

**Örtliches Vorsorgekonzept Hochwasser und Starkregen für die Gemeinde
Rehlingen-Siersburg**

**Anhang 2:
Erläuterung zur Erstellung
der Starkregengefahrenkarten
Stand: Dezember 2024**

INHALT

1	Gebietsbeschreibung und Vorgehen.....	2
2	Datengrundlagen.....	4
3	Modellansatz.....	5
3.1	HYDROLOGISCHE MODELLIERUNG	5
3.2	HYDRAULISCHE MODELLIERUNG	6
3.3	RAUHEITSANSATZ UND GEWÄHLTE RAUHEITSWERTE	7
4	Modellaufbau.....	9
4.1	GELÄNDEMDELL UND MODIFIKATIONEN IM GELÄNDEMDELL.....	9
4.2	INTEGRATION VON VERROHRUNGEN UND DURCHLÄSSE	10
4.3	NIEDERSCHLAGSBELASTUNG	11
5	Ergebnisse und Unsicherheiten.....	12
5.1	STARKREGENGEGFAHRENKARTEN	12
5.2	VOLUMENBILANZ.....	12
5.3	MODELLUNSIKERHEIT UND ERGEBNISINTERPRETATION.....	14
6	Literatur.....	15

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Projekt- und Arbeitsgebiet der Gemeinde Rehlingen-Siersburg für die Erstellung der Starkregensimulation.	2
Abbildung 2:	Schematisches Vorgehen	3
Abbildung 3:	Die Benutzeroberfläche von Hydro ^{RAS} : Eingabe der Niederschlagsintensität, Bodentextur, Hangneigung und Landnutzung (versiegelte und unversiegelte Flächen) sowie die Vorschau der Infiltration.	6
Abbildung 4:	Integration der Gebäude als 3D-Strukturen.	10
Abbildung 5:	Situation ohne (links) und mit (rechts) Berücksichtigung des Bahndurchlasses an der Niedtalbahn.	10
Abbildung 6:	Zeitliche Verteilung der Niederschlagsbelastung	11
Abbildung 7:	Legende Starkregengefahrenkarten für Rehlingen-Siersburg	12

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Zusammenfassung der verwendeten Rauheiten für das Simulationsmodell für den Dünnfilmabfluss (bis 2 cm Überflutungstiefen) und ab 10 cm Überflutungstiefen.	8
Tabelle 2:	Gesamtgebietsbilanzierung für die drei Starkregenszenarien.	13

1 GEBIETSBESCHREIBUNG UND VORGEHEN

Das von eepi/geomer bearbeitete Projektgebiet umfasst das Gemeindegebiet von Rehlingen-Siersburg (61 km²) sowie relevante Teil-Einzugsgebiete, die außerhalb der Gemeindegrenzen liegen aber in die Gemeinde entwässern (siehe Abbildung 1). Die Fläche des Projektgebietes umfasst daher eine Größe von ca. 74,9 km². In der Gemeinde wohnen rd. 14'500 Einwohner, was einer Einwohnerdichte von ca. 238 Einwohner je km² entspricht.

Da für die großen Gewässer im Arbeitsgebiet (Nied und Saar) bereits 2018 Hochwassergefahrenkarten (HWGK) erstellt wurden, sind diese in der Starkregenmodellierung von der Betrachtung ausgenommen. D.h. die Gewässerschläuche, für die bereits HWGK vorliegen, werden im Starkregenmodell als unbegrenzt leistungsfähig betrachtet, sodass in den erstellten Starkregengefahrenkarten (SRGK) keine Überflutungen ausgehend vom Gewässerlauf der HWGK-Gewässer dargestellt werden.

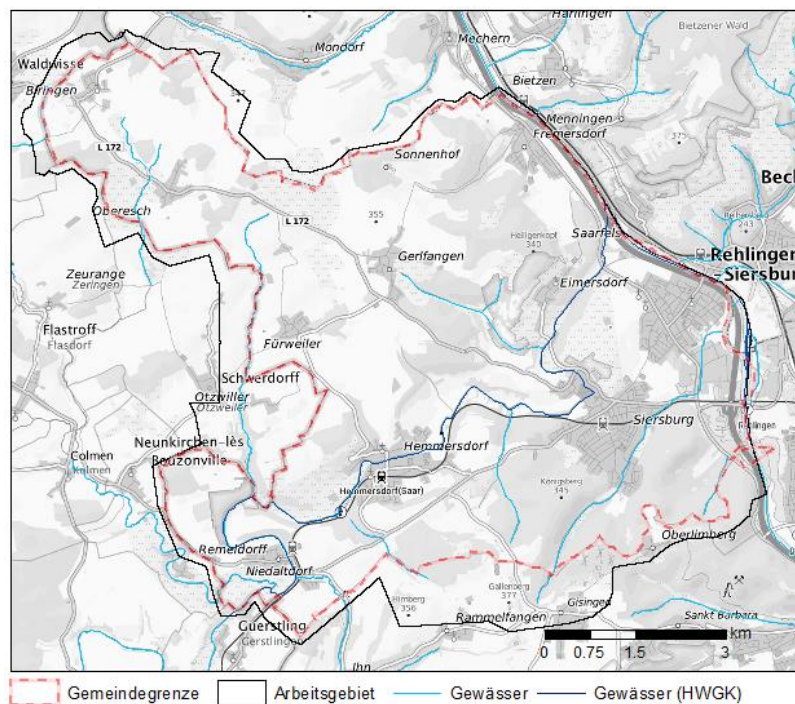


Abbildung 1: Projekt- und Arbeitsgebiet der Gemeinde Rehlingen-Siersburg für die Erstellung der Starkregensimulation.

Bei der Erstellung der Starkregengefahrenkarten wurde sich für die von der Handlungsempfehlung Saarland („Handlungsempfehlungen zur Erstellung von Starkregengefahrenkarten im Saarland“ Hochschule Kaiserslautern 2019) Variante der 2D-Überflutungssimulation entschieden, da diese eine hohe Aussagekraft mit sich bringt aufgrund einer genauen Darstellung von ereignisbezogenen Fließtiefen und -geschwindigkeiten.

Das generelle Vorgehen bei der Starkregenmodellierung besteht aus drei Arbeitsschritten, die in Abbildung 2 schematisch dargestellt sind:

- Als erstes werden die Niederschlagszenarien definiert, die für die Simulation verwendet werden sollen sowie die zeitliche Verteilung.

- Anschließend folgt das hydrologische Modell, das die Abflussbeiwerte des Gebiets in zeitlicher Abhängigkeit bestimmt.
- Als letzter Schritt erfolgt die hydraulische Modellierung unter Berücksichtigung der hydraulischen relevanten Strukturen, Durchlässe und des Kanalnetzes im Untersuchungsgebiet.

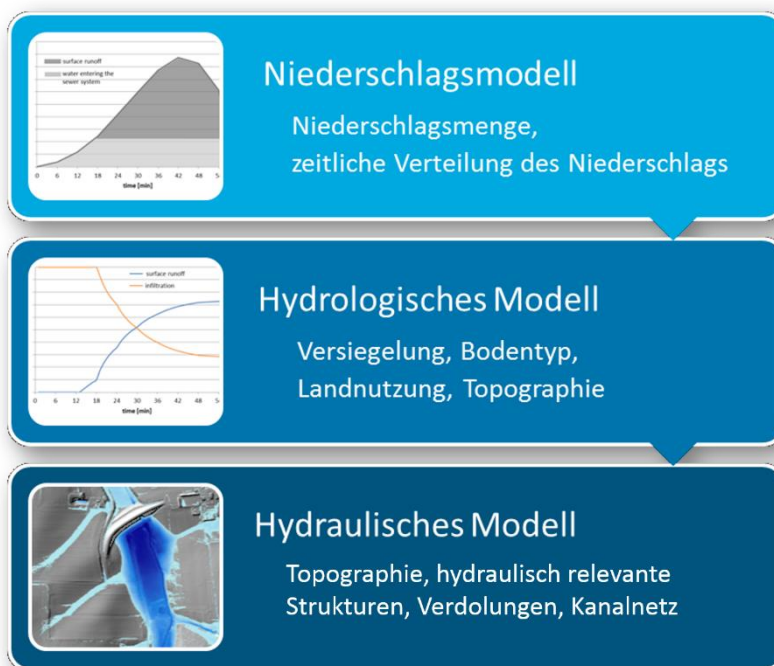


Abbildung 2: Schematisches Vorgehen

2 DATENGRUNDLAGEN

Für den Aufbau des Modells wurden u.a. folgende Daten zusammengestellt und verwendet:

- Bereitgestellt durch das Landesamt für Vermessung, Geoinformation und Landentwicklung (Saarland) am 16.01.2023
 - Digitales Geländemodell des Saarlandes, Stand: 2016 (DGM1)
 - Gebäude LoD2
 - ALKIS (Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem)
 - Digitale Topographische Karte 1:5'000 (DTK5)
- Frei verfügbare Daten:
 - Bodenübersichtskarte des Saarlandes 1:100'000 (BÜK100)
 - Soil Geographical data base for France at 1 :1'000'000 (Quelle: <https://recherche.data.gouv.fr/en/dataset/soil-geographical-data-base-for-france-at-1-1000000>)
 - CORINE land cover (Quelle: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>)

3 MODELLANSATZ

Die Starkregenmodellierung wurde mit FloodArea^{HPC} durchgeführt, ein hydrodynamisches raster-basierendes 2D-Modell. Die dafür nötigen Abflussbeiwerte wurden mit Hilfe des hydrologischen Modells Hydro^{RAS} erstellt. Beide Modelle werden in den nachfolgenden Kapiteln 3.1 und 3.2 beschrieben.

3.1 Hydrologische Modellierung

Die Hydrologie wurde mit der Software Hydro^{RAS} modelliert. Hydro^{RAS} berechnet für ein Gebiet den prozentualen Anteil des Gesamtniederschlags, der ortsspezifisch und direkt abflusswirksam ist. Dieser Anteil wird auch als Abflussbeiwert bezeichnet. Es wird angenommen, dass der restliche Niederschlagsanteil infiltriert.

Hauptinflussfaktoren für die Höhe des Abflussbeiwerts sind die Ausprägungen von Boden, Landnutzung und Relief. Eine komplexe Modellierung des Infiltrationsprozesses über mehrere Bodenhorizonte ist schon aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit der Datengrundlage für großräumige Untersuchungen ausgeschlossen. Aus der Erfahrung lokaler Niederschlag-Abfluss-Untersuchungen sind jedoch die Abflussmengen des Oberflächenabflusses nicht versiegelter Flächen bereits mit den zeitlich und räumlich variierten Abflussbeiwerten anhand des obersten Bodenhorizonts gut abzuschätzen. Bezüglich Boden und Landnutzung orientiert sich die Vorgehensweise am Ansatz des Regionalisierungsprozesses von Lutz (1984). Das integrierte und vereinfachte Infiltrationsmodell basiert auf dem physikalischen Zweistufen-Modell der sprunghaften Feuchtefront nach Dyck & Peschke (1995). Die erforderlichen bodenphysikalischen Parameter für die definierten Bodenarten nach der bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 (AD-HOC-AG BODEN 2005) werden aus den Parametern von Mualem van Genuchten extrahiert (Renger et al. 2008). Der Abflussbeiwert von versiegelten Flächen hingegen wird nicht von Bodenart und Relief beeinflusst, wodurch versiegelten Flächen ein konstanter Abflussbeiwert zugewiesen werden kann.

Das hydrologische Modell gibt Rasterdatensätze mit Abflussbeiwerten für jeden Fünf-Minuten-Zeitschritt aus. Diese Abflussbeiwerte dienen als Input für das hydraulische Modell. Um die Veränderung der Infiltrationskapazität während eines Niederschlages nachzubilden, werden die zeitlich abfolgenden Abflussbeiwetraster während der Simulation ausgetauscht. Detailliertere Informationen zur Funktionsweise des gewählten hydrologischen Modells sind im Handbuch von Hydro^{RAS} zu finden (geomer GmbH, 2018).

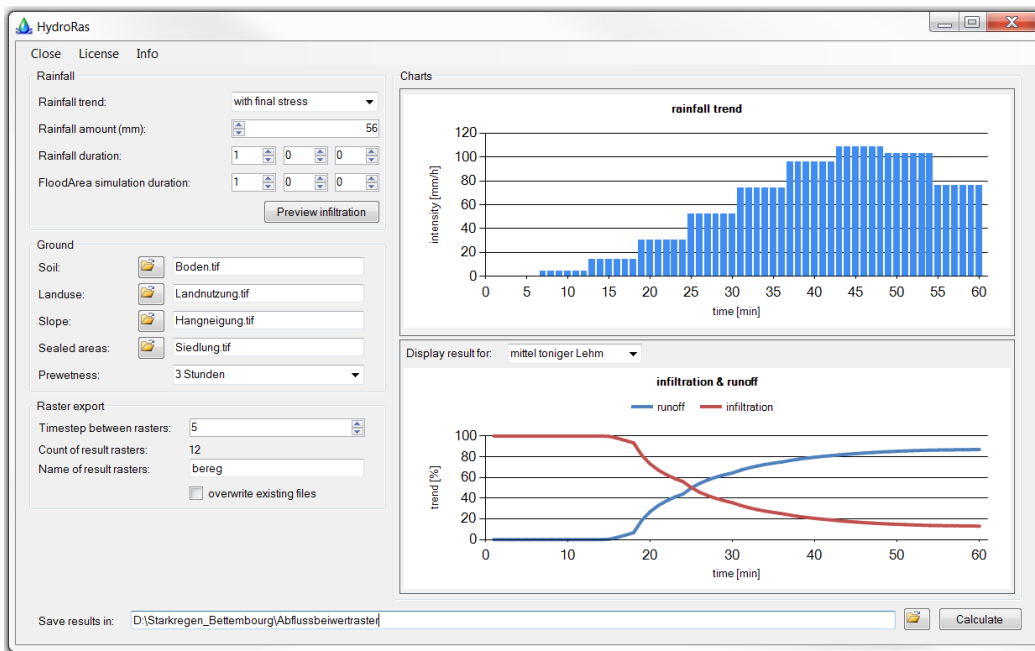


Abbildung 3: Die Benutzeroberfläche von Hydro^{RAS}: Eingabe der Niederschlagsintensität, Bodentextur, Hangneigung und Landnutzung (versiegelte und unversiegelte Flächen) sowie die Vorschau der Infiltration.

3.2 Hydraulische Modellierung

Für die hydraulische Berechnung kommt das Modell FloodArea^{HPC} (HPC - High Performance Computing - Version 11), das seit 1999 durch die geomer GmbH entwickelt und vertrieben wird, zum Einsatz (Modellhandbuch unter www.floodarea.de). 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 Modell wurde in zahlreichen Starkregenprojekten deutschland- und europa-weit, u.a. in der Schweiz, eingesetzt und bietet die Möglichkeit einer N-A-Modellierung mit gekoppelter 2D-Simulation des Oberflächenabflusses.

FloodArea^{HPC} kann als Erweiterung für ArcGIS genutzt werden und bietet somit durch die ESRI-Plattform umfangreiche Möglichkeiten in der Aufbereitung der Grundlagendaten sowie der Weiterverarbeitung und Darstellung der Ergebnisdaten. Rechenläufe können nach entsprechender Parametrisierung in ArcGIS gestartet werden und Ergebnisdaten unmittelbar nach oder während der Simulation in ArcGIS geprüft und dargestellt werden.

Durch die Verwendung der für Parallelprozessierung ausgelegten Version von FloodArea^{HPC} ist es möglich, sehr hohe Datenmengen in einem Hydraulik-Modell zu verarbeiten. Zur Berechnung wird das Gesamtgebiet automatisch gekachelt und auf die Rechenkerne verteilt. Der Fließübergang zwischen den einzelnen Kacheln erfolgt vollautomatisch.

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. Es wird die komplexe Hydrodynamik des Oberflächenabflusses abgebildet, wodurch flächiger Abfluss sowie Rückstaueffekte etc. miterfasst werden. Dies erhöht zwar den Rechenaufwand, ermöglicht jedoch erst eine Ausweisung der gefährdeten Bereiche und Objekte.

Das Modell FloodArea^{HPC} verfügt über einen rasterbasierten Ansatz, der sich sowohl auf die Eingangsdaten (z.B. Geländemodell, Rauheiten, Abflussbeiwerte) bezieht als auch auf die 2-dimensionalen hydrodynamische Modellierung. Durch entsprechende Wahl der Rasterauflösung (hier 1 m) lassen sich auch Kleinststrukturen wie Mauern in die Berechnung einbeziehen, die als leitende, hydraulische Strukturen in der Starkregent Betrachtung wichtig sind.

Der Niederschlag kann in Form einer oder mehrerer Niederschlagsganglinien und Abflussbeiwerten als Rasterdaten zeitlich und räumlich variierend für das Simulationsgebiet parametrisiert werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Berechnung des Oberflächenabflusses ist die Möglichkeit der Einbindung von Durchlässe, die das Abflussverhalten deutlich verändern können und Rückstaueffekte maßgeblich beeinflussen können. Durchlässe können in Tiefpunkten dazu beitragen, dass Niederschlagswasser z.B. unterhalb einer Straße abgeführt wird. FloodArea^{HPC} bietet hierzu die Möglichkeit Abflüsse aus dem Modellsystem, d.h. an dem Einlauf des Durchlasses zu entnehmen und in einer entsprechenden Zielzelle zu zugeben.

Detailliertere Informationen zur Funktionsweise von FloodArea sind im Handbuch von FloodArea zu finden (geomer GmbH, 2024), bzw. unter www.floodarea.de.

3.3 Rauheitsansatz und gewählte Rauheitswerte

Die Rauheitswerte gehen als ein linear in die Modellberechnung einwirkender Parameter bei FloodArea^{HPC} ein. Die Rauheit erfolgt auf Basis des Fließansatzes nach Gauckler-Manning-Strickler mit den entsprechenden k_{st} -Beiwerten. Die verwendeten Rauheiten in ihrer flächigen Anwendung sind in den Abgabedaten enthalten.

Die Rauheitswerte wurden in Anlehnung an die Ausschreibungshilfe „Hinweise zur Berechnung und Erstellung von Starkregengefahrenkarten in Hessen“ (Stand Juni 2021, Projekt KLIMPRAX Starkregen und Katastrophenschutz in Kommunen) und dem Anhangs 1a, Kapitel 3.9 des Leitfadens Kommunales Starkregenerisikomanagement in Baden-Württemberg, Stand Juli 2020, gewählt. Die Rauheitswerte wurden für den Dünnfilmabfluss insbesondere bei vegetationsbehafteten Nutzungen angepasst. Dem empfohlenen Vorgehen folgend wurde bis zu einer Überflutungstiefe (ÜT) von 2 cm der „Dünnfilm“-Wert und ab einer ÜT von 10 cm der höhere Rauheitswert (für glattere Oberflächen) verwendet. Zwischen diesen Werten wird linear interpoliert.

In folgender Tabelle 1 sind die zusammengefassten Rauheiten (k_{st} -Werte) auf Basis der übergebenen Landnutzungsdaten zusammengestellt. 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.

Tabelle 1: Zusammenfassung der verwendeten Rauheiten für das Simulationsmodell für den Dünnfilmabfluss (bis 2 cm Überflutungstiefen) und ab 10 cm Überflutungstiefen.

Landnutzung	bis 2 cm ÜT	ab 10 cm ÜT
	m ^{1/3} /s	
Bahnverkehr	10	15
Felsen, Felsblock, Felsnadel	6	10
Fläche besonderer funktionaler Prägung	40	40
Fläche gemischter Nutzung	10	15
Friedhof	6	20
Gebäude	60	60
Gehölz	3	5
Gewässer	20	20
Gewässer, stehend	35	35
Industrie- und Gewerbefläche – Allgemein	40	40
Industrie- und Gewerbefläche – Gärtnerei	6	10
Industrie- und Gewerbefläche – Kläranlage, Klärwerk, Kraftwerk	15	20
Landwirtschaft – Ackerland	15	30
Landwirtschaft – Baumschule	12	25
Landwirtschaft – Gartenland	6	15
Landwirtschaft – Grünland, Streuobst	10	20
Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche – Campingplatz/Grünanlage/Schwimmbad	6	30
Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche – Freizeitanlage	6	20
Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche – Gebäude- und Freifläche	40	40
Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche – Schrebergarten	6	15
Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche – Wochenend- und Ferienhausfläche	15	20
Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche – Sportanlage	40	40
Straßen (asphaltiert) / Platz	60	60
Straßen/Wege (Kies, Schotter)	40	40
Tagebau/Grube/Steinbruch	6	10
Unland/Vegetationslose Fläche	40	40
Wald	3	5
Weg, Pfad, Steig befestigt	40	40
Wohnbaufläche	15	20

4 MODELLAUFBAU

Zu den wesentlichen Eingangsdaten bei der hydraulischen Modellierung zählen wie in Kapitel 3.2 bereits erwähnt, Niederschlagsdaten, ein digitales Geländemodell sowie Durchlässe. Damit diese Daten in das Modell eingehen können, sind Bearbeitungsschritte erforderlich, die in den folgenden Kapiteln 4.1 bis 4.3 beschrieben werden.

4.1 Geländemodell und Modifikationen im Geländemodell

Das digitale Geländemodell wird als Raster im Modell berücksichtigt, wodurch eine größtmögliche Detailtreue gewährleistet werden kann. Die räumliche Auflösung des DGM beträgt 1 m (DGM1) und wird als solches in das Modell eingelesen. Es findet keine Ausdünnung von Knotenpunkten statt, sondern die ursprüngliche Rasterauflösung bleibt erhalten. Bruchkanten sind daher mit ihren Höhen direkt im Höhenmodell beinhaltet.

Auf Grundlage der Ergebnisse einer ersten Vorsimulation mit dem unbearbeiteten DGM1 wurden Geländebegehungen durchgeführt. Während dieser Ortsbegehungen wurden wesentliche Strukturen erfasst, die einen abflussrelevanten Effekt haben und durch das unbearbeitete DGM1 noch nicht abgebildet wurden. Dazu zählen:

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

Bei den Geländebegehungen wurden insbesondere Bereiche betrachtet, in denen es aufgrund der Topographie zu großem Aufstau kommt und/oder Durchlässe oder Durchlässe zu erwarten waren. Größere Durchlässe, wie Unterführungen, werden ins Geländemodell integriert; kleinere Durchlässe, wie Durchlässe, werden mit ihrer Kapazität als lineare Verbindungen (siehe Kapitel 4.2) dem Modell vorgegeben. Weiterhin werden Bauwerke und Strukturen, die den Oberflächenabfluss beeinflussen, geprüft und wenn diese abflussrelevant eingestuft wurden, in das Geländemodell eingearbeitet.

Weiterhin wurden Gebäude als 3-dimensionale Hindernisse mit 5 m Höhe in das Geländemodell eingebaut, um auch Umströmung der Gebäude und den Dachabfluss möglichst korrekt zu erfassen (siehe Abbildung 4). Tiefgaragen oder andere unterirdische Gebäude wurden nicht in das DGM integriert. Durchfahrten durch Gebäude wurden, wenn relevant ebenso als Fließwege berücksichtigt und integriert. Bei allen Szenarien wurden die Dachflächen durch hohe Abflussbeiwerte berücksichtigt und dementsprechend berechnet.

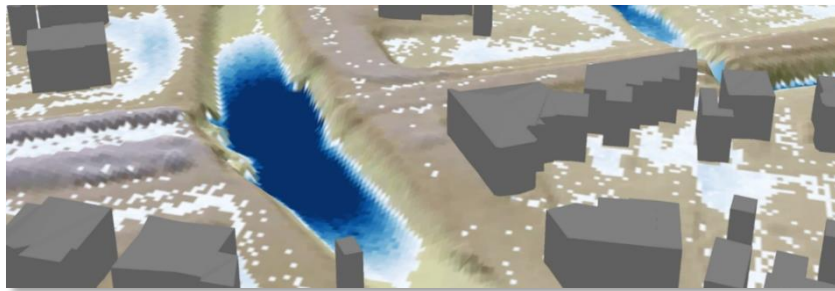


Abbildung 4: Integration der Gebäude als 3D-Strukturen.

4.2 Integration von Verrohrungen und Durchlässe

Kleinere Durchlässe bzw. Verrohrungen unter Straßen oder Bahnstrecken werden in der Regel nicht über eine Modifikation des Geländemodells berücksichtigt, sondern im Modell als lineare Verbindung integriert (siehe Abbildung 5). Eine lineare Verbindung befördert im Modell das Wasser vom Einlass zum Auslass anhand einer definierten Kapazität. Durchlässe wurden mit ihrer Lage sowie Dimension im Rahmen der Geländebegehung kartiert.

Für die Bestimmung der Durchflusskapazitäten der Durchlässe für die Starkregensimulation wurde ein Gefälle von 3 % angenommen. Bzgl. der Gewässerinfrastruktur ist zu beachten, dass auch in den Außenbereichen die Durchlässe unter Wegen etc. erfasst und ins Modell integriert werden. Teilweise gibt es hinter Straßen deutliche Rückhalteeffekte, andererseits sorgen zu klein dimensionierte Durchlässe häufig für eine Verlagerung des Fließweges. Daher ist auch in den Bereichen außerhalb der Ortschaften die gleiche Auflösung der Geländedaten von großer Bedeutung.

Bahndurchlass Niedtalbahn

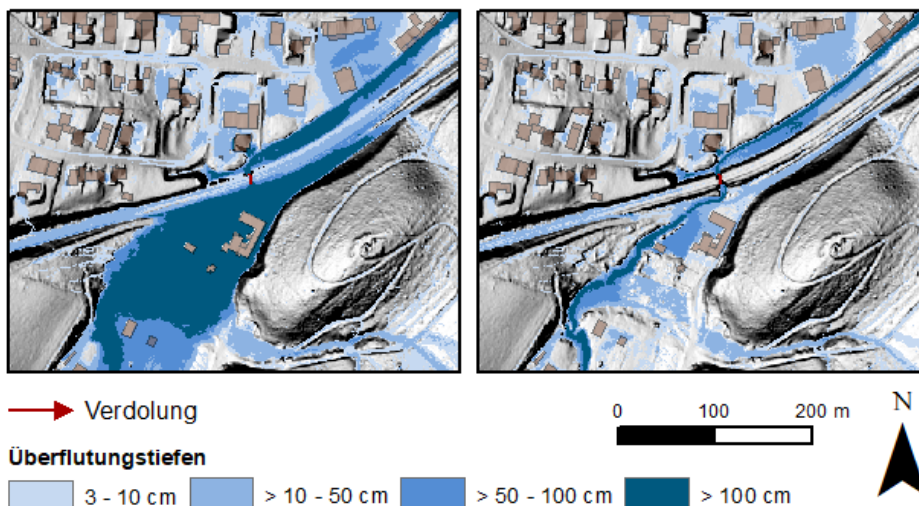


Abbildung 5: Situation ohne (links) und mit (rechts) Berücksichtigung des Bahndurchlasses an der Niedtalbahn.

4.3 Niederschlagsbelastung

Nach Vorgabe des Auftraggebers wurden die folgenden drei Niederschläge einer Dauer von 60 Minuten untersucht:

- 30 mm/1h
- 50 mm/1h
- 90 mm/1h

Neben der kritischen Niederschlagsdauer D und der Niederschlagshöhe h hat auch die zeitliche Verteilung des Niederschlages, d.h. der Intensitätsverlauf, einen maßgebenden Einfluss auf die resultierenden Abflussganglinien bzw. Scheitelabflüsse und somit auf die generierten Überflutungstiefen. So weisen sogenannte Blockregen mit einem konstanten Intensitätsverlauf im Allgemeinen geringe Scheitelabflüsse auf.

Für die durchgeführte Starkregenanalyse wurde ein endbetonter Intensitätsverlauf (siehe Abbildung 6) gewählt. Die Modellierungen wurden für eine Niederschlagsdauer von einer Stunde und drei Stunden Nachlauf durchgeführt.

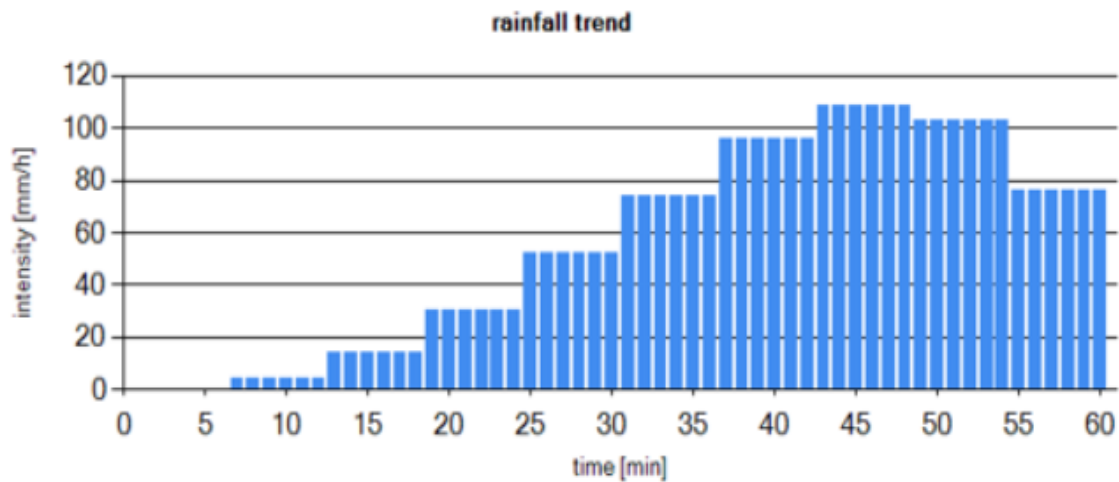


Abbildung 6: Zeitliche Verteilung der Niederschlagsbelastung

5 ERGEBNISSE UND UNSICHERHEITEN

5.1 Starkregengefahrenkarten

Das fertiggestellte Strömungsmodell wurde anschließend mit den in oben beschriebenen Niederschlagsdaten für die drei betrachteten Ereignisse beaufschlagt und mit diesen Niederschlägen beregnet.

Die Simulation wurde über 4 Stunden durchgeführt, so dass große Teil des gefallen Niederschlages (Niederschlagsdauer = 1 h) das Berechnungsgebiet verlassen haben. Die Berechnungsergebnisse wurden in 5 min-Intervall herausgeschrieben. Die Ausgabe umfasst sowohl die Wassertiefen, Fließrichtung und Fließgeschwindigkeit als auch die Durchflussmengen der angesetzten Durchlässe.

Die Simulation wird in jeder Rasterzelle auf das Maximum der Wasserstände über die 4 Stunden Simulationszeit hin ausgewertet. Der maximale Wasserstand der jeweiligen Zelle wird dann auf den Karten dargestellt. Zur Darstellung wird eine Mindestwassertiefe von 4 cm festgelegt und es werden demzufolge nur Wassertiefen größer 4 cm angezeigt.

Bei der Simulation werden alle Flächen mit einem leichten Wasserfilm belegt und somit würden alle Flächen in den Karten entsprechend in den Farben der geringsten Wassertiefe dargestellt werden. Um Fließwege auch im Vorland hervorzuheben und die relevanten Flächen und Abflusswege darzustellen wird daher eine Mindestwassertiefe festgelegt.

Starkregen

Wassertiefe (hN = 50 mm; T ca. 100a, D = 1h)







	<= 0.1 m
	0.1 m - 0.3 m
	0.3 m - 0.5 m
	0.5 m - 1.0 m
	1.0 m - 2.5 m
	> 2.5 m

Abbildung 7: Legende Starkregengefahrenkarten für Rehlingen-Siersburg

Die Überflutungstiefen der drei Starkregensimulationen wurden für die Kartenerstellung in sechs Klassen eingeteilt. In der Abbildung oben sind die Klasseneinteilung und die Farbgebung abgebildet. Das Layout der Karten wurde auf der Besprechung am 04.08.2022 mit Vertretern der Stadt abgestimmt.

5.2 Volumenbilanz

Für das Simulationsgebiet der Gemeinde Rehlingen-Siersburg wurde eine Gesamtgebietsbilanzierung durchgeführt. Dabei wurde untersucht, ob die Menge, die bei Beregnungs- und Simulationsende jeweils im Untersuchungsgebiet verbleibt, zusammen mit der Menge, die z.B. über Durchlässe aus dem Modell

entnommen wird, der Menge entspricht, die in das Modell eingespeist wird. Die Gesamtgebietsbilanzierung für die Gemeinde Rehlingen-Siersburg zeigt, dass das Restwasservolumen zusammen mit der Wassermenge, die durch Durchlässe entnommen wird, sowohl nach 60 als auch nach 240 Minuten zu etwa 100% dem Effektivniederschlag entspricht. Die Wassermengen unter 100% sind auf Rundungsfehler zurückzuführen. Die Bilanz für die unterschiedlichen Simulationsläufe ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 2: Gesamtgebietsbilanzierung für die drei Starkregenszenarien.

		30 mm	50 mm	90 mm
Effektivniederschlag innerhalb der 60 min (m³)		599'576	1'057'894	1'989'517
Volumenbilanz zum Berechnungsende (60. Minute)	Volumen in den Überflutungstiefen (m ³)	570'625	1'017'159	1'943'111
	Entnahme durch Durchlässe (m ³)	1'670	3'920	8'804
	output Gesamt (m ³)	572'295	1'021'079	1'951'915
	Volumenbilanz zur 60. Minute (%)	95.45%	96.52%	98.11%
Volumenbilanz zum Simulationseende (240. Minute)	Restvolumen in den Überflutungstiefen (m ³)	559'826	991'100	1'886'524
	Entnahme durch Durchlässe (m ³)	12'458	28'979	65'286
	output Gesamt (m ³)	572'284	1'020'079	1'951'810
	Volumenbilanz zur 240. Minute (%)	95.45%	96.43%	98.10%

5.3 Modellunsicherheit und Ergebnisinterpretation

Die räumliche Diskretisierung des Untersuchungsgebiets mittels eines numerischen Gitters bzw. digitalen Geländemodells (DGM) zur Abbildung der vorherrschenden Topographie stellt die Grundlage der numerischen Strömungssimulation dar. Das Strömungsmodell weist u.a. folgende Unsicherheiten auf:

- Die größten Unsicherheiten sind durch die Nutzungsbelegung im Bereich der Landwirtschaft gegeben, da hier Abflusswerte je nach aktueller Nutzung um mehrere 100 %, je nach Nutzungsform (Wintergetreide bis Hackfrüchte) schwanken können. Die hier angenommene Nutzungsbelegung bildet eine mittlere Nutzung ab.
- Trotz Laserscan-Befliegung muss bei einem DGM mit Unsicherheiten im Dezimeterbereich (0.2 m laut LVGL) gerechnet werden. Daher ist die Ausdehnung der Überflutungsflächen immer anhand vorhandener terrestrischer Höhenaufnahmen zu prüfen.
- Aufgrund einzelner Vereinfachungen bildet das Modell FloodArea^{HPC} Fließwechsel etwas schlechter ab als hydraulische Finite-Volumen-Wasserspiegellagenmodelle wie z.B. HydroAS-2D. Solche Modelle basieren auf der sog. Flachwassergleichung und sind dazu geeignet, unterschiedliche Fließzustände wie Strömen, Schießen und den entsprechenden Übergang (Wechselsprung) genau abzubilden. FloodArea^{HPC} kann dies nicht; es ist im Gegenzug aber in der Lage, innerhalb akzeptabler Rechenzeiten größere Flächeneinheiten mit erheblich besserer Auflösung zusammenhängend zu rechnen. Verschiedene Vergleichsrechnungen zeigen, dass das Model aufgrund der höheren Auflösung bei flächigen Betrachtungen eine höhere Genauigkeit bietet.
- Externe Untersuchungen (z.B. Benchmarktests der TU München) zeigen, dass die Abweichungen von den mathematisch idealen Werten im Bereich weniger mm bis cm liegen. Im Anwendungsbereich Starkregen sind die Ergebnisse gegenüber Kalibrierungsfehlern deutlich stabiler als bei netzbasierten Modellen.

6 LITERATUR

AD-HOC-AG BODEN (2005). Bodenkundliche Kartieranleitung. - 5. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 438 S.; Hannover.

Dyck, S. & Peschke, G. (1995). Grundlagen der Hydrologie. - 3. stark bearb. Aufl., Verlag für Bauwesen, 535 p.; Berlin.

geomer GmbH (2018). HydroRAS: Software zur Berechnung von Abflussbeiwerten für die Starkregensimulation mit FloodAreaHPC (Anwenderhandbuch). 27 p.; Heidelberg.

geomer GmbH (2024). FloodAreaHPC-Desktop: Anwenderhandbuch FloodArea^{HPC}11. - geomer GmbH <https://www.geomer.de/handbuch/floodarea/>

Hochschule Kaiserslautern (2019): Handlungsempfehlungen zur Erstellung von Starkregengefahrenkarten im Saarland. Auftraggeber: Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz Saarland. Stand April 2019.

KLIMPRAX (Projekt KLIMPRAX Starkregen und Katastrophenschutz in Kommunen) (2021): Hinweise zur Berechnung und Erstellung von Starkregengefahrenkarten in Hessen". Download unter: https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimprax/starkregen/Ausschreibungshilfe_Starkregen-Gefahrenkarten_Juni-2021.pdf

LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2020): Anhänge 1 a, b, c zum Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg. Karlsruhe, 134 Seiten. Download unter: <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/en/wasser/starkregenrisikomanagement>, Stand Juli 2020.

Lutz, W. (1984): Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Anwendung von Gebietskenngrößen. - Dissertation, Universität Karlsruhe.

Renger, M., Bohne, K., Facklam, M., Harrach, T., Riek, W., Schäfer, W., Wessolek, G. & Zacharias, S. (2008). Ergebnisse und Vorschläge der DBG-Arbeitsgruppe „Kennwerte des Bodengefüges“ zur Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte. - Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, AG Kennwerte des Bodengefüges; Oldenburg, Berlin.