



NKU-FG

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

Dr.-Ing. Sebastian Golz

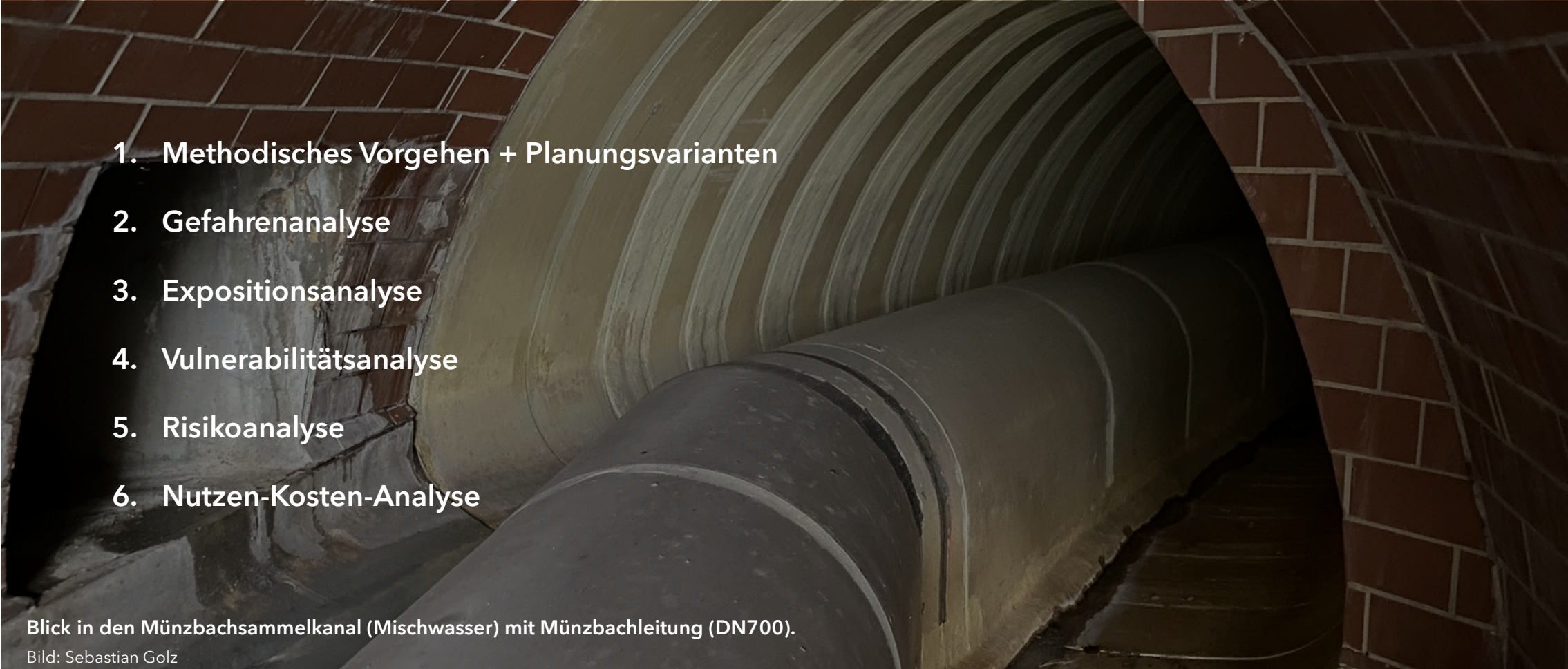
HOWAB Ingenieurberatung

Ergebnisvorstellung Landesdirektion Sachsen

Dresden, 5. Juli 2023

Was dürfen Sie erwarten?

ÜBERBLICK

- 
1. Methodisches Vorgehen + Planungsvarianten
 2. Gefahrenanalyse
 3. Expositionsanalyse
 4. Vulnerabilitätsanalyse
 5. Risikoanalyse
 6. Nutzen-Kosten-Analyse

Blick in den Münzbachsammelkanal (Mischwasser) mit Münzbachleitung (DN700).

Bild: Sebastian Golz

Methodisches Vorgehen

ÜBERBLICK

synthetischer Ansatz für die
mikroskalige Abschätzung
hochwasserbedingter Schäden an
Gebäuden

»**Repräsentanten-Methode**«
(LTV Sachsen)

Gefährdung (**Wassertiefen**) +
Exposition (**Gebäudetypologie**) +
Vulnerabilität (**Schadenfunktionen**) =
Risiko (**Schadenskosten**)

Schadenserwartungswert →
Nutzenbarwerte

Planungsvarianten für den Hochwasserschutz

Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 1 + Variante 2
IST-Zustand	Abschlagbauwerk und Überleitungstollen am Großen Hüttenteich in Richtung Freiburger Mulde	Hochwasserrückhalte- becken (HRB) am Standort Biberteich	Hochwasserrückhaltebe- cken (HRB) am Standort Biberteich sowie Abschlagbauwerk und Überleitungstollen am Großen Hüttenteich in Richtung Freiburger Mulde
	Herstellungs- kosten (Netto) 17.250.000 €	Herstellungs- kosten (Netto) 11.163.263 €	Herstellungs- kosten (Netto) 28.413.263 €

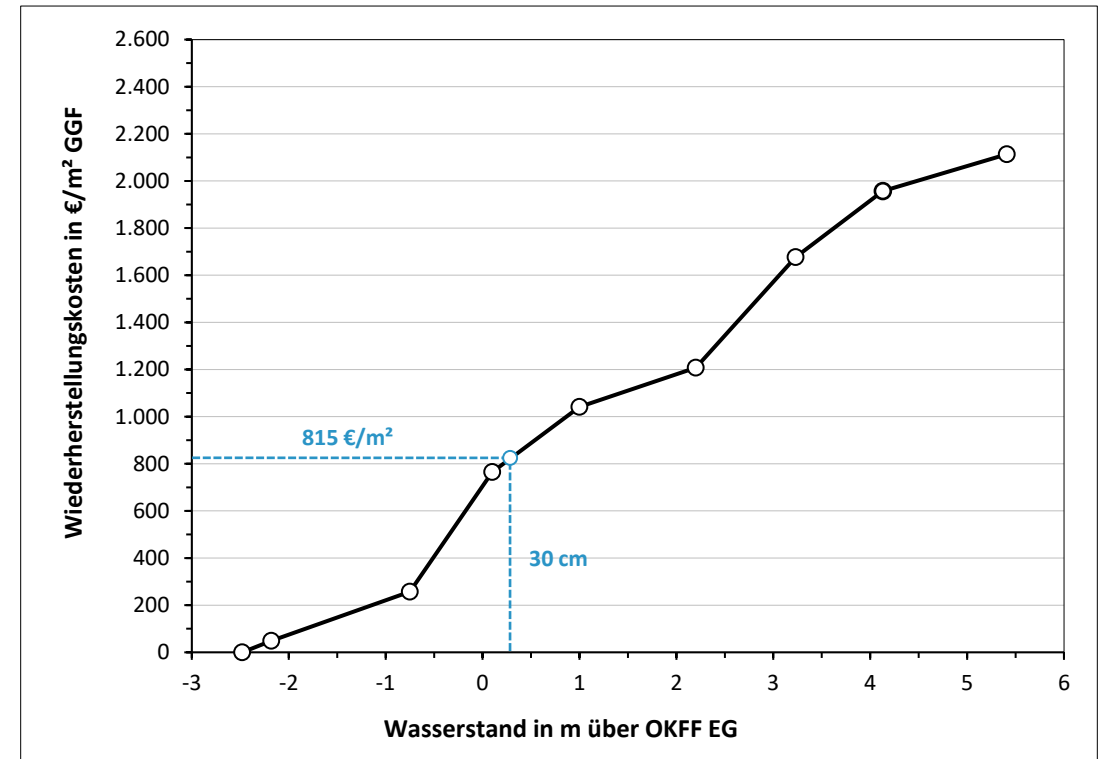
Methodisches Vorgehen

WORKFLOW



Beispiel

einzel stehendes Mehrfamilienhaus der 1920-Jahre,
Überflutungshöhe 30 cm über OK Fertigfußboden im Erdgeschoss

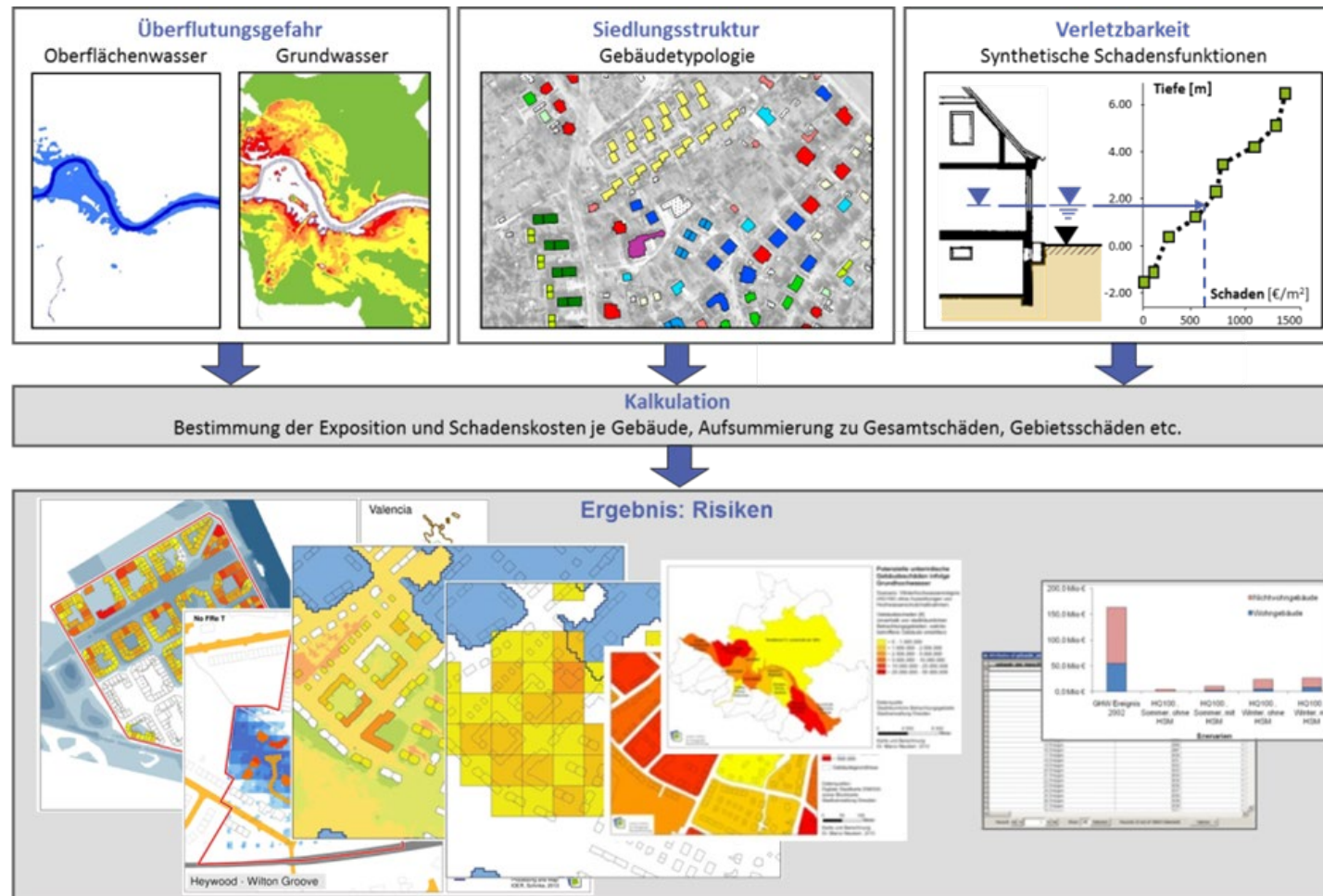


Synthetische Wasserstand-Schaden-Beziehungen

Zusammenhang zwischen Überflutungshöhe und
Wiederherstellungskosten

Methodisches Vorgehen

WORKFLOW



Hochwassergefährdung

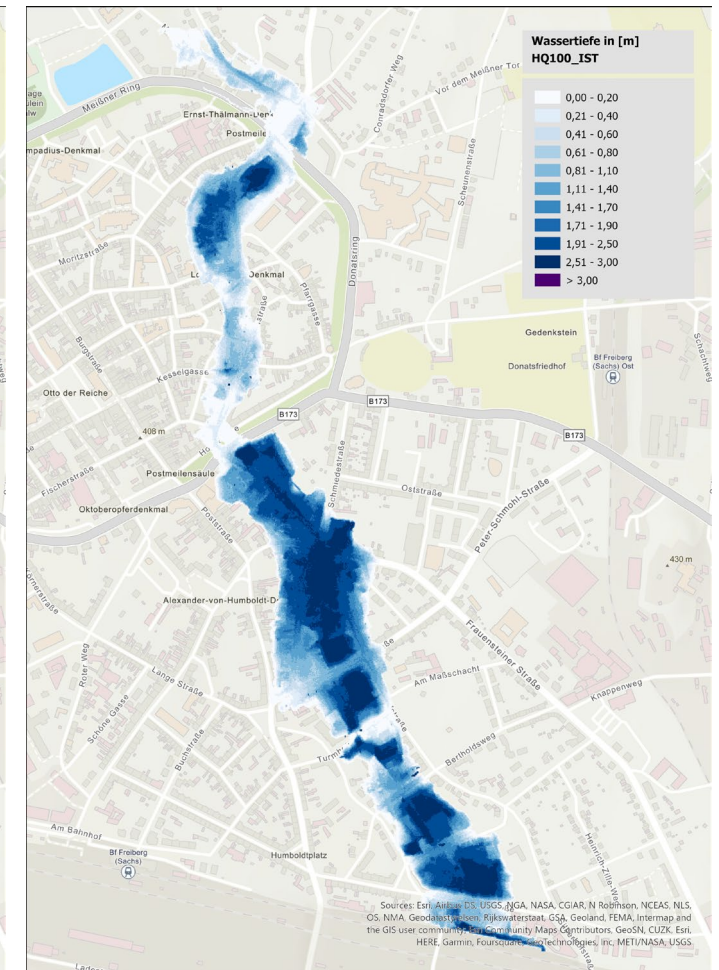
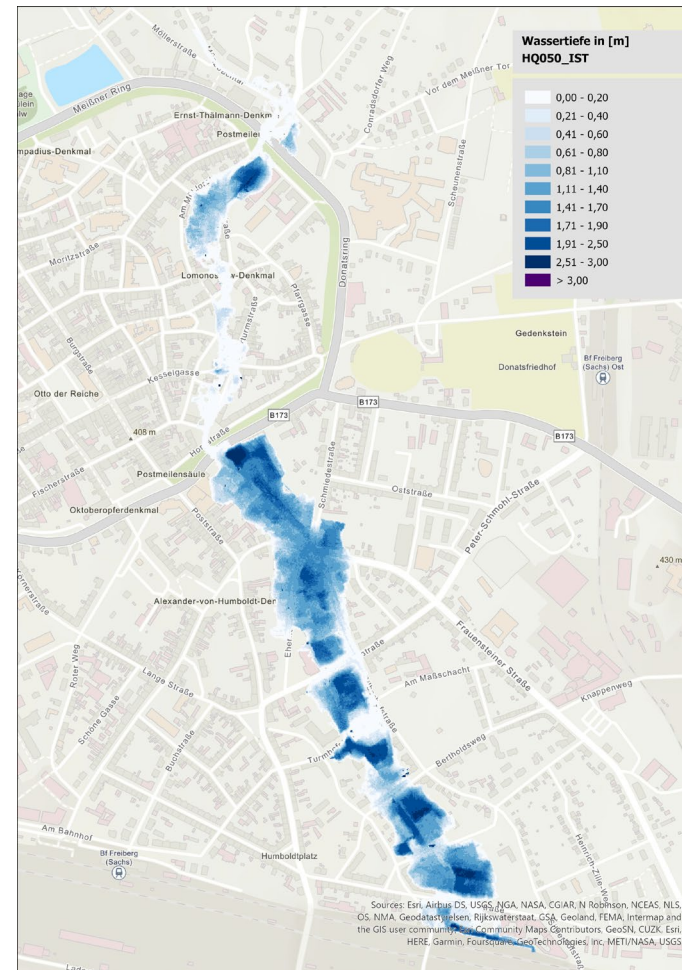
IST-ZUSTAND

Resultierende Überschwemmungsflächen und Wassertiefen für den IST-Zustand bei einem HQ₅₀- bzw. HQ₁₀₀-Hochwasserereignis des Münzbachs im Stadtgebiet Freiberg

Datengrundlage: hydraulische Berechnungen für die beiden Hochwasserszenarien der ARCADIS Germany GmbH mit der Software »FloodArea« gemäß [U 4]

Ausgeprägte Senkenlage führt entlang des gesamten innerstädtischen Münzbachsammelkanals bei einem HQ₁₀₀-Ereignis zu **markanten Wasserständen von bis zu 3 m über der Geländeoberkante**

Besonders hohe Wasserstände sind an der Bebauung entlang der »Ehernen Schlange«, der »Talstraße« sowie der »Silberhofstraße« zu erwarten

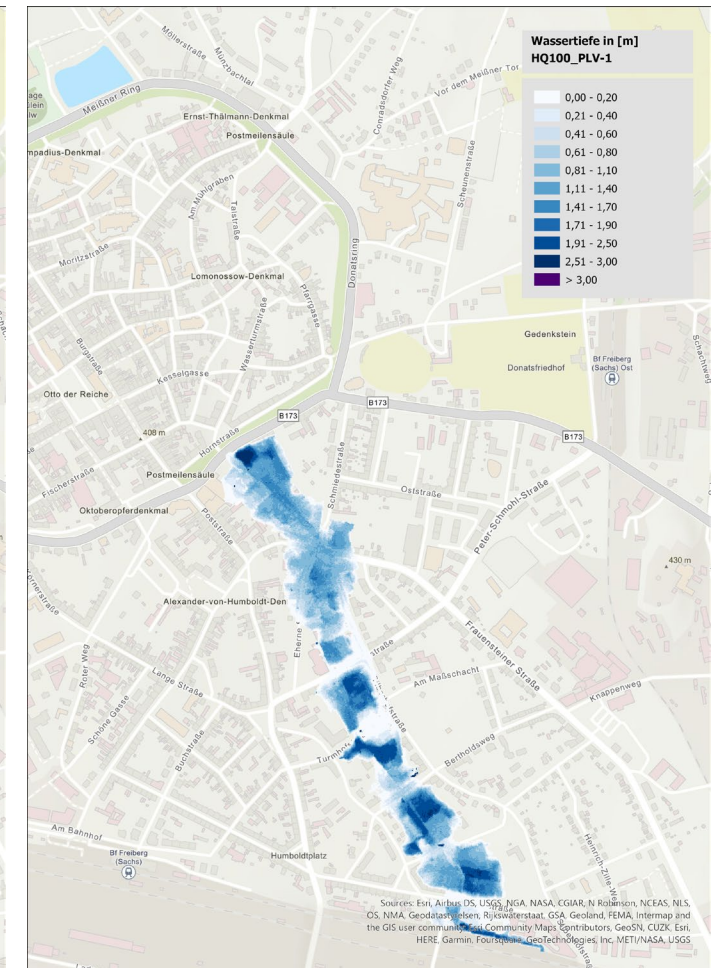
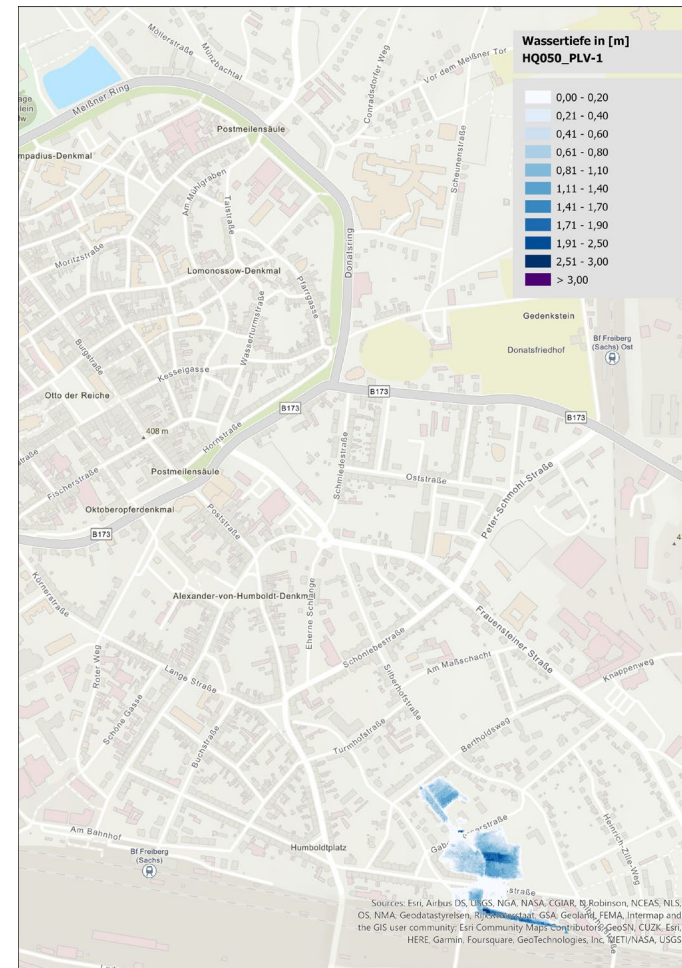


Hochwassergefährdung

PLANUNGSVARIANTE 1

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.

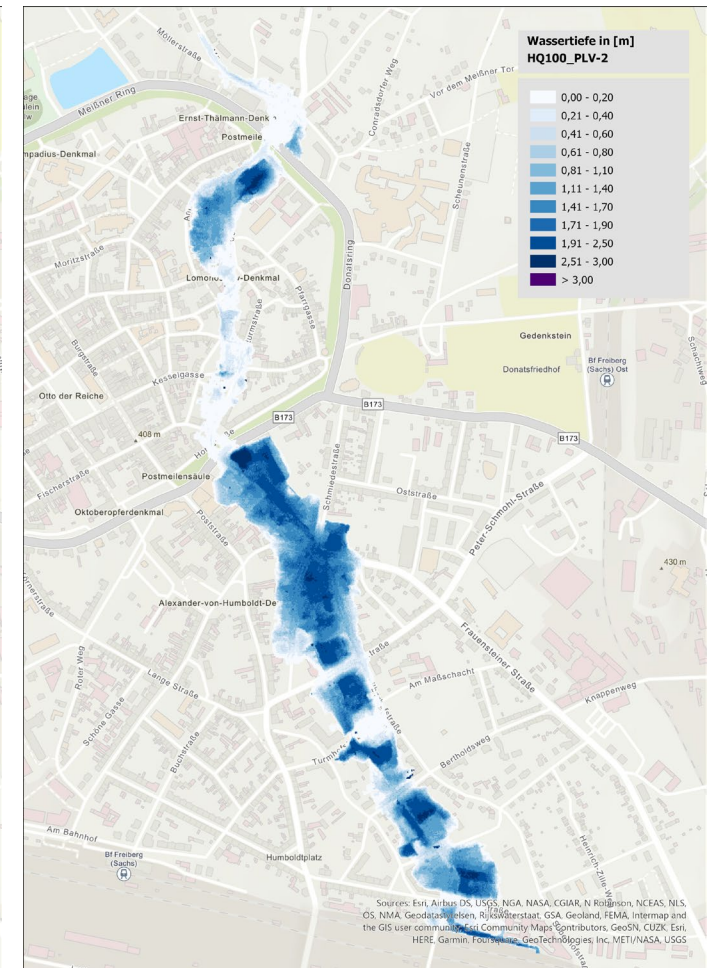
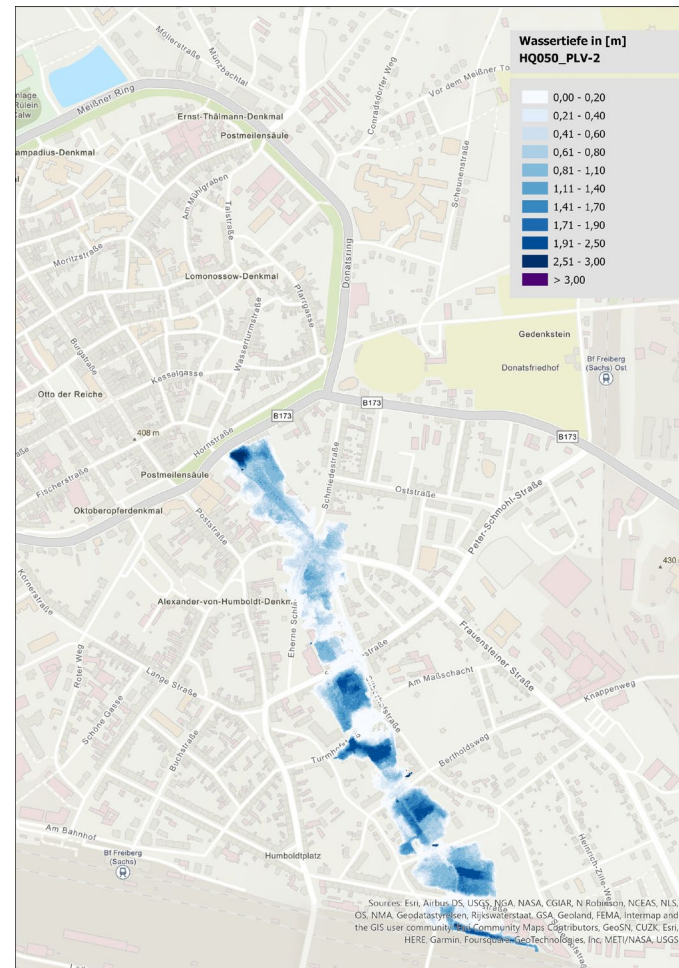




Hochwassergefährdung

PLANUNGSVARIANTE 2

Die Maßnahmen der PLV 2 führen zwar zu einer Minderung der zu erwartenden Wasserstände, gleichwohl bleiben große Bereiche des Stadtgebietes weiterhin gefährdet.

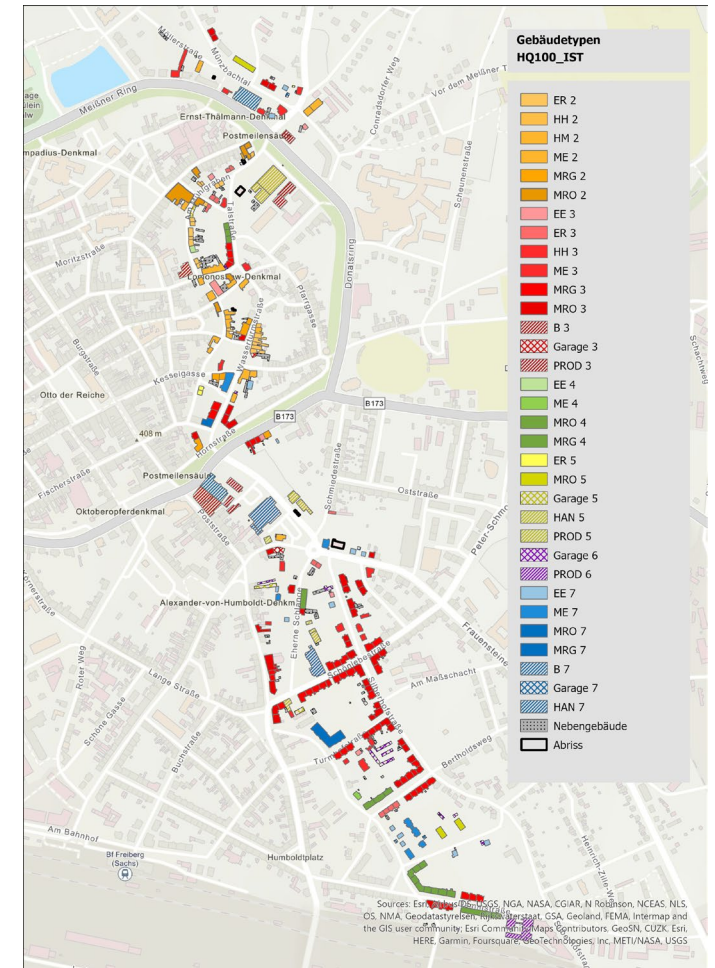




Expositionsanalyse

IDENTIFIZIERUNG UND DIFFERENZIERUNG DES GEFÄHRDETEN GEBÄUDEBESTANDS

Gebäude	Anzahl		Fläche in [m²]	
	absolut	relativ	absolut in [m²]	relativ in [%]
Wohngebäude	241	59 %	41.683	65 %
Gebäude für öffentliche Zwecke	9	2 %	5.339	8 %
Gebäude für Wirtschaft und Gewerbe	17	4 %	10.684	17 %
Nebengebäude	115	28 %	4.325	7 %
Garagen	28	7 %	2.243	3 %

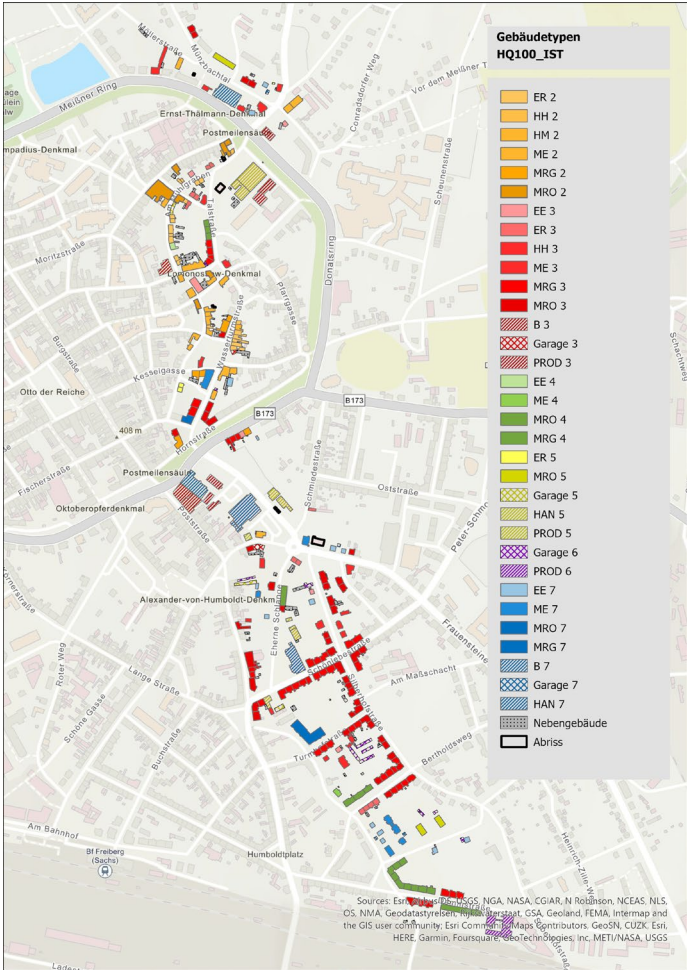
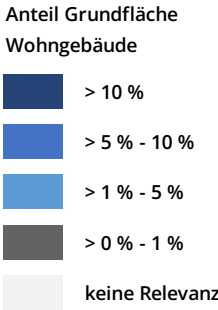




Expositionsanalyse

WOHNGEBÄUDETYPOLOGIE

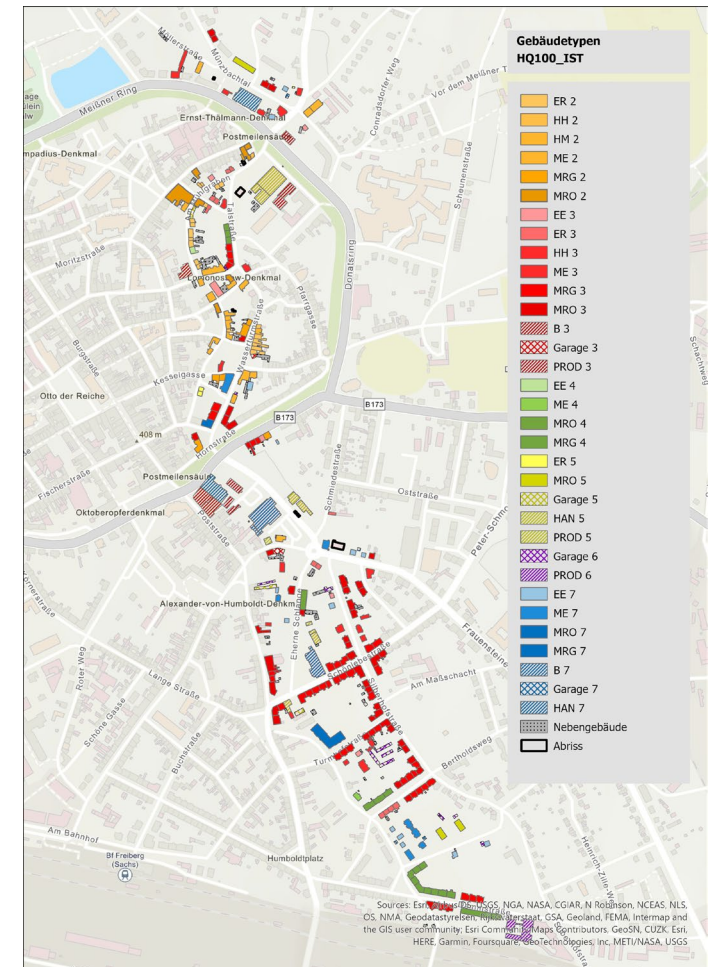
Baualterstufe	Bebauungsart	Einzel stehendes Gebäude				Mehrere, in Reihe stehende Gebäude			Summe
		EFH/ZFH	HH	L		MFH	EFH/ZFH	MFH	
		EE	HH	LW	LWS	ME	ER	MRG	
vor 1870	1								0,0%
Fachwerkbau									
vor 1870	2		HH2			ME2	ER2	MRG2	23,3%
Massivbau			0,2%			9,8%	4,5%	3,1%	5,7%
1870 - 1918	3	EE3	HH3		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



Expositionsanalyse

AUSGEWÄHLTE NICHTWOHNGBÄUDE

#	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	



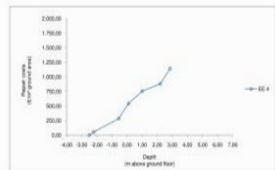


Vulnerabilitätsanalyse

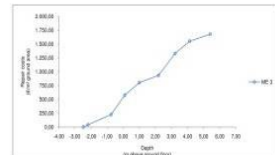
SYNTHETISCHE SCHADENSFUNKTIONEN



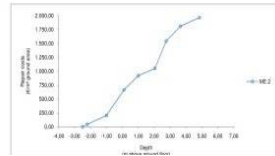
ER 4



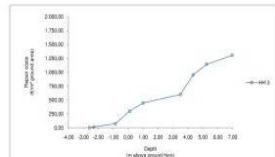
ME 3



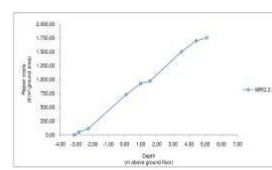
ME 2



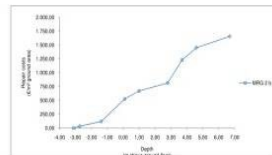
HH 3



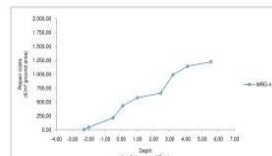
MRG 2 a



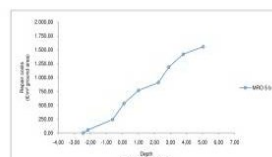
MRG 2 b



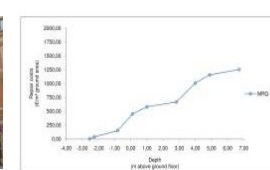
MRG 4



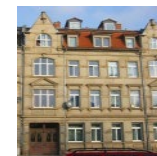
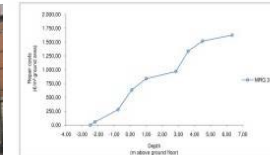
MRO 5 b



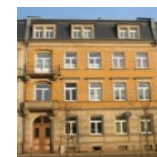
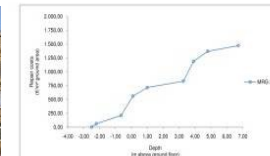
MRG 3 ML



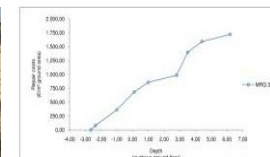
MRG 3 MW



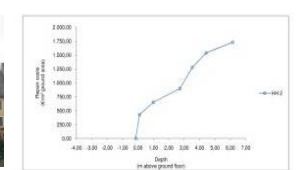
MRG 3 SL



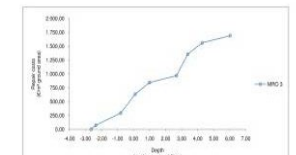
MRG 3 SW



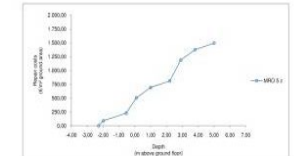
HH 2



MRO 3



MRO 5 z



Aktualisierung über
Baupreisindex



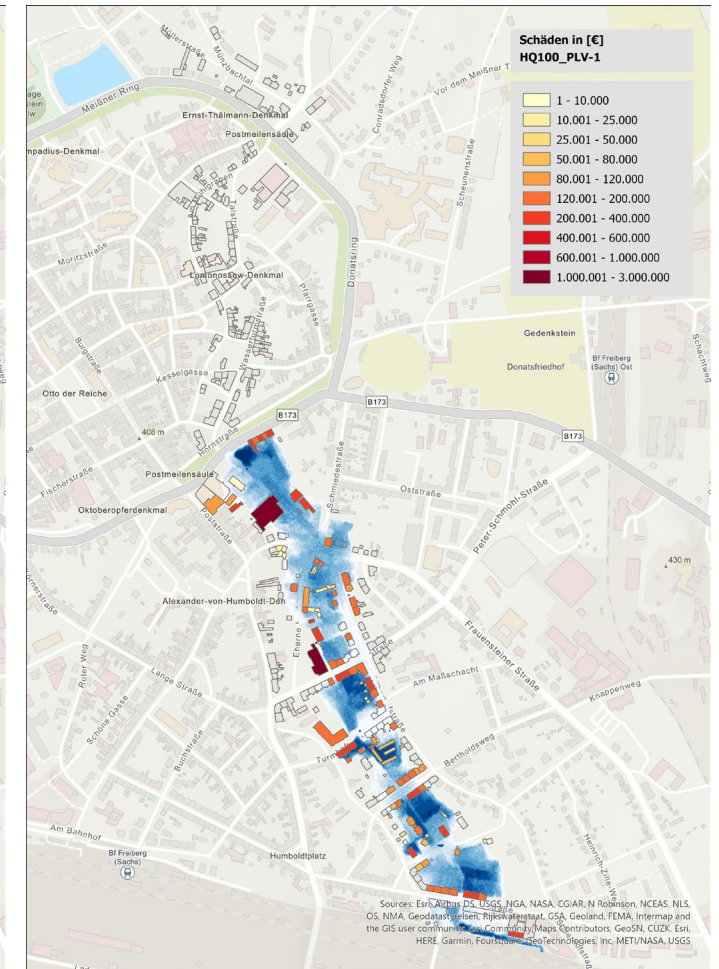
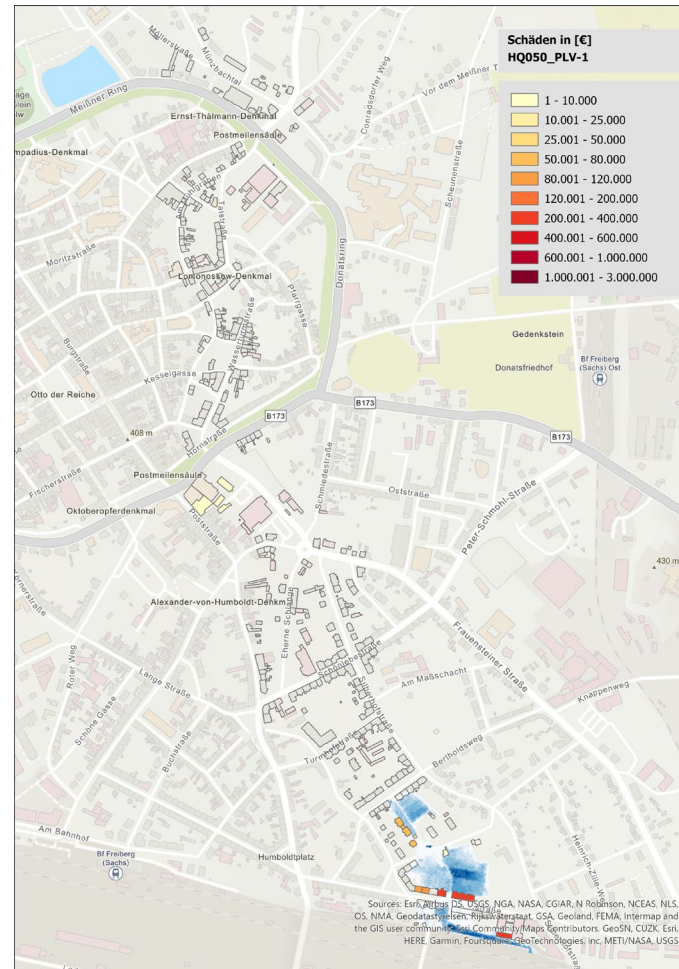
Substanz- und Inventarschäden an Gebäuden

PLANUNGSVARIANTE 1

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	Schaden [€]	Anz	Schaden [€]
Gebäude für öffentliche Zwecke	0	0	5	488.379
Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe	3	238.249	10	5.854.775
Nebengebäude	4	5.035	44	205.634
Wohngebäude	25	1.814.194	107	11.731.906
Garagen	5	26.803	14	381.380
Summe	37	2.084.281	180	18.662.073



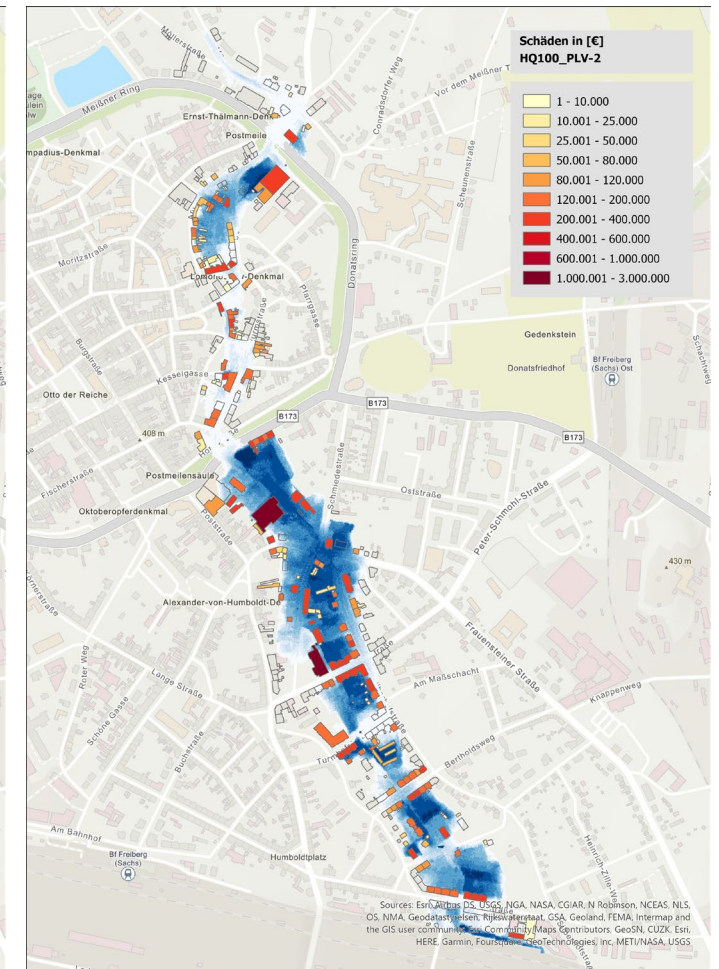
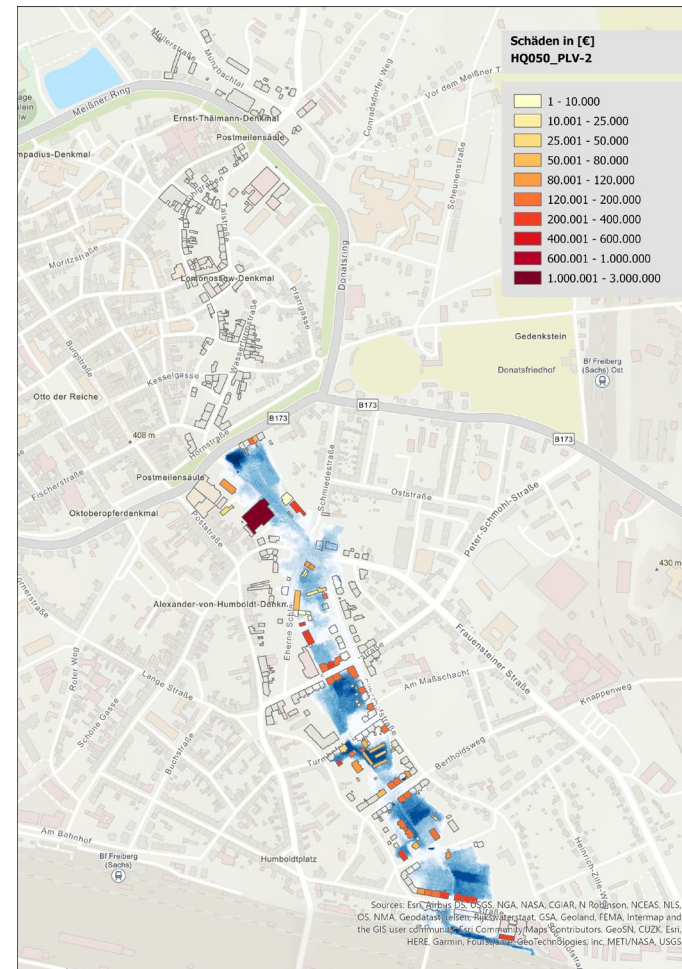
Substanz- und Inventarschäden an Gebäuden

PLANUNGSVARIANTE 2

Die Umsetzung der Maßnahmen der PLV 2 führen bei beiden Hochwasserszenarien zu einer moderaten Minderung der zu erwartenden Schäden im Stadtgebiet (HQ₁₀₀ = -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	Schaden [€]	Anz	Schaden [€]
Gebäude für öffentliche Zwecke	4	139.167	4	827.947
Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe	7	3.693.360	14	6.867.484
Nebengebäude	36	155.199	78	422.750
Wohngebäude	48	6.861.285	127	20.712.929
Wohngebäude	12	284.799	22	596.842
Summe	107	11.133.809	245	29.427.951



Nutzen-Kosten-Untersuchungen

ANSATZ

Allgemein

Nutzen-Kosten-Analyse für den Nachweis der Wirtschaftlichkeit von Hochwasserschutzmaßnahmen

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 als wirtschaftlich.

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 KBW

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

IK	Investitionskosten
IKR	Reinvestitionskosten
LK	laufende Kosten
DFAKRP	Diskontierungsfaktor
r	Kostensteigerungsrate [%]
i	Zinssatz [%]
n	Nutzungsdauer [Jahre]

Nutzenbarwert NBW

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

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

Neuwertansatz: Wiederherstellungs- bzw. Wiederbeschaffungskosten im jeweiligen Schadensjahr (Faktor: 1,0)

Zeitwertansatz: Berücksichtigung des technischen bzw. ökonomischen Verschleiß seit der Anschaffung bis zum Schadensjahr durch Abschreibungen (Faktor: 0,6)



Nutzen-Kosten-Untersuchungen

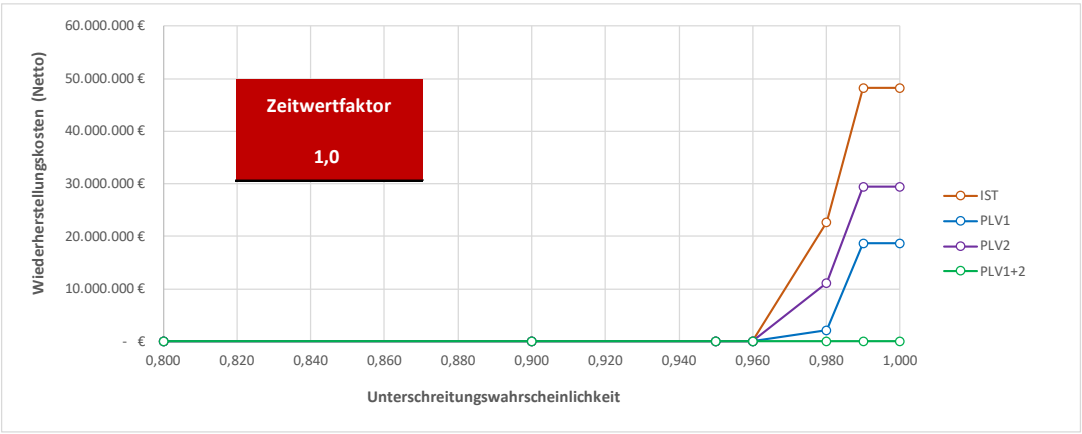
NKV

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%

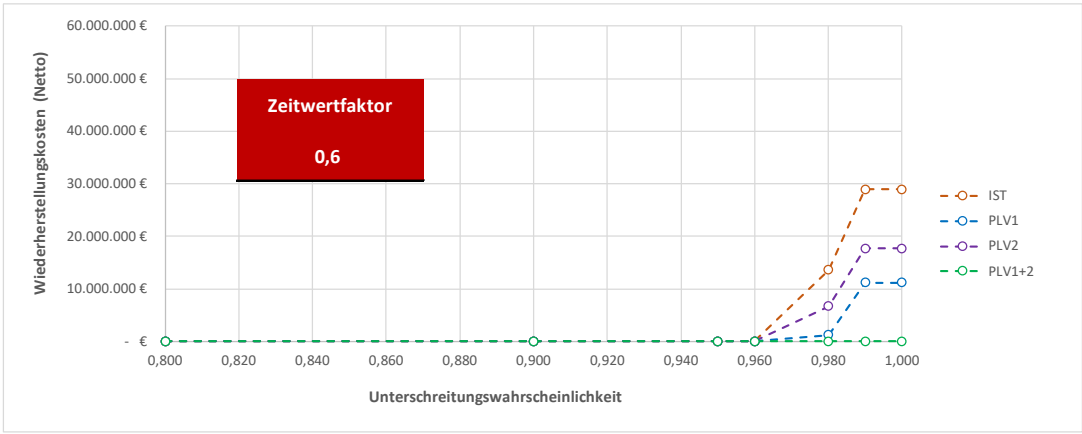


Überflutungs- szenario	Überschreitungs- wahrscheinlichkeit	Unterschreitungs- wahrscheinlichkeit	Wiederherstellungs- kosten (Netto) IST in [EUR]	Wiederherstellungs- kosten (Netto) PLV1 in [EUR]	Wiederherstellungs- kosten (Netto) PLV2 in [EUR]	Wiederherstellungs- kosten (Netto) PLV1+2 in [EUR]
HQ005	0,200	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%



Nutzen-Kosten-Untersuchungen

NKV

Zeitwertfaktor

1,0

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

Zeitwertfaktor

0,6

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



Nutzen-Kosten-Untersuchungen

SENSITIVITÄTSBETRACHTUNG

Zeitwertfaktor

1,0

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

PLV1

Zeitwertfaktor

0,6

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

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

PLV2

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

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

PLV3

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

Zusammenfassung

NKV

Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 1 + Variante 2
Maßnahme	Abschlagbauwerk und Überleitungsstollen am Großen Hüttenteich in Richtung Freiberger Mulde	Hochwasserrückhaltebecken (HRB) am Standort Biberteich	Hochwasserrückhaltebecken (HRB) am Standort Biberteich sowie Abschlagbauwerk und Überleitungsstollen am Großen Hüttenteich in Richtung Freiberger Mulde
Kostenbarwert	17.802.657 € (Netto)	11.715.920 € (Netto)	29.518.577 € (Netto)
Nutzenbarwert	41.504.525 € (Netto)	25.074.039 € (Netto)	58.703.204 € (Netto)
Nutzen-Kosten-Verhältnis	2,33	2,14	1,99