

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Daniel Bachmann

Zweitprüfer: Dipl. Ing. Roman Schotten

Eingereicht von: Maximilian Behrens

Bearbeitungszeitraum: 24. Mai bis 11. Oktober 2021

# Masterarbeit



## Thema: Modellierung von Hochwasserschäden an der Saale als Grundlage einer einzugsgebietsbasierten Hochwasserrisikoanalyse

### Einleitung

Das Hochwasser von 2013 führte an der Saale zu mehreren Pegelrekorden. Im gesamten Gebiet der Saale kam es zu weitflächigen Überflutungen. Eine Konsequenz des Hochwassers 2013 waren hohe ökonomischen Schäden im Gebiet der Saale. Vorrangig verantwortlich für die Schäden waren Überflutungen und Ausuferungen in bebauten Gebieten.

Gemäß der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EU,2007) soll die Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen risikobasiert und einzugsgebietsbasiert erfolgen. Dafür sind hydrologische Analysen, hydrodynamische Analysen, Zuverlässigkeitsanalysen von Bauwerken an der Hochwasserschutzlinie, sowie Analysen der Konsequenzen notwendig.

In der Arbeit war das Ziel die Erstellung eines hydrodynamischen Modells und eines Schadensmodells von der Saale im Bereich Thüringen erstellt. Es soll das vorhandene hydrodynamische Modell der Saale im Bereich Sachsen-Anhalt erweitert werden. In der Arbeit sollte weiterhin erörtert werden, ob die Erstellung einer Hochwasserschadensanalyse nur auf Grundlage von frei verfügbaren Daten möglich ist.

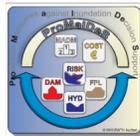
Die Ermittlung der Modellgüte erfolgte durch die Berechnung des Hochwassers von 2013. Anschließend wurden die berechneten Ergebnisse mit real gemessenen Daten verglichen.

### Datengrundlagen:

- Ausschließlich frei zugängliche Daten
- Digitales Geländemodell (DGM) von Thüringen (Auflösung 1x1 m)
- Landnutzungsraster CORINE-Land Cover von Europa (Auflösung 25 ha)
- Raster der Bevölkerungsdichte von Deutschland von WorldPop (Auflösung 1x1 km)
- Pegelstände des DGJs für das Hochwasser 2013
- Hochwassergefahrenkarten für ein HQ100 und HQ200
- Schadensfunktionen
- Vulnerabilitätsfunktionen und -klassen nach JONKMANN (2007)

### Genutzte Programme:

- Entscheidungsunterstützungssystem ProMalDes für Modellberechnung
- QGIS zur Darstellung der räumlichen Daten und für die Auswertung
- Paraview und Excel für die Auswertung



Überblick über die Saale in Thüringen (Bildquelle: Blaues Band)

### Überblick des Modellgebiets:

- Betrachtung der Saale in Thüringen
- Beginn Saalekaskade, Ende Großheringen
- 105 km Fließstrecke im Betrachtungsraum
- Entspringt im Fichtelgebirge, zweitgrößter Nebenfluss der Elbe
- Entwässerung Thüringer Wald und Thüringer Becken
- 18 Wehre

### Aufbau hydrodynamisches Modell:

#### 1D-Modell:

- Berechnung nur von einer Komponente, nur in Hauptfließrichtung (Strömung als parallele Fäden angenommen)
- Berechnung von Flüssen
- Abbildung Saale über 991 Querprofile, einbezogen 14 Wehrprofile
- Erstellung der Querprofile in QGIS (Geodätische Höhen der Profilpunkte aus dem DGM1)
- Nebenarme in Saalfeld, Kahla und Porstendorf dem Modell beifügt
- Jedes Querprofil in drei Abschnitte unterteilt (Hauptgerinne, linkes bzw. rechtes Vorland), über Codes werden den Profilpunkten Rauigkeiten zugeordnet

#### 2D-Modell:

- Erstellung 17 Raster, Auflösung 50x50 m
- Berechnung der Abflüsse in der Fläche, Berechnung von zwei Komponenten (x- und y-Komponente)
- Berechnung von Überflutungsflächen im Hinterland
- Zuordnung geodätische Höhen der Rasterpunkte aus dem DGM1, Rauigkeiten an Hand von Landnutzung festgelegt, Zuordnung der Landnutzung über CORINE Landcover

#### Anfangsbedingungen:

- 0,5 m Wasserstand Beginn der Modellierung

#### Randbedingungen:

- Pegel Kaulsdorf als obere Randbedingung
- 5 Nebenflüsse (Loquitz, Schwarza, Orla, Roda, Ilm)
- 3 Randbedingungen angenommen zur Gewährleistung des Durchflusses

### Modellkalibrierung:

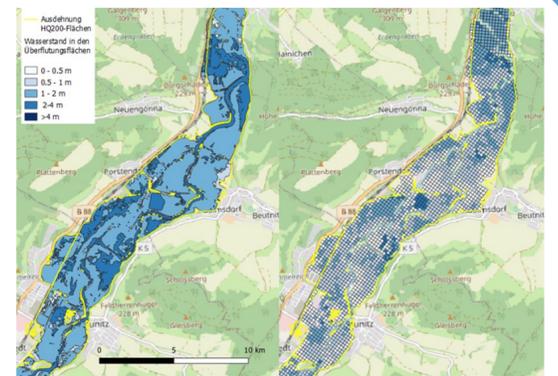
- Anpassung des Wasserstandes an die Realität für die Pegel erfolgt über die Einstellung der Rauigkeiten
- Zunächst Einstellung der Rauigkeiten des Hauptgerinnes mit geringen Durchflüssen, im Anschluss Einstellung der Rauigkeiten der Vorländer mit den Scheitelabflüssen von 2013

Pegel	kst-Werte [m <sup>3</sup> /s]		
	Vorland links	Hauptgerinne	Vorland rechts
Kaulsdorf	14	18	14
Rudolstadt	14	38	14
Camburg-Stöben	10	29	10

Ergebnisse der Kalibrierung

### Berechnungen:

- Dauer Berechnung 2 Stunden und 18 Minuten (Dauer abhängig von verwendetem Rechner)
- Modellierungszeitraum 24. Mai bis 23. Juni 2013
- Zeitschritte 720, Zeitschrittdauer 3600 Sekunden
- Insgesamt 30 Tagen modelliert
- Berechnungen auf Grundlage der Abfluss- und Wasserstandswerte des Hochwassers von 2013 aus dem DGJ



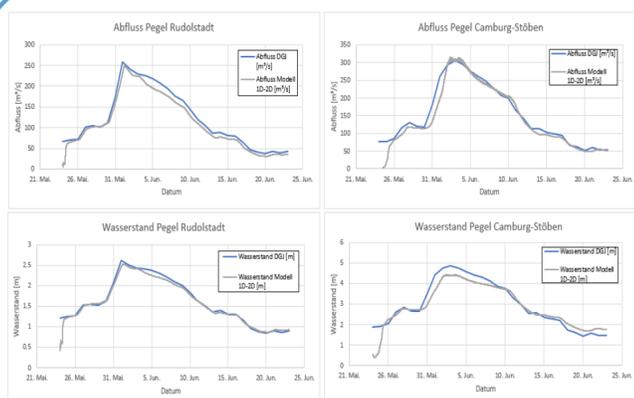
Vergleich der Überflutungsflächen der HQ100-Hochwassergefahrenkarten (links) und errechneten Überflutungsflächen im Modell (rechts) im Gebiet Porstendorf nördlich von Jena (Hintergrundkarte: OSM)

### Auswertung hydrodynamisches Modell:

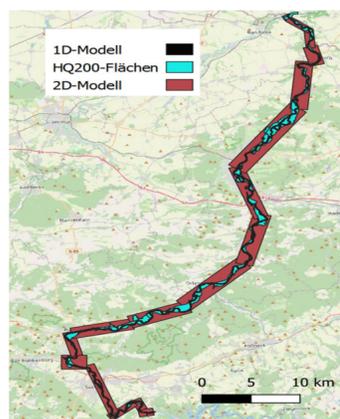
- Gute Abbildung der Wasserstände und Abflüsse im Modell
- 2D-Flächen im Vergleich mit HQ100-Flächen größtenteils gut getroffen
- Überflutungsflächen deutlich begrenzt durch Geländeformen im Untersuchungsgebiet
- Steigende Abweichungen von Werten des DGJ (Wasserstand und Abfluss) mit zunehmenden Abstand zum oberen Rand des Modells
- Kalibrierung erfolgte für Sommerhochwasser, neue Kalibrierung für Winterhochwässer, da Rauigkeit durch unterschiedlichen Bewuchs abweicht
- Grundlegend Erstellung einer Hochwasserschadensanalyse nur mit frei zugänglichen Daten möglich
- Kopplung mit vorhandenen Modellen (z.B. Elbe, Saale in Thüringen usw.) möglich
- Aktualisierung Eingangsdaten (Raster der Bevölkerungsdichte, Landnutzung, DGM1)

### Auswertung Analyse der Konsequenzen:

- Gesamtschadenssumme direkte, tangible, ökonomische Konsequenzen beträgt 139,1 Mio. Euro
- Größte Schäden an immobilien Vermögenswerten (87,2 Mio. Euro), z.B. Häuser und unbewegliche Strukturen
- Hauptanteil der Schadenssumme entfällt auf Landnutzungskategorie Wohnbebauung (93,7 Mio. Euro) und Industrie (36,7 Mio. Euro)
- Schadenssumme im Vergleich mit offiziellen Zahlen (Gesamtschaden in Thüringen 453 Mio. Euro) in einem guten Rahmen
- Im Modell 16556 Menschen betroffen, sowie 65 Personen gefährdet
- Größte Schäden bezogen auf direkte ökonomische Schäden und betroffene bzw. gefährdete Personen im Großraum Jena



Abfluss- (oben, [m<sup>3</sup>/s]) und Wasserstandskurven (unten, [m]) für die Pegel Rudolstadt und Camburg-Stöben zum Zeitpunkt des Hochwassers 2013 (blau: gemessen; grau: berechnet)



Gekoppeltes 1D-2D-Modell der Saale in Thüringen

Pegel	Hochwasserscheitel					
	Zeit	Durchfluss [m <sup>3</sup> /s]	Wasserstand [m]	Zeit	Durchfluss [m <sup>3</sup> /s]	Wasserstand [m]
Kaulsdorf	05.06.2013 00:05	148	2,73	06.06.2013	149	2,65
Rudolstadt	01.06.2013 06:13	249	2,53	01.06.2013	258	2,62
Camburg-Stöben	02.06.2013 09:06	315	4,42	03.06.2013	306	4,85

Vergleich der Werte (Wasserstand, Durchfluss und Zeitpunkt) des Hochwasserscheitels des gekoppelten 1D-2D-Modells und des Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuchs

### Analyse der Konsequenzen:

- Berechnung der direkten, tangiblen, ökonomischen Konsequenzen (weitere Unterteilung in Schäden an mobilen und immobilien Vermögenswerten)
- Ermittlung der direkten, intangiblen, physischen Konsequenzen (Unterteilung in betroffene und gefährdete Personen)
- Wichtige Eingangsdaten Ergebnisse der hydrodynamischen Analyse, Verschneidung berechneter Überflutungsflächen mit Flächen des Schadensmodells