

Nutzen-Kosten-Analysen für drei Varianten des Hochwasserschutzes am Oberlauf des Münzbachs im Stadtgebiet Freiberg

Projekt

Nutzen-Kosten-Analysen für drei Varianten des Hochwasserschutzes am Oberlauf des Münzbachs im Stadtgebiet Freiberg (NKU-FG)

Auftraggeber (AG)



Universitätsstadt Freiberg
Dezernat Stadtentwicklung und Bauwesen
Tiefbauamt - SG Straßenwesen
SB Gewässerbau, Planung und Unterhaltung
Heubnerstraße 15
09599 Freiberg

Auftragnehmer (AN)



HOWAB Ingenieurberatung
Dr.-Ing. Sebastian Golz
Zschertnitzer Str. 36
01217 Dresden
Telefon 0351.208 592 19
Mobil 0160.636 41 56
Mail Sebastian.Golz@howab.de

Berichtszeitraum

16.01.2023 – 31.03.2023

Datum

8. Juni 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkungen	1
2	Aufgabenstellung und Ziel	1
3	Hochwassergefährdung durch den Münzbach	1
3.1	Hochwasserschutzkonzept und Schutzziel	1
3.2	Planungsvarianten für die Abflussminderung.....	2
4	Methodisches Vorgehen	4
4.1	Abschätzung hochwasserbedingter Schäden an Gebäuden.....	4
4.2	Schadenserwartungswert.....	7
5	Unterlagen und Ortstermine.....	8
5.1	Datengrundlagen.....	8
5.2	Ortstermine	9
5.3	Beratungen	9
6	Hochwassergefährdung.....	10
6.1	IST-Zustand.....	10
6.2	Planungsvariante 1 (PLV 1).....	11
6.3	Planungsvariante 2 (PLV 2).....	12
6.4	Planungsvariante 3 (PLV 1+2).....	12
7	Identifizierung und Differenzierung des Gebäudebestands	13
7.1	Überblick.....	13
7.2	Kartierungsergebnisse Wohngebäude	13
7.3	Kartierungsergebnisse Nichtwohngebäude	17
8	Substanz- und Inventarschäden an Gebäuden	21
8.1	Substanzschäden an Gebäuden	21
8.2	Inventarschäden an Gebäuden	22
8.3	IST-Zustand.....	24
8.4	Planungsvariante 1 (PLV 1).....	25
8.5	Planungsvariante 2 (PLV 2).....	26
8.6	Planungsvariante 3 (PLV 1+2).....	27

9	Nutzen-Kosten-Betrachtung.....	28
9.1	Überblick.....	28
9.2	Kostenbarwerte	28
9.3	Nutzenbarwerte	29
9.4	Nutzen-Kosten Vergleich (Zeitwertfaktor 1,0).....	31
9.5	Nutzen-Kosten Vergleich (Zeitwertfaktor 0,6).....	32
9.6	Sensitivitätsanalysen Planungsvariante 1 (Zeitwertfaktor 1,0).....	33
9.7	Sensitivitätsanalysen Planungsvariante 1 (Zeitwertfaktor 0,6).....	34
9.8	Sensitivitätsanalysen Planungsvariante 2 (Zeitwertfaktor 1,0).....	35
9.9	Sensitivitätsanalysen Planungsvariante 2 (Zeitwertfaktor 0,6).....	36
9.10	Sensitivitätsanalysen Planungsvariante 1+2 (Zeitwertfaktor 1,0)	37
9.11	Sensitivitätsanalysen Planungsvariante 1+2 (Zeitwertfaktor 0,6)	38
10	Zusammenfassung	39
11	Literatur	40
12	Referenzliste.....	41

1 Vorbemerkungen

Der vorliegende Abschlussbericht fasst die Ergebnisse des Vorhabens »Nutzen-Kosten-Analysen für drei Varianten des Hochwasserschutzes am Oberlauf des Münzbachs im Stadtgebiet Freiberg (NKU-FG)« im Zeitraum 16.01.2023 bis 31.03.2023 zusammen.

2 Aufgabenstellung und Ziel

Gemäß der Quelle [U 1] ist das »werkvertraglich geschuldete Ziel, alle Methoden anzuwenden, um für den AG ein möglichst hohes Nutzen-Kosten-Verhältnis zu ermitteln, welches durch entsprechende Nachweise von der Landesdirektion Sachsen akzeptiert wird. Dabei sind nutzensteigernde monetär bewertbare Ansätze im Rahmen der Richtlinien der LTV anzuwenden.«

3 Hochwassergefährdung durch den Münzbach

3.1 Hochwasserschutzkonzept und Schutzziel

Der Münzbach (OWK-ID: DESN_54216-2) ist ein Gewässer 2. Ordnung und ein linker Nebenfluss der Freiburger Mulde (vgl. Abbildung 1). Seit dem 19. Jahrhundert verläuft der Münzbach verrohrt durch das Stadtgebiet Freiberg (vgl. Abbildung 2, Abbildung 3).

Münzbach

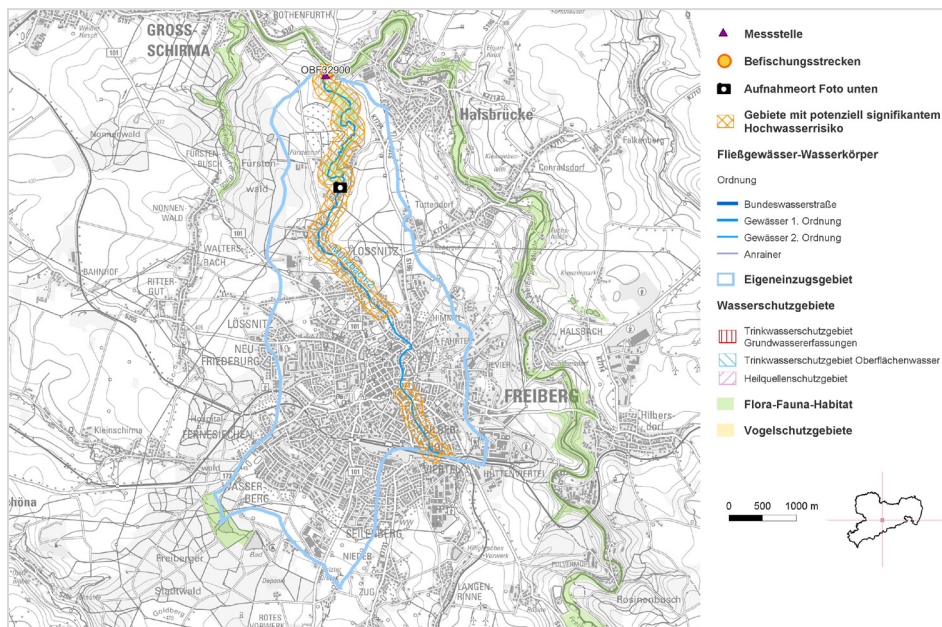


Abbildung 1

Ausweisung von Gebieten mit signifikantem Risiko (gelbes Rautenmuster) entlang des Münzbachs. Quelle: Auszug aus dem Steckbrief des Oberflächenwasserkörpers Münzbach-2 (DESN_54216-2), Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Abruf am 24.05.2023.

Der Münzbach führte in der Vergangenheit wiederholt zu Überschwemmungen angrenzender Siedlungsbereiche. Deshalb veranlasste die Stadt Freiberg 2009 die Erstellung eines Hochwasserschutzkonzepts (HWSK) entsprechend § 99b SächsWG (aktuell § 71 Abs. 1 SächsWG), welches der Stadtrat 2011 bestätigte.

HWSK

Das HWSK erfasst die Gefährdung von Schutzgütern infolge Hochwasser mit einer 5-, 20- bzw. 100-jährlichen Wiederkehrwahrscheinlichkeit und leitet daraus erforderliche Schutzmaßnahmen entlang des Münzbachs ab.

Der Siedlungsbereich mit dem höchsten Schadenspotenzial am Münzbach ist das Stadtgebiet Freiberg. Historisch bedingt, verläuft der Münzbach im Stadtgebiet etwa 2.300 m unterirdisch im sogenannten Münzbachsammelkanal (MSK), der um 1900 errichtet wurde. Der MSK muss neben dem Wasser des Münzbachs selbst, auch Schmutz- und Regenwassereinleitungen aus dem Stadtgebiet abführen. Aufgrund der begrenzten Abflusskapazität des geschlossenen Kanals und der temporär hohen Einleitmengen aus dem Stadtgebiet weist das HWSK die Drosselung der Wassermenge des Münzbachs bei Hochwasser als eine wesentliche Schutzmaßnahme aus. Aktuelle Berechnungen folgend kann der MSK einen Abfluss von bis zu 7,4 m³/s schadenfrei abführen [U 1].

Münzbach-sammelkanal

Abbildung 2
Links: Münzbach,
Mitte: Einleitungsbauwerk
Rechts: Münzbach-sammelkanal (MSK)



Das definierte Hochwasserschutzziel ist, dass bei einem HQ₁₀₀-Ereignis am Münzbach keine Überschwemmungen im Stadtgebiet Freiberg auftreten.

Schutzziel

3.2 Planungsvarianten für die Abflussminderung

Um den Abfluss des Münzbachs im Stadtgebiet Freiberg auf die berechneten 7,4 m³/s zu reduzieren, liegen gemäß [U 1] drei Planungsalternativen (Variante 1, 2, 1+2) vor. Ein hydraulisches 2D-Modell für den Münzbach diente der Berechnung sowohl der Überschwemmungsflächen als auch der Abflusstiefen (Wasserstände). Für den Variantenvergleich liegen auch die hydraulischen Ergebnisse für den Ist-Zustand (Variante 0) vor.

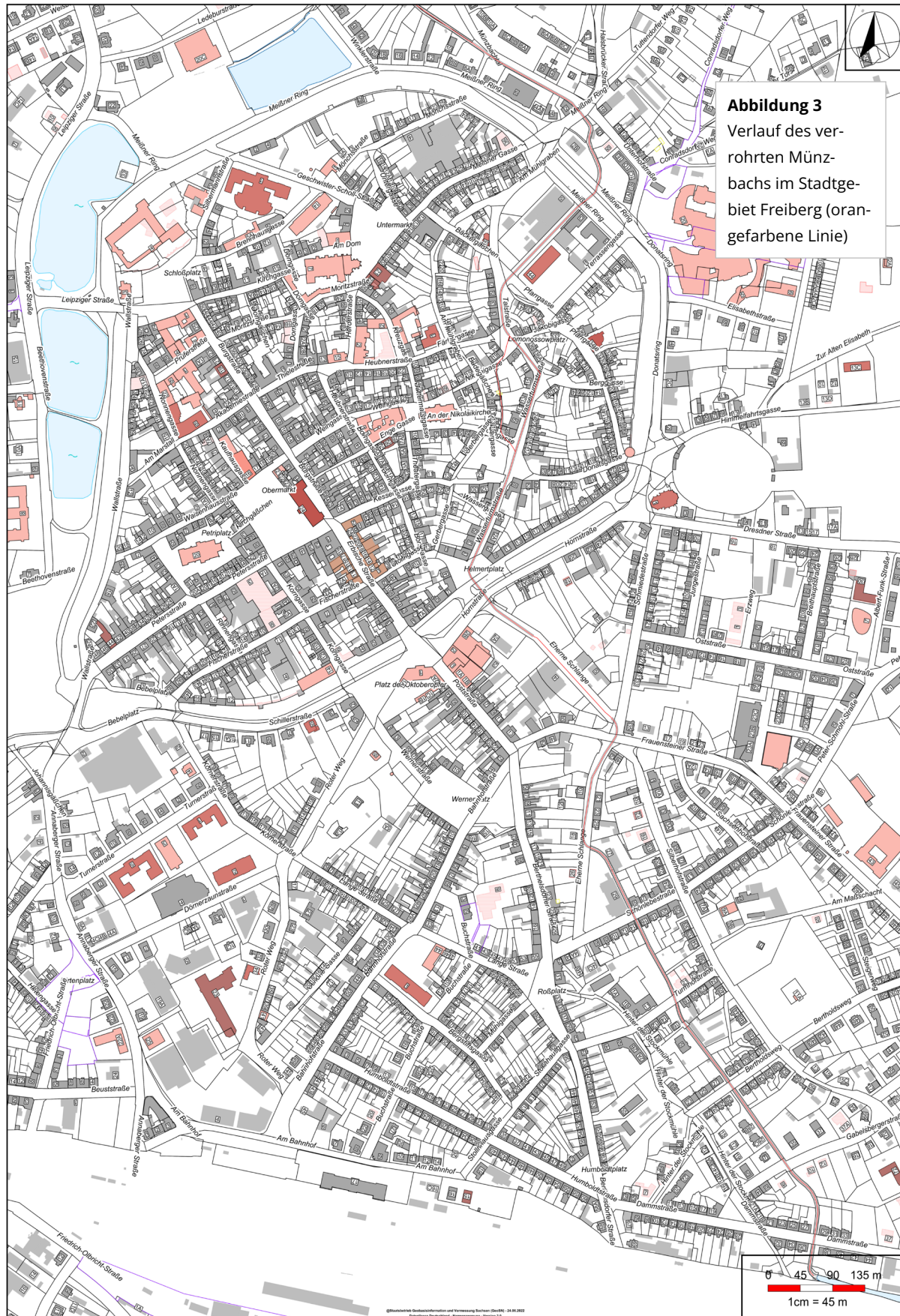
Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 1 + Variante 2
Ist-Zustand	Abschlagbauwerk und Überleitungstollen am Großen Hüttenteich in Richtung Freiburger Mulde	Hochwasserrückhaltebecken (HRB) am Standort Biberteich	Hochwasserrückhaltebecken (HRB) am Standort Biberteich sowie Abschlagbauwerk und Überleitungstollen am Großen Hüttenteich in Richtung Freiburger Mulde
	Herstellungskosten (Netto)	Herstellungskosten (Netto)	Herstellungskosten (Netto)
	17.250.000 €	11.163.263 €	28.413.263 €

Tabelle 1
Planungsvarianten 1 bis 3 für die Abflussminderung.

Kostenansätze gemäß [U 5]



HOWAB
INGENIEURBERATUNG



4 Methodisches Vorgehen

4.1 Abschätzung hochwasserbedingter Schäden an Gebäuden

Die verwendete mikroskalige Methodik zur Abschätzung hochwasserbedingter Schäden an Gebäuden basiert auf einem synthetischen Ansatz, welcher u. a. in Naumann et al. (2012), Golz et al. (2014), Naumann et al. (2015), Neubert et al. (2016) sowie in Schinke et al. (2016) umfassend beschrieben ist. Gemäß diesen Quellen werden in Abhängigkeit der ereignisabhängigen Überflutungshöhe und der spezifischen Schadenanfälligkeit (Vulnerabilität, Verletzbarkeit) der betroffenen Gebäudetypen die Kosten für die fachgerechte Beseitigung von Hochwasserschäden an der Baukonstruktion und Haustechnik gebäudekonkret kalkuliert und mit Hilfe von synthetischen Wasserstand-Schaden-Funktionen visualisiert. **Bei der Landestalsperrenverwaltung Sachsen ist dieses Vorgehen als »Repräsentanten-Methode« bekannt.**

**Synthetischer
Ansatz**

Innerhalb eines überschwemmungsgefährdeten Gebietes erfolgen zunächst die Identifizierung und Differenzierung des Siedlungskörpers in bebaute Flächen (Wohnbauflächen, Nichtwohnbauflächen), in Freiflächen verschiedener Art sowie in Verkehrsflächen. Wohnbauflächen können durch eine morphologisch-physiognomische Identifizierung des Siedlungskörpers in so bezeichnete »Strukturtypen der Wohnbebauung«, welche den charakteristischen Mix von Gebäudetypen in speziellen Baukörperanordnungen charakterisieren, untergliedert werden.

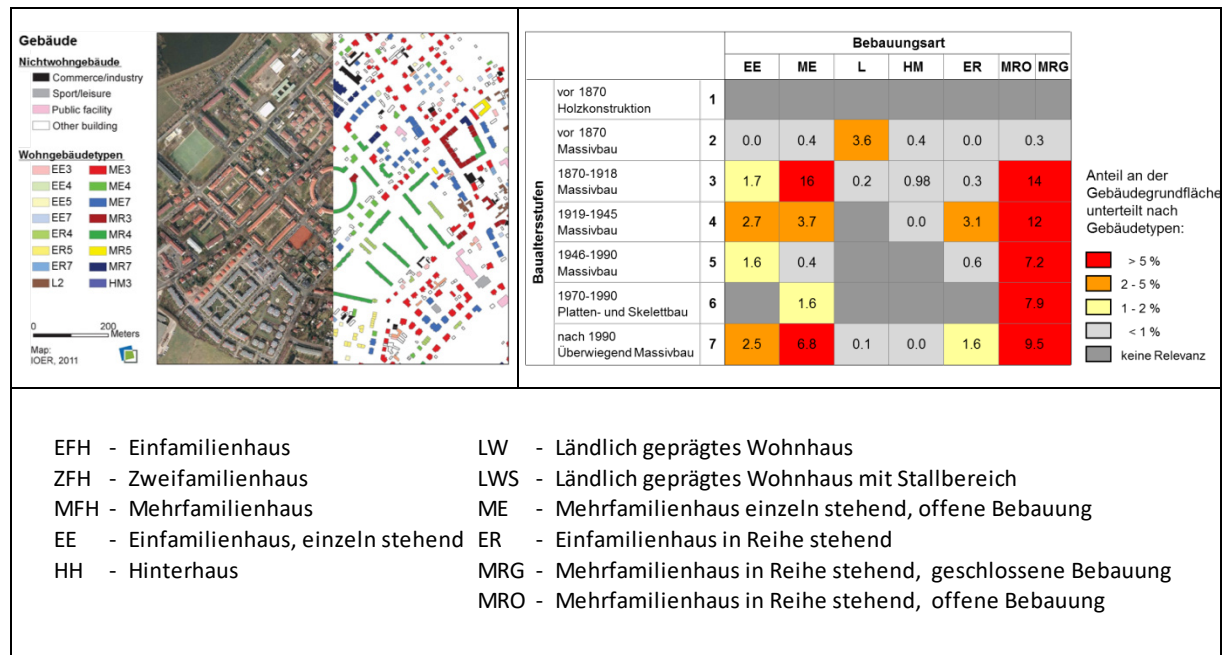
Gebäudetypologie

Auf der Grundlage der Flächenanalyse führten die Bearbeiter in einem zweiten Arbeitsschritt systematische Ortsbegehungen im Untersuchungsgebiet Freiberg durch, bei denen eine weitergehende Differenzierung sowohl der Wohnbauflächen als auch der verschiedenen Nichtwohnbauflächen stattfand. Hier kommt es zur endgültigen Zuordnung der auf den Strukturtypen der Wohnbebauung basierenden Gebäudetypen sowie zur gebäudescharfen Erfassung zahlreicher im Überflutungsfall relevanter Merkmale wie etwa

- der Höhe der Einlaufschwelle,
- des Unterkellerungsanteils oder
- in Wohngebäuden eingelagerter Gewerbenutzungen.

Sämtliche Untersuchungsergebnisse einschließlich der Fotodokumentation werden in einer Datenbank zusammengefasst und mit der Dokumentationsebene des geografischen Informationssystems (ArcGIS Pro) verknüpft.

Im Ergebnis der Flächenidentifizierung liegt eine für das Untersuchungsgebiet spezifische Zuordnung von Gebäudetypen vor, die hier als Gruppen ähnlicher Gebäude aufzufassen sind. Die Bebauungsform als Abgrenzungsmerkmal berücksichtigt zunächst strukturtypologische Aspekte. Bei Wohngebäuden werden unter anderem frei stehende Gebäude von in Reihen stehenden Gebäuden abgegrenzt. Darüber hinaus ist für die realitätsnahe Abschätzung von Hochwasserschäden eine Untergliederung in Ein- und Mehrfamilienhäuser notwendig.



Die Charakteristik der Bebauungsform erlaubt darüber hinaus eine erste Zuordnung der Gebäude zu den Baualterstufen. Hinsichtlich der Ähnlichkeit von Gebäuden eines Typs werden auch diejenigen Merkmale berücksichtigt, welche sich im Hochwasserschadensfall signifikant auf die Schadenshöhe an der Baubsubstanz auswirken. In diesem Zusammenhang sind die Kriterien

- Baualterstufe und ursprünglicher Nutzungszweck eines Gebäudes,
- Bebauungsform, insbesondere bei Wohngebäuden,
- baukonstruktives Gefüge,
- Kubatur, Grundrissstruktur und geometrische Verhältnisse,
- Unterkellerungsanteile,
- aktuell überwiegende Nutzungsart sowie
- aktueller Bauzustand

als wesentliche Merkmale bei der Abgrenzung von Gebäudetypen zu erwähnen. Abbildung 4 zeigt beispielhaft das Ergebnis der objektgenauen Zuordnung von Gebäudetypen (links) und die statistische Auswertung der Befunde mit Hilfe einer Gebäudetypenmatrix (Abbildung 4, rechts).

Die Ermittlung der spezifischen Vulnerabilität (Verletzbarkeit) der identifizierten Gebäudetypen gegenüber Hochwassereinwirkungen basiert auf synthetischen Schadensfunktionen (vgl. Naumann et al. 2012, Naumann et al. 2015, Golz et al. 2015). Für jeden im Untersuchungsgebiet relevanten Gebäudetyp werden charakteristische Repräsentanten ausgewählt, in ihren geometrischen, baukonstruktiven, haustechnischen und nutzungsspezifischen Merkmalen analysiert und dokumentiert. Im nachfolgenden Arbeitsschritt werden die jeweiligen Repräsentanten einer »synthetischen Flutung« unterzogen, wofür ein Ansatz mit definierten Überflutungsstufen dient (vgl. Abbildung 5, links). Die Festlegung

Abbildung 4

Beispiel für die gebäudetypologische Charakterisierung der Siedlungsstruktur. Links: Luftbild und Kartierungsergebnis. Rechts: Gebäudetypenmatrix mit Grundflächenanteilen der jeweiligen Gebäudetypen aus einem Untersuchungsgebiet

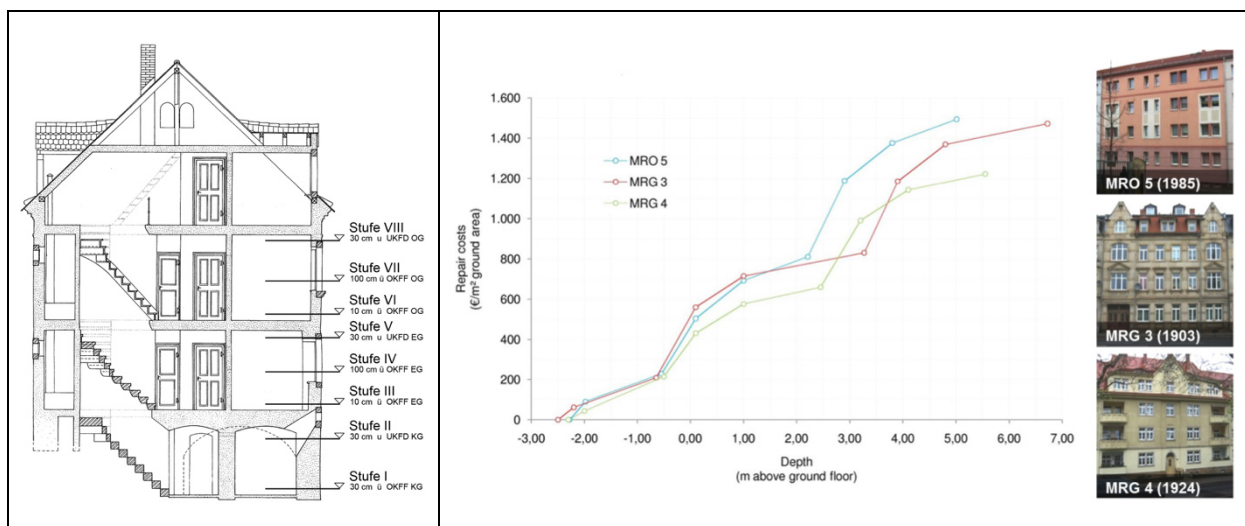
Vulnerabilität

der Überflutungsstufen bestimmt das Schadensausmaß an der Gebäudesubstanz und orientiert sich am grundsätzlichen Anliegen, signifikante Leistungsbereiche für eine bauliche Instandsetzung zur Beseitigung von Hochwasserschäden abzugrenzen. Jede Überflutungsstufe umfasst dabei bestimmte Konstruktionselemente des Gebäudes, für deren Instandsetzung wiederum charakteristische Bauleistungen erforderlich sind.

Im Ergebnis der »synthetischen Flutung« ergeben sich für jede Überflutungsstufe charakteristische Instandsetzungsleistungen, die mittels Checklisten gewerkespezifisch zugeordnet werden. Der Begriff Instandsetzung beinhaltet an dieser Stelle sowohl bauliche Sofortmaßnahmen zur Schadensminderung, etwa Freilegungen und Bautrocknungsmaßnahmen, als auch Bauleistungen für eine nachhaltige Instandsetzung der Hochwasserschäden, also je nach prognostizierter Schadensintensität die Reparatur oder den Austausch von Konstruktionselementen. Insofern entspricht die Erarbeitung synthetischer Schadensfunktionen einem komprimierten Planungsprozess für die Instandsetzung.

Abbildung 5

Überflutungsstufen für die synthetische Methodik (links) und Wasserstand-Schaden-Beziehungen für ausgewählte Gebäudetypen (rechts)



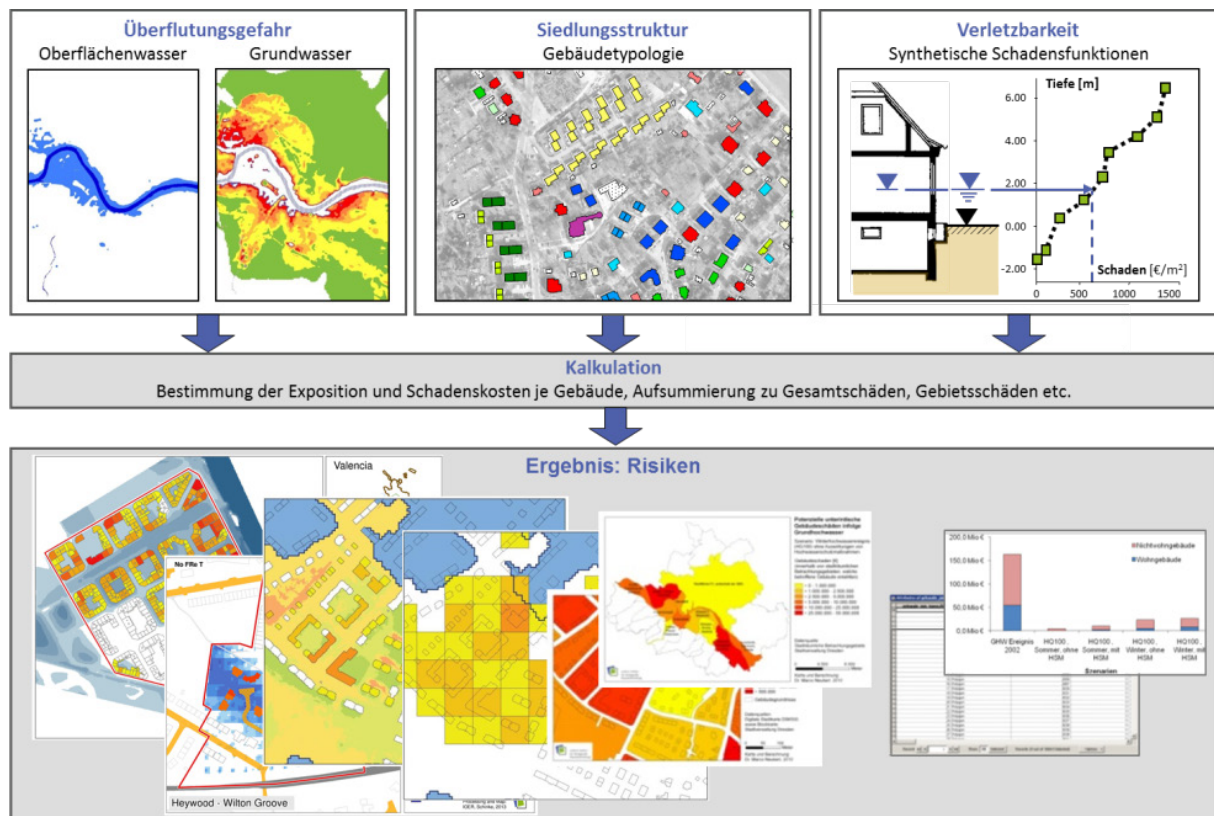
Die Kalkulation der spezifischen Wiederherstellungskosten basiert auf Leistungsverzeichnissen, welche die erforderlichen Instandsetzungsleistungen für jede Überflutungsstufe gliedern und nachvollziehbar dokumentieren. Die jeweiligen Instandsetzungsumfänge folgen dem Grundsatz, Rückbauten und Durchfeuchtungsgrenzen so anzusetzen, dass eine nachhaltige und schadensfreie Instandsetzung zu erwarten ist (vgl. Abbildung 5, rechts).

Risiko

Beide Methoden (Gebäudetypologie und synthetische Schadensfunktionen) stellen eine wesentliche Voraussetzung für die räumlich hochaufgelöste Ermittlung von hochwasserbedingten Schäden an Gebäuden dar. Unter Einbeziehung der Überflutungsgefährdung (Wasserstand) lassen sich GIS-basierte, raumbezogene Schadensabschätzungen realisieren (vgl. Abbildung 6). Zu den Vorteilen der »Repräsentanten-Methode« gehören

- die hohe Detailgenauigkeit bei der Schadensabschätzung,
- die direkte Nachvollziehbarkeit des Vorgehens aufgrund der beschriebenen Ursache – Wirkungsbeziehung sowie
- die modulare und offene Gestaltung des Modellansatzes, welche die Anwendung in verschiedenen räumlichen Maßstabsebenen und die Anpassung der Methodik im Hinblick auf gebietspezifische Randbedingungen und Fragestellungen erlaubt.

Abbildung 6
Abschätzung hochwasserbedingter Risiken



4.2 Schadenserwartungswert

Eine Grundlage für die wirtschaftliche Bewertung der drei Planungsvarianten des Hochwasserschutzkonzepts Freiberg bildet der Schadenserwartungswert (SEW). Der SEW ist der zu erwartende mittlere jährliche Gesamtschaden (Euro/Jahr) infolge Überflutung. Er entspricht dem Integral aller potenziellen Einzelschäden in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Wiederkehrs- bzw. Eintrittswahrscheinlichkeiten (vgl. Abbildung 7).

Die Berechnung des SEW folgt dem Ansatz:

$$SEW = \int_{P_0}^{P_e} f(S) dP$$

$$SEW = \sum_{i=1}^e \frac{S_{i-1} + S_i}{2} * \Delta P_i$$

mit	<i>SEW</i>	Schadenserwartungswert
	<i>S</i>	potenzielle Schäden beim einem Überflutungsereignis mit spezifischer Eintrittswahrscheinlichkeit
	<i>P</i>	Eintrittswahrscheinlichkeit eines Überflutungsereignisses [1/a]
	<i>P₀</i>	Eintrittswahrscheinlichkeit des Überflutungsereignisses bei dessen Überschreitung Schäden auftreten
	<i>P_E</i>	Eintrittswahrscheinlichkeit des seltensten betrachteten Überflutungsereignisses
	<i>i</i>	Jährlichkeit

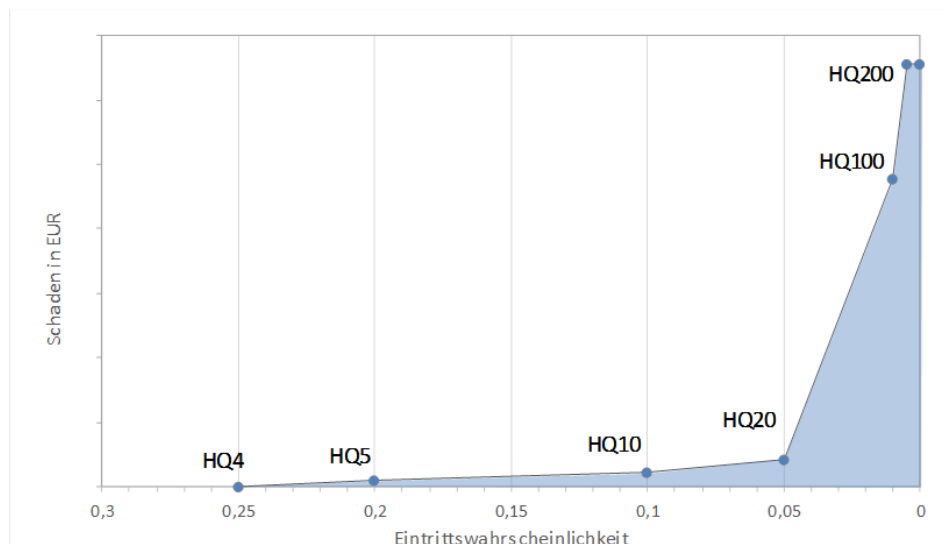


Abbildung 7
Der Schadensenerwartungswert SEW entspricht dem Integral aller potenziellen Einzelschäden in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Wiederkehrs- bzw. Eintrittswahrscheinlichkeiten (blau gefärbte Fläche).

5 Unterlagen und Ortstermine

5.1 Datengrundlagen

Tabelle 2 fasst alle Unterlagen und Daten zusammen, die der Auftragnehmer für die Nutzen-Kosten-Analysen verwendete.

#	Herausgeber	Stand	Unterlage / Planinhalt
[U 1]	Stadt Freiberg	12.12.2022	Veranlassung – Sachverhalt - Aufgabenstellung
[U 2]	Stadt Freiberg	18.01.2023	Bevollmächtigung; Legitimierungsschreiben für die Arbeiten im Feld (Gebäudekartierung)

Tabelle 2
Datengrundlagen

#	Herausgeber	Stand	Unterlage / Planinhalt
[U 3]	Offene Geodaten Sachsen	Januar 2023	ALKIS Gebäudelayer als GIS Datensatz mit den ALKIS Gebäude-IDs, Adressen; Lagereferenz: ETRS89_UTM
[U 4]	ARCADIS Germany GmbH	Januar 2023	Hydraulische Berechnungen – Überschwemmungsflächen und Wassertiefen – für Hochwasser (HQ ₅₀ , HQ ₁₀₀) des Münzbachs für das Untersuchungsgebiet Freiberg
[U 5]	ARCADIS Germany GmbH	07.06.2023	Zusammenstellung Projektkosten – Kosten Fortschreibung 06/2023
[U 6]	Stadt Freiberg	Juni 2022	Münzbachverlauf mit Bypass

5.2 Ortstermine

Tabelle 3 enthält eine Übersicht über die erfolgten Ortsbegehungen zur Erfassung, Differenzierung und Klassifizierung des Gebäudebestands im Untersuchungsgebiet.

#	Datum	Teilnehmer
[OT 1]	17.01.2023	Rolf Rothermundt // Universitätsstadt Freiberg, Dezernat Stadtentwicklung und Bauwesen Sebastian Golz
[OT 2]	26.01.2023	Sebastian Golz
[OT 3]	28.01.2023	Sebastian Golz
[OT 4]	22.03.2023	Sebastian Golz

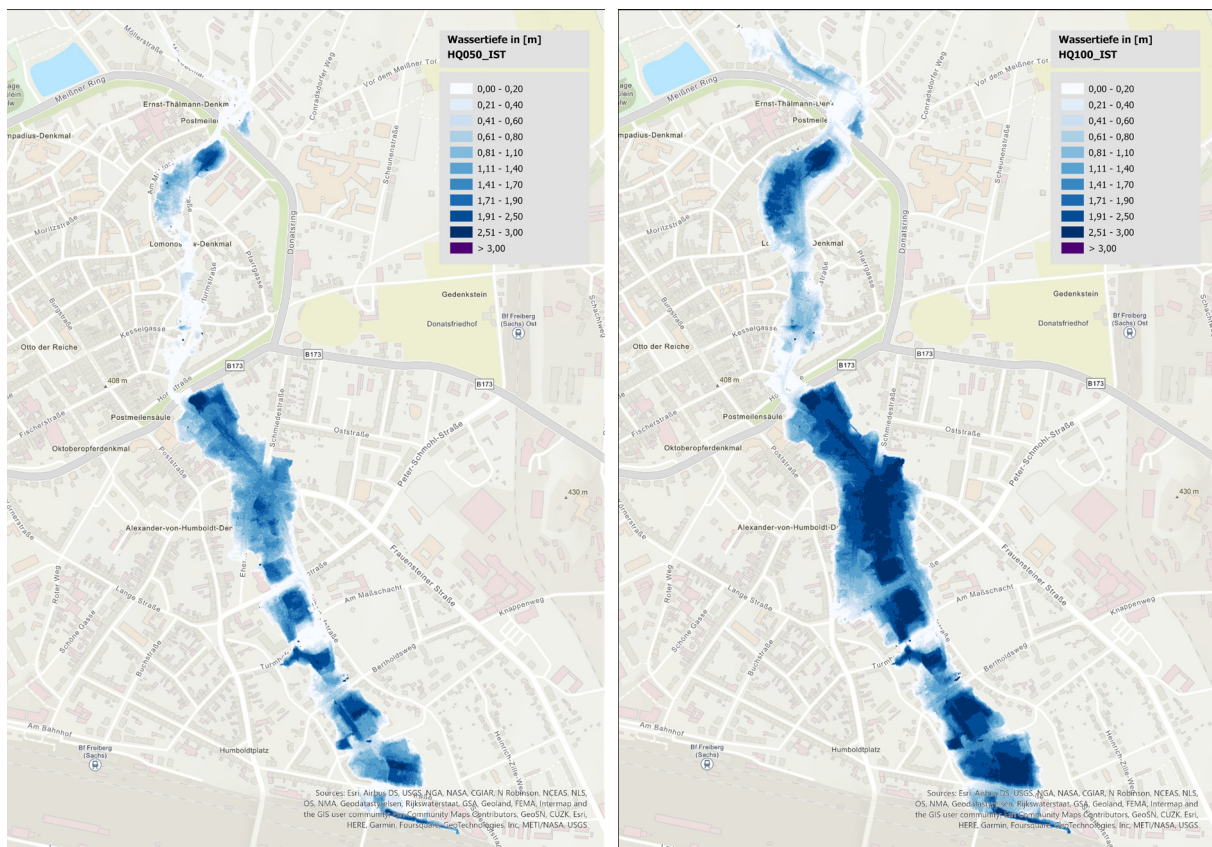
Tabelle 3
 Ortstermine

5.3 Beratungen

Tabelle 4 umfasst die durchgeführten Projektberatungen.

#	Datum	Teilnehmer
[B 1]	17.01.2023	Rolf Rothermundt // Universitätsstadt Freiberg, Dezernat Stadtentwicklung und Bauwesen Enrico Thierling // ARCADIS Germany GmbH Sebastian Golz

Tabelle 4
 Beratungen



6.2 Planungsvariante 1 (PLV 1)

Abbildung 9 enthält die resultierenden Überschwemmungsflächen und Wassertiefen für die Planungsvariante PLV 1 für ein HQ₅₀- bzw. HQ₁₀₀-Hochwasserereignis des Münzbachs im Stadtgebiet Freiberg [U 4]. Für die Entlastung des Münzbachsammelkanals umfasst die PLV 1 ein Abschlagbauwerk und einen Überleitungsstollen am Großen Hüttenteich in Richtung Freiburger Mulde.

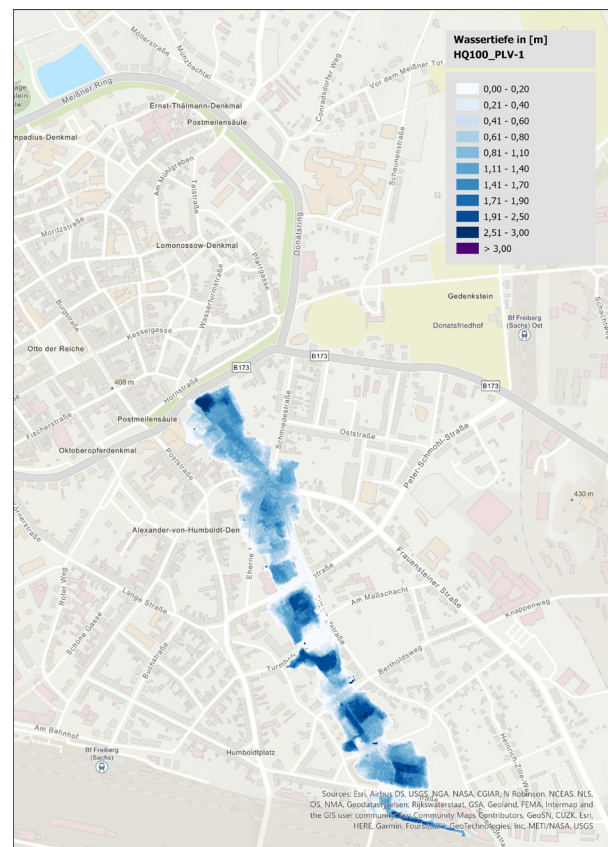
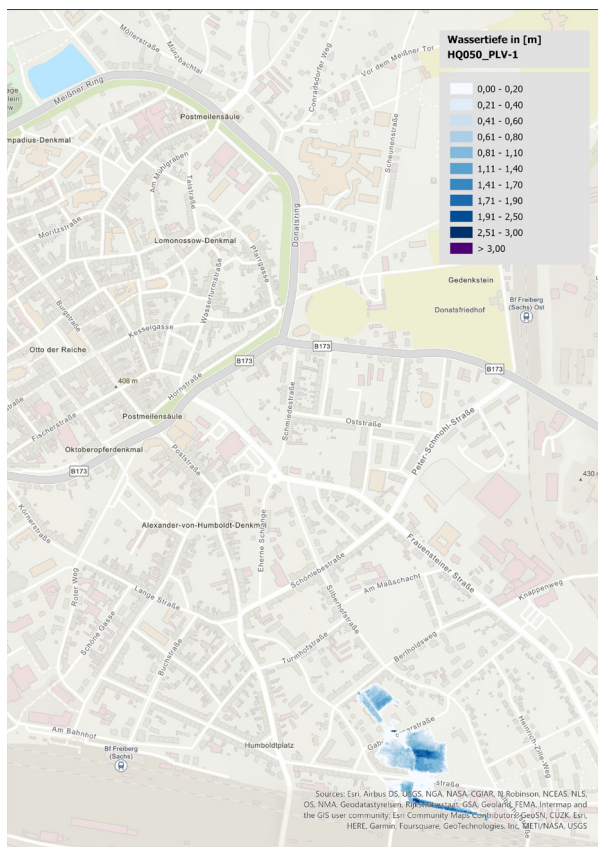
Die Umsetzung der Maßnahmen der PLV 1 führen im gesamten Stadtgebiet zu einer signifikanten Minderung der resultierenden Wassertiefen. Die Siedlungsflächen der Freiburger Altstadt nördlich der B173 (Hornstraße) sind bei dieser Planungsvariante auch bei einem HQ₁₀₀ nicht mehr betroffen (vgl. Abbildung 9).

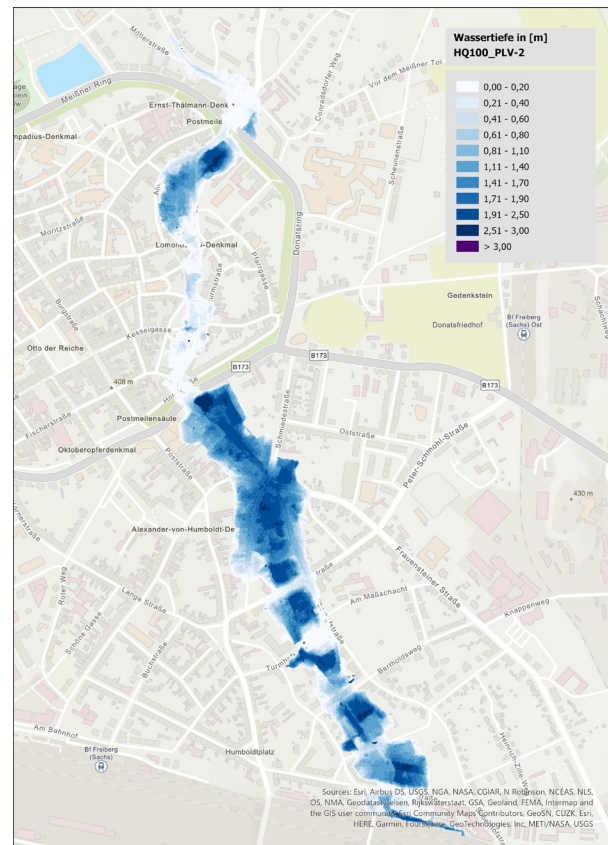
Abbildung 9
Überschwemmungsflächen und Wassertiefen bei Hochwasser des Münzbachs für die Planungsvariante PLV 1

Links: HQ₅₀.
Rechts: HQ₁₀₀.

Modellierung:
ARCADIS.

Visualisierung:
Sebastian Golz.





7 Identifizierung und Differenzierung des Gebäudebestands

7.1 Überblick

Die Identifizierung und Differenzierung des Gebäudebestands im Untersuchungsgebiet erfolgte durch systematische Ortsbegehungen zwischen Januar und März 2023. Dabei wurden alle potenziell betroffenen Gebäude einem Wohn- bzw. Nichtwohngebäudetyp zugeordnet (vgl. [Abschnitt 4.1, S. 4 ff.](#)).

Darüber hinaus nahmen die Bearbeiter folgende Attribute bzw. Gebäudemerkmale örtlich auf, die für die Bewertung der Verletzbarkeit der Gebäude und ihrer Nutzung gegenüber Hochwasser relevant sind:

- Gebäudesubtyp (besondere Bauformen innerhalb eines Gebäudetyps)
- Unterkellerungsanteil (Voll- oder Teilunterkellerung, nicht unterkellert)
- Höhendifferenz zwischen Erdgeschoss- und dem Geländeniveau
- Höhe der niedrigsten Gebäudeöffnung (z. B. Kellerfenster) über der Geländeoberkante
- Denkmalstatus
- Baulicher Zustand des Gebäudes (neuwertig, normal, sanierungsbedürftig)
- Nutzung des Kellergeschosses (untergeordnet, hochwertig)
- Nutzung des Erdgeschosses (Wohn-, Büro-, gewerbliche Nutzung)
- Sonstige Hinweise und Bemerkungen

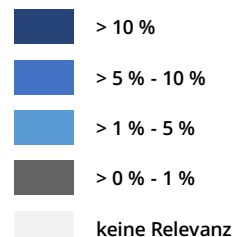
Gebäudemerkmale

7.2 Kartierungsergebnisse Wohngebäude

		Bebauungsart	Einzel stehendes Gebäude					Mehrere, in Reihe stehende Gebäude			Summe
			EFH/ZFH	HH	L		MFH	EFH/ZFH	MFH		
			EE	HH	LW	LWS	ME	ER	MRG	MRO	
Baualterstufe											
vor 1870 Fachwerkbau	1									0,0%	
vor 1870 Massivbau	2		HH2 0,2%			ME2 9,8%	ER2 4,5%	MRG2 3,1%	MRO2 5,7%	23,3%	
1870 - 1918 Massivbau	3	EE3 2,1%	HH3 1,3%			ME3 7,0%	ER3 2,7%	MRG3 18,1%	MRO3 21,8%	53,0%	
1918 - 1945 Massivbau	4	EE4 0,4%				ME4 0,4%		MRG4 3,9%	MRO4 5,5%	10,2%	
1945 - 1990 Massivbau	5							MR5 2,4%		2,8%	
1970 - 1990 Plattenbau	6									0,0%	
nach 1990 Massivbau	7	EE7 3,0%				ME7 3,9%		MRG7 3,1%	MRO7 0,7%	10,7%	
Summe			5,5%	1,5%	0,0%	0,0%	21,1%	7,6%	30,6%	33,7%	

Abbildung 11
Wohngebäude-
typologie im Unter-
suchungsgebiet
Freiberg

Anteil Grundfläche Wohngebäude



Insgesamt wurden 20 Wohngebäudetypen identifiziert, mit denen sich der gesamte Wohngebäudebestand abbilden lässt und die als Grundlage für die Schadensabschätzung dienen (vgl. Abbildung 11, Abbildung 14, Tabelle 5).

#	Wohngebäudetyp	Kurzbeschreibung	Beispiel
1	EE3	Einzelstehendes Einfamilienhaus Bauzeit zwischen 1870 und 1918	
2	EE4	Einzelstehendes Einfamilienhaus Bauzeit zwischen 1918 und 1945	
3	EE7	Einzelstehendes Einfamilienhaus Bauzeit nach 1990	
4	HH2	Hinterhausbebauung Bauzeit vor 1870	
5	HH3	Hinterhausbebauung Bauzeit zwischen 1870 und 1918	
6	ME2	Einzelstehendes Mehrfamilienhaus Bauzeit vor 1870	

Tabelle 5
 Wohngebäudetypen
 im Untersuchungsgebiet



#	Wohngebäudetyp	Kurzbeschreibung	Beispiel
7	ME3	Einzelstehendes Mehrfamilienhaus Bauzeit zwischen 1870 und 1918	
8	ME4	Einzelstehendes Mehrfamilienhaus Bauzeit zwischen 1918 und 1945	
9	ME7	Einzelstehendes Mehrfamilienhaus Bauzeit nach 1990	
10	ER2	In Reihe stehendes Einfamilienhaus Bauzeit vor 1870	
11	ER3	In Reihe stehendes Einfamilienhaus Bauzeit zwischen 1870 und 1918	
12	MRG2	In Reihe stehendes Mehrfamilienhaus in geschlossener Bebauung Bauzeit vor 1870	



#	Wohngebäudetyp	Kurzbeschreibung	Beispiel
13	MRG3	In Reihe stehendes Mehrfamilienhaus in geschlossener Bebauung Bauzeit zwischen 1870 und 1918	
14	MRG4	In Reihe stehendes Mehrfamilienhaus in geschlossener Bebauung Bauzeit zwischen 1918 und 1945	
15	MR5	In Reihe stehendes Mehrfamilienhaus Bauzeit zwischen 1945 und 1990	
16	MRG7	In Reihe stehendes Mehrfamilienhaus in geschlossener Bebauung Bauzeit nach 1990	
17	MRO2	In Reihe stehendes Mehrfamilienhaus in offener Bebauung Bauzeit vor 1870	
18	MRO3	In Reihe stehendes Mehrfamilienhaus in offener Bebauung Bauzeit zwischen 1870 und 1918	

#	Wohngebäudetyp	Kurzbeschreibung	Beispiel
19	MRO4	In Reihe stehendes Mehrfamilienhaus in offener Bebauung Bauzeit zwischen 1918 und 1945	
20	MRO7	In Reihe stehendes Mehrfamilienhaus in offener Bebauung Bauzeit nach 1990	

7.3 Kartierungsergebnisse Nichtwohngebäude

Neben den 20 Wohngebäudetypen wurden 12 Nichtwohngebäudetypen identifiziert (vgl. Abbildung 14). Tabelle 6 enthält drei Gebäudetypen mit markantem Schadenspotenzial im Untersuchungsgebiet. Darüber hinaus prägen vor allem kleinere Nebengebäude und Garage den Nichtwohngebäudebestand

#	Gebäudetyp	Kurzbeschreibung	Beispiel
1	HAN7	Gebäude für den Lebensmittelhandel Bauzeit nach 1990	
2	B3	Gebäude mit Büronutzung Bauzeit zwischen 1870 und 1918	
3	PROD7	Werkstätten bzw. Gebäude mit Produktionseinrichtungen Bauzeit bzw. Sanierung nach 1990	

Tabelle 6
 Ausgewählte Nicht-
 wohngebäudetypen
 im Untersuchungsge-
 biet Freiberg



Insgesamt wurden **410 Gebäude** kartiert, die bei einem HQ₁₀₀-Hochwasserereignis des Münzbachs im IST-Zustand betroffen sind. Von dieser Grundgesamtheit sind 241 Wohngebäude (59 %) und 169 Nichtwohngebäude (41 %) (vgl. Abbildung 12). Sechs Gebäude, die in den ALKIS-Daten noch vorhanden sind, wurden zwischenzeitlich abgerissen.

Insgesamt 21 Wohngebäudetypen waren im Untersuchungsgebiet abgrenzbar (vgl. Wohngebäudetypologie in Abbildung 11). Zu den klassifizierten Nichtwohngebäudetypen gehören Gebäude für öffentliche Zwecke (z. B. Schulen), Gebäude für Wirtschaft und Gewerbe (z. B. Supermärkte), Nebengebäude (z. B. Schuppen) und Garagen.

Häufigkeitsverteilung

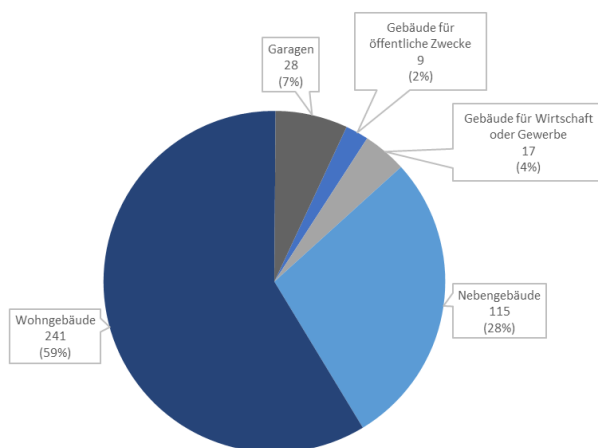


Abbildung 12
Häufigkeitsverteilung (Anz, %) von Wohn- und Nichtwohngebäuden im Untersuchungsgebiet Freiberg

Ergänzend zeigt Abbildung 13 die Verteilung der Grundflächen (Flächeninhalt der Gebäudepolygone in m²). Die Flächenanteile der Wohn- und Nichtwohnbauung ähneln stark der Häufigkeitsverteilung in Abbildung 12. Das bedeutet, dass der Nichtwohngebäudeanteil nicht dominant durch kleinflächige Polygone wie etwa Garagen, Nebengebäude o.ä. geprägt ist.

Grundflächenverteilung

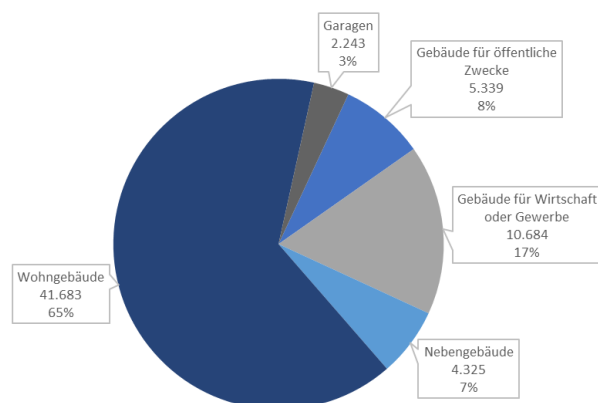
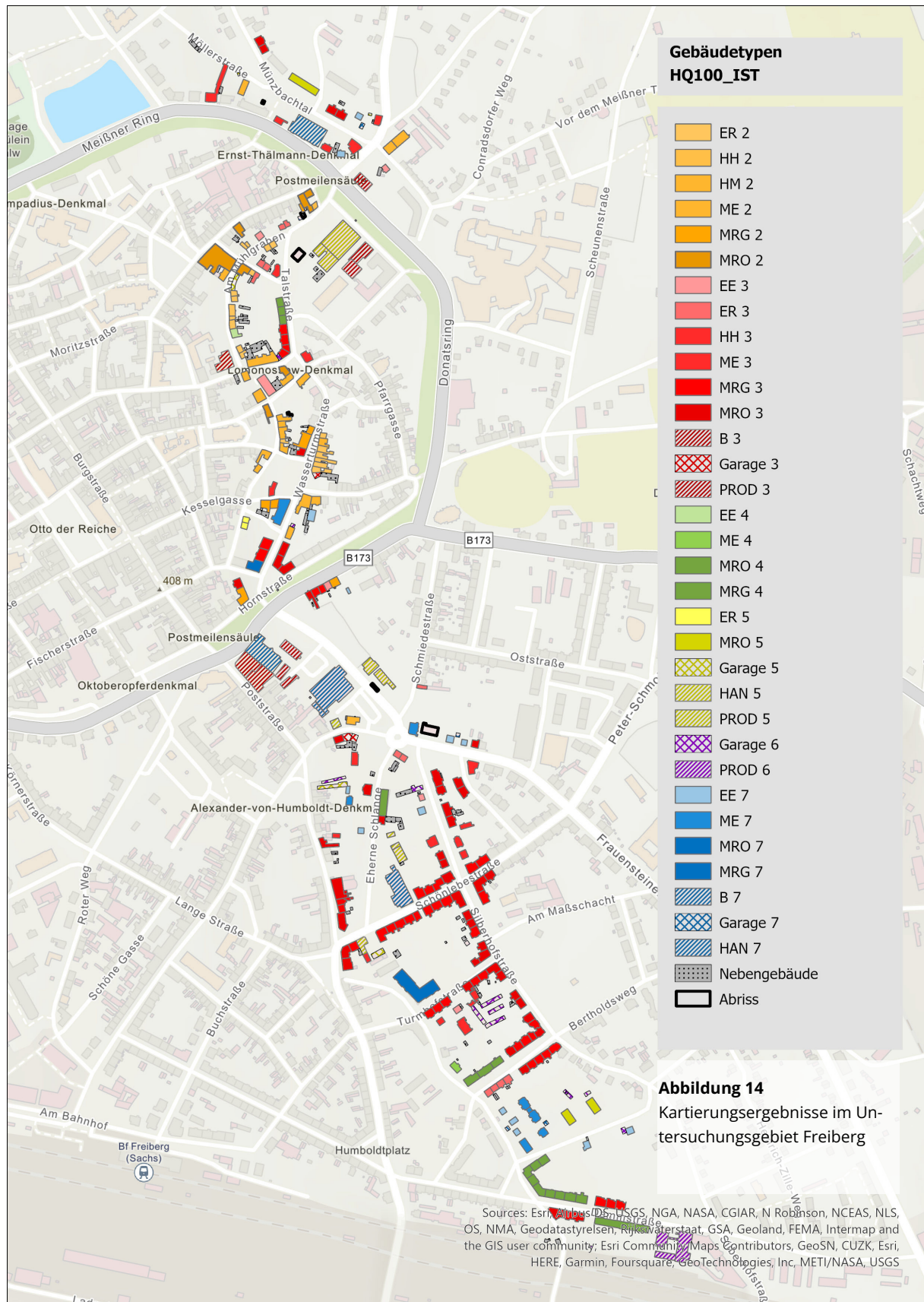


Abbildung 13
Verteilung der Grundflächen (%) von Wohn- und Nichtwohngebäuden im Untersuchungsgebiet Freiberg



Das Untersuchungsgebiet entspricht der Fläche im Stadtgebiet Freiberg, die bei einem HQ₁₀₀-Hochwasser des Münzbachs gefährdet ist. Die Bebauung ist als heterogen anzusprechen. Die Wohn- und Nichtwohnflächen stehen in einem Verhältnis von etwa 2:1.

Abbildung 11 zeigt die Wohngebäudetypologie des Untersuchungsgebiets. Aufgrund der städtebaulichen Situation dominieren hier in Reihe stehende Mehrfamilienhäuser verschiedener Baualtersstufen, vorwiegend in Zeilenbebauung, denen deutlich mehr als die Hälfte aller betroffenen Wohngebäude zuzuordnen sind (Flächenanteil Wohngebäude 64,3 %). Die in anderen Untersuchungsgebieten wesentlichen Einfamilienhäuser verfügen hingegen über eine nur geringe Relevanz (Flächenanteil Wohngebäude 13,1 %). Grundsätzlich ist die in der Baualtersstufe 3 zusammengefasste gründerzeitliche Bausubstanz, errichtet zwischen 1870 und 1918, als quantitativ besonders bedeutend anzusprechen (Flächenanteil Wohngebäude 53,0 %). Aber auch die Baualtersstufen 2 markiert einen wesentlichen Anteil der Wohngebäude im Untersuchungsgebiet (Flächenanteil Wohngebäude 23,3 %).

Wohnbebauung



Die Nichtwohngebäude prägen etwa ein Drittel des Untersuchungsgebietes, wobei hier insbesondere Gebäude für Wirtschaft und Gewerbe (Flächenanteil Nichtwohngebäude 53,9 %) und Gebäude für öffentliche Zwecke (Flächenanteil Nichtwohngebäude 18,7 %) als maßgebend identifiziert wurden. Die verbleibenden Nichtwohnbauflächen entsprechen Nebengebäuden und Garagen. Bei den beiden Supermärkten (Gebäude für Wirtschaft und Gewerbe) führen sowohl die hohe Gefährdung als auch die hohe Verletzbarkeit zu erheblichen Hochwasserrisiken.

Nichtwohnbebauung

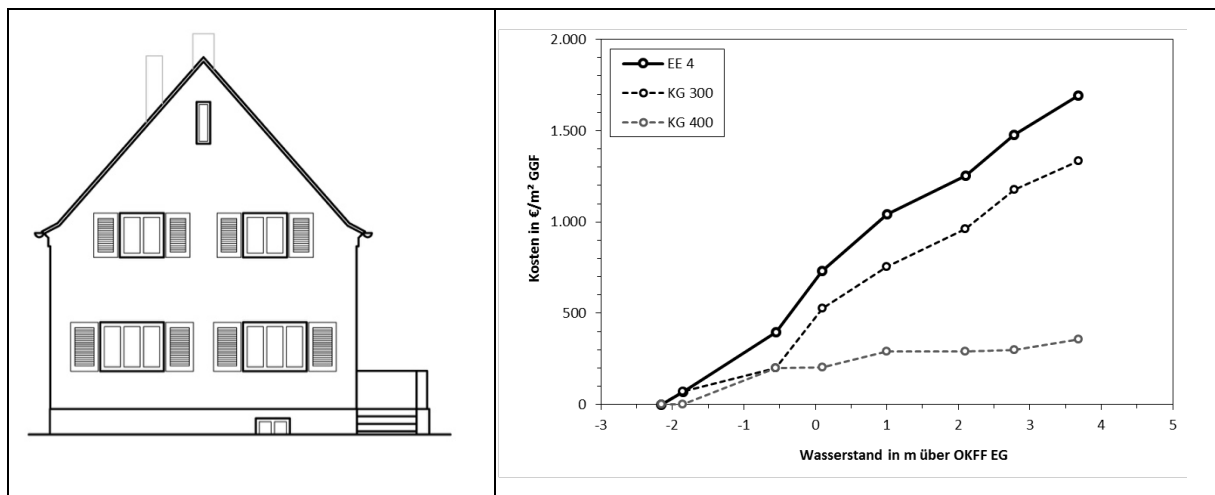


8 Substanz- und Inventarschäden an Gebäuden

8.1 Substanzschäden an Gebäuden

Für jeden der klassifizierten 21 Wohn- und 12 Nichtwohngebäudetypen im Untersuchungsgebiet liegen spezifische synthetische Schadensfunktionen vor, die bereits in den in mehreren Vorgängerprojekten in Sachsen, Thüringen und Brandenburg erhoben und validiert wurden (siehe Referenzliste). Mit Hilfe der synthetischen Schadensfunktionen sind die notwendigen Wiederherstellungskosten zur Beseitigung hochwasserbedingter Schäden für jeden ereignisabhängigen Wasserstand ablesbar (vgl. Abbildung 15).

Synthetische Schadensfunktionen



Die kalkulierten Wiederherstellungskosten beziehen sich auf die Gebäudegrundfläche (Euro/m² GGF). Abbildung 14 zeigt exemplarisch die synthetischen Schadensfunktionen für den Gebäudetyp EE 4 (einzeln stehendes Ein- bzw. Zweifamilienhaus, mit Bauzeit zwischen 1918 und 1945), welche differenziert für die

- Kostengruppen 300 (Baukonstruktion) und
- Kostengruppen 400 (Haustechnik)

nach DIN 276 (Kostenplanung im Hochbau) angegeben sind. Die Validierung der Schadensfunktionen basierte auf qualitätsgesicherten Schadensgutachten, die detaillierte Kostenschätzungen für die Beseitigung von Hochwasserschäden nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik enthalten.

Der Algorithmus für die Kalkulation der Wiederherstellungskosten umfasst auch die Einbindung des »Baupreisindex«, um sowohl zurückliegende als auch zukünftige Baukostenentwicklungen in den Schadensfunktionen zu berücksichtigen. Für die Berechnung wurde der **Baupreisindex (Stand: IV. Quartal 2022)** des Statistischen Bundesamtes verwendet.

Abbildung 15
Synthetische Schadensfunktion für den Gebäudetyp EE 4 (einzeln stehendes Ein- oder Zweifamilienhaus mit Bauzeit zwischen 1918 und 1945).

Baupreisindex

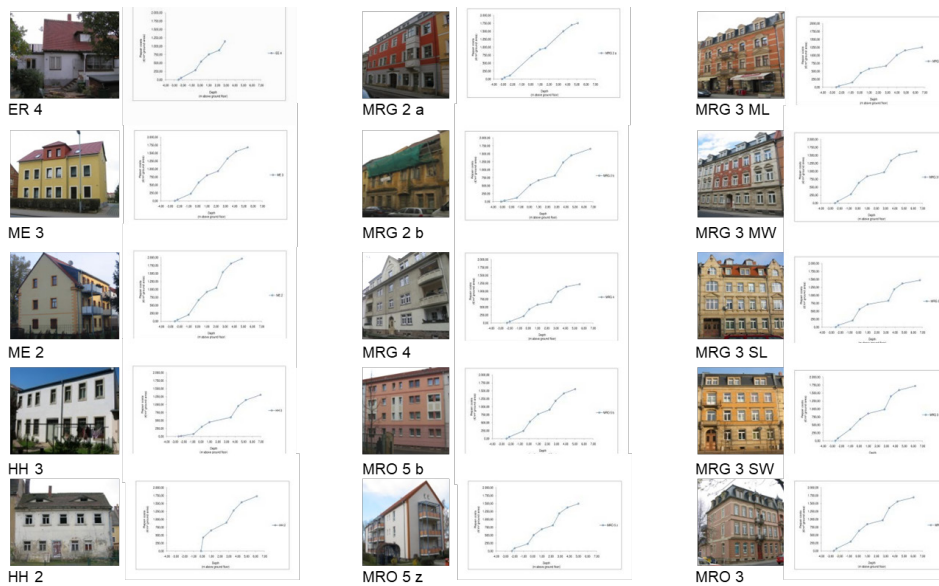


Abbildung 16
 Ausgewählte Beispiele
 für synthetische Scha-
 densfunktion für
 Wohngebäudetypen

8.2 Inventarschäden an Gebäuden

Die Ermittlung potenzieller Inventarschäden basiert (a) auf der Erfassung aller Nutzungen/Nutzungsarten in den Gebäuden während der Vor-Ort Begehungen und (b) der Zuordnung einer nutzungsartbezogenen Inventarschadenfunktion. Folgende Nutzungen / Nutzungsarten wurden erfasst:

- Wohnnutzung (KG und EG)
- Büronutzung (KG und EG)
- Gewerbenutzung (EG)
- Untergeordnete Lagernutzung (KG)
- Garagen

**Erfassung der
 Nutzung**

In Anlehnung an Reese et al. (2002) gilt für die Höhe der zu erwartenden Inventarschäden folgende Grundfunktion:

$$S = IW * a * \sqrt{h_w}$$

mit S Schadenswert
 IW Inventarwert
 a Anpassungsfaktor für die Funktion

$$a = \frac{100}{\sqrt{h_{S100}}}$$

h_{S100} Wasserstand in [m] über der Fußbodenoberkante bei dem ein 100 %iger Schaden zu erwarten ist

h_w Wasserhöhe in [m] über der Fußbodenoberkante

**Grundfunktion für
 Inventarschäden**

Diese Funktion gilt für $h_{S100} \geq h_w$. Reese et al. (2002, S. 95) setzen beispielsweise für h_{S100} ein Wert von 2,78 m an.

Für die Ermittlung des Inventarwertes bzw. Hausratsvermögens *IW* werden von Meyer 2003 (S. 64 ff.) drei prinzipielle Grundlagen dargestellt:

- Ausgaben eines mittleren Haushalts bei bestimmter Lebensdauer,
- Statistik über das Gebrauchsvermögen privater Haushalte und
- Versicherungswerte.

Darüber hinaus ist die individuellen Einzelerfassung der Inventarwerte zu nennen, etwa bei unikal en Ausstattungen von Nichtwohngebäuden. Der Aufwand der Einzelerfassung ist bei Wohngebäuden zu hoch und für die Zwecke der Untersuchungen nicht angemessen.

Belastbare Anhaltspunkte für den Wert des Hausratvermögens bei Wohnnutzung stellt die Versicherungswirtschaft zur Verfügung. Unternehmen wie etwa die Helvetia, HDI, ERGO oder Allianz gehen von einem durchschnittlichen Inventarwert von 650 Euro je Quadratmeter Wohnfläche (Neuwert, Brutto, IV. Quartal 2022) aus. Um den Inventarwert jedoch in den Schadenssimulationen berücksichtigen zu können, ist der Wert auf die Gebäudegrundfläche statt auf die Wohnfläche zu beziehen. Hierfür wurde das Verhältnis »Wohnfläche zu Gebäudegrundfläche« für jeden Wohngebäudetypen ermittelt.

Für die Beurteilung des Inventarwertes von Büronutzungen greifen die Autoren auf Ergebnisse vergleichbarer Studien zurück (vgl. Referenzliste). Demnach hat ein Büroarbeitsplatz einen durchschnittlichen Inventarwert von 550 Euro je Quadratmeter Bürofläche (Neuwert, Brutto, IV. Quartal 2022). Der Inventarwert wird auch hier auf die Gebäudegrundfläche angepasst.

Auch für die Abschätzung der Inventarwerte für eingelagerte Gewebeeinheiten in Wohngebäuden oder von ausschließlich gewerblich genutzten Nichtwohngebäuden greifen die Autoren auf Ergebnisse vergleichbarer Studien zurück (vgl. Referenzliste). Diese Ergebnisse basieren auf Interviews mit Inhabern und Geschäftsführern sowie auf statistischen Daten der Handwerkskammer. Somit stehen für alle relevanten Gewerbeeinheiten entsprechende Inventarwerte zur Verfügung. Von besonderer Bedeutung für das Untersuchungsgebiet sind zwei Lebensmitteleinzelhändler, deren Inventarwerte wasserstandabhängig bis zu 600 Euro pro Quadratmeter Gewerbefläche betragen.

Für die Ableitung der Inventarwerte der Kellernutzung wird zwischen Ein- und Mehrfamilienhäusern unterschieden. Bei Mehrfamilienhäusern ist von einer vorwiegenden Nutzung als Mieterkeller auszugehen, der eine Lagerung von wertintensiven Gegenständen kaum zulässt. Der Inventarwert bezieht sich mittelbar auf die Anzahl der Wohneinheiten bzw. auf die Anzahl der Mieterkeller. Demgegenüber ist in den Kellerräumen von Einfamilienhäusern von einer individuelleren und höherwertigen Ausstattung auszugehen. In dieser Studie wird vereinfacht von folgenden Inventarwerten ausgegangen:

- bei Einfamilienhäusern: pauschal 1.000 Euro für das Kellergeschoss
- bei Mehrfamilienhäusern: pauschal 6.000 Euro für das Kellergeschoss

Inventarwerte für Wohnnutzungen

Inventarwerte für Büronutzungen

Inventarwerte für gewerbliche Nutzungen

Inventarwerte für Keller

8.3 IST-Zustand

Abbildung 16 zeigt die zu erwartenden Substanz- und Inventarschäden im IST-Zustand für jedes hochwassergefährdete Gebäude.

Den Gesamtschaden prägen die Schäden an den Wohngebäuden ($HQ_{100} = 78\%$). Besonders hohe Einzelschäden sind für die beiden Supermärkte (Edeka, Netto) in der »Ehernen Schlange« zu erwarten, deren Schadenspotential bei einem HQ_{100} -Ereignis des Münzbachs jeweils deutlich über 1 Mio. Euro beträgt.

Substanz- und Inventarschäden	HQ050_IST			HQ100_IST		
	Anz	Fläche [m ²]	Schaden [€]	Anz	Fläche [m ²]	Schaden [€]
Gebäude für öffentliche Zwecke	5	3.096	631.310	9	5.339	1.190.623
Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe	14	8.919	5.001.230	17	10.684	8.155.001
Nebengebäude	77	2.937	297.425	115	4.325	555.881
Wohngebäude	167	29.140	16.358.063	241	41.683	37.575.324
Garagen	20	1.587	333.683	28	2.243	711.744
Summe	283	45.679	22.621.712	410	64.275	48.188.574

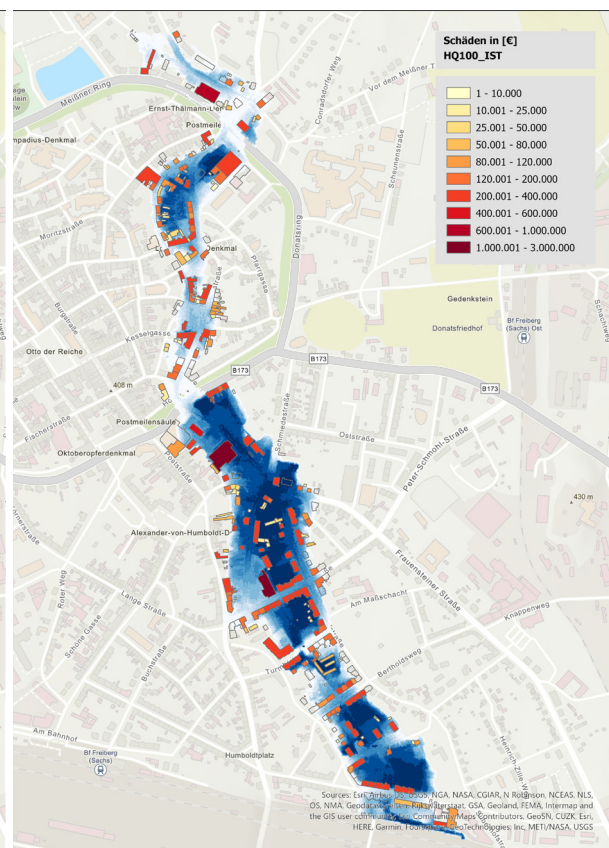
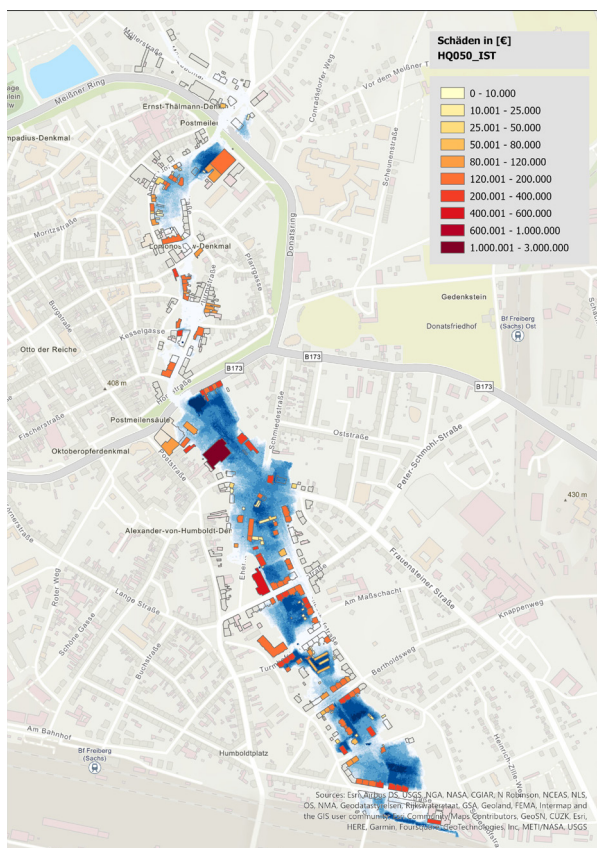
Abbildung 17

Potenzielle Substanz- und Inventarschäden bei Hochwasser des Münzbachs im IST-Zustand.

Links: HQ050.
Rechts: HQ100.

Modellierung:
Sebastian Golz

Visualisierung:
Sebastian Golz



8.4 Planungsvariante 1 (PLV 1)

Abbildung 17 zeigt die zu erwartenden Substanz- und Inventarschäden für die Planungsvariante 1 für jedes hochwassergefährdete Gebäude.

Die Umsetzung der Maßnahmen der PLV 1 führen bei beiden Hochwasserszenarien zu einer signifikanten Minderung der zu erwartenden Schäden im Stadtgebiet (HQ₁₀₀ = -60,6 %). Hohe Einzelschäden verbleiben jedoch bei den beiden Supermärkten, die durch objektbezogene Bauvorsorge gemindert werden könnten.

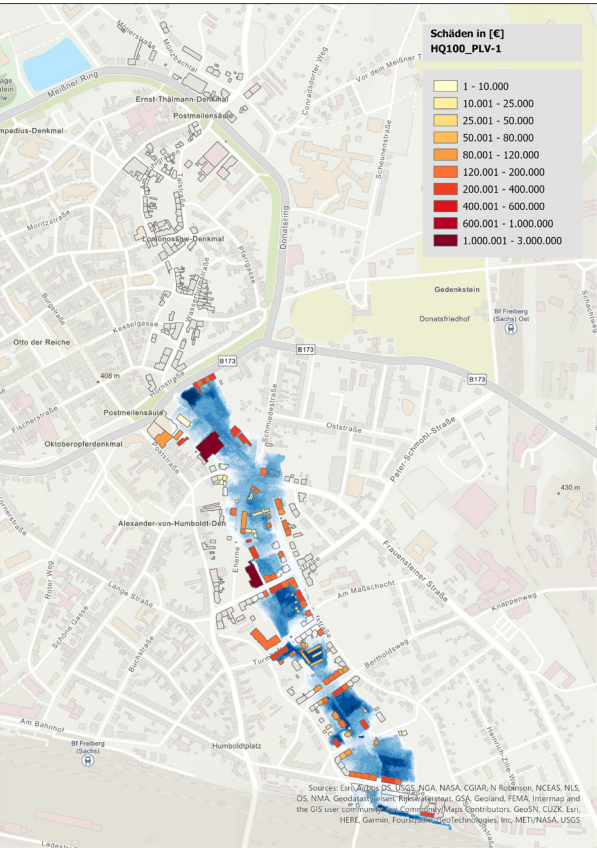
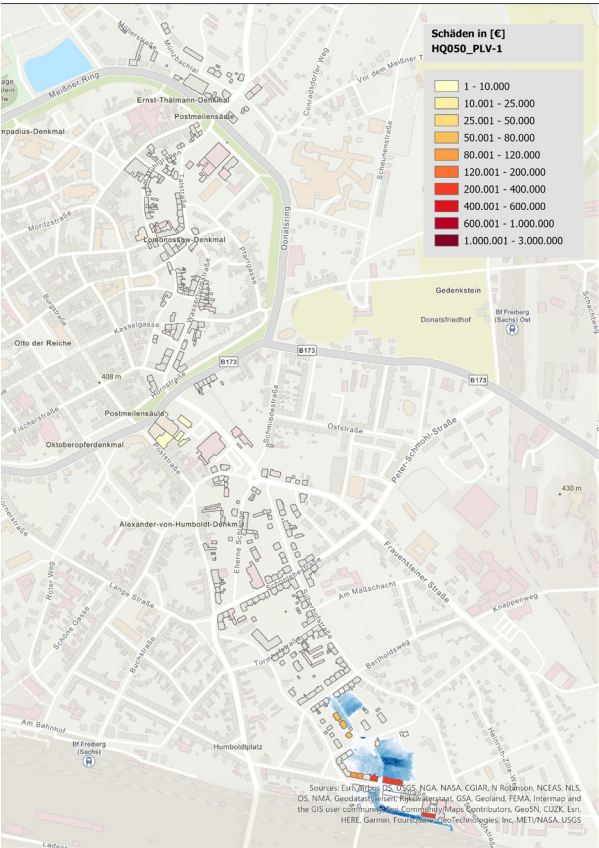
Substanz- und Inventarschäden	HQ050_PLV-1			HQ100_PLV-1		
	Anz	Fläche [m²]	Schaden [€]	Anz	Fläche [m²]	Schaden [€]
Gebäude für öffentliche Zwecke	0	0	0	5	3.096	488.379
Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe	3	1.431	238.249	10	5.986	5.854.775
Nebengebäude	4	95	5.035	44	1.354	205.634
Wohngebäude	25	4.768	1.814.194	107	18.363	11.731.906
Garagen	5	125	26.803	14	1.123	381.380
Summe	37	6.420	2.084.281	180	30.195	18.662.073

Abbildung 18
Potenzielle Substanz- und Inventarschäden bei Hochwasser des Münzbachs für die Planungsvariante PLV 1

Links: HQ050.
Rechts: HQ100.

Modellierung:
Sebastian Golz

Visualisierung:
Sebastian Golz



8.5 Planungsvariante 2 (PLV 2)

Abbildung 18 zeigt die zu erwartenden Substanz- und Inventarschäden für die Planungsvariante 2 für jedes hochwassergefährdete Gebäude.

Die Umsetzung der Maßnahmen der PLV 2 führen bei beiden Hochwasserszenarien zu einer moderaten Minderung der zu erwartenden Schäden im Stadtgebiet ($HQ_{100} = -38,3\%$) gegenüber dem IST-Zustand. Die PLV 2 ist im Hinblick auf die Schadensminderung deutlich weniger wirksam als die PLV 1.

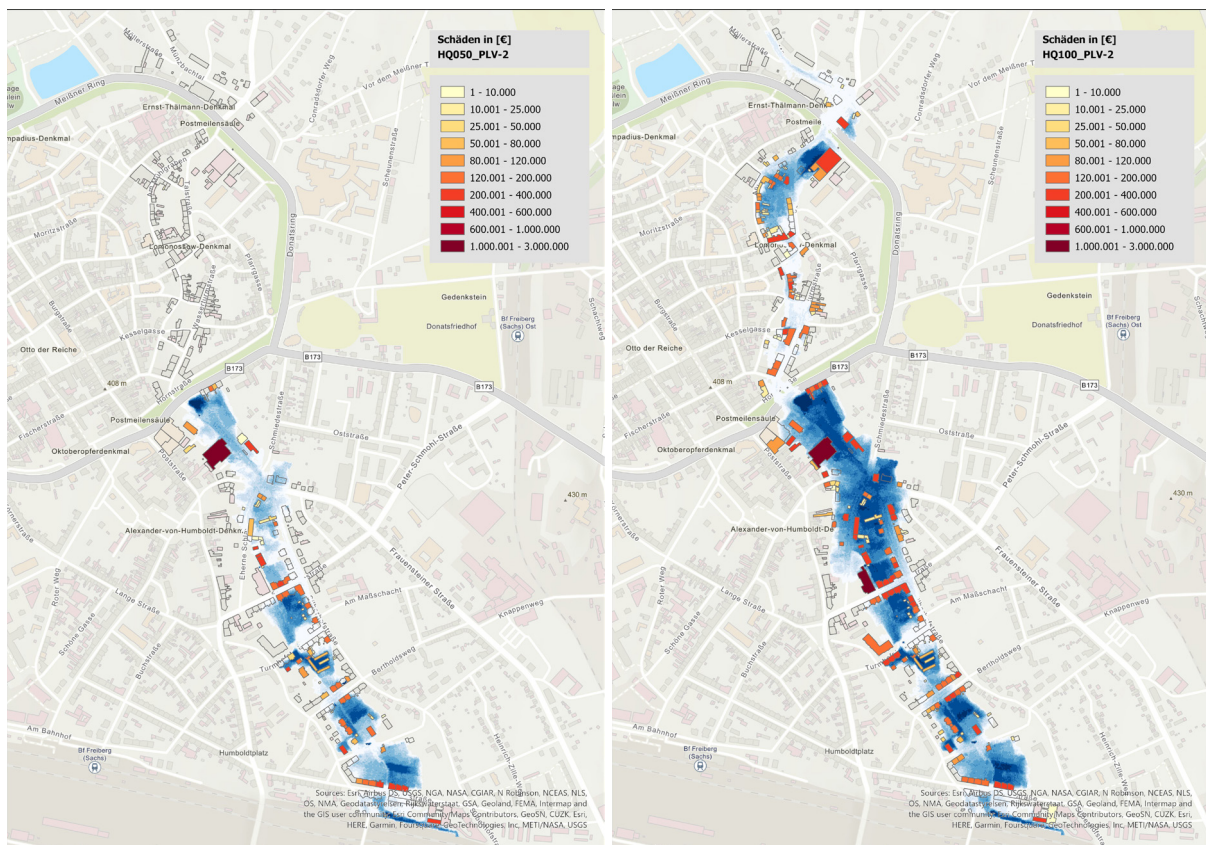
Substanz- und Inventarschäden	HQ050_PLV-2			HQ100_PLV-2		
	Anz	Fläche [m²]	Schaden [€]	Anz	Fläche [m²]	Schaden [€]
Gebäude für öffentliche Zwecke	4	1.717	139.167	4	1.717	827.947
Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe	7	3.632	3.693.360	14	8727	6.867.484
Nebengebäude	36	1.046	155.199	78	3.024	422.750
Wohngebäude	48	7.271	6.861.285	127	20.516	20.712.929
Wohngebäude	12	970	284.799	22	1.860	596.842
Summe	107	14.637	11.133.809	245	35.845	29.427.951

Abbildung 19
Potenzielle Substanz- und Inventarschäden bei Hochwasser des Münzbachs für die Planungsvariante PLV 2

Links: HQ050.
Rechts: HQ100.

Modellierung:
Sebastian Golz

Visualisierung:
Sebastian Golz



8.6 Planungsvariante 3 (PLV 1+2)

Mit der Umsetzung der Planungsvariante 1 als auch der Planungsvariante 2 wird das definierte Hochwasserschutzziel erreicht. Das bedeutet, dass auch bei einem HQ_{100} -Ereignis am Münzbach keine Überschwemmungen im Stadtgebiet Freiberg auftreten [U 1]. Folglich sind auch keine hochwasserbedingten Schäden zu erwarten.

9 Nutzen-Kosten-Betrachtung

9.1 Überblick

Die Nutzen-Kosten-Analyse bildet ein geeignetes mathematisch-statistisches Verfahren um die Wirtschaftlichkeit von Hochwasserschutzmaßnahmen nachzuweisen. Je größer das Verhältnis zwischen dem Geldwert des erbrachten Nutzens und dem Geldwert des hierfür erforderlichen Aufwands ist, desto höher ist die Effizienz der jeweiligen Planungsvariante. Wenn das Nutzen-Kosten-Verhältnis größer als eins ist, dann gilt die Lösung im Allgemeinen als wirtschaftlich.

9.2 Kostenbarwerte

Die Ermittlung der Kostenbarwerte basiert methodisch auf den KVR-Leitlinien der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) bzw. der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (DWA 2012).

Kostenbarwert

Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 1 + Variante 2
Maßnahme	Abschlagbauwerk und Überleitungsstollen am Großen Hüttenteich in Richtung Freiburger Mulde	Hochwasserrückhaltebecken (HRB) am Standort Biberteich	Hochwasserrückhaltebecken (HRB) am Standort Biberteich sowie Abschlagbauwerk und Überleitungsstollen am Großen Hüttenteich in Richtung Freiburger Mulde
IK			
Investitionskosten gemäß [U 4]	17.250.000 € (Netto)	11.163.263 € (Netto)	28.413.263 € (Netto)
IKR			
Reinvestitionskosten, Annahme	– € (Netto)	– € (Netto)	– € (Netto)
LK			
laufende Kosten, Annahme	10.000 € (Netto)	10.000 € (Netto)	20.000 € (Netto)
n			
Nutzungsdauer, Annahme	80 Jahre	80 Jahre	80 Jahre
DFAKPR			
Diskontierungsfaktor, Annahme	55,266 (r = 2 %, i = 3 %)	55,266 (r = 2 %, i = 3 %)	55,266 (r = 2 %, i = 3 %)

Tabelle 7

Kostenarten und Diskontierungsfaktor

Die KVR-Leitlinien ermöglichen die Berücksichtigung sowohl von Opportunitätskosten als auch von Diskontierungseffekten, d. h. der Abzinsung zukünftiger Zahlungen, bei der Ermittlung des gegenwärtigen Kostenbarwerts.

Der Kostenbarwert (KBW) setzt sich aus den Investitionskosten (IK), den Reinvestitionskosten (IKR) sowie den laufenden Kosten (LK) zusammen. Die LK werden mit dem Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen $DFAKRP(r; i; n)$ multipliziert, um die Geldwertänderung im Zeitverlauf berücksichtigen zu können. Tabelle 6 enthält die variantenspezifischen Kostenansätze. Die Grundlage für die Feststellung der Investitionskosten bildet [U 5].

$$KBW = IK + IKR + LK * DFAKRP(r, i, n)$$

$$DFAKRP(r, i, n) = (1 + r) * \frac{(1 + i)^n - (1 + r)^n}{(1 + i)^n * (i - r)}$$

mit r Steigerungsrate in [Prozent]
 i Zinssatz in [Prozent]
 n Nutzungsdauer in [Jahren]

9.3 Nutzenbarwerte

Der Nutzenbarwert (NBW) entspricht der Differenz zwischen dem Schadenserwartungswert im Ist-Zustand (SEW_{ist}) und dem Schadenserwartungswert im jeweils betrachteten Plan-Zustand (SEW_{plan}), multipliziert mit dem Diskontierungsfaktor $DFAKRP(r; i; n)$.

$$NBW = (SEW_{ist} - SEW_{plan}) * DFAKRP(r, i, n)$$

Die Schadenserwartungswerte beziehen sich nicht nur auf ein Einzelereignis mit bestimmter Magnitude, sondern sie verknüpfen die Auftretswahrscheinlichkeiten verschiedener Überflutungsereignisse mit ihren jeweiligen Schadenshöhen. Die Schadenserwartungswerte dienen somit als Maß für das Risiko vor (SEW_{ist}) und nach (SEW_{plan}) der Realisierung von Hochwasserschutzmaßnahmen.

Bei der Berechnung der Nutzenbarwerte sind der Neuwert- und der Zeitwertansatz zu unterscheiden. Der Neuwertansatz basiert auf den Wiederherstellungs- bzw. Wiederbeschaffungskosten im Schadensjahr zu den jeweils aktuellen Preisen. Der Zeitwertansatz berücksichtigt hingegen den technischen bzw. ökonomischen Verschleiß seit der Anschaffung bis zum Schadensjahr durch Abschreibungen. Beide Ansätze finden in der Praxis ihre Anwendung. Der Neuwertansatz kommt häufig im Rahmen der Schadensregulierung durch Versicherungen oder staatliche Finanzhilfen zur Anwendung, während der Zeitwertansatz für wirtschaftliche Analysen herangezogen wird. Die nachfolgenden Nutzen-Kosten-Vergleiche beziehen sowohl den

- a) Neuwert = Faktor 1,0 (vgl. Abschnitt 9.4) als auch den
- b) Zeitwert = Faktor 0,6 (vgl. Abschnitt 9.5) mit ein.

Nutzenbarwert

Schadenserwartungswert

Neu- und Zeitwertansatz

Als Basis für die Kalkulation der NBW gelten folgende Annahmen:

- progressive Nutzenreihe mit einer Nutzensteigerungsrate von $r = 2\%$ p.a.
- effektiver Zinssatz von $i = 3\%$ p.a.
- Nutzungsdauer von $n = 80$ Jahren angesetzt.

Der Diskontierungsfaktor $DFAKRP(2; 3; 80)$ für progressiv steigende Nutzen-Kosten-Reihen beträgt unter diesen Basisannahmen 55,266. Er dient der zeitlichen Gewichtung der Nominalkosten.

Wesentliche Kalkulationsgrößen bei der Ermittlung der Kosten- und Nutzenbarwerte sind der Untersuchungszeitraum (Nutzungsdauer), der Zinssatz und die Preissteigerungsrate. Sie haben einen erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer Planungsvariante. Die Abschnitte 9.6 bis 9.11 enthalten deshalb Sensitivitätsprüfungen.

Basisannahmen

Sensitivitätsprüfungen

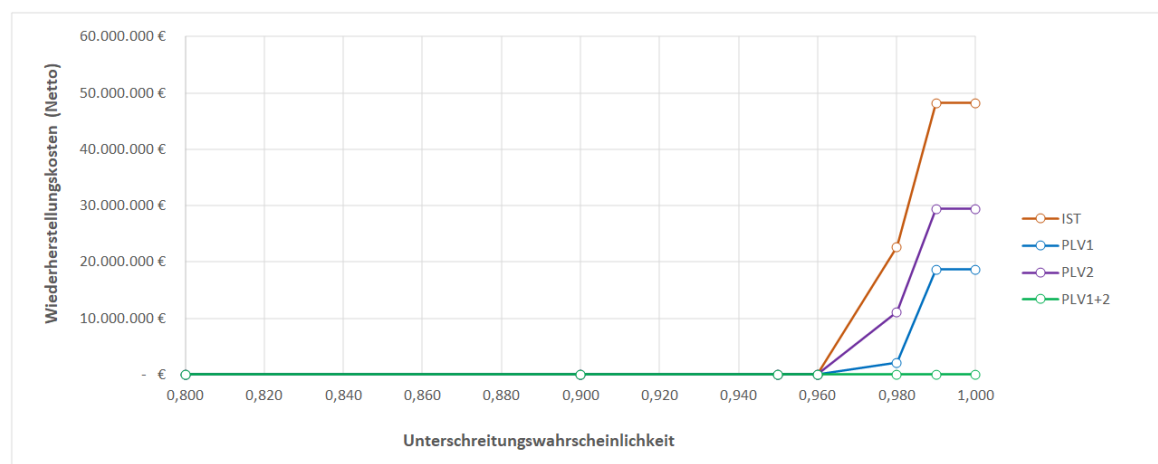
9.4 Nutzen-Kosten Vergleich (Zeitwertfaktor 1,0)

Überflutungs- szenario	Überschreitungs- wahrscheinlichkeit	Unterschreitungs- wahrscheinlichkeit	Wiederherstellungs- kosten (Netto) IST in [EUR]	Wiederherstellungs- kosten (Netto) PLV1 in [EUR]	Wiederherstellungs- kosten (Netto) PLV2 in [EUR]	Wiederherstellungs- kosten (Netto) PLV1+2 in [EUR]
HQ005	0,200	0,800	- €	- €	- €	- €
HQ010	0,100	0,900	- €	- €	- €	- €
HQ020	0,050	0,950	- €	- €	- €	- €
HQ025	0,040	0,960	- €	- €	- €	- €
HQ050	0,020	0,980	22.621.712 €	2.084.281 €	11.133.809 €	- €
HQ100	0,010	0,990	48.188.574 €	18.662.073 €	29.427.951 €	- €
HQ _∞	0	1,000	48.188.574 €	18.662.073 €	29.427.951 €	- €

SEW (Euro/a)	1.062.200 €	311.200 €	608.500 €	- €
--------------	-------------	-----------	-----------	-----

SEW enthält keine Wertschöpfungsverluste, Infrastruktur- und PKW-Schäden)

Minderung des Schadenserwartungswerts (Δ_SEW_i), absolut (Euro/a)	751.000 €	453.700 €	1.062.200 €
Minderung des Schadenserwartungswerts (Δ_SEW_i), relativ (Prozent)	70,7%	42,7%	100,0%



Nutzenbarwerte						
i	Δ_SEW_i	r (Steigerungsrate)	i (Zinssatz)	n (Jahre)	DFAKRP (r, i, n)	Nutzenbarwert
1 (IST - PLV1)	751.000 €	2%	3%	80	55,266	41.504.525 €
2 (IST - PLV2)	453.700 €	2%	3%	80	55,266	25.074.039 €
3 (IST - PLV1+2)	1.062.200 €	2%	3%	80	55,266	58.703.204 €

Kostenbarwerte					
i	IK (Investitionskosten)	IKR (Reinvestitionskosten)	LK (laufende Kosten)	DFAKRP (r, i, n)	Kostenbarwert
1 (IST - PLV1)	17.250.000 €	- €	10.000 €	55,266	17.802.657 €
2 (IST - PLV2)	11.163.263 €	- €	10.000 €	55,266	11.715.920 €
3 (IST - PLV1+2)	28.413.263 €	- €	20.000 €	55,266	29.518.577 €

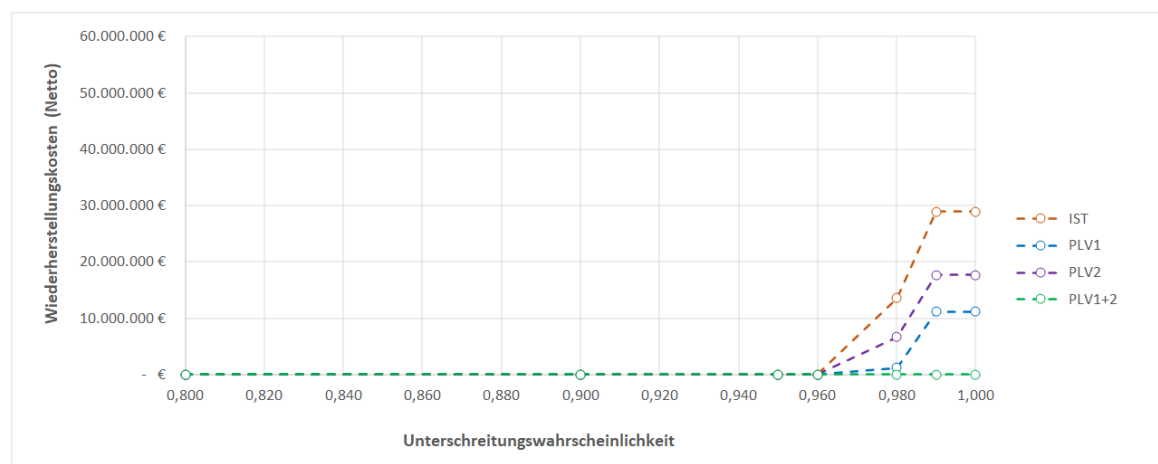
Nutzen-Kosten-Verhältnisse	
i	NKV
1 (IST - PLV1)	2,33
2 (IST - PLV2)	2,14
3 (IST - PLV1+2)	1,99

9.5 Nutzen-Kosten Vergleich (Zeitwertfaktor 0,6)

Überflutungs- szenario	Überschreitungs- wahrscheinlichkeit	Unterschreitungs- wahrscheinlichkeit	Wiederherstellungs- kosten (Netto) IST in [EUR]	Wiederherstellungs- kosten (Netto) PLV1 in [EUR]	Wiederherstellungs- kosten (Netto) PLV2 in [EUR]	Wiederherstellungs- kosten (Netto) PLV1+2 in [EUR]
HQ005	0,200	0,800	- €	- €	- €	- €
HQ010	0,100	0,900	- €	- €	- €	- €
HQ020	0,050	0,950	- €	- €	- €	- €
HQ025	0,040	0,960	- €	- €	- €	- €
HQ050	0,020	0,980	13.573.027 €	1.250.569 €	6.680.286 €	- €
HQ100	0,010	0,990	28.913.144 €	11.197.244 €	17.656.771 €	- €
HQ _∞	0	1,000	28.913.144 €	11.197.244 €	17.656.771 €	- €
SEW (Euro/a)			637.300 €	186.800 €	365.100 €	- €

SEW enthält keine Wertschöpfungsverluste, Infrastruktur- und PKW-Schäden)

Minderung des Schadenserwartungswerts (Δ_SEW_i), absolut (Euro/a)	450.500 €	272.200 €	637.300 €
Minderung des Schadenserwartungswerts (Δ_SEW_i), relativ (Prozent)	70,7%	42,7%	100,0%



Nutzenbarwerte						
i	Δ_SEW_i	r (Steigerungsrate)	i (Zinssatz)	n (Jahre)	DFAKRP (r, i, n)	Nutzenbarwert
1 (IST - PLV1)	450.500 €	2%	3%	80	55,266	24.897.188 €
2 (IST - PLV2)	272.200 €	2%	3%	80	55,266	15.043.318 €
3 (IST - PLV1+2)	637.300 €	2%	3%	80	55,266	35.220.817 €

Kostenbarwerte					
i	IK (Investitionskosten)	IKR (Reinvestitionskosten)	LK (laufende Kosten)	DFAKRP (r, i, n)	Kostenbarwert
1 (IST - PLV1)	17.250.000 €	- €	10.000 €	55,266	17.802.657 €
2 (IST - PLV2)	11.163.263 €	- €	10.000 €	55,266	11.715.920 €
3 (IST - PLV1+2)	28.413.263 €	- €	20.000 €	55,266	29.518.577 €

Nutzen-Kosten-Verhältnisse	
i	NKV
1 (IST - PLV1)	1,40
2 (IST - PLV2)	1,28
3 (IST - PLV1+2)	1,19

9.6 Sensitivitätsanalysen Planungsvariante 1 (Zeitwertfaktor 1,0)

DFAKRP (r;i;n)		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	122,888	80,000	55,078	39,980	30,429	24,121
	1,5%	155,002	98,349	65,986	46,741	34,804	27,075
	2,0%	197,647	122,339	71,783	55,266	40,213	30,655
	3,0%	331,004	195,715	121,803	79,935	55,450	40,443

n (Jahre) = 80

Nutzenbarwerte		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	92.289.108 €	60.080.023 €	41.363.851 €	30.024.851 €	22.852.125 €	18.114.615 €
	1,5%	116.406.138 €	73.859.974 €	49.555.313 €	35.102.459 €	26.137.665 €	20.332.970 €
	2,0%	148.433.195 €	91.876.290 €	53.908.984 €	41.504.525 €	30.199.663 €	23.022.179 €
	3,0%	248.583.936 €	146.982.172 €	91.473.803 €	60.031.260 €	41.643.153 €	30.372.617 €

n (Jahre) = 80

Δ_{SEW_1} = 751.000 €

Kostenbarwerte		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	18.478.883 €	18.050.000 €	17.800.784 €	17.649.798 €	17.554.289 €	17.491.207 €
	1,5%	18.800.015 €	18.233.488 €	17.909.858 €	17.717.410 €	17.598.038 €	17.520.745 €
	2,0%	19.226.474 €	18.473.386 €	17.967.829 €	17.802.657 €	17.652.126 €	17.556.554 €
	3,0%	20.560.039 €	19.207.153 €	18.468.027 €	18.049.351 €	17.804.503 €	17.654.429 €

n (Jahre) = 80

IK = 17.250.000 €

IKR = - €

LK = 10.000 €

Nutzen-Kosten-Verhältnis		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	4,99	3,33	2,32	1,70	1,30	1,04
	1,5%	6,19	4,05	2,77	1,98	1,49	1,16
	2,0%	7,72	4,97	3,00	2,33	1,71	1,31
	3,0%	12,09	7,65	4,95	3,33	2,34	1,72

9.7 Sensitivitätsanalysen Planungsvariante 1 (Zeitwertfaktor 0,6)

DFAKRP (r;i;n)		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	122,888	80,000	55,078	39,980	30,429	24,121
	1,5%	155,002	98,349	65,986	46,741	34,804	27,075
	2,0%	197,647	122,339	71,783	55,266	40,213	30,655
	3,0%	331,004	195,715	121,803	79,935	55,450	40,443

n (Jahre) = 80

Nutzenbarwerte		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	55.361.176 €	36.040.014 €	24.812.803 €	18.010.913 €	13.708.232 €	10.866.357 €
	1,5%	69.828.183 €	44.306.150 €	29.726.589 €	21.056.801 €	15.679.118 €	12.197.074 €
	2,0%	89.040.152 €	55.113.540 €	32.338.212 €	24.897.188 €	18.115.776 €	13.810.242 €
	3,0%	149.117.261 €	88.169.732 €	54.872.102 €	36.010.762 €	24.980.347 €	18.219.526 €

n (Jahre) = 80

Δ_SEW_1 = 450.500 €

Kostenbarwerte		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	18.478.883 €	18.050.000 €	17.800.784 €	17.649.798 €	17.554.289 €	17.491.207 €
	1,5%	18.800.015 €	18.233.488 €	17.909.858 €	17.717.410 €	17.598.038 €	17.520.745 €
	2,0%	19.226.474 €	18.473.386 €	17.967.829 €	17.802.657 €	17.652.126 €	17.556.554 €
	3,0%	20.560.039 €	19.207.153 €	18.468.027 €	18.049.351 €	17.804.503 €	17.654.429 €

n (Jahre) = 80

IK = 17.250.000 €

IKR = - €

LK = 10.000 €

Nutzen-Kosten-Verhältnis		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	3,00	2,00	1,39	1,02	0,78	0,62
	1,5%	3,71	2,43	1,66	1,19	0,89	0,70
	2,0%	4,63	2,98	1,80	1,40	1,03	0,79
	3,0%	7,25	4,59	2,97	2,00	1,40	1,03

9.8 Sensitivitätsanalysen Planungsvariante 2 (Zeitwertfaktor 1,0)

DFAKRP (r;i;n)		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	122,888	80,000	55,078	39,980	30,429	24,121
	1,5%	155,002	98,349	65,986	46,741	34,804	27,075
	2,0%	197,647	122,339	71,783	55,266	40,213	30,655
	3,0%	331,004	195,715	121,803	79,935	55,450	40,443

n (Jahre) = 80

Nutzenbarwerte		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	55.754.418 €	36.296.014 €	24.989.054 €	18.138.848 €	13.805.605 €	10.943.543 €
	1,5%	70.324.187 €	44.620.866 €	29.937.743 €	21.206.372 €	15.790.491 €	12.283.713 €
	2,0%	89.672.624 €	55.505.024 €	32.567.918 €	25.074.039 €	18.244.457 €	13.908.339 €
	3,0%	150.176.474 €	88.796.021 €	55.261.870 €	36.266.555 €	25.157.787 €	18.348.943 €

n (Jahre) = 80

Δ_{SEW_2} = 453.700 €

Kostenbarwerte		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	12.392.146 €	11.963.263 €	11.714.047 €	11.563.061 €	11.467.552 €	11.404.470 €
	1,5%	12.713.278 €	12.146.751 €	11.823.121 €	11.630.673 €	11.511.301 €	11.434.008 €
	2,0%	13.139.737 €	12.386.649 €	11.881.092 €	11.715.920 €	11.565.389 €	11.469.817 €
	3,0%	14.473.302 €	13.120.416 €	12.381.290 €	11.962.614 €	11.717.766 €	11.567.692 €

n (Jahre) = 80

IK = 11.163.263 €

IKR = - €

LK = 10.000 €

Nutzen-Kosten-Verhältnis		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	4,50	3,03	2,13	1,57	1,20	0,96
	1,5%	5,53	3,67	2,53	1,82	1,37	1,07
	2,0%	6,82	4,48	2,74	2,14	1,58	1,21
	3,0%	10,38	6,77	4,46	3,03	2,15	1,59

9.9 Sensitivitätsanalysen Planungsvariante 2 (Zeitwertfaktor 0,6)

DFAKRP (r;i;n)		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	122,888	80,000	55,078	39,980	30,429	24,121
	1,5%	155,002	98,349	65,986	46,741	34,804	27,075
	2,0%	197,647	122,339	71,783	55,266	40,213	30,655
	3,0%	331,004	195,715	121,803	79,935	55,450	40,443

n (Jahre) = 80

Nutzenbarwerte		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	33.450.193 €	21.776.009 €	14.992.331 €	10.882.509 €	8.282.754 €	6.565.643 €
	1,5%	42.191.412 €	26.770.553 €	17.961.326 €	12.722.889 €	9.473.598 €	7.369.686 €
	2,0%	53.799.621 €	33.300.568 €	19.539.315 €	15.043.318 €	10.945.870 €	8.344.390 €
	3,0%	90.099.264 €	53.273.698 €	33.154.686 €	21.758.334 €	15.093.563 €	11.008.557 €

n (Jahre) = 80

Δ_{SEW_2} = 272.200 €

Kostenbarwerte		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	12.392.146 €	11.963.263 €	11.714.047 €	11.563.061 €	11.467.552 €	11.404.470 €
	1,5%	12.713.278 €	12.146.751 €	11.823.121 €	11.630.673 €	11.511.301 €	11.434.008 €
	2,0%	13.139.737 €	12.386.649 €	11.881.092 €	11.715.920 €	11.565.389 €	11.469.817 €
	3,0%	14.473.302 €	13.120.416 €	12.381.290 €	11.962.614 €	11.717.766 €	11.567.692 €

n (Jahre) = 80

IK = 11.163.263 €

IKR = - €

LK = 10.000 €

Nutzen-Kosten-Verhältnis		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	2,70	1,82	1,28	0,94	0,72	0,58
	1,5%	3,32	2,20	1,52	1,09	0,82	0,64
	2,0%	4,09	2,69	1,64	1,28	0,95	0,73
	3,0%	6,23	4,06	2,68	1,82	1,29	0,95

9.10 Sensitivitätsanalysen Planungsvariante 1+2 (Zeitwertfaktor 1,0)

DFAKRP (r;i;n)		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	122,888	80,000	55,078	39,980	30,429	24,121
	1,5%	155,002	98,349	65,986	46,741	34,804	27,075
	2,0%	197,647	122,339	71,783	55,266	40,213	30,655
	3,0%	331,004	195,715	121,803	79,935	55,450	40,443

n (Jahre) = 80

Nutzenbarwerte		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	130.531.944 €	84.976.033 €	58.504.238 €	42.466.574 €	32.321.607 €	25.620.963 €
	1,5%	164.642.610 €	104.466.131 €	70.090.084 €	49.648.245 €	36.968.612 €	28.758.562 €
	2,0%	209.941.065 €	129.948.064 €	76.247.834 €	58.703.204 €	42.713.824 €	32.562.129 €
	3,0%	351.592.352 €	207.888.766 €	129.378.793 €	84.907.063 €	58.899.277 €	42.958.447 €

n (Jahre) = 80

Δ_{SEW_3} = 1.062.200 €

Kostenbarwerte		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	30.871.029 €	30.013.264 €	29.514.830 €	29.212.860 €	29.021.842 €	28.895.676 €
	1,5%	31.513.293 €	30.380.240 €	29.732.978 €	29.348.082 €	29.109.339 €	28.954.754 €
	2,0%	32.366.211 €	30.860.035 €	29.848.922 €	29.518.577 €	29.217.515 €	29.026.370 €
	3,0%	35.033.341 €	32.327.569 €	30.849.316 €	30.011.965 €	29.522.268 €	29.222.121 €

n (Jahre) = 80

IK = 28.413.263 €

IKR = - €

LK = 20.000 €

Nutzen-Kosten-Verhältnis		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	4,23	2,83	1,98	1,45	1,11	0,89
	1,5%	5,22	3,44	2,36	1,69	1,27	0,99
	2,0%	6,49	4,21	2,55	1,99	1,46	1,12
	3,0%	10,04	6,43	4,19	2,83	2,00	1,47

9.11 Sensitivitätsanalysen Planungsvariante 1+2 (Zeitwertfaktor 0,6)

DFAKRP (r;i;n)		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	122,888	80,000	55,078	39,980	30,429	24,121
	1,5%	155,002	98,349	65,986	46,741	34,804	27,075
	2,0%	197,647	122,339	71,783	55,266	40,213	30,655
	3,0%	331,004	195,715	121,803	79,935	55,450	40,443

n (Jahre) = 80

Nutzenbarwerte		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	78.316.709 €	50.984.020 €	35.101.441 €	25.479.145 €	19.392.356 €	15.372.096 €
	1,5%	98.782.466 €	62.677.712 €	42.052.731 €	29.788.012 €	22.180.471 €	17.254.596 €
	2,0%	125.960.686 €	77.966.391 €	45.747.265 €	35.220.817 €	25.627.490 €	19.536.664 €
	3,0%	210.948.791 €	124.729.345 €	77.624.840 €	50.942.639 €	35.338.457 €	25.774.259 €

n (Jahre) = 80

Δ_{SEW_3} = 637.300 €

Kostenbarwerte		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	30.871.029 €	30.013.264 €	29.514.830 €	29.212.860 €	29.021.842 €	28.895.676 €
	1,5%	31.513.293 €	30.380.240 €	29.732.978 €	29.348.082 €	29.109.339 €	28.954.754 €
	2,0%	32.366.211 €	30.860.035 €	29.848.922 €	29.518.577 €	29.217.515 €	29.026.370 €
	3,0%	35.033.341 €	32.327.569 €	30.849.316 €	30.011.965 €	29.522.268 €	29.222.121 €

n (Jahre) = 80

IK = 28.413.263 €

IKR = - €

LK = 20.000 €

Nutzen-Kosten-Verhältnis		Zinssatz (i) p.a.					
		0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%
Preissteigerungs- rate [r] p.a.	1,0%	2,54	1,70	1,19	0,87	0,67	0,53
	1,5%	3,13	2,06	1,41	1,01	0,76	0,60
	2,0%	3,89	2,53	1,53	1,19	0,88	0,67
	3,0%	6,02	3,86	2,52	1,70	1,20	0,88

10 Zusammenfassung

Das Vorhaben trägt zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von drei Planungsvarianten für den Hochwasserschutz im Stadtgebiet Freiberg bei.

Die Abschätzung potenzielle Schäden an Gebäuden und ihrem Inventar basiert auf der mikroskaligen Repräsentanten-Methode, die im Vergleich zum mesoskaligen Flächenansatz vor allem in kleinräumigen, städtisch geprägten Untersuchungsräumen zu detaillierteren Ergebnissen führt.

Der in Tabelle 8 geführte Nutzen-Kosten-Vergleich zeigt, dass unter den angegebenen Randbedingungen jede der drei Planungsvarianten über ein positives Nutzen-Kosten-Verhältnis $NKV > 1$ verfügt. Die durchgeführten Sensitivitätsuntersuchungen belegen, dass auch bei schwankenden Kostenparametern (Preissteigerungsrate, Zinssatz) überwiegend positive NKV erzielt werden.

Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 1 + Variante 2
Maßnahme	Abschlagbauwerk und Überleitungstollen am Großen Hüttenteich in Richtung Freiburger Mulde	Hochwasserrückhaltebecken (HRB) am Standort Biberteich	Hochwasserrückhaltebecken (HRB) am Standort Biberteich sowie Abschlagbauwerk und Überleitungstollen am Großen Hüttenteich in Richtung Freiburger Mulde
Kostenbarwert Abschnitt 9.2, S. 28 ff.	17.802.657 € (Netto)	11.715.920 € (Netto)	29.518.577 € (Netto)
Nutzenbarwert Abschnitt 9.3, S. 29 ff.	41.504.525 € (Netto)	25.074.039 € (Netto)	58.703.204 € (Netto)
Nutzen-Kosten-Verhältnis Abschnitt 9.4, S. 31 Abschnitt 9.5, S. 32	2,33	2,14	1,99

Tabelle 8

Nutzen-Kosten-Vergleich für alle Planungsvarianten

Annahmen:

Preissteigerung = 2 %
Zinssatz = 3 %
Nutzungsdauer = 80 a
Zeitwertfaktor = 1,0

11 Literatur

- DWA (2012). Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien), 8. überarbeitete Auflage. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)
- Golz, S., Schinke, R., Naumann, T., Garvin, S., & White, I. (2014). Assessing the Effects of Flood Resilient Technologies. In S. Djordjevic, D. Butler, S. Kurzbach, O. Mark, & P. Gourbesville (Eds.) *Proceedings of the International Conference on Flood Resilience: Experiences in Asia and Europe, Exeter, United Kingdom, 5-7 September 2013*, (pp. 109–119). Exeter: University of Exeter.
- Golz, S., Schinke, R., Ortlepp, R., & Naumann, T. (2015). Hochwasserschadenspotentiale und deren gebietsspezifische Erfassung. In R. Jüpner, & U. Müller (Eds.) *Berichtssreihe des Forums zur Europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie, Band 7, Tagungsband zur 7. Veranstaltung des Forums der EU-HWRM-RL am 11. Juni 2015 in Meißen*. Aachen: Shaker Verlag.
- Meyer, V. (2003). Methoden der Sturmflut-Schadenspotentialanalyse der deutschen Nordseeküste. Leipzig: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ).
- Naumann, T., Golz, S., & Schinke, R. (2015a). Parametrisierte synthetische Schadensfunktionen zur Abschätzung hochwasserinduzierter Gebäudeschäden. *WasserWirtschaft*, 105 (9), 28–32.
- Naumann, T., Nikolowski, J., & Golz, S. (2012). Entwicklung analytischer Schadensfunktionen und deren Einsatz in der Projektbewertung. In *DWA-Themen: Schadensanalysen und Projektbewertungen im Hochwasserrisikomanagement*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- Naumann, T., Nikolowski, J., & Golz, S. (2015b). Typologie von Bauobjekten und Hochwasserschäden für das Untersuchungsgebiet. In J. Schanze, R. Schwarze, H.-B. Horlacher, & C. Deilmann (Eds.) *Veränderung und Management der Risiken extremer Hochwasserereignisse in großen Flussgebieten – am Beispiel der Elbe*, (pp. 191–213). Stuttgart: Schweizerbart.
- Neubert, M., Naumann, T., Hennersdorf, J., & Nikolowski, J. (2016). The Geographic Information System-based flood damage simulation model HOWAD. In: *Journal of Flood Risk Management*, 9 (1), S. 36–49. <http://dx.doi.org/10.1111/jfr3.12109>
- Reese, S., Markau, H.-J., & Sterr, H. (2002). MERK - Mikroskalige Evaluation der Risiken in überflutungsgefährdeten Küstenniederungen. Bundesanstalt für Wasserbau. <https://henry.baw.de/server/api/core/bitstreams/a332770a-e06d-49ff-b100-767e09e9d0a9/content>
- Schinke, R., Neubert, M., Hennersdorf, J., & Gruhler, K. (2012). Schadensmodellierung auf der Grundlage gebäudetypologischer Untersuchungen und synthetisch ermittelter Schadensbeziehungen. In: Sommer, T., Deilmann, C., Kreibich, H., Grunenberg, H., Bothmer, D., Ullrich, K. (Hrsg.): *Unterirdische Schadenspotentiale durch Grundhochwasser in urbanen Lebensräumen*. Dresden: Dresdner Grundwasserforschungszentrum, S. 31–72
- Schinke, R., Kaidel, A., Golz, S., Naumann, T., López-Gutiérrez, J. S., Garvin, S. (2016). Analysing the effects of flood-resilience technologies in urban areas using a synthetic model approach. In: *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5 (11), Nr. 202, S. 14
<http://dx.doi.org/10.3390/ijgi5110202>

12 Referenzliste

- 2005–2008 **VERIS-Elbe „Veränderung und Management der Risiken extremer Hochwasserereignisse in großen Flussgebieten – am Beispiel der Elbe“ (BMBF)**

Das Verbundvorhaben VERIS-Elbe untersuchte Veränderungen von Risiken durch extreme Hochwasserereignisse in großen Flussgebieten und Möglichkeiten ihres integrierten Managements. Fallbeispiel war das transnationale Einzugsgebiet der Elbe mit vertiefender Betrachtung der Hochwasserrisiken entlang des deutschen Elbelaufs. Hochwassergefahr, Vulnerabilität und Schadensentstehung wurden auf der Makroskala raum-zeitlich hoch auflösend simuliert. Dabei fanden speziell der mittelfristige Klimawandel und der Wandel der Flächennutzungen in den Flussauen bis zum Jahr 2055 Berücksichtigung. Darauf aufbauend wurden wasserwirtschaftliche, bauliche sowie raumplanerische Handlungsoptionen konzipiert und im Hinblick auf ihre Wirksamkeit und Effizienz analysiert. Abschließend erfolgte eine multikriterielle Bewertung von Risiken und Maßnahmen.

- 2006–2009 **MULTISURE „Entwicklung multisequenzieller Vorsorgestrategien für grundhochwassergefährdete urbane Lebensräume“ (BMBF)**

Die Arbeiten konzentrierten sich auf die Entwicklung eines räumlich, hochauflösenden Schadensmodells zur Ermittlung von Grundhochwasserschäden an unterirdisch gelegenen Gebäudeteilen. Das Schadensmodell zielte damit auch auf ereignis- und szenariobasierten Schadensprognosen ab, so dass sich die Wirksamkeit und die Effizienz von Schutz- bzw. Vorsorgemaßnahmen bewerten ließen.

- 2008–2013 **SCHADE „Erhebung von Schadensfunktionen und Pilotanwendung zur Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen“, Fallstudie Pirna (Landestalsperrenverwaltung Sachsen)**

In dem Vorhaben stand die praktische Erprobung und Weiterentwicklung des in VERIS-Elbe konzipierten Hochwasserschadensmodells im Mittelpunkt. Ziel war die Prüfung der Einsatzmöglichkeit des Modells für Nutzen-Kosten-Analysen von Hochwasserschutzmaßnahmen. Außerdem ging es um die Erweiterung des Ansatzes im Hinblick auf Schäden durch schnell fließende Hochwasserereignisse (Sturzfluten), wie sie insbesondere im Mittelgebirge auftreten.

- 2010–2013 **SMARTeST „Smart Resilient technologies, systems and tools“ Fallstudien Dresden, Heywood (Greater Manchester), Valencia (EU-FP7)**

Das Forschungsprojekte fokussierte die Erforschung und Erprobung baulicher Technologien und Systeme zur Erhöhung der Resilienz gegenüber Überflutung von Gebäuden als charakteristische Rezeptoren im urbanen Siedlungsbereich. Entsprechend der bautechnischen Expertise der Arbeitsgruppe wurden Konstruktionen, Technologien

und Schichtenfolgen untersucht sowie Ansätze zur Implementierung der Wirkung von Anpassungsoptionen in Schadensmodellen entwickelt. Letzteres diente auch einer vergleichenden Analyse von charakteristischen Gebäudetypen in verschiedenen europäischen Fallstudiengebieten, welche hinsichtlich ihrer Resilienz gegenüber Hochwasser sowie ihres diesbezüglichen Optimierungspotenzials untersucht wurden.

2010–2014 **REGKLAM „Regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden“ (BMBF) Teilprojekt 3.1.1**

Die Arbeiten im Teilprojekt »Gebäude- und Siedlungsstrukturen« konzentrierten sich auf die Entwicklung und Umsetzung ganzheitlicher Analysemethoden zur Beurteilung der Verletzbarkeit der in der Modellregion maßgebenden Gebäudetypen und Siedlungsstrukturen gegenüber veränderten Einwirkungen infolge des Klimawandels. Die Beurteilung der Verletzbarkeit ermöglichte es gebäudetypenspezifisch planerische und bautechnische Anpassungsoptionen zu untersuchen und im Hinblick auf ihre bauliche und wirtschaftliche Tauglichkeit zu bewerten. Ein wesentliches Forschungsfeld lag daher in der Entwicklung innovativer Konzepte, welche die Ertüchtigung der relevanten Gebäudetypen hin zu weitgehend klimaresistenten Baustrukturen ermöglichen. Auch wurde die Frage geklärt, in welchem Umfang die baulichen Maßnahmen zur Klimaanpassung geeignet sind unter definierten Einwirkungen potenzielle Gebäudeschäden bzw. Nutzungsbeeinträchtigungen zu reduzieren.

2013–2014 **SCHAD-SYS „Ermittlung von Schadensfunktionen für Wohn- und Nichtwohnbauungen als Datenbasis für den Aufbau eines modularen Schadenerfassungssystems“ (LfULG – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie)**

Das Vorhaben diente der Ermittlung von Daten- und Informationsgrundlagen für eine räumlich hochauflösende Prognose von Gebäudeschäden infolge Hochwasser. Als methodischer Ansatz fungierte hierbei eine gebäudetypologische Differenzierung der Siedlungsstruktur und die Nutzung synthetisch ermittelter Schadensfunktionen. Im Hinblick auf die Projektziele galt es, für relevante Gebäudetypen in Sachsen entsprechende synthetische Schadensfunktionen aufzustellen.

2013–2014 **HWS-Fibel „Überarbeitung der Hochwasserschutzfibel“ (BMUB)**

Das übergeordnete Ziel war die fachliche Konkretisierung des Verhaltens üblicher Baustoffe und insbesondere von Baukonstruktionen unter Hochwasserbeanspruchung, welches in den bisherigen Auflagen der Hochwasserschutzfibel noch nicht hinreichend dargestellt werden konnte. Dabei wurde das Ziel verfolgt, die bautechnische Beurteilung von der in der Fachdiskussion unverändert umstrittenen Betrachtungsebene der Baustoffe auf die im Ereignisfall wesentlich relevantere Betrachtungsebene der Baukonstruktionen bzw. baukonstruktiven Schichtenfolgen zu verlagern.

2013–2015 **STRIMA „Sächsisch-Tschechisches Hochwasserrisikomanagement“, Fallstudie Dresden, Turnov (Liberec) (EU-Ziel 3)**

Die Ziele des Vorhabens umfassten die Identifizierung und die Reduzierung von Unsicherheiten bei der Simulation von Hochwasserschäden durch die Erhebung zusätzlicher schadensrelevanter Gebäudeparameter. Dabei galt es, diese Parameter in einen bereits national und international erprobten Ansatz zu integrieren, welcher die Charakterisierung der Verletzbarkeit auf der Basis von Gebäudetypen ermöglicht. Der verwendete Ansatz zielte dabei auf die Ableitung von Schadensfunktionen ab, welche durch gebietsspezifische Untersuchungen, ein ingenieurgemäßes Vorgehen sowie stufenweise ermittelte und reproduzierbare Wiederherstellungskosten gekennzeichnet sind.

2015–2016 **HWSPOT-THÜ2 „Ermittlung von Hochwasserschadenspotenzialen – Pilotanwendung im Untersuchungsgebiet Greiz“ (TLUG – Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie)**

Das Vorhaben beschäftigt sich mit der Ermittlung des Hochwasserschadenpotentials in einem Untersuchungsgebiet in der Stadt Greiz (Thüringen). Die Vulnerabilitäts- und Risikoanalysen umfassen sowohl den Gebäudebestand (Wohn- und Nichtwohngebäude) als auch ausgewählte Verkehrsinfrastrukturen. Damit werden u.a. die Forschungsziele verfolgt, (i) den in Sachsen erfolgreich erprobten gebäudetypologischen Ansatz in einem weiteren Bundesland erstmalig anzuwenden und gegebenenfalls zu erweitern sowie (ii) weitere Rezeptoren (z. B. Straßenverkehrsinfrastrukturen) hinsichtlich ihrer Vulnerabilität gegenüber der Umweltgefahr Hochwasser mit synthetischen Methoden zu untersuchen. Die Ergebnisse bilden eine wesentliche Grundlage für die Bestimmung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses geplanter Hochwasserschutzmaßnahmen im Stadtgebiet.

2015–2016 **HWSPOT-THÜ3 „Ermittlung potenzieller Hochwasserschäden in ländlich und kleinstädtisch geprägten Siedlungsbereichen auf Basis synthetischer Schadensfunktionen – Pilotanwendung im Untersuchungsgebiet der Pleiße“ (TLUG – Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie)**

Die Schadensprognosen infolge Hochwasser basieren auf einer synthetischen Methodik, bei der gebietsspezifische Schadensfunktionen auf Basis einer stufenweisen, virtuellen Flutung von charakteristischen Gebäuden und der Bestimmung von Wiederherstellungskosten ermittelt werden. Hierbei wird geprüft, welche Anpassungen bzw. Erweiterungen für die Anwendung in Thüringen und für die Reflektion primär ländlich und kleinstädtisch geprägter Siedlungsstrukturen erforderlich sind.

2016–2017 **HWSPOT-THÜ4 „Fortführungskonzept zur Anwendung synthetischer Schadensanalysen im Freistaat Thüringen“ (TLUG – Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie)**

Im Hinblick auf die Ermittlung der Daten- und Informationsgrundlagen galt es zunächst mittels Vor-Ort Kartierungen und unter Beachtung unterschiedlicher räumlicher Verdichtungsgrade (dörfliche, klein- und mittelstädtische Strukturen) einen Überblick zu charakteristischen Gebäudetypen in verschiedenen Flusseinzugsgebieten von Thüringen zu erlangen. Diese Untersuchungen sollten genutzt werden, um für relevante thüringische Gebäudetypen geeignete Repräsentanten zu identifizieren, für die synthetische Wasserstand-Schaden-Funktionen aufzustellen waren. Die Untersuchungen zielten auch auf die Erarbeitung in einer Arbeitshilfe ab, so dass die Nutzung der Ergebnisse und Einsatz der synthetischen Methodik in der Ingenieurpraxis unterstützt wird.

2017–2019 **HUeBro „Haushebung in Ueberschwemmungsgebieten am Beispiel des Elbedorfes Brockwitz“ (BMUB)**

Ziel des Projekts ist die Untersuchung von Machbarkeit, Nachhaltigkeit und Auswirkungen solcher Hebungen mit Blick auf Brockwitz und daraus hervorgehend die Erstellung von Leitlinien als Muster für ähnliche Projekte. Die fachübergreifenden Untersuchungen sollen sämtliche Aspekte von Umwelt-, Natur- und Denkmalschutz über Baukonstruktion und Technik, Orts- und Freiraumplanung, Hydrologie, Hydraulik, Wasserbau und Geotechnik bis hin zu Wirtschaftlichkeit und sozialer Nachhaltigkeit umfassen.

2017–2020 **STRIMA II „Sächsisch-Tschechisches Hochwasserrisikomanagement II“ (EU-Ziel 3)**

Ziele des Vorhabens sind Ansätze zur Abschätzung der möglichen Folgen von hochwasser- und starkniederschlagsinduzierte Überflutungsereignisse für Gebäude, Landnutzungen sowie Verkehrs- und Gewässerinfrastrukturen zu entwickeln bzw. weiterzuentwickeln sowie Effekte der Vorsorge aufzuzeigen. Durch Systematisierung und Klassifizierung werden Vorsorgeoptionen in einen Maßnahmenkatalog sowie in ein webbasiertes Informationssystem überführt, um die Wirkungen der Maßnahmen aufzeigen und Empfehlungen zur Umsetzung vorschlagen zu können. Die entwickelten Ansätze werden darüber hinaus grenzübergreifend in Sachsen und Tschechien getestet.

- seit 2018 **HWVA „Bewertungssystem zur Beurteilung der Schadensanfälligkeit von Wohngebäuden gegenüber Überflutung als Beitrag zum Sächsischen Hochwasservorsorgeausweis“ (SMUL – Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft)**
- Das Ziel des Vorhabens liegt in der Entwicklung und Erprobung eines Systems zur multikriteriellen Bewertung der Schadensanfälligkeit von Wohn- und Gewerbegebäuden gegenüber Überflutung. Die Bewertung der Schadenanfälligkeit bezieht sich sowohl auf die Baukonstruktion als auch die haustechnische Ausstattung bestehender und neu zu errichtender Wohngebäude. Zu den relevanten Einwirkungen zählen hier Überflutungen (a) infolge Flusshochwasser, (b) infolge Grundwasseranstieg, (c) infolge Kanalüberstau und (d) infolge Starkregen. Dieses operationalisierte Bewertungsverfahren bildet zukünftig einen inhaltlichen Teilbereich des neu umzusetzenden „Hochwasservorsorgeausweises“.
- 2018–2020 **BAUTÜV „Bautechnische Überflutungsvorsorge für Wohngebäude und Gebäude mit kleingewerblicher Nutzung“ (GDV – Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft)**
- Durch die Umsetzung gezielter Maßnahmen der objektspezifischen Bauvorsorge lassen sich überflutungsinduzierte Schäden sowohl an bestehenden als auch an neu zu errichtenden Gebäuden in teils erheblichem Umfang mindern. Dieses Vorhaben verdichtet das Wissen über die Handlungsoptionen der Bauvorsorge und unterstützt somit die Praxis bei der Planung robuster Konstruktionen gegenüber Überflutung. Als zentrales Ergebnis des Projekts fungiert ein Bauteilkatalog, der im Sinne einer Beispielsammlung typische Ausführungsvarianten von Außenwand- sowie von Decken- und Fußbodenkonstruktionen enthält.
- 2019–2022 **ADAPTATION STANDARD „Anpassung bestehender Normen an die Folgen des Klimawandels“ (UBA – Umweltbundesamt)**
- Das Vorhaben hat das Ziel, wissenschaftlich begründete Impulse zur Anpassung bestehender Normen und technischer Regeln in Deutschland zu geben. Eine umfassende Analyse soll Normen identifizieren, welche bereits Aspekte zu Folgen des Klimawandels oder Anpassung an den Klimawandel enthalten, und andere Normen, bei denen eine Integration des Themas für die Anpassung förderlich wäre. Für ausgewählte Normen erarbeitet das Projektteam detaillierte Vorschläge für eine Aktualisierung. Thematisch konzentriert sich das Vorhaben vor allem auf die Themen Siedlungsentwässerung sowie Haus- und Bautechnik.
- 2019–2022 **INNOVARU „Innovative Vulnerabilitäts- und Risikobewertung urbaner Räume gegenüber Überflutungsereignissen“ (BMBF)**
- INNOVARU umfasst u. a. die Erarbeitung eines realitätsnahen, praxisbezogenen Modells zur monetären Bewertung potenzieller Hochwasserschäden. Neben der Bestimmung lokaler Überschwemmungsrisiken berücksichtigt das Modell auch die Vulnerabilität einzelner Gebäude. Es erlaubt so eine exakte Abschätzung zu erwartender

Schäden und genaue Kosten-Nutzen-Analysen bereits vor Eintritt eines Überflutungsereignisses. Die neue Methode wird anhand realer Schadenswerte vergangener Ereignisse in drei mittelstädtischen Testgebieten validiert.

2019–2022 **WAWUR „Wild abfließendes Wasser in urbanen Räumen“ (BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit)**

Ziel des WAWUR-Projektes ist es, über die Bestimmung der Starkregenrisiken und deren Berücksichtigung in städtebaulichen Planungen und über die Hochwasserabwehr hinaus, gebäudetypbezogene und gefährdungskonkrete Grundlagen und Ansätze zur Schadensminderung für den Gebäudebestand zur Verfügung zu stellen. Dies soll Multiplikatoren helfen, die im urbanen Bestand potenziell betroffenen privaten Grundstücks- bzw. Gebäudeeigentümer zu motivieren und zu befähigen, individuelle bauliche Eigenvorsorge gegen potenzielle Schäden infolge von Starkregen zu betreiben.

2020–2022 **KLIBAU „Klimaanpassung und Normungsverfahren“ (BBSR – Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung)**

Das Vorhaben hat das Ziel, wesentliche Normen und technische Regelwerke des Bauwesens zu identifizieren und eine Analyse der jeweiligen Betroffenheit durch die Folgen des Klimawandels durchzuführen. Dabei geht es neben DIN-Normen auch um Normen anderer regelsetzender Institutionen in Deutschland, etwa die VDI-Richtlinien oder das DWA-Regelwerk. Das Projekt beschreibt Handlungsempfehlungen, wie der Klimawandel mit seinen Folgen praktikabel in Normungsprozesse integrieren werden kann.

2021–2022 **HWS-Fibel „Aktualisierung der Hochwasserschutzfibel“ (BBSR – Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung)**

Die Neuauflage der »Hochwasserschutzfibel« berücksichtigt alle Aktualisierungen in der Gesetzgebung, in Normen und Richtlinien. Der Teil B »Hinweise zur Bauvorsorge« zeigt zunächst einem Überblick über typische Schadensbilder an der Bausubstanz nach einem Hochwasserereignis. Die anschließende vereinfachte Einschätzung der Hochwasserbeständigkeit üblicher Baustoffe erfolgt unterstützt durch eine visuelle Ampelbewertung anhand von sechs Kriterien. Bewertet werden die Festigkeits-, Form- und Volumenveränderungen von Baustoffen unter Hochwassereinfluss, deren Wasseraufnahme- und Trocknungsverhalten, der Erreichbarkeit und Demontierbarkeit nach einem Schadensfall sowie der Beständigkeit gegenüber einem möglichen Schädlingsbefall. Weiterhin werden Beispiele für eine hochwasserangepasste Ausführung typischer baukonstruktiver Schichtenfolgen aufgezeigt. Neben der Beschreibung und Bebilderung möglicher technischer Schutzmaßnahmen in und an Gebäuden werden Empfehlungen zu gebäudetechnischen Anpassungsmaßnahmen insbesondere zu Feuerstätten und Brennstofflager ergänzt.