



Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

Modul 2 „Sturzflut-Risikomanagement“

Teilbericht III

Auftraggeber

Stadt Lauingen (Donau)
Herzog-Georg-Str. 17 | 89415 Lauingen (Donau)
Projektbegleitung: Frau Pflügel (Bauverwaltung)



Projektbearbeitung

GreenAdapt Gesellschaft für Klimaanpassung mbH
Luisenstraße 53 | 10117 Berlin
E-Mail: info@greenadapt.de



In Zusammenarbeit mit Wieland Philipp (Dipl.-Hydrol.)

Modul: Erwärmung und Hitzeereignisse

Dipl.-Phys. Carsten Walther
M.Sc. Susan Thiel,
Dipl.-Geogr. Adrian Pfalzgraf,
M.Sc. Carl Schmidt-Rohr,
B.Sc. Özge Yazici,
B.Sc. Patrick Schmid,
B.Sc. Lara Deppermann

Modul: Sturzflut-Riskmanagement

Dipl.-Hydrol. Wieland Philipp

Projektförderung

Das vorliegende Klimaanpassungskonzept und das dazugehörige Projekt wurden erfolgreich im Rahmen des Förderschwerpunkts „Klimaschutz in Kommunen“ im Klimaschutzprogramm Bayern 2050 (Förderrichtlinien Kommunaler Klimaschutz - KommKlimaFÖR) gefördert.



Titelbild

Das Titelbild zeigt die klimaangepasste Vision der Herzog-Georg-Straße mit Blick auf den Schimmelturm in Lauingen (Donau) mit begrünten Straßenrändern, Bäumen, Radwegen, einer einspurigen Fahrbahn und Fassadenbegrünungen und Dächer, die mit Solarzellen ausgestattet sind. Die Urheberrechte liegen bei GreenAdapt Gesellschaft für Klimaanpassung mbH.

Künstlerische Umsetzung: Daniel Petermann-Fallis

Inhaltsverzeichnis

1	Modul 2 „Sturzflut-Risikomanagement“	1
1.1	Bestandsanalyse	1
1.2	Methodik	5
1.3	Ergebnisse Gefahrenanalyse	36
1.4	Verifizierung der Modellierungsergebnisse	69
1.5	Ergebnisse Analyse Schadenspotential	72
1.6	Ergebnisse Risikobewertung inkl. Schutzziele der wild abfließenden Wässer	73
2	Literaturverzeichnis	94
3	Abbildungsverzeichnis	96
4	Tabellenverzeichnis	99

Zur vereinfachten Lesbarkeit wurde der Endbericht in vier Teile aufgeteilt. Einleitung, Klimaveränderungen und Methodik sind in den Teilbericht I überführt worden. Modul 1 „Stadtklimakonzept - Erwärmung und Hitzeereignisse“ befindet sich im Teilbericht II. Modul 2 „Sturzflut-Risikomanagement“ wurde in den Teilbericht III überführt und die Berichtsteile „Konzeptionelle Maßnahmenentwicklung“ und „Integrale Strategien“ befinden sich im Teilbericht IV. Die Nummerierungen der Abbildungen und Tabellen enthält jeweils das Kürzeln I, II, III, IV sowie A für die vier Teilberichte und den Anhang.

Abkürzungsverzeichnis

ALKIS	Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BWK	Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e. V.
CN	Curve Number
DGM	Digitales Geländemodell
DLM	Digitales Basis-Landschaftsmodell
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
D8	Deterministic 8 Algorithm
EZG	Einzugsgebiet
GIS	Geoinformationssystem
HEC	Hydrologic Engineering Center
HSG	Hydrologic Soil Group
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und -auswertung
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
LoD1	Gebäudemodell mit Flachdach bzw. Blockmodell
LUBW	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
NHN	Normalhöhennull
PEN LAWA	Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags
SCS-CN	Soil Conservation Service - Curve Number
STMUV	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
THW	Technisches Hilfswerk
ÜBK25	Digitale Übersichtsbodenkarte von Bayern, Maßstab 1:25000
WWA	Wasserwirtschaftsamt

1 Modul 2 „Sturzflut-Risikomanagement“

Im Modul 2 Sturzflut-Risikomanagement werden die aktuellen Risiken ausgehend sowohl von Sturzflutereignissen an Fließgewässer III. Ordnung als auch von wild abfließendem Wasser im Gemeindegebiet der Stadt Lauingen (Donau) analysiert und bewertet. Für die Beurteilung der Gefahren und der Risiken werden die Ergebnisse unter Berücksichtigung der Örtlichkeiten z. B. besonders zu schützende Einrichtungen und Infrastrukturen im Hinblick auf die Fließgeschwindigkeiten und die Wassertiefen der jeweiligen hydrologischen Ereignisse ausgewertet und kartografisch dargestellt. Darauf aufbauend sind konzeptionelle individuelle Maßnahmen vorzuschlagen, um die Risiken abzumindern.

Die wesentliche Grundlage für die Bearbeitung der Risikoanalyse und der Maßnahmenentwicklung zur Minimierung der Risiken sind Berechnungen mit speziellen Geoinformationssystemen (GIS) und hydraulischen Modellen. Dabei werden die gängigen Merkblätter und Richtlinien, insbesondere das Merkblatt DWA-M 119, das Merkblatt DWA-M543-1 bis 3, die BWK-Fachinformation 1/2013 und das Infoblatt zum Sonderprogramm nach Nr. 2.4 RZWas 2018, das Integrale Konzept zum kommunalen Sturzflut-Risikomanagement aber auch die aktuelle internationale Fachliteratur berücksichtigt (BWK 2013; DWA 2019a; DWA 2019b; DWA 2019c; DWA 2016; STMUV BAYERN 2019).

In den folgenden Kapiteln werden die verwendete Methodik sowie die Ergebnisse erläutert.

1.1 Bestandsanalyse

Im Rahmen der Bestandsanalyse wurden alle für die Bearbeitung notwendigen Daten eingeholt und begutachtet. Dazu gehörten eine historische Analyse und Vor-Ort-Befahrungen, um die hydrologische Gesamtsituation und die hydraulischen Gegebenheiten an ausgewählten Fließgewässern besser zu verstehen.

1.1.1 *Verwendete Daten*

Für die GIS-gestützten Berechnungen und die hydraulischen Modellierungen wurden der Firma GreenAdapt folgende Daten zur Verfügung gestellt. Hinter jedem Datensatz wird kurz die Verwendung der Daten beschrieben.

- Basis-DLM: Das Digitale Basis-Landschaftsmodell (kurz DLM) beschreibt die topografischen Objekte der Landschaft im Vektorformat. Die Objekte sind z. B. Gewässer,

Wohnbauflächen, Industriebauwerke, Landwirtschaftsflächen, Sumpfflächen, Waldflächen, Straßen uvm. Mit Hilfe des DLM können für die Modellierung wichtige hydraulische Parameter abgeleitet (Abflussbeiwert, Rauheitsbeiwerte) und hydrologische Prozesse abgeschätzt werden (z. B. Infiltration).

- ÜBK25: Die Digitale Übersichtsbodenkarte von Bayern liegt im Maßstab 1:25 000 vor und beinhaltet die kartografische Zuordnung der Bodentypen in Bayern. Sie dient als Datengrundlage für die quantitative Abschätzung von hydrologischen Prozessen (z. B. Infiltration).
- DGM: Für die Bearbeitung liegen das Digitale Geländemodell (DGM) in einer Auflösung von 50 m x 50 m (DGM50), 25 m x 25 m (DGM25) und 1 m x 1 m (DGM1) vor. Das DGM50 und das DGM25 dienen ausschließlich für die Erstellung von Übersichtskarten. Das DGM1 wird bei der Fließwegeanalyse und der Berechnung der abflusslosen Senken verwendet.
- Laserpunkte: Eine wichtige Datengrundlage stellt die per Befliegung mit einem Laserscanner aufgenommene Geländeoberfläche dar. Dabei werden Laserpunkte (teilweise über 4 Punkte pro m²) von der Oberfläche und der darauf befindlichen Objekte (z. B. Gebäude, Vegetation) reflektiert und abgespeichert. Neben den Koordinaten und den Höheninformationen werden die Punkte auch in Klassen (Gebäude, Gelände, Vegetation) eingeteilt. Mit Hilfe der Laserdaten, auch Punktwolke genannt, wurde ein DGM sowohl mit als auch ohne Gebäude mit einer Auflösung von 0,3 m x 0,3 m abgeleitet (Methodik, siehe Kapitel 1.2.1 Orientierende Untersuchung), welches für die hydraulischen Berechnungen verwendet wird.
- LoD1: Mit den LoD1 Daten liegen Informationen zur Lage und Höhe, vereinfacht als Flachdach, der in Lauingen (Donau) befindlichen Gebäude vor.
- KOSTRA-DWD-2010R und PEN LAWA: Aus den KOSTRA und PEN LAWA Daten können Informationen zu Niederschlagshöhe und Niederschlagsspende in Abhängigkeit von der Niederschlagsdauer und der Jährlichkeit (Wiederkehrintervall) entnommen werden. Die Informationen dienen als Eingangsdaten für die hydraulische Modellierung der Fließgewässer III. Ordnung und der wild abfließenden Wässer.
- Niederschlagsdaten: In Frauenriedhausen befindet sich eine Wetterstation, an der meteorologische Daten seit über 30 Jahren aufgenommen werden. Mit Hilfe der Daten werden Starkniederschlagsereignisse der letzten Jahre identifiziert.

- Grundwasserdaten: Um eine Vorstellung über die aktuelle Grundwassersituation zu erhalten, wurden die Grundwasserdaten an den Messstellen Helmeringen, Hygstetterhof und Katharinenhof 32 ausgewertet.
- Durchlässe: Vom Wasserwirtschaftsamt (WWA) Donauwörth wurden der Firma GreenAdapt Informationen (z. B. Einlaufhöhe, Auslaufhöhe, Lage, Durchmesser) von 45 Durchlässen im Gemeindegebiet übergeben. Die Daten dienen als wesentliche Grundlage für die Modellierung der Hydraulik innerhalb der Durchlässe, welche mit der hydraulischen Modellierung der Fließgewässer gekoppelt (iterative Übergabe der Berechnungsergebnisse) werden. Darüber hinaus wurden weitere Durchlässe im Auftrag der Gemeinde vermessen, die in den Einzugsgebieten der Fließgewässer liegen. Die Daten wurden in die hydrodynamische Modellierung übernommen.

Die Daten- und Informationsrecherche ergab, dass der Zwergbach als Fließgewässer III. Ordnung bereits in die Risikokulisse 2018 (2. Bearbeitungszyklus) aufgenommen wurde. Dabei wurde die Hochwassersituation an dem Fließgewässer unter Berücksichtigung des Wasserhaushaltsgesetzes und der EG-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie beurteilt. In Abstimmung mit dem WWA und der Stadt Lauingen (Donau) wurde daher der Zwergbach bei der Gefahrenanalyse nicht weiter betrachtet.

Eine wichtige Informationsquelle stellt der Gewässerentwicklungsplan von März 2006 (INGENIEURBÜRO JOHANN KAPFER 2006) dar. Nach Rücksprache mit der Stadt wurde bisher keine der darin vorgeschlagenen Maßnahmen umgesetzt. Daher wurde davon ausgegangen, dass die Gewässer die Form und Charakteristik aufweisen, wie sie in den genannten Unterlagen beschrieben sind.

Für sämtliche Fließgewässer III. Ordnung lagen weder Wasserstände noch Durchflussdaten vor. Daher ist eine quantitative Verifizierung der Modellierungsergebnisse nicht möglich.

1.1.2 Vor-Ort-Begehung

Um einen Eindruck über die hydrologische und hydraulische Situation im Gemeindegebiet Lauingen (Donau) zu erhalten, wurde das Untersuchungsgebiet besichtigt. Die Ergebnisse aus der Befahrung sind Bestandteil der Beschreibung der hydrologischen Verhältnisse im Teilbericht I Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und dienen der besseren Interpretation der hydrodynamischen Modellierungsergebnisse. Einige ausgewählte Fotos sind in Abbildung 1 bis Abbildung 3 zu finden. Darüber hinaus wurden Anwohner, die im Mündungsbereich Zwerggraben/Zwergbach wohnen, über die hydrologische Situation befragt.

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)



Abbildung 1 Vegetation am Landgraben (links) und am Zwerggraben (rechts) – beide Gräben sind trocken bei der Befahrung im September 2021. Quelle: Eigene Aufnahmen.



Abbildung 2 Durchlass am Zwerggraben (links) und Galgenbergbächle (rechts). Quelle: Eigene Aufnahmen.



Abbildung 3 Quellaustritte am Galgenbergbächle. Quelle: Eigene Aufnahme.

1.2 Methodik

Die methodische Vorgehensweise für die Bearbeitung des Moduls 2 „Sturzflut-Risikomanagement“ für die Stadt Lauingen (Donau) setzt sich im Wesentlichen aus vier Hauptarbeitsschritten zusammen, die in der Abbildung 4 als Fließschema grafisch dargestellt sind.

Dabei stellt die Gefährdungsanalyse den Schwerpunkt der Bearbeitung dar. Sie gibt wichtige Hinweise zur Lokalisierung, zum Ausmaß und zur statistischen Wiederkehrzeit möglicher starkregenbedingter Überflutungen.

Der Arbeitsschritt 1 unterteilt sich in zwei Unterpunkte, die Modellierung der wild abfließenden Wässer und die Modellierung der Fließgewässer III. Ordnung. Wild abfließendes Wasser stellt insofern eine Gefahr dar, wenn

- sich das Wasser in abflusslosen Senken ansammelt und sich dort ein Schaden durch hohe Wasserstände einstellt, oder
- wild abfließende Wasser in steilen Hanglagen hohe Fließgeschwindigkeiten erreichen und dadurch z. B. Erosionsschäden hervorrufen.

Um die potentielle Gefahrengebiete durch wild abfließendes Wasser zu lokalisieren, wird die Topografie der Gemeinde mit Hilfe von Geoinformationssystemen (GIS) analysiert. Diese Analyse wird im Weiteren „orientierende Untersuchung“ genannt. Die Auswirkungen von Starkniederschlagsereignissen in den ermittelten Risikogebieten werden anschließend über eine hydrodynamische Modellierung detaillierter untersucht (Detailuntersuchung).

Die Gefährdungsanalyse an den Fließgewässer III. Ordnung erfolgt ausschließlich durch eine hydrodynamische Modellierung, anhand deren Ergebnisse die Überschwemmungsgebiete der einzelnen Fließgewässer mit den entsprechenden Wasser- bzw. Fließtiefen und Fließgeschwindigkeiten dargestellt werden.

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

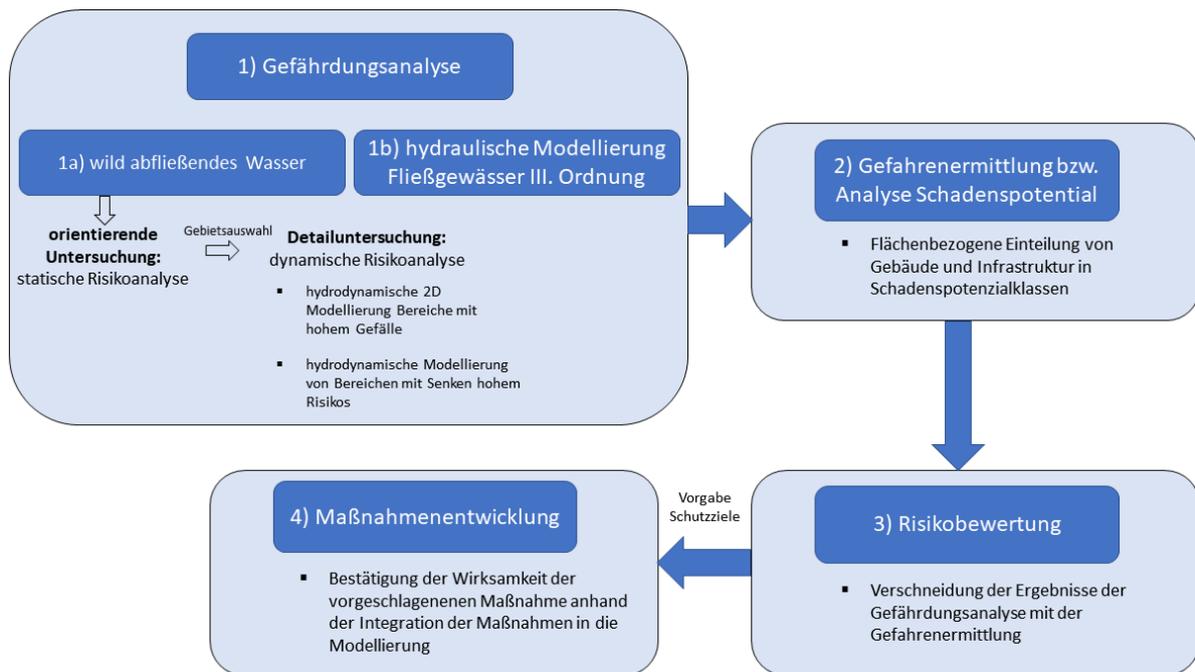


Abbildung 4: Methodische Vorgehensweise des Moduls 2 „Sturzflut-Risikomanagement“. Quelle: Eigene Darstellung.

Für die Ermittlung der Gefahren der überflutungsgefährdeten Bereiche, ist die Analyse des Schadenpotentials erforderlich (Arbeitsschritt 2). Beispielsweise weist ein Sportgelände ein geringeres Schadenpotential auf als ein Kindergarten. Bei der Analyse erfolgt eine flächenbezogene qualitative Einteilung der Gebäudenutzung, der Freiflächennutzung und der Infrastrukturanalagen.

Mit der Verschneidung der Ergebnisse aus der Gefährdungsanalyse und der Schadenpotentialanalyse lassen sich die Risiken bei einem Starkniederschlagsereignis mit entsprechender Eintrittswahrscheinlichkeit bewerten (Arbeitsschritt 3). Hierfür werden Überflutungsrisikokarten erstellt, aus denen das Schadenpotential hervorgeht.

Auf Grundlage der Risikobewertung sind durch die Stadt Lauingen (Donau) Schutzziele vorzugeben. Die Schutzziele definieren, welche Gefahr an einem zu schützenden Objekt zugelassen werden kann. Mit der Vorgabe der Schutzziele werden konzeptionell Maßnahmen vorgeschlagen (Arbeitsschritt 4), um diese Schutzziele zu erreichen. Die Wirksamkeit der Maßnahmen wird über hydrodynamische Modellierung mit Berücksichtigung der Maßnahmen bestätigt.

1.2.1 Gefährdungsanalyse wild abfließender Wässer

Im folgenden Kapitel wird die Methodik der Gefährdungsanalyse für wild abfließendes Wasser unterteilt in die orientierende Untersuchung und die Detailuntersuchung. Die Vorgehensweise entspricht den Empfehlungen aus BWK 2013 UND LANUV KISS 2013.

1.2.1.1 Orientierende Untersuchung

Mit der orientierenden Untersuchung wurden anhand einer GIS-gestützten Analyse der Geländeoberfläche die potentiellen Gefährdungsbereiche (Senken und exponierte Hanglagen) bei Starkniederschlagsereignissen lokalisiert.

Abflusslose Senken

1) DGM-Erstellung

Die wesentliche Datengrundlage für die Kartierung der abflusslosen Senken sind die unter Kapitel 1.1.1 aufgeführten Laserpunkte. Um die Kontur und die Höhe der Gebäude bei den Berechnungen zu berücksichtigen, wurden nicht nur die Klasse Bodenpunkte, sondern auch die Klasse Gebäudepunkte herangezogen. Zur Erstellung eines kontinuierlichen Höhenrasters wurden unbekannte Werte aus der räumlichen Nähe zu bekannten Werten, den Laserpunkten, mathematisch abschätzend berechnet.

Für die mathematische Abschätzung wurde die deterministische Natural Neighbour (natürlicher Nachbar) Interpolationsmethode angewendet. Sie bietet den Vorteil, dass sie lokale Trends der Oberflächenstruktur abschätzt und somit die Möglichkeit bietet, eine kontinuierliche und glatte Oberfläche zu interpolieren. Des Weiteren verbindet sie eine effektive Interpolation der Daten mit relativ geringem Rechenaufwand. Bei der Natural Neighbour Methode werden um die bekannten Höhenpunkte bzw. die Laserpunkte (Stützstelle) Polygone konstruiert. Die Grenzen der Polygone entsprechen dem halben Abstand zwischen zwei Stützstellen (siehe Abbildung 5).

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

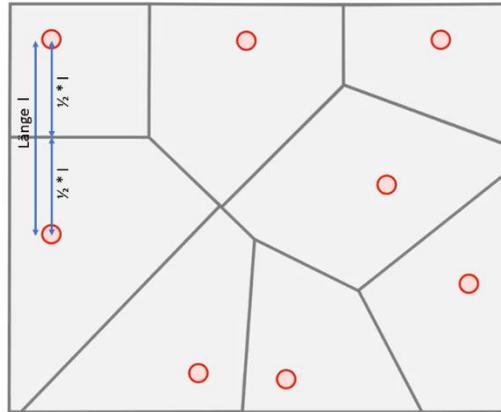


Abbildung 5: Thiessen-Polygone für eine Natural Neighbour Interpolation I, Stützstelle als Kreis dargestellt.
Quelle: Eigene Darstellung.

Um jeden gesuchten Punkt, in dem Fall die Höhenraster eines DGM, wird ein neues Polygon erzeugt, deren Grenze erneut dem halben Abstand zwischen den Stützstellen und den gesuchten Punkten entspricht (siehe Abbildung 6). Der Quotient zwischen dem Überlappungsbereich (farbig dargestellte Flächen in der Abbildung 6) des neuen Polygons, des gesuchten Punktes und des eigentlichen Polygonzuges der Stützstelle wird dann als Wichtungsfaktor bei der Berechnung des gesuchten Höhenpunktes verwendet (gewichteter Mittelwert).

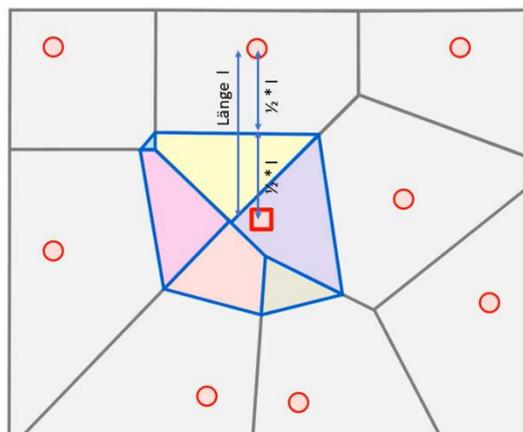


Abbildung 6: Thiessen-Polygone für eine Natural Neighbour Interpolation II, Stützstelle als Kreis dargestellt, gesuchter Punkt als Quadrat dargestellt. Quelle: Eigene Darstellung.

Bei der Interpolation der Laserpunkte zu einem DGM mit Gebäuden wurde eine Rasterauflösung von 1 m x 1 m gewählt (DGM1).

In der Abbildung 7 sind beispielhaft die Laserpunkte (alle Laserpunkte, inkl. Vegetation) im Bereich des Herzogsschloss und das daraus berechnete DGM1 mit Gebäuden dargestellt.

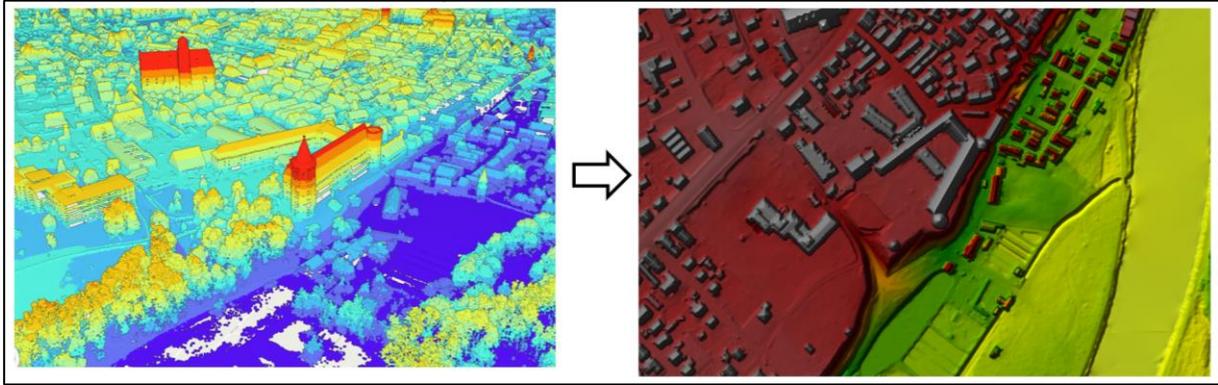


Abbildung 7: Laserpunkte mit farbiger Unterteilung in Höhe und Klassen (links), DGM 1m x 1m mit Gebäuden (rechts) im Bereich Herzogsschloss, Lauingen (Donau). Quelle: Eigene Darstellung.

Die Überprüfung der Interpolationsergebnisse mit dem durch das Landesvermessungsamt erstellten DGM1, zeigte im Bereich ohne Gebäude sehr gute Übereinstimmungen.

2) DGM1 Vorbereitung

Das DGM1 stellt die Grundlage für die GIS-gestützte Ermittlung der abflusslosen Senken dar. Um die Wasserdurchlässigkeit im Höhenmodell (nähere Erläuterung bei der Fließweganalyse) zu gewährleisten, müssen die Durchlässe und Brücken der Fließgewässer aber auch z. B. Straßentunneln im DGM1 eliminiert werden. Hierfür wurden die Flussläufe der Fließgewässer in das DGM1 „eingetieft“. Das bedeutet, dass über eine Tiefen- und Breitenzuweisung das DGM1 entlang der Fließgewässer eine neue Höhe erhält (siehe Abbildung 8). Im Fall eines Straßentunnels erfolgt eine Interpolation der Höhen der Ein- und Ausfahrten. Die Höhen aus den Interpolationsergebnissen wurden anschließend mit den Originalhöhen ersetzt.

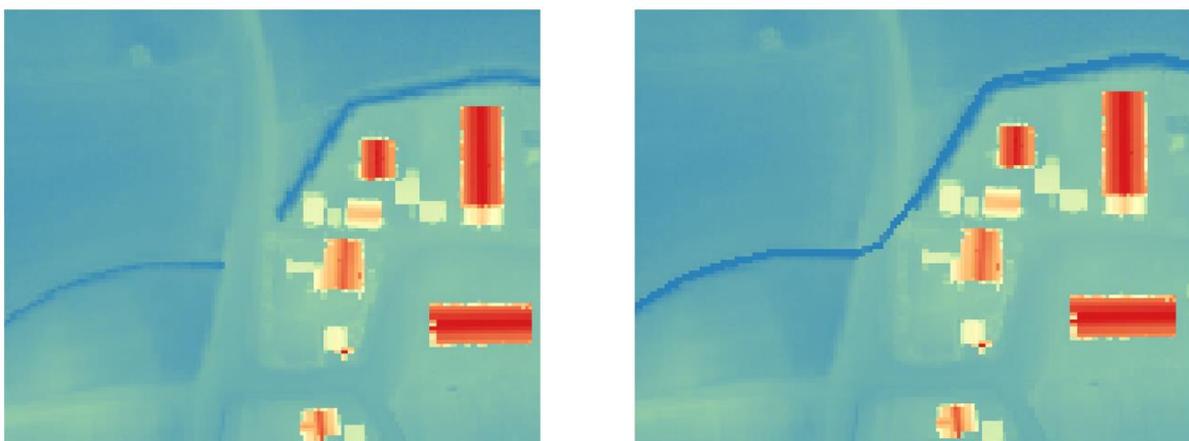


Abbildung 8: Original DGM1 links, DGM1 mit eingetieftem Grabenverlauf rechts – Bereich Wittislinger Str., Querung Zwerggraben, Fließgewässer Zwerggraben. Quelle: Eigene Darstellung.

3) Detektion der Senken und Einteilung in Gefahrenklassen

Im nächsten Schritt wurden alle im DGM1 vorhandenen Senken, die keinen Abfluss aufweisen, gefüllt. Dabei wurden die Rasterzellen in dem DGM1 so lange erhöht, bis sie die Höhe ihrer niedrigsten Nachbarzelle erreichen (siehe Abbildung 9). Dadurch wurden künstliche Ebenen gleicher Höhe geschaffen.

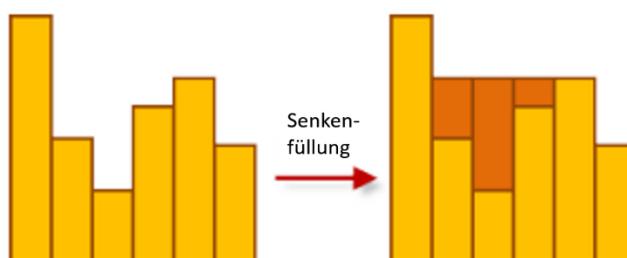


Abbildung 9: Senkenfüllung.

Die Senkenfüllung ist eine gängige Methode in der Hydrologie, um für die Berechnung von Einzugsgebieten ein hydrologisch „korrektes“ DGM zu erstellen. Sie wird näher in der einschlägigen Literatur erläutert (AI und LI 2010; JENSON 1987; MARKS et al. 1984).

Durch die Subtraktion des ungefüllten DGM vom gefülltem DGM können die Senken im GIS als Rasterdaten dargestellt werden. Aus den Daten lassen sich unterschiedliche Parameter, wie z. B. die maximale Senkentiefe, das Speichervolumen und die Senkenfläche berechnen. Dabei stellt das Speichervolumen die maximale Speicherkapazität bzw. das maximale Rückhalte- oder Retentionsvolumen dar. Die Senkentiepen entsprechen den Wassertiefen bei Vollfüllung der Senke und auch die Senkenfläche entspricht der maximalen flächigen Ausdehnung der Senke (vollgefüllte Senke).

Die genannten Parameter können gemäß der Richtlinie DWA-M 119 (DWA 2016) oder auch Scheid 2018 (SCHEID 2018) bereits als Grundlage für die Einteilung der Senken in abgestufte Gefahrenklassen verwandt werden. Diese Methode wird als belastungsunabhängige Methode, also ohne Berücksichtigung eines Niederschlagsereignisses, bezeichnet. Der Nachteil der belastungsunabhängigen Methode ist, dass bei einer wirklichkeitsnahen Einteilung in Gefahrenklassen mehrere Senkenparameter kombiniert zu verwenden sind. Z. B. kann eine flächig sehr große Senke geringe Senkentiepen aufweisen und dadurch eine geringere Gefahr bedeuten als eine kleine Senke mit hoher Senkentiepe. Weiter kann eine Senke mit großen Senkentiepen auf Grund des sehr kleinen Einzugsgebiets, welches eine Vollfüllung der Senke mit einem realistischen Starkniederschlagsereignis nicht zulässt, ungefährlich sein. Die Beispiele zeigen die

Wichtigkeit der Kombination mehrerer Senkenparameter bei einer belastungsunabhängigen Betrachtung.

Besser umsetzbar und einfacher darstellbar ist die Betrachtung konkreter Belastungsfälle bzw. konkreter Niederschlagsereignisse (belastungsabhängige Methode), die die Berechnung der Wassertiefen in den Senken und deren Gefahrenklassenunterteilung zulassen. So kann dieselbe Senke unterschiedliche Gefahrenklassen entsprechend ihrer Wassertiefen aufweisen. Hierfür ist die Einzugsgebietsgröße der Senken als zusätzlicher Parameter erforderlich. Die Größe des Einzugsgebiets wird über eine Fließweganalyse (nähere Erläuterung in Kapitel 1.2.1 dieses Teilberichts) ausgehend vom Überlaufpunkt der Senke ermittelt.

Die Bestimmung der Wassertiefen bei einer vorgegebenen Niederschlagsmenge erfolgte über folgende Gleichung:

$$V_S = P * A_{EZG} * \psi$$

V_S ...Senkenvolumen bei Niederschlagsmenge P [m^3]

P ...Niederschlagsmenge [m^3/m^2]

A_{EZG} ...Einzugsgebietsfläche der Senke [m^2]

ψ ...Abflussbeiwert [-]

Dabei wurde im Sinne einer worst-case Betrachtung ein Abflussbeiwert von $\psi = 1$ angenommen, was dem Fall einer vollversiegelten Einzugsgebietsfläche entspricht und somit ist die Menge des Effektivniederschlags gleich der Niederschlagsmenge. Die Niederschlagsmenge wurde dem KOSTRA 2010R Datensatz entnommen, wobei von einem Wiederkehrintervall von $T = 100$ a mit einer Dauerstufe von 90 min ausgegangen wurde. Da das Gemeindegebiet zu knapp 80 % in einer Rasterzelle der KOSTRA Daten liegt, wurde einfachheitshalber der Niederschlag über die Flächenanteile der Rasterzellen im Gemeindegebiet gemittelt. Bei flächenmäßiger Mittelung beträgt das Niederschlagsereignis mit einem Wiederkehrintervall von $T = 100$ a und einer Dauerstufe von 90 min 55,71 mm.

Die orientierende Untersuchung dient ausschließlich der Lokalisierung von potentiellen Gefährdungsgebieten. Daher wurde hier nur ein Belastungsfall angenommen. In der späteren Detailuntersuchung erfolgte die Annahme gemäß der Aufgabenstellung von unterschiedlichen Niederschlagsereignissen.

Im nachfolgenden Schritt wurde für jede Senke eine Beziehung zwischen der Senkenhöhe und dem Senkenvolumen hergestellt. Die Beziehung wurde über eine stufenweise Erhöhung der absoluten Senkenhöhe h_n , ausgehend vom niedrigsten Punkt der Senke h_{min} , und einer

stufenweisen Ermittlung des Senkenvolumens V_n bis der höchste Punkt der Senke h_{\max} (die Überlaufhöhe der Senkenhöhe) erreicht wurde, ermittelt. In Abbildung 10 ist die stufenweise Ermittlung der Höhen – Volumen Beziehung einer Senke beispielhaft dargestellt.

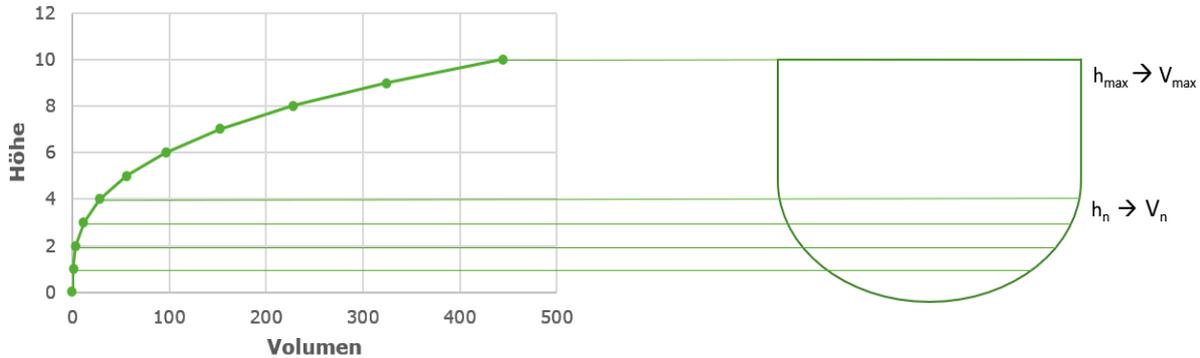


Abbildung 10 Ermittlung der Höhen-Volumen-Beziehung einer Senke über stufenweise Berechnung des Senkenvolumens (V_n) durch Erhöhung der Senkenhöhe (h_n), beispielhafte. Quelle: Eigene Darstellung.

Mit Hilfe der ermittelten Beziehung und dem Senkenvolumen V_s bei vorgegebener Niederschlagsmenge P konnte die absolute Wasserstandshöhe h_x in jeder einzelnen Senke ermittelt werden (siehe Abbildung 11).

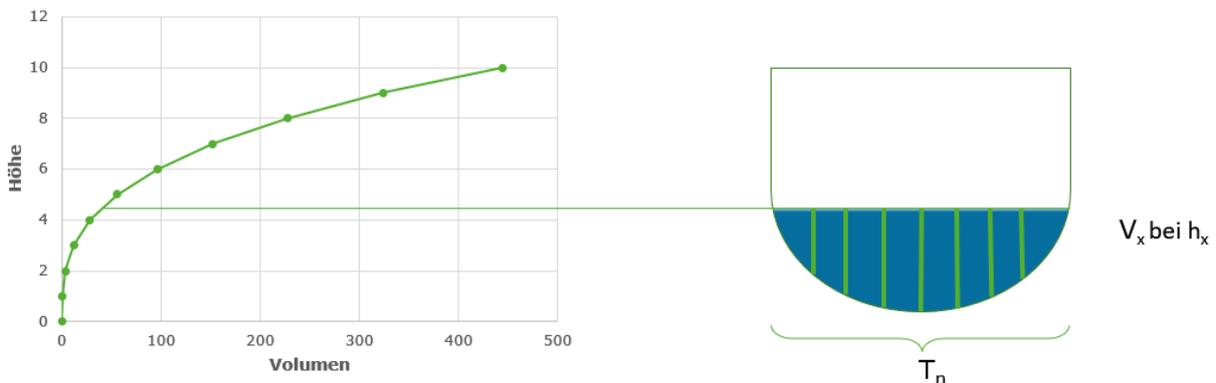


Abbildung 11 Ermittlung der Senkenhöhe h_x bei vorgegebenen Volumen V_x über die Höhen-Volumen-Beziehung einer Senke, beispielhafte. Quelle: Eigene Darstellung.

Ausgehend von der absoluten Höhe des Wasserspiegels h_x können durch Subtraktionen der Rasterdaten in den Senkenbereichen die Wassertiefen T_n berechnet werden.

Für die Differenzierung der Überflutungsgefahr der Senken, aber auch für alle weiteren Ergebnisdarstellungen der wild abfließenden Wässer und Fließgewässer III. Ordnung, wurden die Wassertiefen in Gefahrenklassen unterteilt. Die Unterteilung ist in den Richtlinien wie DWM-M 119, Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg und der Literatur (z. B: SCHEID 2018) noch sehr unterschiedlich und es bedarf einer Standardisierung. Für sämtliche Ergebnisdarstellungen der Wassertiefen dieser Bearbeitung wurde die

Gefahrenklassenunterteilung nach Scheid, 2018 angewandt (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Dabei gilt, dass:

- aufgrund der Höhengenaugigkeit des DGM von ± 10 cm (BILL 2010), aber auch auf Grund der Tatsache, dass grundsätzlich theoretisch überall eine Überflutungsgefahr besteht, die Gefahrenklasse 0 mit Wassertiefen < 10 cm mit **sehr gering** angegeben wird.
- eine geringe Gefahr bei Wasserständen zwischen 10 cm und 30 cm besteht, da sich z. B. Kellertüren bei vollgelaufenem Keller nur erschwert öffnen lassen.
- bei Wassertiefen von über 30 cm das Eintreten von Wasser über tiefgelegte Kellerfenster und -türen nicht ausgeschlossen werden kann. Auf Grund des Wasserdruckes ist das Öffnen von Kellertüren bei 30 cm kaum noch möglich, da bereits eine Kraft von ca. 45 kg zum Öffnen benötigt wird. So wird die Gefahrenklasse 2 mit Wasserständen von 30 cm bis 50 cm mit **mäßig** beurteilt.
- bei Wassertiefen von über 50 cm, Wasser auch bei höher gelegenen Kellerfenstern und -türen in die Keller eintreten kann. Bei Wasserständen von 50 cm ist das Öffnen von Türen für eine Person nicht mehr möglich, da hierfür eine Kraft von ca. 125 kg erforderlich ist. Auch ist das Ertrinken von (Klein-)Kindern nicht auszuschließen. So wird die Überflutungsgefahr bei 50 cm bis 100 cm für **hoch** eingeschätzt.
- bei Wasserständen > 100 cm die Gefahr des Ertrinkens von Kindern und Erwachsenen besteht. Außerdem kann statisches Versagen von Bauwerksteilen nicht ausgeschlossen werden. Die Gefahrenklasse 4 wird mit **sehr hoch** beschrieben.

Tabelle 1: Gefahrenklassen in Abhängigkeit der ermittelten Wasserstände bei einer statischen Volumenbetrachtung. Quelle:(SCHEID 2018)

Gefahrenklasse	Beschreibung	Wasserstand
0 (nicht dargestellt)	sehr gering	< 10 cm
1	gering	10 cm – 30 cm
2	mäßig	30 cm – 50 cm
3	hoch	50 cm – 100 cm
4	sehr hoch	> 100 cm

Nach der Berechnung der Senken werden die Senken, die ein Gewässer repräsentieren und im DGM einen Geländetiefpunkt darstellen, verworfen. Darüber hinaus wurden Senken nicht berücksichtigt, die:

- eine Senkentiefe $< 10 \text{ cm}$,
- ein Senkenvolumen $< 2 \text{ m}^3$,
- eine Senkenfläche $< 4 \text{ m}^2$ und
- einen sehr kleinen Quotienten zwischen Einzugsgebietsgröße und maximalem Retentionsvolumen (z. B. Hinterhöfe, Senken auf Dachflächen) haben.

Bei dem letzten aufgeführten Punkt erfolgte eine visuelle Prüfung der zu verwerfenden Senken. Darüber hinaus ist darauf hinzuweisen, dass bei der aufgeführten Methode der Wasserverlust über die Kanalisation und das Überlaufen einer vollgefüllten Senke und dem entsprechenden Zuflussvolumen in andere tieferliegende Senken nicht berücksichtigt wurde.

4) Verschneidung der Senken mit Gebäudedaten und Straßen

Im letzten Schritt erfolgte die Verschneidung der Ergebnisse aus der Senkenanalyse mit den Gebäudedaten des LoD1 und dem Straßennetz aus dem DLM, um die Bereiche zu visualisieren, in denen Senken mit hohem Gefahrenpotential liegen und sich gleichzeitig Wohnbebauung befindet oder Straßen verlaufen. Diese Bereiche wurden im Rahmen der Detailuntersuchung genauer und umfangreicher über eine hydraulische Modellierung betrachtet (siehe Kapitel 1.2.1 und Kapitel 1.3.1 dieses Teilberichts).

Exponierte Hanglagen

1) Neigungskarte

Neben Senkenbereichen können durch wild abfließendes Wasser auch Gefährdungen in Arealen mit steilen Hanglagen entstehen. Hierfür wurde über das DGM1 für die Lokalisierung der steilen Hanglagen eine Neigungskarte in Grad erstellt. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass eine detailliertere Untersuchung zur Erosionsgefährdung mit Berücksichtigung weiterer entscheidenden Faktoren wie dem Bodenerodierbarkeitsfaktor oder dem Regenerositätsfaktor gemäß der DIN 19708 nicht Bestandteil der Aufgabenstellung ist. Der einfache Ansatz mit ausschließlich der Berücksichtigung der Hangneigung begründet sich auch durch die Morphologiecharakteristik im Gemeindegebiet (siehe Kapitel 1.2.2). Da die Dillinger Hochterasse als auch das Dillinger Ried kaum Geländedifferenzen aufweisen, sind Erosionsschäden in diesen Bereichen nicht zu erwarten.

2) Fließweganalyse

Mit Hilfe der Fließweganalyse können die Wege des Wassers, das auf die Oberfläche trifft, nachvollzogen und darüber deren Zusammenfließen bestimmt werden. Die Analyse basiert

ausschließlich auf einem Geländemodell und kann mit einem GIS berechnet werden. Mit der Fließweganalyse können in Verbindung mit der Hangneigungskarte die steilen Bereiche lokalisiert werden, an denen sich abfließendes Wasser akkumuliert.

Die Bestimmung der Fließwege wird auch im Zusammenhang mit der Bestimmung der Einzugsgebiete von Fließgewässern und der Bestimmung der Einzugsgebiete von Senken (siehe Kapitel 1.2.1) vollzogen.

Als Geländemodell wird das aufgearbeitete und gefüllte DGM1 (siehe Kapitel 1.2.1) herangezogen. Im ersten Schritt wird die Fließwegberechnung (häufig auch flow direction genannt) durchgeführt. Dabei kommt der „Deterministic 8 Algorithm“-Ansatz (D8) zum Einsatz, der den Fließweg eines Rasterfeldes in eine Richtung der acht Nachbarzellen, die das größte Gefälle zum Betrachtungsraaster aufweist, ermittelt (siehe Abbildung 12).

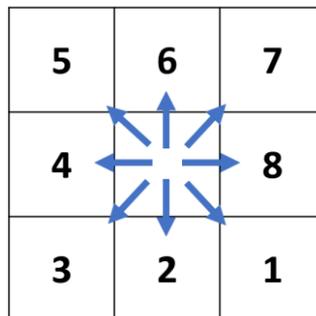


Abbildung 12: Prinzip des „Deterministic 8 Algorithm“-Ansatz (D8). Quelle: Eigene Darstellung.

Anschließend wird über die Abflussakkumulation (häufig auch flow accumulation genannt) berechnet, wie viele Rasterzellen in ein Betrachtungsraaster entwässern bzw. fließen (siehe Abbildung 13). So sammelt sich das Wasser in dem aufgeführten Beispiel der Abbildung 13 von insgesamt 35 Zellen in die markierte Rasterzelle.

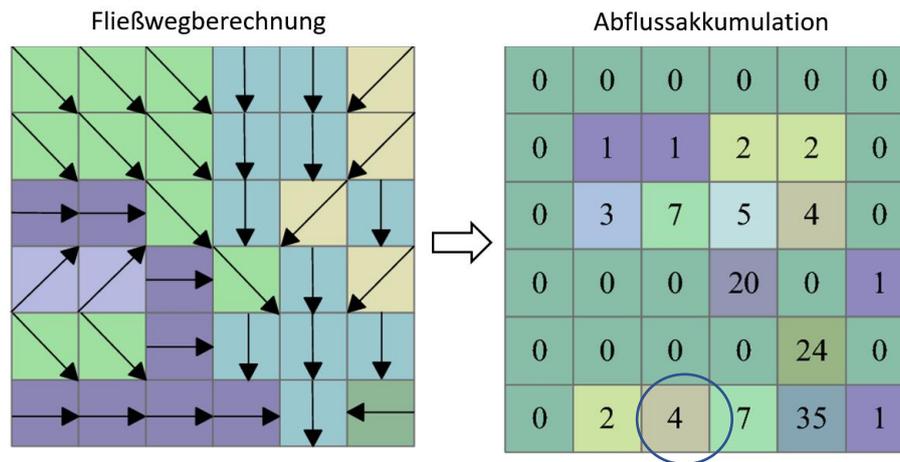


Abbildung 13: Prinzip der Berechnung der Abflussakkumulation für ein Geländemodell. Quelle: HUANG und JIN 2019.

3) Verschneidung der Fließweganalyse mit der Neigungskarte und den Gebäudedaten

Über die Verschneidung der Fließweganalyse mit der Neigungskarte und den Gebäudedaten aus dem LoD1 werden die potentiellen Gefährdungsbereiche in Bebauungsgebieten lokalisiert. Wie bei der Senkenanalyse werden die Auswirkungen von Starkniederschlagsereignissen in diesen Bereichen über eine hydraulische Modellierung im Rahmen der Detailuntersuchung genauer ermittelt.

1.2.1.2 Detailuntersuchung/hydrodynamische zweidimensionale Modellierung

Die Detailuntersuchung beinhaltet die hydrodynamische, zweidimensionale Modellierung von Starkniederschlagsereignissen der aus der orientierenden Untersuchung ermittelten Gefährdungsbereichen. Damit können die komplexen Abflussvorgänge der Geländeoberflächen nachgebildet und ereignisbezogene Informationen über die Wassertiefen und die Fließgeschwindigkeiten berechnet werden.

Die Berechnung der Fließprozesse mit einem hydrodynamischen, zweidimensionalen Model erfolgt über die Saint-Venant-Gleichungen, die eine Ableitung der Bewegungsgleichung nach Navier-Stockes darstellt und auf dem Newtonschen Gesetz basiert. Dabei werden die Fließgeschwindigkeiten tiefengemittelt berechnet, weshalb die Saint-Venant-Gleichungen sogenannte Flachwassergleichungen sind. Für die Lösung der komplexen Differentialgleichungssysteme kommen numerische Verfahren zur Anwendung, die das Untersuchungsgebiet in endliche (finite) Elemente zerlegt, in denen zu jedem Zeitschritt die Gleichungssysteme gelöst werden. Bei zweidimensionalen Modellen wird in der Regel die Finite-Volumen Methode verwendet, in denen die Erhaltungseigenschaften der Saint-Venant-Gleichungen kontrolliert bzw. bewahrt

werden (auch konservative Diskretisierung genannt). Die Lösung der gesuchten Variablen (z. B. Wassertiefe) erfolgt in den Mittelpunkten der Volumina.

Hier wird für die zweidimensionale Modellierung das international anerkannte Programmpaket HEC-RAS der Version 6.1 der U. S. Army Corps of Engineers herangezogen. Ein großer Vorteil von HEC-RAS 6.1 liegt in der Verwendung des Subgrid Bathymetrie Ansatzes nach Casulli 2009. Dabei geben die einzelnen Modellzellen der festgelegten Diskretisierung das dem Modell zugrundeliegende Geländemodell genau wieder. Das bedeutet, dass nicht wie bei anderen Programmpaketen keine Mittelwerte der Geländeoberfläche aus dem Geländemodell für die einzelnen Zellen abgeleitet werden. So wird bei geringen Wasserständen nicht die gesamte Zelle benetzt, sondern unter Berücksichtigung des Geländes nur die tiefsten Punkte innerhalb der Zelle. Dadurch kann ein gröberes Rechennetz als die DGM-Auflösung für die hydraulische Modellierung verwendet werden. Ein Ergebnisbeispiel mit Darstellung der gewählten Diskretisierung ist in Abbildung 14 dargestellt.

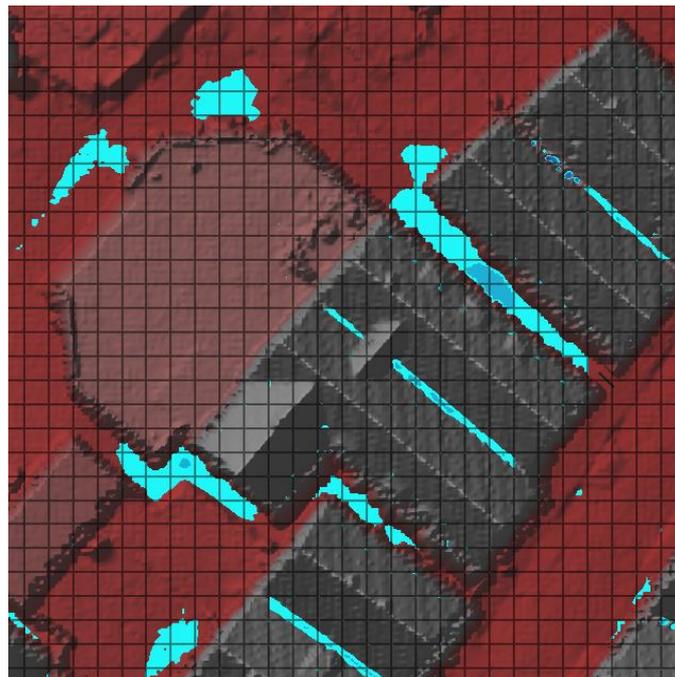


Abbildung 14: Auszug hydrodynamisches Modell mit Ergebnisdarstellung des „Subgrid Bathymetrie Ansatzes“.
Quelle: Eigene Darstellung.

Aufgrund der Komplexität der mathematischen Grundlagen wird auf die Angaben der Lösung der Gleichungssysteme verzichtet und auf die Unterlage (HEC 2021) verwiesen.

Geländemodell

Topografische Grundlage der Modellgebiete ist das DGM mit den Gebäudeinformation und einer Auflösung von 0,3 m x 0,3 m. Die Erstellung des DGM erfolgt analog der Vorgehensweise

aus dem Kapitel 1.2.1. Die hohe Auflösung wird gewählt, um auch sehr kleine Fließhindernisse und dementsprechend kleinskalige Abflussprozesse in der Modellierung nicht zu vernachlässigen. In der folgenden Abbildung 15 ist ein Ausschnitt aus dem Geländemodell mit Berücksichtigung der Gebäudeinformationen dargestellt.

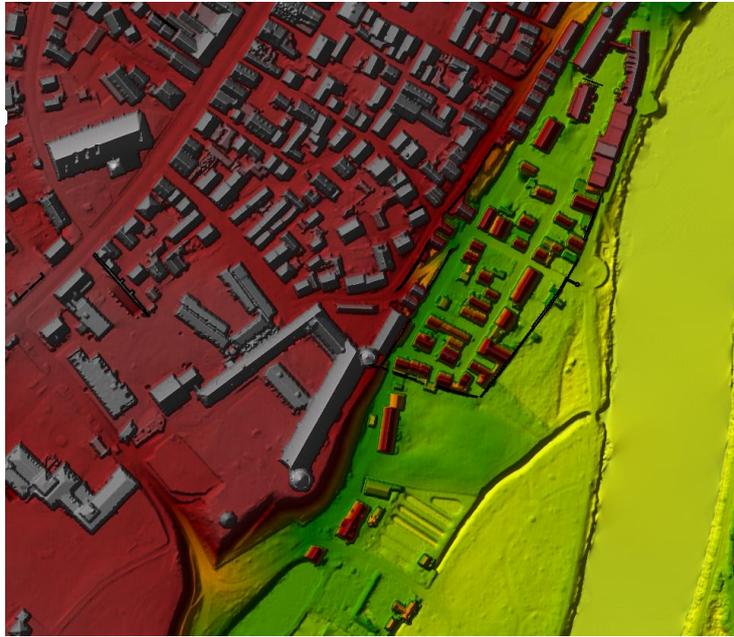


Abbildung 15: Auszug auf dem DGM03 mit Berücksichtigung der Gebäudedaten. Quelle: Eigene Darstellung.

Modelldiskretisierung

Die Festlegung der Modelldiskretisierung, d. h. die Festlegung des generellen Rechenrasters, erfolgt anhand der Ergebnisse umfangreicher Sensitivitätsanalysen. In der Sensitivitätsanalyse wurde das Rechenraster sukzessive verkleinert, bis die Berechnungsergebnisse keine relevanten Unterschiede mehr aufweisen. Dabei wurde auch die Möglichkeit berücksichtigt, dass das prinzipielle Rechenraster in bestimmten Bereichen verfeinert werden kann (Netzverfeinerung) und auch sogenannte „Breaklines“ entlang morphologischer Bruchkanten mit für die hydrodynamischen Prozesse relevanten Höhenunterschiede festgelegt werden können. Entlang der genannten „Breaklines“ lässt sich das Rechenetz ebenfalls verfeinern.

Bei der Sensitivitätsanalyse erfolgte ein visueller Vergleich der Tiefen und der Ausbreitung einzelner Überschwemmungsgebiete, aber auch ein Vergleich, der den Senken zuströmenden akkumulierten Wassermengen.

Niederschlag

Entsprechend der Aufgabenstellung finden für die hydrodynamische Modellierung der wild abfließenden Wässer die Niederschlagsmengen des vom DWD erstellten KOSTRA 2010R

Katalog Verwendung. Dabei wurden die Niederschlagsereignisse mit einem Wiederkehrintervall von $T = 30$ a, $T = 50$ a und $T = 100$ a herangezogen. Die Niederschlagsmengen für einen Wiederkehrintervall von $T = 1000$ a wurden dem PEN-LAWA Datensatz entnommen. Dabei ist anzumerken, dass die PEN-LAWA Daten auf Basis der KOSTRA Daten berechnet wurden. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung der Aufgabenstellung basierten die aktuellen PEN-LAWA Daten nicht auf den KOSTRA 2010R, sondern auf dem älteren KOSTRA-DWD 2000 Datensatz.

Als Dauerstufe wurde die Vorgabe aus dem Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg, 12/2016 (LUBW 2016) herangezogen und somit auf 60 min und die Modellierungszeit auf 180 min nach Ende des Regenereignisses festgelegt. In den einschlägigen Richtlinien wird empfohlen weitere 60 min und nicht 180 min nach dem Ende des Regenereignisses die Wasserverläufe zu berechnen. Allerdings war das Zusammenfließen des Regenwassers und die damit einhergehenden maximalen Wassertiefen in einigen Bereichen nach 60 min noch nicht erreicht, so dass die gesamte Modellierungszeit auf weitere 120 min verlängert wurde.

Da sowohl der KOSTRA 2010R als auch der PEN-LAWA Datensatz nur eine Regenmenge vorgibt, galt es diese über die Zeit zu verteilen. Hierbei kommen unterschiedliche Verteilungsmethoden je nach Anwendung zum Einsatz. Bei dieser Bearbeitung wurde die Niederschlagsverteilung nach Euler II (DWA 2006) mit einer zeitlichen Auflösung von 5 min angewendet. Dabei tritt die größte Niederschlagsintensität bei $1/3$ der Regendauer auf. Die Niederschlagsintensitäten werden aus den einzelnen Dauerstufen der KOSTRA Daten berechnet bzw. übernommen. Der Vorteil der Euler II Niederschlagsverteilung ist, dass auch bei größeren Dauerstufen die Intensitäten der kleineren Dauerstufen berücksichtigt werden. D. h. ein Niederschlagsereignis mit einer Dauerstufe von 60 min beinhaltet auch die Dauerstufe von 5 min, 10 min usw. Dadurch sind hohe Intensitäten, die für kleine Gebiete maßgebend sind, ebenso enthalten wie die Gesamtniederschlagsmenge der gewählten Dauerstufe.

In den PEN-LAWA Daten ist die kleinste Dauerstufe 0,25 h und die nächstgrößere Dauerstufe 1 h. Um an der zeitlichen Auflösung von 5 min festzuhalten, wurde bei dem Wiederkehrintervall von $T = 1000$ a der aus der DVWK-Empfehlung häufig verwendete mittenbetonte Niederschlag verwendet (DVWK 1984). Dabei fallen in den ersten 30 % der Niederschlagsdauer 20 % der Niederschlagssumme, in den nächsten 20 % der Niederschlagsdauer 50 % und im dritten und vierten Viertel der Niederschlagsdauer je 15 % der Niederschlagssumme. Die mittenbetonte Niederschlagsverteilung ähnelt der Euler II Verteilung berücksichtigt aber nicht die

Niederschlagsintensitäten der kleineren Dauerstufen. Die Euler II Verteilung ist demzufolge als konservativerer Ansatz einzuschätzen.

Der Niederschlag wird im Modell als äußere Randbedingung angesetzt und berechnet das gesamte Modellgebiet mit den vorgegebenen Mengen. Diese Art der Modellierung wird in der englischen Literatur auch als „Rain On Grid“ Modellierung bezeichnet.

Berechnung des Effektivniederschlags

Der Effektivniederschlag, der auch als abflusswirksamer Niederschlag (N_{eff}) bezeichnet wird, ist der Anteil des Gebietsniederschlags (N), der direkt zum Abfluss kommt, also nicht vom Einzugsgebiet durch Verdunstung (ET) und durch Speicheränderung (ΔS) des Gebiets zurückgehalten wird. Da bei Sturzflutereignissen $ET \ll \Delta S$ ist, kann die Verdunstung vernachlässigt werden und der Effektivniederschlag ergibt sich aus der Differenz des Niederschlags und der Speicheränderung.

Um N_{eff} zu bestimmen, wird das weit verbreitete und anerkannte Verfahren des US Soil Conservation Service (SCS) angewendet. Bei dem SCS-Verfahren wird der abflusswirksame Anteil des Niederschlags in Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe und gebietspezifischer Parameter für den Boden und die Vegetation unter Berücksichtigung des Bodenfeuchtezustands bestimmt.

$$N_{eff} = \frac{\left(\left(\frac{N}{25,4} \right) - \left(I_a \cdot \frac{10}{CN} \right) + \left(\frac{I_a}{10} \right) \right)^2}{\left(\frac{N}{25,4} \right) + \left(\frac{1000 - I_a \cdot 10}{CN} \right) - \left(10 - \left(\frac{I_a}{10} \right) \right)} \cdot 25,4$$

N_{eff}	Effektivniederschlag	[mm]
N	Gebietsniederschlag	[mm]
CN	Curve Number	[-]
I_a	Anfangsverlust	[-]

Durch SCS wird empfohlen den Anfangsverlust auf 0,2 zu setzen. Allerdings haben inzwischen viele Studien gezeigt (S. FU et al. 2011; SHI et al. 2009; WOODWARD et al. 2003), dass weitaus genauere Ergebnisse erreicht werden, wenn der Anfangsverlust mit $< 0,2$ angesetzt wird. MANIAK 2005 empfiehlt für mitteleuropäische Verhältnisse einen Wert von 0,05, dem auch in dieser Bearbeitung gefolgt wird, zumal es sich hierbei um eine konservativere Annahme handelt.

Der Boden, dessen Eigenschaften der ATKIS Daten und der ÜBK25 entnommen wurden, wird in eine von vier Gruppen (HSG – hydrologic soil group) eingeteilt, die sich in ihrem Versickerungsvermögen unterscheiden (MANIAK 2005).

- Gruppe A: Böden mit großen Versickerungsvermögen, auch nach starker Vorbefeuchtung, z.B. tiefgründige Sand- und Kiesböden;
- Gruppe B: Böden mit mittlerem Versickerungsvermögen, tief- bis mäßig tiefgründige Böden mit mäßig feiner bis mäßig grober Textur, z.B. Sandböden, Löß, (schwach) lehmiger Sand;
- Gruppe C: Böden mit geringem Versickerungsvermögen, Boden mit feiner bis mäßig feiner Textur oder mit wasserstauer Schicht, z.B. flachgründiger Sandboden, sandiger Lehm;
- Gruppe D: Böden mit sehr geringem Versickerungsvermögen, Tonböden, sehr flache Böden über nahezu undurchlässigem Material, Boden mit dauernd sehr hohem Grundwasserspiegel.

In der folgenden Abbildung 16 ist das Gemeindegebiet mit der Einteilung der HSG-Bodenklassen dargestellt. Dabei wird deutlich, dass entlang der Donau im Bereich des Donaurieds Böden mit großem Versickerungsvermögen lagern, jedoch ein Großteil des Gemeindegebiets insbesondere im Bereich der Dillinger Hochterrasse aus Böden mit geringem Versickerungsvermögen bestehen.

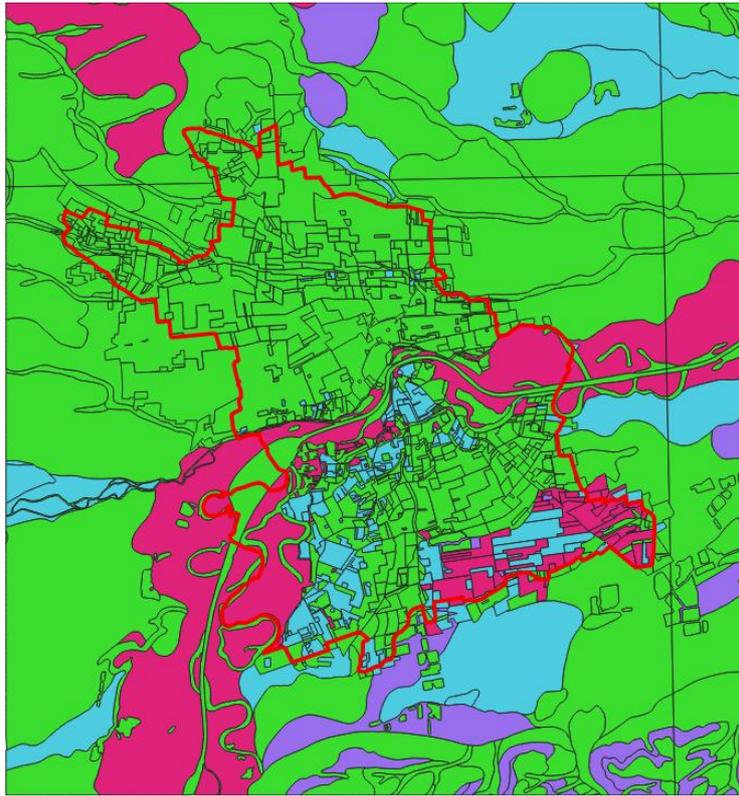


Abbildung 16: Einteilung der Bodenklassen nach dem SCS-Verfahren im Gemeindegebiet Lauingen (Donau) (rote Umrandung). Quelle: Eigene Darstellung.

Gemeinsam mit der Landnutzung, die dem Datensatz ATKIS und ALKIS (Tatsächliche Nutzung) entnommen werden, und der Einteilung der Böden in ihr Versickerungsvermögen, können die CN-Werte aus der einschlägigen Literatur entnommen werden (siehe z. B. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die CN-Werte unterscheiden sich entsprechend der gewählten Bodenfeuchteklasse I, II und III, die durch den Vorregen bestimmt wird. Als Vorregen wird die ungewichtete Niederschlagssumme der fünf dem Ereignis vorangegangenen Tage verwendet. Bei dieser Bearbeitung wurde die Bodenfeuchteklasse II gewählt, die einer 5-tägigen Niederschlagssumme zwischen 30 mm – 50 mm während der Vegetationszeit und 15 mm – 30 mm außerhalb der Wachstumszeit entspricht. Das entspricht einer durchschnittlichen, wenn auch nicht einer extrem hohen Bodenfeuchte. Da bereits der Anfangsverlust als konservativ angesetzt wurde, wurde bei der Einteilung in die Bodenfeuchteklasse ein eher realistischer Ansatz gewählt.

Tabelle 2: CN-Werte in Abhängigkeit von Bodengruppe und Bodennutzung für Bodenfeuchteklasse II. Quelle: Maniak 200.

Bodennutzung	CN für Bodengruppe			
	A	B	C	D
Ödland (ohne nennenswerten Bewuchs)	77	86	91	94
Reihenkulturen (Hackfrüchte), herkömmlich	70	80	87	90
Reihenkultur, nach Schichtlinien	67	77	83	87
Wein (Terrassen)	64	73	79	82
Getreide, herkömmlich	64	76	84	88
Getreideanbau, nach Schichtlinien	62	74	82	85
Getreideanbau, terrassenartig	60	71	79	82
Futterpflanzen (Klee), herkömmlich	62	75	83	82
Weide, fett	39	61	74	80
Weide, normal	49	69	79	84
Weide, karg	68	79	86	89
Dauerwiese	30	58	71	78
Haine, Obstanlagen (mittel)	36	60	73	79
Wald, stark aufgelockert	45	66	77	83
Wald, mittel	36	60	73	79
Wald, dicht	25	55	70	77
Wald, sehr dicht	15	44	54	61
Wirtschaftshöfe	59	74	82	86
Feldwege, befestigt	74	84	90	92
Undurchlässige Flächen	100	100	100	100

Rauheitswerte

Für die Berechnung der Oberflächenabflüsse wird im Programmpaket HEC-RAS der Fließwiderstand der unterschiedlichen Oberflächen über einen entsprechenden Beiwert, in dem Fall der Manningbeiwert, als Randbedingung definiert. Dabei ist zu beachten, dass die Rauheitswerte von der Wassertiefe abhängen und bei kleinen Wassertiefen rauer gewählt werden müssen. Da bei einem Berechnungsmodell bzw. einem „Rain On Grid“ Modell alle Rasterzellen benetzt werden, kommt es zu teils sehr geringen Wassertiefen. Demzufolge sind höhere Rauheitsbeiwerte zu wählen als bei einer klassischen hydraulischen Fließgewässermodellierung innerhalb eines Gerinnes. So wird im Leitfaden Kommunales Starkregnerisikomanagement in Baden-Württemberg, 12/2016 (LUBW 2016) die Verwendung von „Dünnsfilm“-Werten bei Wassertiefen von bis zu 2 cm als Rauheitswerte empfohlen, die auch bei dieser Bearbeitung zum Tragen kommen. Eine Übersicht der verwendeten Rauheitswerte für die jeweilige Landnutzung ist der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu entnehmen.

Tabelle 3: Landnutzung und verwendete Manning n – Werte.

Landnutzung	Manning n
Gebäude	0.018
Weg	0.021
Strasse	0.021
versiegelte Fläche	0.021
unkultivierte Fläche	0.15

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

Grünfläche	0.229
Gehölz	0.25
AX_BauwerkOderAnlage FuerIndustrieUndGewerbe	0.018
AX_HistorischesBauwerk OderHistorischeEinrichtung	0.018
AX_Vegetationsmerkmal	0.25
AX_Platz	0.021
AX_IndustrieUnd Gewerbeflaeche	0.021
AX_TagebauGrube Steinbruch	0.038
AX_FlaecheGemischter Nutzung	0.021
AX_SportFreizeitUnd Erholungsflaeche	0.229
AX_Halde	0.15
AX_Wald	0.25
AX_Gehoelz	0.25
AX_Moor	0.25
AX_UnlandVegetationslose Flaeche	0.25
AX_Sumpf	0.25
AX_StehendesGewaesser	0.048
AX_Fliessgewaesser	0.048
AX_Ortslage	0.229
AX_Landwirtschaft	0.104

Die im ALKIS aufgeführten Flächennutzungen „AX_Ortslage“ und „AX_FlaecheGemischterNutzung“ wurde unter Verwendung des Luftbildes weiter präzisiert, indem sie in „Grünfläche (Rasen)“ und „versiegelte Flächen“ unterteilt wurden.

Weitere Randbedingungen und Berechnungsvorgaben

Jedes Modell hat teils mehrere Ausflussrandbedingungen, über die der Abfluss in Bereichen mit Fließrichtungen in Richtung des Modellrands aus dem Gebiet zugelassen wird. Die Wassertiefen werden dabei über die Rauheitswerte und einem vorgegebenen Gefälle, welches über das Geländemodell bestimmt wird, zurückgerechnet. Fließenden Wässern zwischen zwei Modellgebieten, werden diese quantitativ als Zuflussrandbedingung angesetzt.

Bei der „Rain On Grid“ Modellierung werden die Modellrasterzellen mit den ersten vorgegebenen Niederschlägen erstmalig benetzt. Daraus resultieren sehr geringe Wassertiefen und Volumenströme. Um auch diese volumenmäßigen sehr kleinen hydrologischen Prozesse nicht zu vernachlässigen, die durch deren Zusammenfließen größere Volumenströme bilden, wurde die Berechnungstoleranz (Abbruch der Iteration) während der Iteration auf 0,0001 gesetzt.

1.2.2 Gefährdungsanalyse hydraulische Modellierung Fließgewässer III. Ordnung

Im Gemeindegebiet der Stadt Lauingen (Donau) befinden sich gemäß dem Gewässerentwicklungsplan (INGENIEURBÜRO JOHANN KAPFER 2006) 21 Fließgewässer III. Ordnung. Davon liegen 18 Fließgewässer im Donauried (14 rechtsseitig der Donau und 4 linksseitig der Donau) und drei im nördlichen Gemeindegebiet (s. Abbildung III-171 und Abbildung III-18).



Abbildung 17: Fließgewässer III. Ordnung im nördlichen Gemeindegebiet. Quelle: Eigene Darstellung.

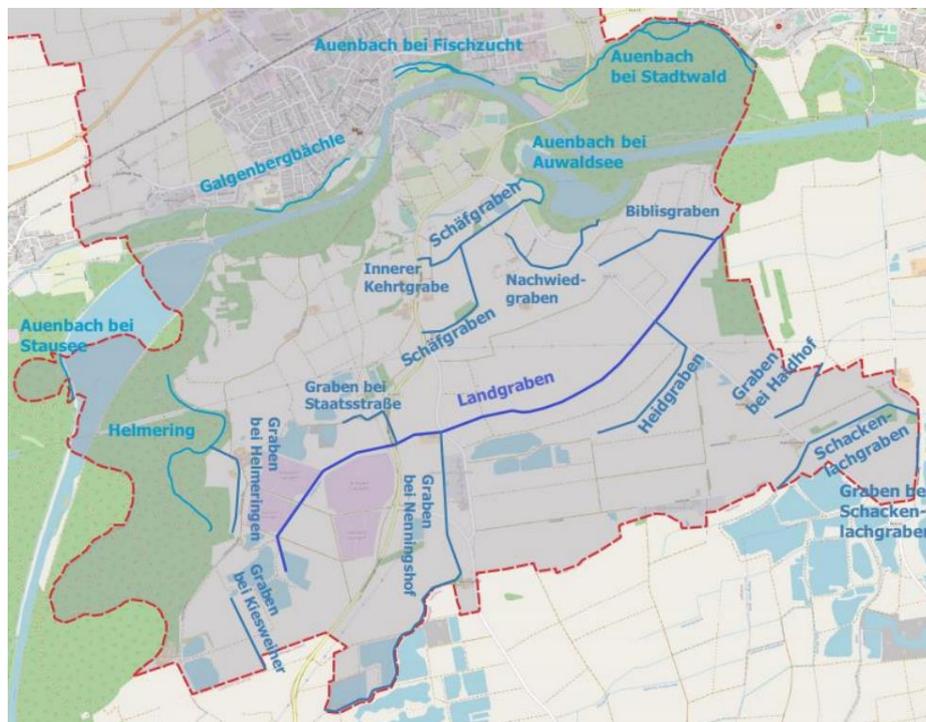


Abbildung 18: Fließgewässer III. Ordnung im südlichen Gemeindegebiet. Quelle: Eigene Darstellung.

Aus fachlicher Sicht ist es nicht erforderlich alle Fließgewässer III. Ordnung im südlichen Gemeindegebiet zu modellieren, da an den Gewässern aufgrund ihrer Einzugsgebietseigenschaften

(kaum oder geringes Sohlgefälle) und deren Funktion (Entwässerungsgräben der überwiegend landwirtschaftlich genutzten Flächen, Fanggräben von Grundwasseraustritten) keine Sturzfluten zu erwarten sind. Aus diesem Grund wurde durch GreenAdapt ein Vorschlag erarbeitet (GreenAdapt, 2022) und der Stadt Lauingen (Donau) übergeben. In der Unterlage wird begründet beschrieben, an welchen Fließgewässern III. Ordnung eine Modellierung vor dem Hintergrund der Gefährdungsbewertung von möglichen Sturzfluten durchzuführen ist. Dazu gehören:

- Deinsbach,
- Zwerggraben,
- Landgraben inkl. Graben bei Staatsstraße und Graben bei Nenningshof bis Beginn Überschwemmungsgebiet und
- Schackenlachgraben.

In der Besprechung am 22.11.2023 erfolgte die Zustimmung der Unterlage durch die Gemeinde.

Methodisch werden die vier Fließgewässer III. Ordnung ebenfalls, wie die wild abfließenden Wässer, hydrodynamisch zweidimensional modelliert (Berechnungsmodell bzw. „Rain On Grid“ Modell). Ein großer Vorteil der Herangehensweise ist, dass auf Grund der wesentliche Zuflussrandbedingung, der Niederschlag, die Hochwässer an dem Fließgewässer in Verbindung möglicher wild abfließender Wässer betrachtet werden können. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Wiederkehrintervalle der KOSTRA-Niederschlagsdaten den Wiederkehrintervallen der Hochwässer entsprechen. Eine detaillierte Beschreibung ist im Abschnitt „Wahl der Dauerstufe“ in diesem Kapitel nachzulesen. Auch wenn dieser Ansatz sehr rechenintensiv und die Rechenzeiten sehr lang sein können, ist er mit dem jeweiligem Formelwerkzeug der Saint-Venant-Gleichungen bzw. Lösung der Differentialgleichungssysteme über die Flachwassergleichungen und der Finiten-Volumen Methode für die Diskretisierung der Modellgebiete physikalisch begründet. Hier wird explizit keine Niederschlags-Abfluss Modellierung als konzeptionelles/deterministisches Modell für die Berechnung der jeweiligen Hochwasserabflüsse verwendet, da keine Kalibrierungsdaten für die Verifizierung der Ergebnisse bzw. Anpassung der Modellparameter vorliegen. Die Modellergebnisse einer nicht kalibrierten Niederschlags-Abfluss Modellierung wären mit nicht vertretbaren Unsicherheiten behaftet.

Weitere allgemeine Angaben zur „Rain On Grid“ Modellierung sind dem Kapitel 1.2.1.2 zu entnehmen.

Einzugsgebietsbestimmung

Die Einzugsgebiete der einzelnen Fließgewässer wurden mit Hilfe eines GIS und dem DGM1 bzw. für den Zwerggraben in den Teilen Baden-Württembergs mit einem DGM5 bestimmt. Das DGM wurde, wie bei der Senkenbestimmung hydraulisch vorbereitet, in dem die Wasserdurchlässigkeit an Brücken und Durchlässen gewährleistet wird. Anschließend erfolgte die Füllung der abflusslosen Senken. Analog der Fließweganalyse wurden weiter die Fließrichtung und die Abflussakkumulation der einzelnen Zellen ermittelt. Eine genauere Beschreibung der Senkenfüllung, der Bestimmung der Fließrichtung und der Abflussakkumulation ist in dem Kapitel 1.2.1.1 nachzulesen. Über die Bestimmung des Gebietsauslasses konnten so die Einzugsgebiete der einzelnen Fließgewässer bestimmt werden.

Geländemodell

Als Geländemodell findet, wie bei der Modellierung der wild abfließenden Wässer, das erstellte DGM mit 0,3 m x 0,3 m und den Gebäudeinformationen Verwendung (siehe Kapitel 1.2.1.2. – Geländemodell). Die Bathymetrie der Fließgewässer wurde hinreichend genau über die Laserdaten bzw. dem daraus erstelltem DGM wiedergegeben, da sie zum Zeitpunkt der Befliegung nach Aussage des Landesamts für Digitalisierung, Breitband und Vermessung trocken gewesen sind, so dass die Laserpunkte nicht an einer Wasseroberfläche, sondern im Flussbett reflektiert wurden. Der große Vorteil besteht in der Genauigkeit der Daten. Die im Flussbett bestehenden Fließhindernisse oder z. B. Einengungen des Flussbettes können über die Laserpunkte mit einer Auflösung von über 4 Punkten pro m² sehr genau wiedergegeben werden und sind dadurch genauer als bei einer terrestrischen Vorortvermessung. Eine 3D Darstellung des Schackenlachgrabens als Beispiel für die Genauigkeit des verwandten DGM wird in Abbildung 15 verdeutlicht.

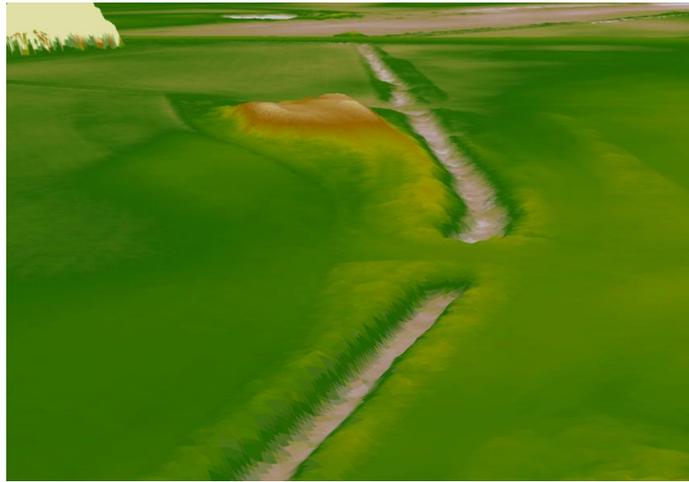


Abbildung 19: Darstellung DGM 0,3 m x 0,3 m mit Bathymetrie des Schackenlachgraben. Quelle: Eigene Darstellung.

Ausschließlich das Einzugsgebiet des Zwerggrabens wird auf Grund dessen Größe in drei Teileinzugsgebiete aufgeteilt (Abbildung 20). Die zwei flussaufwärts liegenden Einzugsgebiete werden durch ein DGM mit einer Auflösung von 1 m x 1 m und auf der Baden-Württemberg Seite durch ein DGM mit einer Auflösung von 5 m x 5 m wiedergegeben (Abbildung 20). Sie liegen außerhalb der Gemeinde und dienen ausschließlich der Berechnung der Durchflüsse bei den entsprechenden Niederschlagsjährlichkeiten, um sie dann dem Teileinzugsgebiet, welches im Bereich der Gemeinde liegt, als äußere Zuflussrandbedingung zu übergeben. Die gewählten Auflösungen der flussaufwärts liegenden Teileinzugsgebiete sind für derartige Fragestellung (Berechnung HQ-Durchflüsse) bei einer „Rain On Grid“ Modellierung hinreichend genau (DAVID und SCHMALZ 2021; ZEIGER und HUBBART 2021).

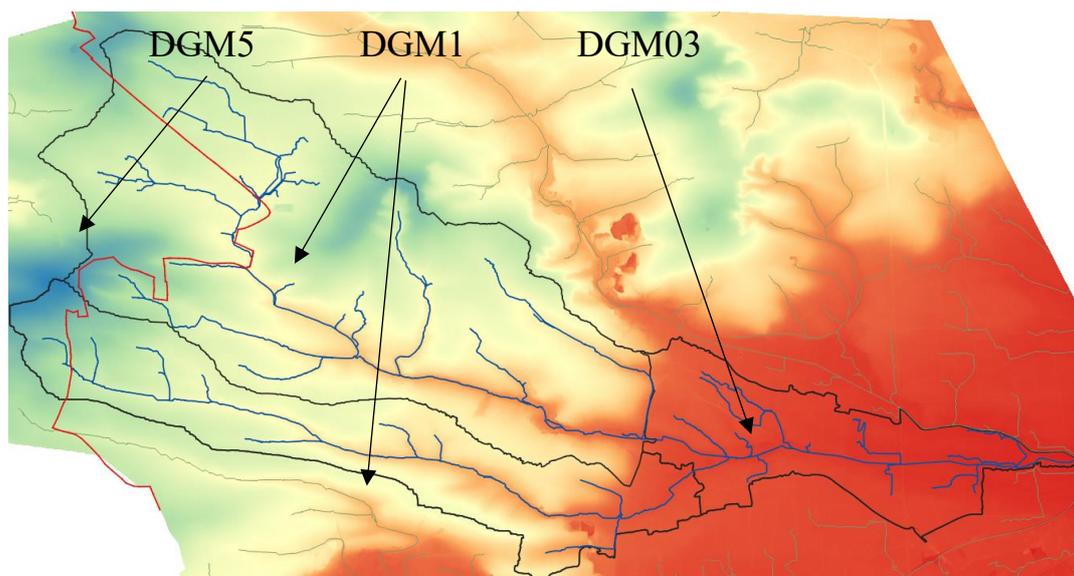


Abbildung 20 Auflösung DGM für Teileinzugsgebiete Zwerggraben. Quelle: Eigene Darstellung.

Niederschlag

Wie bei der Modellierung der wild abfließenden Wässer (Kapitel 1.2.1.2) ist die wesentliche Randbedingung der Niederschlag. Als Bemessungsniederschlag werden die Daten des KOSTRA Katalogs der Version 2010R herangezogen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Wiederkehrintervalle der Hochwasserabflüsse (HQ) den Wiederkehrintervallen der Niederschläge aus den KOSTRA Daten gleichgesetzt werden können. Da im KOSTRA Datensatz nur die Niederschlagshöhen der entsprechenden Dauerstufen aufgeführt werden, ist die Niederschlagsverteilung innerhalb der Dauerstufe für die Modellierung begründet anzunehmen. Für diese Bearbeitung werden die Niederschlagshöhen über die Euler II Methode verteilt (DWA 2006). Die Euler II Methode gilt als konservativer Ansatz und hat den großen Vorteil, dass sie auch die Niederschlagsintensitäten der kleineren Dauerstufen berücksichtigt. Gerade kurze Starkregenereignisse weisen hohe Intensitäten auf und sind insbesondere in kleinen Einzugsgebieten maßgebend. Mit der Euler II Verteilung können somit die Niederschlagshöhen der Dauerstufe und gleichzeitig die hohen Niederschlagsintensitäten der kleineren Dauerstufen berücksichtigt werden. Als zeitliche Auflösung wurde die kleinste, in KOSTRA verfügbare Dauerstufe von 5 min gewählt.

Der Berechnungsansatz der Euler II Verteilung ist dem Kapitel 1.2.1.2 – Niederschlag zu entnehmen.

Gemäß dem Deutschen Wetterdienst werden Regenereignisse in Dauerregen und Starkregen unterteilt. Bei den Starkregenereignissen werden auf Grund deren Eigenschaften (siehe Beschreibung am Anfang dieses Abschnittes) nur Niederschläge bis 6 h bzw. 540 min Dauer

berücksichtigt. Längere Niederschläge werden dem Dauerregen zugeordnet. Darüber hinaus nehmen bei einer Dauerstufe von 360 min / 540 min die Niederschlagshöhen nicht mehr wesentlich, im Vergleich zu den Dauerstufen davor, zu (Abbildung 21).

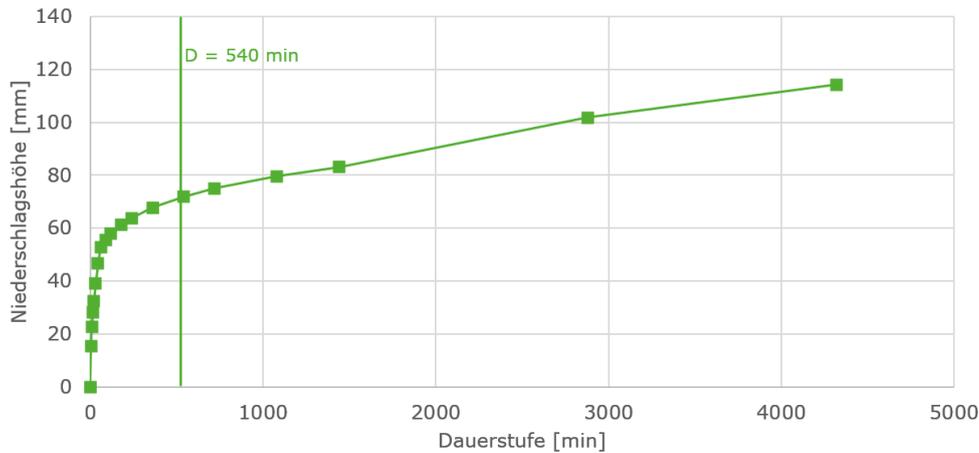


Abbildung 21: Exemplarisch: Niederschlagshöhe in mm über Dauerstufe KOSTRA 2010R in min. Quelle: Eigene Darstellung.

Außerdem sind entsprechend der vorliegenden Aufgabenstellung und dem Infoblatt zum Sonderprogramm nach Nr. 2.4 RZWas 2018 (STMUV BAYERN 2019) die Auswirkungen von Sturzfluten an Fließgewässer III. Ordnung zu untersuchen. Sturzfluten unterscheiden sich klar von Flussüberschwemmungen. So werden Sturzfluten durch Starkregen ausgelöst. Starkregen ist durch seine kleine räumliche Ausdehnung mit einer Niederschlagsdauer von wenigen Stunden und einer großen Niederschlagsintensität geprägt. Die Folgen von Starkregen sind schnelle Scheitelanstiegszeiten, dadurch schnell fließendes Wasser auch außerhalb von Flussbetten und ein damit einhergehendes großes Schadenpotential.

In der Abbildung 22 sind schematisch die Ursachen und die Folgen von Sturzfluten und Flussüberschwemmungen gegenübergestellt.

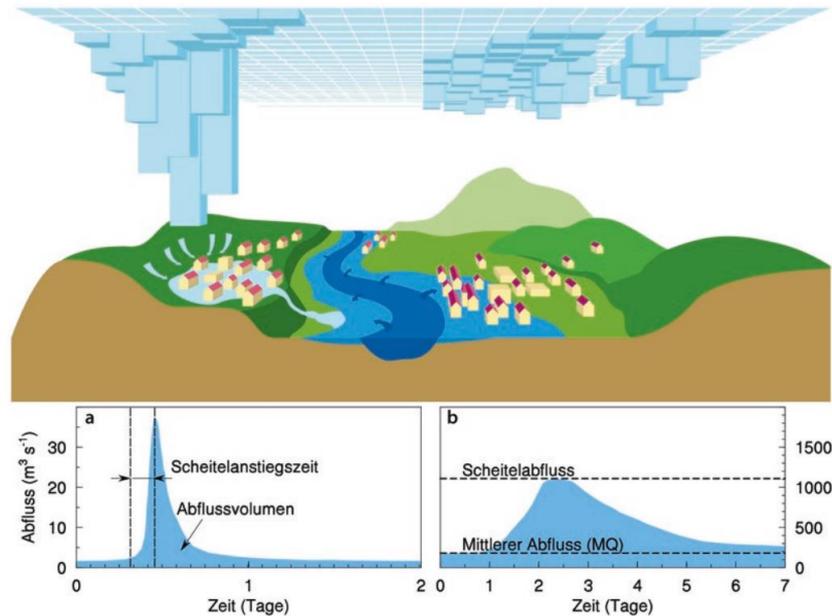


Abbildung 22: Schematische Gegenüberstellung der unterschiedlichen Gefährdungslagen durch Überflutungen infolge von Starkregen (a) und durch Ausuferung von Gewässern (b). Quelle: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2002.

Für Sturzfluten begünstigt sind Einzugsgebiete mit großem Gefälle, Böden mit geringem Versickerungsvermögen (insbesondere Festgestein), versiegelte Flächen und kanalisierte Bäche und Flüsse.

Daher sind Sturzfluten die Folge des Zusammentreffens von meteorologischen Bedingungen mit hydrologischen Eigenschaften eines Einzugsgebietes.

Auf Grund der

- Annahme der Euler II Verteilung und der damit verbundenen Berücksichtigung der Niederschlagshöhen aller Dauerstufen bei einer zeitlichen Auflösung von 5 min,
- der Fragestellung der Auswirkung von Sturzfluten / Starkregenereignissen und der aufgeführten Definition bzw. Argumentation von Sturzfluten

erfolgt die Modellierung mit der Dauerstufe **D = 540 min** (9 h).

Gemäß der Aufgabenstellung ist die Gefährdungsbetrachtung für die Abflussjährlichkeiten von $HQ_{\text{häufig}}$, HQ_{mittel} und HQ_{seltener} durchzuführen. Dabei wird bei einem

- $HQ_{\text{häufig}}$ der Niederschlag mit $T = 20$ a,
- HQ_{mittel} der Niederschlag mit $T = 100$ a und
- HQ_{seltener} der Niederschlag mit $T = 1000$ a

angesetzt.

Wie schon bei der Modellierung der wild abfließenden Wässer werden die Niederschläge mit $T = 1000$ a aus dem PEN-LAWA Datensatz entnommen. Auf Grund der Berechnungsgrundlage der alten KOSTRA Daten existieren in den PEN-LAWA Daten keine Dauerstufen kleiner 25 min und auch keine Dauerstufe für 540 min. Aus diesem Grund wird die nächstkleinere Dauerstufe von 360 min verwendet und die Niederschläge gemäß der DVWK-Empfehlung mittenbetont verteilt (DVWK 1984).

Der Berechnungsansatz ist dem Kapitel 1.2.1.2 – Niederschlag zu entnehmen.

Sämtliche Niederschlagsdaten aus dem KOSTRA und aus dem PEN-LAWA Datensatz wurden entsprechend der Einzugsgebietsaufteilung gewichtet und anschließend mit den ermittelten Wichtungsfaktoren gemittelt.

Modelldiskretisierung

Für alle Einzugsgebiete wurde eine Modelldiskretisierung von 5 m x 5 m festgelegt. Insbesondere für das Programmpaket HEC RAS liegen umfangreiche Studien zur Modelldiskretisierung für „Rain On Grid“ Modellierungen vor, aus denen hervorgeht, dass für die Berechnung von Hochwasserdurchflüssen und Überschwemmungsgebieten in kleinen Einzugsgebieten Auflösungen von 5 m x 5 m hinreichend genaue Ergebnisse liefern (z. B. DAVID und SCHMALZ 2021; KRVAVICA und RUBINIĆ 2020). Darüber hinaus wurden beim Schackenlachgraben und dem Deinsbach Sensitivitätsanalysen durchgeführt, aus denen hervorgeht, dass bei Zellengrößen des Modells unter 5 m x 5 m keine wesentlich genaueren Ergebnisse erzielt werden.

Durchlässe und Brücken

Die bestehenden Durchlässe und Brücken werden im Modell über eine 1D/2D Modellkopplung und eine iterative Berechnung der Zu- und Abflüsse vor und hinter den Durchlässen und Brücken berechnet. Die im Programm-Paket HEC RAS verwendeten Formelwerkzeuge richten sich danach, ob der Durchlass teil- oder vollgefüllt ist. Sämtliche Ansätze sind der Unterlage HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual—Version 6.0 von 2021 (HEC 2021) zu entnehmen. Die gewählten Rauheitswerte innerhalb der Durchlässe und der Energieverlust am Einlass wurden anhand von Fotos oder Vorgaben durch das WWA-Donauwörth gewählt.

Die Daten der Durchlässe wurden durch das WWA-Donauwörth vorgegeben bzw. neu vermessen und in die Modelle eingepflegt.

Weitere Annahmen

Die Berechnung des Effektivniederschlags und die Wahl der Rauheitswerte erfolgt analog zum methodischen Vorgehen der Modellierung der wild abfließenden Wässer (Kapitel 1.2.1.2).

Um auch die sehr kleinen hydrologischen Prozesse nicht zu vernachlässigen, wurde die Berechnungstoleranz während der Iteration bei allen Einzugsgebieten auf 0,0001 gesetzt.

1.2.3 Analyse Schadenspotential

Für die Bewertung des Überflutungsrisikos bzw. den überflutungsgefährdeten Bereichen ist eine Analyse des Schadenpotentials notwendig. Dabei erfolgt eine qualitative Bewertung des Schadenpotentials in Bezug auf die Flächen und Objekte und ihre Nutzung, die auf Grundlage ihrer Vulnerabilität klassifiziert wurden. Monetäre Auswirkungen wie Sachschäden und Gebäudeschäden werden nicht berücksichtigt, vielmehr erfolgt eine Einschätzung der direkten und indirekten Gefahr für „Leib und Leben“.

1.2.3.1 Datengrundlage

Die wesentliche Datengrundlage für die Analyse des Schadenpotentials der Gebäude ist das amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem, kurz ALKIS, mit dem Stand vom 01.01.2022. Die im ALKIS enthaltene Datei Tatsächliche Nutzung (TN) wurde für die Analyse der Flächennutzung herangezogen. Im TN wird die Erdoberfläche in vier Hauptgruppen, Siedlung, Verkehr, Vegetation und Gewässer unterteilt, die sich wiederum in fast 140 unterschiedliche Nutzungsarten unterscheiden.

Die in den Daten enthaltenen Gebäude- und Flächennutzungsarten werden in Anlehnung an die DWA-M 119 klassifiziert. Demnach erfolgt eine Unterscheidung in vier verschiedene Klassen mit einem geringen, mäßigen, hohen und sehr hohen Schadenspotential.

Die im Gemeindegebiet vorgenommene Klassifizierung in die Schadenspotentialklassen und deren farblicher Unterteilung ist der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu entnehmen.

Tabelle 4: Einteilung der Gebäude- und Flächennutzung der Gemeinde Lauingen (Donau) in Schadenspotentialklassen. Quelle: Eigene Darstellung.

Schadenspotentialklasse	Gebäude- oder Flächenutzung
gering	Sport, Freizeit, Tagebau, Lagerplatz, Friedhof, Speicherbauwerk, Überdachung, Vorratsbehälter, Speicherwerk, Waage, Einfahrt, Laufhof, Tank, Römische Tempelanlage
mäßig	Handel, Dienstleistungen, Industrie Gewerbe, Gärtnerei, Kläranlage, Entsorgung, Deponie, Kraftwerk, Wirtschaft oder Gewerbe, Garage, Kirche, Kapelle, Gebäude öffentl Zwecke, Moschee, Rathaus, Wasserbehälter
hoch	Umspannstation, Kraftwerk, Wohngebäude, Umformer, Bildung und Forschung, Bahnhofsgebäude
sehr hoch	Wasserwerk, Versorgungsanlage, Kraftwerk, Unterführung, Keller, Feuerwehr, Kindergarten, Heilanstalt

Der Einteilung der Richtlinie DWA-M 119 folgend sind Wohngebäude mit Unterkellerung in eine hohe und Wohngebäude ohne Unterkellerung in eine mäßige Schadenspotentialklasse einzuteilen. Nach Rücksprache mit dem Amt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (ADBV) Dillingen liegen keine Daten vor, aus denen Informationen zur Unterkellerung hervorgehen. Aus diesem Grund wurden vorsorglich alle Wohngebäude in die Schadenspotentialklasse „hoch“ eingeteilt.

Weiter ist darauf zu achten, dass die im Rahmen der Bearbeitung durchgeführte Analyse des Schadenspotentials und die darauf aufbauende Risikoanalyse im Sinne einer Ersteinschätzung oder orientierenden Bewertung zu verstehen ist (LUBW 2016). So sind bei der Analyse des Schadenspotentials keine Informationen wie z. B. Nutzung der einzelnen Etagen, Höhe des Eingangsbereiches, Höhen der Kellerfenster oder ähnliches in die Bewertung eingeflossen. Derartige Angaben können jedoch eine wichtige Rolle bei der Vulnerabilitätsbetrachtung der Flächen- und Gebäudenutzung spielen. Entscheidet sich die Kommune Lauingen (Donau) konkrete Maßnahmen für eine Risikominimierung durch wild abfließendes Wasser oder Sturzfluten an Fließgewässer III. Ordnung umzusetzen, ist es sinnvoll in einer detaillierten Betrachtung der gefährdeten Bereiche weitere z. B. oben aufgeführte Informationen in die Bewertung einfließen zu lassen.

1.2.4 Risikobewertung und Festlegung der Schutzziele

Risikobewertung

Nach den Schritten der Gefährdungsanalyse (Kapitel 1.2.1 und 1.2.2) und der Analyse des Schadenspotentials (Kapitel 1.2.3) werden die beiden Ergebnisse in einem Geoinformationssystem

(GIS) miteinander verschnitten, um das Risiko bei Starkregenereignissen mit entsprechendem Wiederkehrintervall für die Flächen- und Gebäudenutzung abzuleiten bzw. bewerten zu können. Bei der Risikobewertung wird bewusst keine Kategorisierung bzw. Priorisierung in z. B. gering, mittel und hoch gewählt, wie es in der DWA-M 119 Richtlinie vorgeschlagen wird, da bei einer derart quantitativen Verschneidung möglicherweise wichtige Informationen verloren gehen können. Vielmehr werden alle vorliegenden Informationen in die Risikobewertung einbezogen. So werden neben den Wassertiefen, den Fließgeschwindigkeiten, die Größe des Überflutungsbereichs in Bezug zur Flächennutzung (z. B. Straße komplett überflutet mit welchem Wasserstand) und auch die Aufenthaltsdauer des überfluteten Bereiches berücksichtigt.

Im Ergebnis der Bewertung werden Gefahrenpunkte festgelegt, die im Falle eines Starkregenereignisses Bereiche repräsentieren, die einem hohem Risiko (meist je größer das Wiederkehrintervall desto größer das Risiko) ausgesetzt sind. Die Gefahrenpunkte werden bei den wild abfließenden Wässern entsprechend ihrer Zuständigkeit unterteilt in kommunale, private und privat/kommunale Bereiche. Bei den Fließgewässern III. Ordnung werden insbesondere die Risiken ausgehend von den Fließgewässern selbst, durch z. B. über die Ufer tretende Wässer, bewertet.

Die Risikobewertung ist im Sinne einer Ersteinschätzung anzusehen (LUBW 2016) und ist im Bedarfsfall (z. B. Planung von Maßnahmen zur Risikominimierung) durch eine spätere Prüfung detaillierter zu untersetzen. So sind ggf. terrestrische vor-Ort Vermessungen der Gebäude erforderlich, aus denen Informationen z. B. zu Kellerfensterhöhen, der Höhen von Eingangsbereichen oder ähnliches hervorgehen, um sie direkt in der hydrodynamischen Modellierung oder bei deren Aus- und Bewertung indirekt zu berücksichtigen. Aber auch Nutzungsformen der jeweiligen Etagen sind für eine detaillierte Beurteilung des Risikos essentiell. Beispielsweise hat die Schulnutzung in einem Gebäude in der zweiten und dritten Etage eine geringere Vulnerabilität als eine Schulnutzung im Keller und im Erdgeschoss eines Gebäudes.

Schutzziele

Die Grundlage für die spätere Konzeption der Maßnahmen zur Minderung des Risikos ist die Festlegung von Schutzzielen. Da es sich bei dieser Bearbeitung um eine Ersteinschätzung handelt, haben die Schutzziele wasserqualitativen Charakter (z. B. Umleiten von Wasser, Eindringen von Wasser in das Gebäude vermeiden, Fernhalten des Wassers usw.) und sollten bei einer späteren detaillierteren Betrachtung durch quantitative Angaben untermauert werden. Die Schutzziele sind durch die Kommune festzulegen.

1.3 Ergebnisse Gefahrenanalyse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der hydrodynamischen, zweidimensionalen Modellierung diskutiert, wobei es zur Unterteilung der wild abfließenden Wässer und der Fließgewässer III. Ordnung kommt. Die Ergebnisse der wild abfließenden Wässer werden erneut in die orientierende und in die detaillierte Untersuchung unterteilt.

In diesem Zusammenhang muss bei der Interpretation der Berechnungsergebnisse auf deren Unsicherheiten hingewiesen werden. Ein hydrologisches Modell ist lediglich der Versuch hydrologische Prozesse unter Berücksichtigung der Fragestellung physikalisch und mathematisch zu beschreiben. Auf Grund der Komplexität der Prozesse und Einschränkungen der mathematischen, physikalischen, aber auch rechentechnischen Möglichkeiten können dabei nicht alle Prozesse und deren Wechselwirkungen in ihrem kompletten Umfang wiedergegeben werden. Daher sind Vereinfachungen bei der Modellbildung unumgänglich.

D. h. konkret, dass Unsicherheiten bereits im Geländemodell sowohl in vertikaler als auch in der horizontalen Ebene in Abhängigkeit des Untergrundes bzw. der Vegetation aber auch dessen Gefälles auftreten. Darüber hinaus sind die Prozesse bei Sturzfluten sehr dynamisch. So kann sich gerade bei Sturzfluten mit hohen Fließgeschwindigkeiten Treibgut auch an anderen Stellen als an Durchlässen und an Brücken aufstauen und als Fließhindernis wirken. Auch private oder kommunale Wassersperren durch z. B. Sandsäcke verändern Fließwege, die in dieser Form nicht im Modell berücksichtigt werden können. Des Weiteren werden die Fließwiderstände und die Infiltrationsprozesse insbesondere auf Basis der vorliegenden Landnutzungsdaten abgeleitet. Die Landnutzungsdaten stellen bereits ein vereinfachtes Modell der tatsächlichen Nutzung der Flächen dar. So werden z. B. vereinzelt Bäume und auch kleinere versiegelte Flächen vernachlässigt, die aber Einflüsse auf die hydrologischen Prozesse haben können.

Die beschriebenen Modellvereinfachungen sind nur Beispiele und können weitergeführt werden. Sie sollen auszugsweise aufzeigen, dass die Ergebnisse in ihrer Genauigkeit nicht überschätzt werden dürfen. Sie dienen vielmehr als Orientierungswerte. Insbesondere aus den Gründen der Modellunsicherheit werden sowohl die Wassertiefen als auch die Fließgeschwindigkeiten in Klassen eingeteilt. Die Einteilung mit Klassen bei den Wassertiefen nicht genauer als 10 cm (siehe auch Kapitel 1.2.1.1) und bei den Fließgeschwindigkeiten nicht genauer als 0,2 m/s soll suggerieren, dass sich die berechneten Ergebnisse in den entsprechenden Größenordnungen der Klassen einstellen können. Daher empfiehlt es sich nicht, die Ergebnisse genauer als die o. g. Größenordnungen darzustellen.

1.3.1 Wild abfließende Wässer

Die Ergebnisse der wild abfließenden Wässer sind in die Arbeitsschritte orientierende Untersuchung – Senkenbetrachtung und orientierende Untersuchung – exponierte Hanglage sowie der Detailuntersuchung gegliedert.

1.3.1.1 Orientierende Untersuchung - Senkenbetrachtung

Die Ergebnisse der Senkenanalyse bei statischer Volumenbetrachtung für ein Regenereignis mit einem Wiederkehrintervall von $T = 100$ a und einer Dauerstufe von $D = 90$ min nach KOSTRA-DWD-2010R sind in der Anlage Modul 2_1 hinterlegt. Darüber hinaus sind in der Anlage Modul 2_2 die Senken mit deren maximalen Senkentiefen gemäß Gefahrenklasseneinteilung der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt.

Der Großteil der Senken der Gefahrenklassen 3 und 4 bei statischer Volumenbetrachtung (Wassertiefen > 50 cm bei $T = 100$ a, $D = 90$ min) als auch bei der Darstellung der maximalen Senkentiefen in Wohnbereichen und Bereichen von Straßenverläufen befinden sich

- 1) im Bereich zwischen Gundelfinger Straße und Schumannstraße, am Bildungszentrum Lauingen (Donau) und an der Berufsschule,
- 2) im Bereich Faimingen (Magnus-Schneller-Straße, Torweg)
- 3) an der Kreuzung B16/Riedhauser Straße und dem angrenzenden Industriegebiet
- 4) an der B16 zwischen Wittislinger Str. und Lindenstraße
- 5) im gesamten Innenstädtischen Bereich
- 6) im Bereich des Einkaufszentrums im Osten des Stadtzentrums sowie im Bereich zwischen der Kaiser-Karl-Straße und der Dillinger Straße.

Die aufgeführten Bereiche sind in den Abbildung 23 bis Abbildung 27 Bereich zwischen Gundelfinger Straße und Schumannstraße, am Bildungszentrum Lauingen (Donau) und an der Berufsschule sowie Bereich Faimingen (Magnus-Schneller-Straße, Torweg) mit den Wassertiefen bei statischer Volumenbetrachtung ($T = 100$ a, $D = 90$ min, $P = 55,71$ mm) Abbildung 23 bis Abbildung 27 auszugsweise dargestellt.

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

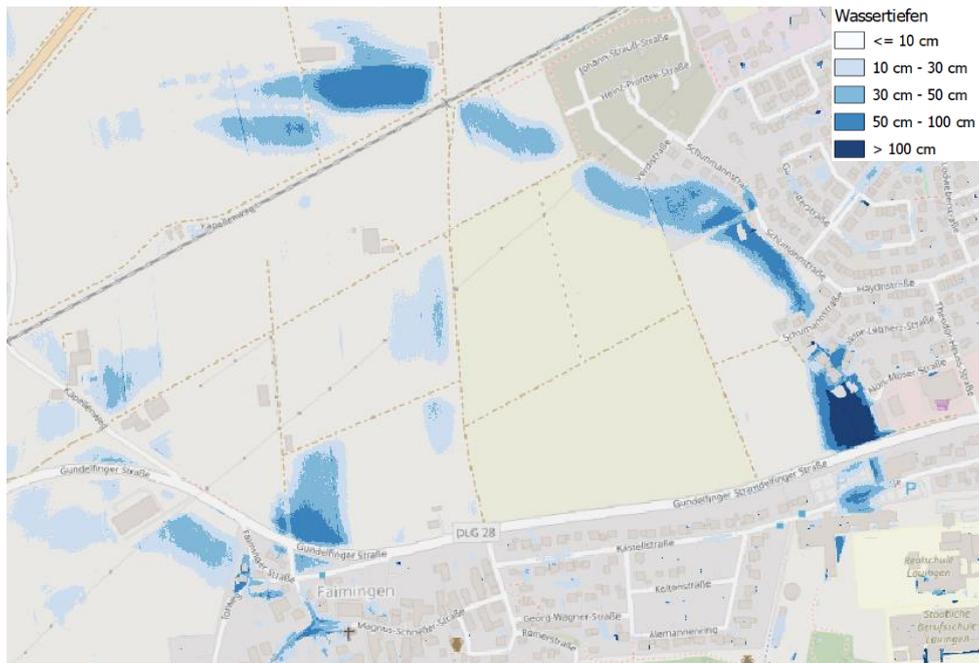


Abbildung 23: Bereich zwischen Gundelfinger Straße und Schumannstraße, am Bildungszentrum Lauingen (Donau) und an der Berufsschule sowie Bereich Faimingen (Magnus-Schneller-Straße, Torweg) mit den Wassertiefen bei statischer Volumenbetrachtung ($T = 100$ a, $D = 90$ min, $P = 55,71$ mm). Quelle: Eigene Darstellung.

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

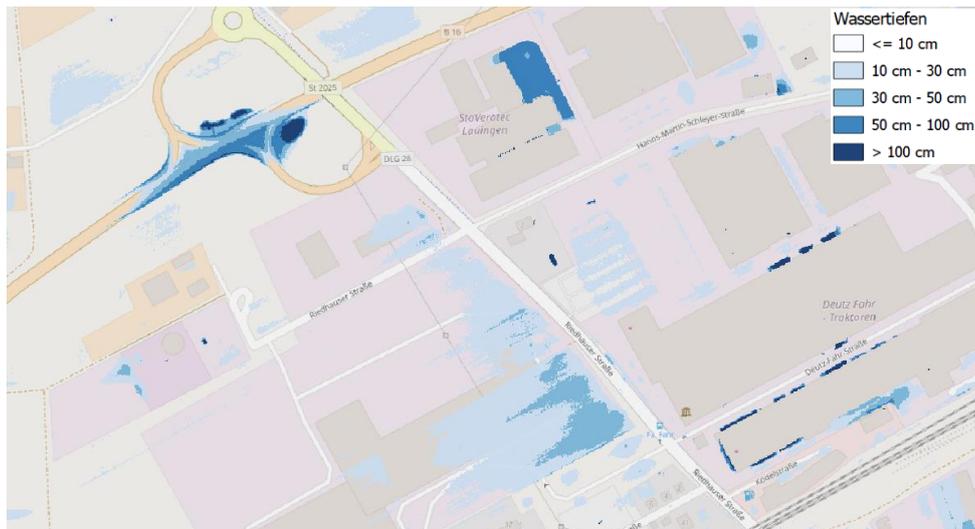


Abbildung 24: Bereich Kreuzung B16/Riedhauser Straße und dem angrenzenden Industriegebiet mit den Wassertiefen bei statischer Volumenbetrachtung ($T = 100\text{ a}$, $D = 90\text{ min}$, $P = 55,71\text{ mm}$). Quelle: Eigene Darstellung.

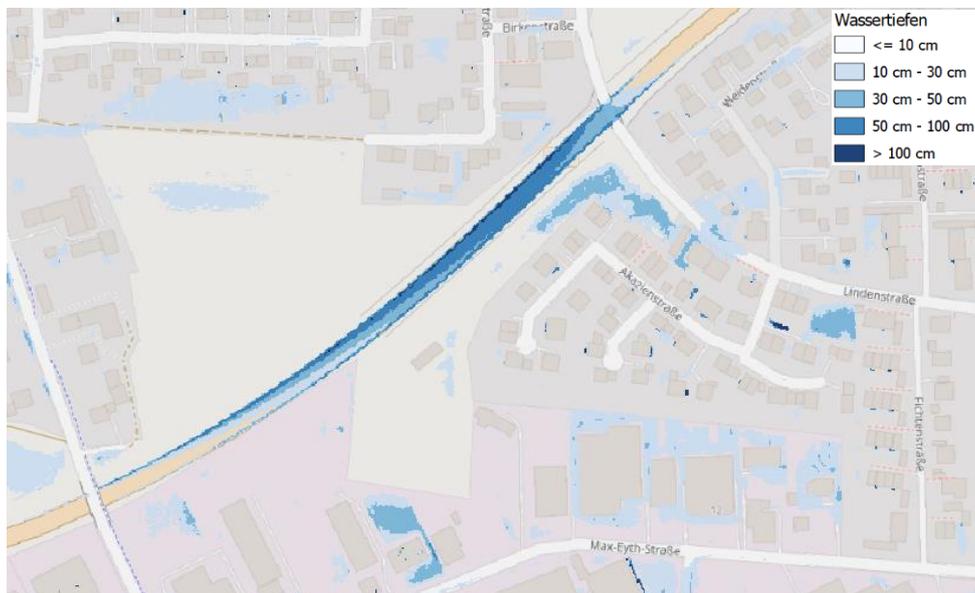


Abbildung 25: Bereich B16 zwischen Wittislinger Str. und Lindenstraße mit den Wassertiefen bei statischer Volumenbetrachtung ($T = 100\text{ a}$, $D = 90\text{ min}$, $P = 55,71\text{ mm}$). Quelle: Eigene Darstellung.

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

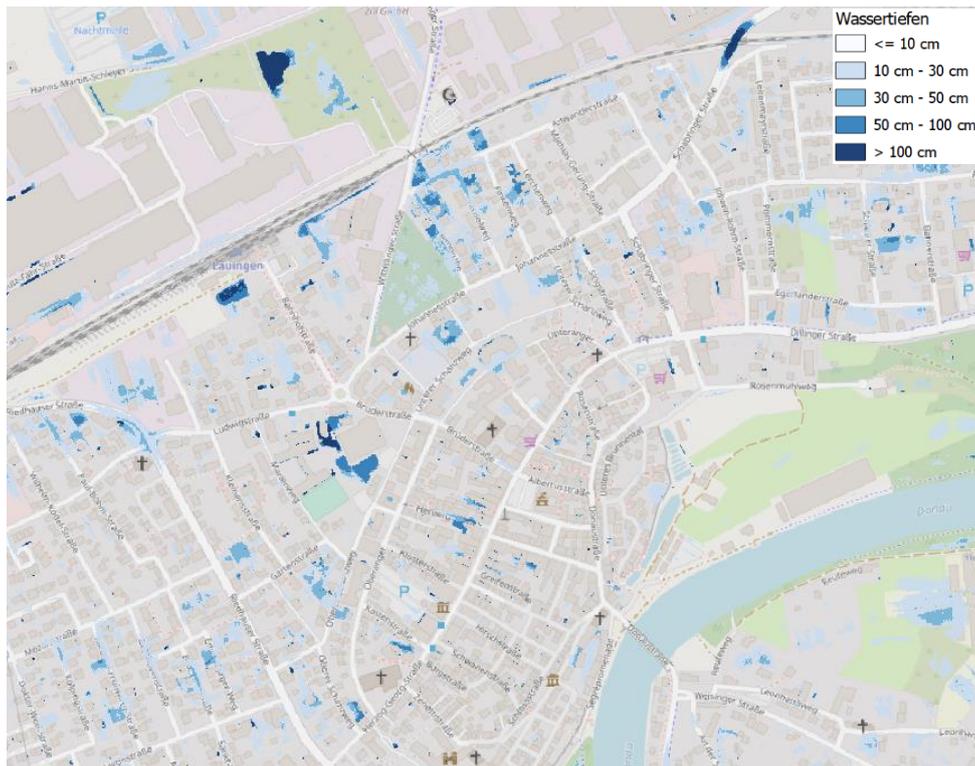


Abbildung 26: Innenstädtischen Bereich mit den Wassertiefen bei statischer Volumenbetrachtung ($T = 100$ a, $D = 90$ min, $P = 55,71$ mm). Quelle: Eigene Darstellung.

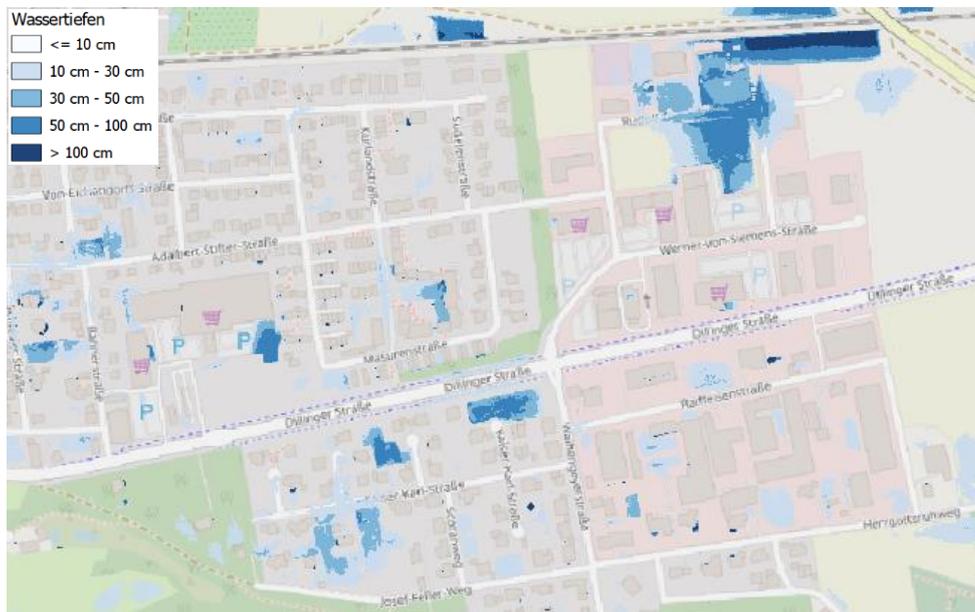


Abbildung 27: Bereich des Einkaufszentrums im Osten des Stadtzentrums sowie im Bereich zwischen der Kaiser-Karl-Straße und der Dillinger Straße mit den Wassertiefen bei statischer Volumenbetrachtung ($T = 100$ a, $D = 90$ min, $P = 55,71$ mm). Quelle: Eigene Darstellung.

Aufbauend auf der orientierenden Untersuchung werden die Bereiche 1 bis 6 unter Berücksichtigung ihrer Einzugsgebiete zweidimensional hydrodynamisch modelliert.

1.3.1.2 Orientierende Untersuchung - exponierten Hanglagen

Die Hangneigungskarte mit der Eintragung der Gebäudedaten ist in der Anlage Modul 2_3 hinterlegt. Ein Großteil der Bereiche mit Neigungen zwischen 15° - 20° und $> 20^\circ$ sind Straßenböschungsneigungen und in Bereichen von Unterführungen, die auf Grund ihrer Größe bzw. Länge nicht weiter untersucht werden.

Die flächendeckend größte exponierte Hanglage ist die Steilstufe zwischen der Dillinger Hochterrasse und dem Donaugrieß. In Wohnbereichen sind diese Gebiete flächendeckend versiegelt, wie z. B. das Gebiet Donaubrücke, Segrèpromenade, Oberes Brunntal, Donaustraße (siehe Abbildung 28). In Richtung Fließgewässer Brenz liegt die Steilstufe im Auwald und ist stark bewachsen (siehe Abbildung 29). Die Steilstufe wird insbesondere in Bereichen mit Wohnbauungen im Rahmen der Modellierung der Senkenbereiche in das Modellgebiet integriert. So können bereits dort die auftretenden Fließgeschwindigkeiten abgeschätzt werden.

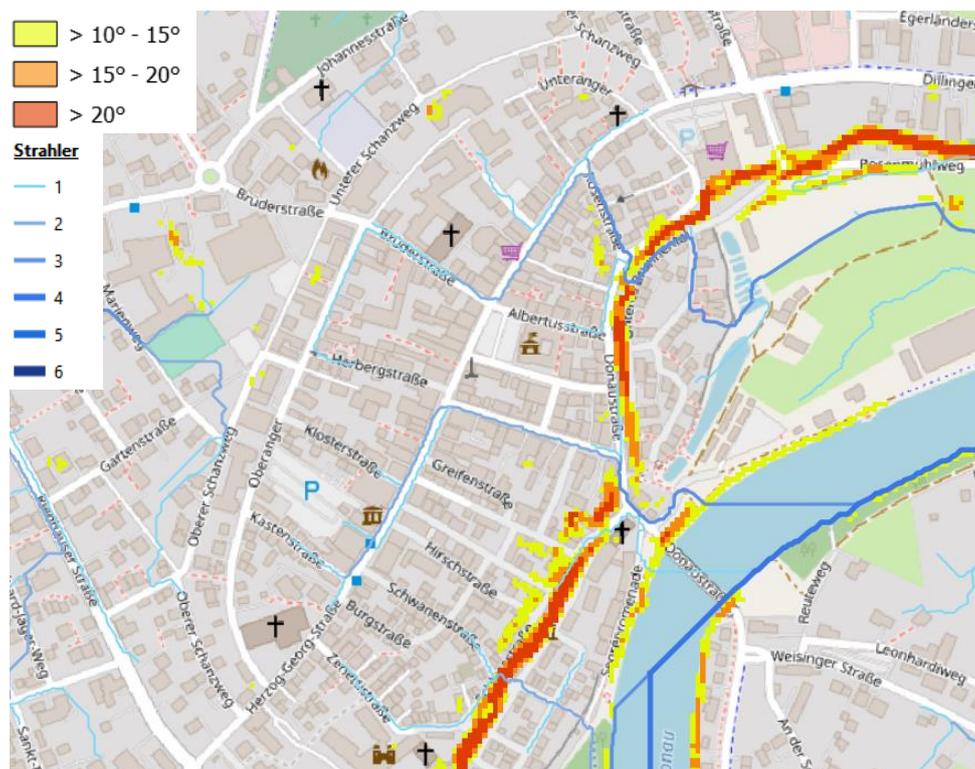


Abbildung 28: Gebiet Donaubrücke, Segrèpromenade, Oberes Brunntal, Donaustraße mit Hangneigung in Grad und Ergebnisse der Fließweganalyse (Darstellung – Methode Strahler). Quelle. Eigene Darstellung.

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)



Abbildung 29: Steilstufe im Auwald mit Hangneigung in Grad und Ergebnisse der Fließweganalyse (Darstellung – Methode Strahler). Quelle: Eigene Darstellung.

Weitere größere flächendeckende Hangneigungen mit Neigungsgraden von 15° - 20° und >20° wurden an den äußeren nördlichen Bereichen des Gemeindegebiets (Lonetal-Flächenalb) detektiert (siehe Abbildung 30). Die Bereiche liegen außerhalb der detektierten Fließwege und werden daher als ungefährlich bei Starkniederschlagsereignissen und der möglichen Entstehung von wild abfließenden Wässern eingeschätzt (siehe Abbildung 30).

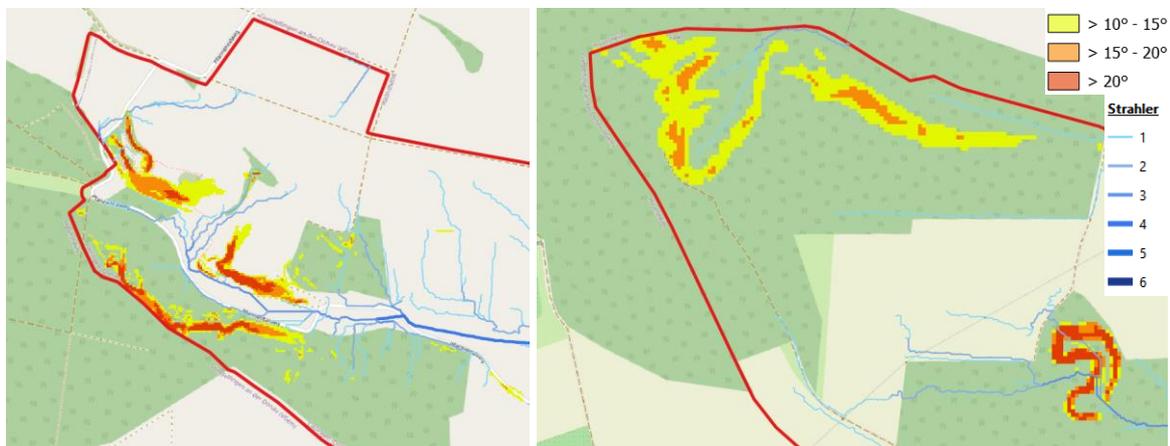


Abbildung 30: Bereiche im nördlichen Gemeindegebiet mit Hangneigung in Grad Ergebnisse der Fließweganalyse (Darstellung – Methode Strahler). Quelle: Eigene Darstellung.

1.3.1.3 Detailuntersuchung - Hydraulische Modellierung wild abfließender Wässer

Die Bereiche, die sich aus den Ergebnissen der orientierenden Untersuchung ergeben (siehe Kapitel 1.3.1.1), sind durch eine hydrodynamische zweidimensionale Modellierung detaillierter zu betrachten. Hierfür wurden die Einzugsgebiete der Senkenbereiche über das Geländemodell berechnet (siehe Abbildung 31). Das gesamte zu modellierende Gebiet erstreckt sich von

Veitriedhausen im Nord-Westen, Faimingen im Westen, nördlich entlang der Donau im Süden und im Osten bis zur Staatsstraße 2025. Demzufolge wird auch der gesamte innenstädtische Bereich modelliert. Auf Grund der Gebietsgröße und der dementsprechend rechenintensiven und lang zu erwartenden Modelldurchläufe wurde das Gebiet in die einzelnen Einzugsgebiete aufgeteilt. Ein Wasseraustausch zwischen den Teilmodellgebieten wird über entsprechende Zu- und Ausflussrandbedingungen bzw. die Übergabe der Durchflussmengen gewährleistet (siehe Kapitel 1.2.1.2).

Die Teilmodelle und deren entsprechenden Größen sind:

- das Industriegebiet B16 – ca. 79 ha,
- die Lindenstraße B16 – ca. 31 ha,
- das Einkaufszentrum – ca. 134 ha,
- die Innenstadt – ca. 149 ha,
- die Berufsschule – ca. 54 ha und
- Faimingen – ca. 83 ha.

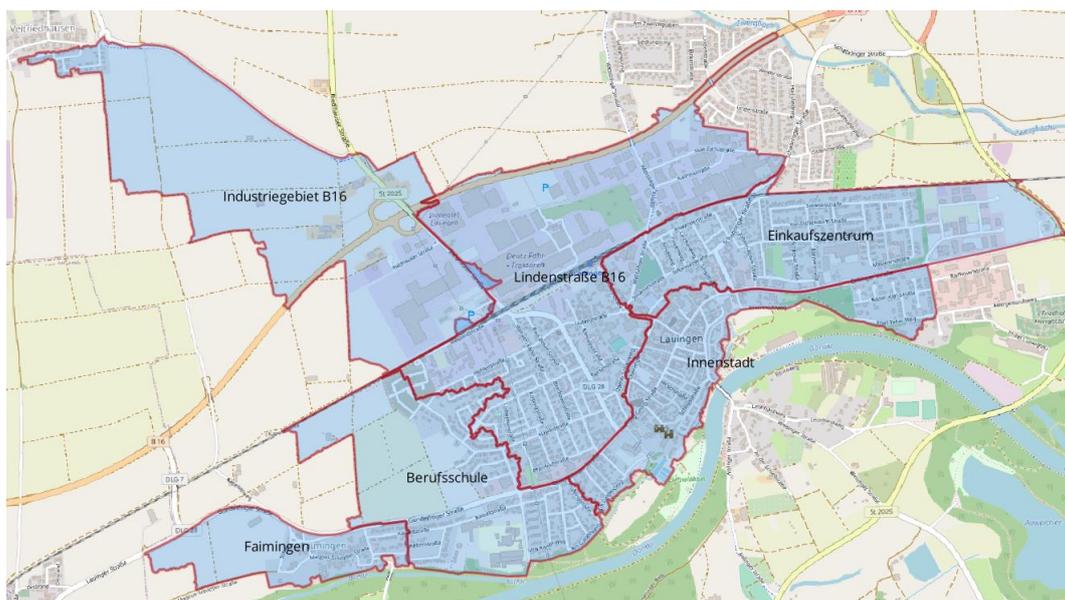


Abbildung 31: Modellbereiche bzw. Einzugsgebiete der wild abfließenden Wässer. Quelle: Eigene Darstellung.

Ergebnisse Sensitivitätsbetrachtung

Im Rahmen der Sensitivitätsbetrachtung (siehe Kapitel 1.2.1.2) wurde die Diskretisierung, die erforderlichen Netzverfeinerungen und der Einsatz der Breaklines bzw. Bruchkanten für die einzelnen Teilmodelle festgelegt.

Beispielhaft sind in der Abbildung 32 die Ergebnisse des berechneten Volumenstroms über die Zeit für eine Modelldiskretisierung von 2 m x 2 m und 4 m x 4 m für das Modellgebiet Lindenstraße B16 und eine Modelldiskretisierung von 3 m x 3 m und 4 m x 4 m für das Modellgebiet Industriestraße B16 dargestellt. In den Grafiken ist zu erkennen, dass es bei beiden Modellgebieten zu keiner relevanten Änderung des der Senken zuströmenden Wassermengen kommt, wenn die Modelldiskretisierung feiner als 4 m x 4 m aufgelöst wird.

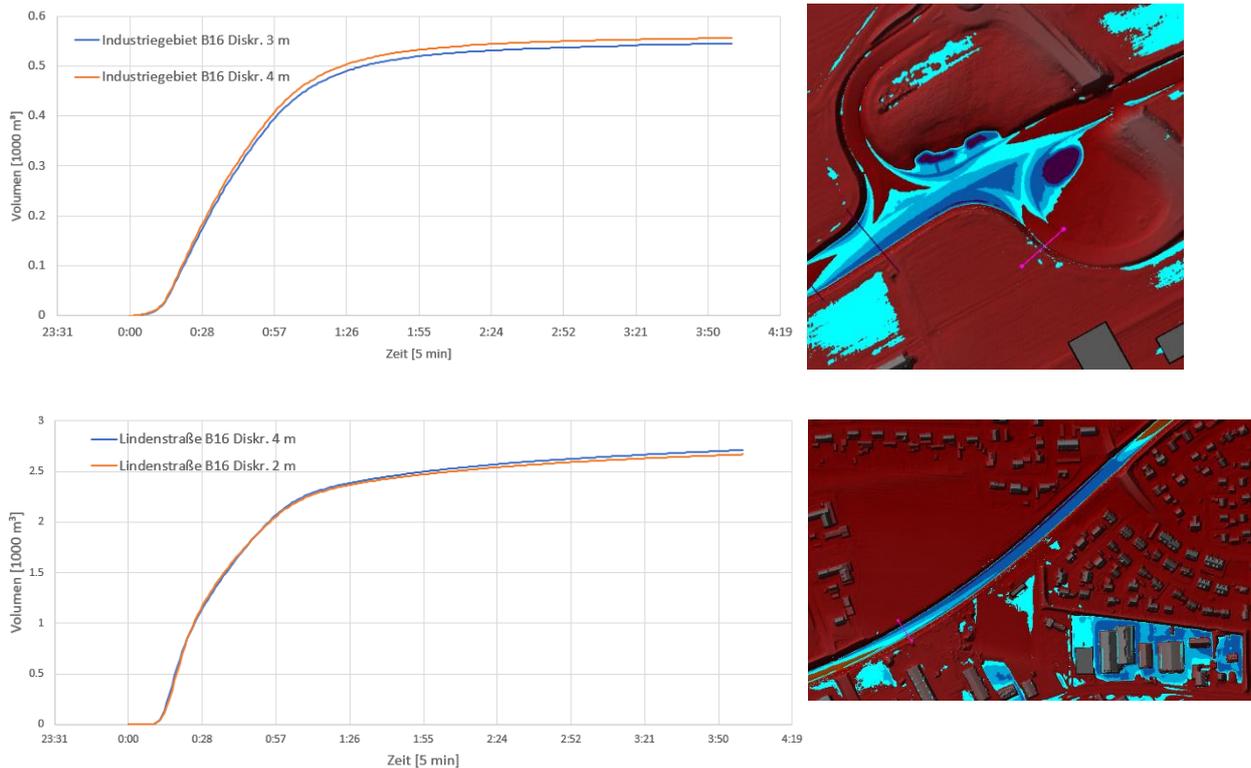


Abbildung 32: akkumulierter Volumenstrom bei unterschiedlicher Modelldiskretisierung (linke Abbildungen) im Bereich der Kreuzung B16/Riedhauserstraße (oben) und im Bereich der B16/Lindenstraße (unten), rosa Markierung ist der Bereich der modellseitigen Durchflussmessung (rechte Abbildung). Quelle: Eigene Darstellung.

Ein weiterer beispielhafter Ergebnisvergleich der Wassertiefen für das Teilmodell Einkaufszentrum ist in der Abbildung 33 dargestellt. In der linken Grafik betragen die Rastergrößen 4 m x 4 m ohne Netzverfeinerung, in der Mitte betragen die Rastergrößen 1 m x 1 m ohne Netzverfeinerung und in der rechten Abbildung Rastergrößen von 2 m x 2 m mit Netzverfeinerungen von 1 m x 1 m an den relevanten Bruchkanten. Insbesondere in den rot eingekreisten Bereichen ist sehr gut zu erkennen, dass sowohl die Wassertiefen als auch die Größe der überfluteten Senkenbereiche von den Modellergebnissen mit 1 m x 1 m und 2 m x 2 m abweichen. Kein wesentlicher Unterschied ist zwischen den Modellierungsergebnisse mit einer Diskretisierung von 1 m x 1 m und 2 m x 2 m mit Netzverfeinerungen zu erkennen.

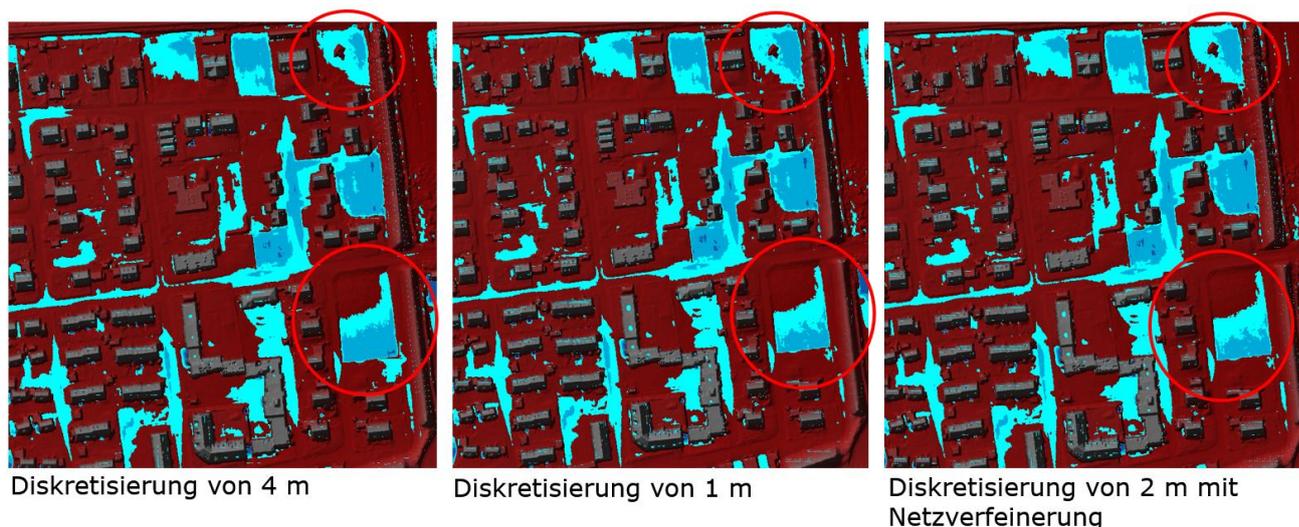


Abbildung 33: Ergebnisse Wassertiefe unterschiedlicher Modelldiskretisierungen für das Modellgebiet Einkaufszentrum. Quelle: Eigene Darstellung.

Im Ergebnis der sowohl quantitativen (Vergleich Volumenströme) als auch visuellen Sensitivitätsbetrachtung (Vergleich Wassertiefen und Größe der überfluteten Senkenbereiche) wurden die Teilmodellgebiete, wie in der Tabelle 5: Modelldiskretisierung der Teilmodelle aufgeführt, diskretisiert. Insbesondere auf Grund der sehr engen Gassen und Straßen weisen die Rasterzellen sowohl des Teilmodells Innenstadt als auch des Teilmodells Einkaufszentrum Rasterzellen von 2 m x 2 m auf. Darüber hinaus wurden im Teilmodell Innenstadt in 45 Bereichen das Rasternetz auf 1 m x 1 m verfeinert. Da das Teilmodell Industriegebiet große Teile landwirtschaftlich genutzter Gebiete aufweist, war eine Rastergröße von 4 m x 4 m ausreichend und Netzverfeinerungen waren nur in zwei Gebieten erforderlich.

Die zeitliche Auflösung, die sich am Courant-Kriterium, aber auch an der Modellstabilität orientiert, wurde in allen Teilmodellgebieten auf 0,5 sec festgelegt.

Tabelle 5: Modelldiskretisierung der Teilmodelle.

	Berufsschule	Faimingen	Industriegebiet B16	Lindenstraße B16	Innenstadt	Einkaufszentrum
Größe	ca. 79 ha	ca. 31 ha	ca. 134 ha	ca. 149 ha	ca. 54 ha	ca. 83 ha
Diskretisierung	4 m x 4 m Zellen: 109.520	4 m x 4 m Zellen: 32.613	4 m x 4 m Zellen: 117.926	4 m x 4 m Zellen: 219.917	2 m x 2 m Zellen: 207.952	2 m x 2 m Zellen: 256.351
Gebiete mit Netzverfeinerung 1 m x 1 m	14	4	2	27	45	13

Breaklines mit 1 m x 1 m	29	22	33	46	33	46
Zeitliche Auflösung	0,5 sec					

Ergebnisse hydrodynamische zweidimensionale Modellierung

Die Ergebnisse der Gefahrenermittlung respektive der hydrodynamischen zweidimensionalen Modellierung sind als die berechneten Wassertiefen und die berechneten Fließgeschwindigkeiten für die Wiederkehrintervalle $T = 1000$ a, $T = 100$ a, $T = 50$ a und $T = 30$ a in den Anlagen Modul 2_4.1.1 bis Modul 2_4.2.4 im Maßstab 1:5 000 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass es sich um die maximal berechneten Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen handelt. Demzufolge müssen die dargestellten Ergebnisse nicht zeitgleich auftreten und auch die Dauer der Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten sind daraus nicht ableitbar. So können teils hohe Fließgeschwindigkeiten auch nur kurzzeitig auftreten. Weiter sind die Fließgeschwindigkeiten immer im Zusammenhang mit den Wassertiefen zu betrachten, denn hohe Fließgeschwindigkeiten mit sehr geringen Wassertiefen stellen nicht gleich ein hohes Gefahrenpotential dar. Neben der Kartendarstellung ist der Verlauf des Starkregenereignisses bei $T = 100$ a bzw. dessen Auswirkungen als Animation im MP4 Format in der Anlage Modul 2_5.1 zu finden. Die Animationen sind in die einzelnen Teilmodelle untergliedert.

Prinzipiell bestätigen die Ergebnisse der hydrodynamischen zweidimensionalen Modellierung die Ergebnisse der orientierenden Untersuchung. In Bereichen mit Wohn- und Gewerbebebauungen sind größere durch Starkregen hervorgerufene Überschwemmungsbereiche bei allen modellierten Wiederkehrintervallen

- im Bereich von Faimingen (Magnus-Schneller-Straße),
- im Parkplatzbereich des Bildungszentrums und im gegenüberliegenden Bereich der Gundelfinger Straße
- im Kreuzungsbereich der B16 und Riedhauser Straße,
- im Bereich der Bahnunterführung auf der Schabringer Straße,
- im Gewerbebereich der Max-Eyth-Straße und
- auf der B16 im Bereich der Lindenstraße

berechnet wurden.

Auf Grund der geringen Höhenunterschiede im gesamten städtischen Bereich wurden keine relevanten Bereiche mit sehr hohen Fließgeschwindigkeiten (> 2 m/s) modelliert. Ausschließlich auf (siehe auch Abbildung 34)

- der Donaustraße in Richtung Donaubrücke
- der Straße Oberes Brunntental, nahe Schlosstraße
- der Straße Unteres Brunntental, unterhalb der Rosenstraße

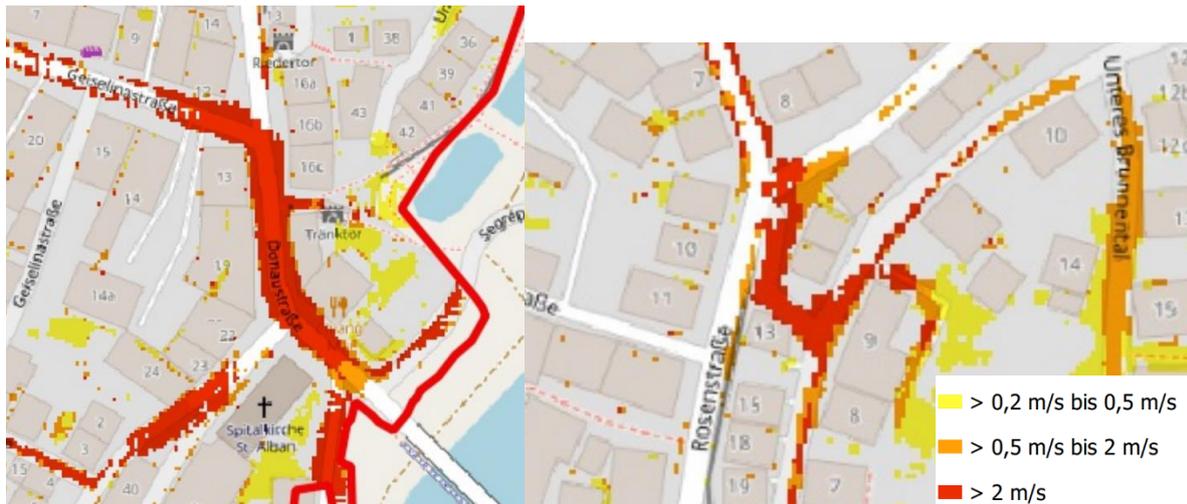


Abbildung 34: Bereiche mit Fließgeschwindigkeiten > 2 /s. Quelle: Eigene Darstellung.

wurden bei allen Wiederkehrintervallen Fließgeschwindigkeiten mit > 2 m/s berechnet. Diese Bereiche haben teils recht hohe Gefälle (siehe Kapitel 1.2.1.1 – exponierte Hanglagen) auf Grund des Übergangs von der Dillinger Hochterrasse in das Donauried. Dabei ist zu beachten, dass die Fließgeschwindigkeiten nur kurzzeitig auftreten.

1.3.2 Fließgewässer III. Ordnung

Im folgenden Kapitel werden nach der Beschreibung der Einzugsgebietscharakteristika der vier Fließgewässer III. Ordnung die Modellierungsergebnisse erläutert. Das Kapitel wird in die Fließgewässer Landgraben, Schackenlachgraben, Zwerggraben und Deinsbach unterteilt. Der Ablauf der Hochwasserwellen ist in der Anlage Modul 2_5.2 als Video im MP4 Format veranschaulicht.

1.3.2.1 Landgraben

Das Einzugsgebiet des Landgrabens inkl. der Nebengräben Graben bei Nenningshof und Graben bei Staatsstraße weist eine Größe von rund 11 km² auf, wobei der nördliche Teil im Gemeindegebiet der Stadt Lauingen (Donau) und der südliche Teil in den Nachbargemeinden Gundremmingen, Holzheim und Gundelfingen a. d. Donau liegt (siehe Abbildung 35).

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

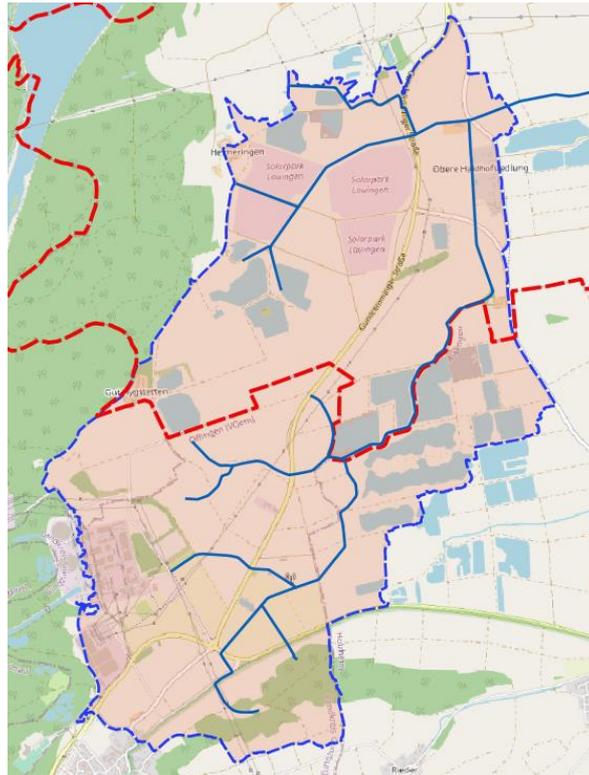


Abbildung 35: Einzugsgebiet (blau gestrichelt) Landgraben inkl. Graben bei Nenningshof und Graben bei Staatsstraße und Gemeindegrenze Stadt Lauingen (rot gestrichelt). Quelle: Eigene Darstellung.

In den ersten 700 m Fließweg des Grabens bei Nenningshof beträgt die Höhendifferenz rund 60 m. Anschließend hat die Fließstrecke ein sehr geringes Gefälle mit 0,001 m/m, was auch dem Großteil des Einzugsgebietes entspricht (siehe Abbildung 36).

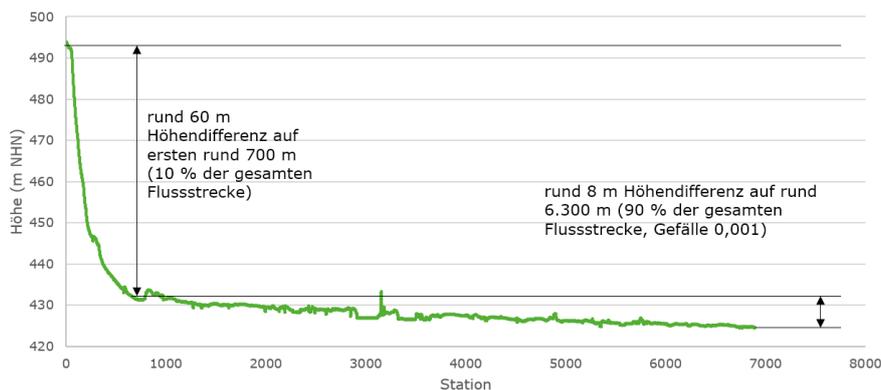


Abbildung 36: Höhenverteilung entlang des Flusslaufes Graben bei Nenningshof und anschließend Landgraben. Quelle: Eigene Darstellung.

Die geringen Höhendifferenzen der Fließstrecke innerhalb des Einzugsgebietes weisen nicht auf ein Einzugsgebiet hin, an denen sich typische Sturzfluten bilden können.

Die Landnutzung ist zum großen Teil durch landwirtschaftliche Nutzflächen und zu einem kleineren Teil durch Industriegebiete (Solarpark Lauingen und Kernkraftwerk Gundremmingen)

geprägt (siehe Abbildung 37). Darüber hinaus liegen im Einzugsgebiet mehrere Baggerseen. Die Böden bestehen zum großen Teil aus Böden mit geringem und sehr geringem Versickerungsvermögen. Ausschließlich im mittig/südlichen Teil des Einzugsgebietes ziehen sich von Südwest nach Nordost sandige bis kiesige Böden mit großem Versickerungsvermögen (siehe Abbildung 37).

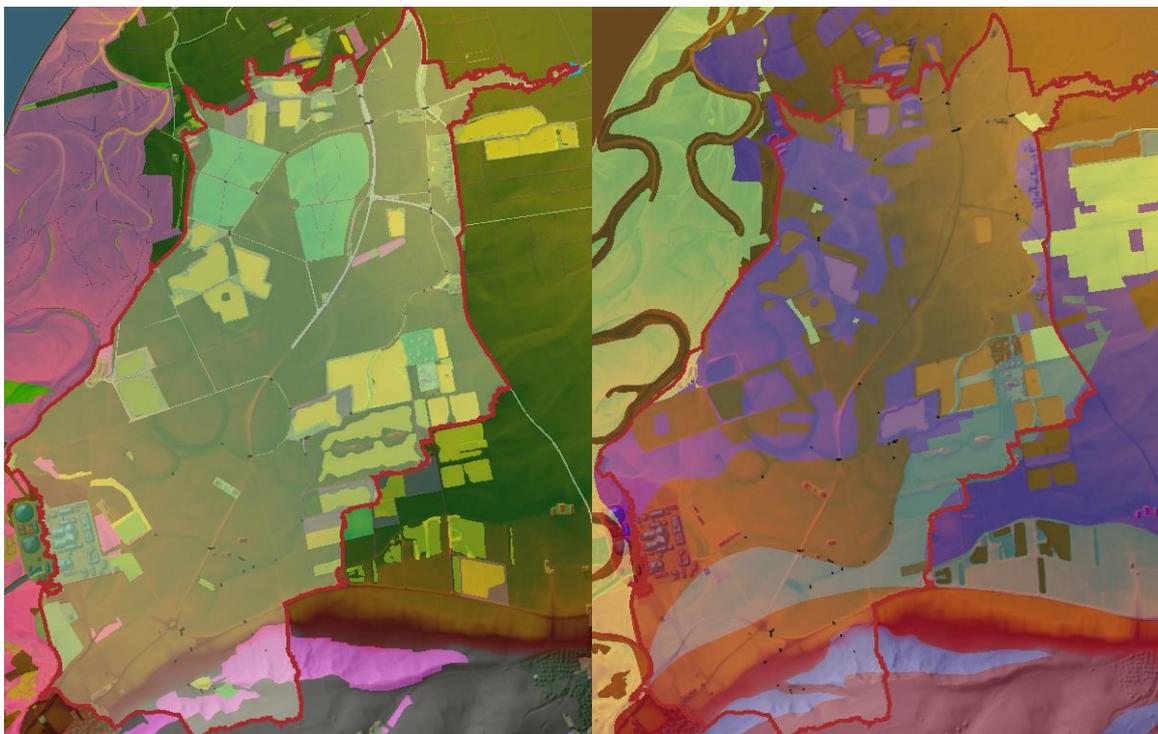


Abbildung 37: Einzugsgebiet Landgraben inkl. Nebengräben mit Unterteilung der Landnutzung (links) und HSG-Bodenklassen (rechts). Quelle: Eigene Darstellung.

Die Berechnungsergebnisse der Fließgeschwindigkeiten und der Wassertiefen für die einzelnen Bemessungsniederschläge bzw. dementsprechend für die $HQ_{\text{häufig}}$, HQ_{mittel} und HQ_{selten} sind für das Gemeindegebiet Lauingen (Donau) (für die bessere Übersicht werden nicht die Ergebnisse des gesamten EZG dargestellt) in der Anlage Modul 2_6.1 hinterlegt.

Auf Grund des geringen Gefälles im gesamten Einzugsgebiet des Landgrabens wurden Fließgeschwindigkeiten im Bereich $< 0,5$ m/s berechnet. Ausschließlich in sehr wenigen lokal eng begrenzten Bereichen ergaben die Modellierungsergebnisse Fließgeschwindigkeiten zwischen 0,5 und 2 m/s, die zum überwiegenden Teil außerhalb der Fließgewässer liegen und durch lokale Höhenänderungen wie z. B. Böschungen hervorgerufen werden.

Im gesamten Modellgebiet entstehen bei allen Wiederkehrintervallen größere zusammenhängende Vernässungs- bzw. Überschwemmungsgebiete auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen, wobei außerhalb des Landgrabens die berechneten Wassertiefen Großteils unter 1 m für

alle Bemessungsniederschläge liegen. Die Vernässungsflächen in größerer Entfernung vom Landgraben bilden sich nicht durch über die Ufer des Landgrabens tretendes Wasser, sondern durch das Zusammenfließen des Niederschlagswassers aus deren Umgebung (abflusslose Senken). Entlang des Landgrabens treten insbesondere bei einem HQ_{mittel} und HQ_{seltener} Wässer in Bereichen der Durchlässe über die Ufer und es kommt zu kurzzeitigen Überschwemmungsgebieten. Nach dem Durchgang der Hochwasserwelle wird das Wasser über den Landgraben abgeführt oder versickert, so dass es je nach Vorfeuchte, zu keinem längeren Aufenthalt der Wässer kommt.

Eine größere Überschwemmungsfläche in Bereichen von Gebäuden wurde an der Mündung des Landgrabens und Grabens bei Nenningshof berechnet, deren kritischen Wassertiefen jedoch außerhalb der Gebäude der Oberen Haidhofsiedlung liegen (Abbildung 38).

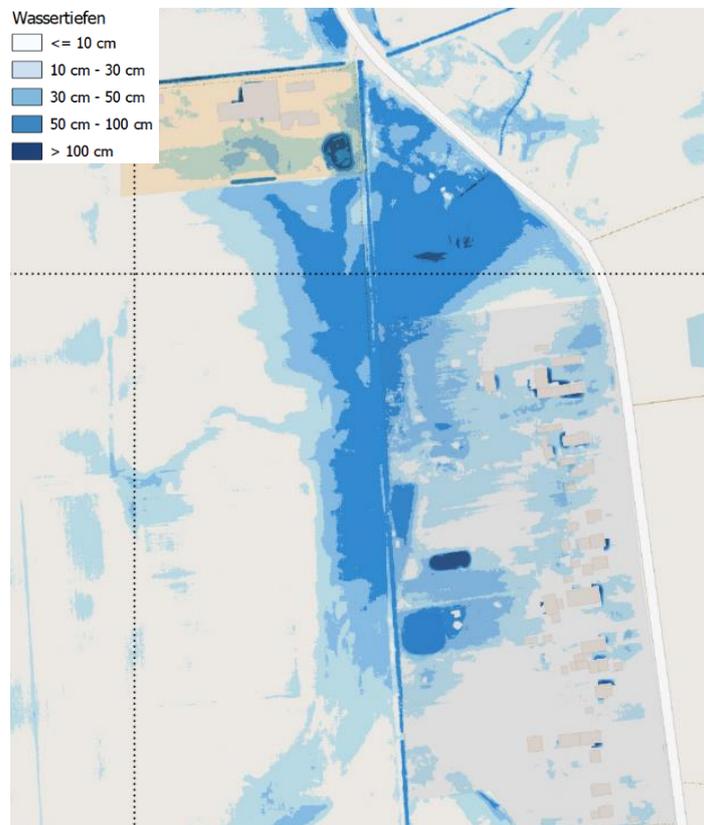


Abbildung 38: Überschwemmungsbereich im Bereich Mündung Graben bei Nenningshof und Landgraben.
Quelle: Eigene Darstellung.

Der Mündungsbereich besteht aus zwei Durchlässen, wobei zuerst das Wasser des Landgrabens in den Graben bei Nenningshof abgeführt wird und von dort aus über einen weiteren Durchlass flussabwärts wieder zurück in den Landgraben (Abbildung 39). Demzufolge akkumulieren sich im Graben bei Nenningshof die Wässer bzw. die Hochwasserwelle des Grabens bei Nenningshof mit denen des Landgrabens. Somit kommt es sowohl zur Überlastung im Graben bei

Nenningshof als auch zur Überlastung des Durchlasses vom Graben bei Nenningshof in den Landgraben und das Wasser staut sich im Graben bei Nenningshof zurück.

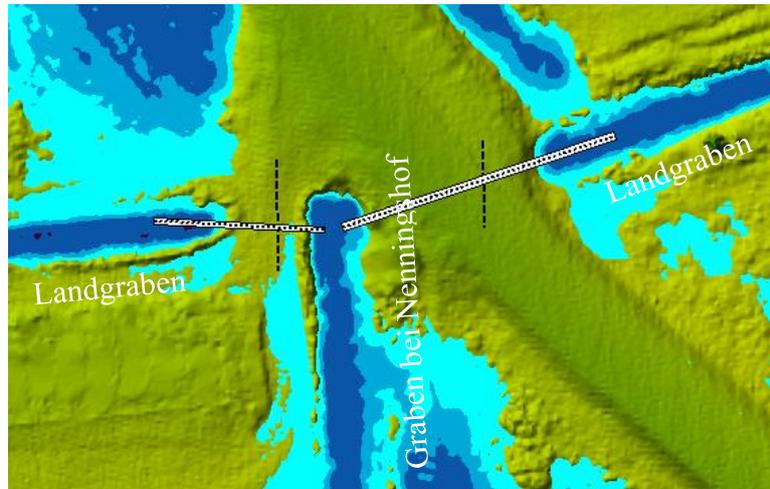


Abbildung 39: Durchlässe im Mündungsbereich des Landgrabens und dem Graben bei Nenningshof. Quelle: Eigene Darstellung.

Gleichzeitig stellt dieser Bereich eine Geländesenke dar (Abbildung 40), in der sich das, über die Gräben zulaufende Wasser, aber auch das Niederschlagswasser aus der umliegenden Umgebung sammelt. Durch sowohl den Rückstauereffekt des Durchlasses als auch den morphologischen Bedingungen ist der Bereich prädestiniert für Wasseransammlungen.



Abbildung 40: DGM1 im Mündungsbereich Landgraben und Graben bei Nenningshof. Quelle: Eigene Darstellung.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass am Landgraben inkl. dessen Nebengräben keine akute Sturzflutgefahr besteht. Auf Grund der Einzugsgebietscharakteristik mit sehr geringen Gefällen und vielen Senkenbereichen, die auch durch den ehemaligen Donauverlauf geformt wurden,

besteht vielmehr die Gefahr, dass sich insbesondere durch Dauerregen teils größere zusammenhängende Wasserflächen bilden.

1.3.2.2 Schackenlachgraben

Das Einzugsgebiet des Schackenlachgraben beträgt ca. 4 km² und liegt im Norden im Gemeindegebiet der Stadt Lauingen (Donau) und im Süden im Gemeindegebiet Holzheim (siehe Abbildung 41).

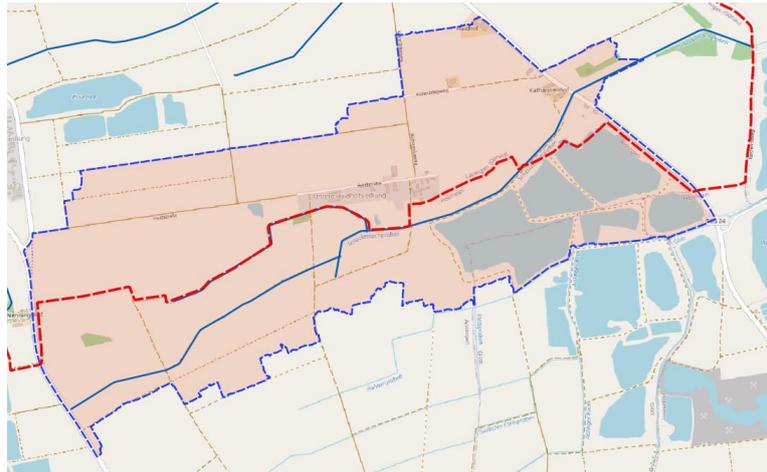


Abbildung 41: Einzugsgebiet (blau gestrichelt) Schackenlachgraben mit Gemeindegrenze Lauingen (Donau) (rot gestrichelt). Quelle: Eigene Darstellung.

Die geringen Höhendifferenzen der Fließstrecke innerhalb des Einzugsgebietes weisen nicht auf ein Einzugsgebiet hin, in dem sich typische Sturzfluten bilden können (siehe Abbildung 42).

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

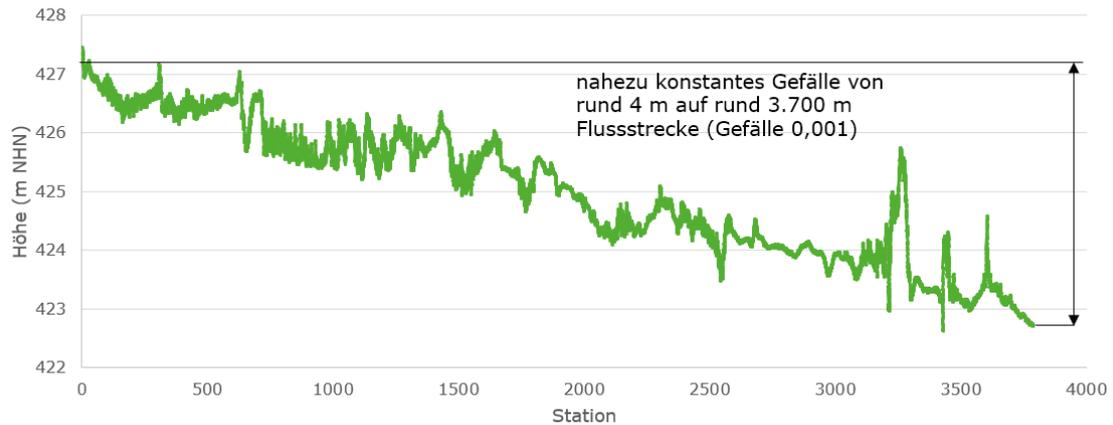


Abbildung 42: Höhenverteilung entlang des längsten Fließweges im EZG Schackenlachgraben. Quelle: Eigene Darstellung.

Die Landnutzung im Einzugsgebiet ist nahezu ausschließlich durch landwirtschaftliche Nutzflächen geprägt (siehe Abbildung 43). Des Weiteren existieren im südöstlichen Bereich fünf Baggerseen. Die Böden im Modellgebiet weisen zu fast gleich großen Teilen mittlere, geringe und sehr geringe Versickerungsvermögen auf (siehe Abbildung 43).



Abbildung 43: Einzugsgebiet Schackenlachgraben mit Unterteilung der Landnutzung (oben) und HSG-Bodenklassen (unten). Quelle: Eigene Darstellung.

Die Berechnungsergebnisse der Fließgeschwindigkeiten und der Wassertiefen für die einzelnen Bemessungsniederschläge bzw. dementsprechend für die $HQ_{\text{häufig}}$, HQ_{mittel} und HQ_{seltener} sind in der Anlage Modul 2_6.2 hinterlegt.

Auf Grund des geringen Gefälles im gesamten Einzugsgebiet des Schackenlachgrabens wurden Fließgeschwindigkeiten im Bereich $< 0,5$ m/s berechnet. Ausschließlich in sehr wenigen lokal eng begrenzten Bereichen ergaben die Modellierungsergebnisse Fließgeschwindigkeiten zwischen 0,5 und 2 m/s.

Im gesamten Modellgebiet ergeben sich bei allen Wiederkehrintervallen größere zusammenhängende Vernässungs- bzw. Überschwemmungsgebiete auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen, wobei außerhalb des Schackenlachgrabens die berechneten Wassertiefen unter 1 m für alle Bemessungsniederschläge liegen. Die Vernässungsflächen in größerer Entfernung vom

Schackenlachgraben bilden sich nicht durch über die Ufer des Schackenlachgrabens tretendes Wasser, sondern durch das Zusammenfließen des Niederschlagswassers aus deren Umgebung (abflusslose Senken). Entlang des Schackenlachgrabens treten insbesondere bei HQ_{mittel} und HQ_{selt} die Wässer gerade in Bereichen der Durchlässe über die Ufer und es kommt zu kurzzeitigen Überschwemmungsgebieten. Nach dem Durchgang der Hochwasserwelle wird das Wasser über den Schackenlachgraben abgeführt oder versickert, so dass es je nach Vorfeuchte zu keinem längeren Aufenthalt der Wässer kommt.

Der kritischste Bereich wird am Durchlass des Katharinenhofes gesehen, bei dem es zu einem größeren Rückstau der abfließenden Wässer auf Grund der begrenzten Fassungskapazität des Durchlasses, aber auch zum Zusammenfließen von Niederschlagswasser (Senkenbereich) kommt (siehe Abbildung 44). Im unmittelbaren Bereich der Wirtschaftsgebäude betragen die Wassertiefen überwiegend unter 30 cm, lokal wurden auch größere Wassertiefen zwischen 30 cm und 100 cm berechnet.

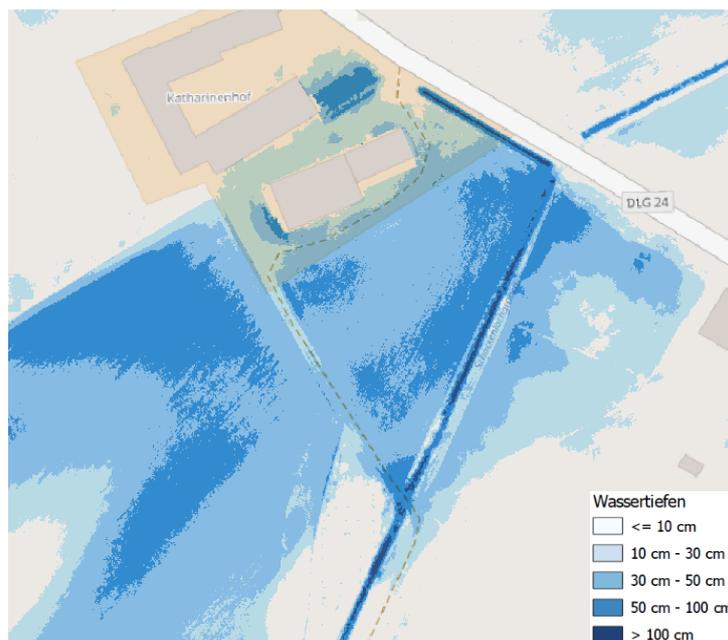


Abbildung 44: Wassertiefen für HQ_{mittel} am Schackenlachgraben im Bereich des Katharinenhofs. Quelle: Eigene Darstellung.

Der Schackenlachgraben dient hauptsächlich der Abführung der anfallenden oberflächennahen Grundwässer. Auch Oberflächenwässer wurden durch ihn zur Trockenlegung der umliegenden Flächen abgeführt, die seinerzeit große Mooregebiete darstellten, um dort Landwirtschaft betreiben zu können. Er ist kein klassisches Fließgewässer, sondern vielmehr als ein anthropogen angelegtes Drainagesystem zu sehen. Auf Grund der hydrologischen Einzugsgebietseigenschaften des Schackenlachgrabens besteht keine Gefahr durch Sturzfluten mit hohen

Scheitelanstiegszeiten und hohen Fließgeschwindigkeiten, sondern vielmehr die Gefahr, dass sich insbesondere durch Dauerregen teils größere zusammenhängende Wasserflächen bilden.

1.3.2.3 Zwerggraben

Die Fläche des Einzugsgebiets des Zwerggrabens beträgt rund 22,8 km². Das Einzugsgebiet wurde für die Vereinfachung der Modellierung in drei Teileinzugsgebiete 1 bis 3 aufgeteilt. Das Teil-EZG 1 hat eine Fläche von 13,4 km², das Teil-EZG 2 eine Fläche von 5,7 km² und das Teil-EZG 3 eine Fläche von 3,7 km² (siehe Abbildung 45). Ein kleiner Teil der Fläche liegt im Osten des Bundeslandes Baden-Württemberg, die anderen in den Gemeinden Lauingen (Donau), Gundelfingen a. d. Donau und Syrgenstein.

Der Zwerggraben mündet in den Zwergbach. Die Einzugsgebietsgrenze im Teil-EZG 3 liegt dem Flussbett des Zwergbachs sehr nahe.

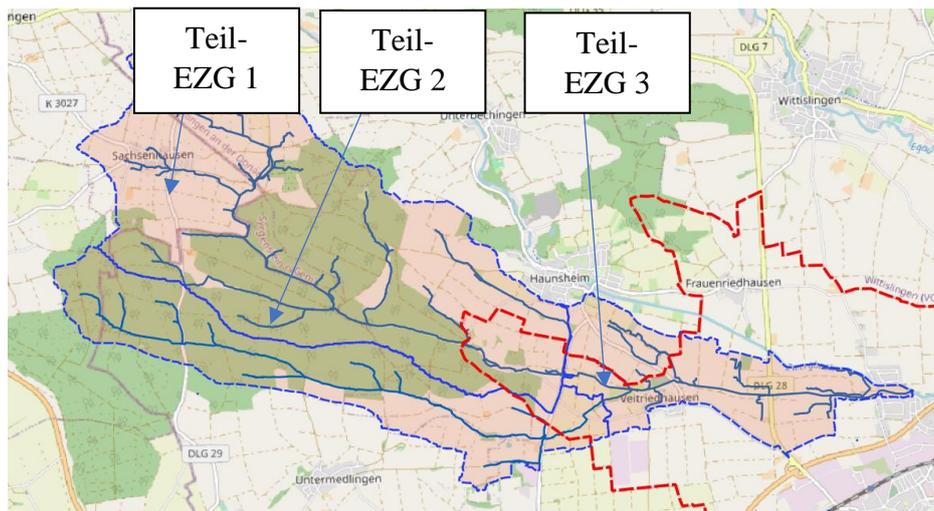


Abbildung 45: Einzugsgebiet (blau gestrichelt) Zwerggraben unterteilt in drei Teil-EZG mit Gemeindegrenze Stadt Lauingen (Donau) (rot gestrichelt). Quelle: Eigene Darstellung.

Auf der gesamten Fließstrecke weist der Zwerggraben ein Gefälle von 0,006 m/m auf, was im Hinblick auf die Entstehung von Sturzfluten als moderat einzustufen ist. Das Einzugsgebiet hat Höhenlagen von + 510 m NHN bis ca. + 440 m NHN an den tiefsten Punkten.

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

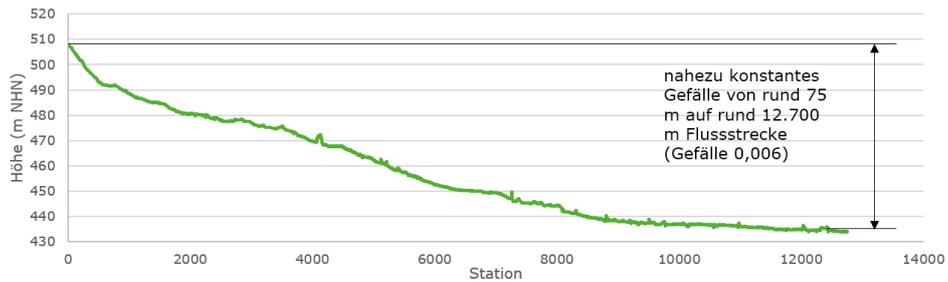


Abbildung 46: Höhenverteilung entlang des längsten Fließweges im EZG Zwerggraben. Quelle: Eigene Darstellung.

Das Einzugsgebiet des Zwerggrabens besteht zu ähnlich großen Flächenanteilen aus Wald und Landwirtschaftsflächen (siehe Abbildung 47). Der Boden hat in dem Gebiet fast ausschließlich Charaktereigenschaften mit sehr geringem Versickerungsvermögen (siehe Abbildung 47).

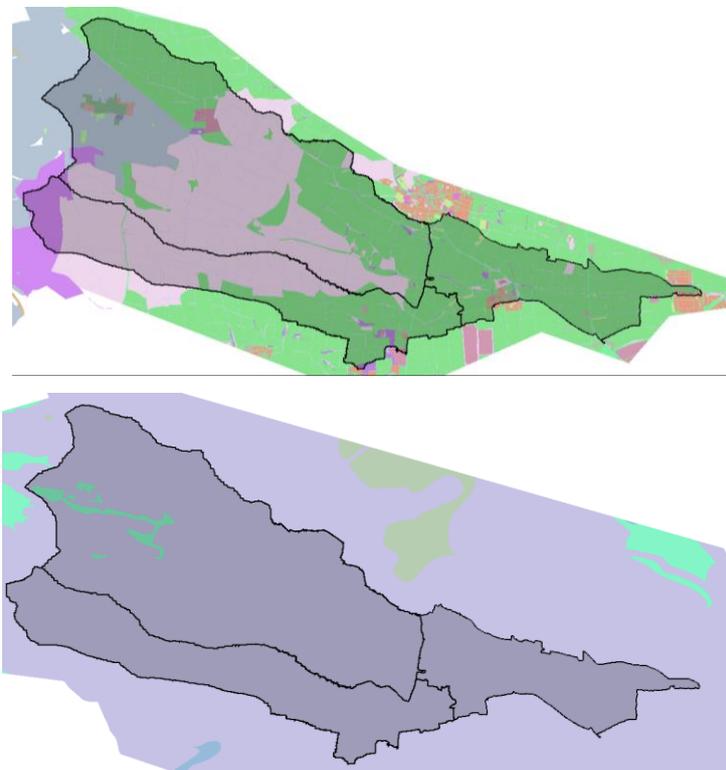


Abbildung 47: Einzugsgebiet Zwergbach mit Unterteilung der Landnutzung (oben) und HSG-Bodenklassen (unten). Quelle: Eigene Darstellung.

Im Mündungsbereich mit dem Zwergbach aber auch fast im gesamten nördlichen Bereich des Teil-EZG 3 treten die Wässer des Zwergbachs im Hochwasserfall über dessen Ufer und fließen in das Einzugsgebiet des Zwerggrabens (siehe Abbildung 48). Dies berücksichtigend, wurde das Modellgebiet in dem Bereich über den Zwergbach hinaus erweitert und eine weitere Zuflussrandbedingung für die Durchflüsse des Zwergbaches angesetzt, um die Auswirkungen des Aufeinandertreffens von Hochwässern in beiden Fließgewässern abschätzen zu können.

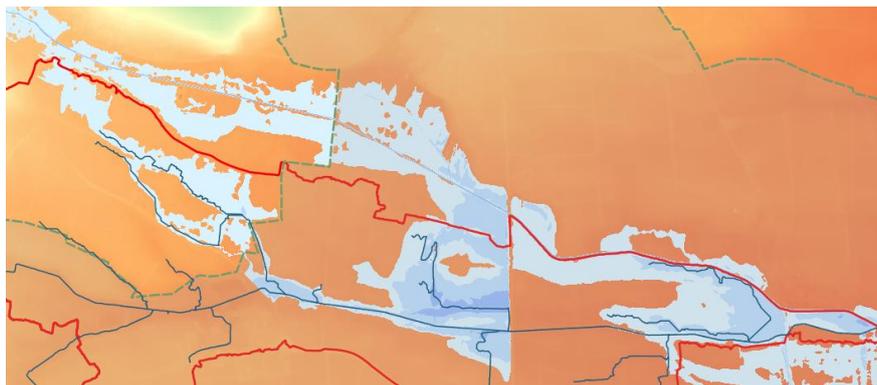


Abbildung 48: Teil-EZG 3 (rote Umrandung) des Zwerggrabens mit Wassertiefen des $HQ_{häufig}$ am Zwergbach.
Quelle: Eigene Darstellung.

Die in dem Gewässerbereich existierenden Vermessungsdaten der Durchlässe bzw. Brücken wurden in der Modellierung über eine 1D/2D Modellkopplung berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass das aus den Laserdaten erstellte DGM die Bathymetrie des Zwergbaches hinreichend genau wiedergibt, da zum Zeitpunkt der Laserpunktaufnahme kein oder kaum Wasser im Zwergbach vorhanden war. Auf Grund des geringen Fassungsvermögens des Zwergbaches wird weiter davon ausgegangen, dass im Hochwasserfall eine Änderung der Bathymetrie im wenigen Dezimeterbereich vernachlässigbare Änderung der Ergebnisse zur Folge hätte.

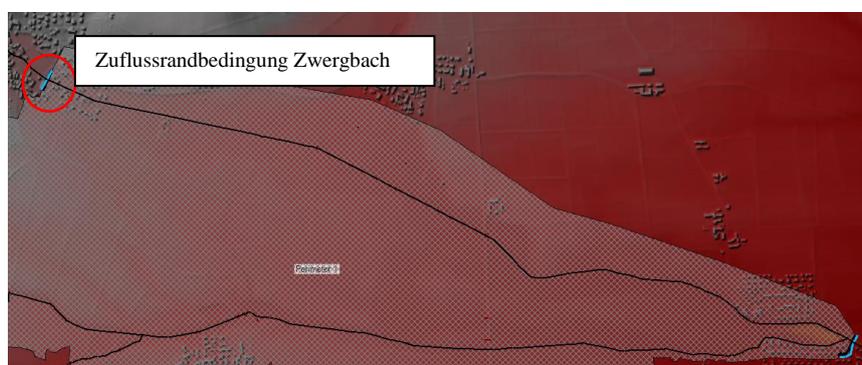


Abbildung 49: Modellgebietserweiterung zur Erfassung der Durchflüsse des Zwergbaches und Eintragung der Zuflussrandbedingung. Quelle: Eigene Darstellung.

Der Zwergbach wurde in die Risikokulisse 2018 aufgenommen und in diesem Rahmen das Hochwasserrisiko über eine hydraulische Modellierung bewertet. Unter Berücksichtigung der Bewertungsergebnisse beabsichtigen die Gemeinden Haunsheim und Lauingen (Donau) gemeinsam ein Hochwasserkonzept für den Zwergbach zu erarbeiten. Ergebnisse oder konzeptionelle Planungsideen liegen dieser Bearbeitung nicht vor. Es ist aber davon auszugehen, dass die Hochwassermodellierungsergebnisse für den Zwergbach nach Durchführung der Hochwasserschutzmaßnahmen durch die Gemeinden am Zwergbach nicht mehr gültig sind.

Die anzusetzenden Durchflüsse wurden über die empirisch hergeleitete Mündungsformel abgeschätzt. Der Grundgedanke der Mündungsformel ist, dass ein Hochwasser am Nebenzufluss statistisch auf ein kleineres Hochwasser des größeren Vorfluters trifft (je kleiner das EZG des Nebengewässers, desto kleiner der Durchfluss am Hauptgewässer). Mit Hilfe der Mündungsformel werden je nach angesetztem HQ der Fließgewässer Durchflüsse in der Größenordnung der mittlere Hochwasserdurchflüsse (MHQ) am Zwergbach unmittelbar vor dem Mündungsbereich mit dem Zwerggraben berechnet. Gesucht werden jedoch die Durchflüsse ca. 4 km vor dem Mündungsbereich. Da die Mündungsformel lediglich ein Hilfsinstrument ist (LUBW 2016), die Durchflüsse ca. 4 km vor der Mündung gesucht werden und die vorliegenden HQs am Zwergbach nach Durchführung der Hochwasserschutzmaßnahmen zu überarbeiten sind, wurde als Zuflussrandbedingung (siehe Abbildung 49) nicht die berechneten Durchflüsse des Zwergbachs verwendet, sondern ein MHQ mit $7,1 \text{ m}^3/\text{s}$ vor der Mündung der beiden Fließgewässer angesetzt. Hierfür werden im ersten Schritt im Teil-EZG 3 konstant ein MHQ ohne Niederschlag vorgegeben bis quasistationäre Verhältnisse berechnet werden. Die berechneten quasistationären Verhältnisse werden im nächsten Schritt als Anfangsrandbedingung dem Modell vorgegeben, weiter ein MHQ als Zuflussrandbedingung am Zwergbach über den gesamten Modellierungszeitraum angesetzt und zusätzlich das Modellgebiet mit den entsprechenden Bemessungsniederschlägen berechnet. So kann ein Aufeinandertreffen der beiden Hochwasserwellen simuliert werden. Dies entspricht einer realistisch/konservativen Annahme.

Aus den Ergebnissen am Gebietsauslass der hydrodynamischen Modellierungen der Teil-EZGs 1 und 2 des Zwerggrabens ergaben sich die im Teil-EZG 3 anzusetzenden Randbedingungen. So wurden aus dem Teil-EZG 1 zwei Zuflüsse und aus dem Teil-EZG 2 ein Zufluss detektiert, die dem Teil-EZG 3 zuströmen (Abbildung 50). Die berechneten Durchflüsse wurden als äußere Zuflussrandbedingungen für die entsprechenden Wiederkehrintervalle $T = 20 \text{ a}$, $T = 100 \text{ a}$ und $T = 1000 \text{ a}$ angesetzt.

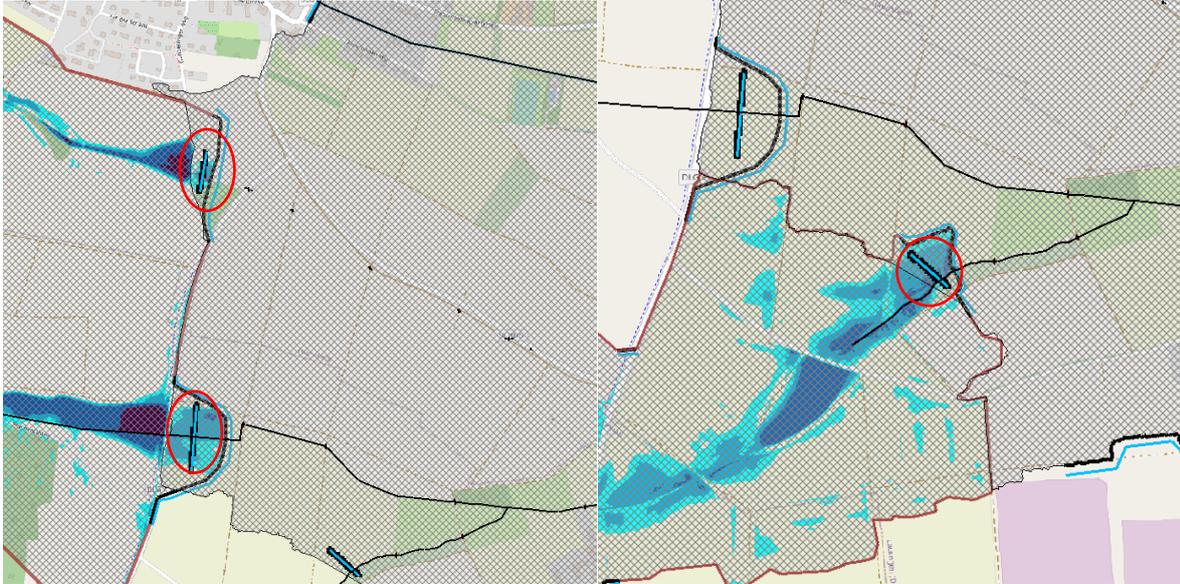


Abbildung 50: Zuflussrandbedingungen aus Teil-EZG 1 (links – 2 Zuflussrandbedingungen, rot markiert) und aus Teil-EZG 2 (rechts – 1 Zuflussrandbedingungen, rot markiert). Quelle: Eigene Darstellung.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass im Teil-EZG 3 folgende Zuflussrandbedingungen angesetzt wurden:

- Niederschlag für $T = 20$ a, $T = 100$ a, $T = 1000$ a
- Zuflussrandbedingung Zwerggraben für alle Wiederkehrintervalle mit einem konstanten MHQ von $7,1 \text{ m}^3/\text{s}$
- zwei Zuflussrandbedingungen aus Teil-EZG 1 mit berechneten Durchflüssen für $T = 20$ a, $T = 100$ a, $T = 1000$ a
- eine Zuflussrandbedingung aus Teil-EZG 2 mit berechneten Durchflüssen für $T = 20$ a, $T = 100$ a, $T = 1000$ a

Des Weiteren wurde das Teil-EZG 3 im Mündungsbereich des Zwergbaches und Zwerggrabens in Richtung Birkackerhöfe (Norden) und in Richtung B16 (Süden) erweitert, da die ersten Berechnungsergebnisse zeigen, dass sich das Hochwasser auch in diese Bereiche ausbreitet (Abbildung 51).

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)



Abbildung 51: Modellgebietserweiterung im Mündungsbereich Zwergbach/Zwerggraben. Quelle: Eigene Darstellung.

Die Berechnungsergebnisse der Fließgeschwindigkeiten und der Wassertiefen für das im Gemeindegebiet liegende Teil-EZG 3 des Zwerggrabens sind in der Anlage Modul 2_6.3 hinterlegt.

Anhand der berechneten Wassertiefen ist zu erkennen, dass sich eine Überlagerung der Hochwasserwellen des Zwergbachs und Zwerggrabens entlang der beiden Fließgewässer aber insbesondere auf der westlichen Seite der Riedhauser Straße größere Überschwemmungsbereiche mit Wassertiefen von $> 1,0$ m hervorrufen (Abbildung 52). Dabei wirkt die erhöhte Riedhauser Straße wie ein Damm, vor dem sich das Wasser flussaufwärts aufstaut und über die Durchlässe am Zwergbach und am Zwerggraben langsam abfließt.

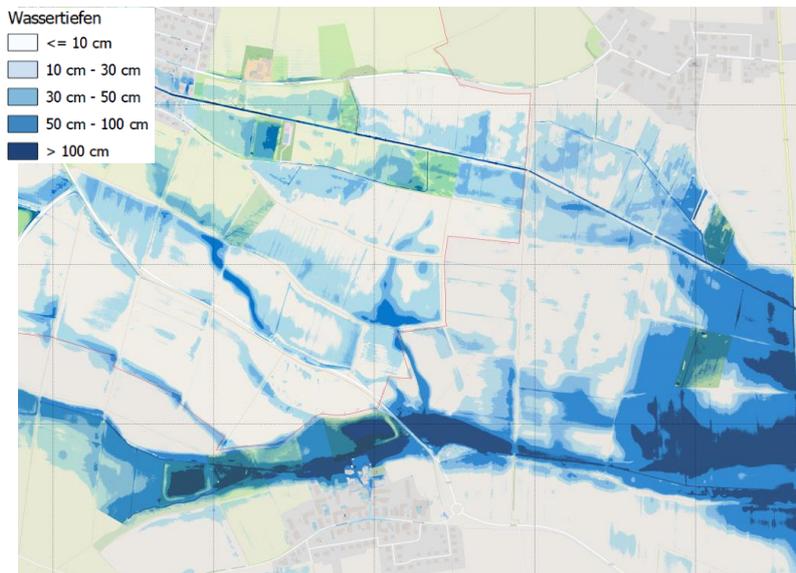


Abbildung 52: Wassertiefen bei HQ_{mittel} am Zwerggraben und MHQ am Zwergbach. Quelle: Eigene Darstellung.

Weiter sind in den Bereichen östlich der Riedhauser Straße und der Wittislinger Straße, als auch zwischen der Wittislinger Straße und der Mündung zwischen den beiden Fließgewässern

flächendeckende Überschwemmungsgebiete auf den überwiegend landwirtschaftlich genutzten Flächen bei einem $HQ_{\text{häufig}}$, HQ_{mittel} und HQ_{selten} zu erwarten (Abbildung 53).

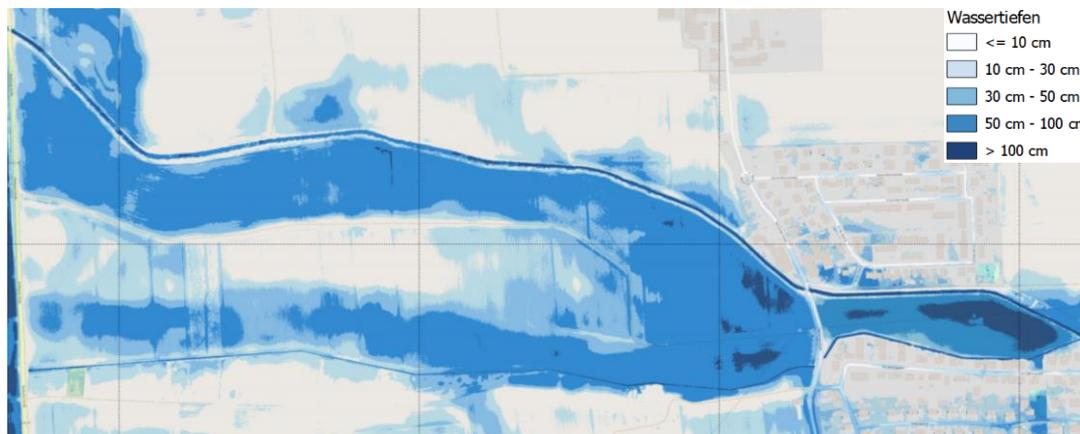


Abbildung 53: Wassertiefen bei HQ_{mittel} am Zwerggraben und MHQ am Zwergbach. Quelle: Eigene Darstellung.

Im nördlichen Teil des Ortsteils Veitriedhausen, auf dem Siedlungsring und bei einigen Wohngebäuden auf der Straße An der Zwerch werden bei allen modellierten HQs Wassertiefen zwischen 10 cm und 50 cm und teilweise auch zwischen 50 cm bis 100 cm berechnet (siehe Abbildung 53 und Abbildung 52 für ein HQ_{mittel}).

Fließgeschwindigkeiten größer 0,5 m/s ergeben sich auf Grund des geringen Sohlgefälles nur örtlich begrenzt (z. B. entlang des Siedlungsrings, Veitriedhausen und entlang des Zwerggrabens). Daher sind Erosionserscheinungen und von hohen Fließgeschwindigkeiten ausgehende Gefahren für Leib und Leben nicht zu erwarten.

Generell sind auf Grund der Charakteristik des Einzugsgebiets des Zwerggrabens keine typischen Sturzfluten mit schnellen Scheitelanstiegszeiten und demzufolge hohen Fließgeschwindigkeiten wie an Mittel- und Hochgebirgsbächen zu erwarten. Vielmehr besteht am Zwerggraben die Gefahr von flächendeckenden Überflutungsgebieten insbesondere durch Dauerregen, aber auch bei Starkregenereignissen größerer Dauer.

1.3.2.4 Deinsbach

Der Deinsbach verfügt über ein Einzugsgebiet mit einer Fläche von 4,2 km². Es liegt im Osten im Gebiet der Gemeinde Gundelfingen a. d. Donau, im Südosten im Gemeindegebiet und im Norden im Gemeindegebiet Wittislingen (Abbildung 54). Der Deinsbach mündet in ein Fließgewässer III. Ordnung, den Zwergbach.

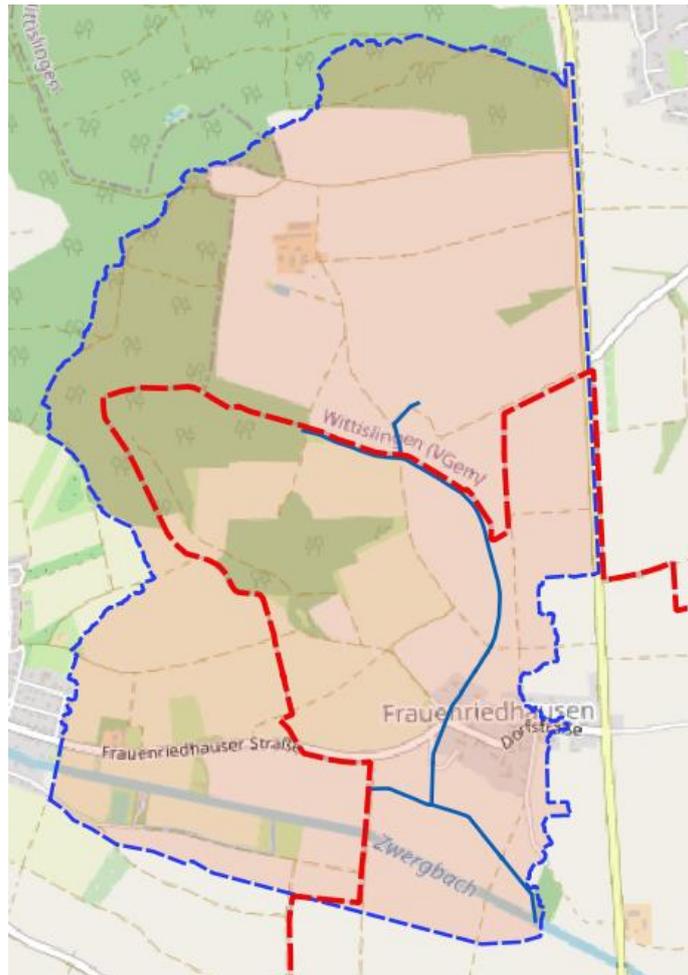


Abbildung 54: erweitertes Einzugsgebiet (blau gestrichelt) des Deinsbach mit Gemeindegrenze Stadt Lauingen (Donau) (rot gestrichelt). Quelle: Eigene Darstellung.

Entlang der Fließstrecke des Deinsbachs besteht ein nahezu konstantes Gefälle von 0,012 m/m, welches um eine Größenordnung größer ist als das Gefälle der Fließgewässer im Donauried. Das Einzugsgebiet weist im Norden Höhen von knapp 500 m NHN auf und fällt dann ab bis zur Mündung in den Zwergbach, wo das Gelände Höhen von ca. 430 m NHN aufweisen. Von den vier modellierten Fließgewässern III. Ordnung besitzt der Deinsbach das mit Abstand größte Gefälle.

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

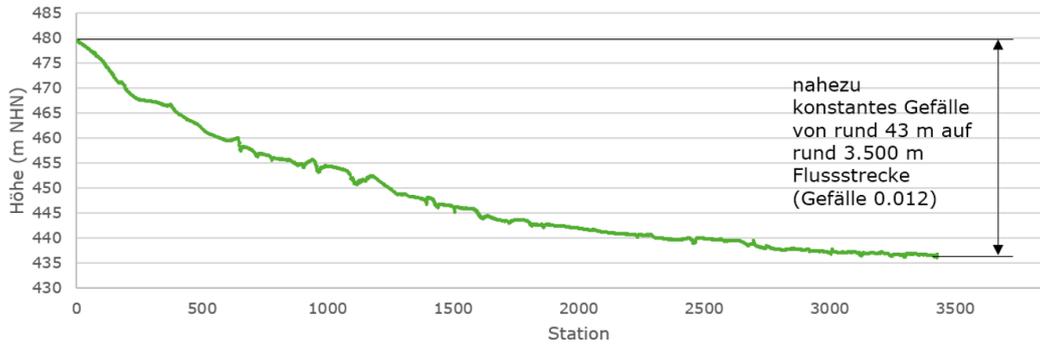


Abbildung 55: Höhenverteilung entlang des längsten Fließweges im EZG Deinsbach. Quelle: Eigene Darstellung.

Die Landnutzung im Einzugsgebiet besteht zum größten Teil aus landwirtschaftlich genutzten Flächen und einem kleineren Teil aus Wald im Osten und Norden des Einzugsgebietes (siehe Abbildung 56). Das Versickerungsvermögen des Bodens ist fast flächendeckend als sehr gering (HSG Bodenklasse D) einzustufen (siehe Abbildung 56). Sowohl die Charakteristik des Bodens, als auch das Gefälle im Einzugsgebiet weisen darauf hin, dass sich am Deinsbach sturzflutartige Hochwässer ausbilden können.

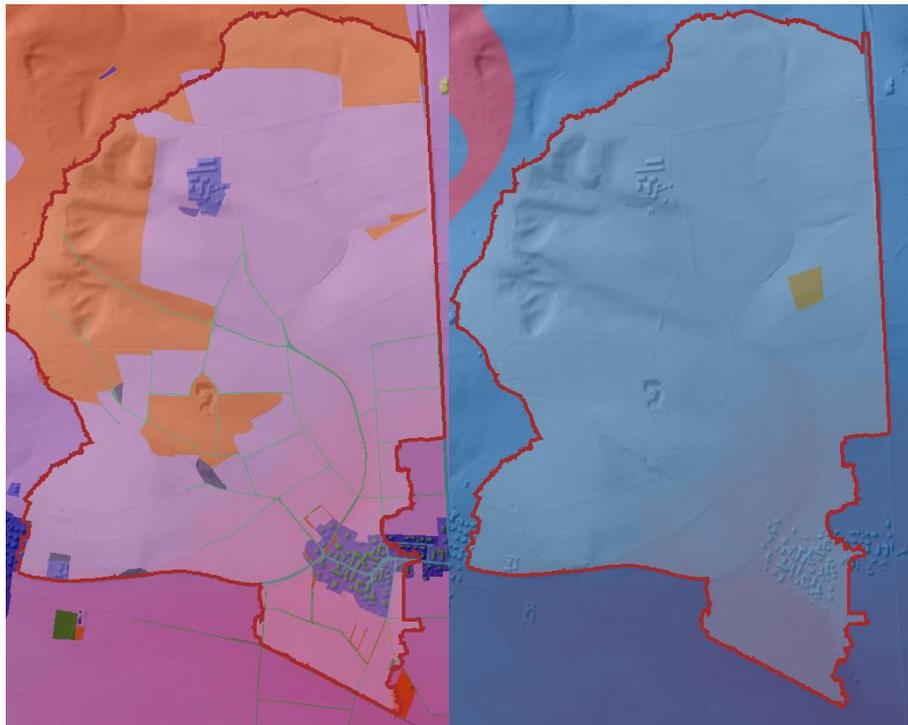


Abbildung 56: Einzugsgebiet Deinsbach mit Unterteilung der Landnutzung (links) und HSG-Bodenklassen (rechts). Quelle: Eigene Darstellung.

Um die Auswirkungen, wie z. B. Rückstaueffekte von Hochwässern im Zwerggraben bei gleichzeitigem Auftreten von Sturzfluten am Deinsbach in der Modellierung zu berücksichtigen (siehe Abbildung 57), wurde das Modellgebiet im Bereich der Mündung bzw. im gesamten südlichen Bereich, in dem das Einzugsgebiet des Deinsbaches dem des Zwerggrabens auf

wenige Meter nahekomm, erweitert und eine zusätzliche Zuflussrandbedingung angesetzt (siehe Abbildung 58).



Abbildung 57: Wassertiefen des $HQ_{\text{häufig}}$ am Zwergbach im Mündungsbereich des Deinsbachs. Quelle: Eigene Darstellung.

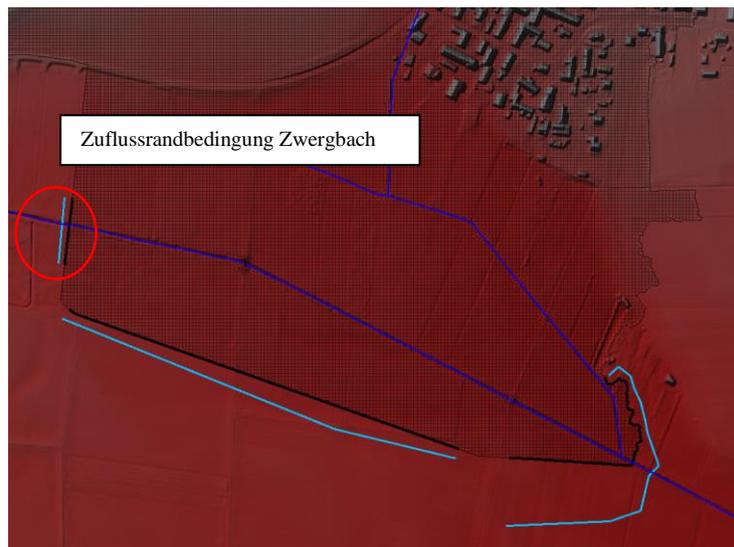


Abbildung 58: Modellgebietserweiterung zur Erfassung der Durchflüsse des Zwergbaches und Eintragung der Zuflussrandbedingung. Quelle: Eigene Darstellung.

Als Durchfluss für die zusätzliche Randbedingung Zwergbach wurde ebenfalls für alle Bemessungsniederschläge der MHQ von $7,1 \text{ m}^3/\text{s}$ vor der Mündung Zwergbach/Zwerggraben angesetzt und gleiches Vorgehen wie beim Zwerggraben (Kapitel 1.3.2.3) gewählt. Da das Einzugsgebiet des Deinsbachs wesentlich kleiner als das des Zwerggrabens ist, wird diese Annahme als konservativ eingeschätzt.

Die Berechnungsergebnisse am Deinsbach sind in der Anlage Modul 2_6.4 hinterlegt. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass bei allen modellierten Hochwässern sich außerhalb des Deinsbachs Wasser ansammelt und in Richtung Zwerggraben fließt. Unter Beachtung der getroffenen Annahmen (Kapitel 1.2.2) wurde berechnet, dass der Deinsbach demzufolge die Hochwässer eines $HQ_{\text{häufig}}$, HQ_{mittel} und HQ_{selten} nicht komplett abführen kann. Vergleichsrechnungen haben gezeigt, dass das angesetzte MHQ im Zwergbach keine oder nur unwesentliche Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse in dem bebauten Gebiet von Frauenriedhausen hat, jedoch kommt es zu größeren Wassertiefen auf den Landwirtschaftsflächen im Bereich der Mündung. In den Bereichen der meisten Durchlässe treten die Wässer über die Ufer. Der Effekt kann verstärkt werden, wenn es zu Verklausungen kommt, wovon bei den berechneten Fließgeschwindigkeiten auszugehen ist.

Von den Hochwässern sind überwiegend die landwirtschaftlich genutzten Flächen betroffen. Aber auch in Frauenriedhausen können Überschwemmungsgebiete im Kreuzungsbereich der Dorfstraße und der Frauenriedhauser Straße als auch von der Kreuzung ausgehend in Richtung Norden entstehen (z. B. HQ_{mittel} Abbildung 59).

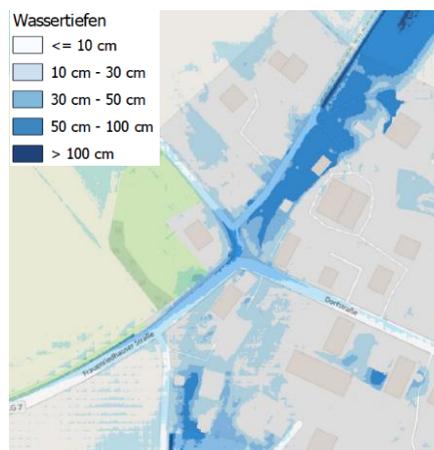


Abbildung 59: HQ_{mittel} am Deinsbach in Frauenriedhausen. Quelle: Eigene Darstellung.

Entlang der Überschwemmungsgebiete des Deinsbachs betragen die modellierten Fließgeschwindigkeiten zwischen 0,2 m/s und 0,5 m/s und zwischen > 0,5 m/s und 2,0 m/s. In Bereichen mit Fließgeschwindigkeiten > 0,5 m/s und besonders bei brachliegenden Landwirtschaftsflächen sind Bodenerosionen nicht auszuschließen. Bei einem HQ_{mittel} und HQ_{selten} wurden Fließgeschwindigkeiten kurzzeitig in einem eng begrenzten Bereich von > 2,0 m/s berechnet (Abbildung 60).

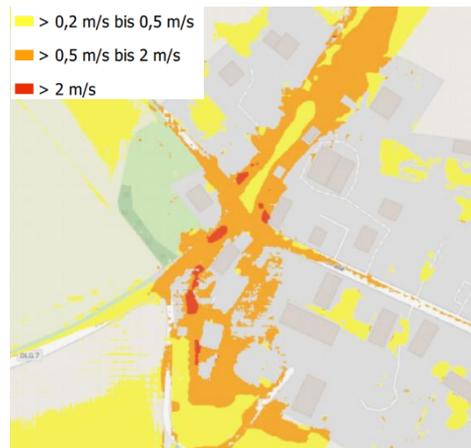


Abbildung 60: Fließgeschwindigkeiten bei einem HQ_{mittel} am Deinsbach in Frauenriedhausen. Quelle: Eigene Darstellung.

In den Berechnungsergebnissen der Wassertiefe und der Fließgeschwindigkeiten sind bei einem HQ_{mittel} und HQ_{seltener} nur geringfügige Unterschiede zu erkennen. Wie im Kapitel 1.2.1.2 beschrieben und begründet, wurde für ein HQ_{seltener} die Dauerstufe $D = 360 \text{ min}$ ($P = 95 \text{ mm}$) mit einer mittenbetonten Niederschlagsverteilung angesetzt. Hingegen bei dem HQ_{mittel} erfolgte die Annahme der Dauerstufe $D = 540 \text{ min}$ ($P = 73,95 \text{ mm}$) mit einer Euler II Verteilung. Trotz der höheren Niederschlagsmenge bei einem HQ_{seltener} lassen sich die geringen Berechnungsunterschiede bzw. teilweise größeren Wassertiefen und höheren Fließgeschwindigkeiten bei einem HQ_{mittel} damit begründen, dass das Einzugsgebiet höhere Hochwasserscheitel bei hohen Niederschlagsintensitäten erzeugt als bei geringeren Niederschlagsintensitäten und größerer Niederschlagsmenge (Abbildung 61), was typisch für kleine Einzugsgebiete ist. In der Abbildung 61 ist zu sehen, dass das berechnete Wellenvolumen bei einem HQ_{seltener} größer ist als bei einem HQ_{mittel} , jedoch der Abflussscheitel größer als bei einem HQ_{mittel} auf Grund der unterschiedlich angenommenen Niederschlagsintensitäten in Kombination mit der Einzugsgebietscharakteristik.

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

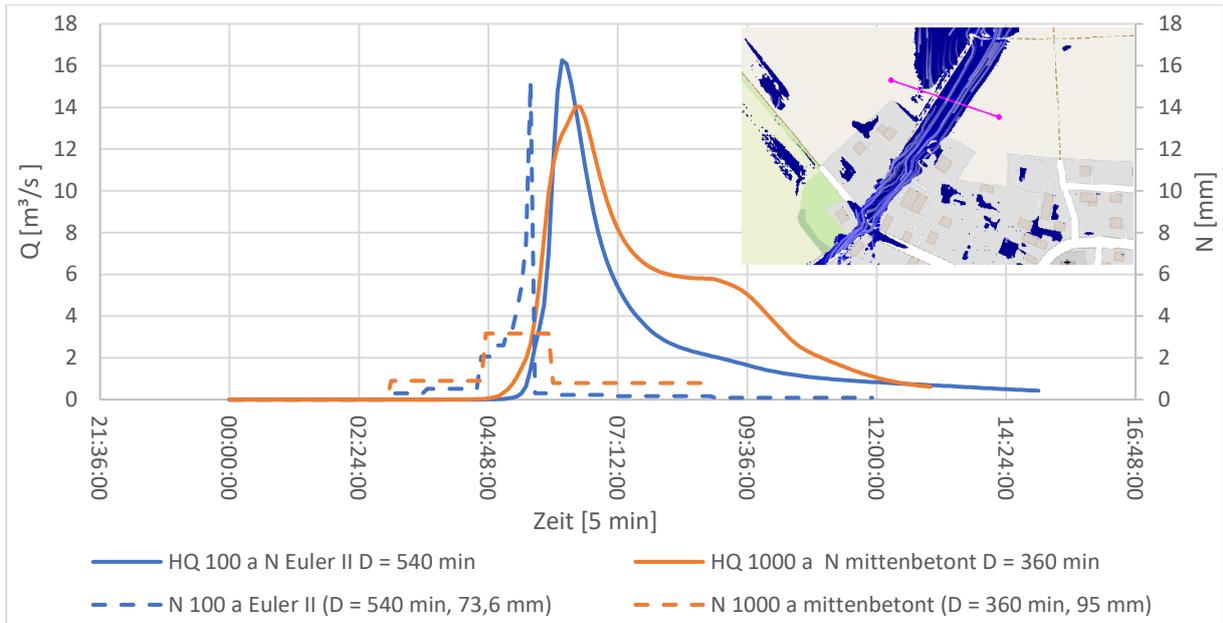


Abbildung 61 berechneter Durchfluss am Deinsbach vor Frauenriedhausen (auf Kartenausschnitt gekennzeichnet mit pinker Profillinie) bei einem HQ_{selten} (HQ_{1000}) und HQ_{mittel} (HQ_{100}) und Darstellung der Niederschlagsverteilung bei einem N ($T = 1000$ a - mittenbetont) und N ($T = 100$ a – Euler II). Quelle: Eigene Darstellung.

Auf Grund dessen wurde für den Deinsbach bei einem HQ_{selten} zusätzliche Dauerstufen mit $D = 180$ min und $D = 60$ min betrachtet und miteinander verglichen (Abbildung 62).

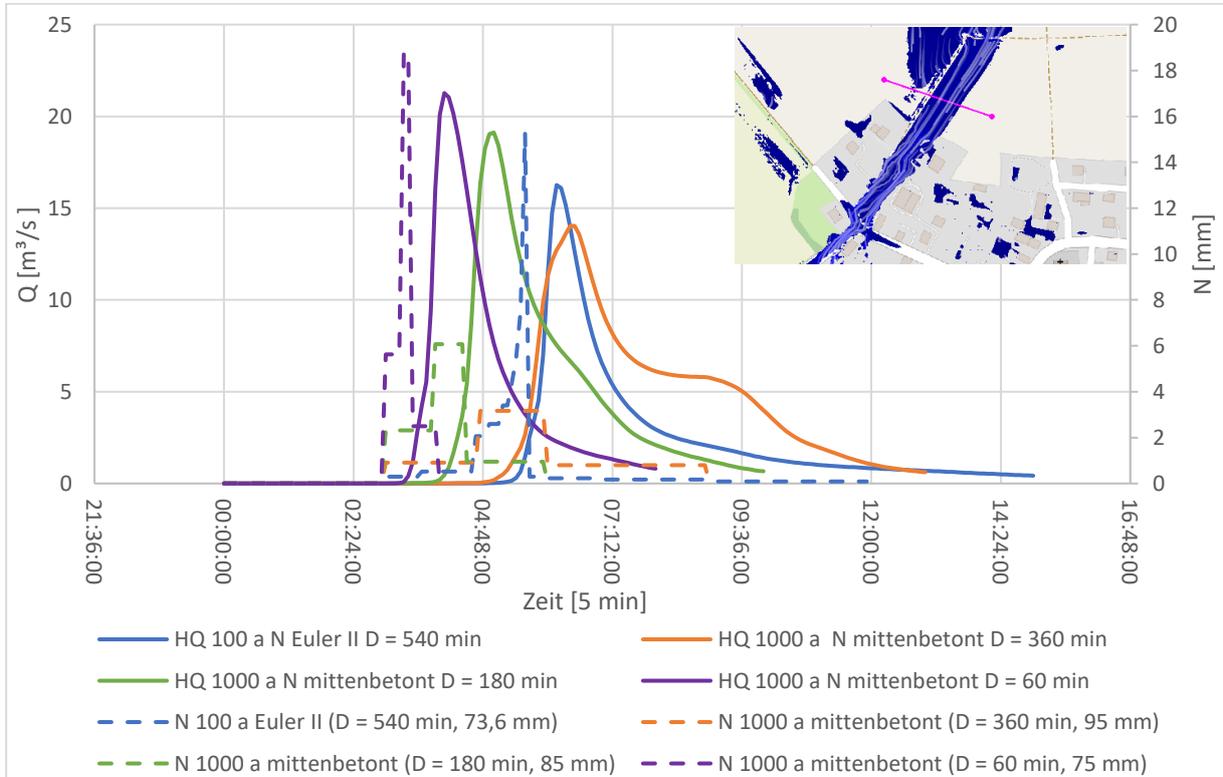


Abbildung 62: Berechneter Durchfluss am Deinsbach vor Frauenriedhausen (auf Kartenausschnitt gekennzeichnet mit pinker Profillinie) bei einem HQ_{selten} (HQ_{1000}) mit unterschiedlichen Dauerstufe für den Belastungsniederschlag und HQ_{mittel} (HQ_{100}) und Darstellung der Niederschlagsverteilung für $T = 1000$ a bei N

*mittenbetont und $D = 360 \text{ min}$, $D = 180 \text{ min}$, $D = 60 \text{ min}$ und N für $T = 100 \text{ a}$ nach Euler II und $D = 540 \text{ min}$
Analyse Schadenspotential. Quelle: Eigene Darstellung.*

Im Ergebnis der Vergleichsuntersuchung zeigt sich, dass bei einer mittenbetonten Niederschlagsverteilung der höchste Abflussscheitel vor dem Ortsteil Frauenriedhausen bei einem sehr kurzen Niederschlagsereignis ($D = 60 \text{ min}$) zu erwarten ist. Aus diesem Grund wurden abweichend von der Beschreibung im Kapitel 1.2 Methodik die Ergebnisse des HQ_{selten} mit einem Niederschlagsereignis mit $T = 1000 \text{ a}$ und einer Dauerstufe von 60 min in der Anlage Modul 2_6.4.3 und 6.4.6 dargestellt.

Für das HQ_{mittel} und $HQ_{\text{häufig}}$ ergeben sich keine Änderungen, da auf Grund der hier angewandten Methodik der Euler II Verteilung (Verteilung des Niederschlags mit Berücksichtigung aller Dauerstufen) bei kleineren Dauerstufen keine höheren Abflussscheitel zu erwarten sind.

1.4 Verifizierung der Modellierungsergebnisse

Für die Bestätigung der Berechnungsergebnissen lagen keine hydrologischen Daten, wie Wassertiefen, Durchflussmessung oder ähnliches vor. Um dennoch die Ergebnisse zumindest qualitativ zu verifizieren, wurden bei der Stadt Lauingen (Donau) alle Feuerwehreinsätze, in denen das Schlagwort Wasser vorkommt, abgefragt. Durch die Stadt wurden die Daten seit 2008 aufgenommen und der Firma GreenAdapt übergeben. Weiter wurde über die Einbeziehung der Bevölkerung mit Hilfe der Internetbefragung (Kapitel 1.4) versucht, Information zu erhalten, die die Berechnungsergebnisse bestätigen.

Feuerwehreinsätze

Die von der Stadt Lauingen (Donau) übergebene Tabelle wurde weiter gefiltert, indem Einsätze wie „Erkundung Hochwasser“, „Person in Wassernot“ etc. nicht weiter berücksichtigt und nur Einsätze wie „Keller unter Wasser“ und „Fahrbahn/Gehweg unter Wasser“ weiter ausgewertet wurden. Im nächsten Schritt erfolgte eine Kartierung des Einsatzortes mit Ergänzung der am Tag des Einsatzes gefallenem Niederschlag. Die Einsätze an denen die Niederschlagsmenge $< 5 \text{ mm/d}$ (Messstation Frauenriedhausen) waren, wurden nicht weiter berücksichtigt, da davon auszugehen ist, dass die Überschwemmungen andere Ursachen (z. B. ein Rohrbruch) als ein Starkregenereignis hatten.

Im Ergebnis der Auswertung ergaben sich zehn Einsätze bei denen davon auszugehen ist, dass ein Starkregenereignis Ursache der Feuerwehreaktion war. Diese Einsätze wurden zusammen

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

mit den Berechnungsergebnissen aus der Gefahrenanalyse kartografisch übereinandergelegt und sind in der Abbildung 63 bis Abbildung 66 dargestellt.

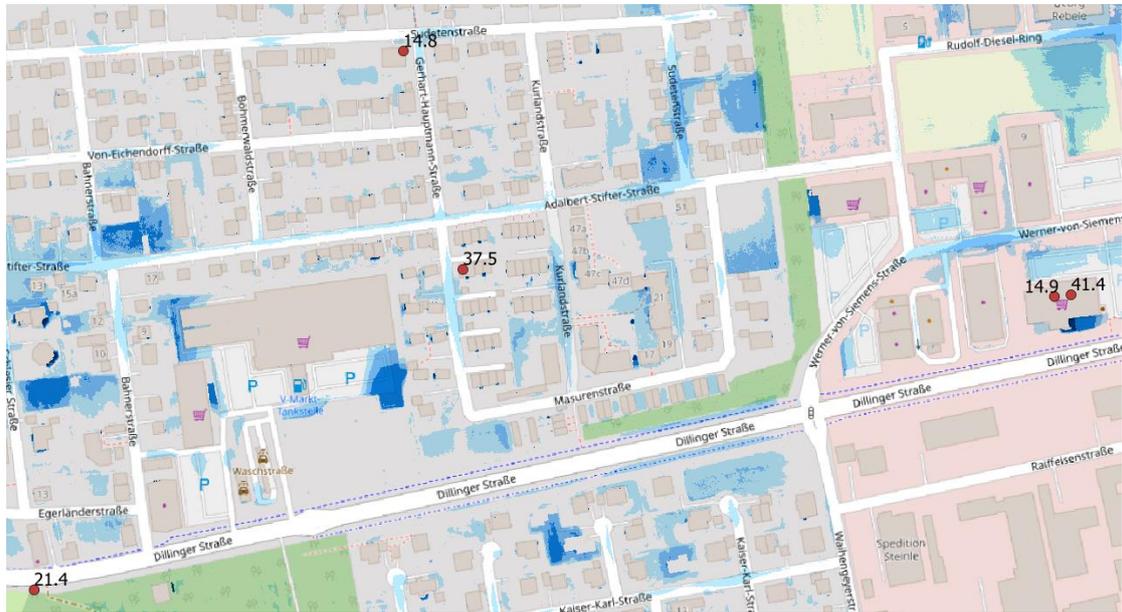


Abbildung 63: Feuerwehreinsatz (roter Punkt) mit Untersetzung täglicher Niederschlagsmenge (d/mm) und berechnete Wassertiefen (hydrodynamische zweidimensionale Modellierung) bei $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

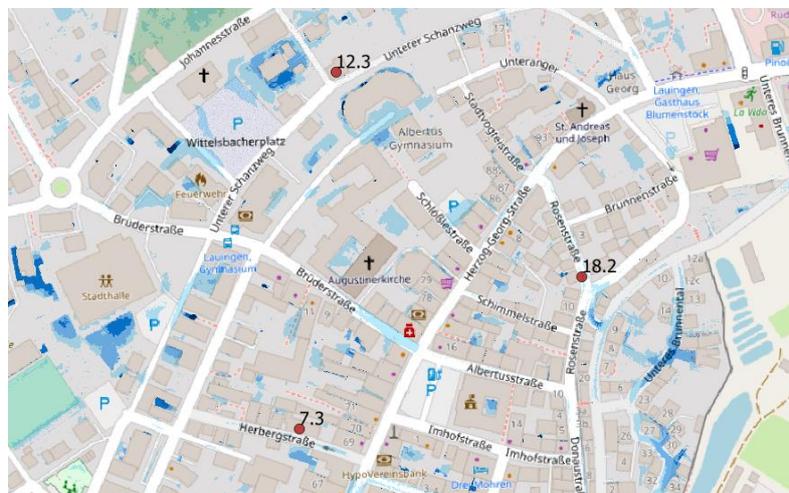


Abbildung 64: Feuerwehreinsatz (roter Punkt) mit Untersetzung täglicher Niederschlagsmenge (d/mm) und berechnete Wassertiefen (hydrodynamische zweidimensionale Modellierung) bei $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

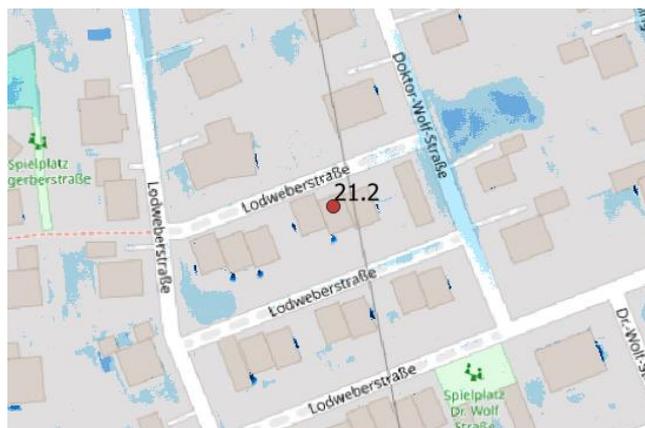


Abbildung 65: Feuerwehreinsatz (roter Punkt) mit Untersetzung täglicher Niederschlagsmenge (d/mm) und berechnete Wassertiefen (hydrodynamische zweidimensionale Modellierung) bei $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.



Abbildung 66: Feuerwehreinsatz (roter Punkt) mit Untersetzung täglicher Niederschlagsmenge (d/mm) und berechnete Wassertiefen (belastungsabhängige Berechnung, orientierende Untersuchung) bei $T = 100$ a, $D = 90$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Die Einsätze bestätigen die Berechnungsergebnisse qualitativ an den Punkten der Dillinger Straße – 2 Einsätze - (Supermarkt), der Gerhard-Hauptmann-Straße und an der Masurenstraße (Abbildung 63). An den Einsatzorten Herbergstraße und Rosenstraße (Abbildung 64) eine Verifizierung nicht uneindeutig möglich. An den restlichen vier Punkten wurden keine relevanten Wassertiefen (> 10 cm) berechnet. Möglicherweise war aufgrund der örtlichen Gegebenheit oder Besonderheiten an den Gebäuden wie z. B. Kellerfenster ebenerdig das Eintreten von Wasser auch bei sehr geringen Wassertiefen möglich.

Zusammenfassend liegen sehr wenig Daten zu den Feuerwehreinsätzen vor, die in Zusammenhang mit Starkregenereignissen stehen, was eine qualitative Verifizierung der Berechnungsergebnisse sehr schwierig macht. Weiter ist festzuhalten, dass es in den letzten 30 Jahren keine Niederschlagsintensitäten geben hat, die gemäß KOSTRA 2010R einer Niederschlagsmenge

mit einem Wiederkehrintervall von $> T = 30$ a zuzuordnen ist (siehe Teilbericht I). In der Bearbeitung wurden Niederschlagsereignisse mit einem Wiederkehrintervall von $T > 50$ a betrachtet.

Internetbefragung

Durch die Bevölkerung wurden alle in der Internetbefragung aufgeführten Überschwemmungsgebiete bestätigt, wobei die B16/Lindenstraße und die B16/Riedhauser Str. mit 10 Ja-Stimmen die meisten und die Riedhauser Straße/Hühlenstraße mit 4 Ja-Stimmen die wenigsten Bestätigungen erhalten haben.

Die Abfrage für eine Abschätzung der Größe der Überschwemmungsgebiete und Abschätzung der Wassertiefen wird auf Grund der geringen Teilnahme als nicht repräsentativ eingeschätzt.

Eine Verifizierung der Berechnungsergebnisse ist möglich, kann aber auf Grund des qualitativen Charakters und auch durch subjektive Wahrnehmung getroffene Annahmen nicht weiter beeinflussen.

1.5 Ergebnisse Analyse Schadenspotential

Das Ergebnis der Schadenspotentialanalyse für das gesamte Gemeindegebiet der Stadt Lauingen (Donau) ist in der Anlage Modul 2_7 im Maßstab 1 : 13 000 hinterlegt. Zusammenfassend wurden

- 27 Objekte in die Schadenspotentialklasse sehr hoch (z. B. Kindergärten, Versorgungsanlagen, Feuerwehr)
- 3121 Objekte in die Schadenspotentialklasse hoch (überwiegend Wohngebäude)
- 4973 Objekte in die Schadenspotentialklasse mäßig (überwiegend Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe) und
- 816 Objekte in die Schadenspotentialklasse gering (z. B. Sport und Freizeit, Überdachung) eingestuft.

Bei 150 Objekten bzw. Gebäuden lagen keine Information der Nutzung vor.

In der Abbildung 67 ist ein Auszug aus der Analyse des Schadenspotentials im Bereich der Bahnhofstraße / Brüderstraße dargestellt.

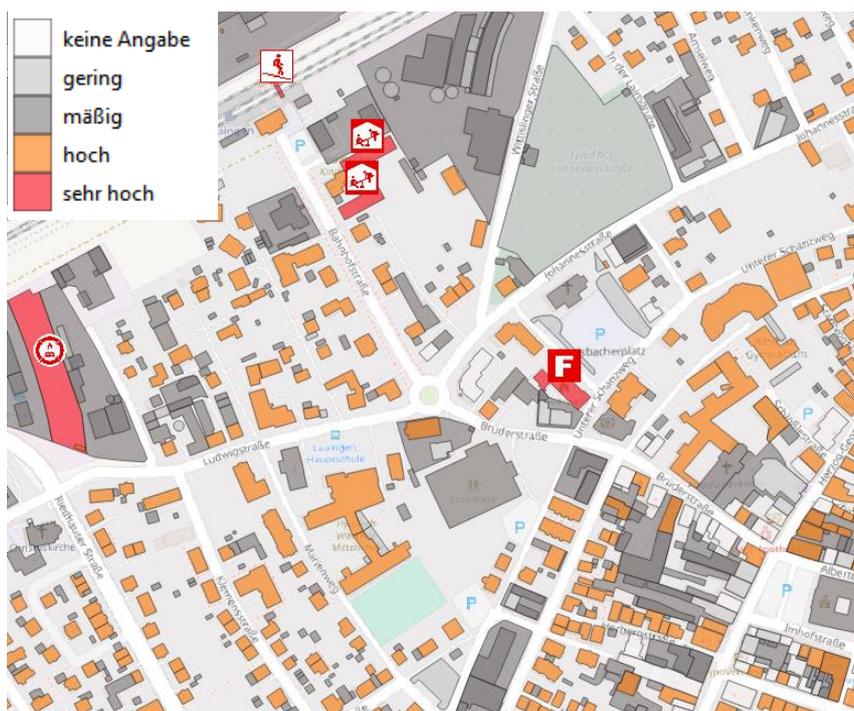


Abbildung 67: Beispiel Ergebnis Analyse Schadenspotential. Quelle: Eigene Darstellung.

1.6 Ergebnisse Risikobewertung inkl. Schutzziele der wild abfließenden Wässer

1.6.1 Wild abfließende Wässer

Im Ergebnis der Risikobewertung wurden 17 Gefahrenpunkte kartiert. Eine Zusammenfassung aller Gefahrenpunkte, eingeordnet in private, kommunale und privat/kommunale Bereiche, sind in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** aufgeführt. Die letzte Spalte der Tabelle beinhaltet die von der Kommune festgelegten Schutzziele. Die für die privaten Bereiche definierten Schutzziele haben nur einen orientierenden Charakter und sind als Vorschlag für die Betroffenen Privatgebäude bzw. -flächen zu verstehen.

Tabelle 6: Gefahrenpunkte der wild abfließenden Wässer für die Stadt Lauingen (Donau) im Ergebnis der Risikobewertung.

Gefahrenpunkt wild abfließende Wässer	Einordnung	qualitatives Schutzziel
Johannesstraße	privat	<i>weitgehend Wasser ableiten bzw. fernhalten und Wassereintritt in Gebäude verhindern</i>
Schlesinger Straße	privat	<i>weitgehend Wasser ableiten bzw. fernhalten und Wassereintritt in Gebäude verhindern</i>

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

Adalbert-Stifter Straße /_Bahnerstraße	privat	<i>weitgehend Wasser ableiten bzw. fernhalten und Wassereintritt in Gebäude verhindern</i>
Kaiser-Karl Straße	privat	<i>weitgehend Wasser ableiten bzw. fernhalten und Wassereintritt in Gebäude verhindern</i>
Max-Eyth-Straße	privat	<i>weitgehend Wasser ableiten bzw. fernhalten und Wassereintritt in Gebäude verhindern</i>
Lerchenweg	privat	<i>weitgehend Wasser ableiten bzw. fernhalten und Wassereintritt in Gebäude verhindern</i>
Nahe Stadthalle	privat	<i>weitgehend Wasser ableiten bzw. fernhalten und Wassereintritt in Gebäude verhindern</i>
Unteres Brunntal (2 Punkte)	privat_kommunal	weitgehend Wasser ableiten bzw. fernhalten und Wassereintritt in Gebäude verhindern
Riedhauser Straße/Paul Böhm-Straße	privat_kommunal	weitgehend Wasser ableiten bzw. fernhalten und Wassereintritt in Gebäude verhindern
Pfarrfeldstraße/Ulrichstraße	privat_kommunal	weitgehend Wasser ableiten bzw. fernhalten und Wassereintritt in Gebäude verhindern
Oberer Wall/Schloss	kommunal (?)	weitgehend Wasser ableiten bzw. fernhalten und Wassereintritt in Gebäude verhindern
Bildungszentrum	kommunal (?)	weitgehend Wasser ableiten bzw. fernhalten und Wassereintritt in Gebäude verhindern
Schabringerstraße	kommunal	Wasser ableiten bzw. fernhalten
B16 / Riedhauserstraße	kommunal/bund	Wasser ableiten bzw. fernhalten
B16 / Lindenstraße	Kommunal/bund	Wasser ableiten bzw. fernhalten
Faimingen (Magnus-Schneller-Straße)	kommunal	Wasser ableiten bzw. fernhalten
Berufsschule und Realschule	kommunal (?)	weitgehend Wasser ableiten bzw. fernhalten und Wassereintritt in Gebäude verhindern

Die kartografische Zuordnung der Gefahrenpunkte ist im Kartenausschnitt der Abbildung 68 dargestellt.

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)



Abbildung 68: Übersicht Gefahrenpunkt Lauingen (Donau).Quelle: Eigene Darstellung.

In den folgenden Abbildungen sind die einzelnen Gefahrenpunkte dargestellt. Vor den Abbildungen erfolgt eine stichpunktartige Beschreibung der hydrologischen Situation im Falle eines Starkregenereignisses. Die abgebildeten Wassertiefen sind die Berechnungsergebnisse bei einem Wiederkehrintervall von $T = 100$ a und einer Dauerstufe von $D = 60$ min.

Private Gefahrenpunkte

Johannesstraße

- flächendeckende und nahezu das Wohngebäude umringende Wasserfläche mit Wassertiefen von überwiegend 30 cm – 50 cm, südlich des Gebäudes auch Wassertiefen 50 cm – 100 cm
- Wassereindrang in das Erdgeschoss nicht auszuschließen, bei Unterkellerung Wassereindrang in Keller sehr wahrscheinlich
- Aus- und Zugang des Gebäudes erschwert

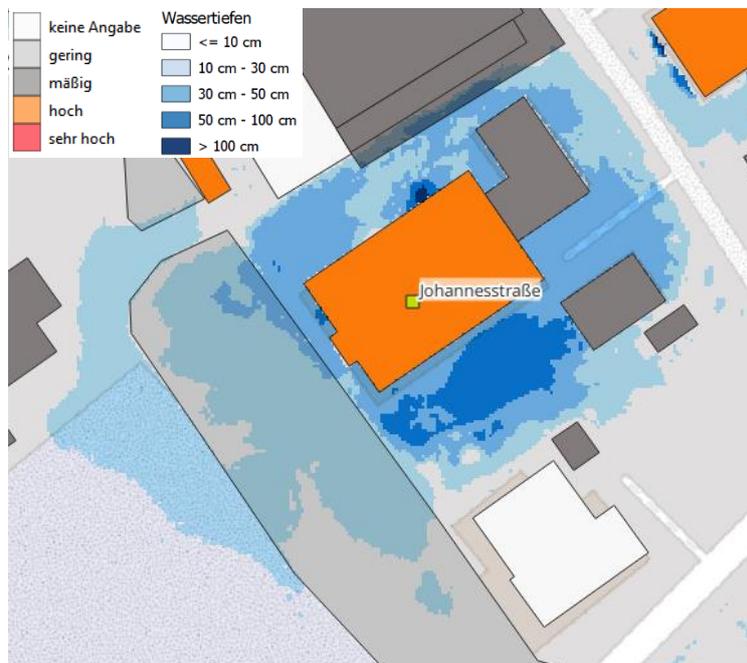


Abbildung 69: Gefahrenpunkt Johannesstraße, $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Nah Stadthalle

- Wasserfläche, die das Wohngebäude von drei Seiten flächendeckend umgibt mit überwiegend Wassertiefen 50 cm – 100 cm
- Wassereindrang in das Erdgeschoss und bei Unterkellerung in Keller sehr wahrscheinlich
- Aus- und Zugang des Gebäudes deutlich erschwert

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)



Abbildung 70: Gefahrenpunkt Nahe Stadthalle, $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Lerchenweg

- größere nahezu flächendeckende Wasserfläche um Wohngebäude (Schadenspotentialklasse hoch) und Wirtschafts- oder Gewerbegebäude (Schadenspotentialklasse mäßig) mit Wassertiefen zwischen 30 cm – 50 cm und 50 cm – 100 cm
- Wassereindrang in das Erdgeschoss und bei Unterkellerung in Keller sehr wahrscheinlich
- Aus- und Zugang einzelner Gebäudes erschwert und deutlich erschwert



Abbildung 71: Gefahrenpunkt Lerchenweg, $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Schlesinger Straße

- an Ost- und Westseite des Gebäudes Wassertiefen > 100 cm, ggf. in der Detailuntersuchung Vor-Ort Prüfung der morphologischen Verhältnisse, auf der Nordseite größere Wasserfläche mit Wassertiefen von überwiegend 30 cm – 50 cm und bereichsweise 50 cm – 100 cm
- bei Bestätigung der Geländeoberfläche des DGMs ist Wassereindrang in das Erdgeschoss und bei Unterkellerung in Keller sehr wahrscheinlich

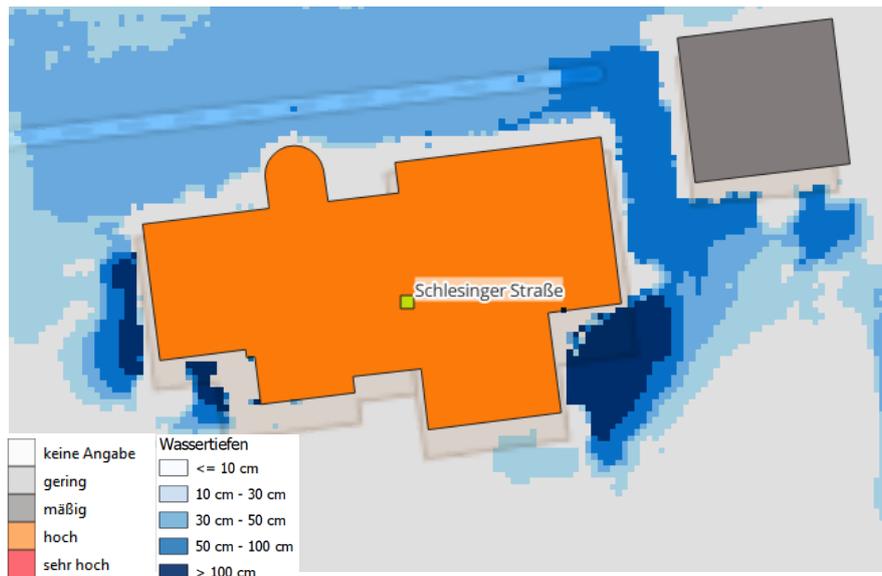


Abbildung 72: Gefahrenpunkt Schlesinger Straße, $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Adalbert-Stifter Straße / Bahnerstraße

- sehr große das Wohngebäude umringende Wasserfläche mit Wassertiefen überwiegend zwischen 30 cm – 50 cm und 50 cm – 100 cm
- Wassereindrang in das Erdgeschoss und bei Unterkellerung in Keller sehr wahrscheinlich
- Aus- und Zugang des Gebäudes teils deutlich erschwert

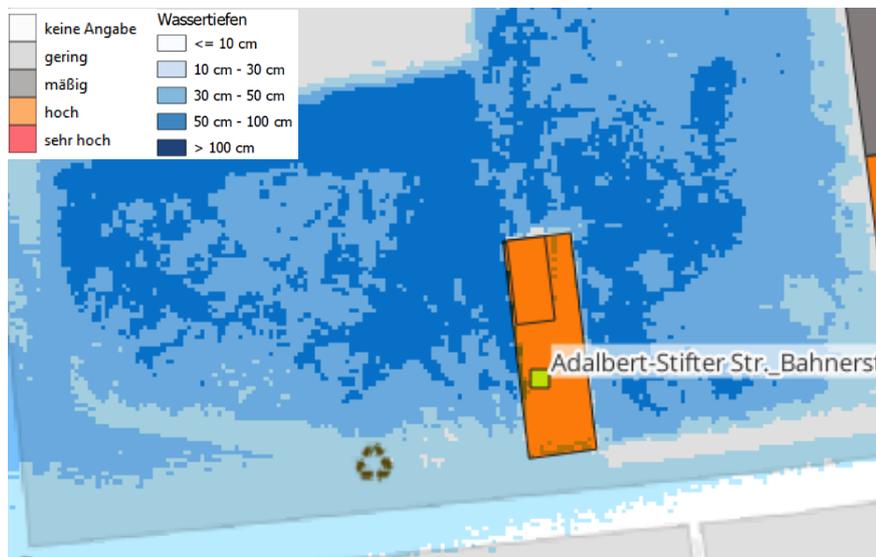


Abbildung 73: Gefahrenpunkt Adalbert-Stifter Str. / Bahnerstraße, $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Max-Eyth-Straße

- große Wasserfläche, die Wirtschafts- oder Gewerbegebäude (dabei vier Gebäude ohne Angabe in den übergebenden Gebäudedaten) allseitig umgeben mit Wassertiefen von überwiegend 50 cm – 100 cm
- Wassereindrang in das Erdgeschoss und bei Unterkellerung in Keller sehr wahrscheinlich
- Aus- und Zugang des Gebäudes überwiegend deutlich erschwert

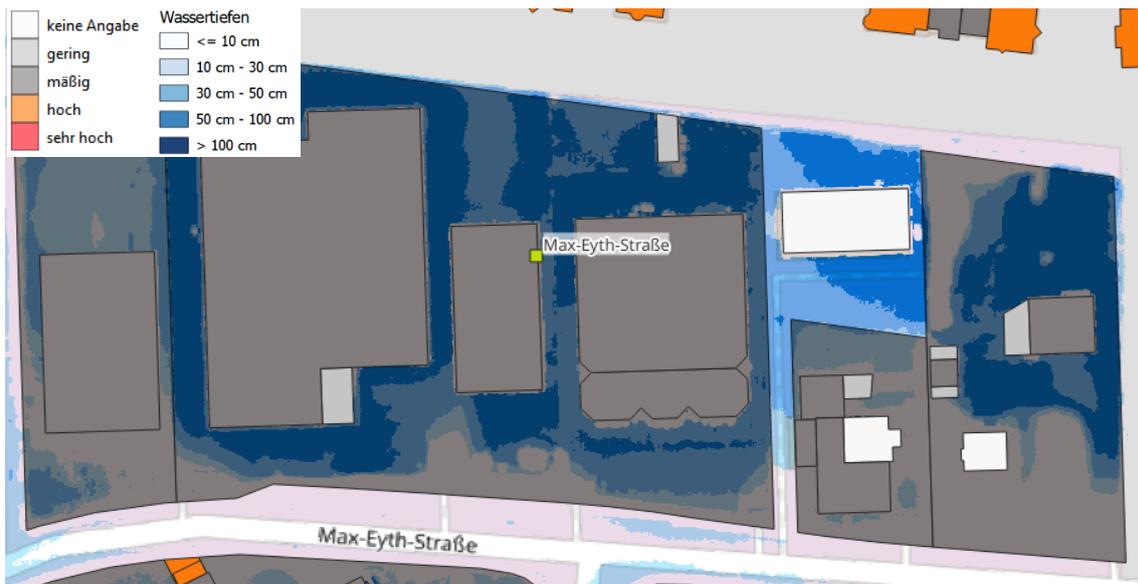


Abbildung 74: Gefahrenpunkt Max-Eyth-Straße, $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Kaiser-Karl Straße

- flächendeckende und das Wohngebäude umringende Wasserfläche mit Wassertiefen von überwiegend 30 cm – 50 cm, östlich des Gebäudes auch großflächig Wassertiefen von 50 cm – 100 cm
- Wassereindrang in das Erdgeschoss und bei Unterkellerung Wassereindrang in Keller sehr wahrscheinlich
- Aus- und Zugang des Gebäudes erschwert

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

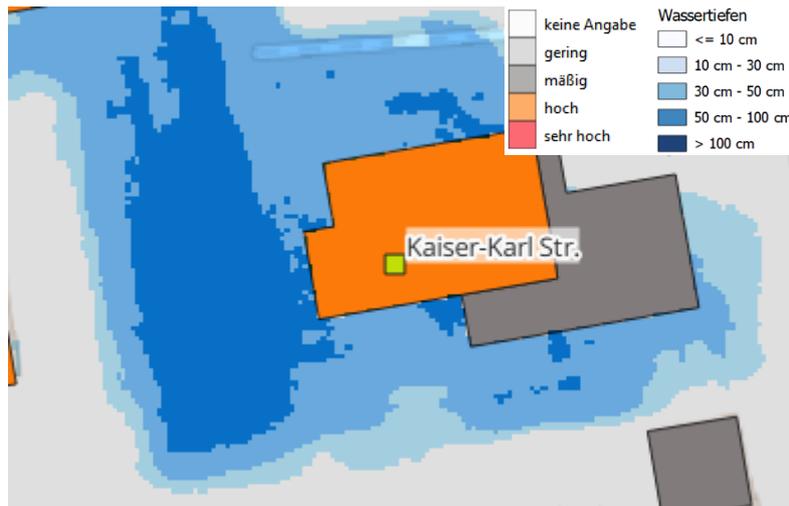


Abbildung 75: Gefahrenpunkt Kaiser-Karl Straße, $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Privat/kommunale Gefahrenpunkte

Pfarrfeldstraße / Ulrichstraße

- große Wasserfläche auf der Pfarrfeldstraße und der Kreuzung Pfarrfeldstraße / Ulrichstraße, die gleichzeitig ein Wohngebäude umringt mit Wasserständen überwiegend 30 cm – 50 cm und bereichsweise auch 50 cm – 100 cm
- Einschluss von Fahrzeugen auf der Pfarrfeldstraße nicht auszuschließen
- Wassereindrang in das Erdgeschoss und bei Unterkellerung Wassereindrang in Keller sehr wahrscheinlich
- Aus- und Zugang des Gebäudes erschwert

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

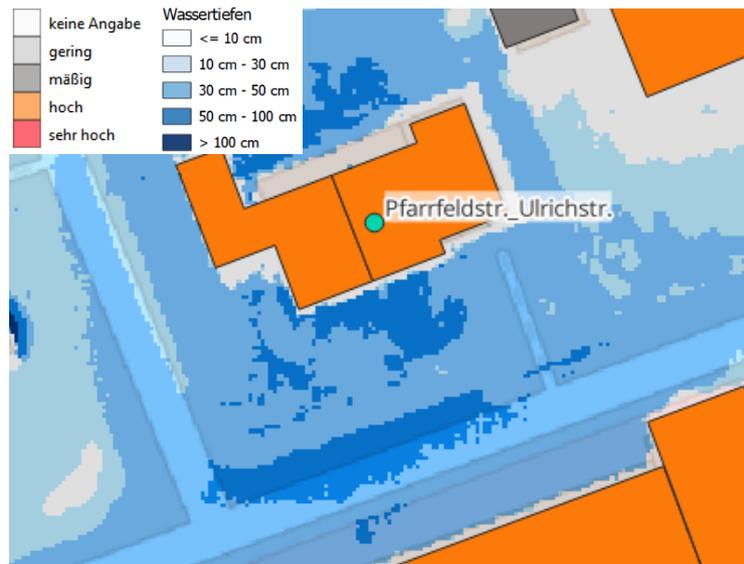


Abbildung 76: Gefahrenpunkt Pfarrfeldstraße / Ulrichstraße, $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Unteres Brunnental

- entlang der Straße Unteres Brunnental zwei größere Wasserfläche, die ein Wohngebäude von drei Seiten umringt und ein weiteres von zwei Seiten
- Wassertiefen mit überwiegend 30 cm – 50 cm, kleinflächig auch 50 cm – 100 cm
- ggf. Einschluss von Fahrzeugen auf der Straße Unteres Brunnental
- Wassereindrang in das Erdgeschoss möglich und bei Unterkellerung Wassereindrang in Keller sehr wahrscheinlich



Abbildung 77: Gefahrenpunkt Unteres Brunnental, $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Riedhauser Straße / Paul-Böhm-Straße

- entlang der Paul-Böhm-Straße größere Wasserfläche mit Wassertiefen von überwiegend 30 cm – 50 cm, kleinflächig auch 50 cm – 100 cm sowie zwischen Riedhauser Straße und Paul-Böhm-Straße weitere Wasserfläche mit Wassertiefen großflächig von 30 cm – 50 cm und 50 cm – 100 cm als auch auf der Riedhauser Straße Wasserflächen mit Wassertiefen von 10 cm – 30 cm und 30 – 50 cm
- Wassereindrang in das Erdgeschoss in einem Wohn- und einem Wirtschafts- oder Gewerbegebäude möglich und bei Unterkellerung Wassereindrang in Keller sehr wahrscheinlich
- ggf. Einschluss von Fahrzeugen auf der Paul-Böhm-Straße
- Behinderung von Rettungsfahrzeugen nicht auszuschließen

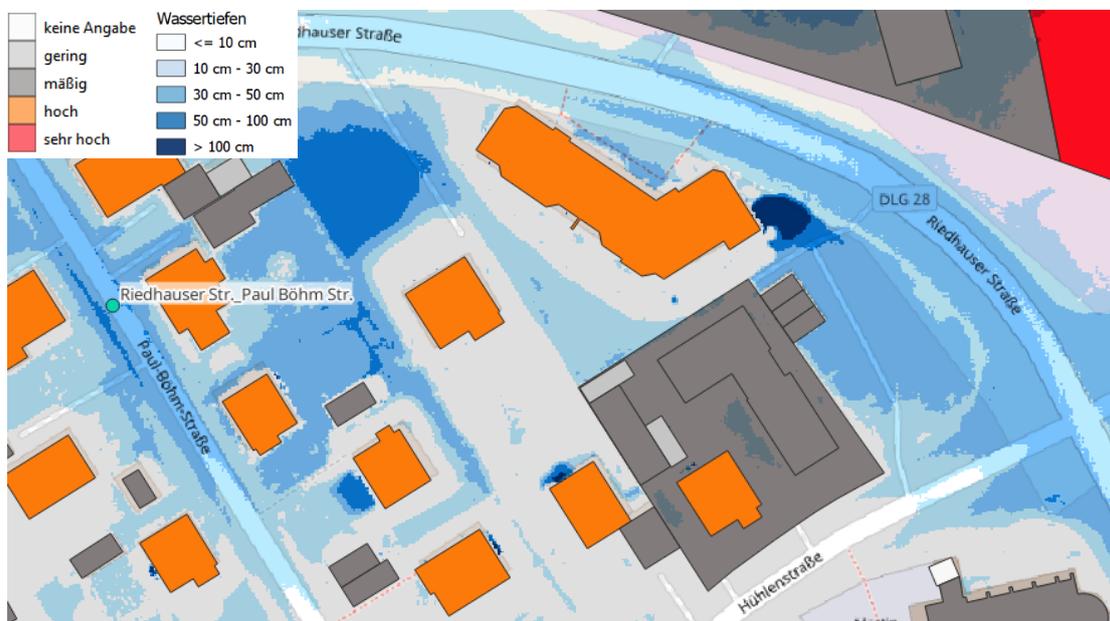


Abbildung 78: Gefahrenpunkt Riedhauser Straße / Paul Böhm Straße, $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Oberer Wall / Schloss

- am Gebäude der Heilanstalt kleinere Wasserfläche an der Süd- Ostseite des Gebäudes mit Wassertiefen > 100 cm
- ggf. in der Detailuntersuchung Vor-Ort Prüfung der morphologischen Verhältnisse
- bei Bestätigung der Geländeverhältnisse des DGMs Wassereindrang in das Erdgeschoss und bei Unterkellerung Wassereindrang in Keller sehr wahrscheinlich

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

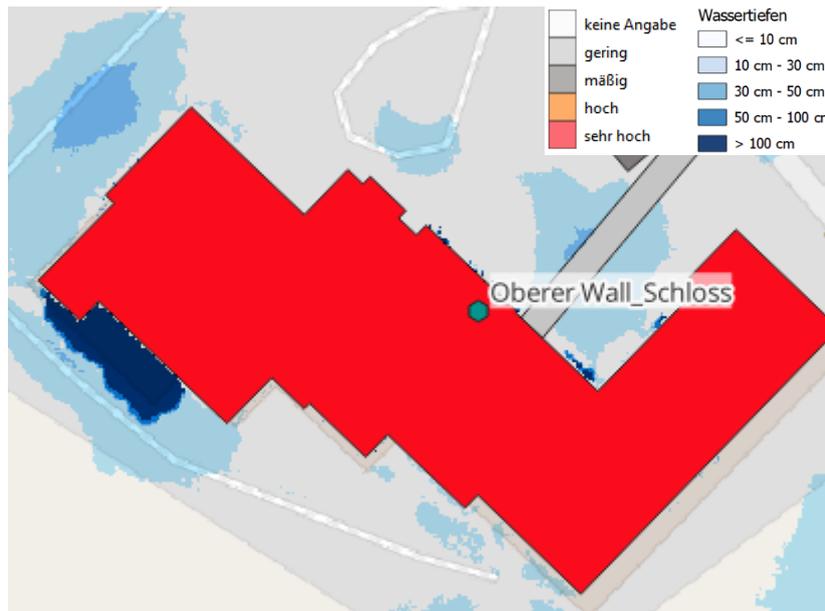


Abbildung 79: Gefahrenpunkt Oberer Wall / Schloss, $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Kommunale Gefahrenpunkte

Faimingen (Magnus-Schneller-Straße)

- große Wasserfläche auf der Kreuzung Faiminger Straße / Magnus-Schneller-Straße mit flächendeckenden Wassertiefen von 50 cm – 100 cm unmittelbar auf der Straße
- Einschluss von Fahrzeugen auf der Pfarrfeldstraße nicht auszuschließen
- Behinderung von Rettungsfahrzeugen sehr wahrscheinlich

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

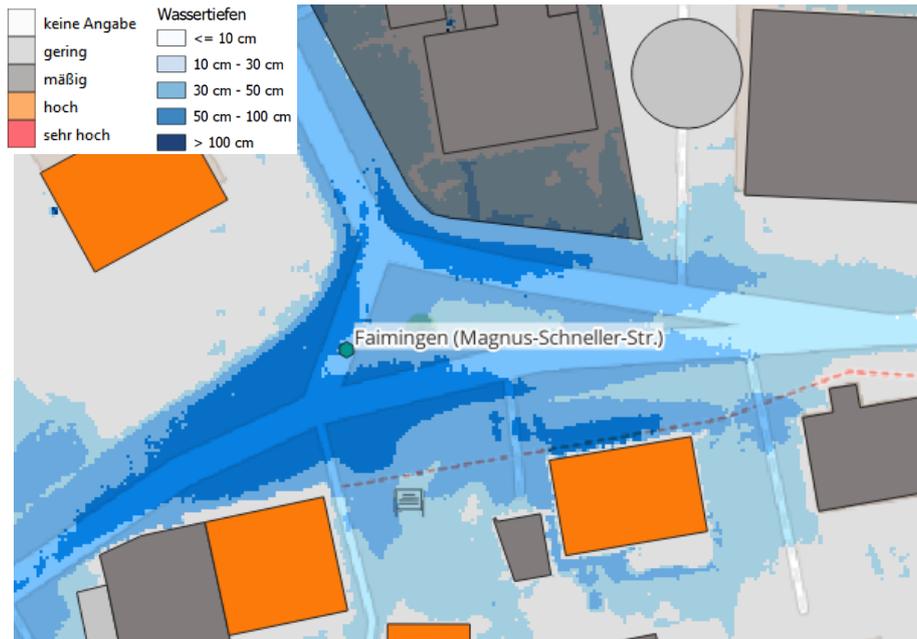


Abbildung 80: Gefahrenpunkt Faimingen (Magnus-Schneller-Straße), $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Bildungszentrum

- am Ostflügel des Bildungszentrums größere Wasserfläche mit Wassertiefen > 100 cm und kleinere Wasserfläche am Westflügel des Bildungszentrums mit Wassertiefen 50 cm – 100 cm
- ggf. in der Detailuntersuchung Vor-Ort Prüfung der morphologischen Verhältnisse
- bei Bestätigung der Geländeverhältnisse des DGMs Wassereindrang größerer Wassermengen in das Erdgeschoss und bei Unterkellerung Wassereindrang in Keller sehr wahrscheinlich

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

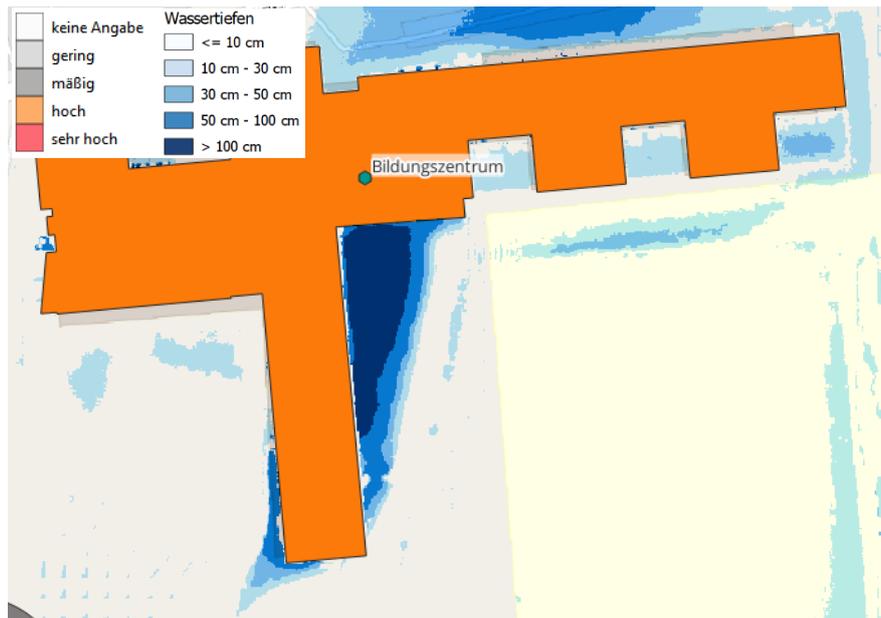


Abbildung 81: Gefahrenpunkt Bildungszentrum, $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Berufsschule und Realschule

- sowohl an der Berufsschule als auch an der Realschule kleinere Wasserfläche an der Südseite der Gebäude mit Wassertiefen von 50 cm – 100 cm und bereichsweise > 100 cm
- ggf. in der Detailuntersuchung Vor-Ort Prüfung der morphologischen Verhältnisse
- bei Bestätigung der Geländeverhältnisse des DGMs Wassereindrang in das Erdgeschoss und bei Unterkellerung Wassereindrang in Keller sehr wahrscheinlich

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

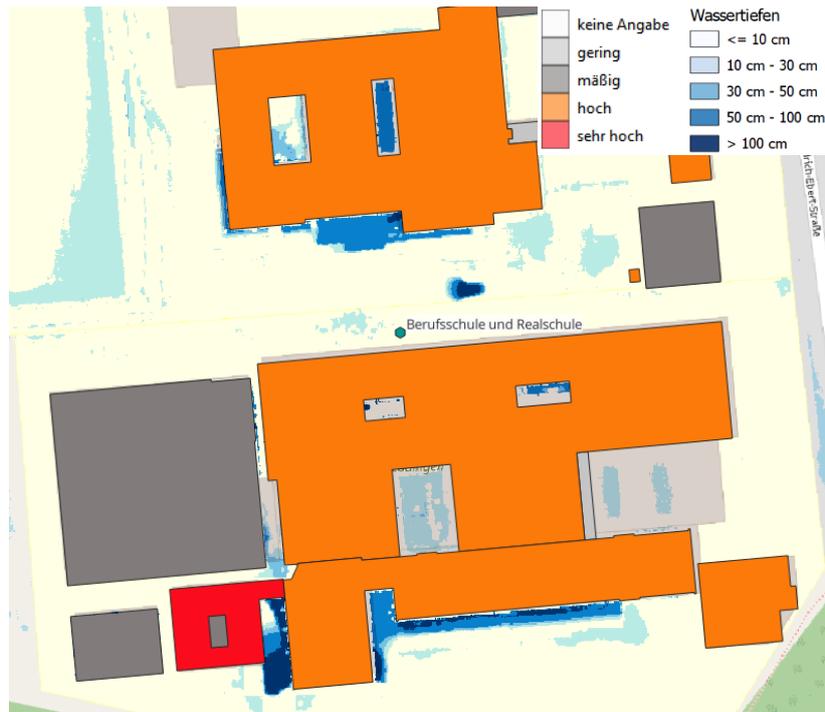


Abbildung 82: Gefahrenpunkt Berufsschule und Realschule, $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Schabringerstraße

- im kompletten Bereich der Straßenunterführung Wasseransammlung mit Wassertiefen > 100 cm
- Gefährdungsbereich sowohl für Fußgänger (insbesondere Kleinkinder) als auch für Fahrzeuge
- Behinderung von Rettungsfahrzeugen sehr wahrscheinlich



Abbildung 83: Gefahrenpunkt Schabringerstraße, $T = 100$ a, $D = 60$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

B16 / Lindenstraße

- entlang der B16 Wasseransammlung auf ca. 300 m Länge mit Wassertiefen von überwiegend 50 cm – 100 cm, im Bereich des Straßengrabens > 100 cm
- Einschluss von Fahrzeugen nicht auszuschließen
- Behinderung von Rettungsfahrzeugen sehr wahrscheinlich

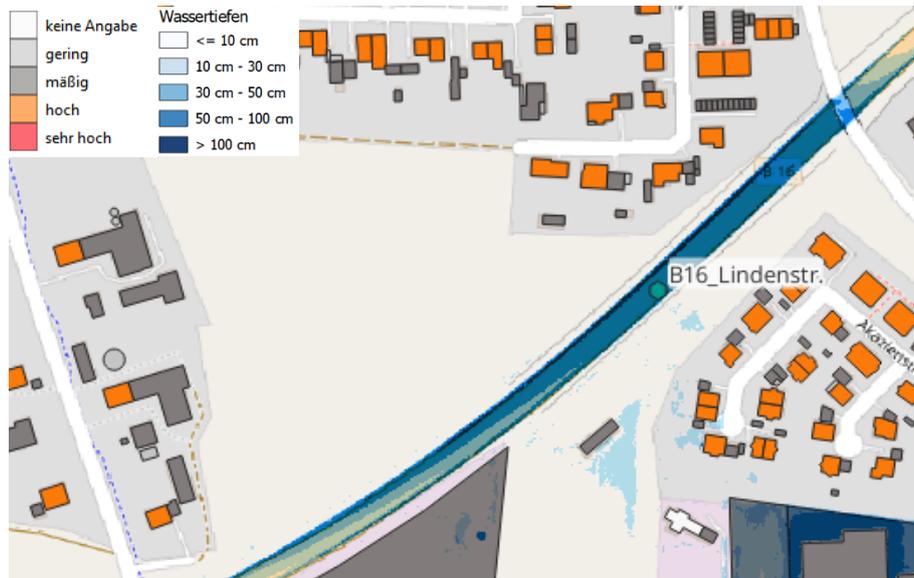


Abbildung 84: Gefahrenpunkt B16 / Lindenstraße, T = 100 a, D = 60 min. Quelle: Eigene Darstellung.

B16 / Riedhauserstraße

- im Kreuzungsbereich der Riedhauserstraße und der B16 mit Wasseransammlungen von 10 cm – 30 cm und partiell 30 cm – 50 cm, im Bereich der Auffahrt von der B16 auf die Riedhauserstraße Wassertiefen von 30 cm – 50 cm sowie im daneben liegenden Straßengraben auch > 100 cm
- Einschluss von Fahrzeugen nicht auszuschließen
- Behinderung von Rettungsfahrzeugen sehr wahrscheinlich

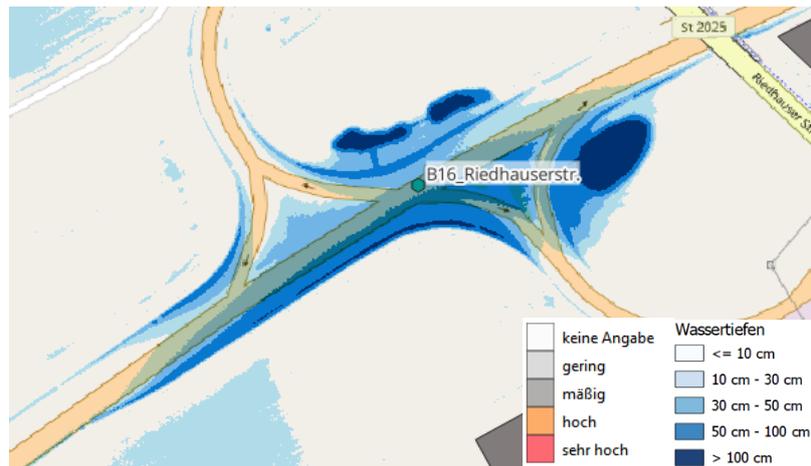


Abbildung 85: Gefahrenpunkt B16 / Riedhauserstraße, T = 100 a, D = 60 min. Quelle: Eigene Darstellung.

1.6.2 Fließgewässer III. Ordnung

In der Risikobewertung werden insbesondere die durch die Fließgewässer ausgehenden Risiken, durch z. B. über die Ufer tretende Wässer, auf die zu schützenden Objekte bewertet. Eine Unterteilung wie bei den wild abfließenden Wässern in privat und kommunal erfolgt nicht, da die Zuständigkeit der Fließgewässer III. Ordnung bei der Kommune liegt.

Die einzelnen Gefahrenpunkte an den entsprechenden Fließgewässer III. Ordnung ist in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zusammengestellt.

Tabelle 7: Zusammenstellung der Gefahrenpunkten bei den Fließgewässer III. Ordnung im Ergebnis der Risikobewertung

Gefahrenpunkt	Fließgewässer	qualitatives Schutzziel
Katharinenhof	Schackenlachgraben	weitgehend Wasser abfangen und versickern
Mündungsbereich Landgraben/Graben bei Nenningshof	Landgraben/Graben bei Nenningshof	weitgehend Wasser abfangen und versickern
Frauriedhausen Nord	Deinsbach	weitgehend Wasser abfangen und versickern
Veitriedhausen	Zwerggraben	weitgehend Wasser abfangen und versickern
An der Zwerch	Zwergbach	Nicht weiter betrachtet, da geplante Hochwasserschutzmaßnahmen der Gemeinden Haunsheim und Lauingen (Donau)

Katharinenhof – Schackenlachgraben

- Wasserrückstau am Durchlass und Zusammenfließen von Niederschlagswasser im Bereich zwischen Katharinenhof und Schackenlachgraben
- Wirtschafts- oder Gewerbegebäude des Katharinenhof betroffen insbesondere durch das Gebäude umringende Wasserfläche mit Wassertiefen von überwiegend 10 cm bis 30 cm, lokal auch bis 50 cm bis 100 cm

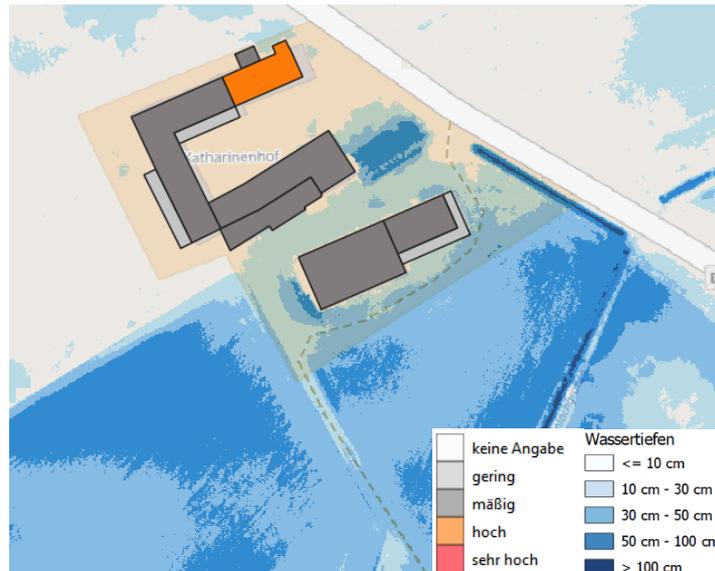


Abbildung 86: Gefahrenpunkt Katharinenhof, Schackenlachgraben, $T = 100$ a, $D = 540$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Mündungsbereich Landgraben/Graben bei Nenningshof - Landgraben

- Wasserrückstau im Mündungsbereich in Richtung Obere Haidhofsiedlung und gleichzeitig Senkenbereich
- keine unmittelbare Gefahr bei Wohngebäude, da Wasserstände im Bereich 0,1 m bis 0,3 m liegen
- Wassereintritt in Wirtschafts- und Gewerbegebäude möglich
- große zusammenhängende Wasserfläche mit Wassertiefen von 0,5 m bis 1,0 m mit relativ langer Standzeit

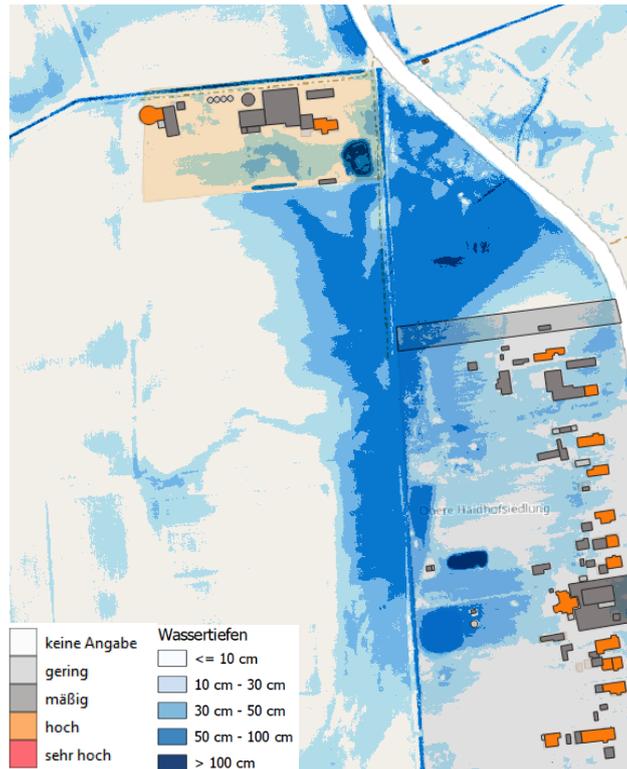


Abbildung 87: Gefahrenpunkt Mündungsbereich Landgraben/Graben bei Nenningshof, $T = 100$ a, $D = 540$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Frauenriedhausen Nord – Landgraben

- Wasserrückstau und Überlauf am Einlauf des Durchlasses
- Wohngebäude weniger stark betroffen
- Kreuzungsbereich überschwemmt mit Wassertiefen von bis zu 0,5 m bis 1,0 m

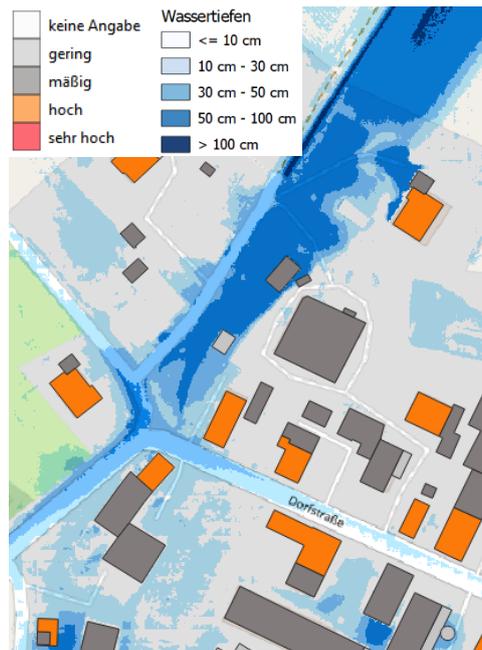


Abbildung 88: Gefahrenpunkt Frauenriedhausen Nord, Deinsbach, $T = 100$ a, $D = 540$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

Veitriedhausen – Zwerggraben

- Wasserrückstau am kleinen Durchlass (DN 800) vor dem großen Durchlass der St2025 (Abbildung 89)
- zusammen mit Rückstau Wasseransammlung auf Grund natürlicher Senkenlage des Bereiches Norden von Veitriedhausen (siehe Abbildung 90)
- zusätzlich Wasserzustrom wild abfließender Wässer über St. – Veit- Straße
- Versorgungsanlage (Schadenspotentialklasse sehr hoch – siehe Abbildung 89) im Bereich mit Wassertiefen von über 1,0 m, aber auch Wohngebäude im Bereich von 0,5 m bis 1,0 m

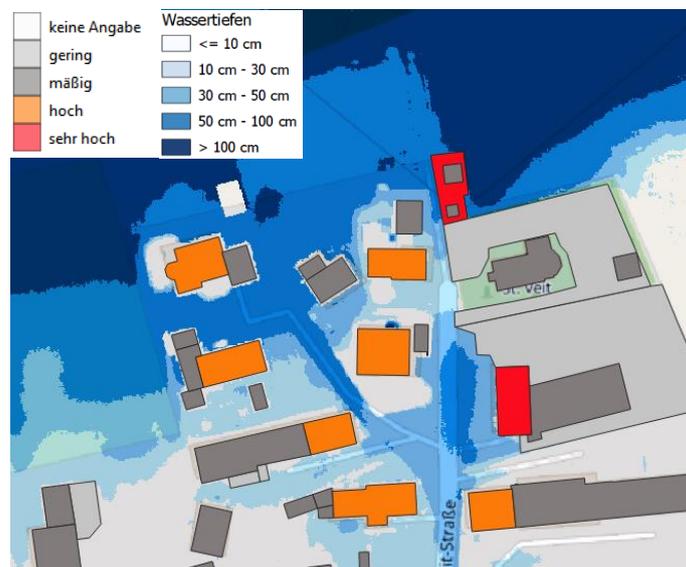


Abbildung 89: Gefahrenpunkt Veitriedhausen, Zwerggraben, $T = 100$ a, $D = 540$. Quelle: Eigene Darstellung.



Abbildung 90: DGM1 im Norden von Veitriedhausen. Quelle: Eigene Darstellung.

An der Zwerch – Zwerggraben/Zwergbach

- betroffener Bereich durch über die Ufer tretendes Wasser des Zwergbachs, erneut zu betrachten, da Bathymetrie des Zwergbachs nicht vollständig berücksichtigt und Änderung der Hydrologie des Zwergbach auf Grund geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen der Gemeinden Haunsheim und Lauingen (Donau)
- hier nicht weiter betrachtet



Abbildung 91: Gefahrenpunkt An der Zwerch, Zwergbach/Zwerggraben, $D = 100$ a, $D = 540$ min. Quelle: Eigene Darstellung.

2 Literaturverzeichnis

- AI, T. und J. LI (2010): A DEM generalization by minor valley branch detection and grid filling. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 65 (2).
- BAYERISCHE STAATSREGIERUNG (2015): Klimaschutzprogramm Bayern 2050.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2002): Hochwasser im August 2002.
- BILL, R. (2010): Grundlagen der Geoinformationssysteme. Berlin.
- BWK (2013): Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge. BWK-Fachinformation 1/2013. Sindelfingen.
- CLIMATE.GOV (2020): Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. NOAA; Rebecca Lindsey. Internet: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide> (31.10.2020).
- DAVID, A. und B. SCHMALZ (2021): A Systematic Analysis of the Interaction between Rain-on-Grid-Simulations and Spatial Resolution in 2D Hydrodynamic Modeling. In: Water 2021, Vol. 13 13 (17). Internet: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/17/2346/htm> (20.04.2023).
- DVWK (1984): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten. Teil II. Synthese. . Internet: <https://www.irb.fraunhofer.de/dokumentlieferung/dienst/?id=1985029930193&from=rss> (20.04.2023).
- DWA (2019a): Merkblatt DWA-M 543-1 - Geodaten in der Fließgewässermodellierung Teil 1: Grundlagen und Verfahren. Hennef.
- DWA (2019b): Merkblatt DWA-M 543-2 - Geodaten in der Fließgewässermodellierung – Teil 2: Bedarfsgerechte Datenerfassung und -aufbereitung. Hennef.
- DWA (2019c): Merkblatt DWA-M 543-3 - Geodaten in der Fließgewässermodellierung – Teil 3: Aspekte der Strömungsmodellierung und Fallbeispiele . Hennef.
- DWA (2016): Merkblatt DWA-M 119 - Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen. Hennef.
- DWA (2006): Arbeitsblatt, DWA-A 118 - Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Internet: <https://webshop.dwa.de/de/dwa-a-118-hydraulische-bemessung-3-2011.html> (20.04.2023).
- DWD (2021): Hydro-klimatologische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands im Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet „Bernd“ vom 12. bis 19. Juli 2021. Internet: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20210721_bericht_starkniederschlaege_tief_bernd.pdf?__blob=publicationFile&v=6.
- GREENADAPT (2022): Auswahlvorschlag zweidimensionale hydraulische Modellierung der Fließgewässer III. Ordnung in der Gemeinde Lauingen. Leipzig.
- HEC (2021): HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual—Version 6.0 Beta. Davis.
- HUANG, M. und S. JIN (2019): A methodology for simple 2-D inundation analysis in urban area using SWMM and GIS. In: Natural Hazards 97 (1): 15–43.
- INGENIEURBÜRO JOHANN KAPFER (2006): Gewässerentwicklungsplan Stadt Lauingen (Donau), Erläuterungsbericht. Dillingen a.d. Donau.
- IPCC (2021): Klimawandel 2021. Naturwissenschaftliche Grundlagen.

- IPCC (2014): Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Internet: <http://www.ipcc.ch>. (03.05.2023).
- JÄTZOLD, R. (1962): Naturräumliche Gliederung, BI. 172 Nördlingen. Institut für Landeskunde. Bad Godesberg.
- JENSON, S. K. , T. C. M. (1987): Methods and applications in surface depression analysis.
- KRVAVICA, N. und J. RUBINIĆ (2020): Evaluation of Design Storms and Critical Rainfall Durations for Flood Prediction in Partially Urbanized Catchments. In: *Water* 12 (7). Internet: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/7/2044/htm> (20.04.2023).
- LANUV KISS (2013): Klimawandel in der Stadtentwässerung und Stadtentwicklung, Abschlussbericht.
- LUBW (2016): Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg.
- MANIAK, U. (2005): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Berlin/Heidelberg.
- MARKS, D., J. DOZIER und J. FREW (1984): AUTOMATED BASIN DELINEATION FROM DIGITAL ELEVATION DATA. In: *Geo-processing* 2 (3).
- MATZARAKIS, A. und H. MAYER (1996): Another kind of environmental stress: Thermal stress. In: WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control 18: 7–10.
- OKE ET AL. (2017): *Urban Climates*.
- S. FU, G. ZHANG, N. WANG und L. LUO (2011): Initial Abstraction Ratio in the SCS-CN Method in the Loess Plateau of China. In: *Transactions of the ASABE* 54 (1): 163–169.
- SCHEID, C. (2018): GIS-basierte Starkregen-Risikoanalyse unter besonderer Berücksichtigung von Datenerfordernissen und methodischer Aussagefähigkeit. In: *Wasser Infrastruktur Ressourcen Band 4*.
- SCHRÖDER, A., A. ROSKOSCH, C. RAU, C. MANSTEIN, L. SIECK, M. SCHMIED, O. WEBER und W. NIEDERLE (2022): Herausforderungen und Chancen einer ressourcenschonenden Stadt- und Infrastrukturentwicklung. Internet: www.umweltbundesamt.de (03.05.2023).
- SHI, Z. H., L. D. CHEN, N. F. FANG, D. F. QIN und C. F. CAI (2009): Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China. In: *CATENA* 77 (1): 1–7.
- STMUV BAYERN (2019): Infoblatt zum Sonderprogramm nach Nr. 2.4 RZWas 2018, Integrale Konzepte zum kommunalen Sturzflut-Risikomanagement.
- STMUV BAYERN (1995): Arten- und Biotopschutzprogramm Bayern, Landkreis Dillingen.
- WOODWARD, D., R. HAWKINS, R. JIANG, A. HJELMFELT, J. A. VAN MULLEM und Q. D. QUAN (2003): Runoff curve number method: Examination of the initial abstraction ratio. In: Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conf. Internet: https://www.researchgate.net/publication/313007483_Runoff_curve_number_method_Examination_of_the_initial_abstraction_ratio (20.04.2023).
- ZEIGER, S. J. und J. A. HUBBART (2021): Measuring and modeling event-based environmental flows: An assessment of HEC-RAS 2D rain-on-grid simulations. In: *Journal of Environmental Management* 285.

3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung III-1 Vegetation am Landgraben (links) und am Zwerggraben (rechts) – beide Gräben sind trocken bei der Befahrung im September 2021.	4
Abbildung III-2 Durchlass am Zwerggraben (links) und Galgenbergbächle (rechts).	4
Abbildung III-3 Quellaustritte am Galgenbergbächle.	4
Abbildung III-4: Methodische Vorgehensweise des Moduls 2 „Sturzflut-Risikomanagement“.	6
Abbildung III-5: Thiessen-Polygone für eine Natural Neighbour Interpolation I.	8
Abbildung III-6: Thiessen-Polygone für eine Natural Neighbour Interpolation II.	8
Abbildung III-7: Laserpunkte mit farbiger Unterteilung in Höhe und Klassen (links),	9
Abbildung III-8: Original DGM1 links, DGM1 mit eingebranntem Grabenverlauf rechts.	9
Abbildung III-9: Senkenfüllung.	10
Abbildung III-10 Ermittlung der Höhen-Volumen-Beziehung einer Senke über stufenweise Berechnung des Senkenvolumens (V_n) durch Erhöhung der Senkenhöhe (h_n), beispielhafte. Quelle: Eigene Darstellung.	12
Abbildung III-11 Ermittlung der Senkenhöhe h_x bei vorgegebenen Volumen V_x über die Höhen-Volumen-Beziehung einer Senke, beispielhaft.	12
Abbildung III-12: Prinzip des „Deterministic 8 Algorithm“-Ansatz (D8).	15
Abbildung III-13: Prinzip der Berechnung der Abflussakkumulation für ein Geländemodell.	16
Abbildung III-14: Auszug hydrodynamisches Modell mit Ergebnisdarstellung des „Subgrid Bathymetrie Ansatzes“. Quelle: Eigene Darstellung.	17
Abbildung III-15: Auszug auf dem DGM03 mit Berücksichtigung der Gebäudedaten.	18
Abbildung III-16: Einteilung der Bodenklassen nach dem SCS-Verfahren im Gemeindegebiet Lauingen (Donau) (rote Umrandung).	22
Abbildung III-17: Fließgewässer III. Ordnung im nördlichen Gemeindegebiet.	25
Abbildung III-18: Fließgewässer III. Ordnung im südlichen Gemeindegebiet.	25
Abbildung III-19: Darstellung DGM 0,3 m x 0,3 m mit Bathymetrie des Schackenlachgraben.	28
Abbildung III-20 Auflösung DGM für Teileinzugsgebiete Zwerggraben. Quelle: Eigene Darstellung.	29
Abbildung III-21: Exemplarisch: Niederschlagshöhe in mm über Dauerstufe KOSTRA 2010R in min.	30
Abbildung III-22: Schematische Gegenüberstellung der unterschiedlichen Gefährdungslagen durch Überflutungen infolge von Starkregen (a) und durch Ausuferung von Gewässern (b).	31
Abbildung III-23: Bereich zwischen Gundelfinger Straße und Schumannstraße, am Bildungszentrum Lauingen (Donau) und an der Berufsschule sowie Bereich Faimingen (Magnus-Schneller-Straße, Torweg) mit den Wassertiefen bei statischer Volumenbetrachtung ($T = 100$ a, $D = 90$ min, $P = 55,71$ mm).	38
Abbildung III-24: Bereich Kreuzung B16/Riedhauser Straße und dem angrenzenden Industriegebiet mit den Wassertiefen bei statischer Volumenbetrachtung ($T = 100$ a, $D = 90$ min, $P = 55,71$ mm).	39
Abbildung III-25: Bereich B16 zwischen Wittislinger Str. und Lindenstraße mit den Wassertiefen bei statischer Volumenbetrachtung ($T = 100$ a, $D = 90$ min, $P = 55,71$ mm). Quelle: Eigene Darstellung.	39
Abbildung III-26: Innenstädtischen Bereich mit den Wassertiefen bei statischer Volumenbetrachtung ($T = 100$ a, $D = 90$ min, $P = 55,71$ mm).	40
Abbildung III-27: Bereich des Einkaufszentrums im Osten des Stadtzentrums sowie im Bereich zwischen der Kaiser-Karl-Straße und der Dillinger Straße mit den Wassertiefen bei statischer Volumenbetrachtung ($T = 100$ a, $D = 90$ min, $P = 55,71$ mm).	40
Abbildung III-28: Gebiet Donaubrücke, Segrèpromenade, Oberes Brunntental, Donaustraße mit Hangneigung in Grad und Ergebnisse der Fließweganalyse (Darstellung – Methode Strahler).	41

Abbildung III-29: Steilstufe im Auwald mit Hangneigung in Grad und Ergebnisse der Fließweganalyse (Darstellung – Methode Strahler).	42
Abbildung III-30: Bereiche im nördlichen Gemeindegebiet mit Hangneigung in Grad Ergebnisse der Fließweganalyse (Darstellung – Methode Strahler).	42
Abbildung III-31: Modellbereiche bzw. Einzugsgebiete der wild abfließenden Wässer.	43
Abbildung III-32: akkumulierter Volumenstrom bei unterschiedlicher Modelldiskretisierung (linke Abbildungen) im Bereich der Kreuzung B16/Riedhauserstraße (oben) und im Bereich der B16/Lindenstraße (unten), rosa Markierung ist der Bereich der modellseitigen Durchflussmessung (rechte Abbildung).	44
Abbildung III-33: Ergebnisse Wassertiefe unterschiedlicher Modelldiskretisierungen für das Modellgebiet Einkaufszentrum.	45
Abbildung III-34: Bereiche mit Fließgeschwindigkeiten > 2 /s.	47
Abbildung III-35: Einzugsgebiet (blau gestrichelt) Landgraben inkl. Graben bei Nenningshof und Graben bei Staatsstraße und Gemeindegrenze Stadt Lauingen (rot gestrichelt).	48
Abbildung III-36: Höhenverteilung entlang des Flusslaufes Graben bei Nenningshof und anschließend Landgraben.	48
Abbildung III-37: Einzugsgebiet Landgraben inkl. Nebengräben mit Unterteilung der Landnutzung (links) und HSG-Bodenklassen (rechts).	49
Abbildung III-38: Überschwemmungsbereich im Bereich Mündung Graben bei Nenningshof und Landgraben.	50
Abbildung III-39: Durchlässe im Mündungsbereich des Landgrabens und dem Graben bei Nenningshof.	51
Abbildung III-40: DGM1 im Mündungsbereich Landgraben und Graben bei Nenningshof.	51
Abbildung III-41: Einzugsgebiet (blau gestrichelt) Schackenlachgraben mit Gemeindegrenze Lauingen (Donau) (rot gestrichelt).	52
Abbildung III-42: Höhenverteilung entlang des längsten Fließweges im EZG Schackenlachgraben.	53
Abbildung III-43: Einzugsgebiet Schackenlachgraben mit Unterteilung der Landnutzung (oben) und HSG-Bodenklassen (unten).	54
Abbildung III-44: Wassertiefen für HQ_{mittel} am Schackenlachgraben im Bereich des Katharinenhofs.	55
Abbildung III-45: Einzugsgebiet (blau gestrichelt) Zwerggraben unterteilt in drei Teil-EZG mit Gemeindegrenze Stadt Lauingen (Donau) (rot gestrichelt).	56
Abbildung III-46: Höhenverteilung entlang des längsten Fließweges im EZG Zwerggraben.	57
Abbildung III-47: Einzugsgebiet Zwergbach mit Unterteilung der Landnutzung (oben) und HSG-Bodenklassen (unten).	57
Abbildung III-48: Teil-EZG 3 (rote Umrandung) des Zwerggrabens mit Wassertiefen des $HQ_{\text{häufig}}$ am Zwergbach.	58
Abbildung III-49: Modellgebietserweiterung zur Erfassung der Durchflüsse des Zwergbaches und Eintragung der Zuflussrandbedingung.	58
Abbildung III-50: Zuflussrandbedingungen aus Teil-EZG 1 (links – 2 Zuflussrandbedingungen, rot markiert) und aus Teil EZG 2 (rechts – 1 Zuflussrandbedingungen, rot markiert).	60
Abbildung III-51: Modellgebietserweiterung im Mündungsbereich Zwergbach/Zwerggraben.	61
Abbildung III-52: Wassertiefen bei HQ_{mittel} am Zwerggraben und MHQ am Zwergbach.	61
Abbildung III-53: Wassertiefen bei HQ_{mittel} am Zwerggraben und MHQ am Zwergbach.	62
Abbildung III-54: erweitertes Einzugsgebiet (blau gestrichelt) des Deinsbach mit Gemeindegrenze Stadt Lauingen (Donau) (rot gestrichelt).	63
Abbildung III-55: Höhenverteilung entlang des längsten Fließweges im EZG Deinsbach.	64
Abbildung III-56: Einzugsgebiet Deinsbach mit Unterteilung der Landnutzung (links) und HSG-Bodenklassen (rechts).	64
Abbildung III-57: Wassertiefen des $HQ_{\text{häufig}}$ am Zwergbach im Mündungsbereich des Deinsbachs.	65

Abbildung III-58: Modellgebietserweiterung zur Erfassung der Durchflüsse des Zwergbaches und Eintragung der Zuflussrandbedingung.	65
Abbildung III-59: HQ_{mittel} am Deinsbach in Frauenriedhausen.....	66
Abbildung III-60: Fließgeschwindigkeiten bei einem HQ_{mittel} am Deinsbach in Frauenriedhausen.	67
Abbildung III-61 berechneter Durchfluss am Deinsbach vor Frauenriedhausen (auf Kartenausschnitt gekennzeichnet mit pinker Profillinie) bei einem HQ_{selten} (HQ_{1000}) und HQ_{mittel} (HQ_{100}) und Darstellung der Niederschlagsverteilung bei einem N (T = 1000 a - mittenbetont) und N (T = 100 a – Euler II).	68
Abbildung III-62: Berechneter Durchfluss am Deinsbach vor Frauenriedhausen (auf Kartenausschnitt gekennzeichnet mit pinker Profillinie) bei einem HQ_{selten} (HQ_{1000}) mit unterschiedlichen Dauerstufe für den Belastungsniederschlag und HQ_{mittel} (HQ_{100}) und Darstellung der Niederschlagsverteilung für T = 1000 a bei N mittenbetont und D = 360 min, D = 180 min, D = 60 min und N für T = 100 a nach Euler II und D = 540 min Analyse Schadenspotential.	68
Abbildung III-63: Feuerwehreinsatz (roter Punkt) mit Untersetzung täglicher Niederschlagsmenge (d/mm) und berechnete Wassertiefen (hydrodynamische zweidimensionale Modellierung) bei T = 100 a, D = 60 min.	70
Abbildung III-64: Feuerwehreinsatz (roter Punkt) mit Untersetzung täglicher Niederschlagsmenge (d/mm) und berechnete Wassertiefen (hydrodynamische zweidimensionale Modellierung) bei T = 100 a, D = 60 min.	70
Abbildung III-65: Feuerwehreinsatz (roter Punkt) mit Untersetzung täglicher Niederschlagsmenge (d/mm) und berechnete Wassertiefen (hydrodynamische zweidimensionale Modellierung) bei T = 100 a, D = 60 min.	71
Abbildung III-66: Feuerwehreinsatz (roter Punkt) mit Untersetzung täglicher Niederschlagsmenge (d/mm) und berechnete Wassertiefen (belastungsabhängige Berechnung, orientierende Untersuchung) bei T = 100 a, D = 90 min.	71
Abbildung III-67: Beispiel Ergebnis Analyse Schadenspotential.	73
Abbildung III-68: Übersicht Gefahrenpunkt Lauingen (Donau).....	75
Abbildung III-69: Gefahrenpunkt Johannesstraße, T = 100 a, D = 60 min.....	76
Abbildung III-70: Gefahrenpunkt Nahe Stadthalle, T = 100 a, D = 60 min.	77
Abbildung III-71: Gefahrenpunkt Lerchenweg, T = 100 a, D = 60 min.	78
Abbildung III-72: Gefahrenpunkt Schlesinger Straße, T = 100 a, D = 60 min.	79
Abbildung III-73: Gefahrenpunkt Adalbert-Stifter Str. / Bahnerstraße, T = 100 a, D = 60 min.	79
Abbildung III-74: Gefahrenpunkt Max-Eyth-Straße, T = 100 a, D = 60 min.	80
Abbildung III-75: Gefahrenpunkt Kaiser-Karl Straße, T = 100 a, D = 60 min.	81
Abbildung III-76: Gefahrenpunkt Pfarrfeldstraße / Ulrichstraße, T = 100 a, D = 60 min.	82
Abbildung III-77: Gefahrenpunkt Unteres Brunnental, T = 100 a, D = 60 min.....	82
Abbildung III-78: Gefahrenpunkt Riedhauser Straße / Paul Böhm Straße, T = 100 a, D = 60 min.	83
Abbildung III-79: Gefahrenpunkt Oberer Wall / Schloss, T = 100 a, D = 60 min.....	84
Abbildung III-80: Gefahrenpunkt Faimingen (Magnus-Schneller-Straße), T = 100 a, D = 60 min.	85
Abbildung III-81: Gefahrenpunkt Bildungszentrum, T = 100 a, D = 60 min.	86
Abbildung III-82: Gefahrenpunkt Berufsschule und Realschule, T = 100 a, D = 60 min.....	87
Abbildung III-83: Gefahrenpunkt Schabringerstraße, T = 100 a, D = 60 min.	87
Abbildung III-84: Gefahrenpunkt B16 / Lindenstraße, T = 100 a, D = 60 min.	88
Abbildung III-85: Gefahrenpunkt B16 / Riedhauserstraße, T = 100 a, D = 60 min.....	89
Abbildung III-86: Gefahrenpunkt Katharinenhof, Schackenlachgraben, T = 100 a, D = 540 min. .	90
Abbildung III-87: Gefahrenpunkt Mündungsbereich Landgraben/Graben bei Nenningshof, T = 100 a, D = 540 min.	91
Abbildung III-88: Gefahrenpunkt Frauenriedhausen Nord, Deinsbach, T = 100 a, D = 540 min. ..	91
Abbildung III-89: Gefahrenpunkt Veitriedhausen, Zwerggraben, T = 100 a, D = 540.....	92
Abbildung III-90: DGM1 im Norden von Veitriedhausen.....	92

Abbildung III-91: Gefahrenpunkt An der Zwerch, Zwergbach/Zwerggraben, D = 100 a, D = 540
min..... 93

4 Tabellenverzeichnis

Tabelle III-1: Gefahrenklassen in Abhängigkeit der ermittelten Wasserstände bei einer statischen
Volumenbetrachtung..... 13

Tabelle III-2: CN-Werte in Abhängigkeit von Bodengruppe und Bodennutzung für
Bodenfeuchteklasse II..... 23

Tabelle III-3: Landnutzung und verwendete Manning n – Werte..... 23

Tabelle III-4: Einteilung der Gebäude- und Flächennutzung der Gemeinde Lauingen (Donau) in
Schadenspotentialklassen..... 34

Tabelle III-5: Modelldiskretisierung der Teilmodelle..... 45

Tabelle III-6: Gefahrenpunkte der wild abfließenden Wässer für die Stadt Lauingen (Donau) im
Ergebnis der Risikobewertung..... 73

Tabelle III-7: Zusammenstellung der Gefahrenpunkten bei den Fließgewässer III. Ordnung im
Ergebnis der Risikobewertung..... 89