



# ABLEITUNG PRIVATER HOCHWASSER- VORSORGEMASSNAHMEN AN GEBÄUDEN AUF BASIS VON ZWEIDIMENSIONALEN, HYDRODYNAMISCH-NUMERISCHEN MODELLEN

Anwendungsbezogenes Wissenschaftsprojekt im Modul BIW5-01

Eingereicht von:	Antonia Hippel
Geboren am:	12.04.1997 in Bünde
Matrikelnummer:	4678271
Erstprüfer:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stamm
Zweitprüfer:	Dr.-Ing. Torsten Heyer
Termin der Abgabe:	Dresden, 31.01.2023





**Aufgabenstellung für die Projektarbeit**

Modul: BIW-D-BIW5-01



Name: Antonia Hippel  
Matrikel-Nr.: 4678271  
Studiengang: Bauingenieurwesen  
Vertiefung: Wasserbau und Umwelt

**Thema: Ableitung privater Hochwasser-Vorsorgemaßnahmen an Gebäuden auf Basis von zweidimensionalen, hydrodynamisch-numerischen Modellen**  
Derivation of private flood prevention measures on buildings based on two-dimensional, hydrodynamic-numerical models

**1. Motivation und Zielstellung**

Der Klimawandel führt lokal zu voraussichtlich höher frequentierten und stärker ausgeprägten Extremwetterereignissen. Außerordentliche Starkniederschlagsereignisse höherer Jährlichkeiten, insbesondere nach langen Trockenperioden, beherbergen die Gefahr für breitflächige Überflutungen mit verheerenden Auswirkungen auf Mensch und Natur. Aus den Schadenspotentialen (zivilgesellschaftlich, monetär) von Extremhochwassern ergibt sich unter anderem die Fragestellung, inwiefern moderne Simulationsmodelle zur Schadensprognose sowie schlussendlich zur Ableitung privater Vorsorgemaßnahmen genutzt werden können.

Vor diesem Hintergrund soll, basierend auf Daten und Auswertungen der Flutkatastrophe in West- und Mitteleuropa im Juli 2021, eine Bewertungsmethodik für private Vorsorgemaßnahmen entwickelt, angewandt und evaluiert werden. Ausgehend von Simulationsergebnissen (u.a. Fließtiefen, Fließgeschwindigkeiten) zweidimensionaler hydrodynamisch-numerischer Simulationen aus den betroffenen Gebieten Nordrhein-Westfalens und Rheinland-Pfalz, soll die Bewertungsmethodik erprobt und Vorsorgemaßnahmen betrachtet werden. Die Projektarbeit ist eingebettet im vom Bund geförderten Projekt KAHR und wird extern durch das HochwasserKompetenzCentrum (HKC) e.V. betreut. Notwendige Daten werden durch das HKC bereitgestellt.

Zum Anwendungsbezogenen Wissenschaftsprojekt gehört die Teilnahme am Seminar mit Vorstellung der Projektarbeit sowie dem eigenen Vortrag, wie in der Modulbeschreibung ausgewiesen.

## 2. Bearbeitungsumfang

Die Projektarbeit soll mindestens folgende Arbeitsschwerpunkte beinhalten:

- Grundlagenrecherche zum Einfluss hydrodynamischer Prozesse auf Wohngebäude
- Grundlagenrecherche zur qualitativen Abbildung von Schadenspotentialen und Erörterung möglicher privater Vorsorgemaßnahmen
- Entwicklung einer Bewertungsmethodik zur Ableitung geeigneter Vorsorgemaßnahmen auf Basis hydrodynamisch-numerischer Simulationsmodelle
- Anwendung, Auswertung und Evaluierung der Bewertungsmethodik an ausgesuchten Regionen und Hochwasserereignissen (extern bereitgestellt)
- Anfertigung eines schriftlichen Projektberichts
- Vorstellung und Diskussion der Projektergebnisse im Rahmen einer Verteidigung

## 3. Sonstiges

Die Beschreibung des Moduls „Anwendungsbezogenes Wissenschaftsprojekt Bauingenieurwesen (BIW-D-BIW5-01 bzw. BIW-AD-BIW5-01) ist zu beachten.

**Erstprüfer, TU Dresden:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stamm

**Zweitprüfer, TU Dresden:**

Dr.-Ing. Torsten Heyer

**Wissenschaftlicher Betreuer, TU Dresden:**

Lars Backhaus, M.Sc.

**Betriebliche Ansprechpartnerin:**

Helene Meyer, M.Sc.

**Ausgehändigt am:**

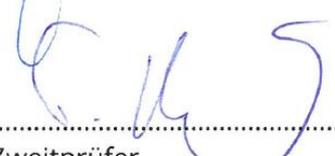
\_\_\_\_.\_\_\_\_.2022

**Einzureichen bis:**

31.01.2023

  
.....  
Erstprüfer

  
.....  
Projektbearbeiterin

  
.....  
Zweitprüfer

# SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, Antonia Hippel, dass ich die vorliegende Projektarbeit mit dem Thema „Ableitung privater Hochwasservorsorgemaßnahmen an Gebäuden auf Basis von Zweidimensionalen, hydrodynamisch-numerischen Modellen“ eigenständig angefertigt und keine Quellen oder Hilfsmittel außer den angegebenen verwendet habe.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer Prüfungsinstitution vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht worden.

Dresden, den 31.01.2023.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'hippel', with a stylized flourish at the end.

Antonia Hippel

## KURZFASSUNG

Infolge des Klimawandels sind immer mehr Menschen von Extremhochwasser betroffen. Grundgedanke dieser Arbeit ist die Empfehlung von Vorsorgemaßnahmen für Gebäudeeigentümer\*innen in hochwassergefährdeten Gebieten. Die Empfehlung der Vorsorgemaßnahmen basiert auf potenziellen Schäden, die durch Hochwasser entstehen können. Die Schäden variieren in ihrer Intensität und werden nach Grad der Stärke in drei Kategorien eingeteilt. Die Kategorien lassen sich durch die Fließtiefe und -geschwindigkeit am jeweiligen Gebäude einteilen. Je größer die Fließtiefe und -geschwindigkeit, desto größer ist auch der Grad des Schadens. Die Vorsorgemaßnahmen werden unterteilt in bauliche Eigenvorsorge und Verhaltensvorsorge. Sie werden den drei Schadenskategorien zugeordnet, um den potenziellen Schaden zu vermindern oder bestenfalls zu verhindern. Die dadurch entwickelte Bewertungsmethodik wird am Projektgebiet Dernau an der Ahr in Rheinland-Pfalz angewendet. Die Anwendung erfolgt mithilfe von Simulationsergebnissen von drei verschiedenen Hochwasserszenarien (HQ10, HQ100, HQ2021). Die drei Szenarien unterscheiden sich in Intensität und Häufigkeit. Das Ergebnis der Methodik zeigt Dernau mit drei unterschiedlich starken Auswirkungen nach einem Hochwasser. Nach Feststellung der Auswirkungen können allen Gebäudeeigentümer\*innen in Dernau entsprechende Vorsorgemaßnahmen empfohlen werden.

# BIBLIOGRAFISCHER NACHWEIS

<b>Forschungseinrichtung:</b>	Technische Universität Dresden  Fakultät Bauingenieurwesen  Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik
<b>Bearbeiterin:</b>	Antonia Hippel
<b>Thema:</b>	Ableitung privater Hochwasservorsorgemaßnahmen an Gebäuden auf Basis von Zweidimensionalen, hydrodynamisch-numerischen Modellen  Derivation of private flood prevention measures on buildings based on two-dimensional, hydrodynamic- numerical models
<b>Erscheinungsjahr:</b>	2023
<b>Seitenanzahl:</b>	32
<b>Anzahl der Abbildungen:</b>	8
<b>Anzahl der Tabellen:</b>	3
<b>Anzahl der Literaturquellen:</b>	19
<b>Schlagwörter:</b>	Ahr, Extremhochwasser, Hochwasser, Hochwasserschäden, Hochwasservorsorgemaßnahmen, Risikomodell

# INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis.....	X
Tabellenverzeichnis.....	XI
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Aufbau und Ziel der Arbeit.....	1
2 Grundlagen.....	3
2.1 Hydrodynamische Prozesse.....	3
2.2 Schadenspotentiale.....	3
2.2.1 Einflüsse auf Wohngebäude.....	3
2.2.2 Feuchte- und Wasserschäden.....	5
2.2.3 Kontaminationen und leichte, nicht statisch relevante Schäden.....	5
2.2.4 Statisch relevante Schäden.....	6
2.3 Vorsorgemassnahmen.....	6
2.3.1 Allgemein.....	6
2.3.2 Bauliche Eigenvorsorge.....	7
2.3.3 Verhaltensvorsorge.....	10
3 Bewertungsmethodik.....	13
3.1 Aufbau der Methodik.....	13
3.2 Schadenskategorien.....	15
3.3 Vorsorgemassnahmen.....	16
3.4 Anwendung in QGIS.....	17
4 Ergebnisse.....	19
4.1 Kartografische Darstellung.....	19
4.2 Verteilung der Schadenskategorien.....	23
4.3 Empfehlung von Vorsorgemassnahmen.....	24
5 Diskussion.....	27

5.1 Karten und Verteilung .....	27
5.2 Vorsorgemassnahmen.....	28
6 Fazit .....	31
Literaturverzeichnis.....	33
Anhänge.....	35
Anhang A: Attributtabelle der Gebäude in Dernau.....	35
Anhang B: Verteilung der Schadenskategorien an Gebäuden nach Hochwasserszenario .....	35
Anhang C: Maximale Werte der Fliesstiefen und -geschwindigkeiten an Gebäuden .....	35

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Übersichtskarte von Dernau in Rheinland-Pfalz .....	13
Abbildung 2: Fließdiagramm Bewertungsmethodik .....	15
Abbildung 3: Einteilung der Gebäude in die Schadenskategorien – HQ10.....	19
Abbildung 4: Fließtiefen und -geschwindigkeiten in Dernau .....	20
Abbildung 5: Einteilung der Gebäude in die Schadenskategorien – HQ100.....	21
Abbildung 6: Einteilung der Gebäude in die Schadenskategorien – HQ2021.....	22
Abbildung 7: Verteilung der Schadenskategorien an Gebäuden .....	23
Abbildung 8: Fotoaufnahme der Gemeinde Dernau.....	27

# TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Schadenskategorien an Gebäuden nach Grad der Stärke sowie Fließtiefe und - geschwindigkeit.....	4
Tabelle 2: Bauliche Eigenvorsorge zur Minderung von Schäden durch Hochwasser .....	8
Tabelle 3: Verhaltensvorsorgemaßnahmen im Falle eines Hochwassers nach Zeitpunkt der Umsetzung .....	10



# 1 EINLEITUNG

## 1.1 MOTIVATION

Im Juli 2021 ist es durch ein Extremwetterereignis zu Flusshochwassern in weiten Teilen West- und Mitteleuropas gekommen. Das Wetterextrem in Form eines räumlich ausgedehnten und langanhaltenden Starkregens hat zu teils sehr schweren Schäden in den Flusseinzugsgebieten geführt. Neben hohen Sachschäden, die entstanden sind, sind 184 Menschen ums Leben gekommen [1]. Durch das Niederschlagsereignis sind, insbesondere in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen, extreme Hochwasser an Flüssen und Bächen entstanden. Der Anstieg der Abflussmenge in den Gewässern hat zu Überschwemmungen von Gebäuden und Infrastruktur geführt [1], [2].

Solche Extremhochwasser werden infolge des Klimawandels in Zukunft immer häufiger frequentiert und stärker ausgeprägt auftreten, so Berichte des Weltklimarates IPCC und die Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 des Bundes [2]. Aufgrund der Annahme eines Anstiegs der Intensität und Häufigkeit von Hochwassern ist den einhergehenden Schäden entgegenzuwirken [2]. Neben den Schäden im öffentlichen Raum treten auch vermehrt Schäden an Privatgebäuden auf. Aus den Schadenspotentialen ergibt sich unter anderem die Frage, inwiefern eine Schadensprognose durch moderne Simulationsmodelle erfolgen kann. Die Datenbeschaffung und -auswertung mit Hilfe moderner Simulationsmodelle nimmt im Hochwassermanagement an Bedeutung zu. Interessant ist auch, ob durch diese Darstellung verschiedener Hochwasserszenarien die Möglichkeit zur Ableitung privater Vorsorge- und Verhaltensmaßnahmen besteht, um den Gefahren eines Extremhochwassers entgegenzuwirken.

## 1.2 AUFBAU UND ZIEL DER ARBEIT

In Rheinland-Pfalz sind in den Flusseinzugsgebieten durch das Extremhochwasser im Juli 2021 unterschiedlich starke und intensive Schäden entstanden. Mögliche Vorsorgemaßnahmen, um in Zukunft auf ähnliche Ereignisse vorbereitet zu sein, sehen je nach Schadensart und -intensität anders aus. Ziel der Arbeit ist eine Verknüpfung aus entstandenen Schäden durch Hochwasser und mögliche private Eigenvorsorge- und Verhaltensmaßnahmen zu schaffen. Mit der Entwicklung einer Bewertungsmethodik werden diese Verknüpfungen in zweidimensionalen, hydrodynamisch-numerischen Modellen in einem ausgewählten Teilgebiet Rheinland-Pfalz angewandt und evaluiert. Durch die Simulationsmodelle soll anhand der entwickelten Methodik eine Aufstellung von Schadensprognosen und die Empfehlung von Vorsorgemaßnahmen ermöglicht werden. Diese leisten einen Beitrag zur Unterstützung der Vorsorge, mit Empfehlungen zu geeigneten Maßnahmen, zur Minimierung der Schäden.

Die Projektarbeit wird vom HochwasserKompetenzCentrum (HKC) e.V. unterstützt und ist in das vom BMBF<sup>1</sup> geförderte Projekt KAHR<sup>2</sup> eingebettet. In der Projektarbeit erfolgt zunächst die Untersuchung des Einflusses hydrodynamischer Prozesse auf Wohngebäude und die qualitative Abbildung von Schadenspotentialen von Hochwasserereignissen. Für die Abbildung der Schadenspotentiale an Wohngebäuden wird eine Kategorisierung nach der Intensität der Schäden sowie eine Verknüpfung mit Parametern, wie der Fließtiefe und der Fließgeschwindigkeit vorgenommen. Darauf aufbauend erfolgt eine Erörterung möglicher Vorsorgemaßnahmen, welche Gebäudeeigentümer\*innen empfohlen werden können. Anhand dieser Grundlagen wird eine Bewertungsmethodik entwickelt mit der die Ableitung baulicher Eigenvorsorge- und Verhaltensvorsorgemaßnahmen anhand zweidimensionalen, hydrodynamisch-numerischen Modellen erfolgen soll. Die Methodik wird mit bereitgestellten Simulationsergebnissen für ein ausgewähltes Projektgebiet angewendet, anschließend evaluiert und diskutiert. Bereitgestellt werden die Simulationsergebnisse durch das Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), welches neben dem HKC ein Projektpartner im KAHR-Projekt ist. Die Simulationsergebnisse beinhalten Daten zu den Fließtiefen und -geschwindigkeiten für drei verschiedene Hochwasserszenarien, dem 10-jährlichen (HQ10) und dem 100-jährlichen Hochwasser (HQ100) sowie dem Hochwasserereignis vom Juli 2021 (HQ2021). Sie erstrecken sich von Altenahr bis Sinzig an der Ahr in Rheinland-Pfalz. Als Projektgebiet wird die Ortsgemeinde Dernau in der Verbandsgemeinde Altenahr untersucht.

---

<sup>1</sup> BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung [3]

<sup>2</sup> KAHR – Klima-Anpassung, Hochwasser und Resilienz: Ein vom BMBF gefördertes Projekt, welches sich mit der „Wissenschaftliche(n) Begleitung der Wiederaufbauprozesse nach der Flutkatastrophe in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen: Impulse für Resilienz und Klimaanpassung“ [4] beschäftigt.

## 2 GRUNDLAGEN

### 2.1 HYDRODYNAMISCHE PROZESSE

Um Schadenspotentiale abzubilden und Vorsorgemaßnahmen zu erörtern ist zunächst notwendig zu definieren, durch welche hydrodynamischen Prozesse sie entstehen. Die Hydrodynamik beinhaltet die „Bewegung der Flüssigkeiten unter dem Einfluss von äußeren Kräften und Trägheitskräften“ [5]. Innerhalb des Wasserkreislaufs der Erde entstehen Prozesse, wie Niederschlag, Verdunstung, Wasserspeicherung in den Meeren oder Grundwasserabfluss. Alle flüssigen Prozesse in diesem Kreislauf gehören zu den hydrodynamischen Prozessen und sind den Einflüssen aus der Umwelt, wie beispielsweise der Reibung, ausgesetzt [5], [6]. Hochwasser sowie viele andere hydrodynamische Prozesse sind demnach Teil des Naturhaushaltes. Hochwasser entstehen und erscheinen auf unterschiedliche Weise. Bei der Entstehung von Hochwasser wird unterschieden zwischen den auslösenden hydrodynamischen Prozessen Starkregen, Eisgang und Sturmfluten. Als Erscheinungsformen zählen Überflutungen, Grundhochwasser und Kanalarückstau. All diese Formen können entweder allein oder in Kombination auftreten [2]. Mit steigender Intensität können alle Ursachen und Formen eines Hochwassers zu Schäden führen. Im Folgenden wird auf die Schadenspotentiale von Hochwassern an Flüssen eingegangen, welche vor allem durch räumlich ausgedehnte, lang anhaltende Niederschläge und gegebenenfalls Eisgang verursacht werden [2].

### 2.2 SCHADENSPOTENTIALE

#### 2.2.1 Einflüsse auf Wohngebäude

Hydrodynamischen Prozesse in Form von Hochwasser an Flüssen können Schäden verursachen. Als solche Schäden zählen im privaten Bereich unter anderem die konstruktiven und baulichen Schäden, die an Wohngebäuden entstehen. Neben strukturellen Schäden werden oftmals auch Personenschäden verzeichnet. Durch Hochwasser können betroffene Personen physisch oder psychisch belastet sein. Dazu zählen zum Beispiel ein Trauma durch den Verlust eines Zuhauses als psychischer Schaden und Verletzungen oder Todesfälle als physischer Schaden [7]. Auch ökonomisch entstehen für Betroffene oft hohe Schäden. Menschen sind durch die Beschädigung oder den Verlust ihres Eigenheims finanziell überfordert und benötigen Unterstützung [7].

In dieser Arbeit spielen vor allem die Schäden eine Rolle, die durch Flusshochwasser direkt an den betroffenen Wohngebäuden entstehen. Betrachtet man die strukturellen Schäden an Wohngebäuden kann zunächst unterschieden werden, durch welche Hochwasserformen oder -ursachen sie entstanden sind. Bei Überflutungen sind vor allem Außenwand- und Deckenkonstruktionen sowie die

technische Gebäudeausrüstung betroffen. Bei Starkregenereignissen sind zusätzlich Dachkonstruktionen betroffen [8].

Um eine Kategorisierung der Schäden durch Hochwasser an Flüssen vorzunehmen ist zunächst wichtig, welche Eintrittswege es für das Flutwasser in Wohngebäude gibt. Steigt der Flusspegel so kann auch der Grundwasserspiegel steigen, was zu einem Grundhochwasser führen kann und zum Beispiel eine Unterspülung des Gebäudes verursachen kann. Außerdem kann es zu einem Kanalarückstau kommen, wodurch Überflutungen über die Anschlüsse im Gebäude entstehen [7]. Zuletzt gibt es die Überflutung durch oberflächlich ablaufendes Wasser. Bei Hochwasser an Flüssen kommt es vor allem in den unteren Geschossen eines Gebäudes zu Schäden. Zu diesen zählen Kellergeschosse, Erdgeschosse und in einigen Fällen auch 1. Obergeschosse [9]. Je nach Fließtiefe und Fließgeschwindigkeit variiert die Stärke der entstandenen Schäden. Grundlegend ist festzuhalten, dass höhere Fließtiefen und -geschwindigkeiten größere Schäden verursachen [1]. Neben den beiden Parametern Fließtiefe und -geschwindigkeit spielt auch das Alter und die Nutzung der Baustoffe eine Rolle zur Einschätzung der Schadensintensität [10]. Eine ausreichende Datengrundlage zu Baustoffen und -alter der einzelnen Wohngebäude in den Projektgebieten steht dieser Arbeit jedoch nicht zur Verfügung.

In Tabelle 1 werden die Schäden nach Art und Intensität eingestuft und mit den Parametern Wasserstand und Fließgeschwindigkeit eingeordnet. Die Einteilung und Kategorisierung der Schäden an Wohngebäuden orientiert sich vor allem an den Kategorisierungen von Maiwald und dem Bundesministerium für Wohnen [1], [2].

Tabelle 1: Schadenskategorien an Gebäuden nach Grad der Stärke sowie Fließtiefe und -geschwindigkeit (Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage der Daten nach Maiwald)

Schadens-kategorie	Typ	Schaden	Beschreibung	Fließgeschwindigkeit	Fließtiefe
SK1	Feuchte-/Wasserschaden	Kein bis leicht	Reine Durchfeuchtungsschaden, Verschmutzungen	Stehend – sehr langsam ( $\sim 0$ m/s) Fließend – normal ( $< 2$ m/s) [11]	Immer [9] < 0,5 m [11] Bis max 1 m [11]
SK2	Kontaminationen und leichte, nicht statisch relevante Schäden	Moderat	Leichte Risse, eingedrückte Türen/Fenster, Kontaminationen	Stehend – sehr langsam ( $\sim 0$ m/s) Fließend – normal ( $< 2$ m/s) Schießend – hoch ( $> 2$ m/s) [11]	> 0,5 m [11]

SK3	Statisch relevante Schäden	Schwer bis total	Größere Risse, Verformungen/Einsturz von Wänden/Decken/Gebäudeteilen, Bauwerk weggeschwemmt	Fließend – normal ( $< 2 \text{ m/s}$ ) Schießend – hoch ( $> 2 \text{ m/s}$ ) [11]	$> 2 \text{ m}$ [11] $> 4\text{-}5 \text{ m}$ sehr schwer[1]
-----	----------------------------	------------------	---	--	---

Die Schäden lassen sich in folgende drei Kategorien einteilen: Feuchte- und Wasserschäden (grün), Kontaminationen und leichte strukturelle Schäden (gelb) sowie statisch relevante Schäden (rot). In Voraussicht auf die Arbeit in den Simulationsmodellen wird sich für diese Einteilung entschieden, um die Identifizierung der Schäden anhand der Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten möglichst konkret treffen zu können. Die Kontaminationen werden zusammen mit den leichten strukturellen Schäden in eine Kategorie gefasst, da in den Simulationsmodellen nicht ersichtlich sein wird, wo Kontaminationen infolge von Schadstoffeinträgen entstehen können. Auf die konkrete Bedeutung der Schadenskategorien und deren zugehörigen auslösenden Parameter wird in den folgenden Abschnitten (2.2.2 -2.2.4) im Detail eingegangen.

## 2.2.2 Feuchte- und Wasserschäden

Die Schäden mit dem geringsten Grad an Stärke sind die Feuchte- und Wasserschäden. „Unabhängig von der Hochwasserart treten Feuchte- und Wasserschäden bei jedem Hochwasser auf“ [9]. Zu den typischen Schadensbildern von Feuchte- und Wasserschäden zählen dunkel verfärbte Durchfeuchtungen, Wasserstandlinien, das Abplatzen von Beschichtungen sowie feuchte- und frostbedingte Form- und Volumenveränderungen [2], [9]. Es handelt sich um Schäden, die strukturell maximal sehr leicht sind. Feuchte- und Wasserschäden entstehen jedoch trotzdem schon bei geringen Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten. Die Intensität und der Umfang solcher Schäden sind demnach abhängig von der maximalen Überflutungshöhe am Gebäude sowie der Überflutungsdauer [2]. Es wird angenommen, dass ein stehendes Gewässer als Einwirkung reicht, um Feuchte- und Wasserschäden auszulösen, da es auch ohne hohe Fließgeschwindigkeit zu Durchfeuchtungen oder den oben genannten Schäden kommen kann.

## 2.2.3 Kontaminationen und leichte, nicht statisch relevante Schäden

Kontaminationen entstehen, wenn das Flutwasser als Transportmedium chemischer und biologischer Stoffe fungiert. So entstehen „Verfärbungen in Verbindung mit starken Gerüchen, Ölfilme und kurz nach der Überflutung durch chemische Prozesse auftretende Korrosionserscheinungen an metallischen Bauteilen“ [9]. Als Beispiel gehört unter anderem ausgetretenes Heizöl dazu, welches

Dämmstoffe aus Polystyrol auflösen kann [2]. Die Intensität ist hier vor allem abhängig von der Fließgeschwindigkeit. Steigt diese, so steigt auch der Umfang des Schadens, da Schadstoffe durch größere Geschwindigkeiten und auch Fluthöhen mehr verteilt werden [11].

Neben den Kontaminationen befinden sich in dieser Kategorie auch leichte und nicht statisch relevante Schäden. Darunter zählen unter anderem leichte Risse in Bauteilen sowie eingedrückte Türen und Fenster. Da es sich hier um Schäden handelt, bei denen beschädigte Bauteile gereinigt oder ausgetauscht werden können oder müssen ist der Grad und der Umfang dieser Schäden strukturell moderat [1].

#### 2.2.4 Statisch relevante Schäden

Die Kategorie mit dem höchsten Grad an Schaden sind die statisch relevanten Schäden. Für diese Schäden sind vor allem hohe Fluthöhen und Fließgeschwindigkeiten verantwortlich. Es handelt sich bei dieser Kategorie vor allem um Schäden infolge von Druckkräften, Auftriebskräften oder sonstigen flutbedingten Überlastungen von Bauteilen [2]. Dabei ist die Standsicherheit des Gebäudes gefährdet und es kommt zu Verformungen oder Zusammenstürzen von Decken, Wänden oder anderen Gebäudeteilen [7]. Zudem kann es zu Rissen in Wandkonstruktionen oder Schiefstellungen von Gebäudeteilen kommen [2]. Durch Grundhochwasser und der daraus resultierenden steigenden Auftriebskraft am Gebäude kann es zum Wegschwemmen eines Gebäudes kommen [7].

### 2.3 VORSORGEMASSNAHMEN

#### 2.3.1 Allgemein

Damit Gebäudeeigentümer\*innen sich und ihre Gebäude vor zukünftigen Hochwasserereignissen an Flüssen vorbereiten und schützen können, gibt es private Vorsorgemaßnahmen zur Schadensminderung. Maßnahmen können als bauliche Eigenvorsorge und als Verhaltensvorsorge erfolgen. Dabei gilt, dass die privaten Vorsorgemaßnahmen Einsatzkräfte im Hochwasserfall entlasten und die Grundversorgung der Bevölkerung gestärkt wird [2].

Grundvoraussetzung für die Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen ist die „Kenntnis über die bestehende Hochwassergefahr“ [2]. Schon vor Eintritt eines Hochwasserereignisses ist das Bewusstsein der Bürger\*innen durch Informationsvorsorge zu stärken. Die Informationsbeschaffung zu Risiken und Auseinandersetzung mit Gefahren in der eigenen Umgebung und Umwelt ist förderlich, um auf Hochwasserereignisse vorbereitet zu sein. So wird beispielsweise Hochwasserrisiko- und -gefahrenkarten deutlich, ob und wie stark eine Region von Hochwasser betroffen sein kann und gefährdet ist. Die Warnung über ein tatsächlich stattfindendes Hochwasserereignis kann über

klassische Warninstrumente wie Sirenen oder Lautsprecherfahrzeuge oder auch durch digitale Warnsysteme wie beispielsweise die NINA-Warnapp (Notfall-Informationen- und Nachrichten App des Bundes) erlangt werden [2], [12]. Um nach der Kenntnisnahme über eine bestehende Hochwassergefahr Vorsorgemaßnahmen treffen zu können spielen Faktoren, wie die Zeit, die Gebäudeart oder die zu erwartende Intensität des Hochwassers, eine Rolle. Während einige Maßnahmen schon lange vor einem Hochwasserereignis getroffen werden sollten, gibt es auch andere die kurz vor oder während des Ereignisses umgesetzt werden können. Ebenso wie bei den Schadenspotentialen gilt auch für die bauliche Eigenvorsorge, dass Maßnahmen abhängig von den verwendeten Baustoffen getroffen werden. Je nach Bestand können unterschiedliche Maßnahmen getroffen werden, um ein Wohngebäude vor einem Hochwasser zu schützen. Unterschieden wird auch zwischen Bestandsgebäuden und Neubauten. Während es bei Neubauten möglich ist das Gebäude von Beginn an hochwasserangepasst zu planen, müssen bei Bestandsgebäuden oftmals anpassende Vorsorgemaßnahmen getroffen werden [2]. Baukonstruktive und gebäudetechnische Anpassungsmaßnahmen sollen vor allem zu einer Minimierung der Schäden, der Wiederherstellungskosten sowie der zeitlichen Nichtnutzbarkeit führen [9].

### 2.3.2 Bauliche Eigenvorsorge

Die bauliche Eigenvorsorge kann grundsätzlich in die drei Strategien Ausweichen, Widerstehen und Anpassen nach dem Bundesministerium für Wohnen eingeteilt werden [2].

- Ausweichen

„Der wirksamste Weg, um Schäden durch Hochwasser zu reduzieren, ist, der Hochwassergefahr auszuweichen“ [2]. Das bedeutet bereits bei der Errichtung eines Gebäudes darauf zu achten nicht im hochwassergefährdeten Bereich zu bauen und diesem horizontal oder vertikal auszuweichen. Für Bestandsgebäude ist eine Umsetzung dieser Strategie oftmals aufgrund der unzureichenden Wirtschaftlichkeit und technischen Umsetzbarkeit nicht sinnvoll und schwierig umsetzbar, daher wird in diesen Fällen auf die anderen Strategien oder der Verhaltensvorsorge verwiesen [9].

- Widerstehen

Bei der Strategie „Widerstehen“ geht es darum, das Flutwasser permanent oder temporär bis zu einem bestimmten Wasserstand vom Wohngebäude fernzuhalten [7]. Durch konstruktive, (teil-)mobile Maßnahmen wird das Eindringen des Wassers in das Gebäude verhindert. Dafür ist relevant welchen Eindringweg das Wasser nimmt und wo Maßnahmen am Gebäude nötig sind [2].

- Anpassen

Statt das Eindringen des Wassers in ein Wohngebäude zu verhindern kann es wasserstandabhängig auch zugelassen werden [13]. Dem Flutwasser wird in der Anpassungsstrategie grundsätzlich gestattet in das Gebäude einzudringen [9]. Der Schaden wird vermindert, indem das Gebäude zuvor hochangepasst aufgestellt und vorbereitet wird. Ziel ist es den Schaden durch eine Flutung so klein wie möglich zu halten und eine Erhaltung oder die umgehende Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit des Gebäudes zu ermöglichen [13]. Den überflutungsgefährdeten Räumen wird eine untergeordnete Nutzung empfohlen.

Spezifisch gibt es mehrere bauliche Eigenvorsorgemaßnahmen, die vor und während eines Hochwasserereignisses getroffen werden können. In Tabelle 2 sind die kategorisierten Maßnahmen mit Erläuterungen von möglichen Maßnahmen aufgelistet. Die Kategorien werden einer Strategie und dem verhinderten oder verminderten Schaden zugewiesen.

Tabelle 2: Bauliche Eigenvorsorge zur Minderung von Schäden durch Hochwasser (Quelle: eigene Darstellung)

<b>Maßnahmenkategorie</b>	<b>Erläuterungen möglicher Maßnahmen</b>	<b>Zugehörige Strategie</b>	<b>Verminderter Schaden</b>
Gebäudeaußenseite abdichten	Schwarze/Weiße Wanne [2]	Widerstehen	Feuchte-/Wasserschaden
Keller abdichten	Stufenpodest über Kellereingang, Stahlplatte Lichtschächte [2], [14]	Widerstehen	Feuchte-/Wasserschaden, Kontaminationen und statisch nicht relevante Schäden
Kanalanschlüsse abdichten	Stahlplatte auf Abflüsse, Rückstauverschlüsse/Abwasserhebeanlagen einbauen, Einsatz von Überlaufsicherungen (Druckdeckel oder Stahlzylinderaufsätze) [2]	Widerstehen	Feuchte-/Wasserschaden, Kontaminationen und statisch nicht relevante Schäden
Gebäudeöffnungen abdichten	Dambalkensysteme, Dämme durch z.B. Sandsäcke, druckdichte Türen/Fenster [2], [14]	Widerstehen	Feuchte-/Wasserschaden, Kontaminationen und statisch nicht relevante Schäden
Inventar schützen	Technische/Betriebliche Anlagen und Inventar aufständern/umlagern oder demontieren [7]	Anpassen	Feuchte-/Wasserschaden

Wasserresistent bauen	Wasserunempfindliche Baustoffe nutzen, Anordnung der Baustoffe hochwassergerecht [9]	Anpassen	Feuchte-/Wasserschäden, Kontaminationen und nicht statisch relevante Schäden, statisch relevante Schäden
Gebäude versetzen	Gebäude horizontal oder vertikal verschieben/umsetzen	Ausweichen	Statisch relevante Schäden

Folgende Maßnahmen werden der Strategie des Widerstehens in Tabelle 2 zugeordnet: das Abdichten der Gebäudeaußenseite, des Kellers (falls vorhanden), der Kanalanschlüsse und der weiteren Gebäudeöffnungen. Diese Maßnahmen vermindern vor allem Feuchte- und Wasserschäden, aber auch Kontaminationen und statisch nicht relevante Schäden. Ist ein Gebäude unterkellert, so kann bei Gebäuden mit außenliegendem Kellerabgang durch ein vorgebautes Stufenpodest ein Eindringen des Wassers in den Keller verhindert werden [14]. Um das Gebäude generell von außen abzudichten ist schon bei Bau des Gebäudes die Verwendung einer schwarzen oder weißen Wanne zu empfehlen [2]. Bei unterkellerten Gebäuden mit Lichtschächten können diese mit einer Mindestschutzhöhe von 15 cm aufgekantet werden [2]. Eine weitere Möglichkeit das Einfließen durch Lichtschächte zu verhindern ist der Einsatz beweglicher Stahlplatten, welche bei Hochwassergefahr heruntergeklappt werden und den Lichtschacht mittels einer Gummidichtung geschlossen halten [2], [14]. Um ein Eindringen des Wassers durch Kanalanschlüsse zu verhindern ist der Einbau von Rückstauverschlüssen oder Abwasserhebeanlagen zu empfehlen. Zudem können Abflüsse durch Stahlplatten abgedeckt und abgedichtet werden und Überlaufsicherungen eingesetzt werden [2]. Der Einbau druckdichter Türen und Fenster kann das Eintreten von Wasser an diesen Stellen verhindern [14]. Zudem ist es möglich Türen und Fenster nach außen öffnen zu lassen, um den Anpresspunkt des Wassers zur Dichtung zu nutzen und das Wasser aufzuhalten [14]. Als teilmobile Maßnahme um das Eindringen von Wasser in Gebäudeöffnungen zu verhindern, zählt der Einsatz von Barriersystemen wie Dammbalkensysteme oder Dämme. Dammbalkensysteme werden mit Hilfe von Führungsschienen in Tür- und Fensterrahmen eingesetzt und fest im Boden verankert. Mit ihnen kann mit einer maximalen Breite von 6,5 m eine Schutzhöhe von 3 m erreicht werden [14]. Neben den konstruktiven und teilmobilen Maßnahmen sind zuletzt die mobilen Maßnahmen eine Möglichkeit Wohngebäude vor Flutwasser zu schützen. Dabei handelt es sich überwiegend um den Einsatz von Sandsäcken um kleine Dämme zu errichten und Gebäudeöffnungen zu verschließen. Bei ausreichender Dichtheit und Stabilität kann eine Schutzhöhe von 20 cm erreicht werden [14]. Wichtig zu beachten ist bei den (teil-)mobilen

Maßnahmen, dass eine rechtzeitige Warnung erfolgen muss. Der Aufbau dieser temporären Maßnahmen benötigt oft eine gewisse Vorbereitungs- und Aufbauzeit [14].

Die Maßnahmen zum Schutz des Inventars und um wasserresistent zu bauen, zählen zu der Strategie Anpassen. Auch hier liegt die Verminderung von Feuchte- und Wasserschäden, Schäden durch Kontaminationen und nicht statisch relevante Schäden im Vordergrund. Zum wasserresistenten Bauen sind bei Neubauten vor allem baukonstruktive Maßnahmen wie die Baustoffwahl und -anordnung wichtig. Die Nutzung weniger anfälliger Baumaterialien gegenüber Feuchtigkeit sowie eine durchdachte Nutzung der Gebäudebereiche sind Möglichkeiten die Gesamtverletzbarkeit des Gebäudes zu verringern [9]. Technische und betriebliche Anlagen sollten in nicht überflutungsgefährdete Gebäudebereiche untergebracht werden. „Inventare, betriebliche Anlagen und Einrichtungen in überflutungsgefährdeten Räumen sollten möglichst ohne großen Aufwand demontiert und ausgelagert werden können“ [7].

Als letzte bauliche Maßnahme wird in Tabelle 2 das Umsetzen des Gebäudes genannt. Dies verhindert statisch relevante Schäden und zählt zur Strategie Ausweichen. Das Gebäude soll horizontal oder vertikal verschoben werden, um der Hochwassergefahr auszuweichen. Das ist vor allem bei Neubauten realisierbar. Die höhenmäßige Verschiebung eines Bestandsgebäude ist aufgrund der unzureichenden Wirtschaftlichkeit und technischen Umsetzbarkeit meist nicht möglich [9]. Daher greift in diesem Fall vor allem die Verhaltensvorsorge.

### 2.3.3 Verhaltensvorsorge

Verhaltensvorsorge ist bei allen Hochwasserereignissen sinnvoll. Eine Umsetzung der Verhaltensvorsorgemaßnahmen lässt sich unterteilen in folgende Zeitpunkte: vor Anlaufen des Ereignisses, kurz vor dem Ereignis und während des Ereignisses. „Die Zeit zwischen dem Anlaufen eines Hochwassers und dem Erreichen eines kritischen Wasserstandes so zu nutzen, dass möglichst wenig Schaden durch das Hochwasser entsteht“ umfasst die Verhaltensvorsorge kurz vor dem Ereignis [2]. In Tabelle 3 sind die Verhaltensvorsorgemaßnahmen nach dem Zeitpunkt des Umsetzens eingeteilt.

Tabelle 3: Verhaltensvorsorgemaßnahmen im Falle eines Hochwassers nach Zeitpunkt der Umsetzung (Quelle: eigene Darstellung nach Hochwasserschutzfibel)

Maßnahmenkategorie	Erläuterung möglicher Maßnahmen	Zeitpunkt
Notfallplan nutzen	Persönliche Hochwassercheckliste erstellen und nutzen [2]	Zu jedem Zeitpunkt

Warnsysteme nutzen	NINA-Warnapp/KATWARN/WarnWetter installieren, Sirenen/Lautsprecherfahrzeuge verfolgen [2]	Vor Ereignis
Hochwasserausrüstung zusammenstellen	Flutbox mit Pumpe und Schlauch bereithalten [2]	Vor Ereignis
Notgepäck packen	Private Dokumente/Unterlagen, Tagesration an Speisen/Getränken, wichtige Medikamente einpacken [2]	Vor Ereignis
Mobiliar schützen	Mobiliar aufständern, verschieben oder demontieren [2]	Kurz vor/während Ereignis
Gebäude(-teile) evakuieren	Gebäude oder Gebäudeteile evakuieren und Notunterkünfte aufsuchen [2]	Kurz vor/während Ereignis

Wie in Tabelle 3 erkennbar und zuvor schon beschrieben ist vor Anlaufen eines Hochwasserereignisses die Nutzung von Warnsystemen wie die NINA-Warnapp essenziell, um sich zu schützen und vorzubereiten. Zudem zählt die Zusammenstellung einer Hochwasserausrüstung, welche zum Beispiel eine Flutbox mit Pumpe und Schlauch sein kann, um die Feuerwehr und das Technische Hilfswerk im Ernstfall zu entlasten [2]. Außerdem sollte ein Notgepäck mit wichtigen privaten Unterlagen, wichtigen Medikamenten und einer Tagesration an Speisen und Getränken gepackt werden, um bei Anlaufen eines Hochwassers vorbereitet zu sein. Ebenfalls sehr wichtig ist die Erstellung einer persönlicher Hochwassercheckliste, die eine Vielzahl von Aufgaben vor, während und nach einem Hochwasserereignis enthält, sinnvoll, welche zu jedem Zeitpunkt des Ereignisses genutzt werden sollte [2]. Kurz vor dem Ereignis oder schon während des Ereignisses sollte wichtiges Mobiliar geschützt werden, indem es aufgeständert, umgesetzt oder demontiert wird [2]. Als letzte Maßnahme wird in Tabelle 3 die Evakuierung des Gebäudes oder von Teilen des Gebäudes dargelegt. Dies erfolgt ebenfalls kurz vor oder während des Ereignisses, wenn die Fließtiefen so weit steigen, dass die Standsicherheit des Gebäudes gefährdet und die Sicherheit der Gebäudebewohner\*innen in Gefahr ist. In diesem Fall wird das Aufsuchen einer Notfallunterkunft empfohlen [2].



## 3 BEWERTUNGSMETHODIK

### 3.1 AUFBAU DER METHODIK

Die Bewertungsmethodik wird auf Basis der theoretischen Grundlagen entwickelt. Durch die Bewertungsparameter Fließtiefe und -geschwindigkeit werden die Schäden und Vorsorgemaßnahmen abgeleitet. Zwischen den Schadenskategorien und den Vorsorgemaßnahmen wird eine Verknüpfung erstellt, sodass jeder Schadenskategorie Vorsorgemaßnahmen zugeordnet werden können. Ziel der Bewertungsmethodik ist die Darstellung der Schadenspotentiale sowie die Empfehlung möglicher Vorsorgemaßnahmen für die jeweiligen Gebäudeeigentümer\*innen. Nach der Anwendung in den Simulationsmodellen des Projektgebiets soll für die drei Hochwasserszenarien (HQ10, HQ100, HQ2021) ersichtlich sein, bei welchen Fließtiefen und -geschwindigkeiten, welche bauliche Eigenvorsorge- und Verhaltensmaßnahmen den Gebäudeeigentümer\*innen empfohlen werden können. Um eine repräsentative Darstellung von verschiedenen Hochwasserszenarien ermöglichen zu können wird sich bei der Methodik und den Simulationsdaten für diese drei Eintrittswahrscheinlichkeiten entschieden. Während das HQ2021 aufgrund der Aktualität und der hohen Intensität eine besondere Rolle spielt, gilt für das HQ10, dass es eine große Häufigkeit aber geringe Intensität mit sich bringt. Das HQ100 wird mit einer schon größeren Intensität, aber geringeren Häufigkeit als mittleres Hochwasserszenario gewählt. Somit werden drei verschiedene für die Gebäudeeigentümer\*innen bedeutsame Eintrittswahrscheinlichkeiten untersucht.



Abbildung 1: Übersichtskarte von Dernaу in Rheinland-Pfalz (Quelle: OpenStreetMap)

Als Projektgebiet wird Dernaу (vgl. Abbildung 1) aufgrund der Unterschiede der Auswirkungen zwischen und innerhalb der verschiedenen Hochwasserereignisse und der starken Auswirkungen durch das Hochwasserereignis 2021 untersucht. Dernaу ist eine Ortsgemeinde in der

Verbandsgemeinde Altenahr in Rheinland-Pfalz und liegt mit knapp 1800 Einwohnern direkt an der Ahr [15]. Das gewählte Projektgebiet umfasst insgesamt 776 Gebäude, an denen die Methodik angewandt und die Ergebnisse dargestellt und ausgewertet werden.

Die Methodik wird in einem Fließdiagramm veranschaulicht, welches in Abbildung 2 zu sehen ist und zur Anwendung in den Simulationsmodellen genutzt werden kann. Die Untersuchung beginnt mit der Definition der maximalen Fließtiefen an den Gebäuden. In den Simulationsergebnissen sind die Fließtiefen neben der Fließgeschwindigkeit als Datengrundlage für jedes der drei untersuchten Hochwasserszenarien gegeben. An den untersuchten Gebäuden wird die maximale Fließtiefe gemessen und durch das Fließdiagramm in den nächsten Schritten ausgewertet. Unterschieden wird hier in drei verschiedenen große Fließtiefen orientiert an Maiwald: kleiner oder gleich 0,5 m, 0,5 m bis 2 m und größer als 2 m [11]. Nachdem die Fließtiefen definiert sind, erfolgt gleichartig im nächsten Schritt die Einordnung der maximalen Fließgeschwindigkeiten. Auch hier wird sich an drei verschiedenen große Fließgeschwindigkeiten nach Maiwald orientiert. Es gibt die Möglichkeit eines (nahezu) stehenden Flutwassers mit einer Geschwindigkeit von rund 0 m/s, eines fließendes Flutwassers mit einer Geschwindigkeit kleiner oder gleich 2 m/s und eines schießendes Flutwassers mit einer Geschwindigkeit von über 2 m/s [11]. Die Begriffe „stehend“, „fließend“ und „schießend“ beziehen sich hier nicht auf die Froude-Zahl.

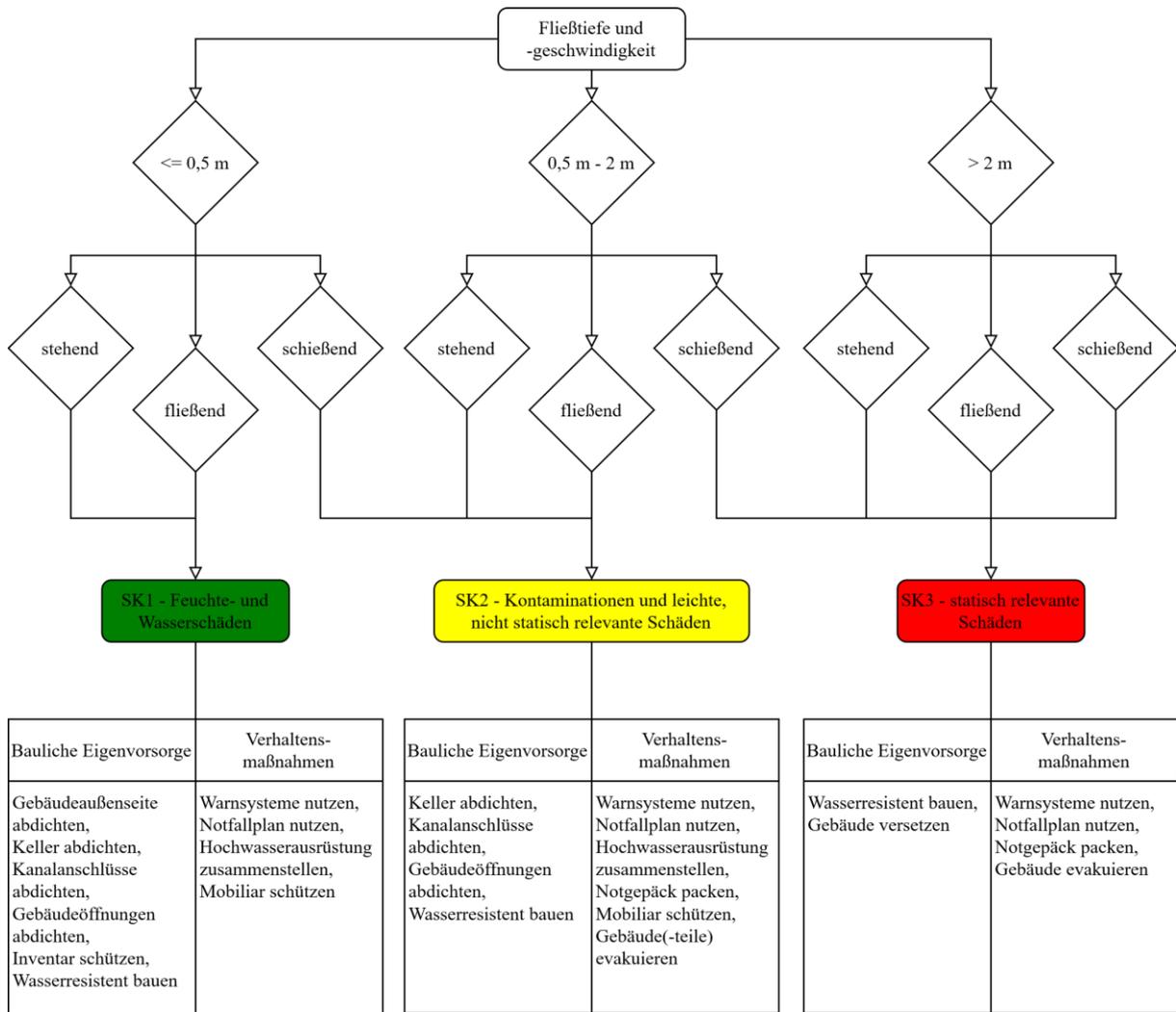


Abbildung 2: Fließdiagramm Bewertungsmethodik (Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage der Schadenskategorie nach Maiwald)

### 3.2 SCHADENSKATEGORIEN

Nachdem die maximalen Fließtiefen und -geschwindigkeiten an den Gebäuden definiert sind, erfolgt im weiteren Verlauf der Methodik die Auswertung dieser Ergebnisse. Auf Basis der Fließtiefen und der Verbindung mit den Fließgeschwindigkeiten werden die Schadenskategorien entsprechend zugeordnet. Als Schadenskategorien werden die in der Tabelle 1 bereits dargelegten Kategorien herangezogen. Nach Grad des Schadens weisen sie in Abbildung 2 sortiert von links nach rechts einen höheren strukturellen Schaden auf. Während die Schadenskategorie SK1 in grün, die Feuchte- und Wasserschäden, keinen bis einen leichten strukturellen Schaden aufweist, zeigt die Schadenskategorie SK2 in gelb moderate Schäden und die Schadenskategorie SK3 mit ihren statisch relevanten Schäden schwere Schäden bis hin zu Totalschäden. Wie in Abschnitt 2.2.1 bereits genannt und im Fließdiagramm der Methodik in Abbildung 2 dargestellt ist grundlegend festzuhalten, dass mit steigender Fließtiefe und -geschwindigkeit auch der Grad des Schadens am Gebäude steigt [1]. Von

links nach rechts steigen die Fließtiefen und die entsprechenden Fließgeschwindigkeiten im Fließdiagramm und daraufhin auch die Stärke der zu erwartenden Schäden an den Gebäuden.

Die Einteilung der Schadenskategorien anhand der Fließtiefen und -geschwindigkeiten erfolgt mit Hilfe der von Maiwald festgehaltenen Schadensfunktionen und in Tabelle 1 bereits dargelegten Werte [1], [11]. Im Detail sind Bedingungen festgehalten, dass die Schadenskategorie SK1 bei einer Fließtiefe von unter 0,5 m und einer stehenden, sowie fließenden Fließgeschwindigkeit entsteht. Kommt es bei der kleinsten Fließtiefe zu einer schießenden Fließgeschwindigkeit so entsteht ein Schaden der Kategorie SK2. Weiterhin entsteht dieser bei der mittleren Fließtiefe von 0,5 m bis 2 m in Verbindung mit einer stehenden und fließenden Fließgeschwindigkeit. Bei dieser Fließtiefe und zusätzlich einer schießenden Fließgeschwindigkeit, sowie bei jeglicher Fließgeschwindigkeit in Verbindung mit einer Fließtiefe über 2 m kommt es zu einem Schaden der Kategorie SK3, da infolge solch hoher Fließgeschwindigkeiten und Fließtiefen Schäden entstehen, die statisch relevant sein und die Standsicherheit des Gebäudes beeinträchtigen können.

### 3.3 VORSORGEMASSNAHMEN

Durch diese Schadenskategorisierung und -zuordnung mit Hilfe der maximalen Fließtiefe und -geschwindigkeit an den Gebäuden erfolgt schließlich eine Ableitung zur Empfehlung baulicher Eigenvorsorge- und Verhaltensmaßnahmen. Grundsätzlich ist vorab festzuhalten, dass für die höheren Schadenskategorien, weiterhin auch die Vorsorgemaßnahmen der weniger schweren Schadenskategorien gelten. Zudem ist als Verhaltensmaßnahme in jedem Fall und zu jedem Zeitpunkt die Erstellung und Nutzung eines Notfallplans zu empfehlen. Weiterhin zählen für jede der Schadenskategorien die Nutzung von Warnsystemen sowie die Zusammenstellung einer Hochwasserausrüstung und eines Notgepäcks vor dem Ereignis zu den Empfehlungen von Verhaltensmaßnahmen. Als bauliche Eigenvorsorge wird für alle drei Schadenskategorien bei Neubauten eine Außenwandabdichtung oder ein Ausweichen empfohlen. Für Bestandsgebäude werden in den folgenden Absätzen je nach Schadenskategorie, in der die Gebäude liegen, weitere Empfehlungen formuliert.

Für die Schadenskategorie SK1 werden als bauliche Eigenvorsorge vor allem Maßnahmen im Rahmen der Strategien Widerstehen und Anpassen empfohlen, da mit den zugehörigen geringen Fließtiefen und -geschwindigkeiten so umgegangen werden kann, dass kein oder ein geringer Schaden entsteht. Als bauliche Eigenvorsorge wird ein Abdichten von Gebäudeöffnungen und -außenseiten, Kanalanschlüssen sowie, falls vorhanden, des Kellers empfohlen. Um sich dem Flutwasser anzupassen kann zudem ein Nutzen wasserresistenter Baustoffe und der Schutz des Inventars nützlich sein. Als Verhaltensmaßnahmen wird in der Schadenskategorie SK1 gegebenenfalls eine Evakuierung von

Gebäudeteilen bei Eintreten des Ereignisses empfohlen. Evakuierungen des gesamten Gebäudes sind in diesem Stadium nicht notwendig, solange innerhalb des Gebäudes die Möglichkeit besteht dem Wasser auszuweichen.

In der Schadenskategorie SK2 gilt für die bauliche Eigenvorsorge die Kombination aus allen drei Vorsorgestrategien, um den Schaden hier möglichst gering zu halten. Mit baulichen Maßnahmen wie das Abdichten von Gebäudeöffnungen, Gebäudeaußenseiten, Kanalanschlüssen und gegebenenfalls Unterkellerungen kann dem Flutwasser widerstanden werden. Ist das Eindringen des Wassers durch den steigenden Widerstand nicht möglich ist auch das Bauen mit wasserunempfindlichen Baustoffen und der Schutz der technischen und betrieblichen Anlagen zu empfehlen. Um ein Fluten des Gebäudes zu verhindern, besteht die Möglichkeit, sofern wirtschaftlich und rechtzeitig möglich, das Gebäude umzusetzen, um die Fließtiefe im Gebäude zu minimieren. Zusätzlich zu dieser baulichen Eigenvorsorge werden als Verhaltensmaßnahmen die Evakuierung der Keller- und Erdgeschosse und der Schutz des nicht wasserresistenten Mobiliars empfohlen. Ist ein Flüchten in höhere Stockwerke nicht möglich wird zudem zum Zeitpunkt des Ereignisses die Evakuierung des gesamten Gebäudes empfohlen.

Bei der Schadenskategorie SK3 mit ihren schweren Auswirkungen wird Ausweichen als bauliche Vorsorge empfohlen. Ist es wirtschaftlich möglich und sinnvoll, so kann dies erfolgen, indem das Gebäude vor dem Hochwasserereignis vertikal oder horizontal verschoben wird. Da dies in der Praxis bei Bestandsgebäuden meist wirtschaftlich nicht sinnvoll ist, wird in dieser Kategorie vor allem auf die Verhaltensmaßnahmen verwiesen. Zu diesen zählen die Evakuierung des gesamten Gebäudes zum Zeitpunkt des Ereignisses und der betroffenen Region. Zudem wird empfohlen wichtiges und wertvolles Mobiliar zu entfernen.

Die entwickelte Methodik ermöglicht es, anhand von Fließtiefen und -geschwindigkeiten zuerst Schadenspotentiale zu definieren und anschließend Vorsorgemaßnahmen empfehlen zu können. Folglich sollte eine Anwendung der Methodik in Simulationsmodellen und somit eine Ableitung zur Empfehlung von Vorsorgemaßnahmen für die Gebäudeeigentümer\*innen nach unterschiedlichen Hochwasserszenarien möglich sein.

### 3.4 ANWENDUNG IN QGIS

Die Anwendung der Methodik erfolgt in der Geoinformationssystemsoftware QGIS. Die Software ermöglicht es Simulationsdaten darzustellen, zu bearbeiten und verknüpfen und auszuwerten, um als Ergebnis schließlich eine kartografische Darstellung zu erhalten [16]. Die Methodik wird im Projektgebiet Dernau an der Ahr angewandt. Die durch das GFZ bereitgestellten Simulationsergebnisse zeigen mit einer Genauigkeit von 5 m die Fließtiefen und -geschwindigkeiten der drei

Hochwasserszenarien (HQ10, HQ100, HQ2021). Für die Bearbeitung wird in dem Koordinatensystem *EPSG:4647 - ETRS89 / UTM zone 32N* weitergearbeitet, weil die Simulationsergebnisse des GFZ bereits in diesem Koordinatensystem vorlagen. Für die Durchführung werden zusätzlich die Gebäudeumrisse und eine Grundkarte hinzugefügt. Die Grundkarte wird in QGIS als OpenStreetMap und die Gebäudeumrisse werden als Polygone hinzugefügt. Die Gebäudepolygone sind online für ganz Rheinland-Pfalz öffentlich erhältlich [17]. Die Daten der Gebäudeumrisse werden mit Hilfe von Satellitenbildern kontrolliert und gegebenenfalls vervollständigt sodass anschließend die Verknüpfung mit den Simulationsergebnissen erfolgen kann.

Gesucht werden jeweils die maximalen Werte der Fließtiefe und -geschwindigkeit an den Gebäuden. Diese können für jedes Szenario mit Hilfe des Werkzeugs *zonal statistics* über die Simulationsergebnisse herausgefiltert und jedem Gebäudepolygon zugeordnet werden. Als Ergebnis werden die Daten in einer Attributtabelle dargestellt (siehe Anhang A). Zu den Attributen zählen die Identifikationsnummer der Gebäude, sowie die jeweilige maximale Fließtiefe und -geschwindigkeit der drei Hochwasserszenarien. Durch Fehler in der Simulation kann es zu Werten kommen, die in der Realität nicht sinnvoll sind. Zur Kontrolle werden alle Daten der Attributtabelle gesichtet und gegebenenfalls angepasst.

Auf Grundlage der Daten ist es anschließend möglich die Gebäude farblich nach den Schadenskategorien darzustellen. In der Methodik werden insgesamt neun Bedingungen benutzt, welche zu den Schadenskategorien führen. Teilt man diese Bedingungen auf die Schadenskategorien auf, so erhält man zwei für die SK1, drei für die SK2 und vier für die SK3. Die auch im Fließdiagramm in Abbildung 2 ersichtlichen Bedingungen werden schließlich als Regeln in QGIS überführt, sodass die Gebäude in der ersten Schadenskategorie grün, die in der zweiten Schadenskategorie gelb und die in der dritten Schadenskategorie rot dargestellt werden.

Das Ergebnis der Methodik ist die farbliche Darstellung der Gebäude nach der Schadenskategorie, sodass den Gebäudeeigentümer\*innen schließlich die zugehörigen Vorsorgemaßnahmen empfohlen werden können.

## 4 ERGEBNISSE

### 4.1 KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

Für die drei verschiedenen Hochwasserszenarien wurde jeweils eine Karte erstellt, auf der dargestellt wird in welcher Schadenskategorie sich die unterschiedlichen Gebäude befinden. In den folgenden Absätzen werden die Karten beschrieben.

- HQ10

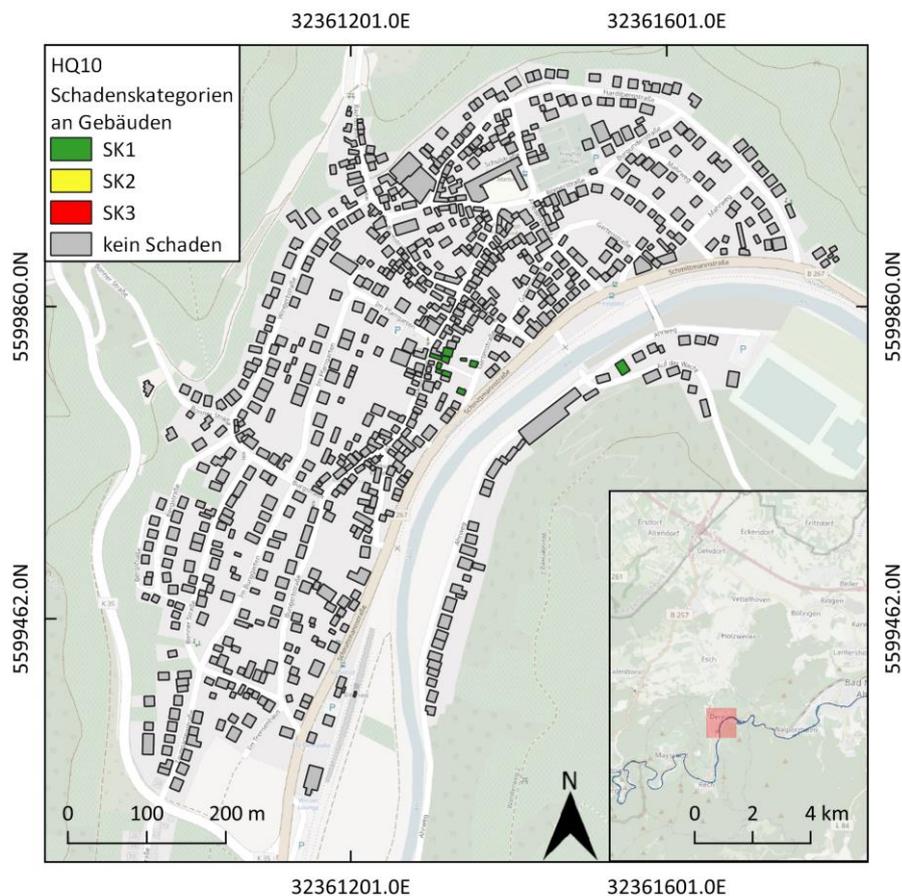


Abbildung 3: Einteilung der Gebäude in die Schadenskategorien kein Schaden, SK1 (Feuchte- und Wasserschäden), SK2 (nicht statisch relevante Schäden) und SK3 (statisch relevante Schäden) in Dernau an der Ahr im Falle eines 10-jährlichen Hochwassers. (Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage der Datensätze des GFZ und der Schadenskategorien nach Maiwald)

Das Ergebnis der Methodik im Falle eines 10-jährlichen Hochwassers ist in Abbildung 3 zu sehen. Die Ahr fließt vom Süden kommend in den Ort Dernau und krümmt sich schließlich gen Osten und fließt weiter Richtung Sinzig. Der Ort befindet sich mit dem Großteil der Gebäude linksseitig der Ahr und erstreckt sich entlang der Krümmung. Die Gebäude werden lediglich durch eine Bundesstraße und Bahngleise vom Ufer getrennt. Technischer Hochwasserschutz in Form einer Schutzmauer oder eines Deiches entlang der Ahr sind nicht vorhanden [18]. Im Westen und Norden wird der Ort durch

ansteigendes Gelände umarmt. Rechtsseitig der Ahr befindet sich abseits des Ortskerns in direkter Ufernähe eine Gebäudereihe mit einzelnen Gebäuden. Sowohl am nordwestlichen Ortsrand mit Entfernung zum Ufer als auch in direkter Ufernähe der Ahr sind die meisten Gebäude grau markiert. All diese Gebäude sind, wie in der Karte zu sehen, von keinem Schaden betroffen. Lediglich eine kleine Gruppe, die sich nah am Ufer im Ortskern befindet und ein einziges Gebäude rechtsseitig der Ahr sind grün markiert und gehören der ersten Schadenskategorie an. Bei diesen Gebäuden können Feuchte- und Wasserschäden durch das Hochwasser entstehen (vgl. Tabelle 1).

Fließtiefen und -geschwindigkeiten in Dernau während HQ10, HQ100 und HQ201

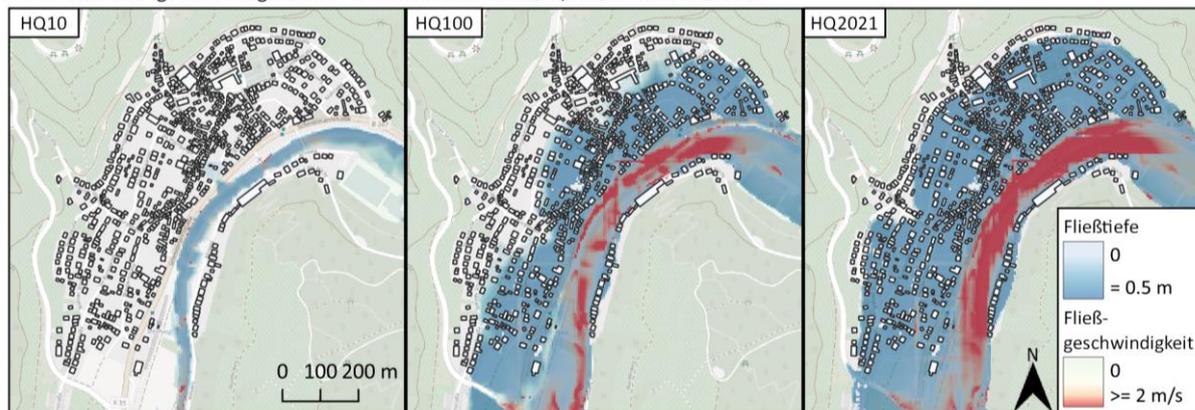


Abbildung 4: Fließtiefen und -geschwindigkeiten in Dernau während eines HQ10, HQ100 und HQ201 (Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage der Datensätze des GFZ)

Neben den Ergebnissen zu den Schadenskategorien ist in der Übersichtskarte unten rechts in Abbildung 3 sowie in Abbildung 4 der Verlauf der Ahr während eines Hochwassers in blau dargestellt. Die Ahr fließt vom westlich liegenden Altenahr mit einigen Krümmungen Richtung Dernau. Kurz bevor die Ahr Dernau erreicht, fließt diese gerade Richtung Norden auf den Ort zu, krümmt sich in Dernau nach Osten und fließt schließlich mit weiteren Krümmungen nordöstlich Richtung Bad Neuenahr-Ahrweiler weiter. In Dernau kommt es während eines HQ10 kaum zu Überschwemmungen. Lediglich geringe Überschwemmungen mit einer Fließtiefe von unter 0,5 m sind im Ortskern von Dernau zu erkennen. Das lässt sich durch eine Senkung im Gelände erklären, wodurch es auch zu den Schäden in der ersten Schadenskategorie kommen kann.

- HQ100

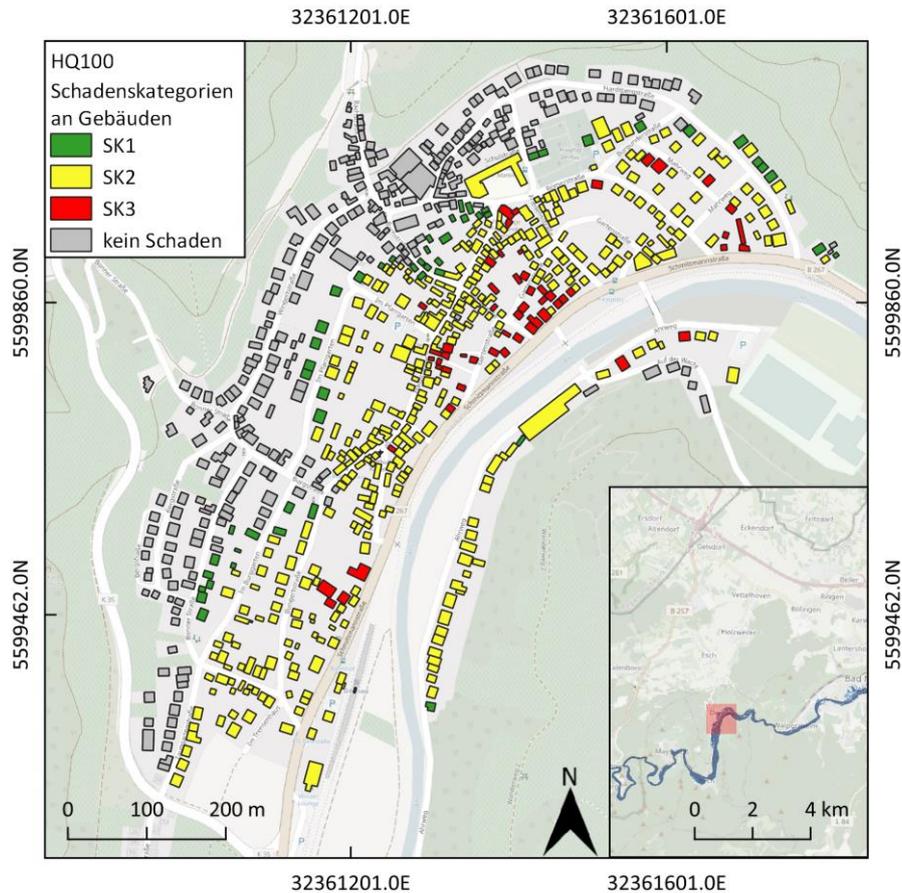


Abbildung 5: Einteilung der Gebäude in die Schadenskategorien kein Schaden, SK1 (Feuchte- und Wasserschäden), SK2 (nicht statisch relevante Schäden) und SK3 (statisch relevante Schäden) in Dernau an der Ahr im Falle eines 100-jährlichen Hochwassers. (Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage der Datensätze des GFZ und der Schadenskategorien nach Maiwald)

Im Falle eines 100-jährlichen Hochwassers ist in Abbildung 5 die Diversität der Schadenskategorien erkennbar und jede Kategorie ist sichtbar. Allgemein lässt sich festhalten, dass mit steigender Entfernung der Gebäude zum Ufer auch die Schadenskategorie sinkt. Während die Gebäude mit der größten Entfernung zum Ufer keine Schäden erleiden, sind die Gebäude näher am Ufer größtenteils gelb markiert. Im Übergangsbereich, in dem die Gebäude von der grauen zur gelben Kategorie wechseln sind vereinzelt Gebäude grün markiert. Eine größere Gruppe an Gebäuden im Ort nahe dem Ufer ist zudem rot markiert. Ferner befinden sich noch weiter im Norden und im Süden kurz nach Ortsbeginn einzelne Gebäude, die ebenfalls der dritten Schadenskategorie zugehören. Rechtsseitig der Ahr ist der Großteil der Gebäude gelb markiert. Das südlichste sowie ein mittig liegendes Gebäude grün markiert und zwei weitere im Norden der Gebäudereihe sind rot markiert. Eine kleine Gruppe höherliegender Gebäude ist von keinen Schäden betroffen. Neben Feuchte- und Wasserschäden (SK1) können bei einem HQ100 vor allem an Gebäuden nahe dem Ufer nach Tabelle 1 leichte, nicht statisch

relevante Schäden und Kontaminationen (SK2) entstehen. Vereinzelt kann es zudem zu schwereren und statisch relevanten Schäden (SK 3) kommen.

Die Übersichtskarte unten rechts in Abbildung 5 und Abbildung 4 zeigen die Ahr während eines 100-jährlichen Hochwassers. Sowohl vor Dernau als auch in Dernau ist der Querschnitt der Ahr breiter als in anderen Abschnitten des Verlaufs. Auch weiter östlich in Bad Neuenahr-Ahrweiler breitet sich der Querschnitt. Zudem ist besonders in den westlicheren Krümmungen eine Verbreiterung der Querschnitte auf der Pralluferseite zu erkennen. In Dernau ist außerdem eine erhöhte Fließgeschwindigkeit vor allem in der Gegend des ursprünglichen Flusslaufs zu erkennen. Ein Teil der ersten Gebäudereihe im Ort ist von der Fließgeschwindigkeit von über 2 m/s betroffen. Das erklärt die Markierung der Gebäude in Rot.

- HQ2021

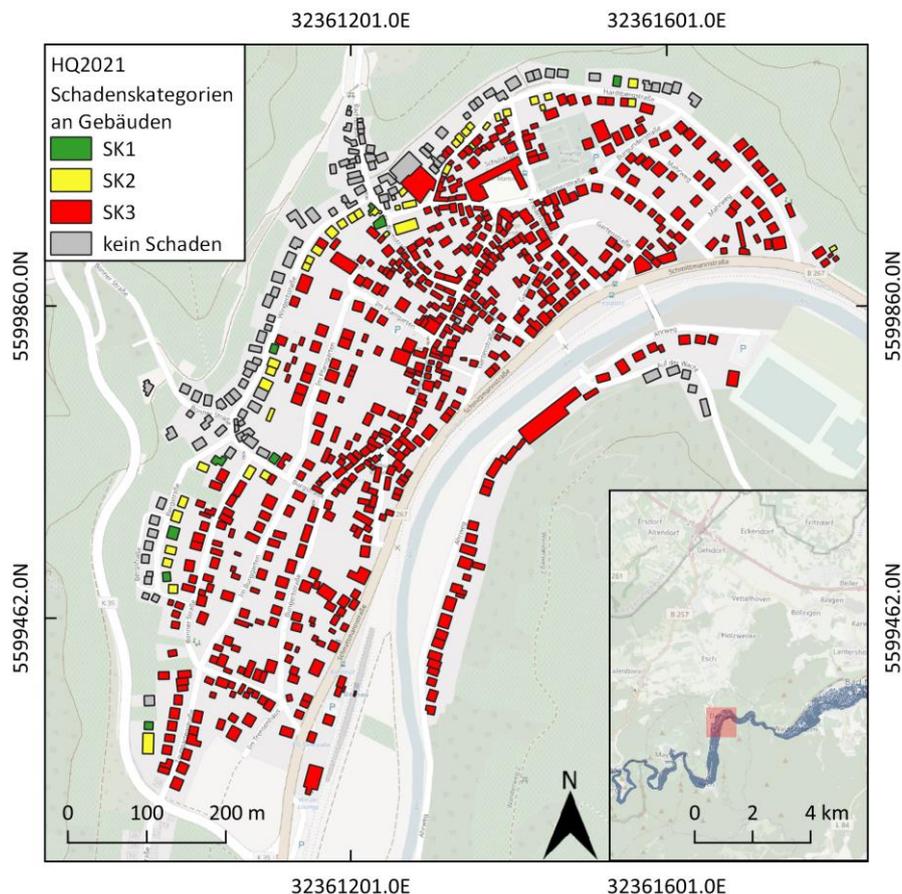


Abbildung 6: Einteilung der Gebäude in die Schadenskategorien kein Schaden, SK1 (Feuchte- und Wasserschäden), SK2 (nicht statisch relevante Schäden) und SK3 (statisch relevante Schäden) in Dernau an der Ahr im Falle eines HQ2021 (Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage der Datensätze des GFZ und der Schadenskategorien nach Maiwald)

Im Falle des HQ2021 gibt es in Abbildung 6 einen Trend zu rotgefärbten Gebäuden. Der Großteil der Gebäude liegt in der dritten Schadenskategorie. Lediglich wenige sich am Rande des Dorfes

befindlichen Gebäude erhalten keinen Schaden oder befinden sich in der ersten oder zweiten Schadenskategorie. Vor allem die letzte Gebäudereihe des Dorfes, und damit die weitentferntesten Gebäude zum Ufer, sind grau markiert. Einzelne Gebäude sind im Übergangsbereich zwischen den roten und den grauen Gebäuden grün und gelb markiert. Auch diese liegen am Rande des Ortes mit einer größeren Entfernung zum Ufer. Die Gebäudereihe rechtsseitig der Ahr ist komplett rot markiert und in der dritten Schadenskategorie. Lediglich einzelne höher liegende Gebäude im nördlichen Bereich der Gebäudereihe sind frei von Schäden. Bei den meisten Gebäude kann bei einem HQ2021 also ein statisch relevanter Schaden (SK3) entstehen. Am Ortsrand, weit entfernt vom Ufer, kann es zu Feuchte- und Wasserschäden (SK1) und vereinzelt zu statisch nicht relevanten Schäden und Kontamination (SK2) kommen oder zu gar keinem Schaden.

Die Übersichtskarte in Abbildung 6 und Abbildung 4 weisen einen breiten Querschnitt der Ahr in und vor Dernau auf, aber vor allem auch weiter westlich bei Bad Neuenahr-Ahrweiler. Hier liegt ein außergewöhnlich breiter Flussquerschnitt vor und ein Überfluten bebauter Flächen ist deutlich erkennbar. In Dernau ist fast die gesamte Gemeinde von Überschwemmungen betroffen. Zudem sind vor allem neben und entlang des ursprünglichen Flusslaufs hohe Fließgeschwindigkeiten zu erkennen.

## 4.2 VERTEILUNG DER SCHADENSKATEGORIEN

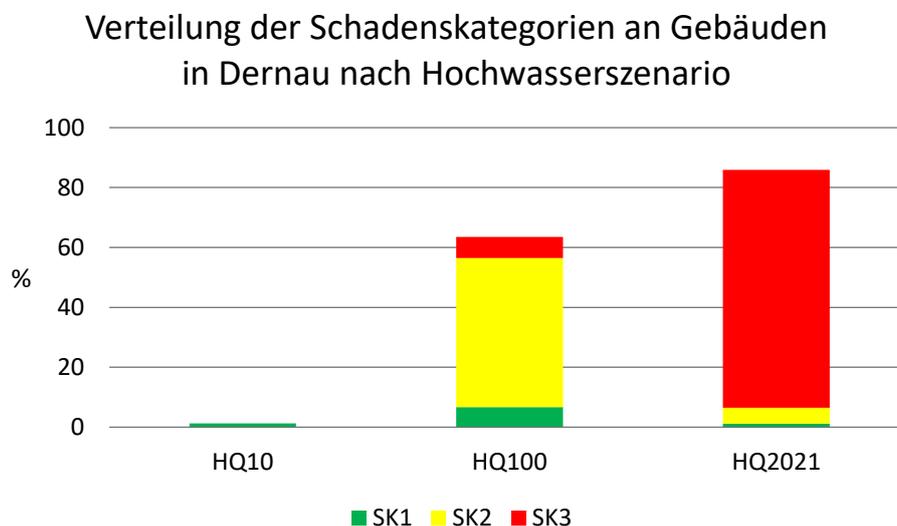


Abbildung 7: Verteilung der Schadenskategorien an Gebäuden in Dernau nach den Hochwasserszenarios HQ10, HQ100, HQ2021 (Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage der Datensätze des GFZ und der Schadenskategorie nach Maiwald)

Im Diagramm ist die genaue Verteilung der Schadenskategorien an den Gebäuden, nach den drei verschiedenen Hochwasserszenarien dargestellt (siehe Abbildung 7 und Anhang B). Beim HQ10 sind 765 von insgesamt 775 Gebäuden von keinem Schaden betroffen. Lediglich 10 Gebäude befinden sich in der ersten Schadenskategorie, was gut 1 % der gesamten Gebäude entspricht. Das Verhältnis beim

HQ100 zwischen der ersten und der dritten Schadenskategorie ist relativ ausgeglichen. Mit insgesamt 386 Gebäuden, was einem Anteil von knapp 50 % der Gebäude entspricht, überwiegt die zweite Schadenskategorie. Die Schadenskategorie drei folgt mit 55 Gebäuden und rund 7 % Anteil an Gebäuden und die Schadenskategorie eins mit insgesamt 52 Gebäuden, was ebenfalls knapp 7 % der Gebäude sind. Insgesamt sind bei dem HQ100 also rund 64 % der Gebäude von Schäden betroffen. Beim HQ2021 dagegen sind fast 86 % der Gebäude von Schäden betroffen. Davon nimmt die Schadenskategorie drei mit 617 Gebäuden knapp 80 % ein. Die Schadenskategorie zwei ist mit 41 Gebäuden und rund 5 % Anteil und die Schadenskategorie eins mit 9 Gebäuden und rund 1 % Anteil vertreten. Deutlich wird, dass mit steigender Hochwasserintensität auch die Stärke der Schäden an Gebäuden steigt. Vergleicht man die Ergebnisse der angewandten Methodik wird schnell deutlich, wie die Fließtiefen und -geschwindigkeiten und damit einhergehend auch die Schadenskategorien zwischen den verschiedenen Hochwasserszenarien schwanken. Die maximalen Werte der Fließtiefe und -geschwindigkeit an Gebäuden innerhalb des gesamten Projektgebiets schwanken zwischen knapp 0,2 m und 0,3 m/s beim HQ10 und knapp 7 m und 4,1 m/s beim HQ2021. Die maximalen Werte der Fließtiefe und -geschwindigkeit an Gebäuden beim HQ100 liegen bei knapp 3 m und 2,6 m/s (siehe Anhang C).

### 4.3 EMPFEHLUNG VON VORSORGEMASSNAHMEN

Auf Grundlage der Schadenskategorisierung (Abbildungen 2-6) können den Gebäudeeigentümer\*innen entsprechende Vorsorgemaßnahmen empfohlen werden.

Für das HQ10 wird den wenigen betroffenen Gebäudeeigentümer\*innen als Verhaltensmaßnahmen die Nutzung von Warnsystemen und einem Notfallplan und die Zusammenstellung einer Hochwasserausrüstung empfohlen. Zudem ist vor allem für unterkellerte Gebäude ein Schutz des Mobiliars ratsam. Als bauliche Eigenvorsorge werden Maßnahmen wie das Abdichten des Kellers und der Kanalanschlüsse und der Schutz des Inventars empfohlen.

Beim HQ100 sind für die grünmarkierten Gebäude die gleichen Maßnahmen wie beim HQ10 zweckmäßig. Zusätzlich werden den Gebäudeeigentümer\*innen der gelbmarkierten Gebäude Verhaltensmaßnahmen wie die Evakuierung der unteren Gebäudeteile und das Packen eines Notgepäcks empfohlen. Zudem können bauliche Maßnahmen wie das Abdichten von Gebäudeöffnungen und die Evakuierung des Inventars anzuraten sein. Für Eigentümer\*innen der vereinzelt Gebäude mit statisch relevanten Schäden während eines HQ100 ist die Evakuierung ihres Gebäudes zum Zeitpunkt des Hochwasserereignisses ratsam.

Anders als bei den beiden vorherigen Szenarien wird dem Großteil der Gebäudeeigentümer\*innen während eines HQ2021 die Evakuierung des Gebäudes sowie der gesamten Region bei Eintritt des

Ereignisses empfohlen. Dennoch sind vor allem für die wenigen am Ortsrand liegenden Gebäude in grün und gelb bauliche Maßnahmen wie das Abdichten des Kellers und der Gebäudeöffnungen zweckmäßig. Zudem sind auch die Verhaltensmaßnahmen wie die Nutzung eines Notfallplans und der Schutz des Mobiliars empfehlenswert.



## 5 DISKUSSION

### 5.1 KARTEN UND VERTEILUNG

Betrachtet man alle drei Hochwasserszenarien zusammen, so zeigen sowohl die Karten mit den Ergebnissen (Abbildungen 3-6) als auch die Verteilung der Schadenskategorien (Abbildung 7), dass bei allen Szenarien Schäden auftreten. Dennoch ist die Verteilung der Schäden in den drei verschiedenen Szenarien sehr unterschiedlich. Es liegen drei sehr andersartige Hochwasserszenarien und Ergebnisse vor, die von ihrer Diversität bei der Intensität überzeugen. Vor allem der Gegensatz zwischen dem HQ10 und dem HQ2021 ist bedeutend und zeigt die Schwere des HQ2021. Während das Ergebnis des 10-jährlichen Hochwasserszenarios mit nur wenigen leichten Schäden sehr harmlos aussieht, beweist das Ergebnis des HQ2021, welche Auswirkungen durch ein solch seltenes Ereignis entstehen können. Die schweren Schäden überwiegen und es bleiben nur wenige Gebäude mit keinem, leichten oder moderatem Schaden. Das spricht für einen Gesamtschaden, der nach dem Ereignis mit viel Aufwand beseitigt werden muss. Aber auch die Auswirkungen des 100-jährlichen Szenarios in Dernau sind nicht gering. Auffällig ist hier, dass bereits ein Großteil der Gebäude von dem Hochwasser betroffen sind und davon viele einen moderaten Schaden bekommen.



Abbildung 8: Fotoaufnahme der Gemeinde Dernau während des Hochwasserereignisses 2021 (Quelle: Gemeinde Dernau)

Dass die Ergebnisse des HQ2021 realitätsnah sind zeigen Bilder und Artikel der Gemeinde Dernau nach dem Hochwasser 2021 (siehe Abbildung 8). Es lassen sich grobe Übereinstimmungen zwischen den Ergebnissen in dieser Arbeit und den tatsächlichen Auswirkungen des Hochwassers feststellen. Berichten zufolge heißt es, dass rund 90 % der Bewohner\*innen von Dernau von dem Hochwasser

betroffen sind [19]. Das stimmt ungefähr mit den Ergebnissen dieser Arbeit überein, dass 86 % der Gebäude in Dernau während des HQ2021 von Schäden betroffen sind. Außerdem zeigt die Aufnahme des Ereignisses in Abbildung 8 die Auswirkungen des Hochwassers 2021 und verdeutlicht, dass die Fließtiefen in vielen Teilen des Ortes sehr hoch waren. Viele Häuser im Ortskern stehen tief im Wasser, was die Einteilung in die dritte Schadenskategorie und eine Empfehlung der Evakuierung zum Zeitpunkt des Ereignisses unterstützt.

## 5.2 VORSORGEMASSNAHMEN

Deutlich wird, dass die bauliche Eigenvorsorge bei statisch relevanten Schäden und besonders im Falle eines HQ2021 an ihre Grenzen kommt. Es ist kaum möglich ein Eindringen des Wassers in dieser Kategorie zu verhindern und Schäden können höchstens vermindert werden durch vorheriges Abdichten der Gebäudeöffnungen oder Kanalanschlüsse. Ein Empfehlen von Verhaltensmaßnahmen und vor allem der Evakuierung des Gebäudes ist essenziell für die Sicherheit der Gebäudeeigentümer\*innen und -bewohner\*innen.

Für ein 10- und 100-jährlichen Hochwasser dagegen ist es bei den meisten Gebäuden möglich durch die entsprechende bauliche Eigenvorsorge Schäden zu minimieren oder zu verhindern. Mit der richtigen Umsetzung aller Vorsorgemaßnahmen können Gebäudeeigentümer\*innen sich für diese häufigen Ereignisse vorsorgen. Verhaltensvorsorge ist für fast alle Bürger\*innen in Dernau, aber vor allem für die Menschen, die in Gebäuden der dritten Schadenskategorien leben besonders wichtig. Während bei einem HQ10 nur sehr wenigen Gebäudeeigentümer\*innen überhaupt Vorsorgemaßnahmen empfohlen werden müssen gilt für genau diese Eigentümer\*innen bereits bei einem HQ100 vor allem Verhaltensmaßnahmen zum Schutz vor der dritten Kategorie zu treffen. Auch für Gebäude, die beim HQ100 in der gelben und beim HQ2021 in der roten Kategorie liegen, sollten ergänzend entsprechende Vorsorgemaßnahmen empfohlen werden. Wichtig ist also, dass die Gebäudeeigentümer\*innen sich vor allem auf Auswirkungen eines Extremhochwasserereignisses vorbereiten, um in Zukunft auch vor diesen geschützt zu sein. Maßnahmen gegen Auswirkungen von weniger intensiven Hochwasserereignissen können gegebenenfalls auf die Politik und Gemeinde projiziert werden. Technische Hochwasserschutzmaßnahmen, die leichte Überschwemmungen in der Gemeinde verhindern, sind eine Möglichkeit. Das kann beispielsweise durch den Bau einer Hochwasserschutzmauer oder eines Deiches erfolgen [2].

Grundsätzlich kann die allgemeine Empfehlung von Vorsorgemaßnahmen durch die entwickelte Bewertungsmethodik als erfolgreich gesehen werden. Ein Vorteil der Methodik ist die Betrachtung jedes einzelnen Gebäudes. Die Auswertung über die maximalen Fließtiefen und -geschwindigkeiten ist eine gute Möglichkeit, um verschiedene Szenarien zu betrachten. Beachtet werden sollte jedoch die

Verallgemeinerung von Schäden und Vorsorgemaßnahmen. Jedes Gebäude ist unterschiedlich und bietet andere Randbedingungen während eines Hochwasserereignisses. Weiterhin kann es zu Auswirkungen durch unter anderem Treibgut kommen. Innerhalb der Bewertungsmethodik werden diese nicht beachtet. Sie können jedoch einen Einfluss auf die potenziellen Schäden und Vorsorgemaßnahmen haben.



## 6 FAZIT

Die vorliegende Arbeit stellt potenzielle Schäden durch unterschiedliche Hochwasserszenarien dar. Sie werden eingeteilt in drei, nach Stärkegrad sortierte Kategorien. Die Entwicklung und Anwendung der Bewertungsmethodik zur Empfehlung von Vorsorgemaßnahmen im Falle eines Hochwassers zeigen wie stark sich die Vorsorgemaßnahmen und Schadenspotentiale je nach Hochwasserszenario unterscheiden. Während bei dem 10-jährlichen Hochwasser nur leichte Schäden entstehen, zeigt das Ergebnis des HQ2021 schwere Schäden. Das Ergebnis verdeutlicht die Auswirkungen eines Hochwassers, wie es im Juli 2021 passiert ist. Deutlich wird, dass für die bauliche Eigenvorsorge bei sehr großen Fließtiefen und -geschwindigkeiten und damit auch schweren Schäden, nur wenige Möglichkeiten bestehen und Schäden kaum verhindert werden können. In solchen Fällen ist stattdessen die Umsetzung einer angepassten Verhaltensvorsorge sehr wichtig. Bei Schäden mit moderatem oder leichtem Grad an Stärke lassen sich dagegen bauliche Eigenvorsorge sehr gut empfehlen und durch die Umsetzung entsprechender Maßnahmen können Schäden vermindert oder vermieden werden. Das ist vor allem für Hochwasser mit einer häufigeren Eintrittswahrscheinlichkeit von Bedeutung. Das Projektgebiet Dernau zeigt sich als sehr vulnerables Gebiet, wo Vorsorge ein wichtiges Thema sein muss. Die Schadenssimulation kann in der Stadtplanung auch genutzt werden, um Bebauungsflächen mit geringem Risiko zu identifizieren. So können Maßnahmen für einen Neubau getroffen werden, damit die Bewohner\*innen vor zukünftigen Hochwasserereignissen geschützt sind.

Die Wahl der Werte für die Fließtiefe und -geschwindigkeit ist entscheidend für das Ergebnis. Durch eine weitere Auseinandersetzung mit den Daten ist es möglich die Werte der Fließtiefe und -geschwindigkeit und somit die Bewertungsmethodik anzupassen. So erhält man Ergebnisse, die noch realitätsnäher sind. Vor allem beim HQ10 scheinen die Auswirkungen so gering, dass eine Anpassung der Werte in Frage kommt.

Zudem ist die Einbringung von ergänzenden Daten zu verschiedenen Parametern der Gebäude und des Fließverhaltens interessant. Untersuchungspunkte zum Verhalten des Wassers sind unter anderem die Anströmrichtungen auf die Gebäude. Außerdem könnten Aussagen zu Gebäudeart, genutzten Baustoffen und Baujahr hilfreich sein, um für jedes Gebäude noch detailliertere Aussagen zu den Schadenspotentialen sowie nötigen Vorsorgemaßnahmen treffen zu können. Damit einhergehend können die Schadenskategorien noch weiter unterteilt werden, um diese für die Gebäude besser zu differenzieren. Damit entsteht eine detailliertere und realitätsnähere Übersicht zu potenziellen Schäden an den Gebäuden und Vorsorgemaßnahmen können exakter empfohlen werden. Damit einhergehend zeigt sich auch, über die Bewertungsmethodik hinaus, die Notwendigkeit einer Einzelfallbetrachtung pro Gebäude. Die Datensammlung kann beispielsweise über eine App erfolgen,

in der Gebäudeeigentümer\*innen Daten zu den Gebäudeeindringwegen oder ähnlichem teilen können.

Ein weiterer Ausblick dieser Arbeit ist die Darstellung der genauen Vorsorgemaßnahmen in den Ergebniskarten. Für Gebäudeeigentümer\*innen wäre eine öffentlich zugängliche Einschätzung über mögliche Schäden an ihrem Gebäude und eine Empfehlung entsprechender Vorsorgemaßnahmen hilfreich. Eine Möglichkeit dafür wäre eine interaktive Karte in der Gebäudeeigentümer\*innen ihr Gebäude selbst auswählen können und schließlich sehen, welche Schäden bei welchen Hochwasserereignissen entstehen. Ferner wären die Darstellung und Erläuterung entsprechender Vorsorgemaßnahmen für die Bürger\*innen eine große Unterstützung. Auch hier kann eine App dienen, in der zum einen die Maßnahmen erläutert werden und zum anderen Fragen zu Gebäudemerkmale an die Eigentümer\*innen gestellt werden. Dadurch gelingt eine bessere Risikoeinschätzung und Vorsorgemaßnahmen können dem Gebäude weiter angepasst werden.

# LITERATURVERZEICHNIS

- [1] H. Maiwald, J. Schwarz, L. Abrahamczyk, und C. Kaufmann, „Das Hochwasser 2021: Ingenieuranalyse der Bauwerksschäden“, *Bautechnik*, Bd. n/a, Nr. n/a, doi: 10.1002/bate.202200062.
- [2] S. und B. Deutschland Bundesministerium für Wohnen, „Hochwasserschutzfibel Objektschutz und bauliche Vorsorge“, 2022, Zugegriffen: 6. November 2022. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/hochwasserschutzfibel.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/hochwasserschutzfibel.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- [3] „Bundesministerium für Bildung und Forschung - BMBF“, *Bundesministerium für Bildung und Forschung - BMBF*, 19. Januar 2023. [https://www.bmbf.de/bmbf/de/home/home\\_node.html](https://www.bmbf.de/bmbf/de/home/home_node.html) (zugegriffen 1. Februar 2023).
- [4] Prof. Dr. A. Thieken, „Hochwasserschäden an Privatgebäuden und mögliche Vorsorgemaßnahmen“, in *KAHR KlimaAnpassung, Hochwasser und Resilienz*, Potsdam-Golm, S. 2. [Online]. Verfügbar unter: <https://hochwasser-kahr.de>
- [5] G. Bollrich, *Technische Hydromechanik 1 Grundlagen / Gerhard Bollrich*, 8., Aktualisierte Auflage. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2019. Zugegriffen: 18. November 2022. [Online]. Verfügbar unter: <http://wwwdb.dbod.de/login?url=http://sdvdbodnodb.slub-dresden.de/beuboo/3042715.pdf>
- [6] M. Redfern, „Wasserkreislauf“, in *50 Schlüsselideen Erde*, M. Redfern, Hrsg. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014, S. 116–119. doi: 10.1007/978-3-642-39847-6\_30.
- [7] A. und A. e. V. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und A. und A. e. V. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, *DWA-M 553 Hochwasserangepasstes Planen und Bauen*, 2016.–11. Aufl. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2016. Zugegriffen: 6. November 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://perinorm.com/document.aspx?hitnr=0&q=DE45959932>
- [8] K. Piroth, „Hochwasserschäden“, in *Hochwasser-Handbuch: Auswirkungen und Schutz*, H. Patt und R. Jüpner, Hrsg. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2020, S. 553–587. doi: 10.1007/978-3-658-26743-8\_10.
- [9] J. N. Nikolowski, „Wohngebäude im Klimawandel - Verletzbarkeit und Anpassung am Beispiel von Überflutung und Starkregen“, Technische Universität Dresden, Dresden, 2014.
- [10] M.-S. Fahrion u. a., „KLIBAU – Weiterentwicklung und Konkretisierung des Klimaangepassten Bauens: Handlungsempfehlungen für Planer und Architekten“, 2019, Zugegriffen: 13. November 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://opus4.kobv.de/opus4-UBICO/frontdoor/index/index/docId/26912>
- [11] H. Maiwald und J. Schwarz, „Berücksichtigung der Fließgeschwindigkeit bei Hochwasser-Schadensmodellen“, *Bautechnik*, Bd. 86, Nr. 9, S. 550–565, 2009, doi: 10.1002/bate.200910056.

- [12] „Warn-App NINA“, *Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe*.  
[https://www.bbk.bund.de/DE/Warnung-Vorsorge/Warn-App-NINA/warn-app-nina\\_node.html](https://www.bbk.bund.de/DE/Warnung-Vorsorge/Warn-App-NINA/warn-app-nina_node.html)  
(zugegriffen 1. Februar 2023).
- [13] R. Jüpner, M. Kathmann, U. Müller, und H. Patt, „Hochwasservorsorge“, in *Hochwasser-Handbuch: Auswirkungen und Schutz*, H. Patt und R. Jüpner, Hrsg. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2020, S. 341–398. doi: 10.1007/978-3-658-26743-8\_7.
- [14] J. Suda und F. Rudolf-Miklau, *Bauen und Naturgefahren: Handbuch für konstruktiven Gebäudeschutz*. Springer-Verlag, 2011.
- [15] „Dernau“, *Verbandsgemeinde Altenahr*. <https://www.altenahr.de/de/vg-altenahr/ortsgemeinden/dernau/> (zugegriffen 14. Januar 2023).
- [16] „QGIS entdecken“. <https://qgis.org/de/site/about/index.html#> (zugegriffen 15. Januar 2023).
- [17] Geofabrik GmbH und OpenStreetMap Contributors, „Geofabrik Download Server“, *Geofabrik downloads*. <https://download.geofabrik.de/europe/germany/rheinland-pfalz.html> (zugegriffen 15. Januar 2023).
- [18] „Gefahrenkarte HQ10, HQ100, HQextrem“, *Rheinland-Pfalz - Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität*. <https://hochwassermanagement.rlp-umwelt.de/servlet/is/200041/> (zugegriffen 2. Februar 2023).
- [19] Gemeinde Dernau, „Wiederneuaufbau“, *WeinKulturDorf Dernau e.V.*  
<https://www.dernau.de/gemeinde/> (zugegriffen 14. Januar 2023).

# ANHÄNGE

## ANHANG A: ATTRIBUTTABELLE DER GEBÄUDE IN DERNAU

Anhang A befindet sich im digitalen Anhang. Mit dem Titel „Anhang A\_Attributtabelle der Gebäude in Dernau“ ist der Anhang im ZIP-Ordner zu finden.

## ANHANG B: VERTEILUNG DER SCHADENSKATEGORIEN AN GEBÄUDEN NACH HOCHWASSERSZENARIO

Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage der Datensätze des GFZ

Schadenskategorien an Gebäuden	Anzahl der Gebäude	HQ10 [%]	Anzahl der Gebäude	HQ100 [%]	Anzahl der Gebäude	HQ2021 [%]
Kein Schaden	765	98.58	282	36.34	108	13.92
SK1	10	1.29	52	6.70	9	1.16
SK2	0	0.00	386	49.74	41	5.28
SK3	0	0.00	55	7.09	617	79.51
Summe der beschädigten Gebäude	10	1.29	493	63.53	667	85.95

## ANHANG C: MAXIMALE WERTE DER FLIESSTIEFEN UND -GESCHWINDIGKEITEN AN GEBÄUDEN

Quelle: eigene Darstellung aufgrund der Datensätze des GFZ

	HQ10		HQ100		HQ2021	
	Fließtiefe [m]	Fließgeschwindigkeit [m/s]	Fließtiefe [m]	Fließgeschwindigkeit [m/s]	Fließtiefe [m]	Fließgeschwindigkeit [m/s]
Maximaler Wert	0.182	0.269	2.82	2.583	6.958	4.068