

Kommunales Starkregenrisikomanagement für die Gemeinde Wehrheim

ERLÄUTERUNGSBERICHT DARMSTADT, IM MÄRZ 2023 PROJEKT 15218

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	II
1 Veranlassung und Zielsetzung	1
2 Ausgangslage	2
3 Datengrundlage	4
3.1 Topografie	4
3.2 Zusätzliche Vermessungen	5
3.3 Gewässernetz	5
3.4 Hydraulisch relevante Bauwerke / Gebäudebestand	6
3.5 Landnutzung	7
3.6 Niederschlagsereignisse	7
4 Software	9
4.1 Grundlagen der Modellierungssoftware	9
4.2 Rauheitsansatz	9
5 Modellaufbereitung und Optimierung	11
5.1 Grobanalyse und Gebietsaufteilung	11
5.2 Digitales Geländemodell	11
5.3 Modifikationen im Geländemodell	11
5.3.1 Höhenanpassungen in Baugebieten	11
5.3.2 Gebäude	12
5.3.3 Durchlässe und Verrohrungen	12
5.3.4 Brücken und Unterführungen	14
5.4 Niederschlagsbelastung und Effektivabfluss	15
5.4.1 Niederschlagsdaten und Modellszenarien	15
5.4.2 Oberflächenabflussbildung und Effektivabfluss	19
5.5 Modellränder und Kontrollquerschnitte	23
6 Modellberechnungen und Ergebnisexport	25
6.1 Parametrierung der Simulation	25
6.2 Überflutungsausdehnung /-tiefen und -geschwindigkeiten	26
6.3 Kontrollquerschnitte	26
6.4 Volumenbilanz	32
6.5 Abgleich mit abgelaufenen Ereignissen	35
7 Kartendarstellungen	36

8	Fazit und Ausblick	38
9	Literaturverzeichnis	39
10	Anlagen	40

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.1: Übersicht der Fließgewässer in Wehrheim	3
Abbildung 3.1: Screenshot der Gewässerlinien aus ALKIS (blau) mit verrohrten Abschnitten (braun)	6
Abbildung 3.2: Räumliche Auflösung der Datengrundlage zur Landnutzung im Bereich der Ortslage von Wehrheim	7
Abbildung 5.1: Gewässerverlaufslinien (blau) mit verrohrten Bereichen (braun) aus ALKIS	13
Abbildung 5.2: Längsschnitt der Geländehöhen entlang einer Straße mit Brücke	14
Abbildung 5.3: Gewähltes Niederschlagsereignis in der Originallage südwestlich von Wehrheim nahe Königsstein im Taunus	17
Abbildung 5.4: Aggregierte Maximalniederschlagshöhen der drei über Wehrheim verschobenen Niederschlagsszenarien	18
Abbildung 5.5: Luftbild Munitionslager	23
Abbildung 5.6: Gemarkungsgrenze (innere rote Linie), Simulationsgrenze (äußere rote Linie) und Darstellung der maximalen Überflutungstiefen	24
Abbildung 6.1: Kontrollquerschnitte für das Szenario Wehrheim	27
Abbildung 6.2: Durchflussganglinien Kontrollquerschnitte Szenario Wehrheim	28
Abbildung 6.3: Kontrollquerschnitte für das Szenario Obernhain	29
Abbildung 6.4: Durchflussganglinien Kontrollquerschnitte Szenario Obernhain	30
Abbildung 6.5: Kontrollquerschnitte für das Szenario Pfaffenwiesbach	32
Abbildung 6.6: Durchflussganglinien Kontrollquerschnitte Szenario Pfaffenwiesbach	32
Abbildung 7.1: Symbolisierung von Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten	36

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3.1-1: Eckdaten des Betrachtungsgebiets	2
Tabelle 3.1-1: Grundlagendaten der Gefährdungsanalyse	4

Tabelle 4.2-1: Übersicht Oberflächenrauheiten	10
Tabelle 5.4-1: Niederschlagsereignisse im Puffergebiet um Wehrheim, welche die Kriterien der Ausschreibungshilfe erfüllen	16
Tabelle 5.4-2: Interzeptionsverlustansatz klassifiziert nach Landnutzung	19
Tabelle 5.4-3: CN-Werte für die Berechnung des Effektivabflusses nach dem SCS-Verfahren.	20
Tabelle 5.4-4: Abflussbeiwerte nach dem SCS-Verfahren für eine Niederschlagshöhe von 100 mm, Vorbodenfeuchteklasse II und Bodentypen C und D	21
Tabelle 5.4-5: Auswertung der mittleren Abflussbeiwerte für Waldflächen für zwei Green-Ampt-Parametersätze	22
Tabelle 5.4-6: Green-Ampt-Parametersatz für unterschiedliche Flächentypen	22
Tabelle 6.1-1: Simulationsparameter	25
Tabelle 6.4-1: Volumenbilanz Szenario Wehrheim	33
Tabelle 6.4-2: Volumenbilanz Szenario Pfaffenwiesbach	33
Tabelle 6.4-3: Volumenbilanz Szenario Obernhain	34

1 VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG

Starkregenereignisse haben in ganz Deutschland erhebliche Schäden verursacht, zuletzt wurde das Thema im Kontext der verheerenden Fluten in Nordrhein-Westfalen und in Rheinland-Pfalz im Sommer 2021 der Öffentlichkeit und den kommunalen Entscheidungsträgern erneut schmerzhaft bewusst.

Die Gemeinde Wehrheim hat Dahlem Beratende Ingenieure mit der Erstellung von Starkregengefahrenkarten gemäß den Hinweisen zur Berechnung und Erstellung von Starkregengefahrenkarten in Hessen (Prof. Dr.-Ing. Ernesto Rodriguez, 2021) beauftragt. Starkregenrisikomanagement beinhaltet drei Hauptbausteine:

- Gefährdungsanalyse
- Risikoanalyse
- Handlungskonzept

In der Gefährdungsanalyse werden Starkregengefahrenkarten für mehrere Szenarien mit unterschiedlichen Niederschlagsbelastungen und Modellannahmen erstellt. Die Karten, sowie die begleitende Dokumentation, zeigen Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten auf der Oberfläche und bilden die Basis für nachfolgende Analysen.

Die Risikoanalyse bewertet die Ergebnisse der Gefährdungsanalyse und schärft den Blick durch die Ermittlung besonders vulnerabler Objekte. Ein wesentlicher Aspekt hierbei ist die Gebäudenutzung.

Das Handlungskonzept vervollständigt das Starkregenrisikomanagement (SRRM) durch Handlungsempfehlungen mit den Bausteinen Informationsvorsorge, kommunale Flächenvorsorge, Krisenmanagement, sowie der Konzeption baulicher Maßnahmen.

Im Zuge dieses Projekts wird zunächst die Erstellung der Starkregengefahrenkarten als maßgeblicher Bestandteil der Gefährdungsanalyse durchgeführt. Dieser Erläuterungsbericht stellt die wesentlichen Arbeitsschritte, von der verwendeten Datengrundlage, über Modelllaufbau und Herangehensweise bei den einzelnen Arbeitsschritten, bis hin zu den wesentlichen Ergebnissen, zusammen.

Urbane Sturzfluten sind durch kleine Gewitterzellen von wenigen Quadratkilometern charakterisiert. Dementsprechend fordert die Ausschreibungshilfe die Berechnung mit einem zeitliche und räumlich differenzierten mittels Radars gemessenen Ereignisses, welches eine Niederschlagshöhe von mindestens 100 mm innerhalb einer Stunde aufweist. Bei der Betrachtung werden sowohl Wasserstände auf der Oberfläche als auch in den Gewässern berücksichtigt. Die rein gewässerseitige Analyse von Überflutungen bei länger andauernden Niederschlägen wird durch die Erstellung von Hochwassergefahrenkarten untersucht, welche nicht Gegenstand dieser Betrachtung sind.

2 AUSGANGSLAGE

Wehrheim ist eine Gemeinde im Hochtaunuskreis in Hessen. Die wesentlichen Kennzahlen sind in Tabelle 3.1-1 zusammengestellt.

Tabelle 3.1-1: Eckdaten des Betrachtungsgebiets

Fläche der Gemarkung	38 km ²
Mittlere Höhe	354 m ü. NHN
Minimale Höhe	236 m ü. NHN
Maximale Höhe	637 m ü. NHN
Einwohner (Stand Dezember 2021)	9.308

Die Gemarkungsgrenze beinhaltet die Ortslagen Wehrheim, Pfaffenwiesbach, sowie Obernhain, Friedrichsthal, die Saalburgsiedlung und einige kleinere Höfe. Im Süden grenzt das Betrachtungsgebiet an den Taunus, der östliche und der westliche Teil der Gemarkung werden durch einen Höhenrücken hydrologisch voneinander getrennt. Der westliche Teil mit den Ortslagen Wehrheim und Obernhain entwässert über den Erlenbach in Richtung Südosten, der östliche Teil mit der Ortslage Pfaffenwiesbach entwässert in Richtung Norden über den Wiesbach. Ebenfalls im Norden grenzt der Holzbach an die Ortslage Friedrichsthal und entwässert dort parallel zum Wiesbach ebenfalls in Richtung Norden in die Usa (Abbildung 2.1).

In der Vergangenheit sind in der Gemeinde bereits Starkregenereignisse aufgetreten, die Gemeinde hat zu diesen Ereignissen jedoch keine Aufzeichnungen und keine Dokumentation. Im Hinblick auf die in der Gemeinde bereits gefallenen Regenereignisse ist somit auf Abschnitt 3.6 verwiesen, in welchem die RADKLIM-Daten des Deutschen Wetterdienstes systematisch statistisch für die Gemeindefläche ausgewertet werden.

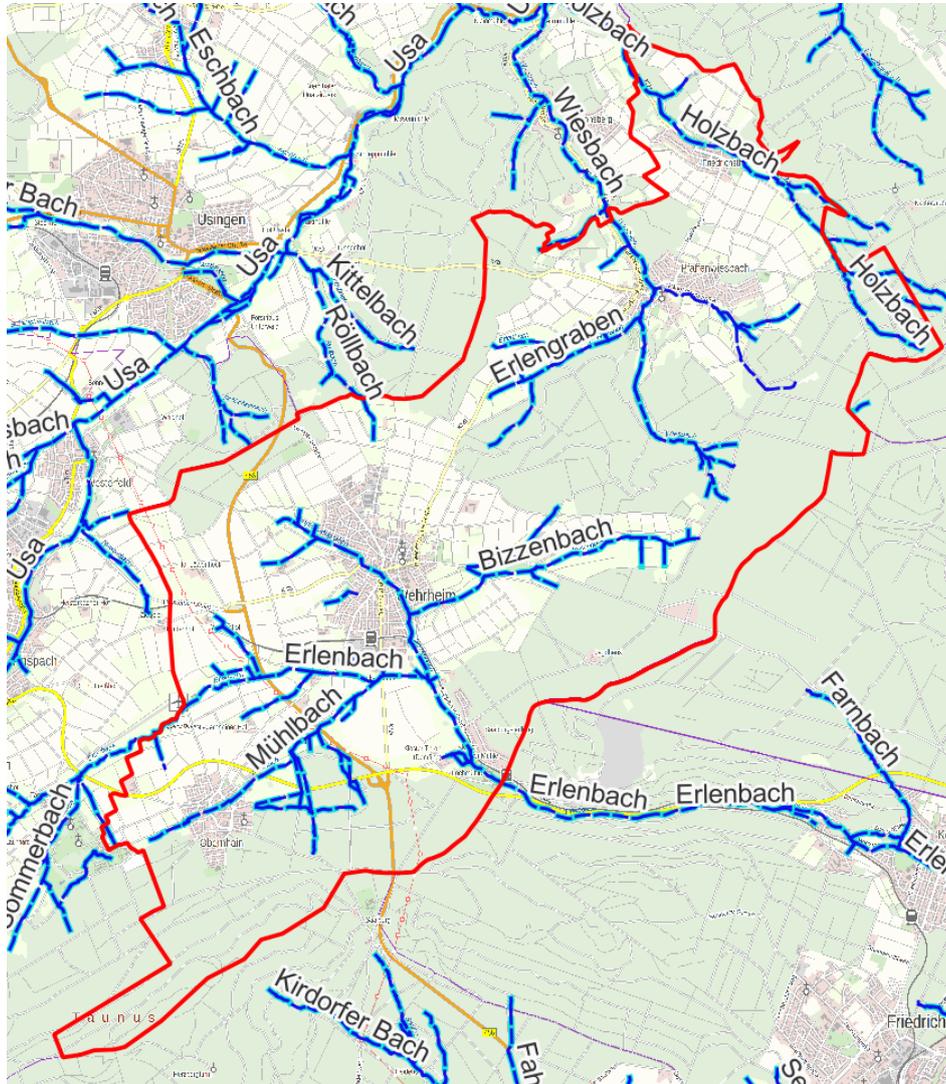


Abbildung 2.1: Übersicht der Fließgewässer in Wehrheim

3 DATENGRUNDLAGE

Geodaten wurde vom offenen Geodatenportal des Landes Hessen¹ heruntergeladen. Einige weitere Grundlagendaten wurden durch die Gemeinde Wehrheim zur Verfügung gestellt. Eine Übersicht über alle verwendeten Daten gibt Tabelle 3.1-1.

Tabelle 3.1-1: Grundlagendaten der Gefährdungsanalyse

Datensatz	Stand	Quelle
DGM 1m x 1m	2016 / 2017	Geoportal Hessen
Digitale Verwaltungsgrenzen (Stadtgrenzen, Gemeindegrenzen)	2022	Geoportal Hessen
Basis DLM	2022	Geoportal Hessen
ALKIS (NAS XML)	2022	Geoportal Hessen
LOD2 Gebäudemodell	2021	Geoportal Hessen
Bodenkarte BK50	2022	Geoportal Hessen
Openstreetmap Daten zur Visualisierung in Visdom	2022	Geofabrik
Bodenkarten	2022	HLNUG
CatRaRe Ereigniskatalog	2022	DWD
KOSTRA 2010R Starkregenauswertungen	2021	DWD
RADOLAN / RADKLIM YW Radardaten	2001-2021	DWD
Pläne RRB Gräfenbrunn	1998–2022	Wehrheim
Baugebiete Wehrheim Süd	2017–2022	Wehrheim

Die Geodaten wurden mit einem großzügigen Puffer heruntergeladen, sodass angrenzende Bereiche, welche in das Betrachtungsgebiet entwässern, ebenfalls mitberücksichtigt werden können.

3.1 TOPOGRAFIE

Das betrachtete Gebiet inklusive der umliegenden Bereiche weist Höhen von 236 bis 637 m auf und kann als topografisch mäßig bewegt beschrieben werden. Während in Wehrheim eher flache Bereiche vorliegen, existieren in Pfaffenwiesbach kleinere mit Gewässern

¹ https://gds.hessen.de/INTERSHOP/web/WFS/HLBG-Geodaten-Site/de_DE/-/EUR/viewDownloadcenter-Start

durchzogene Kerbtäler. Die Gemarkung wird ungefähr in der Mitte in Nord-Süd-Richtung topografisch durch einen Höhenrücken getrennt, wobei Wehrheim und Obernhain nach Süden, und Pfaffenwiesbach und Friedrichsthal nach Norden entwässern.

Das Modell wurde mit den frei verfügbaren Höhendaten aus dem offenen Geodatenportal Hessen aufgebaut. Das DGM hat hierbei eine Auflösung von 1 m x 1 m.

3.2 ZUSÄTZLICHE VERMESSUNGEN

Um das hydraulische Verhalten auf der Geländeoberfläche im Rahmen des Genauigkeitsanspruchs einer flächendeckenden gemeindeweiten Analyse korrekt abzubilden, wurde das Geländemodell an zahlreichen Stellen angepasst (siehe Abschnitt 5.3). Einfache Anpassungen wurden zum Beispiel auf Basis vorhandener Datensätze wie bestehenden Vermessungs- und Planunterlagen durchgeführt. Die Anpassungen des Geländemodells erforderte hierfür keine separaten Vermessungen.

An zahlreichen Durchlässen standen im Kanalinformationssystem keine Informationen zur Verfügung, sodass diese im Rahmen mehrerer Ortsbegehungen über eine vereinfachte ingenieurtechnische Messung mit dem Zollstock erfasst, sowie im GIS mit den vermessenen Werten, und über georeferenzierte Fotos dokumentiert wurden.

3.3 GEWÄSSERNETZ

Das Gewässernetz steht durch mehrere Datensätze aus ALKIS und ATKIS zur Visualisierung zur Verfügung. Die Gewässergeometrie ist über das DGM1 bereits ausreichend abgebildet, detailliertere Vermessungen liegen für die Verwendung im Rahmen dieses Projekts nicht vor. Die Durchgängigkeit der Abflusswege wurde im Bereich der Gewässer geprüft, und bei Erfordernis Anpassungen durch das Setzen von Durchlässen oder Verrohrungen durchgeführt.

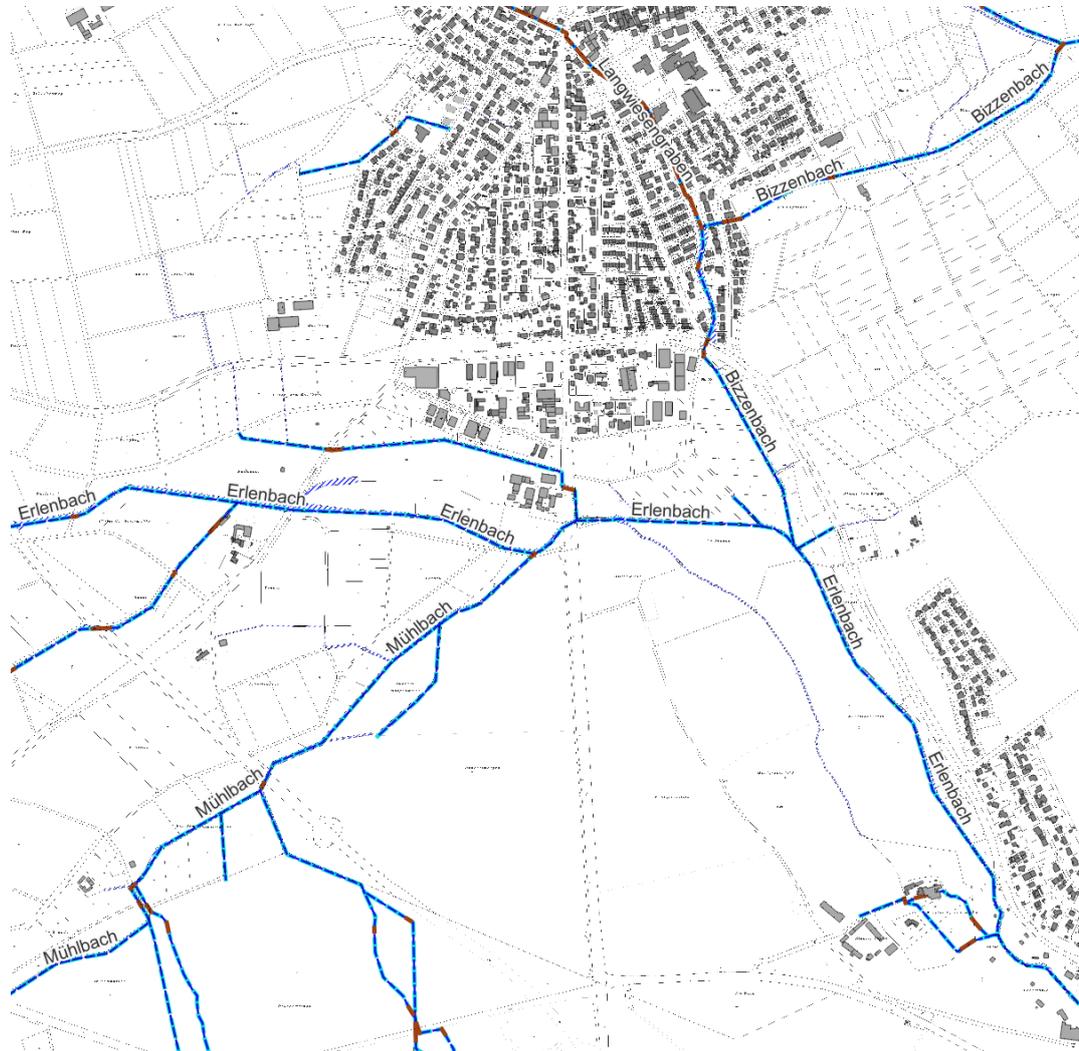


Abbildung 3.1: Screenshot der Gewässerlinien aus ALKIS (blau) mit verrohrten Abschnitten (braun)

3.4 HYDRAULISCH RELEVANTE BAUWERKE / GEBÄUDEBESTAND

Gebäudekubaturen wurden aus den ALKIS-XML-Daten übernommen. Dieser Datensatz verfügt über eine gute Aktualität und enthält neben der Gebäudegeometrie noch die Nutzungsdaten, welche für die spätere Risikoanalyse benötigt werden.

10 Durchfahrten in Gebäuden wurden ebenfalls aus den ALKIS-Daten extrahiert und der Gebäudedatensatz aktualisiert. Diese Durchfahrten sind im Modell demnach keine Fließhindernisse.

3.5 LANDNUTZUNG

Als Grundlage zur späteren Parametrierung von Rauheiten und Interzeption wurde die ALKIS-Landnutzung verwendet. Diese hat eine räumlich feinere Auflösung als das Basis-DLM und löst zum Beispiel innerhalb von Siedlungen Straßen und sonstige Siedlungsflächen separat auf. Auch bei Landwirtschaftsflächen sind Wege als eigenständig parametrisierte Flächen enthalten, wodurch eine realistischere Abbildung der Fließverhältnisse bei Außengebietszuflüssen über Feldwege erfolgt.

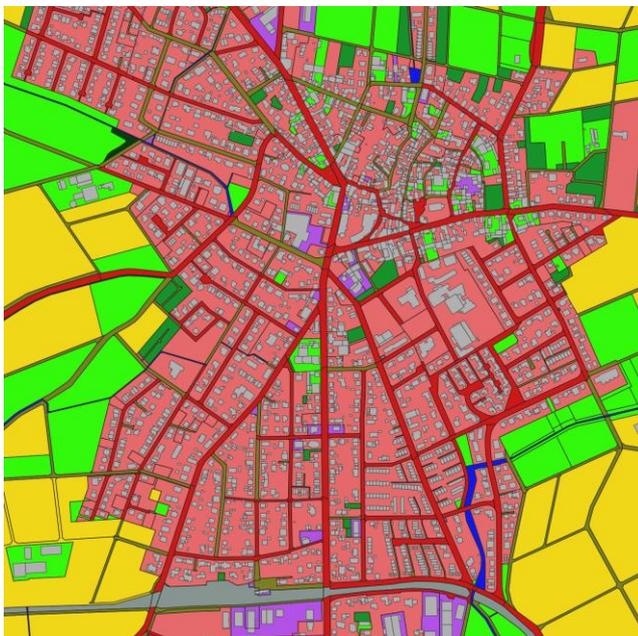


Abbildung 3.2: Räumliche Auflösung der Datengrundlage zur Landnutzung im Bereich der Ortslage von Wehrheim

Die Zuweisung der Landnutzungsklassen zu Rauheitswerten ist in Abschnitt 4.2 beschrieben.

3.6 NIEDERSCHLAGSEREIGNISSE

Der Deutsche Wetterdienst stellt seit einigen Jahren Radarprodukte als OpenData bereit, das Land Hessen sieht die Nutzung dieser Daten als Niederschlagsbelastungen für die Erstellung der Starkregengefahrenkarten vor.

Im Zuge des KLIMPRAX Starkregen-Projekts hat das HLNUG gemeinsam mit der Hochschule Rhein-Main Tools zur einfacheren Nutzung und Aufbereitung der Daten entwickelt, und statistische Auswertungen über die Eigenschaften ausgesuchter Starkregenereignisse in Hessen im Zeitraum 2006 bis 2014 auf Basis von RADOLAN-Daten durchgeführt².

² <https://www.hlnug.de/themen/klimawandel-und-anpassung/projekte/siedlungsraeume/klimprax-starkregen/projektresultate/nutzung-radar-daten>

Die Radarniederschläge stehen mittlerweile in dem weiterentwickelten RADKLIM Datenformat vor, welches mehrere Verbesserungen und Reprozessierungsläufe, und auch Datensätze bis zum Jahr 2021 enthält (Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie, 2018). Darüber hinaus hat der Deutsche Wetterdienst eine eigene Ereignisdatenauswertung auf Basis von RADKLIM-Stundenwerten entwickelt, und diese unter dem Namen CatRaRe veröffentlicht³.

Die Ereignisbewertung von KLIMPRAX scheidet aufgrund der begrenzten Auswertung bis 2014, sowie aufgrund der Nutzung der älteren RADOLAN Daten, an Stelle der verbesserten RADKLIM-Datengrundlage für eine weitergehende Analyse aus, die neue Auswertung CatRaRe hat diese Einschränkungen zwar nicht, basiert jedoch auf Stundensummen. Die Auswertung von maximalen Niederschlagshöhen ist bei Nutzung dieser Datenbasis gerade bei kurzen Niederschlagsereignissen, wie den hier zu untersuchenden Starkregen, mit gewissen Unsicherheiten behaftet.

Daher wurde für dieses Projekt eine eigenständige und vollumfängliche statistische Auswertung aller verfügbaren aktuellen RADKLIM-YW Daten durchgeführt. Die genaue Vorgehensweise ist in Abschnitt 5.4.1 beschrieben.

³ <https://www.dwd.de/DE/leistungen/catrare/catrare.html>

4 SOFTWARE

4.1 GRUNDLAGEN DER MODELLIERUNGSSOFTWARE

Die hydrodynamischen Simulationen erfolgen mit der Software Visdom⁴ der österreichischen Forschungs-GmbH VrVis in der Version 22.53.19. Die Software ist durch folgende Charakteristiken gekennzeichnet:

- Lösung der vollwertigen Saint-Venant-Flachwasserwellengleichungen ohne Vernachlässigung einzelner Gleichungsterme
- Berücksichtigung fließtiefenabhängiger Rauheiten
- Integrierte Modellansätze für Interzeption und Infiltration
- Berücksichtigung von Gebäudekubaturen als Fließhindernisse
- Modellelemente zur Berücksichtigung kürzerer Durchlässe
- Längere verrohrte Elemente werden als Haltungs- und Schachtelemente implementiert. Hierfür ist der hydrodynamische SWMM⁵ Rechenkern integriert (duale Simulation)

4.2 RAUHEITSANSATZ

Das Abflussverhalten auf der Oberfläche wird neben dem Gefälle auch durch die Rauheit der Oberfläche selbst beeinflusst. Eine asphaltierte Straße ist hydraulisch „glatt“, während sich eine bewaldete Fläche hydraulisch „rau“ verhält und so die Fließgeschwindigkeiten je nach Oberfläche stark unterscheiden.

In der verwendeten Modellsoftware Visdom kommt der Rauheitsansatz nach Strickler zur Anwendung. Dabei wird nach dem Stand der Technik mit überflutungstiefenabhängigen Rauheitswerten gerechnet.

⁴ <https://www.vrvis.at/produkte-loesungen/visdom>

⁵ <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>

Tabelle 4.2-1: Übersicht Oberflächenrauheiten

Klasse	Nutzungstyp	Rauheit nach Gauckler-Manning-Strickler $k_{st} [m^{(1/3)}/s]$	
		Dünnsfilm bis 2 cm	ab 10 cm
Ackerland	Ackerland	12	24
Gartenland	Gartenland, Obstplantage, Gärtnerei, Kleingarten	6	12
Wald, Gehölz	Laubwald, Nadelwald, Laub- und Nadelwald, Gehölz	6	12
Grünland	Grünland, Moor, Sumpf, Unland, Vegetationslose Fläche, Freizeitanlage, Golfplatz, Grünanlage, Modellflugplatz, Sport-Freizeit und Erholung, Wildpark, Freilichtmuseum	10	20
Siedlungsfläche	Flächen besonders funktionaler Prägung, Campingplatz, Festplatz, Friedhof, Fußgängerzone, Gemischte Nutzung, Parkplatz, Platz, Rastplatz, Schwimmbad, Sportanlage, Wohnbaufläche, Ferienhausfläche	10	20
Gewässer	Fließgewässer, Stehgewässer	25	25
Straße, Weg (Asphalt)	Straßenverkehr, Verkehrsbeleitfläche	50	50
Bahn	Bahnverkehr, Verkehrsbeleitende Bahnfläche	10	20
Flug	Flugverkehr	12	24
Industrieanlagen	Abfallbehandlung, Heizwerk, Industrie u. Gewerbe	40	40
Industrie Freiflächen	Deponie, Halde, Kläranlage, Kraftwerk, Umspannwerk, Wasserwerk, Tagebau	15	30

5 MODELLAUFBEREITUNG UND OPTIMIERUNG

5.1 GROBANALYSE UND GEBIETSAUFTEILUNG

In einem ersten Arbeitsschritt wurde eine großflächige Grobanalyse mit SplashTool_GPU⁶ durchgeführt. Die Analyse identifiziert die großräumigen Abflusspfade (Fließwege), sowie abflusslose Geländesenken auf Basis des unplausibilisierten digitalen Geländemodells (DGM) und hilft somit bei der Abgrenzung des Einzugsgebietes und dem nachfolgenden Grob screening. Die Datei Wehrheim_Splash_Analyse.pdf zeigt die hierbei erstellten Zwischenergebnisse. Das Betrachtungsgebiet für die nachfolgende hydrodynamische Analyse wurde so angesetzt, dass das komplette Gebiet der Gemarkung inklusive aller Zuflüsse enthalten ist.

Technisch gesehen ist eine Aufteilung des Gebiets in Teilmodelle nicht erforderlich, aufgrund des im späteren Abschnitt 5.4.1 dargestellten Niederschlags wurde das Betrachtungsgebiet jedoch grob in zwei Teile aufgeteilt: Der südwestliche Bereich mit Wehrheim im Zentrum sowie der nordöstliche Bereich mit Pfaffenwiesbach im Zentrum. Die Gebietsdefinition erfolgt mit einem großen Überlappungsbereich der Gebiete in den Rechenläufen, im Zuge der Ergebnisaufbereitung werden später die Berechnungsergebnisse aus beiden Rechenläufen durch Ermittlung der Maximalwerte aggregiert (siehe Abschnitt 7).

Die Gemarkungsgrenze beinhaltet eine Fläche von 38 km². Das durch die Grobanalyse abgegrenzte und letztendlich für die hydrodynamische Berechnung verwendete Gebiet ist mit einer Flächengröße von 59 km² ca. 55% größer als die Gemarkung.

5.2 DIGITALES GELÄNDEMDELL

Das digitale Geländemodell wurde unter Zuhilfenahme der Splash Analyse detailliert untersucht. Hierbei wurden die Abflusswege und die abflusslosen Geländesenken im GIS visuell und über Tools wie zum Beispiel Schummerungen, Längsschnitte, Luftbilder, sowie durch Abgleich mit weiteren vorhandenen Geodaten wie zum Beispiel Durchlässen detailliert plausibilisiert. Der Großteil der Anpassungen betraf Durchlässe und Verrohrungen, welche in Abschnitt 5.3.3 beschrieben werden.

Für die spätere Berechnung werden Gebäudekubaturen als Fließhindernisse definiert, diese sind nicht in das Geländemodell eingebracht, sondern werden von der Software „on the fly“ berücksichtigt. Die Auflösung des DGM beträgt sowohl in der Bearbeitungs- und Plausibilisierungsphase als auch in den späteren Rechenläufen 1 m x 1 m.

5.3 MODIFIKATIONEN IM GELÄNDEMDELL

5.3.1 Höhenanpassungen in Baugebieten

Neben Durchlässen und Verrohrungen gab es im Süden von Wehrheim (Straße „am Erlenbach“) Grundstücke, bei welchen aufgrund von Baumaßnahmen die Geländehöhen nicht mehr dem aktuellen Stand entsprachen. Für diese wurden Planunterlagen von Wehrheim

⁶ <https://www.splashtool.de/>

zur Verfügung gestellt und von Dahlem im Modell aktualisiert. Darüber hinaus beinhaltet das Geländemodell noch eine Baugrube am Grundstück „am Heselweg 14“, welche jetzt nicht mehr besteht. Das Geländemodell wurde in diesem Bereich unter Berücksichtigung der umliegenden Bestandshöhen aufgefüllt.

5.3.2 Gebäude

10 Durchfahrten in Gebäuden wurden aus den ALKIS-Daten extrahiert und der Gebäudedatensatz aktualisiert. Diese Durchfahrten sind im Modell demnach keine Fließhindernisse. Darüber hinaus wurde der Gebäudedatensatz auch in den Baugebieten entsprechend der Planungsdaten angepasst.

5.3.3 Durchlässe und Verrohrungen

Als Grundlage für die Lokalisierung von Durchlässen und Verrohrungen wurden im GIS mehrere Datensätze analysiert. Ein wichtiger Datensatz hierfür ist der ALKIS-Datensatz, welcher linienhafte Gewässerverläufe enthält und die meisten verrohrten Abschnitte als „Bauwerk im Gewässerbereich“ ausweist.



Abbildung 5.1: Gewässerverlaufslinien (blau) mit verrohrten Bereichen (braun) aus ALKIS

Als zweite Datengrundlage wurden die Fließpfade der Splash-Analyse untersucht und dort potenzielle Bereiche mit Durchlässen identifiziert. Diese wurden im Rahmen der Ortsbegehungen ebenfalls besichtigt und bei Bedarf wurden Durchlässe im Simulationsmodell ergänzt.

Mehrere längere Verrohrungen sind in ALKIS nicht als Verrohrungen dargestellt. Für diese Elemente stellte die Gemeinde Wehrheim Ausschnitte aus der Kanaldatenbank für die Abbildung der räumlichen Lage und der Querschnittsgeometrie im Simulationsmodell zur Verfügung. Für die Verrohrungen lagen in der Regel keine Sohlhöhen vor, sodass hierfür Annahmen getroffen wurden.

Einzelne kleine Durchlässe in bewaldeten Gebieten fernab von Siedlungsbereichen wurden als hydraulisch verlegt angenommen. Diese Durchlässe werden in der Regel nicht gereinigt und ein verlegter Zustand entspricht somit eher der Realität. Die restlichen Durchlässe und Verrohrungen wurden sofern keine anderen expliziten Erkenntnisse der Gemeinde vorlagen als hydraulisch wirksam angenommen.

Kürzere Durchlässe wurden in Visdom durch ein „Culvert“ Element abgebildet. Längere Verrohrungen wurden als Schächte (junctions) und Haltungen (conduits) implementiert. Diese werden über den dualen Ansatz als hydrodynamische Kanalnetzelemente mit bidirektionalem Austausch mit der Oberfläche synchron zum Oberflächenabflussmodell mitberechnet.

5.3.4 Brücken und Unterführungen

Brücken und Unterführungen können fehlerhafte Höhendaten enthalten. Daher wurden die Verläufe größerer Straßen gezielt auf Brücken und Unterführungen untersucht und die dort vorliegenden Höhendaten geprüft. Abbildung 5.2 zeigt einen Längsschnitt der Geländehöhen entlang einer Straße, welche von einer Brücke gequert wird. In der Darstellung der Geländeschummerung (Bild oben rechts) sind leichte Interpolationsartefakte im Bereich der Brücke an der rechten und linken Böschungskante zu erkennen. Wichtig ist jedoch, dass die Artefakte die Höhen nicht so verändern, dass die Durchgängigkeit von Fließpfaden beeinträchtigt wird. Der Längsschnitt unten zeigt, dass aufgrund der Artefakte zwar eine leichte Höhenänderung vorliegt, diese jedoch kein Fließhindernis darstellt. Die Änderung tritt zudem nur an den Randbereichen der Straße und nicht über die gesamte Breite auf. Im Sinne der vorliegenden Betrachtung ist daher in diesem Fall eine Vermessung und eine Anpassung der Höhendaten an dieser Stelle nicht erforderlich. Weitere Brücken wurden auf analoge Weise geprüft.

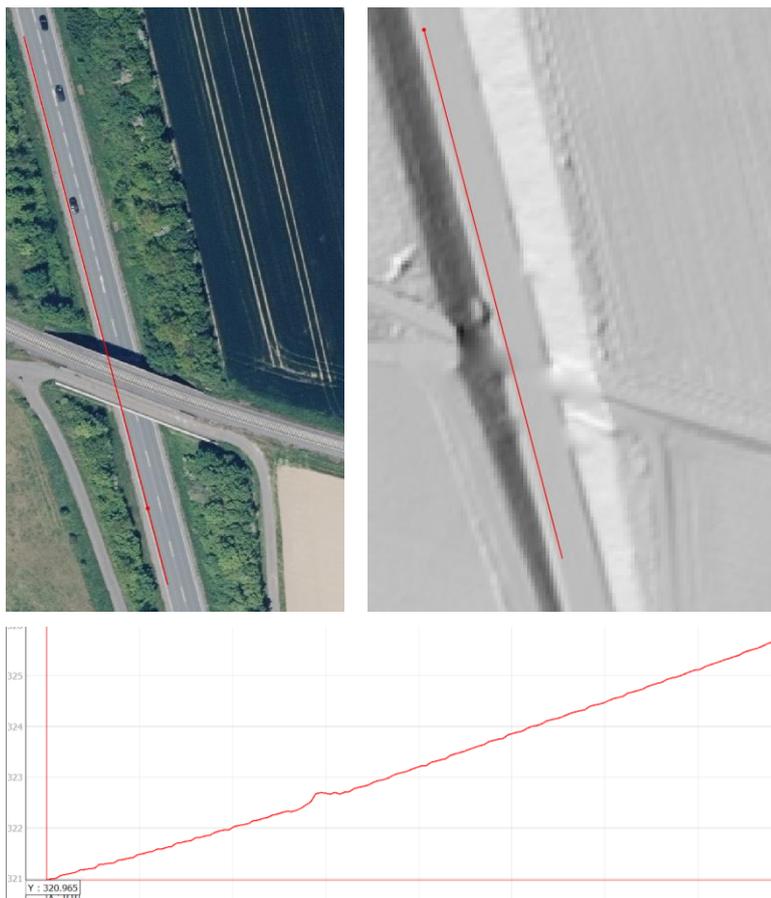


Abbildung 5.2: Längsschnitt der Geländehöhen entlang einer Straße mit Brücke

5.4 NIEDERSCHLAGSBELASTUNG UND EFFEKTIVABFLUSS

5.4.1 Niederschlagsdaten und Modellszenarien

Die RADKLIM-Daten wurden systematisch über den gesamten verfügbaren Zeitraum ausgewertet und Ereignisse vorgefiltert:

- Umwandlung der Daten von Polarkoordinaten in ein UTM-Koordinatensystem
- Clip auf das Betrachtungsgebiet
- Bildung der 25-Stunden-Summe als Tagessumme plus 1 h des Folgetages, um sicherzustellen, dass Niederschlagsereignisse, welche über Mitternacht stattfinden, auch sicher gefunden werden
- Wenn die 25-Stunden-Summe eine maximale Niederschlagshöhe von mindestens 40 mm ausweist, wird für diesen 25-Stunden Zeitraum eine detailliertere Analyse durchgeführt. Somit werden zunächst auch Ereignisse gefunden, die deutlich geringer ausfallen als die vom Leitfaden vorgegebenen 100 mm in einer Stunde. Die Auswertung wird dennoch so durchgeführt, um ein akkurates Gesamtbild der historischen stärkeren über RADKLIM erfassten Regen im Betrachtungsgebiet zu erhalten.
- Die maximalen und mittleren Niederschlagshöhen werden für den Zeitraum von 25 h mit der Dauerstufe von 1 h „rollierend“ ausgewertet, das heißt es wird die Summe von 00:00 – 01:00, von 00:05 – 01:05, von 00:10 – 01:10 etc. gebildet und die jeweilige maximale und mittlere Niederschlagsintensität ausgewertet. Hierdurch wird innerhalb des 25h Zeitraums der Zeitraum mit der höchsten 1h-Intensität identifiziert
- Alle so identifizierten Treffer werden als relevante Niederschläge in eine Ergebnisdatei geschrieben

Die so identifizierten Niederschläge wurden mit ihren maximalen Niederschlagshöhen, ihren räumlich aufs Einzugsgebiet bezogenen mittleren Niederschlagshöhen, und der Niederschlagsdauer tabellarisch aufbereitet und ausgewertet (Siehe Anlage A.2). Die Auswertung zeigt, dass es in Wehrheim in den letzten 20 Jahren drei Ereignisse gab, welche mit maximalen Niederschlagshöhen von 41 mm, 42 mm und 49 mm zwar die Schwelle von 40 mm in einer Stunde überschreiten, jedoch nicht die von der Ausschreibungshilfe geforderten 100 mm in einer Stunde. Da die Werte deutlich von den geforderten Niederschlagshöhen entfernt sind, wurde dieselbe Auswertung mit einem erweiterten Betrachtungsbereich von 50 km Puffer um die Gemeindegrenze erneut durchgeführt (siehe Anlage A.3). Die Auswertung ergibt in einem Radius von 50 km um die Gemarkungsgrenze 6 Niederschlagsereignisse, welche das Kriterium der Ausschreibungshilfe von mindestens 100 mm in einer Stunde erfüllen (Tabelle 5.4-1).

Tabelle 5.4-1: Niederschlagsereignisse im Puffergebiet um Wehrheim, welche die Kriterien der Ausschreibungshilfe erfüllen

day	25h rain_max	25h rain_mean	time of 60 min max	60 min max max	time of 60 min mean max
31.05.2003 00:00	113,27	11,4	31.05.2003 12:25	108,42	31.05.2003 12:10
07.08.2004 00:00	116,48	5,24	07.08.2004 14:25	116,44	07.08.2004 14:50
25.08.2006 00:00	232,28	6,86	25.08.2006 13:10	207,59	25.08.2006 13:10
10.06.2007 00:00	140,5	6,76	10.06.2007 16:45	109,67	10.06.2007 17:00
08.10.2009 00:00	105,09	1,23	08.10.2009 10:50	101,65	08.10.2009 10:20
20.09.2014 00:00	104,94	8,94	20.09.2014 11:45	100,07	20.09.2014 18:10

Diese Ereignisse wurden über Videoanimationen visualisiert und in einem gemeinsamen Termin von Dahlem mit der Stadt Wehrheim diskutiert. Hierbei haben die Stadt und Dahlem Beratende Ingenieure auf das Ereignis am 31.05.2003 mit folgenden Gründen als das relevanteste Ereignis gewählt:

- Räumliche Nähe zu Wehrheim: Wehrheim selbst war vom selben Ereignis betroffen, jedoch lag der Intensitätsschwerpunkt südwestlich von Wehrheim
- Die Zugrichtung kommend von Nordwesten in Richtung Südosten ist aufgrund der Topografie des Taunus südlich von Wehrheim das aus Sicht der Stadt kritischste und relevanteste Szenario

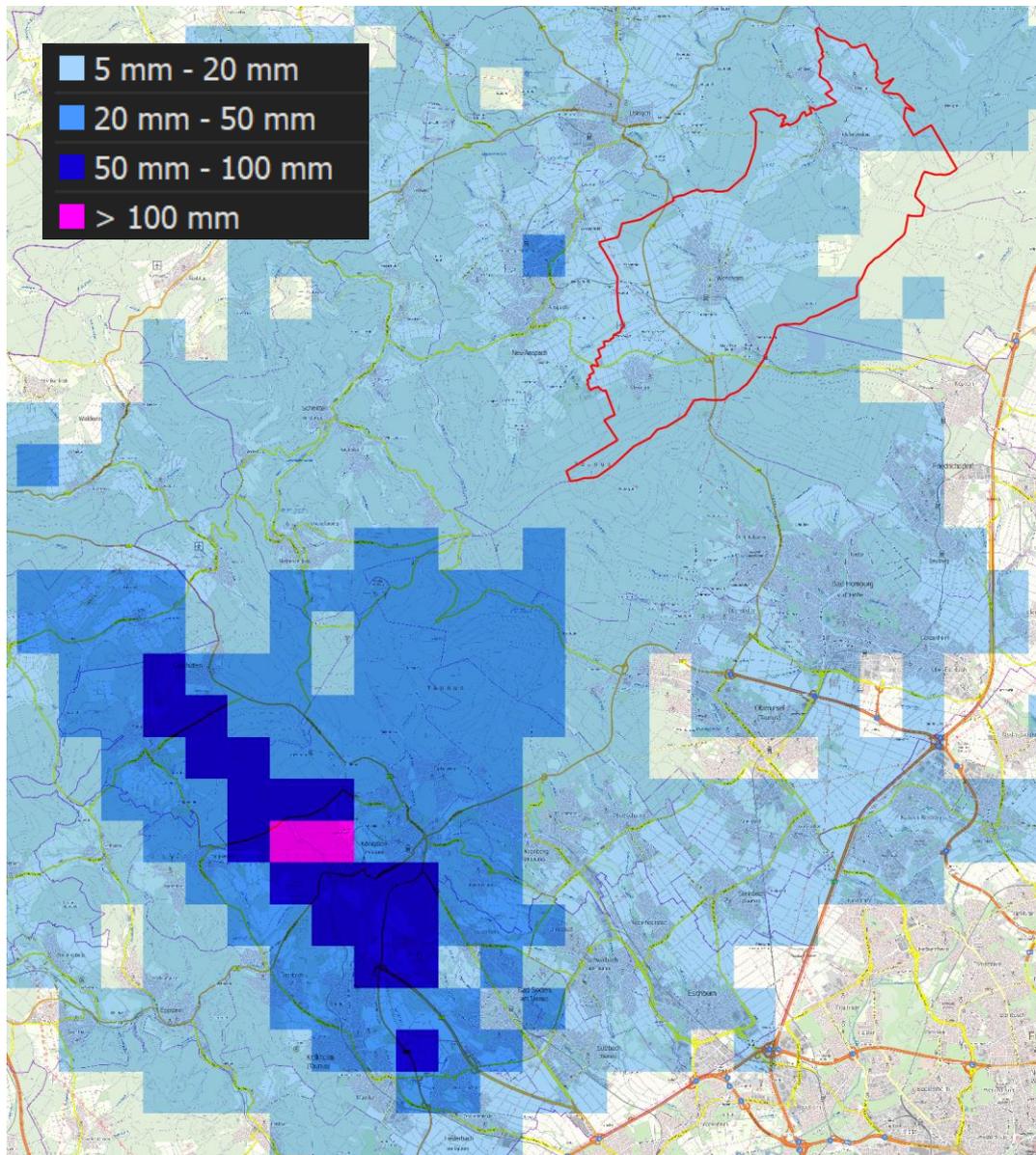


Abbildung 5.3: Gewähltes Niederschlagsereignis in der Originallage südwestlich von Wehrheim nahe Königsstein im Taunus

Das Niederschlagsereignis vom 31.05.2003 nahe Königsstein im Taunus wurde somit als relevantes Niederschlagsereignis gewählt. Es hat in seinen höchsten Intensitäten eine räumlich kleinere Ausdehnung als das Betrachtungsgebiet. Bei der Berechnung des Gesamtgebiets mit dieser Niederschlagsbelastung über dem Gebietszentrum würden somit zwangsweise einige Bereiche mit sehr hohen Niederschlägen beaufschlagt, wohingegen andere Teilbereiche nur mit sehr geringen Niederschlagshöhen belastet würden. Die daraus resultierenden örtlichen Starkregengefahren wären somit in wesentlichem Maße von der Niederschlagswahl und der genauen Platzierung des Niederschlags abhängig. Um

diesem Effekt entgegenzuwirken, wurde der Niederschlag mehrmals verschoben und in drei Szenarien auf das Betrachtungsgebiet gegeben, einmal mit dem Zentrum über der Ortslage von Wehrheim, sowie jeweils mit dem Zentrum über den Ortslagen von Pfaffenwiesbach und Obernhain. Die in den Ergebniskarten dargestellten Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten sind die durch Maximalwertbildung aggregierten Berechnungsergebnisse aus den berechneten Szenarien.

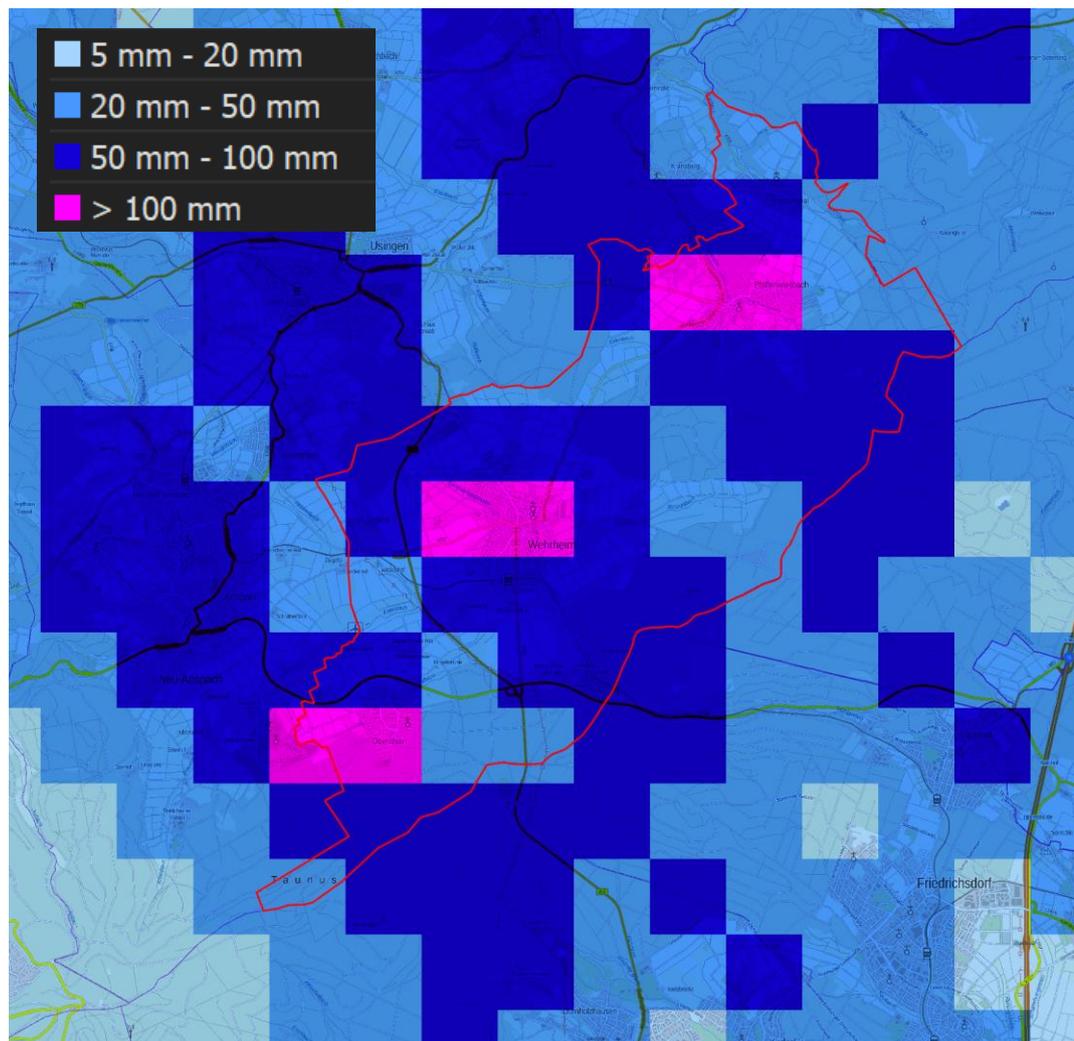


Abbildung 5.4: Aggregierte Maximalniederschlagshöhen der drei über Wehrheim verschobenen Niederschlagsszenarien

5.4.2 Oberflächenabflussbildung und Effektivabfluss

Wesentliche Faktoren bei der Oberflächenabflussbildung sind Interzeption und Infiltration. **Interzeption** beschreibt den Anteil des Niederschlags, welcher von Vegetation zurückgehalten wird und nicht zum Effektivabfluss beiträgt. Als Datengrundlage für die räumlich differenziert angesetzten Interzeptionsverluste dient erneut die hochaufgelöste ALKIS-Landnutzung. Interzeptionsverluste werden in Visdom über zwei Parameter berechnet: Die Kapazität in mm, sowie die lineare Interzeptionsrate in mm pro Stunde. Die Kapazität beschreibt die maximal durch Interzeption zurückgehaltene Wassermenge. Bei einer Interzeptionsrate von 20 mm pro Stunde und einer Kapazität von 5 mm wäre die Kapazität beispielsweise nach 15 min ausgereizt. Übersteigt die aktuelle Niederschlagsrate die Interzeptionsrate, so tritt Oberflächenabfluss auch dann auf, auch wenn die Kapazität noch nicht erschöpft ist.

Tabelle 5.4-2: Interzeptionsverlustansatz klassifiziert nach Landnutzung

Klasse	Nutzungstyp	Interzeption	
		Kapazität [mm]	Rate [mm/h]
Ackerland	Ackerland	1	18
Wald, Gehölz	Laubwald, Nadelwald, Laub- und Nadelwald, Gehölz	5	36
Grünland	Grünland, Moor, Sumpf, Unland, Vegetationslose Fläche, Freizeitanlage, Golfplatz, Grünanlage, Modellflugplatz, Sport-Freizeit und Erholung, Wildpark, Freilichtmuseum	5	36
Siedlungsflächen mit Freiflächenanteil	Flächen besonders funktionaler Prägung, Campingplatz, Festplatz, Friedhof, Gemischte Nutzung, Platz, Rastplatz, Schwimmbad, Sportanlage, Wohnbaufläche, Ferienhausfläche	1	18
Sonstige Flächen, z.B. Gewässer, Straße, Weg, Bahn, Flugverkehr, Industrie		0	0

Im Simulationsmodell Visdom wird für die **Infiltration** der integrierte Versickerungsansatz nach Green-Ampt verwendet. Dabei wird das Infiltrationsvermögen des Bodens anhand verschiedener Parameter (Saugspannung, Porosität, hydraulische Leitfähigkeit und Zeit) ermittelt. Das Modell ermöglicht einen integrierten Versickerungsansatz, welcher die Versickerung zeitlich und räumlich differenziert für jede Rasterzelle berechnet. Diese Heran-

gehensweise ist deutlich detaillierter und realistischer als ein pauschaler Ansatz eines Abflussbeiwerts, da der Abzug nicht pauschal von der Niederschlagshöhe erfolgt, sondern die Infiltrationskapazität und den zeitlichen Verlauf für jede Rasterzelle berücksichtigt.

Für die Analyse der vorwiegenden Bodenarten wurden Bodenkarten des HLNUG gesichtet. Die Karte zu den Bodenhauptgruppen (BFD50), sowie die Bodenflächendaten Hessen für landwirtschaftliche Nutzung (BFD5L) weisen für das Betrachtungsgebiet vorwiegend **Lehmböden**, sowie **sandige Lehmböden** auf.

Die hessische Ausschreibungshilfe sieht für die Prozesse Infiltration und Interzeption keine getrennten Modellansätze vor, sondern den Ansatz eines Effektivabflussbeiwerts nach dem SCS-Verfahren. Hierbei wird nach Landnutzung und Bodenart ein ereignisabhängiger Effektivabflussbeiwert berechnet. Um die anzusetzenden Green-Ampt-Parameter zu plausibilisieren, werden zunächst die Effektivabflussbeiwerte nach dem SCS-Verfahren für das vorliegende Gebiet für einen Niederschlag von 100 mm berechnet. Für den SCS-Ansatz wird von der Bodenfeuchteklasse II ausgegangen (mittlere Bodenfeuchte). Die vorherrschenden Bodentypen im Betrachtungsgebiet entsprechen den Klassen **C** und **D**.

Tabelle 5.4-3: CN-Werte für die Berechnung des Effektivabflusses nach dem SCS-Verfahren.

Bodenfeuchteklasse	Niederschlagshöhe in den vorangegangenen 5 Tagen in mm	Vegetations- übrige Zeit
I	< 30	< 15
II	30 – 50	15 – 30
III	> 50	> 30

- Bodentyp A: Böden mit großem Versickerungsvermögen, auch nach starker Vorbefeuchtung, z. B.: tiefe Sand- und Kiesböden.
- Bodentyp B: Böden mit mittlerem Versickerungsvermögen, tiefe bis mäßig tiefe Böden mit mäßig feiner bis mäßig grober Textur, z. B.: mitteltiefe Sandböden, LÖB, (schwach) lehmiger Sand.
- Bodentyp C: Böden mit geringem Versickerungsvermögen, Böden mit feiner bis mäßig feiner Textur oder mit wasserstauender Schicht, z. B.: flache Sandböden, sandiger Lehm.
- Bodentyp D: Böden mit sehr geringem Versickerungsvermögen, Tonböden, sehr flache Böden über nahezu undurchlässigem Material, Böden mit dauernd sehr hohem Grundwasserspiegel.

Bodennutzung	CN für Bodentyp			
	A	B	C	D
Ödland (ohne nennenswerten Bewuchs)	77	86	91	94
Hackfrüchte, Wein	70	80	87	90
Wein (Terrassen)	64	73	79	82
Getreide, Futterpflanzen	64	76	84	88
Weide (normal)	49	69	79	84
(karg)	68	79	86	89
Dauerwiese	30	58	71	78
Wald (stark aufgelockert)	45	66	77	83
(mittel)	36	60	73	79
(dicht)	25	55	70	77
Undurchlässige Flächen (versiegelter Anteil von Ortschaften, Straßen usw.)	100	100	100	100

Mit den entsprechenden CN-Werten ergeben sich mit der Formel für das SCS-Verfahren die in Tabelle 5.4-4 dargestellten Effektivabflussbeiwerte.

Tabelle 5.4-4: Abflussbeiwerte nach dem SCS-Verfahren für eine Niederschlagshöhe von 100 mm, Vorbodenfeuchteklasse II und Bodentypen C und D

Landnutzung (SCS)	Bodentyp	CN [-]	N_{eff} [mm]	N_{verlust} [mm]	Ψ [-]
Wald (mittel)	C	73	48	52	48%
	D	79	57	43	57%
Wiese	C	71	45	55	45%
	D	78	55	45	55%
Acker	C	84	65	35	65%
	D	88	73	27	73%
Versiegelte Flächen	A - D	100	100	0	100%

Anschließend wurden mehrere Testrechenläufe mit verschiedenen Green-Ampt-Parametern durchgeführt. Tabelle 5.4-5 zeigt eine Ermittlung der Effektivabflussbeiwerte für zwei Green-Ampt-Parametersätze für die Landnutzung Wald und mit typischen Werten für die Bodenarten Lehm (Parametersatz 1) und sandiger Lehm (Parametersatz 2). Die infiltrierte Wassermenge in mm wurde nach Ende der Simulation als Ergebnisdatensatz aus Visdom exportiert und über ein GIS räumlich ausgewertet. Die Änderung der Parameter führt zu einer Differenz der Infiltration von 36 mm – 17 mm = 19 mm, wogegen die Interzeptionsverluste der verschiedenen Landnutzungen sich in den Bereichen von 0 mm bis 5 mm bewegen (siehe Tabelle 5.4-2). Dementsprechend haben die Infiltrationsparameter in Visdom einen höheren Einfluss auf den Abflussbeiwert als die Interzeptionsparameter.

Tabelle 5.4-5: Auswertung der mittleren Abflussbeiwerte für Waldflächen für zwei Green-Ampt-Parametersätze

Parameter-satz	hydr. Leitfähigkeit [mm/h]	Saugspannung [mm]	Po-rosi-tät	h_n [mm]	$h_{infiltration}$ [mm]	Inter-zeption [mm]	$h_{Verlust}$ [mm]	Ψ
1	3,312	88,9	0,31	100	17	5	22	78%
2	10,87	110	0,33	100	36	5	41	59%

Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Kommunen zu gewährleisten, sollten die Parameter so gewählt werden, dass die effektiven Abflussbeiwerte aus der Kombination von Interzeption und Infiltration einen ähnlichen Gesamteffekt erzielen, wie der vereinfachte SCS-Ansatz. Differenzen in der Landnutzung sind nicht allein durch Anpassung der Interzeption möglich, da hierdurch lediglich max. 5 mm an Differenz erzeugt werden können. Daher werden neben der unterschiedlichen Interzeption auch die Green-Ampt-Parameter je nach Landnutzung differenziert (Tabelle 5.4-6).

Tabelle 5.4-6: Green-Ampt-Parametersatz für unterschiedliche Flächentypen

Klasse	Nutzungstyp	Green-Ampt-Parametersatz
Ackerland	Ackerland	1
Wald, Gehölz	Laubwald, Nadelwald, Laub- und Nadelwald, Gehölz	2
Grünland	Grünland, Moor, Sumpf, Unland, Vegetationslose Fläche, Freizeitanlage, Golfplatz, Grünanlage, Modellflugplatz, Sport-Freizeit und Erholung, Wildpark, Freilichtmuseum	1
Versiegelte Flächen		Keine Verluste

Mit dieser Parametrierung, welche sich in den Bereichen der vorherrschenden Bodenarten befindet, werden Abflussbeiwerte erreicht, welche den über das SCS-Verfahren ermittelten Beiwerten nahekommen. Die hier angesetzten Abflussbeiwerte sind etwas höher, als die im SCS-Verfahren ermittelten Werte und liegen somit tendenziell auf der sicheren Seite.

Versiegelte Flächen werden entsprechend der Ausschreibungshilfe als 100% abflusswirksam angenommen, dementsprechend findet auf Ihnen weder Interzeption noch Infiltration statt.

Für einzelne Flächen wurden **manuelle Anpassungen** der Parametersätze durchgeführt. Das gemäß ALKIS als Grünfläche klassifizierte Munitionslager weist einen Befestigungsgrad von ca. 30 % auf (Abbildung 5.5). Dementsprechend wird hier an Stelle des Parametersatzes 2, welcher für reines Grünland vorgesehen ist, der Parametersatz 1 mit dem höheren Effektivabflussbeiwert verwendet.



Abbildung 5.5: Luftbild Munitionslager

5.5 MODELLRÄNDER UND KONTROLLQUERSCHNITTE

Modellränder werden im Simulationsmodell als freier Auslauf berücksichtigt. Um Einflüsse der Modellränder auf die Berechnungsergebnisse zu minimieren, wurde das Simulationsgebiet zum Teil deutlich erweitert. Der Erlenbach wurde auf einer Länge von 1,5 km, der Wiesbach auf einer Länge von 2,5 km außerhalb der Gemarkung mitberechnet. Abbildung

5.6 zeigt neben den Berechnungsergebnissen die Ausdehnung des Simulationsgebietes im Verhältnis zur Gemarkungsgrenze. Die Unterteilung des Betrachtungsgebiets in mehrere Simulations-Szenarien wird im Ergebnisplan SRGK_Wehrheim_Szenarien.pdf dargestellt.

Für die spätere Auswertung wurden mehrere Kontrollquerschnitte gesetzt, an welchen Abflussvolumina ausgegeben werden können. Diese sind einerseits zur Plausibilisierung, und andererseits zur Ergebnisinterpretation und als Richtwerte für Abflussmengen bei späteren Maßnahmenplanungen hilfreich, und dienen somit als wertvolle Ergänzung zu den Gesamtwasserbilanzen der Simulationen für die einzelnen Szenarien (siehe 6.4). Die Kontrollquerschnitte wurden in Abstimmung mit der Gemeinde gesetzt und sind im entsprechenden Abschnitt im Ergebniskapitel 6.3 dargestellt.

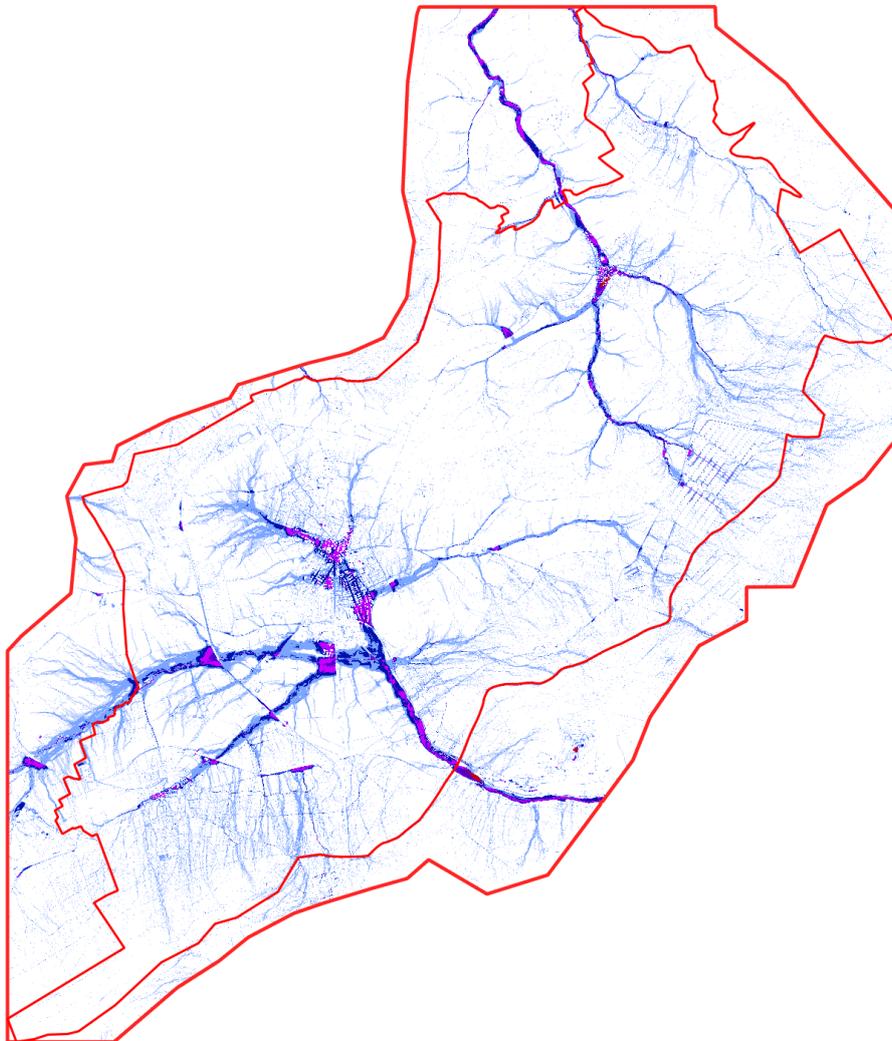


Abbildung 5.6: Gemarkungsgrenze (innere rote Linie), Simulationsgrenze (äußere rote Linie) und Darstellung der maximalen Überflutungstiefen

6 MODELLBERECHNUNGEN UND ERGEBNISEXPORT

6.1 PARAMETRIERUNG DER SIMULATION

Visdom ist ein hydrodynamisches Simulationsmodell, welches in einem rasterbasierten expliziten Berechnungsverfahren die vollwertigen Saint-Venant-Gleichungen löst und somit für jeden Zeitschritt Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten berechnet. Die wichtigsten Eckdaten der Simulation sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 6.1-1: Simulationsparameter

Parameter	Beschreibung
Modellauflösung	1 m x 1 m
Regenbelastung	Zeitlich und räumlich differenzierte RADKLIM Radar-daten
Rauheitsansatz	Strickler, fließtiefenabhängig
Interzeptionsansatz	Ansatz mit maximaler Kapazität in mm und Interzeptionsrate in mm/h, bis zu welcher die maximale Kapazität erreicht wird
Infiltrationsansatz	Green-Ampt Infiltrationsmodell
Effektivabflussberechnung	Durch integriertes Infiltrations- und Interzeptionsmodell, Parametrierung im Einklang der vorherrschenden Landnutzungs- und Bodendaten, Abgleich der hiermit ermittelten Effektivabflussbeiwerte mit den empfohlenen Wertebereichen aus dem SCS-Verfahren
Berechnungsansatz Gebäude	Randflächenverteilung
Durchlässe	Visdom Action-Item Element „Culvert“
Verrohrungen	Duales Simulationsmodell mit SWMM Rechenkern für Kanalnetzelemente
Simulationsdauer	2h Simulationszeit. Die Intensitätsspitze von 100 mm in einer Stunde wird hierbei in der ersten Stunde erreicht.
Ergebnisausgabe	Ausgabe der Berechnungsergebnisse alle 5 min

6.2 ÜBERFLUTUNGS-AUSDEHNUNG /-TIEFEN UND -GESCHWINDIGKEITEN

Für die Kartendarstellungen werden die maximalen Wassertiefen und Überflutungsgeschwindigkeiten verwendet. Die Berechnungen erfolgten für drei Szenarien mit den Belastungsschwerpunkten auf den Ortslagen Obernhain, Wehrheim und Pfaffenwiesbach. Die Szenarien beinhalteten mehrere „Überlappungsbereiche“, also Bereiche, welche in mehr als einem Szenario berechnet wurden. Für die Ergebnisdarstellung wurden die Maximalwerte der Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten aus allen berechneten Szenarien ermittelt und somit eine flächendeckende Karte erzeugt.

6.3 KONTROLLQUERSCHNITTE

Kontrollquerschnitte wurden an Gewässerläufen und sonstigen relevanten Punkten erstellt und die Durchflussganglinien exportiert.

Abbildung 6.1 zeigt die Lage der Kontrollquerschnitte für das Szenario Wehrheim, Abbildung 6.2 die dazugehörigen Durchflussganglinien. Die Kontrollquerschnitte zeigen das erwartete Verhalten: Der Kontrollquerschnitt am Langwiesengraben hat seinen maximalen Durchfluss vergleichsweise früh, der Kontrollquerschnitt bei der Liese-Meitner-Straße zeigt ebenfalls einen frühen maximalen Durchfluss.

Entlang des Erlenbachs tritt der maximale Durchfluss erwartungsgemäß umso später ein, je weiter Unterstrom sich der Kontrollquerschnitt befindet, der maximale Durchfluss nimmt nach Unterstrom hin zu, die Gesamtabflussmenge (das Integral unter der jeweiligen Kurve) nimmt insbesondere vom ersten zum zweiten Querschnitt stark zu. Dies liegt daran, dass beim zweiten Querschnitt mehrere größere Zuflüsse hinzugekommen sind: Der Mühlbach aus Obernhain, sowie der komplette Zufluss von Langwiesengraben, am Ried und Bizzenbach über die Ortslage von Wehrheim.

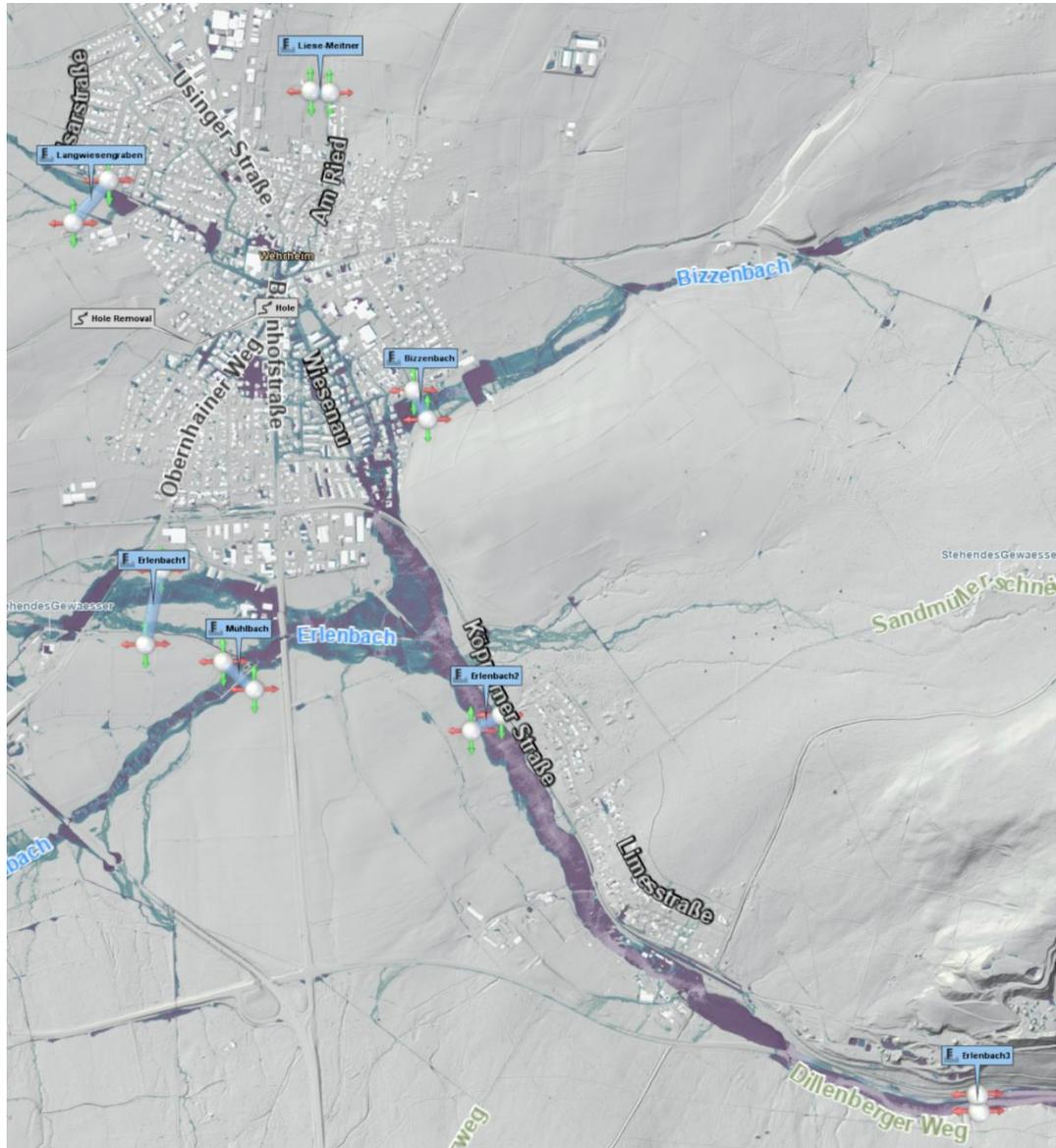


Abbildung 6.1: Kontrollquerschnitte für das Szenario Wehrheim

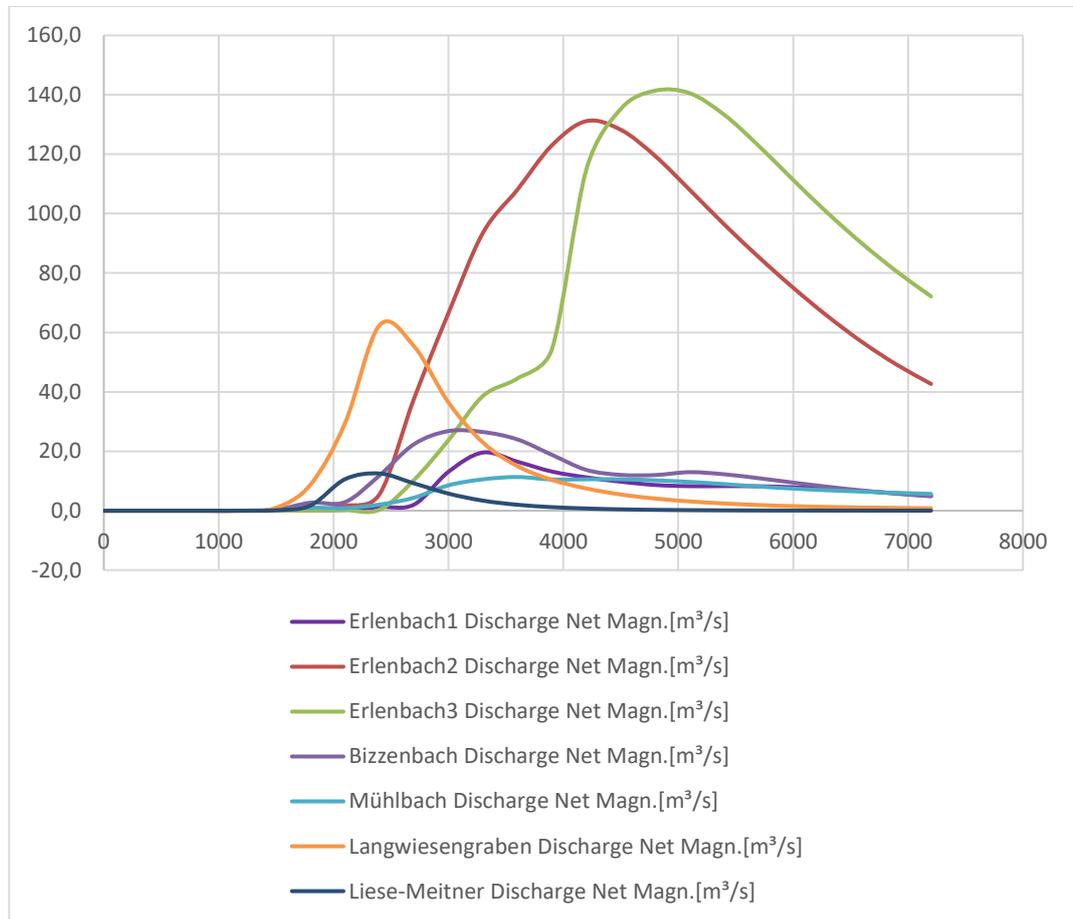


Abbildung 6.2: Durchflussganglinien Kontrollquerschnitte Szenario Wehrheim

Abbildung 6.3 zeigt die Lage der Kontrollquerschnitte für das Szenario Oberhain, Abbildung 6.4 die dazugehörigen Durchflussganglinien.

Nach Unterstrom hin nimmt der maximale Durchfluss zu, und wird später erreicht. Der Gesamtdurchfluss (das Integral unter der Kurve) erhöht sich ebenfalls. Die vom Erlenbach kommende Abflussschwelle hat aufgrund des noch etwas weiter nach Westen ausgedehnten Einzugsgebiets ihre Abflussspitze noch etwas später erreicht als die Abflussschwelle im Mühlbach.



Abbildung 6.3: Kontrollquerschnitte für das Szenario Oberhain

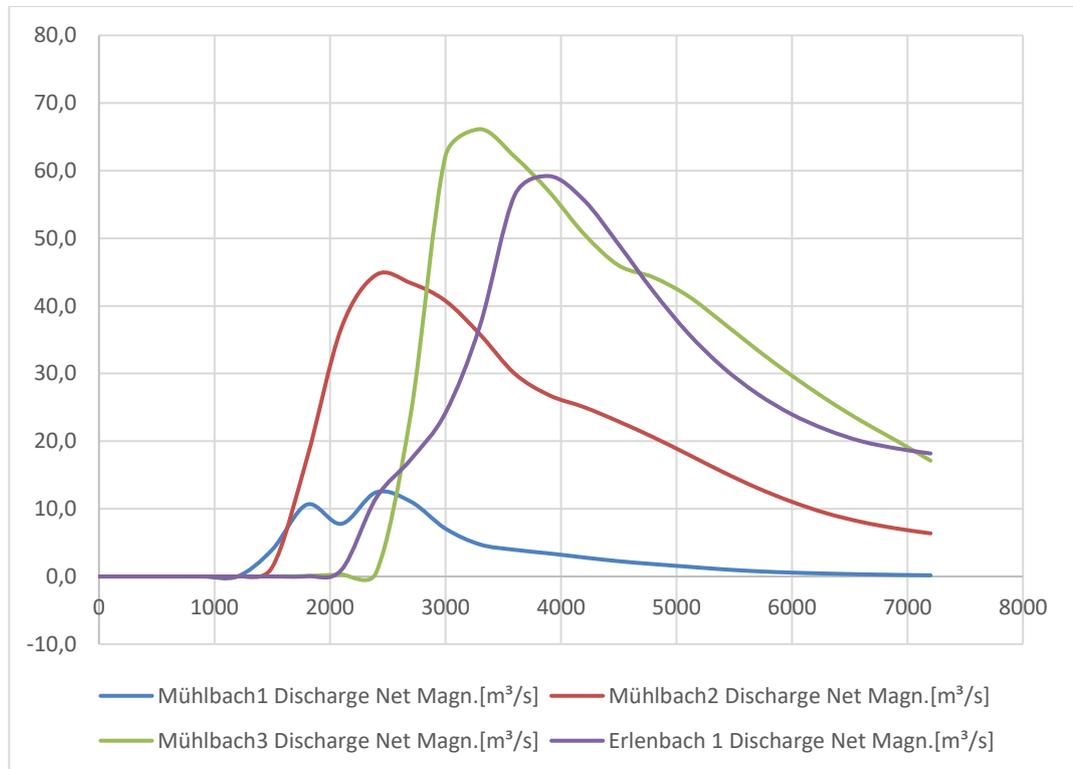


Abbildung 6.4: Durchflussganglinien Kontrollquerschnitte Szenario Obernhain

Abbildung 6.5 zeigt die Lage der Kontrollquerschnitte für das Szenario Pfaffenwiesbach, Abbildung 6.6 die dazugehörigen Durchflussganglinien.

Die Abflussspitze und die Gesamtabflussmenge nehmen entlang der Gewässer zu, wobei der maximale Durchfluss Unterstrom später auftritt. Es ist anzumerken, dass die Gesamtabflussmenge (Integral unter der Kurve) zwischen Wiesbach 3 und Wiesbach 4 deutlich zunimmt, wobei das Durchflussmaximum bei Wiesbach 4 nur unwesentlich später eintritt als bei Wiesbach 3. Die Ganglinie für Wiesbach 3 kommt im Wesentlichen als Überlagerung der Zuflüsse von Wiesbach 3 und Pflingstbornbach 2 und der direkten Niederschlagszuflüsse innerhalb der Ortslage zu Stande.



Abbildung 6.5: Kontrollquerschnitte für das Szenario Pfaffenwiesbach

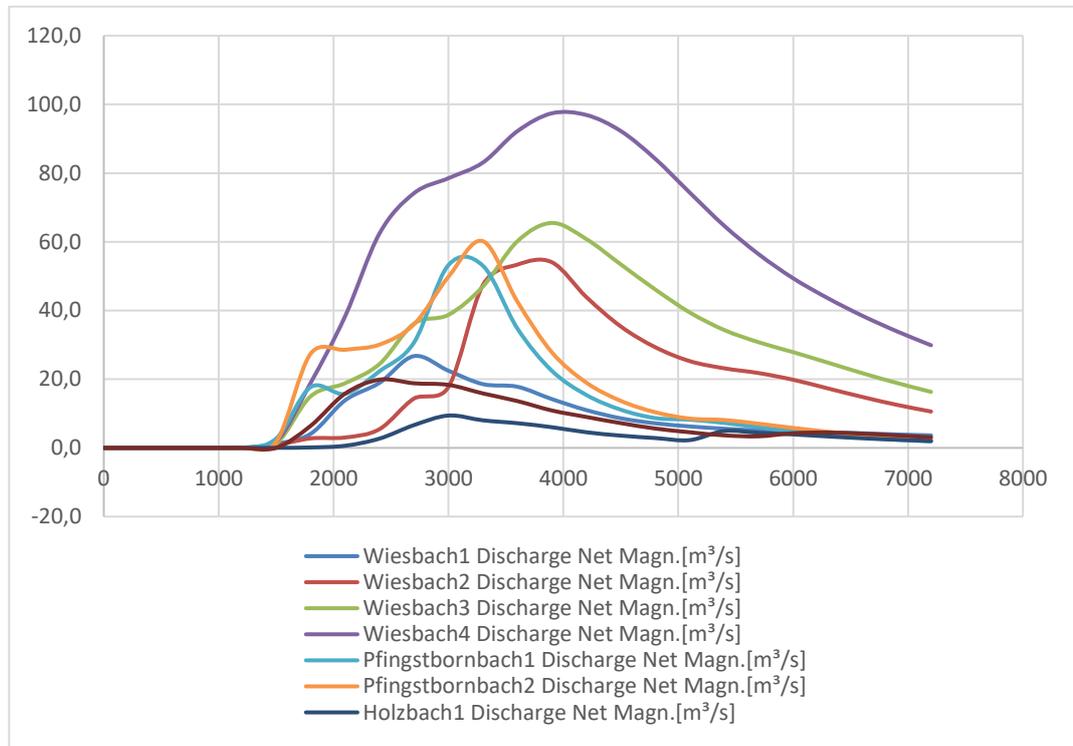


Abbildung 6.6: Durchflussganglinien Kontrollquerschnitte Szenario Pfaffenwiesbach

Die Kontrollquerschnitte zeigen die enormen Wassermengen von knapp 100 m³/s in Pfaffenwiesbach und bis zu 140 m³/s südlich von Wehrheim. Die Ganglinien stehen als Excel-Dateien zur Verfügung und dienen so auch der Skizzierung und Plausibilisierung erster Maßnahmenideen im Zuge des später zu erstellenden Handlungskonzepts.

6.4 VOLUMENBILANZ

Im Zuge der Simulationen wurden drei Szenarien für die Ortslagen Wehrheim, Pfaffenwiesbach und Obernhain berechnet. Wasserbilanzen werden für jedes Szenario für jeweils zwei Zeitschritte ausgegeben:

- T = 60 min. Zu diesem Zeitpunkt ist ein Großteil des Niederschlags gefallen, in diesem Zeitraum befindet sich auch die geforderte Intensitätsspitze von mindestens 100 mm in einer Stunde. Ein großer Teil des Wassers befindet sich auf der Oberfläche und ist noch nicht abgelaufen.
- T = 120 min. Im Zeitraum von T = 60 min bis T = 120 min fällt vergleichsweise wenig Niederschlag, ein größerer Teil des gefallenen Niederschlags läuft über den Modellrand ab.

Wertangaben bei T = 120 min sind die kumulierten Angaben für die gesamte Simulationszeit.

Tabelle 6.4-1: Volumenbilanz Szenario Wehrheim

Niederschlag		T = 60 min	T = 120 min
V1	Niederschlag auf Dachflächen	39.188	40.852 m ³
V2	Niederschlag auf Freiflächen	1.795.711	1.933.968 m ³
V3	Summe	1.834.899	1.974.819 m³
Verluste		T = 60 min	T = 120 min
V4	Interzeption	124.822	125.024 m ³
V5	Infiltration bei Abflussbildung	737.087	851.412 m ³
V6	Infiltration während Abflusstransport	88.927	193.802 m ³
V7	Summe	826.014	1.045.214 m³
Abfluss über den Modellrand		T = 60 min	T = 120 min
V8	Abfluss über den Modellrand	127.976	549.577 m³
Wasserbilanz		T = 60 min	T = 120 min
V9	Verbleibendes Wasser auf Oberfläche	879.455	380.891 m³
V10	Verbleibendes Wasser im Kanalnetz	1.247	1.100 m³
V11	Kontrollsumme 1 = V3 - V7 - V8	880.908	380.029 m ³
V12	Kontrollsumme 2 = V9 + V10	880.703	381.992 m ³
V13	Volumenfehler absolut = abs(V12 - V11)	205	1.963 m ³
V14	Volumenfehler prozentual = V13/V3	0,01%	0,10%

Tabelle 6.4-2: Volumenbilanz Szenario Pfaffenwiesbach

Niederschlag		T = 60 min	T = 120 min
V1	Niederschlag auf Dachflächen	15.828	16.507 m ³
V2	Niederschlag auf Freiflächen	1.579.494	1.676.928 m ³
V3	Summe	1.595.322	1.693.435 m³
Verluste		T = 60 min	T = 120 min
V4	Interzeption	105.167	105.292 m ³
V5	Infiltration bei Abflussbildung	660.561	739.544 m ³
V6	Infiltration während Abflusstransport	86.682	165.419 m ³
V7	Summe	747.243	904.963 m³
Abfluss über den Modellrand		T = 60 min	T = 120 min
V8	Abfluss über den Modellrand	42.844	469.560 m³

Wasserbilanz		T = 60 min	T = 120 min
V9	Verbleibendes Wasser auf Oberfläche	804.988	318.578 m³
V10	Verbleibendes Wasser im Kanalnetz*	0	0 m³
V11	Kontrollsumme 1 = V3 - V7 - V8	805.234	318.912 m ³
V12	Kontrollsumme 2 = V9 + V10	804.988	318.578 m ³
V13	Volumenfehler absolut = abs(V12 - V11)	246	334 m ³
V14	Volumenfehler prozentual = V13/V3	0,02%	0,02%

* im Szenario Pfaffenwiesbach wurden die verrohrten Abschnitte über Visdom Action Items „Culvert“ abgebildet. Diese werden in der Wasserbilanz nicht separat als Wasser im Kanalnetz ausgewiesen, sondern sind im Sinne der Wasserbilanz Teil der Oberflächenberechnung.

Tabelle 6.4-3: Volumenbilanz Szenario Obernhain

Niederschlag		T = 60 min	T = 120 min
V1	Niederschlag auf Dachflächen	22.398	23.856 m ³
V2	Niederschlag auf Freiflächen	1.238.309	1.321.303 m ³
V3	Summe	1.260.707	1.345.159 m³
Verluste		T = 60 min	T = 120 min
V4	Interzeption	67.824	67.825 m ³
V5	Infiltration bei Abflussbildung	473.211	539.452 m ³
V6	Infiltration während Abflusstransport	74.323	161.055 m ³
V7	Summe	547.534	700.507 m³
Abfluss über den Modellrand		T = 60 min	T = 120 min
V8	Abfluss über den Modellrand	54.315	347.133 m³
Wasserbilanz		T = 60 min	T = 120 min
V9	Verbleibendes Wasser auf Oberfläche	658.130	299.445 m³
V10	Verbleibendes Wasser im Kanalnetz	1.346	1.859 m³
V11	Kontrollsumme 1 = V3 - V7 - V8	658.858	297.520 m ³
V12	Kontrollsumme 2 = V9 + V10	659.476	301.305 m ³
V13	Volumenfehler absolut = abs(V12 - V11)	617	3.785 m ³
V14	Volumenfehler prozentual = V13/V3	0,05%	0,28%

6.5 ABGLEICH MIT ABGELAUFENEN EREIGNISSEN

Abgelaufene Ereignisse in ähnlicher Größenordnung sind in Wehrheim nicht bekannt, und sind auch nicht in den historischen Daten zu finden. Die Gemeinde hat keine Dokumentation über Schadensmeldungen bzw. Schadensausmaße bei vergangenen Starkregenereignissen, somit können die Berechnungsergebnisse nicht abgeglichen werden.

7 KARTENDARSTELLUNGEN

Für die Erstellung der Starkregengefahrenkarte wurden mehrere Szenarien berechnet, und die Ergebnisse aus den Szenarien aggregiert (siehe Abschnitt 5.4.1). In den „Überlappungsbereichen“ der Szenarien wurden die Ergebnisse so aggregiert, dass in den Karten jeweils die maximalen Überflutungsausdehnungen und Fließgeschwindigkeiten dargestellt werden.

Die in der hessischen Ausschreibungshilfe vorgeschlagene Wassertiefendarstellung wurde um zwei weitere Klassen erweitert, um die besonders hohen Wassertiefen im Ortsteil Pfaffenwiesbach mit der erforderlichen Genauigkeit in der Abstufung darzustellen (Abbildung 7.1).

Die Fließgeschwindigkeiten werden als Geschwindigkeitspfeile dargestellt. Da auf jeder einzelnen berechneten Zelle der Auflösung von 1 x 1 m neben der Wassertiefe auch eine Fließgeschwindigkeit existiert, muss für die Darstellung der Fließgeschwindigkeit mit Fließrichtung als Pfeile eine Ausdünnung erfolgen. Die Ausdünnung wurde mit einem räumlichen Nachbarschaftsalgorithmus ausgeführt, welcher gezielt die höchsten Fließgeschwindigkeiten filtert. Ein Fließpfeil wird immer dann dargestellt, wenn innerhalb eines Radius von 7 Metern keine höhere Fließgeschwindigkeit auftritt. Eine Mittelwertbildung durch Aufrasterung, oder eine Lageverschiebung der dargestellten Fließgeschwindigkeitspfeile, finden bei dieser Methode ausdrücklich nicht statt, wodurch im Gegensatz zu einfacheren Methoden eine hohe Genauigkeit bei gleichzeitig guter Lesbarkeit der Karten erreicht wird.

Maximale Wassertiefe	Maximale Fließgeschwindigkeiten
 < 5 cm	 0.2 m/s - 0.5 m/s
 5 cm - 10 cm	 0.5 m/s - 2 m/s
 10 cm - 50 cm	 > 2 m/s
 50 cm - 1 m	
 1 m - 2 m	
 2 m - 3,5 m	
 > 3,5 m	

Abbildung 7.1: Symbolisierung von Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten

Ergänzend zu den Starkregengefahrenkarten wurden weitere Pläne generiert:

Dateiname	Maßstab	Inhalt
Wehrheim_Splash_Analyse.pdf	1:25.000	Splash-Analyse (vorangehende Grobanalyse zur Identifizierung von Abflusspfaden und abflusslosen Geländesenken)
SRGK_Wehrheim_Landnutzung.pdf	1:10.000	Übersicht der Nutzungsarten mit Rauheitswerten
SRGK_Wehrheim_Bauwerke.pdf	1:10.000	Übersicht der hydraulisch relevanten Bauwerke im Untersuchungsgebiet
SRGK_Wehrheim_Szenarien.pdf	1:10.000	Übersicht der betrachteten Szenarien

Die Pläne stellen die in den vorherigen Kapiteln erarbeiteten Grundlagendaten visuell dar und dienen somit als Ergänzung zu den digitalen Geodaten. Die Darstellung der räumlichen Verteilung der Niederschlagsintensität mit Nennung der maximalen Niederschlagsintensität ist in die Plandarstellung der Starkregengefahrenkarten integriert.

Zur Visualisierung des zeitlichen Verlaufs wurden zusätzlich zu den PDF-Karten Ergebnisvideos für jedes Szenario erstellt. Die Videos basieren auf dem Ergebnisexport in 5-Minutenschritten, für eine flüssigere Visualisierung wurden die Zwischenbilder mit dem Optical Flow Verfahren berechnet. Die blauen rechteckigen Linien im Video stellen den Modellrand dar, die roten Bereiche am Rand befinden sich außerhalb des Betrachtungsgebietes und wurden demnach nicht mitberechnet.

8 FAZIT UND AUSBLICK

Die Gemeinde Wehrheim hat eine Starkregengefahrenkarte für das Gemeindegebiet gemäß den Vorgaben der Hessischen Ausschreibungshilfe (Prof. Dr.-Ing. Ernesto Rodriguez, 2021) erstellen lassen.

Die Starkregengefahrenkarten sind eine qualifizierte Bewertungsgrundlage und ein wichtiges Analysewerkzeug für Wehrheim zur Ermittlung und Bewertung der Überflutungsgefährdung durch Starkregen in der Gemeinde. Die Karten dienen zudem zu Kommunikation mit der Verwaltung und der Öffentlichkeit.

Auf Basis der Berechnungsergebnisse, und mit Unterstützung des erstellten Simulationsmodells lassen sich in zukünftigen Analysen Risikobewertungen durchführen und im Rahmen eines kommunalen Handlungskonzepts konkrete Maßnahmen ableiten.

Darmstadt, im März 2023

DAHLEM Beratende Ingenieure
GmbH & Co. Wasserwirtschaft KG

Bearbeitung:
Tim Schneider

9 LITERATURVERZEICHNIS

Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie. (Oktober 2018). RADKLIM. Erstellung einer radargestützten hochaufgelösten Niederschlagsklimatologie für Deutschland zur Auswertung der rezenten Änderungen des Extremverhaltens von Niederschlag. Beschreibung des Kompositformats und der verschiedenen Reprozessierungsläufe.

Prof. Dr.-Ing. Ernesto Rodriguez, M.-E. N. (2021). *Hinweise zur Berechnung und Erstellung von Starkregengefahrenkarten in Hessen.*

10 ANLAGEN

A.1 Green-Ampt Standardparameter in Visdom

A.2 RADKLIM Auswertung für die Gemarkungsgrenze von Wehrheim

A.3 RADKLIM Auswertung für einen Puffer von 50 km um die Gemarkungsgrenze von Wehrheim

ANLAGEN

A.1 Green-Ampt Standardparameter in Visdom

Bodenart	hydr. Leitfähigkeit [mm/h]	Saugspannung [mm]	Porosität
Torf	0,25	320,04	0,475
Lehm	3,312	88,9	0,31
lehmig-sandig	29,97	60,96	0,437
tonig-schluffig	0,51	290,07	0,479
sandiger Lehm	10,87	110	0,33
sandig-schluffig	75	55	0,4
sandig-lehmig	10,92	109,98	0,453
stark lehmig-sandig	7,11	99,44	0,458
Ton	0,254	316,2	0,21
tonig-lehmig	1,02	210,06	0,464

ANLAGEN

A.2 RADKLIM Auswertung für die Gemarkungsgrenze von Wehrheim

Statistische Auswertung der RADKLIM Daten. Das nach Ausschreibungshilfe relevante Mindestkriterium von 100 mm Niederschlag in einer Stunde ist über die Spalte „60 min max max“ auszuwerten.

day	25h rain_max	25h rain_mean	time of 60 min max	60 min max max	time of 60 min mean max	60 min mean max
08.11.2001 00:00	46,16	41,05	08.11.2001 02:15	9,44	08.11.2001 02:15	8,22
20.02.2002 00:00	54,58	36,07	20.02.2002 06:10	7,24	20.02.2002 06:10	4,15
17.07.2002 00:00	41,37	33,64	17.07.2002 16:45	7,34	17.07.2002 16:40	5,2
28.08.2002 00:00	41,32	28,74	28.08.2002 06:50	31,84	28.08.2002 06:55	16,2
10.09.2002 00:00	47,71	32,06	10.09.2002 04:30	13,03	10.09.2002 04:25	9,38
02.01.2003 00:00	52,72	44,24	02.01.2003 18:00	11,20	02.01.2003 18:05	8,33
07.05.2004 00:00	40,86	34,23	07.05.2004 21:35	6,04	07.05.2004 21:15	4,64
29.06.2005 00:00	40,37	30,04	29.06.2005 02:50	15,35	29.06.2005 02:55	9,91
11.09.2005 00:00	45,95	26,75	11.09.2005 06:05	21,92	11.09.2005 06:25	6,92
23.07.2006 00:00	50,53	22,91	23.07.2006 12:35	48,74	23.07.2006 20:20	7,6
26.05.2007 00:00	44,72	27,1	26.05.2007 19:40	40,81	26.05.2007 19:30	20,34
21.06.2007 00:00	43,82	31,26	21.06.2007 03:35	22,45	21.06.2007 03:25	14,45
27.09.2007 00:00	43,45	34,79	27.09.2007 09:25	6,56	27.09.2007 09:20	4,1

ANLAGEN

29.02.2008 00:00	43,83	37,29	29.02.2008 22:15	7,95	29.02.2008 07:30	5,49
23.01.2009 00:00	40,14	29,19	23.01.2009 14:25	9,11	23.01.2009 14:15	6,37
09.06.2010 00:00	40,47	36,53	09.06.2010 20:55	23,42	09.06.2010 20:55	19,04
04.12.2011 00:00	53,35	47,49	04.12.2011 21:20	14,33	04.12.2011 21:20	11,37
05.10.2013 00:00	47,94	42,27	05.10.2013 01:35	7,17	05.10.2013 13:45	4,41
26.05.2014 00:00	43,38	21,73	26.05.2014 18:55	16,11	26.05.2014 18:55	6,27
29.07.2014 00:00	45,83	27,05	29.07.2014 23:50	27,94	29.07.2014 23:30	15,28
26.08.2014 00:00	60,87	50,94	26.08.2014 20:10	9,50	26.08.2014 20:15	7,89
13.04.2018 00:00	40,65	36,65	13.04.2018 06:45	10,32	13.04.2018 06:50	7,63
31.05.2018 00:00	43,19	23,49	31.05.2018 13:35	41,55	31.05.2018 13:35	19,93
13.06.2020 00:00	68,46	22,83	13.06.2020 20:10	36,51	13.06.2020 20:25	7,3

ANLAGEN

A.3 RADKLIM Auswertung für einen Puffer von 50 km um die Gemarkungsgrenze von Wehrheim

Statistische Auswertung der RADKLIM Daten. Das nach Ausschreibungshilfe relevante Mindestkriterium von 100 mm Niederschlag in einer Stunde ist über die Spalte „60 min max max“ auszuwerten.

day	25h rain_max	25h rain_mean	time of 60 min max	60 min max max	time of 60 min mean max	60 min mean max
15.08.2001 00:00	98,13	2,46	15.08.2001 04:25	15,06	15.08.2001 23:15	0,38
08.11.2001 00:00	70,24	26,59	08.11.2001 08:15	19,52	08.11.2001 03:50	3,38
27.01.2002 00:00	96,84	21,54	27.01.2002 04:00	34,4	27.01.2002 03:40	2,31
20.02.2002 00:00	100,45	22,74	20.02.2002 04:25	27,29	20.02.2002 05:35	2,31
26.02.2002 00:00	96,66	15,78	26.02.2002 10:05	37,92	26.02.2002 04:05	1,95
17.07.2002 00:00	81,47	36,27	17.07.2002 16:45	21,88	17.07.2002 16:40	2,65
30.07.2002 00:00	76,21	12,37	30.07.2002 15:30	46,26	30.07.2002 23:25	2,11
20.08.2002 00:00	77,2	5,14	20.08.2002 13:00	67,76	20.08.2002 14:20	1,18
26.10.2002 00:00	71,62	8,86	26.10.2002 00:40	26,83	26.10.2002 00:15	2,86
27.10.2002 00:00	160,01	17,31	27.10.2002 16:00	31,42	27.10.2002 04:50	3,46
08.11.2002 00:00	90,19	12,3	08.11.2002 21:35	32,19	08.11.2002 22:10	2,89
30.12.2002 00:00	81,19	13,16	30.12.2002 00:15	14,35	30.12.2002 00:05	2,95
02.01.2003 00:00	119,43	32,87	02.01.2003 21:50	33,35	02.01.2003 10:40	4,07
31.05.2003 00:00	113,27	11,4	31.05.2003 12:25	108,42	31.05.2003 12:10	2,57
02.06.2003 00:00	80,67	4,23	02.06.2003 15:05	65,08	02.06.2003 15:30	1,31
01.07.2003 00:00	73,41	9,78	01.07.2003 17:05	45,15	01.07.2003 17:30	2,92
21.07.2003 00:00	107,36	9,87	21.07.2003 19:05	50,08	21.07.2003 00:00	1,77
07.05.2004 00:00	89,48	24,38	07.05.2004 20:20	22,54	07.05.2004 21:30	2,09
10.06.2004 00:00	76,28	5,5	10.06.2004 12:50	73,55	10.06.2004 13:15	2,4
07.08.2004 00:00	116,48	5,24	07.08.2004 14:25	116,44	07.08.2004 14:50	1,4
29.06.2005 00:00	79,21	26,45	29.06.2005 18:35	64,97	29.06.2005 20:00	4,4
19.08.2005 00:00	81,85	11,95	19.08.2005 17:10	41,54	19.08.2005 17:15	2,86

ANLAGEN

10.09.2005 00:00	70,31	7,37	10.09.2005 15:00	45,9	10.09.2005 18:55	1,32
11.09.2005 00:00	78,59	19,42	11.09.2005 06:50	33,15	11.09.2005 08:50	1,62
25.06.2006 00:00	75,04	20,37	25.06.2006 17:55	36,78	25.06.2006 18:25	3,68
05.07.2006 00:00	83,87	4,83	05.07.2006 16:10	55,95	05.07.2006 14:40	0,83
13.07.2006 00:00	71,9	3,48	13.07.2006 15:50	62,14	13.07.2006 16:10	1,15
23.07.2006 00:00	88,32	5,01	23.07.2006 12:40	84,55	23.07.2006 19:10	1,09
27.07.2006 00:00	103,41	4,8	27.07.2006 14:35	98,54	27.07.2006 14:30	1,6
28.07.2006 00:00	149,55	10,07	28.07.2006 13:05	99,42	28.07.2006 14:10	2,19
25.08.2006 00:00	232,28	6,86	25.08.2006 13:10	207,59	25.08.2006 13:10	1,09
17.09.2006 00:00	108,88	9,69	17.09.2006 14:05	37,62	17.09.2006 15:00	2,09
26.05.2007 00:00	85,43	13,89	26.05.2007 19:35	81,88	26.05.2007 19:35	6,98
10.06.2007 00:00	140,5	6,76	10.06.2007 16:45	109,67	10.06.2007 17:00	1,88
21.06.2007 00:00	92,34	27,02	21.06.2007 04:55	62,81	21.06.2007 12:25	4,36
08.08.2007 00:00	74,64	28,85	08.08.2007 12:30	10,18	08.08.2007 12:50	2,54
30.05.2008 00:00	95,34	15,27	30.05.2008 16:35	93,84	30.05.2008 17:15	6,83
29.07.2008 00:00	83,4	5,33	29.07.2008 10:40	82,16	29.07.2008 10:50	2,4
08.10.2009 00:00	105,09	1,23	08.10.2009 10:50	101,65	08.10.2009 10:20	0,38
23.07.2010 00:00	77,34	11,2	23.07.2010 16:20	43,32	23.07.2010 18:05	1,93
05.06.2011 00:00	88,7	9,31	05.06.2011 10:20	58,74	05.06.2011 14:30	1,98
26.08.2011 00:00	76,2	17,03	26.08.2011 01:35	61,42	26.08.2011 19:10	4,49
11.06.2014 00:00	80,83	13,94	11.06.2014 05:50	70,54	11.06.2014 05:35	4,58
13.07.2014 00:00	87,86	9,55	13.07.2014 13:50	61,64	13.07.2014 05:20	1,45
24.07.2014 00:00	90,37	5,26	24.07.2014 16:35	76,37	24.07.2014 16:25	1,78
29.07.2014 00:00	72,13	16,43	29.07.2014 16:35	46,18	29.07.2014 16:45	3,15
20.09.2014 00:00	104,94	8,94	20.09.2014 11:45	100,07	20.09.2014 18:10	1,59
10.08.2015 00:00	77,63	5,21	10.08.2015 14:50	75,53	10.08.2015 15:10	1,02
27.05.2016 00:00	76,52	10,73	27.05.2016 15:30	65,67	27.05.2016 02:20	1,67
05.06.2016 00:00	86,15	5,44	05.06.2016 15:20	85,58	05.06.2016 16:25	1,78

ANLAGEN

22.06.2017 00:00	85,54	11,83	22.06.2017 15:30	49,9	22.06.2017 14:20	2,99
11.08.2017 00:00	76,6	34,06	11.08.2017 21:50	14,91	11.08.2017 21:25	3,67
13.05.2018 00:00	92,52	20,34	13.05.2018 18:05	42,79	13.05.2018 18:50	2,96
22.05.2018 00:00	89,86	7,87	22.05.2018 15:50	78,75	22.05.2018 17:25	1,97
27.05.2018 00:00	124,51	5,84	27.05.2018 19:50	94,55	27.05.2018 21:15	1,08
29.05.2018 00:00	102,22	5,7	29.05.2018 16:45	84,79	29.05.2018 16:20	1,67
31.05.2018 00:00	70,76	6,23	31.05.2018 16:55	70,06	01.06.2018 00:00	2,32
07.06.2018 00:00	81,94	6,4	07.06.2018 11:20	62,39	07.06.2018 12:55	1,63
08.06.2018 00:00	79,39	3,96	08.06.2018 14:30	72,55	08.06.2018 15:25	0,75
05.07.2018 00:00	85,99	4,69	05.07.2018 10:55	74,79	05.07.2018 13:00	1,21
07.08.2018 00:00	73,87	3,5	07.08.2018 16:55	58,61	07.08.2018 18:05	0,97
06.09.2018 00:00	88,47	2,51	06.09.2018 13:00	58,6	06.09.2018 09:30	0,32
20.05.2019 00:00	90,3	13,66	20.05.2019 13:20	59,39	21.05.2019 00:00	1,93
03.06.2019 00:00	78,31	7,79	03.06.2019 11:55	74,45	03.06.2019 13:05	2,53
12.07.2019 00:00	74,9	12,72	12.07.2019 11:45	56,26	12.07.2019 11:30	2,16
13.06.2020 00:00	102,56	12,83	13.06.2020 19:55	64,29	13.06.2020 22:25	2,88
12.08.2020 00:00	92,19	6,31	12.08.2020 09:50	54,35	12.08.2020 17:35	1,43
14.08.2020 00:00	77,05	8,6	14.08.2020 12:05	59,66	14.08.2020 12:00	1,81