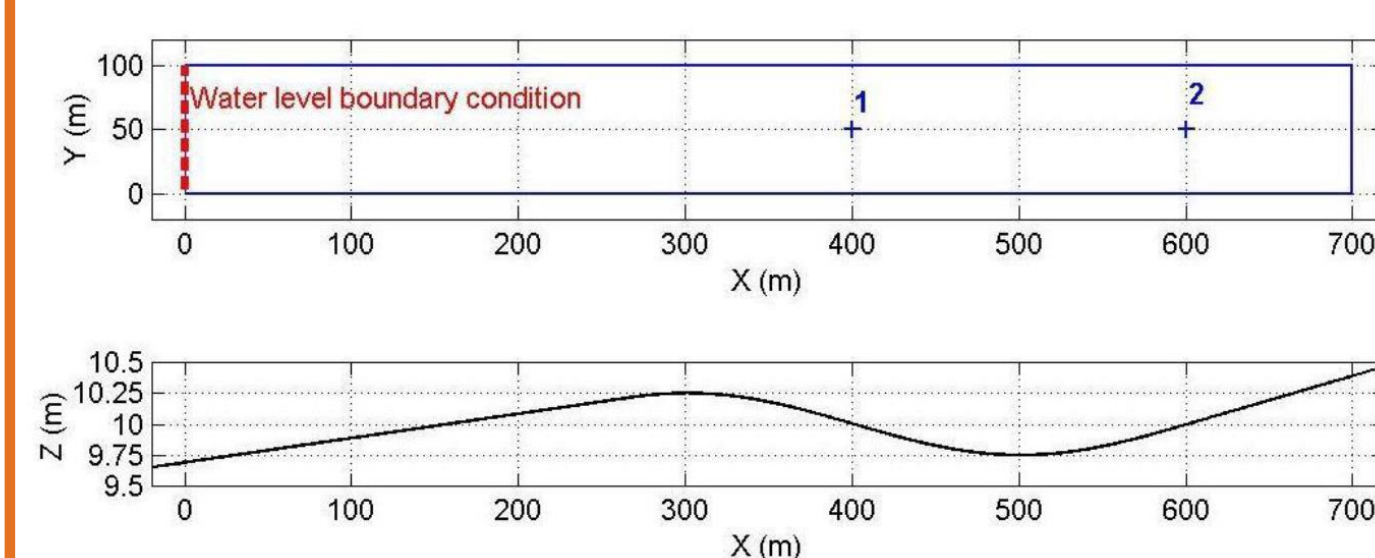


Abb. 1: Aufsicht (oben), Querschnitt (unten) und Lage der zwei Pegel des BMT-3 [7].

BMT-4 (nach [7], siehe Abb. 2):

- Input: Q / 2D / Modell: 2 x 2 km (2 x 2 m)
- Füllen nicht verbundener Senken (0,5 m tief)
- Gefälle: N-S: 1:1500
- W-O: 1:3000

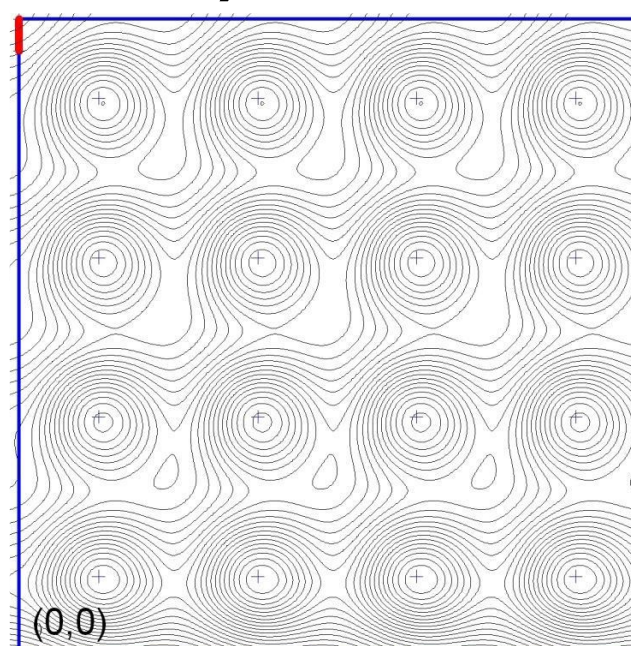


Abb. 2: Aufsicht des BMT-4 [7].

BMT-5 (nach [7], siehe Abb. 3):

- Input: N+Q / 2D / Modell: 960 x 400 m (2x2m)
- Niederschlag (20 mm in 3 min) kombiniert mit Zuflussganglinie ($Q_{max} = 5$ m³/s)
- Rauigkeit: Straße ($n = 0,02$) / Land ($n = 0,05$)

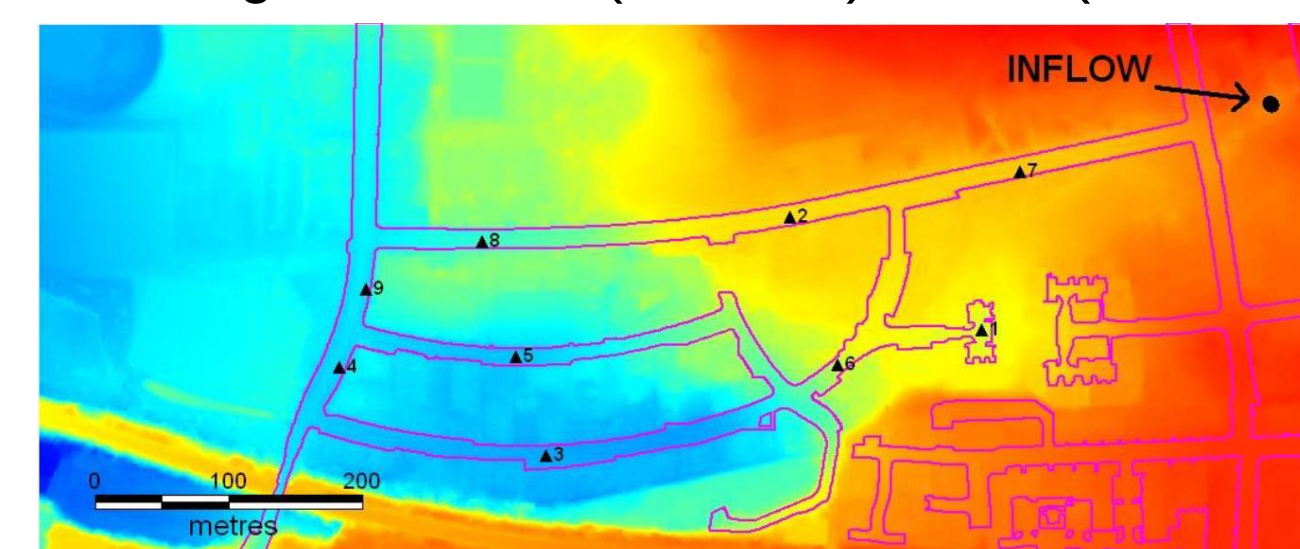


Abb. 3: Aufsicht des BMT-5 [7].

Ergebnisse

BMT-1 (Dammbruch), siehe Abb. 4:

- Die Modelle bis auf FloodArea können die analytische Lösung nachbilden.
- Je größer das Modellgitter gewählt wird, umso ungenauer wird die numerische Lösung an der Wellenfront.

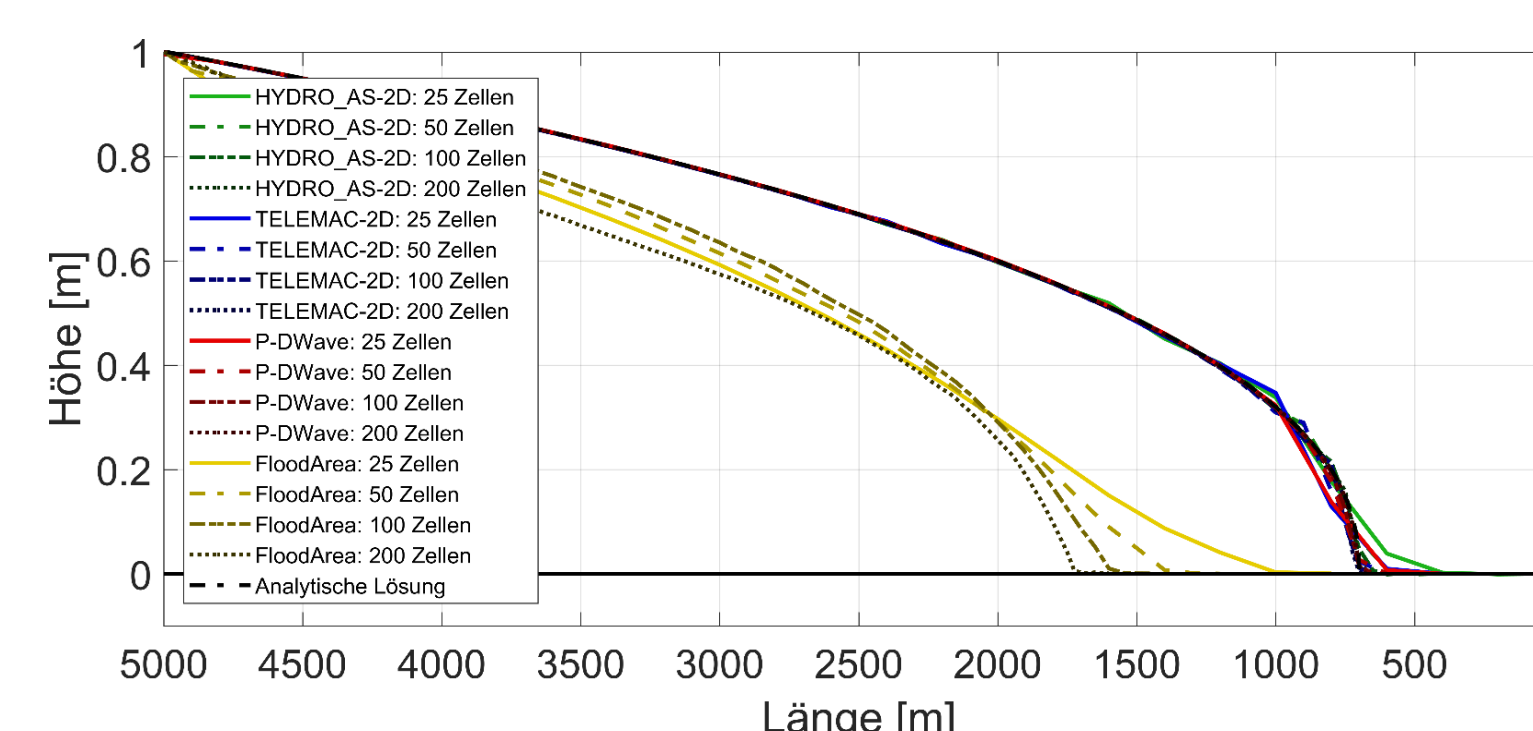


Abb. 4: Wasserstand des BMT-1 nach 3600 s. Die schwarz gestrichelte Linie ist die analytische Lösung.

BMT-2 (geneigter Strand), siehe Abb. 5:

- Bei HYDRO_AS-2D und TELEMAC-2D bildet sich Wellenaufbau aus (Welle überfließt Strand höher als die Randbedingung es vorgibt).
- Modelle reagieren auf unterschiedliche Rauigkeiten.
- P-DWave und FloodArea erzeugen keine Oszillationen beim Zurückfließen der Welle.

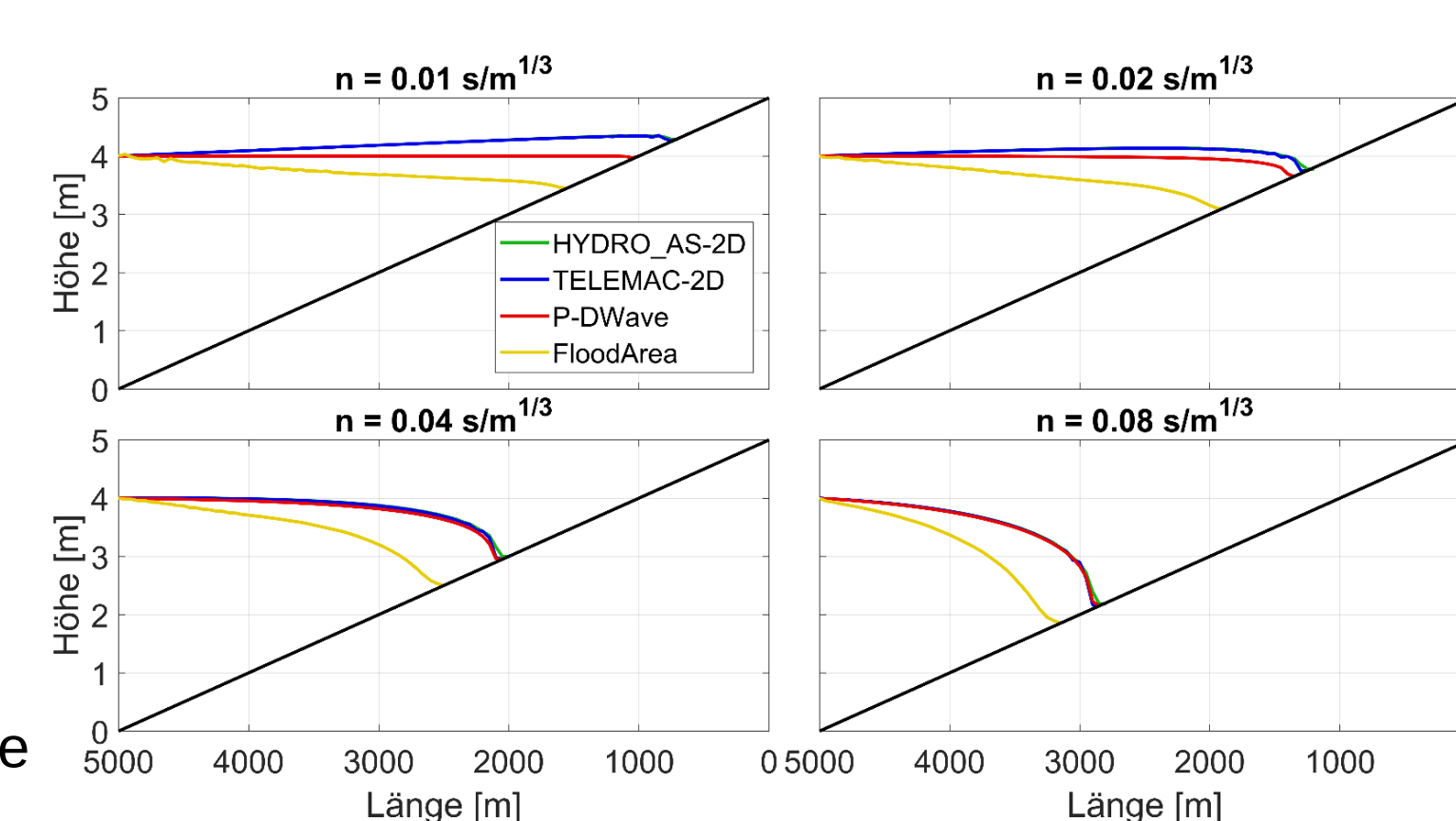


Abb. 5: Wasserstand des BMT-2 nach 3600 s.

Ergebnisse (Fortsetzung)

BMT-3 (See), siehe Abb. 6:

- HYDRO_AS-2D und TELEMAC-2D geben bei Füllung des Sees Schwingungen wieder.
- FloodArea füllt den See zu langsam auf und besitzt ein Wasserspiegelgefälle ($I \approx \frac{0,1 \text{ mm}}{1 \text{ m}}$).
- Nur HYDRO_AS-2D und P-DWave bilden Endwasserstand von 10,25 m aus.

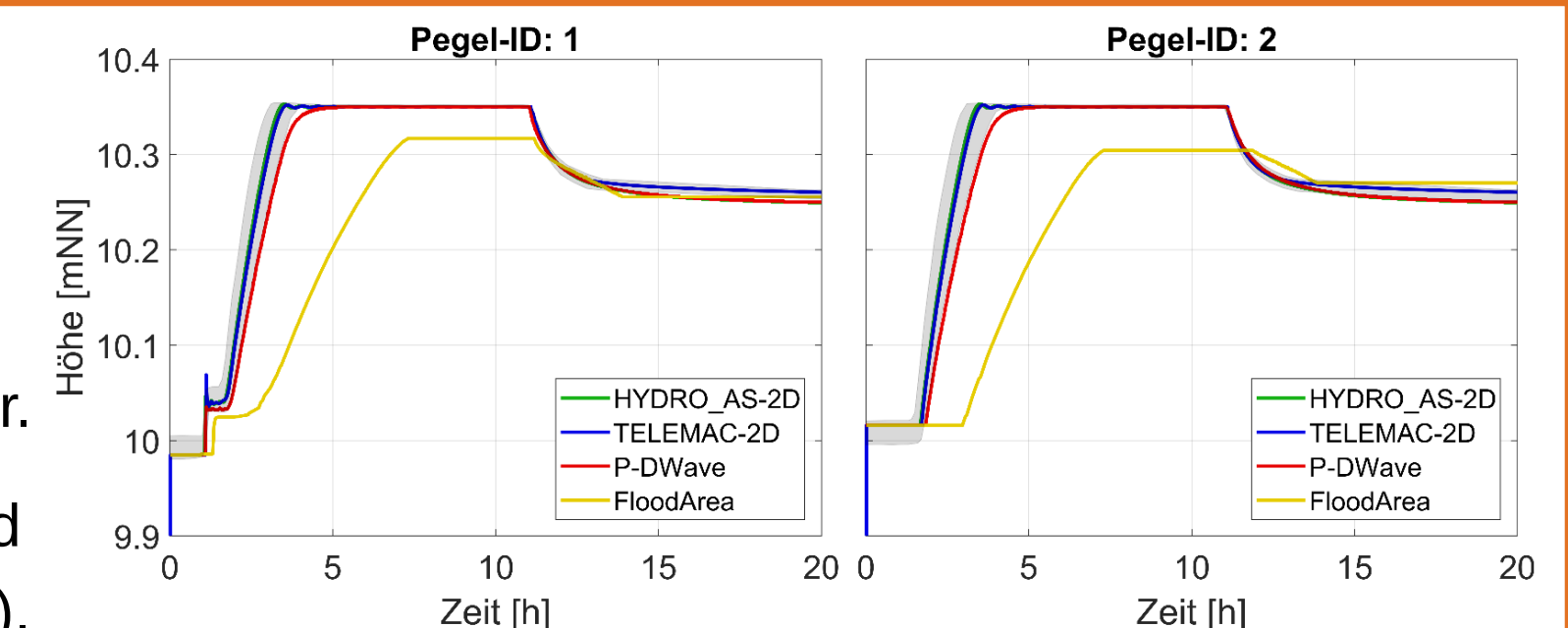


Abb. 6: Wasserstand des BMT-3 an zwei Pegel. Die grauen Bänder stellen die Modellergebnisse aus [7] dar.

BMT-4 (Senken), siehe Abb. 7:

- TELEMAC-2D und FloodArea füllen Pegel 5 nicht und weisen bei Pegel 11 Abweichungen auf ($\Delta W \approx 0,05$ m).
- FloodArea füllt weiter entfernte Pegel zu spät auf.
- P-DWave und FloodArea überschätzen Peak bei Pegel 4 um 0,05 m.
- Die Abweichungen sind generell gering.

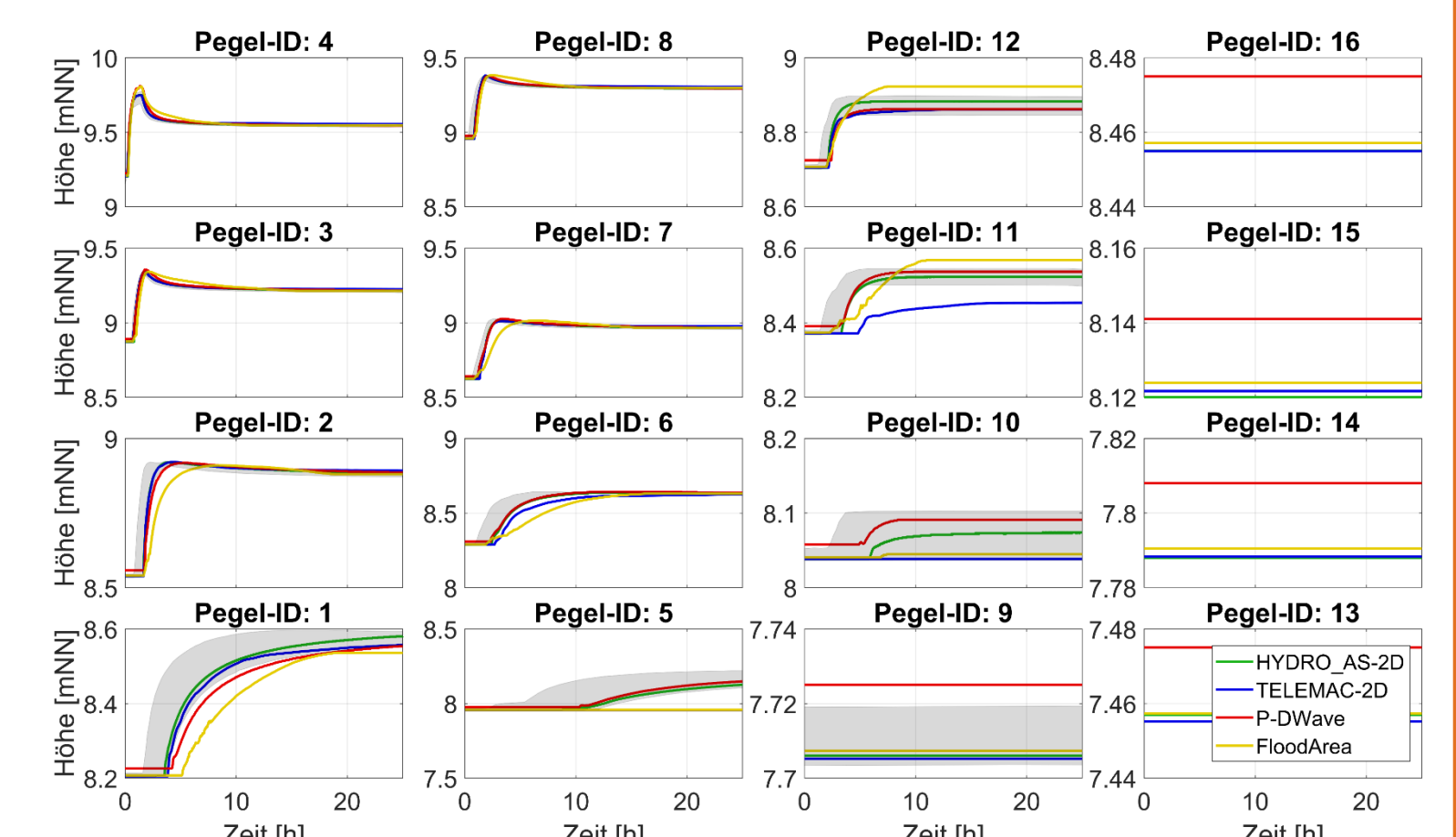


Abb. 7: Wasserstand des BMT-4 an den 16 Senken. Die grauen Bänder stellen die Modellergebnisse aus [7] dar.

BMT-5 (Urbanes Gebiet), siehe Abb. 8:

- P-DWave und FloodArea überschätzen (z. B. Pegel 1) bzw. unterschätzen (z. B. Pegel 4 und 8) die Zuflussspitze (2. Spitze in der Ganglinie).
- TELEMAC-2D weist bei Pegel 6 starke numerische Oszillationen auf.
- Alle Modelle bilden die zwei Spitzen ab, weisen jedoch ein leicht unterschiedliches Fließverhalten auf ($\Delta W < 0,05$ m).

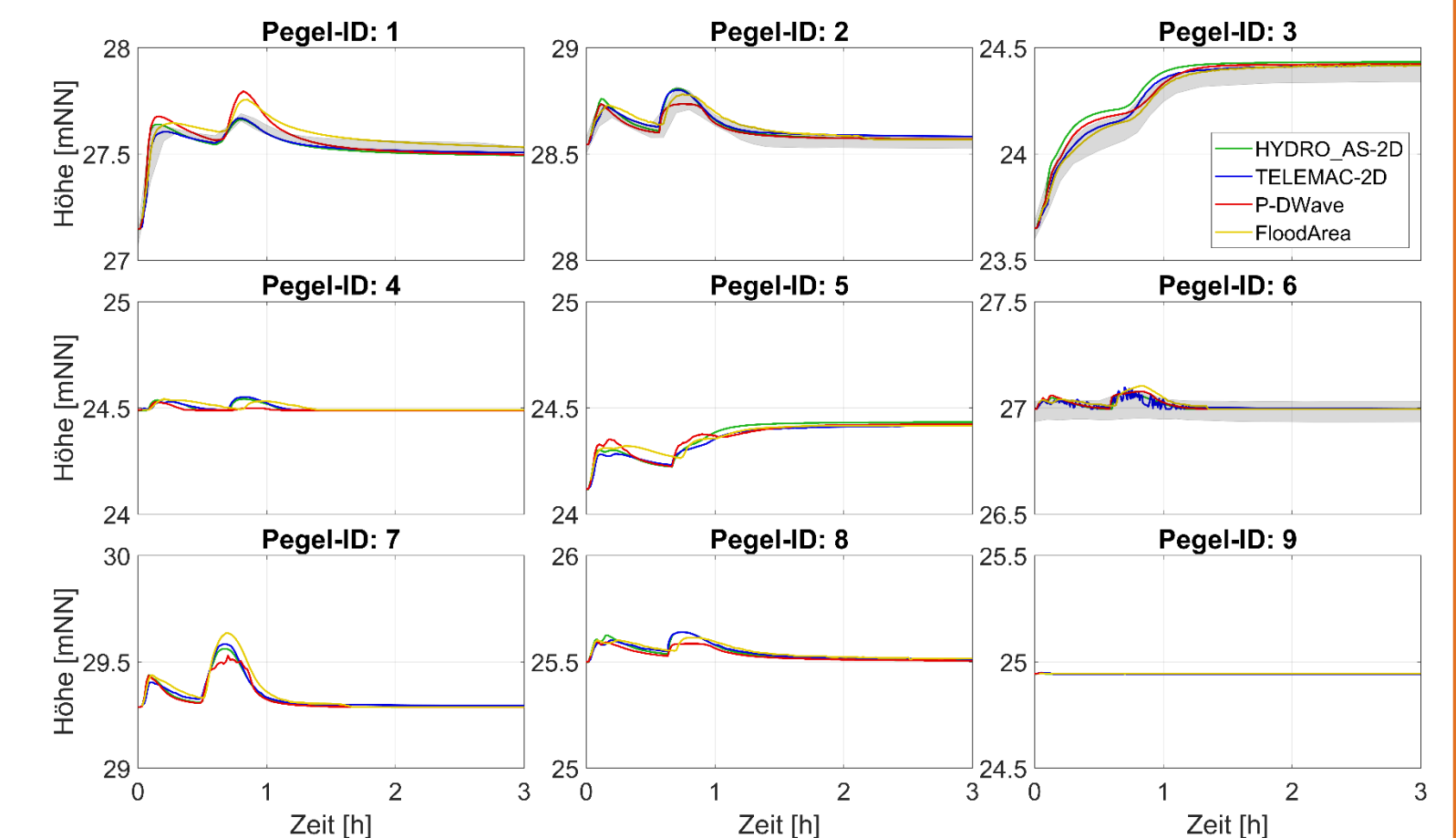


Abb. 8: Wasserstand des BMT-5 an neun Pegel. Die grauen Bänder stellen die Modellergebnisse aus [7] dar.

Diskussion

- HYDRO_AS-2D / P-DWave erzielen im Vergleich mit den Modellergebnissen aus [7] die geringsten Abweichungen (P-DWave weist leichte Differenzen bei BMT-5 auf).
 - TELEMAC-2D erreicht ähnliche Lösungen wie HYDRO_AS-2D, hat aber Probleme mit Oszillationen.
 - FloodArea weist Differenzen bei BMT-1 auf und breitet sich generell langsamer aus (siehe BMT-2+3).
- Abschließende Beurteilung lässt sich erst nach Simulation von realen Gebieten bilden.

Ausblick

- Simulation zweier **realer Sturzflutereignisse** in Simbach a. Inn (31. Mai/1. Juni 2016) und Baiersdorf (21./22. Juli 2007) (siehe Abb. 9).
- Erstellung eines **Leitfadens** zur Sturzflutmodellierung mit den gewonnenen Erfahrungen aus der hydrodynamischen Modellierung.
- Kopplung** von hydrologischen (für das EZG), hydrodynamischen (für das Stadtgebiet) und Kanalnetzmodellen (PCSWMM) zur optimalen Beschreibung der Sturzflutgefährdung.

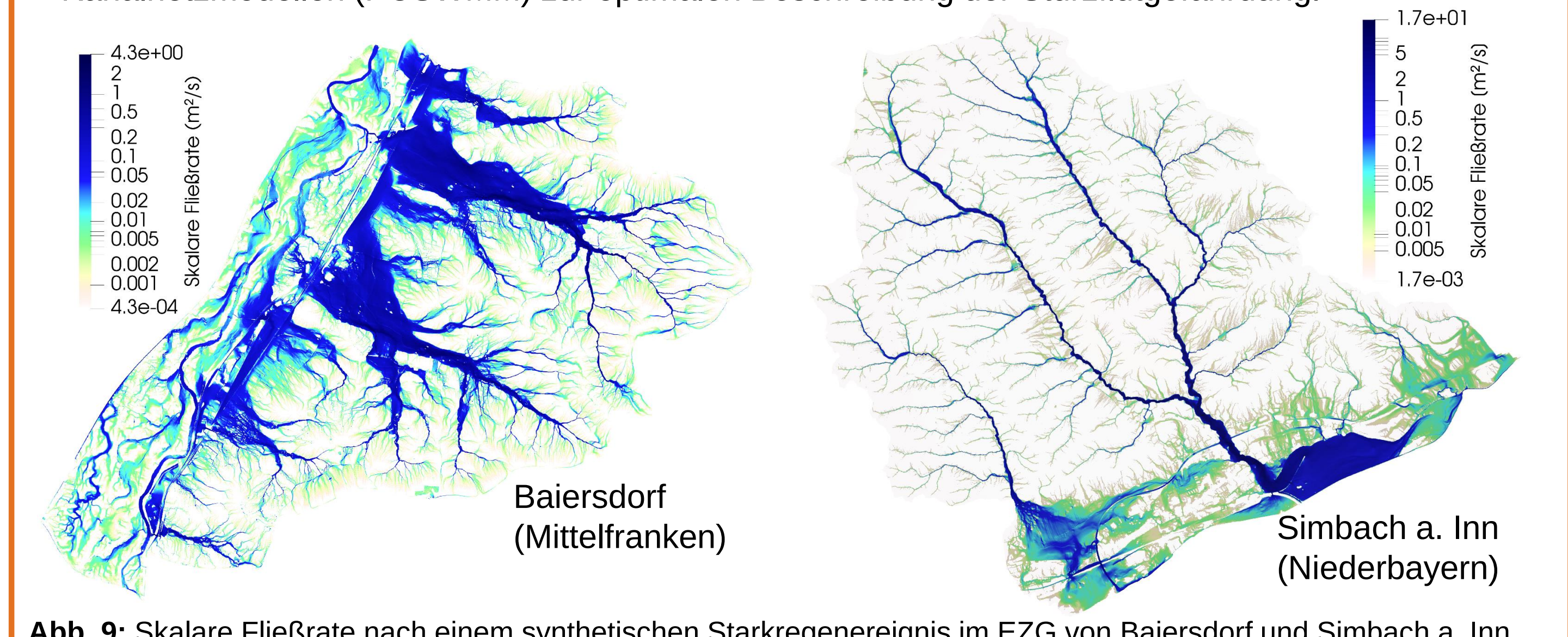


Abb. 9: Skalare Fließrate nach einem synthetischen Starkregenereignis im EZG von Baiersdorf und Simbach a. Inn.

Literatur

- [1] Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.: Naturgefahrenreport 2017 - Die Schaden-Chronik der deutschen Versicherer in Zahlen, Stimmen und Ereignissen, September 2017, Berlin
- [2] Nuijé M., Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH (Hrsg.) (2016): HYDRO_AS-2D - 2D-Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis. Benutzerhandbuch, Version 4.2.1, September 2016, Rosenheim
- [3] Ata R. (2017): TELEMAC2d User Manual, Version 7.2, April 2017, Paris
- [4] geomer gmbH (Hrsg.) (2017): FloodAreaHPC-Desktop - ArcGIS Erweiterung zur Berechnung von Überschwemmungsbereichen, Anwenderhandbuch, Version 10.3, Januar 2017, Heidelberg
- [5] Leandro J., Chen A.S., Schumann A. (2014): A 2D parallel diffusive wave model for floodplain inundation with variable time step (P-DWave), Journal of Hydrology, Volume 517, 19 September 2014, Pages 250-259, ISSN 0022-1694, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.020
- [6] Hunter, N. M., Horritt, M. S., Bates, P. D., Wilson, M. D., & Werner, M. G. F. (2005): An adaptive time step solution for raster-based storage cell modelling of floodplain inundation. Advances in Water Resources, 28 (9), 975 - 991. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.03.007
- [7] Néelz S. & Pender G. (2013): Benchmarking the latest generation of 2D hydraulic modelling packages, Report - SC120002. Environment Agency, Horison House, Deane Road, Bristol, BS1 9AH



Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement (Prof. Dr. Markus Disse)

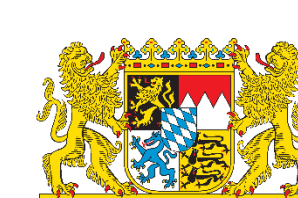
Thomas Pflugbeil, M.Sc.
Technische Universität München
Arcisstraße 21, 80333 München
thomas.pflugbeil@tum.de

Projekt:



Gefördert von:

Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz



Projekträger:

Bayerisches Landesamt für
Umwelt

