

Gefährdungsanalyse
Starkregenrisikomanagement
Gemeinde Teningen



Erstellt von:
geomer GmbH
Im Breitspiel 11b
69126 Heidelberg
www.geomer.de

Erstellt für:
Gemeinde Teningen
Bahlinger Straße 30
79331 Teningen
www.teningen.de



INHALT

1	Einführung	4
2	Gebietsbeschreibung.....	5
3	Datengrundlage	6
4	Eingesetzte hydraulische Modellsoftware.....	7
4.1.	Modellsoftware mit Version	7
4.2.	Rauheitsansatz.....	8
5	Modellaufbau	9
5.1.	Vorgenommene Modifikationen am Geländemodell.....	9
5.2.	Verklausungsansätze an Brücken, Verrohrungen und Verdolungen	11
5.3.	Berücksichtigung der Ortsentwässerung.....	13
5.4.	Modifikation an den OAK.....	13
5.5.	Berücksichtigung von Dachflächen	13
5.6.	Berücksichtigung von Gewässern	14
5.7.	Aufteilung des Gebiets.....	14
6	Rechenläufe	16
7	Rechenergebnisse der Gefährdungsanalyse und Kartendarstellungen	17
7.1.	Überflutungsausdehnungskarten	18
7.2.	Überflutungstiefenkarten	19
7.3.	Fließgeschwindigkeiten und -richtungen.....	20
7.4.	Überflutungsausdehnungsanimationen	22
7.5.	Volumenbilanz	23
7.6.	Kontrollquerschnitte.....	23
8	Quellenverzeichnis	24



ABBILDUNGEN

Abb. 1: Schematische Darstellung des Vorgehens im Starkregenrisikomanagement	5
Abb. 2: Übersicht über das Bearbeitungsgebiet und das Gebiet der Gemeinde Teningen	5
Abb. 3: Kartenausschnitt zur verwendeten Rauheit in der Projektregion Teningen	9
Abb. 4: Aufnahme einer Brücke über dem Mühlbach.	10
Abb. 5: Aufnahme einer Mauer am Friedhof in Teningen.	10
Abb. 6: Integration des Hochwasserrückhaltebeckens Seegraben in das Modell.	11
Abb. 7: Ein Beispiel für die Integration von Verdolungsstrecken.....	12
Abb. 8: Kanalüberstaupunkte werden als Punkteinspeisung direkt ins Modell integriert	13
Abb. 9: Integration der Gebäude als 3D-Strukturen	13
Abb. 10: Kleine Bäche mussten im Geländemodell nachgearbeitet werden.....	14
Abb. 11: Teileinzugsgebiete von AWGN-Gewässern im Projektgebiet.....	15
Abb. 12: Ablaufschema zur Erstellung der Starkregengefahrenkarten.....	16
Abb. 13: Starkregenkarten für die Gemeinde Teningen (pdf und Druckversion)	17
Abb. 14: Maximale Überflutungsausdehnung der Abflussereignisse	18
Abb. 15: Maximale Überflutungstiefenkarte mit maximaler Ausdehnung.....	20
Abb. 16: Maximale Fließgeschwindigkeitskarte mit maximaler Ausdehnun	21
Abb. 17: links: Musterlegende aus dem Leitfaden, rechts: Umsetzung in den Karten.....	22
Abb. 18: Ausschnitt aus der Überflutungsausdehnungsanimation mit Überflutungstiefen.....	23
Abb. 19: Gewässerlauf des Seegrabens südlich von Heimbach	24



1 Einführung

Unter Starkregenabfluss wird das insbesondere bei kurzen sommerlichen Starkregen abfließende Wasser verstanden. Aufgrund der hohen Niederschlagsintensitäten nutzt das Wasser dabei Wege, Straßen und Geländeeinschnitte als oberirdische Abflusswege und lässt sog. Sturzfluten entstehen. Die Gefährdung bzw. das Risiko ist vor allem durch über Öffnungen in Gebäude eindringendes Wasser und dadurch verursachte direkte oder indirekte Beeinträchtigung der Bausubstanz und der Einrichtungsgegenstände gegeben. Die Sturzfluten transportieren außerdem Treibgut (z.B. Holz, Boden, Geröll), das sich u.a. an Verdolungseinläufen, Verrohrungen oder Brücken ansammelt und so einen Rückstau entstehen lässt. Dadurch kommt es wiederum zur Überflutung des umliegenden Geländes, die schwere Schäden an Gebäuden und Infrastruktur verursachen kann.

Neben der durch Bodeneigenschaften, Relief und Nutzung beeinflussten Abflussmenge ist vor allem die natürliche oder durch Bauwerke (Verkehrswege, Mauern etc.) bewirkte Konzentration des Oberflächenabflusses sowie evtl. Rückstauphänomene für die Schadenswirkung verantwortlich. Besonders kritisch ist der Übergangsbereich von den Außenbereichen zu den eigentlichen Ortslagen. Im Rahmen des Klimawandels wird erwartet, dass die Extremsituationen und somit auch die Starkregenereignisse zunehmen. Besonders auch die Kombination von Trockenphasen mit anschließenden konvektiven Niederschlägen erzeugen extreme Abflüsse.

Aufgrund der geringen Vorwarnzeiten und Ausdehnung von Starkregenereignissen sowie das geringe Risikobewusstsein der Kommunen und Bevölkerung ist die Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen erschwert. Aber viele lokale Starkregenereignisse in den letzten Jahren (z. B. Kiltal 2008, Glemsgebiet 2010, Bretten und Bonndorf 2015, Biberach oder Braunsbach 2016) haben bewusst gemacht, dass es auch abseits von fließenden Gewässern zu Überflutungen mit enormen Schäden kommen kann. Daher wird in Baden-Württemberg laut den Förderrichtlinien Wasserwirtschaft (FrWw 2015) „die Erstellung von kommunalen Starkregengefahrenkarten mit nachfolgender Risikoanalyse und darauf aufbauendem Handlungskonzept sowie die daraus eventuell resultierenden baulichen Maßnahmen zur Ableitung oder Rückhaltung von Oberflächenabfluss aus den Außengebieten“ (LUBW 2016, S. 8) gefördert, sofern sich das Verfahren an den „Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg“ hält.

Der Leitfaden gibt ein standardisiertes und landesweit einheitliches Vorgehen zur Durchführung von Gefährdungs- und Risikoanalysen bezüglich starkregenbedingter Überflutungen vor. Das Starkregenrisikomanagement sieht dabei folgende Schritte vor:

- Vorbereitung
- Überflutungsanalyse (Phase 1)
- Risikoanalyse (Phase 2)
- Handlungskonzept (Phase 3)

Das hier durchgeführte Verfahren und die Ergebnisse für die Gemeinde Teningen entsprechen den im Leitfaden „Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg“ formulierten Anforderungen. Gemäß Beauftragung werden alle drei Phasen des Starkregenrisikomanagementprozesses durchgeführt (Abb. 1). In dem vorliegenden Bericht wird die Phase 1, die Überflutungsanalyse, dokumentiert.



Abb. 1: Schematische Darstellung des Vorgehens im Starkregenrisikomanagement (nach LUBW 2016, S. 10)

2 Gebietsbeschreibung

Die Ausdehnung des Bearbeitungsgebietes umfasst alle Teileinzugsgebiete, die in eine der Ortslagen der Gemeinde Teningen entwässern. Da für die Modellierung zusammenhängende Teileinzugsgebiete vorliegen müssen, wurde das Bearbeitungsgebiet teilweise um außerhalb der Kommunalfäche liegende Einzugsgebietsanteile erweitert. Die Basis hierfür waren die Einzugsgebiete der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW). Die modellierte Gebietsgröße liegt bei ca. 61 km² (grüne Linie in Abb. 2).

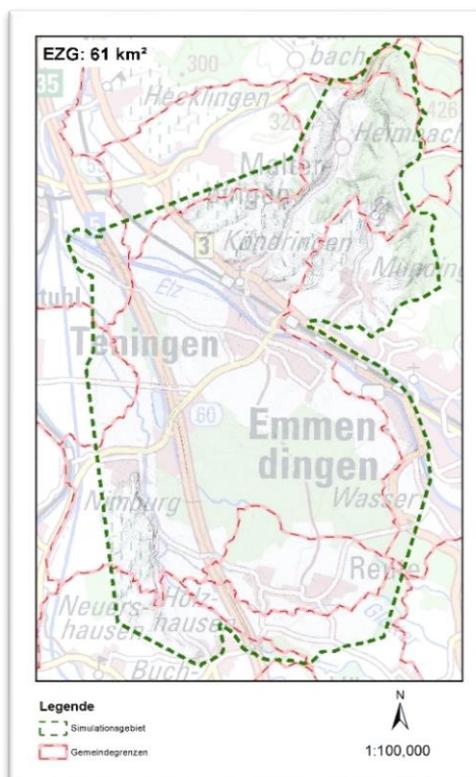


Abb. 2: Übersicht über das Bearbeitungsgebiet und das Gebiet der Gemeinde Teningen

Die Modellierungen werden in einer Simulation für eine Niederschlagsdauer von einer Stunde und zwei Stunden Nachlauf durchgeführt. Die hydrologischen Eingangsdaten haben dabei eine Auflösung von fünf Minuten Zeitschritten, Zwischenergebnisse der FloodArea^{HPC}-Modellierung werden jede Minute abgespeichert. Die Anforderungen des Leitfadens mit einer Auflösung von fünf Minuten und einer Stunde Nachlauf werden damit deutlich übertroffen. Hiermit werden Starkregengefahrenkarten für drei Abflussereignisse „selten“ (Kürzel: SEL_V), „außergewöhnlich“ (Kürzel: AUS_V) und „extrem“ (Kürzel: EXT_V) erzeugt. Für alle drei Szenarien wird ein verschlammter Boden angenommen (Kürzel_V).



Das Gesamtgebiet wird flächig berechnet. Das Wasser wird bei Erreichen der Hochwassergefahrenkarten (HWGK)-Gewässer aus dem Modell entnommen. Die HWGK-Gewässerabschnitte werden als unbegrenzt leistungsfähig simuliert, indem sie eingetieft werden. Im Arbeitsprozess wird überprüft, dass die Teileinzugsgebiete, bevor das Wasser im Simulationslauf an den HWGK-Gewässern entnommen wird, nicht den vorgegebenen Schwellenwert von 5 km² Gebietsgröße überschreiten. Bei größeren Teileinzugsgebieten erfolgt eine Prüfung, ob sich in solchen Teileinzugsgebieten eine Wellenüberlagerung ergibt (siehe Kapitel 5.6). Wenn hier mehrere sich auch nur gering überlagernde Teilwellen erkennbar sind, zeigt dies eine weitgehende modelltechnische Entkopplung der Sub-Teileinzugsgebiete an und eine weitere Unterteilung würde keine Veränderung der Überflutungsflächen ergeben. Bei einer deutlichen Überlagerung würde eine Unterteilung in getrennte Rechenläufe erfolgen.

Durch die Methodik an den HWGK-Gewässern vermeidet man zusätzlich, dass sich HWGK und Starkregenkarten inhaltlich überlagern. Das heißt, bei den Starkregenkarten werden für die HWGK-Gewässer keine vom Gewässer ausgehende Überflutungen dargestellt.

Die Beauftragung erfolgte am 14.12.2018. Der Termin zur Validierung der Starkregengefahrenkarten fand am 02.05.2019 statt. Der Workshop zur Risikoanalyse, Phase 2 des Starkregenrisikomanagements wurde am 23.09.2019 durchgeführt.

3 Datengrundlage

Nach dem Starkregen-Leitfaden wird eine projekteinheitliche Datenstruktur vorgeschrieben. Als Grundlage für die hydraulische Berechnung dienen:

- die landesweiten Laserscan-Daten des Bodenmodells in 0,25-m-Auflösung (HydTERRAIN, Stand 2018),
- die Oberflächenabflusskennwerte (OAK) der LUBW (Auflösung 5 x 5 Meter)
- Landnutzung und Gebäudebestand wird dem Liegenschaftskataster (ALKIS) entnommen.

Das HydTERRAIN wurde von landesweiten Laserscan-Daten entwickelt, die seit 2016 mit einer Punktdichte von > 8 Punkte/m² aufgenommen werden. Somit ist eine hohe Aktualität und Genauigkeit der Daten gewährleistet. Aus dem HydTERRAIN wurde ein DGM mit 1-m-Auflösung für die Simulation aggregiert.

Als Hilfsdatensätze z.B. zu Präsentationszwecken und zur Vorbereitung von Ortsbegehungen dienen:

- Amtliches Digitales Wasserwirtschaftliches Gewässernetz (AWGN), modifiziert anhand Orthofotos und anderen Quellen zur möglichst realgetreuen Abbildung,
- Topografische Karten 1:25.000 (TK25) und 1:10.000 (TK10) für alle Gemeinden
- Orthofotos von Teilgebieten

Die Eingangsdaten müssen zunächst auf Konsistenz (z.B. gleiche Indizierung für gleiche Inhalte) und Homogenität (Vollständigkeit, passen insbesondere bei den Bodendaten die einzelnen Datensätze an den Rändern aneinander) überprüft werden. Danach sind alle Daten einer Qualitätskontrolle zu unterziehen, vor allem hinsichtlich der Fragestellung auf Plausibilität geprüft und müssen zudem einer visuellen Kontrolle unterzogen werden. Stichprobenartig wird z.B. die Erfassung von Kleinstrukturen geprüft, hierzu sind Luftbilder und Karten wichtige Grundlagen.



4 Eingesetzte hydraulische Modellsoftware

Nach dem Leitfaden „Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg“ wird das Verfahren der zweidimensionalen, instationären, hydraulischen Berechnung mit definiertem Oberflächenabflusswerten für die Gefährdungsanalyse vorgegeben. Die Modelle, in der Regel 2D-HN-Modelle, können ein Gerinnesystem und abflussrelevante Strukturen erfassen und darstellen. Die zeitliche Entwicklung von Fließgeschwindigkeit und Überflutungstiefe sowie die Wirkung baulicher Vorsorgemaßnahmen können mit den 2D-NH-Modellen simuliert werden. Der Vorteil dieses Vorgehens ist eine detaillierte Darstellung der Strömungsverhältnisse, der Geschwindigkeiten, der Wasserspiegellagen und der Überflutungstiefe.

4.1. Modellsoftware mit Version

Für die hydraulische Berechnung kommt das Modell FloodArea^{HPC} (Version 10.3, Modellhandbuch unter www.floodarea.de), das seit 1999 durch geomer entwickelt und vertrieben wird, zum Einsatz. Neben verschiedenen Hochwassergefahrenkartenprojekten, großen Atlasprojekten (z.B. Rheinatlas, Oderatlas, Elbeatlas) und operationeller Deichbruchmodellierung wird das Modell seit 15 Jahren im Bereich Starkregen und dezentraler Hochwasserschutz eingesetzt. Das in Baden-Württemberg als Pilot geltende Projekt an der Glems wurde ebenfalls mit FloodArea^{HPC} gerechnet. Auch verschiedene Kunden setzen FloodArea^{HPC} für die Modellierung von Starkregen-Gefahrenkarten ein (z.B. geo7 für die gesamte Schweiz) oder die China Meteorological Association für operative Starkregen-Modellierung.

Durch die Verwendung der für Parallelprozessierung ausgelegten Version FloodArea^{HPC} (HPC = (High Performance Computing)) ist es möglich, sehr hohe Datenmengen in einem Hydraulik-Modell zu verarbeiten. Zur Berechnung wird das Gesamtgebiet automatisch gekachelt, der Fließübergang zwischen den einzelnen Kacheln erfolgt vollautomatisch. Die Besonderheit ist, dass hier die komplexe Hydrodynamik des Oberflächenabflusses abgebildet wird, also flächiger Abfluss sowie Rückstaueffekte etc. miterfasst werden. Dies erhöht zwar den Rechenaufwand, ermöglicht aber erst eine Ausweisung der gefährdeten Bereiche.

Die Gebietsgröße und die Auflösung sind von der Modellseite nicht limitiert, mit den aktuell bei geomer verfügbaren Rechnern sind Gebietsgrößen mit bis zu 2 Mrd. Rasterzellen in einer Simulation bearbeitbar.

FloodArea^{HPC} basiert auf einem modifizierten Manning-Strickler-Verfahren in einer virtuellen 16-Nachbar-Umgebung. Trägheits- bzw. Beschleunigungseffekte werden durch eine Mitführung der Geschwindigkeitsvektoren über die Iterationsschritte abgebildet. Die Vereinfachung basiert auf einer Gleichsetzung von Energiespiegellinie mit der Wasserspiegellinie, die Kompressibilität und Temperatureinflüsse werden folglich nicht abgebildet.

Das Pre- und Postprocessing wird unter ArcGIS durchgeführt. Viele dieser Arbeitsschritte liegen bereits automatisiert und erprobt vor, dies gilt insbesondere auch für die eigentliche Steuerung des Modellierungsprozesses mit den Spezifika der durch die LUBW bereitgestellten Abflussmengen (gemäß Anhang 3 des Leitfadens siehe Kap. 88). Diese Automatisierung reduziert deutlich den Arbeitsaufwand und minimiert insbesondere Fehler bei der Abarbeitung. Alle Eingangs- und Ausgangsdaten werden im ESRI-GeoTiff Format erzeugt.

Da FloodArea^{HPC} eine Eigenentwicklung der geomer GmbH ist, steht das Modell immer in der aktuellsten Version und einer unbegrenzten Anzahl von Lizenzen in der höchsten Leistungsfähigkeit zur Verfügung, d.h. alle verfügbaren Rechenkerne können voll genutzt werden.



4.2. Rauheitsansatz

Die Rauheitswerte als ein linear in die Modellberechnung einwirkender Parameter können bei FloodArea^{HPC} entsprechend den für das HEC-RAS Modell verfügbaren Tabellenwerken angesetzt werden. Die verwendeten Rauheiten in ihrer flächigen Anwendung sind in den Modell-Abgabedaten (Modell-Eingangsdaten) enthalten (in ESRI-GeoTiff Format mit 1m-Auflösung). In folgender Tabelle sind die zusammengefassten Rauheiten (k_{st} -Werte) auf Basis der übergebenen Landnutzungsdaten zusammengestellt (Tab. 1).

Tab. 1: Zusammenfassung der verwendeten Rauheiten für das Simulationsmodell

Nutzung	Fläche (km ²)	Rauheit k_{st} [m ^{1/3} /s]
Bahnverkehr	0.2	10
Fläche besonderer funktionaler Prägung	0.2	35
Fläche gemischter Nutzung	0.3	30
Fließgewässer und stehende Gewässer	1.1	50
Friedhof	0.1	20
Gebäude, Straßenverkehr	4.9	80
Gehölz	0.2	3
Industrie- und Gewerbefläche - Betriebsfläche Entsorgungsanlage	0.01	25
Industrie- und Gewerbefläche- Gebäude- und Freifläche Industrie und Gewerbe	1.2	35
Industrie- und Gewerbefläche - Handel und Dienstleistungen	0.3	30
Landwirtschaft - Ackerland	17.7	25
Landwirtschaft - Gartenland	0.5	15
Landwirtschaft - Grünland	8.2	20
Landwirtschaft - Nadelholz	0.1	10
Landwirtschaft - Weingarten	3.1	20
Platz	0.1	60
Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche - Ge- bäude- und Freifläche Erholung	0.4	35
Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche - Grünan- lage	0.4	30
Tagebau/Grube/Steinbruch	0.0	30
Unland/Vegetationslose Fläche	1.1	40
Wald	17.4	4
Wohnbaufläche	2.1	20

Abb. 3 zeigt einen Kartenausschnitt zur verwendeten Rauheit. Versiegelte Flächen (Straßen, Häuser und Plätze) haben entsprechend ihrer glatten Oberfläche die geringste Rauheit und somit den höchsten k_{st} Wert nach Gauckler-Manning-Strickler. Den größten Flächenanteil im Projektgebiet hat die Landnutzungsklasse Landwirtschaft (Alle Klassen zusammen ca. 50%), gefolgt von Waldflächen (ca. 30 %).

Die Rauheit ist zudem in DIN A1 Karten dargestellt. Die Karten liegen als PDF im Verzeichnis .../Ergebnisse/Karten als PDF 08316043_Uebersicht_Rauheit_Teningen.pdf vor.

Eine tiefenabhängige Rauheit wurde bei der Simulation noch nicht verwendet, da die Simulationen bereits im Mai 2019 abgeschlossen waren und diese Änderung des Vorgehens erst ab Juli 2019 verbindlich wurde.

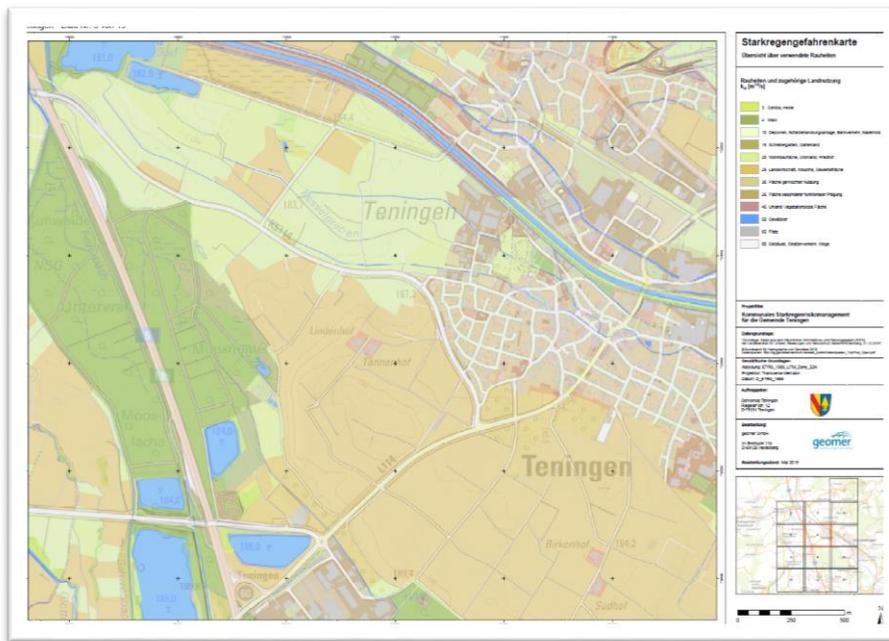


Abb. 3: Kartenausschnitt zur verwendeten Rauheit in der Projektregion Teningen

5 Modellaufbau

5.1. Vorgenommene Modifikationen am Geländemodell

Gerade Kleinstrukturen wie kleine Mulden bestimmen oft die Eintrittswege in die Gebäude, diese dürfen daher keinesfalls im Rahmen einer Netzgenerierung vereinfacht werden. Als Auflösung wird für die Rechenläufe das komplette 1-m-Raster verwendet. In dieser Auflösung werden auch die Gebäude ergänzt.

Vor dem Einsatz des aus dem HydTERRAIN generierten Geländemodell (DGM) zur Simulation bedarf es noch einer Validierung. Für die Datenerfassung werden die Ergebnisse der ersten Vorsimulation und Ortsbegehung ausgewertet, um sicherzustellen, dass in den besonders relevanten Bereichen alle wesentlichen Strukturen erfasst wurden. Einfache Messungen von Mauer- oder Bordsteinhöhen können dabei direkt durchgeführt werden. Besonders werden dabei bereits Bereiche betrachtet, in denen Risikoelemente oder Muldensituationen bekannt sind. Durch georeferenzierte Fotodokumentation lassen sich diese Informationen auch in den weiteren Bearbeitungsphasen gut nutzen (Abb. 4).



Abb. 4: Aufnahme einer Brücke über dem Mühlbach. Diese war im ursprünglichen DGM enthalten und musste für die Simulation herausgenommen werden.

Größere Durchlässe wie Unterführungen werden ins Geländemodell integriert, kleinere, wie Verdolungen, werden mit ihrer Kapazität als lineare Strukturen dem Modell vorgegeben. Dabei werden außerdem den Oberflächenabfluss beeinflussende Bauwerke und Strukturen in das Geländemodell eingearbeitet. Dazu zählen:

- Brücken
- Durchlässe, Unterführungen, Gräben
- Mauern, Dämme und Wälle
- hohe, abflussrelevante Bordsteine

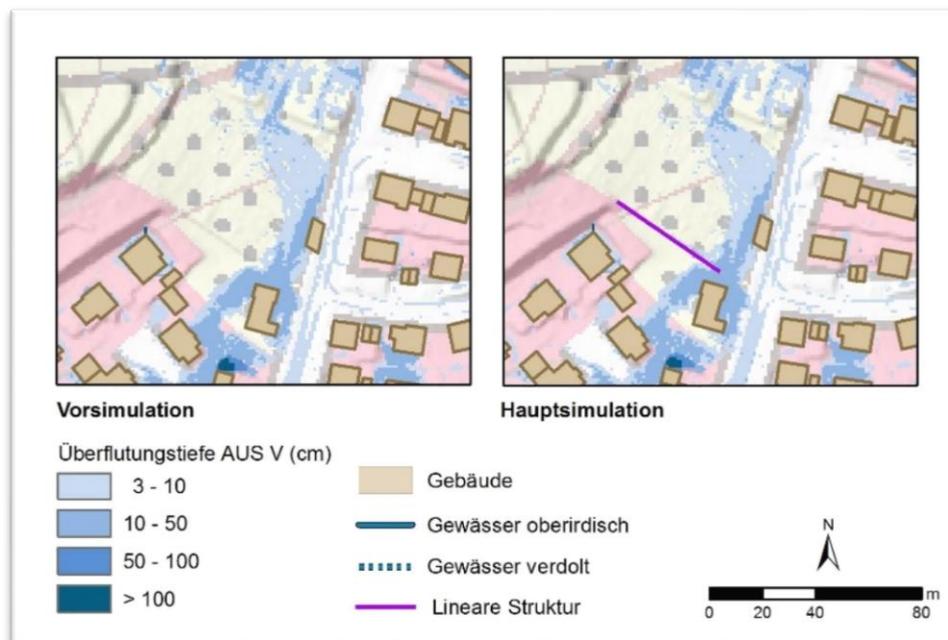


Abb. 5: Aufnahme einer Mauer am Friedhof in Teningen. Die Hauptsimulation im rechten Bild zeigt eine jedoch nur leicht ablenkende Wirkung der Mauer, da sie nicht mit dem Friedhofsgebäude verbunden ist.

Nördlich von Teningen-Köndringen befindet sich das Hochwasserrückhaltebecken „Seebach“ am Seebachgraben, das den Stadtteil vor einem HQ100 Ereignis schützen soll. Im originalen DGM war der Damm durchbrochen, sodass die Schutzwirkung in der Vorsimulation kaum gegeben war. Daher wurde hier die Geländehöhe wieder auf die Höhe der Dammkrone angehoben. Der Durchfluss wurde mittels Pumpverbindungen sichergestellt. Als Betriebsabfluss von wurde eine Durchflusskapazität von $2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ verwendet. Sobald das Einstauziel erreicht und der Überlastfall eingetreten ist, wird der Schieber voll geöffnet und die Überfallschwelle mit $19 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ überflutet, sodass der notwendige Freibord erhalten bleibt. Dieser Fall tritt bei einer Einstauhöhe von +6 m GOK bzw. 197,65 NHN ein. Abb. 6 zeigt die ausreichende Schutzwirkung des Hochwasserrückhaltebeckens im mittleren Ereignis in der Vor- und Hauptsimulation.

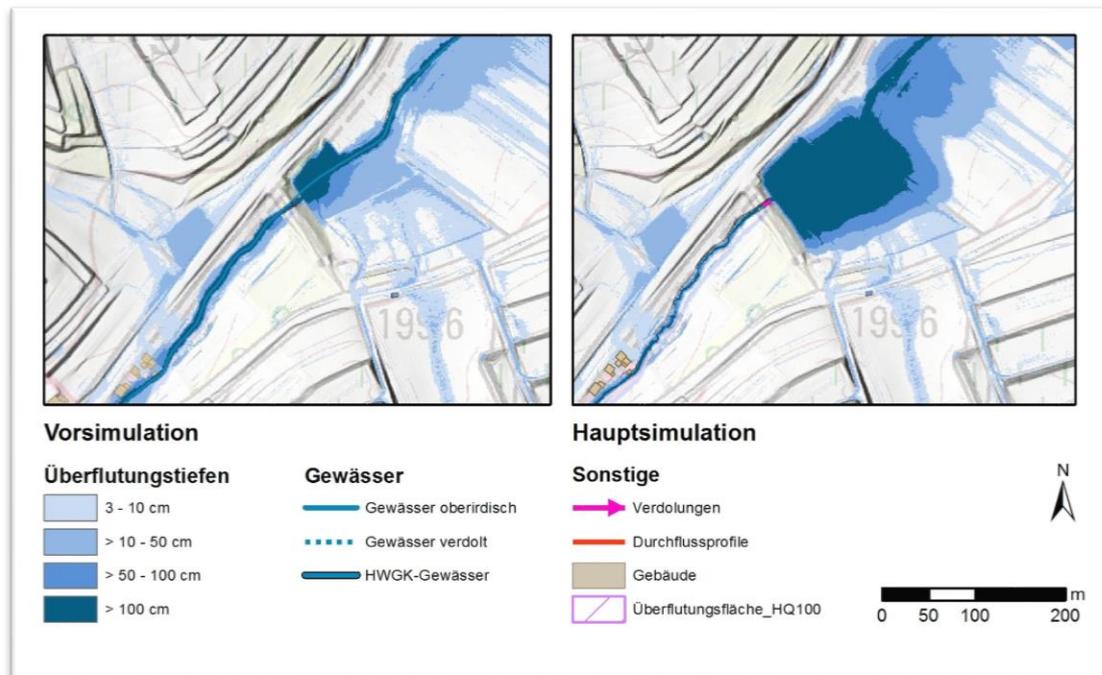


Abb. 6: Integration des Hochwasserrückhaltebeckens Seegraben in das Modell. Die Abbildung zeigt das mittlere Starkregenereignis vor und nach der Implementierung.

Nach einer weiteren Simulation wurde bei einem gemeinsamen Termin am 02.05.2019 noch einmal die Vollständigkeit überprüft und problematische Stellen verifiziert.

Kartenblätter mit allen Durchbrüchen und linearen Strukturen werden als pdf abgegeben und befinden sich unter .../Ergebnisse/Karten als PDF 08316043_Uebersicht_Durchbruch_Verdolungen_Teningen.pdf. Das modifizierte Geländemodell wird als GeoTIFF zusammen mit den anderen Eingangsdaten übergeben und befinden sich unter .../Ergebnisse/Modelldaten/input.

5.2. Verklauungsansätze an Brücken, Verrohrungen und Verdolungen

Für die Durchflusskapazität der Verdolungen wurde ein Gefälle von 3% angenommen. Außerdem wird ab einer Fließgeschwindigkeit von 3 m/s ein Einlaufverlust von 25% abgezogen, um einer Überschätzung der Kapazität vorzubeugen. Wichtige Überleitungen und bzgl. des Starkregenabflusses relevante Kanalbauwerke werden separat erfasst und ins Modell integriert. Bzgl. der Gewässerinfrastruktur ist zu beachten, dass auch in den Außenbereichen die Durchlässe unter Wegen etc. erfasst und ins Modell integriert werden (Abb. 7). Teilweise gibt es hier hinter Straßen deutliche Rückhalteeffekte, andererseits sorgen Durchlässe, die zu klein dimensioniert sind, auch häufig für eine Verlagerung des Fließweges. Daher ist auch in den Außenbereichen die gleiche große Auflösung der Geländedaten von großer Bedeutung.

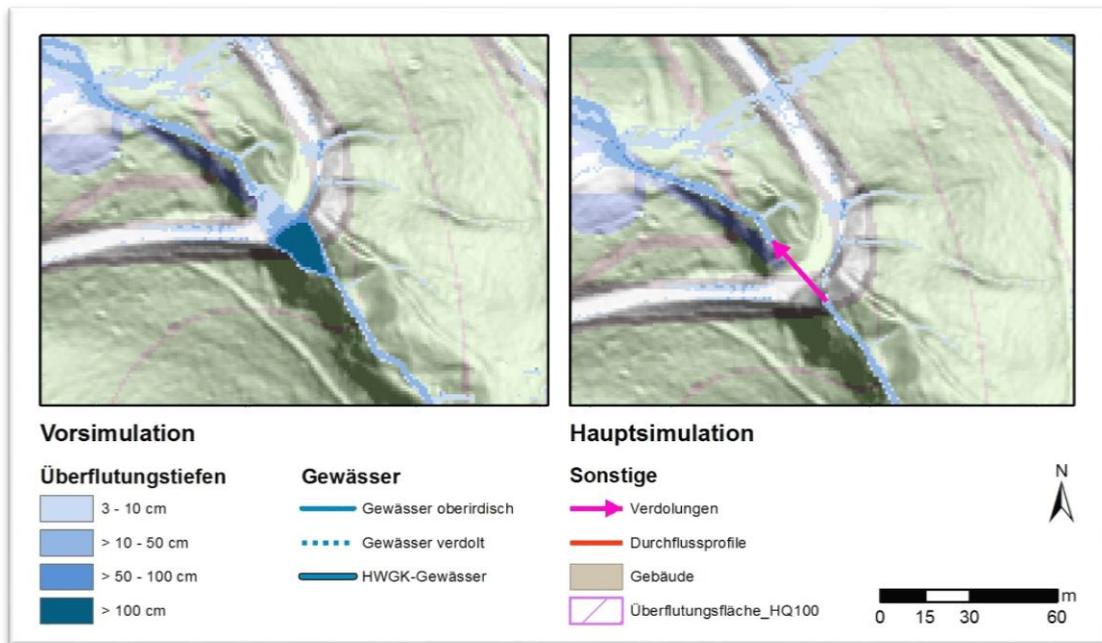


Abb. 7: Ein Beispiel für die Integration von Verdolungsstrecken als lineare Verbindungen unter Berücksichtigung der effektiven Durchflusskapazität am Bandengraben östlich von Heimbach

Bei den außergewöhnlichen und extremen Ereignissen werden die aufgenommenen Verdolungen innerhalb der Ortschaften als verklaut angenommen. Um ein worst-case Szenario für die Ortschaft abzubilden und nicht Pseudo-Rückhalteeffekte hinter den Verdolungen im Simulationslauf zu erzeugen, bleiben die Verdolungen in der Umgebung, d.h. außerhalb der Ortschaften, bei allen Szenarien durchgängig. In Abbildung 7 ist auf der linken Seite ein solcher Rückstauereffekt dargestellt.

Kartenblätter mit allen Verdolungen werden als PDF abgegeben und befinden sich unter .../Ergebnisse/Karten als PDF 08316043_Uebersicht_Durchbruch_Verdolungen_Teningen.pdf. Dabei bedeutet „kein Ziel“, dass hier das Ende der Verdolung nicht ersichtlich war (meistens Einlässe zum nächsten Vorfluter) und hier der Abfluss nur entnommen wurde (gestrichelte Linien). Bei Verdolungen mit bekannter Entwässerung wurde das Wasser an der einen Seite entnommen und an der anderen Seite wieder in das Modell zurückgegeben. Insgesamt wurden 678 Durchlässe in Form von Verdolungen und Durchleitungen unter Brücken aufgenommen. Hiervon waren 609 Durchlässe im außergewöhnlichen und extremen Szenario aktiv und 69 Durchlässe kamen im seltenen Ereignis hinzu.

Die Verdolungen werden als ESRI© Polyline-Feature-Class übergeben. Die entsprechenden Flächen der Durchbrüche und Brücken werden als GeoTIFF übergeben. Beide befinden sich unter.../Ergebnisse/Modelldaten/input



5.3. Berücksichtigung der Ortsentwässerung

Die Abbildung des Kanalnetzes ist ein sehr kontrovers diskutierter Punkt bei der Bearbeitung von Starkregengefahrenkarten. Hier gehen die Meinungen von einer vollständigen Vernachlässigung des Kanalnetzes (da z.B. bei Hagel die Leistungsfähigkeit gegen Null geht, Abb. 9) bis zu einer gekoppelten Berechnung von Oberflächenabfluss und Kanalnetz. Je größer die Ereignisse werden, desto geringer wird der Einfluss des Kanalnetzes. Mögliche Überstauprobeme können miterfasst werden, indem beim seltenen Starkregenereignis die Kanalisation berücksichtigt wird. Beim außergewöhnlichen und extremen Ereignis hat die Kanalisation aufgrund der hohen Abflussmengen keinen Einfluss mehr.

Für die Gemeinde Teningen wurde das Kanalnetz nicht in den hydraulischen Berechnungen berücksichtigt.



Abb. 8: Kanalüberstaupunkte werden als Punkteinspeisung direkt ins Modell integriert

5.4. Modifikation an den OAK

Die Oberflächenabflusswerte (OAK) werden über die LUBW bereitgestellt (s. Anhang 3 des Leitfadens, LUBW 2016). Die OAK's mussten für das Simulationsgebiet nicht angepasst werden. Zudem wurde keine Beaufschlagung der Dachflächen vorgenommen.

5.5. Berücksichtigung von Dachflächen

Der Gebäudebestand der ALKIS-Daten wurde im Rahmen der Validierung aktualisiert. Die Gebäude werden als 3-dimensionale Hindernisse mit 5 m Höhe ins Gelände eingebaut, um auch Umströmung der Gebäude und den Dachabfluss möglichst korrekt zu erfassen (Abb. 9).

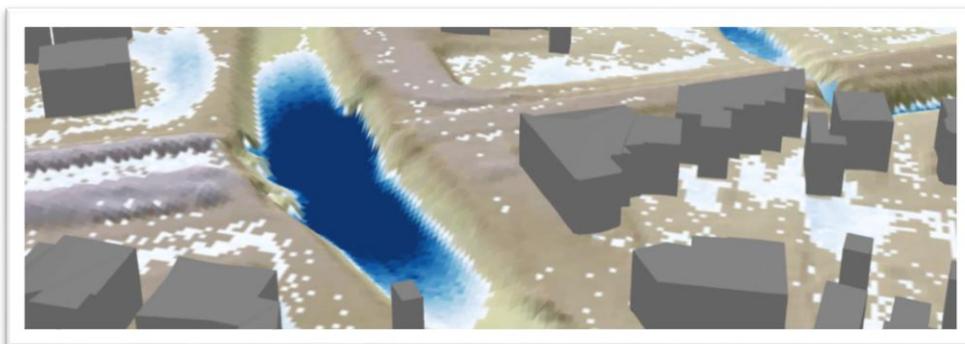


Abb. 9: Integration der Gebäude als 3D-Strukturen

5.6. Berücksichtigung von Gewässern

Kleine Gewässer und Gräben sind üblicherweise nicht vollständig im Geländemodell abgebildet. Selbst bei hochauflösenden Laserscandaten ist der Gewässerlauf mehrfach durch Brücken etc. in seiner Gefällelinie unterbrochen (s. Abb. 10). Hier ist eine Nachbearbeitung auf jeden Fall notwendig, um die Gewässer realitätsnah in das Modell zu integrieren. Das leichte Rauschen der Laserscan-Geländemodelldaten sorgt ohne eine Nachbearbeitung für einen nicht realistischen Rückhalt in den Tiefenlinien, die in der Summe zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen würden. Mit den nachdigitalisierten Tiefenlinien lassen sich die Gewässerrläufe korrigieren. Insgesamt wurden so 144 Stellen im Projektgebiet durchgängig gemacht.

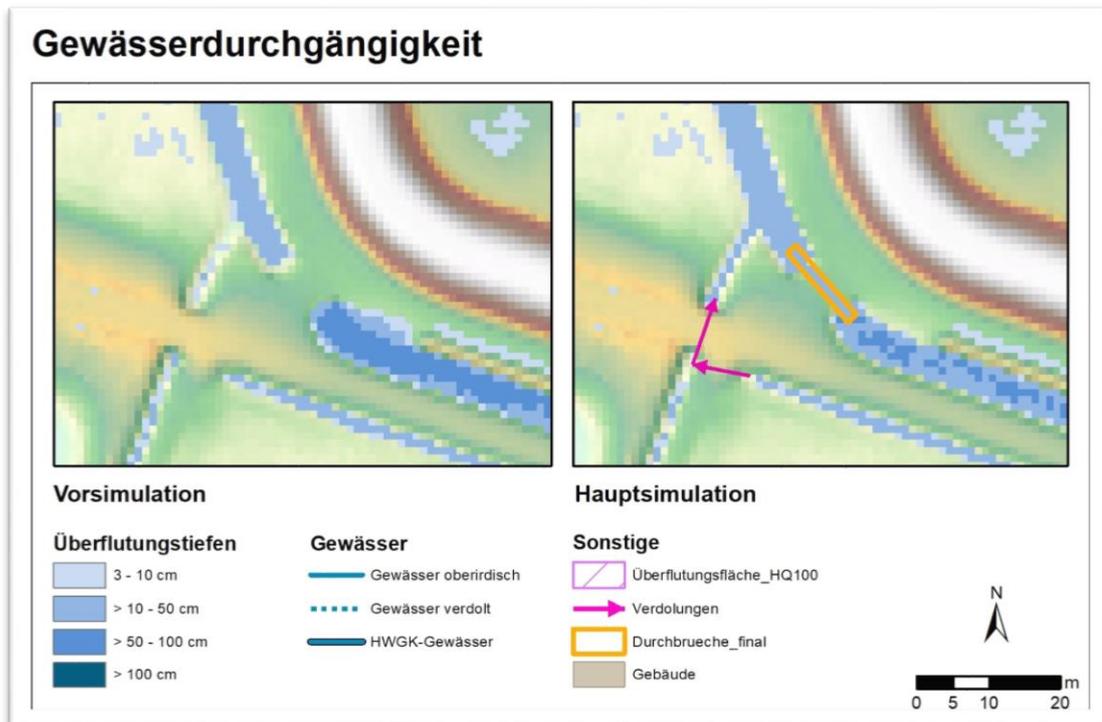


Abb. 10: Kleine Bäche mussten im Geländemodell nachgearbeitet werden, damit sie als Fließweg erfasst werden (orangenes Rechteck). Bei diesem Beispiel handelt es sich um einen Graben der südlich der Elz und parallel zum Deich und östlich des Baggersees Niederwaldsee verläuft.

Eine Bearbeitung von Gewässern, die bereits bei den Hochwassergefahrenkarten erfasst wurden, ist nicht vorgesehen, an diesen Gewässern (bzw. deren Mittellinie) wird die Berechnung nicht weitergeführt bzw. das Wasser modelltechnisch aus dem System entnommen.

5.7. Aufteilung des Gebiets

Das Simulationsgebiet wurde auf die Größe der Einzugsgebiete hin analysiert. Wenn in Einzugsgebieten mit $> 5 \text{ km}^2$ Fläche mehrere sich nur gering überlagernde Teilwellen bei der Starkregensimulation erkennbar sind, zeigt dies eine weitgehende modelltechnische Entkopplung der Sub-Teileinzugsgebiete an und eine weitere Unterteilung würde keine Veränderung der Überflutungsflächen ergeben. Bei einer deutlichen Überlagerung ist jedoch eine Unterteilung in getrennte Rechenläufe notwendig.

Im Projektgebiet gibt es drei Einzugsgebiete, die zu einem HWGK-Gewässer führen und den Schwellenwert von 5 km^2 überschreiten. Das Erste betrifft das Einzugsgebiet des Dorfbachs, der durch Teningen Köndringen fließt. Oberhalb der Ortschaft befindet sich ein Hochwasserrückhaltebecken (HWRB) Seebach. Dieses trennt durch seine Rückstauwirkung und den kontrollierten Abfluss einen Teil des Einzugsgebiets ab. Es kommt somit zu keiner signifikanten

Wellenüberlagerung im Unterlauf (Durchflussprofile 9 und 93), weshalb auf eine Unterteilung verzichtet wurde.

Im Flachlandbereich befinden sich zwei Einzugsgebiete (Mühlbach, Moosbach) mit jeweils $6,7 \text{ km}^2$, die hydraulisch miteinander interagieren. Zum einen sind die Gewässer durch wasserwirtschaftliche Maßnahmen miteinander verbunden (wie z. B. die Verzweigungen Neumat- und Moosgraben). Zum anderen bedingt die flache Topographie, dass bei Starkregen oberflächlich abfließendes Wasser stellenweise in die benachbarten Einzugsgebiete übertritt miteinander, wie die Überflutungstiefen zeigen. Somit ist keine sinnvolle Abgrenzung der Gebiete möglich. Weiterhin wird ein großer Teil des Wassers im Gebiet zurückgehalten und fließt nur langsam ab. Es kommt zudem zu keinen erkennbaren Wellenadditionen (Durchflussprofil 114, 115 und 129), weshalb auch hier auf getrennte Rechenläufe verzichtet wurde.

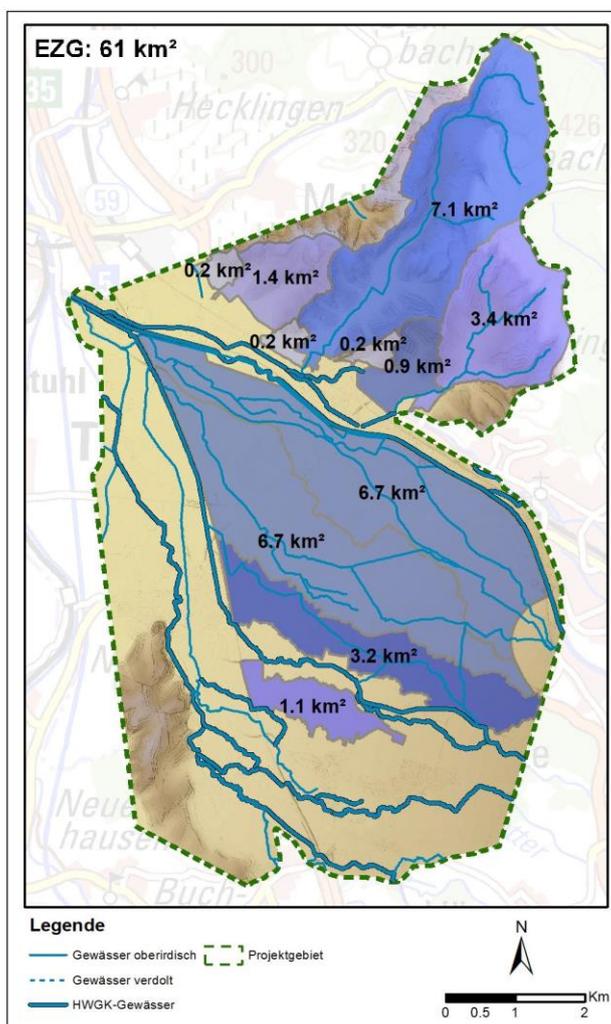


Abb. 11: Teileinzugsgebiete von AWGN-Gewässern im Projektgebiet

6 Rechenläufe

Abbildung 10 stellt die Vorgehensweise der Arbeitsschritte schematisch dar. Die Vorgehensweise erfolgt somit entsprechend den Anforderungen des Leitfadens. Es werden die drei vorgegebenen Szenarien „selten“, „außergewöhnlich“ und „extrem“ 2-dimensional modelliert. Die bereitgestellten Daten haben ein vergleichbares Ausgabeformat und können direkt verwendet werden.

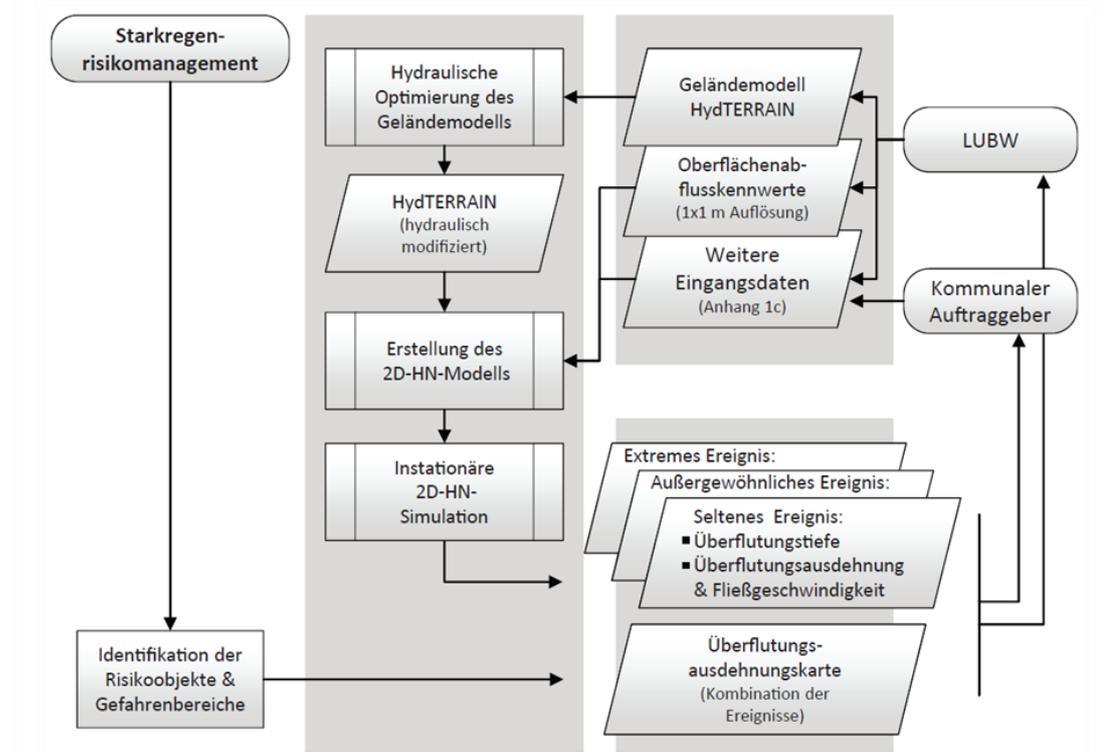


Abb. 12: Ablaufschema zur Erstellung der Starkregengefahrenkarten (LUBW 2016, S.26)

Bei der Modellierung wird iterativ vorgegangen: nachdem alle Daten aufbereitet wurden, wird ein erster Simulationslauf gestartet (Entwurfsrechenlauf). Die Ergebnisse werden dann analysiert und unsichere Bereiche vor Ort einer Prüfung unterzogen. Es müssen einige Strukturen durch Vor-Ort-Erhebungen ergänzt werden. Neben den Basisdaten sind daher besondere Leitstrukturen zu erfassen, die als Fließweg-Leitbahnen bzw. als Fließhindernisse wirken können. Entlang der sich ausprägenden Fließwege werden die relevanten Strukturen kartiert oder aus den Luftbildern entnommen (z.B. Verlauf von Mauern, Durchlässe).

Die Begehung und Aufnahme der wichtigsten Strukturen im gesamten Bearbeitungsgebiet ist ein für die Qualität der Ergebnisse bedeutender Punkt, ebenso muss sich ein allgemeiner Überblick über die Teileinzugsgebiete verschafft werden, um einen besseren Eindruck über dominierenden Prozesse zu erhalten.

Mit den korrigierten Eingangsdaten wird ein neuer Simulationslauf (Entwurfsrechenlauf 2) gestartet.

Daraufhin findet ein Validierungsgespräch mit den Gemeinden statt. Sobald die Ergebnisse aus dem Validierungsgespräch in die Eingangsdaten des Modells integriert waren, erfolgten die Hauptsimulationen der entsprechenden Berechnungsszenarien.



7 Rechenergebnisse der Gefährdungsanalyse und Kartendarstellungen

Zentrales Ergebnis der Gefährdungsanalyse sind, wie oben bereits erwähnt, die Starkregengefahrenkarten (SRGK). Die Starkregengefahrenkarten sind zugleich ein wichtiges Arbeitsinstrument für den anschließenden Risikomanagementprozess und zur Erstellung der Alarm- und Einsatzpläne. Im Gegensatz zu den Hochwassergefahrenkarten (HWGK) werden in den Starkregengefahrenkarten Überflutungen aufgrund von Starkregenereignissen im Gelände dargestellt, die unabhängig vom Gewässer auftreten und haben auch keine unmittelbaren, rechtlichen Konsequenzen.

Das Layout hält sich an die Vorgaben des Leitfadens. Die Ergebnisse werden zum einen als digitale Daten im PDF-Format erzeugt. Im Rahmen von Besprechungen wurden einzelne Karten auch analog bereitgestellt. Außerdem werden die Daten gemäß dem Leitfaden Anhang 1c dem Auftraggeber und der LUBW übergeben. Die Karten liegen als Übersichts- und Detailkarten vor und dienen als Grundlage für den weiteren Starkregenrisikomanagementprozess.

In den Karten werden die Ausdehnung der Überflutung, die Überflutungstiefe sowie die Fließgeschwindigkeit je Szenario angezeigt, so dass die Fließwege des Oberflächenabflusses erkennbar sind. Die SRGK wurden für die Szenarien „selten“, „außergewöhnlich“ und „extrem“ erzeugt. In einer kombinierten Karte wird zusätzlich die maximale Überflutungsausdehnung für alle drei Szenarien zusammengefasst dargestellt. Details wurden auf Basis eines Entwurfes mit der Gemeinde Teningen abgestimmt.

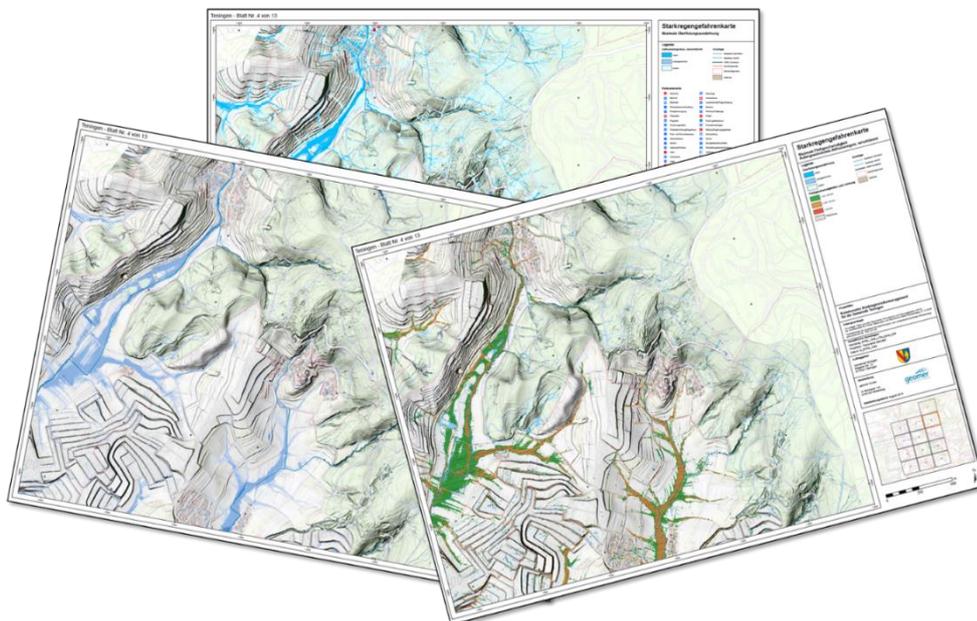


Abb. 13: Starkregenkarten für die Gemeinde Teningen (pdf und Druckversion)

Neben den unterschiedlichen Karten enthalten die zugrunde liegenden Daten jedoch deutlich mehr Informationen. Dies ist dadurch bedingt, dass es sich bei den Starkregenereignissen um ein hochdynamisches Ereignis handelt. Die durch die Modellierung mit FloodArea^{HPC} erzeugten Ausgabedaten liegen in Intervallen von einer Minute (frei bestimmbar) vor und ermöglichen auch nachträglich unterschiedlichste Auswertungen, ohne einen erneuten Modelllauf durchführen zu müssen. Dies sind u.a. die Erstellung von weiteren Animationsdateien oder die Berechnung von Durchflussmengen bzw. Ganglinien an frei bestimmbar Punkten. Die Daten



werden benötigt, um z.B. den Rückhaltebedarf (Volumen, Maximalabflussmenge) zu ermitteln. Zusätzlich zu den Karten werden für das außergewöhnliche und extreme Szenario Überflutungsausdehnungsanimationen zur Verfügung gestellt.

Gemäß aktuellem Anforderungsprofil im Starkregenrisikomanagementprozess wurden für ausgewählte Querschnitte Ganglinien- und Volumenberechnungen durchgeführt.

7.1. Überflutungsausdehnungskarten

Mit Hilfe der Ausdehnungskarten lassen sich betroffene Bereiche und Objekte im Ereignisfall identifizieren. Für die Gemeinden wurden folgende Simulationen durchgeführt:

- seltenes Abflussereignis, verschlämmt (UA_SEL_V)
- außergewöhnliches Abflussereignis, verschlämmt (UA_AUS_V)
- extremes Abflussereignis, verschlämmt (UA_EXT_V)

Die entsprechenden Flächen werden als ESRI© Polygon-Feature-Class übergeben und befinden sich in der ESRI© File Geodatabase .../Ergebnisse/Ergebnis.gbd.

Die Ausdehnung der Szenarien selten, außergewöhnlich und extrem ist in einer DIN A1 Karte dargestellt. Die Karten liegen als PDF im Verzeichnis...Ergebnisse/Karten/UA_verschlaemmt vor.

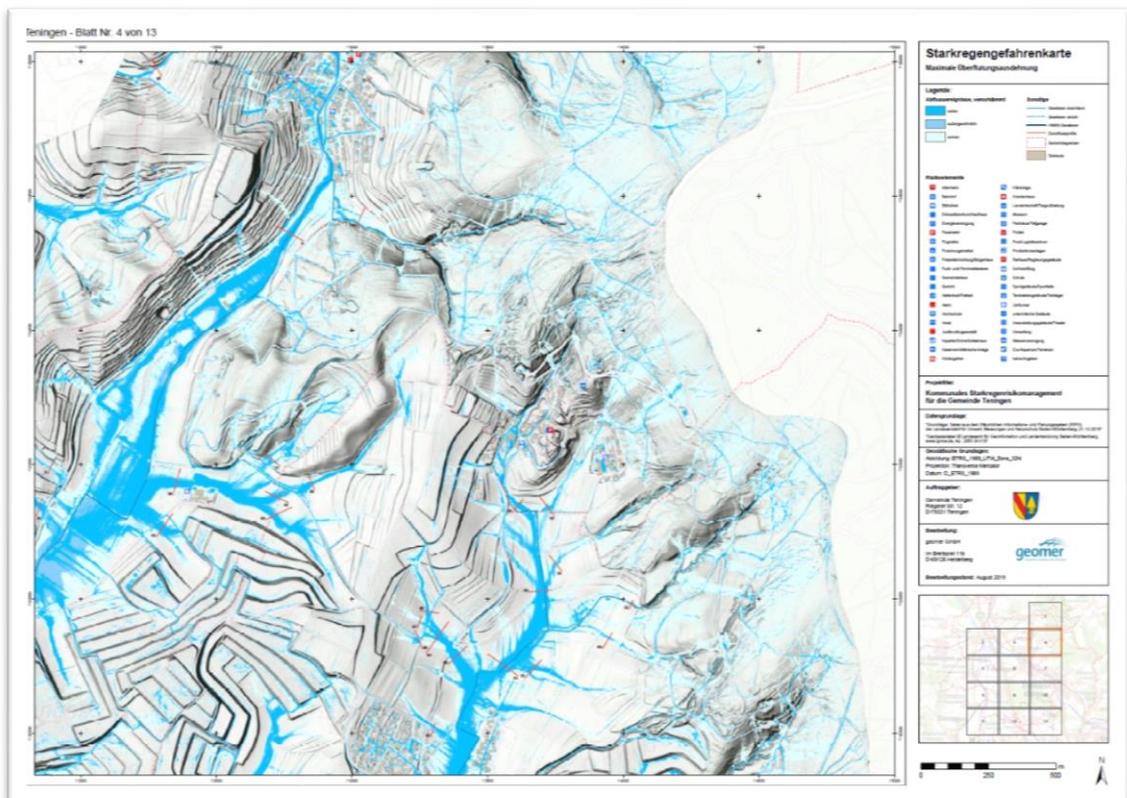


Abb. 14: Maximale Überflutungsausdehnung der Abflussereignisse selten, außergewöhnlich und extrem in der Gemeinde Teningen

Bei der Überflutungsausdehnung wird die Ausdehnung der drei Szenarien nebeneinander dargestellt (unterschiedliche Blautöne). Außerdem werden in dieser Karte die Risikoelemente und die Lage und Nummer der Durchflussprofile (siehe Kapitel 7.6) dargestellt. Daher eignet sich diese Karte besonders für die Planung von Maßnahmen sowie für die Diskussionen im Rahmen des Risikomanagementprozesses.



7.2. Überflutungstiefenkarten

Die Überflutungstiefen zeigen die möglichen Eintrittswege des Wassers in die Gebäude an. Bereiche, in denen die Überflutungstiefe geringer als 3 cm ist, werden nicht dargestellt, um Irritationen bei der Interpretation zu vermeiden. Bei Überflutungstiefen bis 10 cm besteht für nicht ebenerdige Kellerfenster oder Lichtschächte keine Gefahr. Es kann jedoch auch hier situationsbedingt zu Gefährdungssituationen kommen, beispielsweise durch eine angeschwemmte Plane oder ein Baumstamm. Zwischen 10 und 50 cm kann hingegen Wasser in Gebäude eindringen (s. Tab. 2). Höhere Überflutungstiefen können bei Unterführungen, Treppe abgängen und Tiefgaragen vorkommen.

Tab. 2: Potenzielle Gefahren für Leib und Leben sowie Infrastruktur und Objekte bei unterschiedlichen Überflutungstiefen (nach LUBW 2016, S. 28)

Überflutungstiefe	Potenzielle Gefahren für Leib und Leben	Potenzielle Gefahren für Infrastruktur und Objekte
3-10 cm	<ul style="list-style-type: none">- Volllaufende Keller können das Öffnen von Kellertüren gegen den Wasserdruck verhindern.- Eingeschlossenen Personen droht das Ertrinken.	<ul style="list-style-type: none">- Überflutungen und Wassereintritt durch ebenerdige Kellerfenster oder Lichtschächte- Wassereintritt in tieferliegende Gebäudeteile- Wassereintritt durch ebenerdige Türen mit möglicher Schädigung von Inventar
10-50 cm	<ul style="list-style-type: none">- für Kinder besteht die Gefahr des Ertrinkens bereits bei niedrigen Überflutungstiefen- Befahrbarkeit von Straßen und somit Rettungswege werden stark eingeschränkt.	<ul style="list-style-type: none">- Wassereintritt auch durch höher gelegene Kellerfenster möglich
50-100 cm	<ul style="list-style-type: none">- s.o.- Erhöhte Gefahr durch die eingeschränkte Sichtbarkeit im Wasser (z.B. durch Treibgut)	<ul style="list-style-type: none">- Wassereintritt auch bei erhöhten Eingängen möglich
> 100 cm	<ul style="list-style-type: none">- Gefahr für Leib und Leben bei statischem Versagen und Bruch von Wänden- Gefahr des Ertrinkens für Kinder und Erwachsene	<ul style="list-style-type: none">- Mögliches Versagen von Bauwerksteilen

Für die Gemeinde Teningen wurden folgende Simulationen durchgeführt:

- seltenes Abflussereignis, verschlämmt (UT_SEL_V)
- außergewöhnliches Abflussereignis, verschlämmt (UT_AUS_V)
- extremes Abflussereignis, verschlämmt (UT_EXT_V)

Die entsprechenden Überflutungstiefen werden als GeoTIFF übergeben und befinden sich in dem Verzeichnis .../Ergebnisse/UT.

Die Überflutungstiefenkarten mit der maximalen Ausdehnung der Überflutung der Szenarien selten, außergewöhnlich und extrem sind in DIN A1 Karten dargestellt. Diese liegen als PDF im Verzeichnis ...Ergebnisse/Karten/UT_XXX_X vor.



Tab. 3: Potenzielle Gefahren für Leib und Leben sowie Infrastruktur und Objekte bei unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten (nach LUBW 2016, S. 28)

Fließgeschwindigkeit	Potenzielle Gefahren für Leib und Leben	Potenzielle Gefahren für Infrastruktur und Objekte
> 0,2 – 0,5 m/s	- Gefahr für ältere, bewegungseingeschränkte Bürger oder Kinder beim Queren des Abflusses	- Versagen von Türdichtungen durch erhöhten Druck
> 0,5 – 2 m/s	- Gefahr für Leib und Leben beim Versuch, sich durch den Abflussstrom zu bewegen	- Möglicher Bruch von Wänden durch Kombination von hohen statischen und dynamischen Druckkräften
> 2 m/s	- Gefahr für Leib und Leben bei Versagen von Bauwerksteilen - Gefahr durch mitgeführte, größere Feststoffe (z.B. Container, Auto, Baumstamm etc.) - Versagen von Bauelementen in Folge von Unterspülungen	- Mögliches Versagen von Bauwerksteilen durch hohe dynamische Druckkräfte oder mitgeführte Feststoffe - Beschädigung der Bausubstanz durch Unterspülung

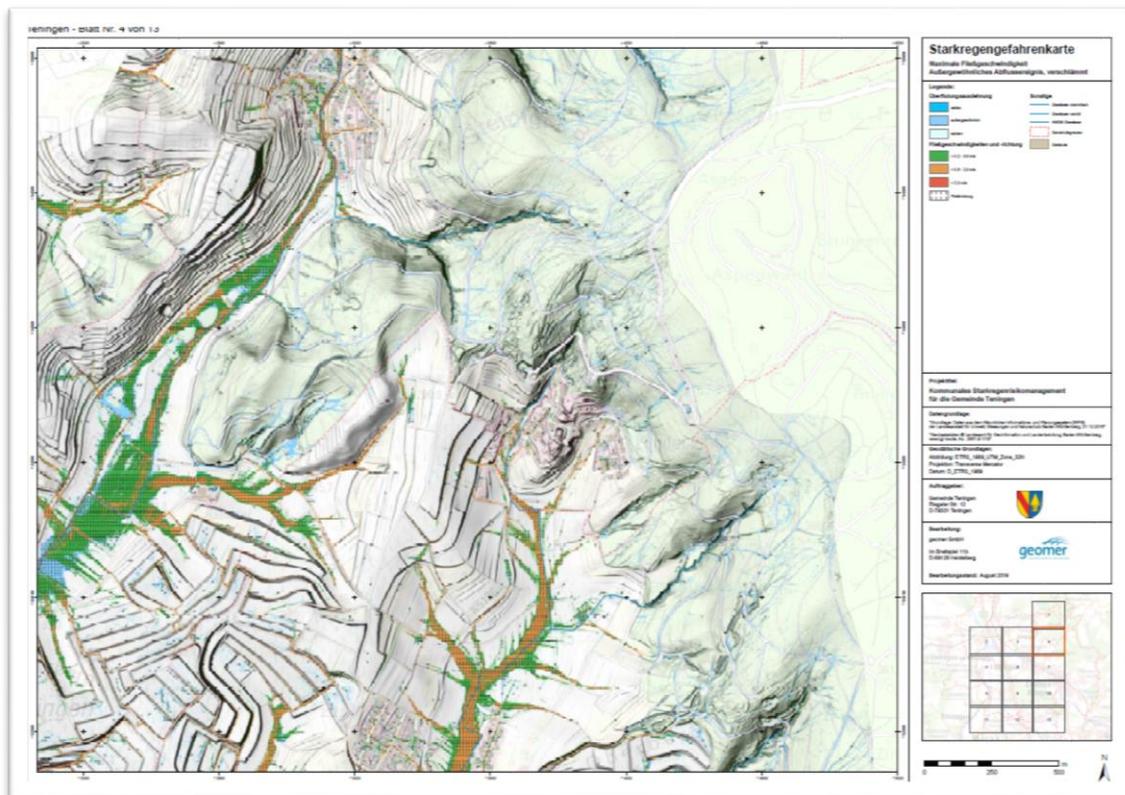


Abb. 16: Maximale Fließgeschwindigkeitskarte mit maximaler Ausdehnung der Überflutung des außergewöhnlichen Abflussereignisses in der Gemeinde Teningen

Abweichend von der Musterlegende werden der besseren Lesbarkeit wegen die Fließgeschwindigkeiten flächig in den vorgeschlagenen Farben dargestellt und die Richtung schwarz darüber gedruckt (Abb. 24). Überflutungsflächen mit Fließgeschwindigkeiten geringer als 0,2 m/s werden im jeweiligen blau der Überflutungsausdehnung dargestellt. Bereiche, in denen die Überflutungstiefe geringer als 3 cm ist, werden nicht dargestellt, um Irritationen bei der Interpretation zu vermeiden.



Abb. 17: links: Musterlegende aus dem Leitfaden, rechts: Umsetzung in den Karten

7.4. Überflutungsausdehnungsanimationen

Die Überflutungsausdehnungsanimationen liegen für das außergewöhnliche und extreme Szenario jeweils für mit den Auftraggebern abgesprochene Bereiche vor. Die Animationen sind aus 180 1-Minuten-Ergebnissen (eine Stunde Niederschlag und zwei Stunden Nachlauf) aufbereitet.

Die gegenüber der Forderung des Leitfadens höhere Auflösung ermöglicht eine flüssigere Animation. Die Animationen sind im Rahmen von Präsentationen und Besprechungen gut geeignete Medien, um die Dynamik des Prozesses zu verdeutlichen.

Für die Gemeinde Teningen wurde Überflutungsausdehnungsanimationen erstellt.

Außergewöhnliches Abflussereignis, verschlämmt (AUS V):

- 8316043_ANI_AUS_V_Teningen
- 8316043_ANI_AUS_V_Koendringen
- 8316043_ANI_AUS_V_Mundungen

Extremes Abflussereignis, verschlämmt (EXT V):

- 8316043_EXT_AUS_V_Teningen
- 8316043_EXT_ANI_AUS_V_Koendringen
- 8316043_EXT_ANI_AUS_V_Mundungen

Die Daten liegen im MP4-Format vor und befinden sich im Verzeichnis ...Ergebnisse/Karten/ANI_UA_AUS_V und ...Ergebnisse/Karten/ANI_UA_EXT_V.



Abb. 18: Ausschnitt aus der Übersflutungsausdehnungsanimation mit Übersflutungstiefen des außergewöhnlichen Abflussereignisses in Teningen.

7.5. Volumenbilanz

Für die Gemeinde Teningen wurde eine Gesamtgebietsbilanzierung durchgeführt. Dabei wurde untersucht, ob die Menge an Abfluss aus dem Untersuchungsgebiet zusammen mit der Menge an Wasser, das bei Simulationende im Untersuchungsgebiet verbleibt, der Menge entspricht, die anhand der Oberflächenabflusswerte in das Modell eingespeist werden:

$$\text{Abfluss am Modellrand} + \text{Restwasservolumen} = \text{Input durch OAK}$$

Die Gesamtgebietsbilanzierung zeigt, dass der Modellabfluss und das Restwasservolumen zu 99,2 bis 99,9 % dem OAK-input innerhalb der Berechnungsdauer entsprechen.

In den Vorlandbereichen des Schwarzwalds gibt es in flachen Bereichen Einzugsgebiete, die größer sind als 5 km². Hier ist jedoch zum einen keine klare Abgrenzung der Teileinzugsgebiete möglich, zum anderen verbleibt ein sehr großer Anteil des Niederschlagswassers in Geländesenken, so dass auch hier keine problematischen Überlagerungen auftreten.

7.6. Kontrollquerschnitte

Für ausgewählte, besonders kritische Bereiche mit hoher Gefahr wurden Ganglinien für das seltene, außergewöhnliche und extreme Abflusszenario berechnet. Diese werden benötigt, um z.B. den Rückhaltebedarf (Volumen, Maximalabflussmenge) zu ermitteln. Insgesamt wurden für jedes Szenario 146 Ganglinien generiert.

Die entsprechenden Linien werden als ESRI© Linien-Feature-Class übergeben und befinden sich in der ESRI© File Geodatabase .../Ergebnisse/Ergebnis.gbd. In den jeweiligen Attributtabelle steht die Durchflussmenge für jede einzelne Minute der Simulation. Die Durchflussprofil-Graphen zu den jeweiligen Linien befinden sich unter .../Ergebnisse/Karten/Durchflussprofile. Dort liegt zudem eine Excel-Tabelle mit dem maximalen und aufsummierten Durchfluss von jeder Ganglinie für alle drei Szenarien.

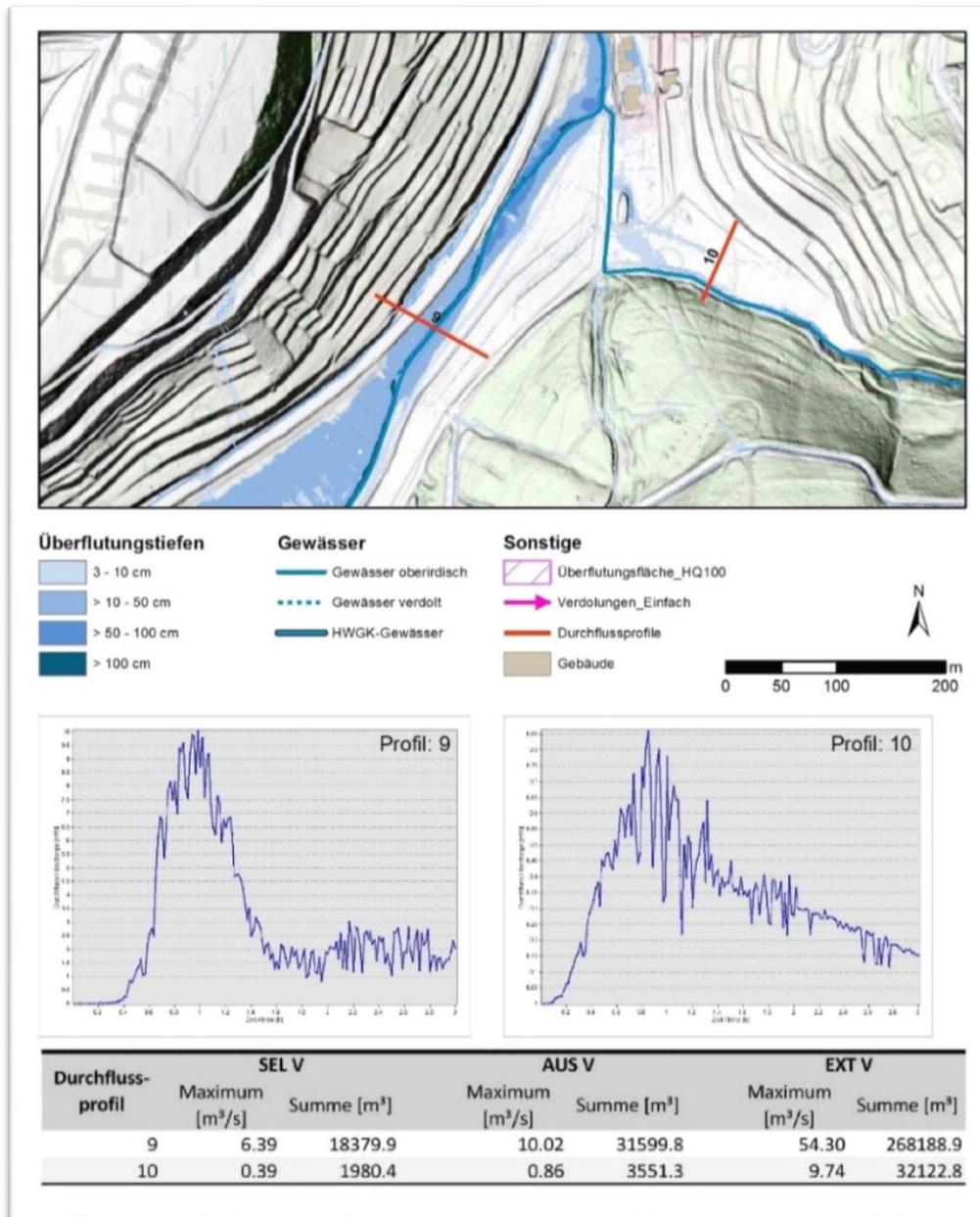


Abb. 19: Gewässerlauf des Seegrabens südlich von Heimbach , kurz vor dem HWRB mit Durchflussprofilen Nummer 9 und 10. Die Ganglinien zeigen das außergewöhnliche Starkregenszenario.

8 Quellenverzeichnis

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) (2016): Leitfaden Kommunales Starkregensrisikomanagement in Baden-Württemberg. Karlsruhe, 64 Seiten. Download unter: <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/starkregen>, Stand 16.11.2018.