



**NKU-FG**

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

**Dr.-Ing. Sebastian Golz**

HOWAB Ingenieurberatung

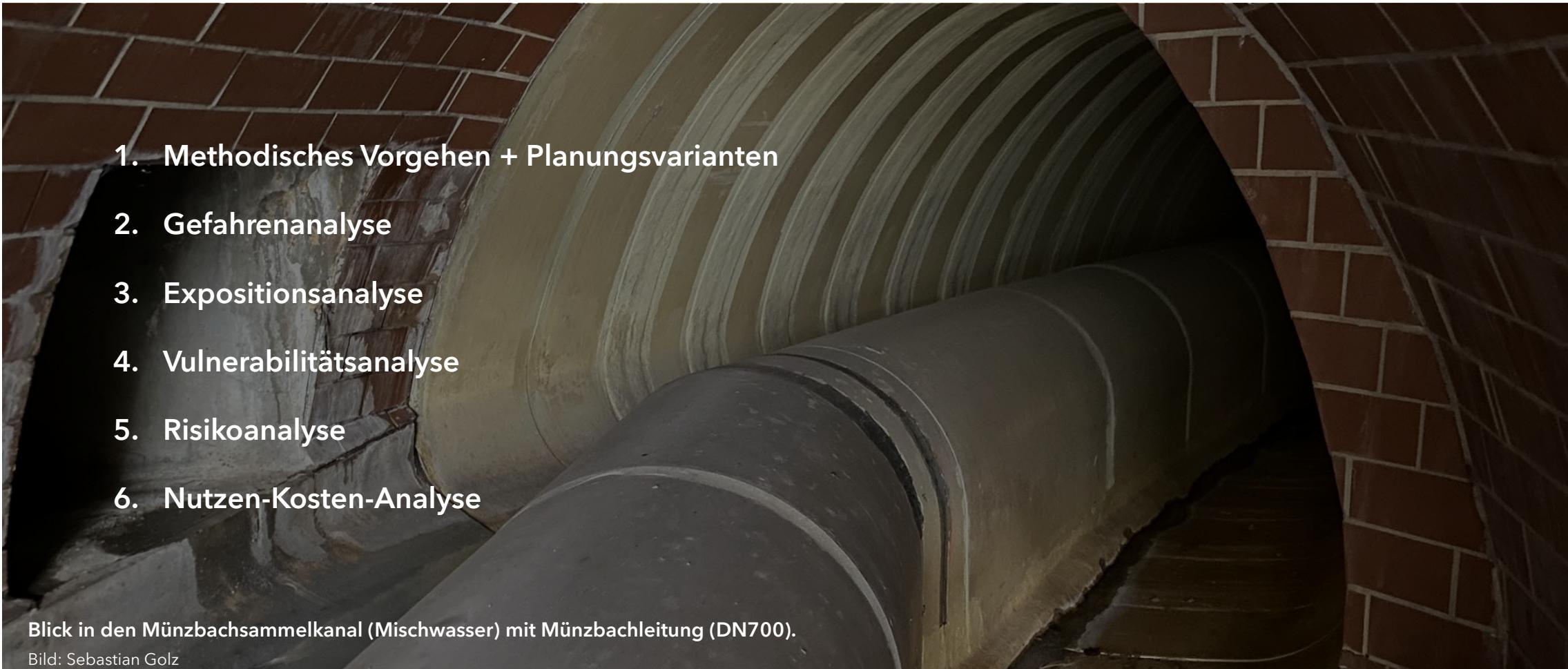
**Ergebnisvorstellung Landesdirektion Sachsen**

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

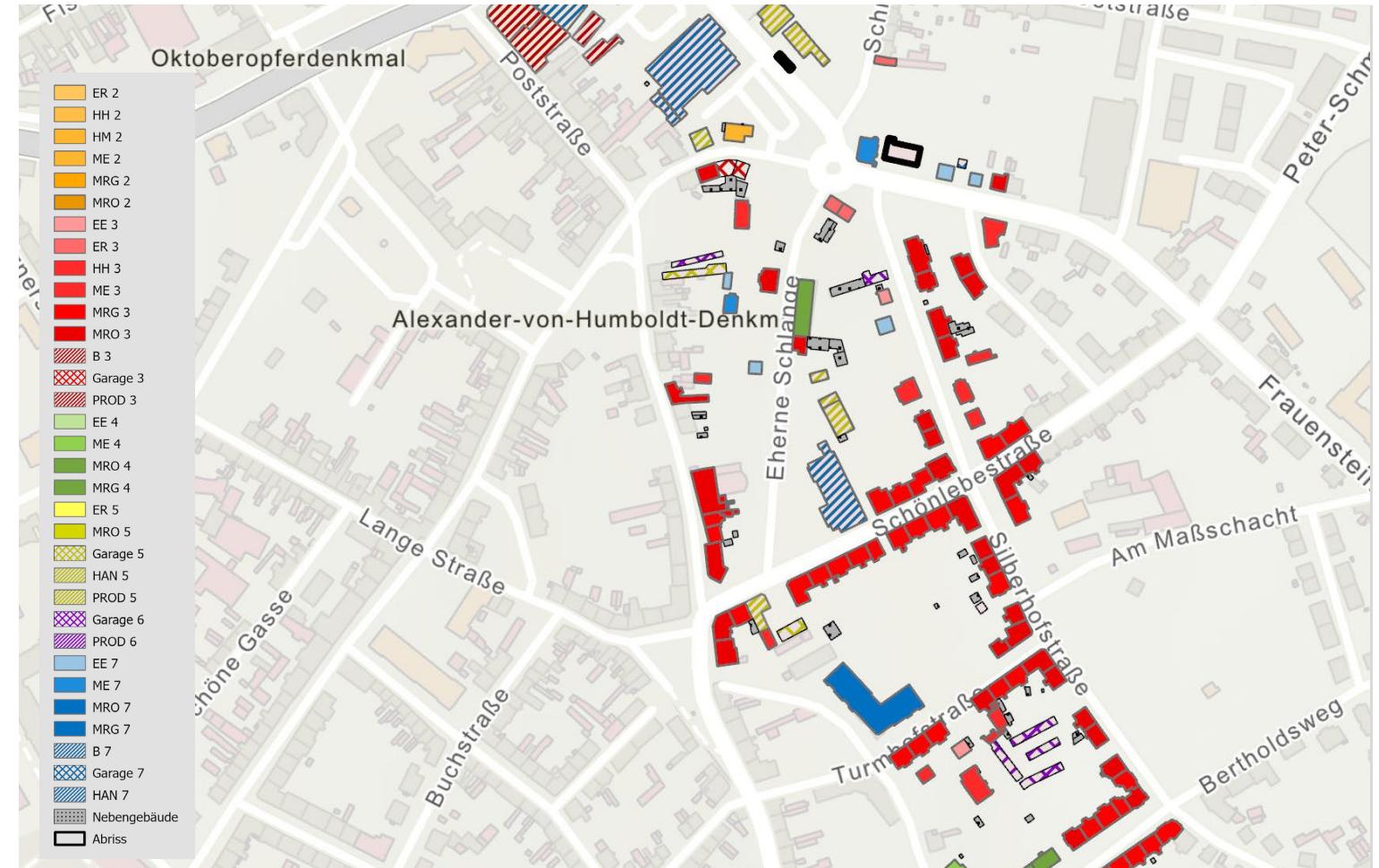
### ÜBERBLICK

**synthetischer Ansatz** für die mikroskalige Abschätzung hochwasserbedingter Schäden an Gebäuden

»Repräsentanten-Methode«  
(LTV Sachsen)

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

Schadenserwartungswert →  
**Nutzenbarwerte**



## Methodisches Vorgehen

### ÜBERBLICK

**synthetischer Ansatz** für die mikroskalige Abschätzung hochwasserbedingter Schäden an Gebäuden

»Repräsentanten-Methode«  
(LTV Sachsen)

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

Schadenserwartungswert →  
**Nutzenbarwerte**

### Planungsvarianten für den Hochwasserschutz

Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 1 + Variante 2
IST-Zustand	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
	Herstellungs-kosten (Netto) 17.250.000 €	Herstellungs-kosten (Netto) 11.163.263 €	Herstellungs-kosten (Netto) 28.413.263 €

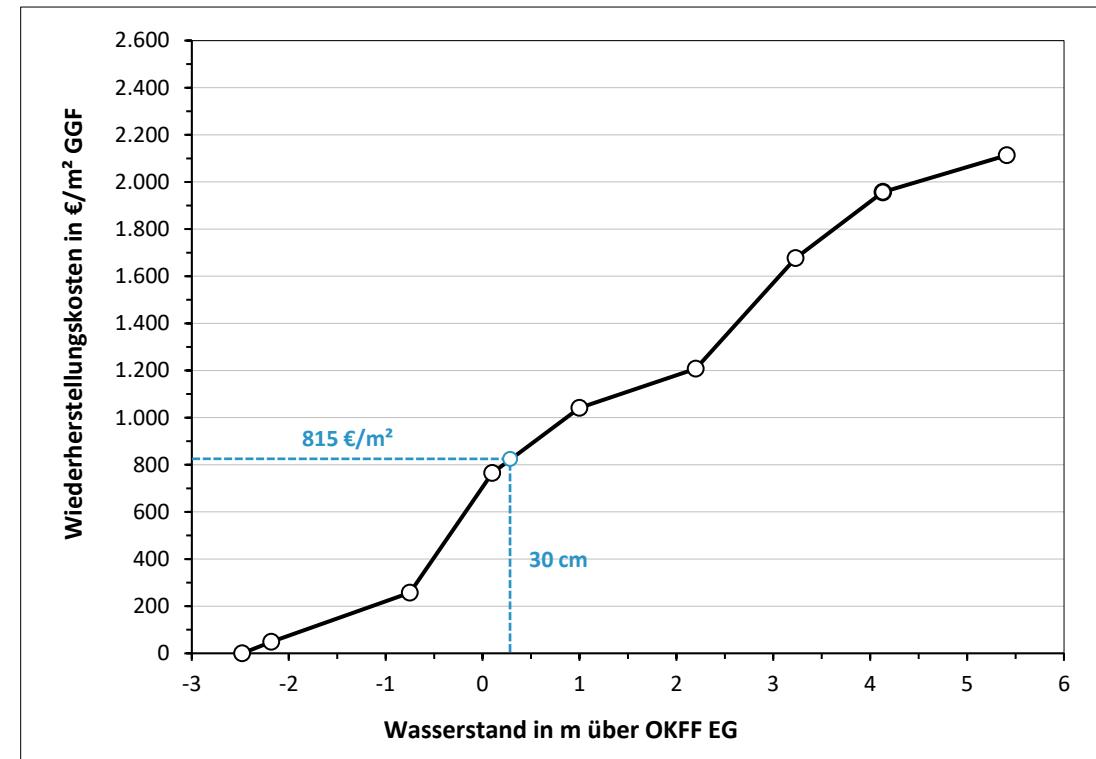
## Methodisches Vorgehen

### WORKFLOW



#### Beispiel

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

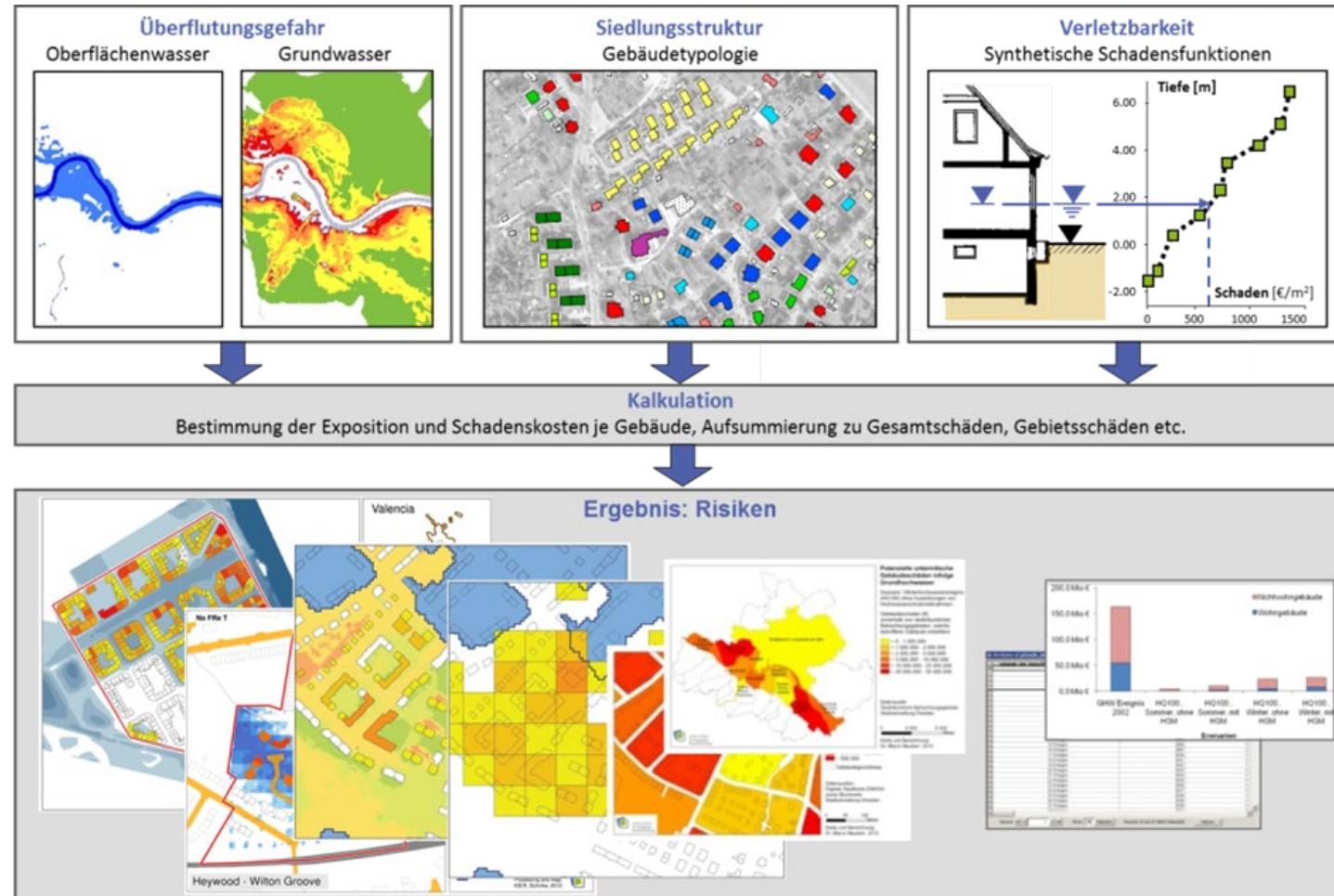


#### Synthetische Wasserstand-Schaden-Beziehungen

Zusammenhang zwischen Überflutungshöhe und  
Wiederherstellungskosten

# Methodisches Vorgehen

## WORKFLOW



# Hochwassergefährdung

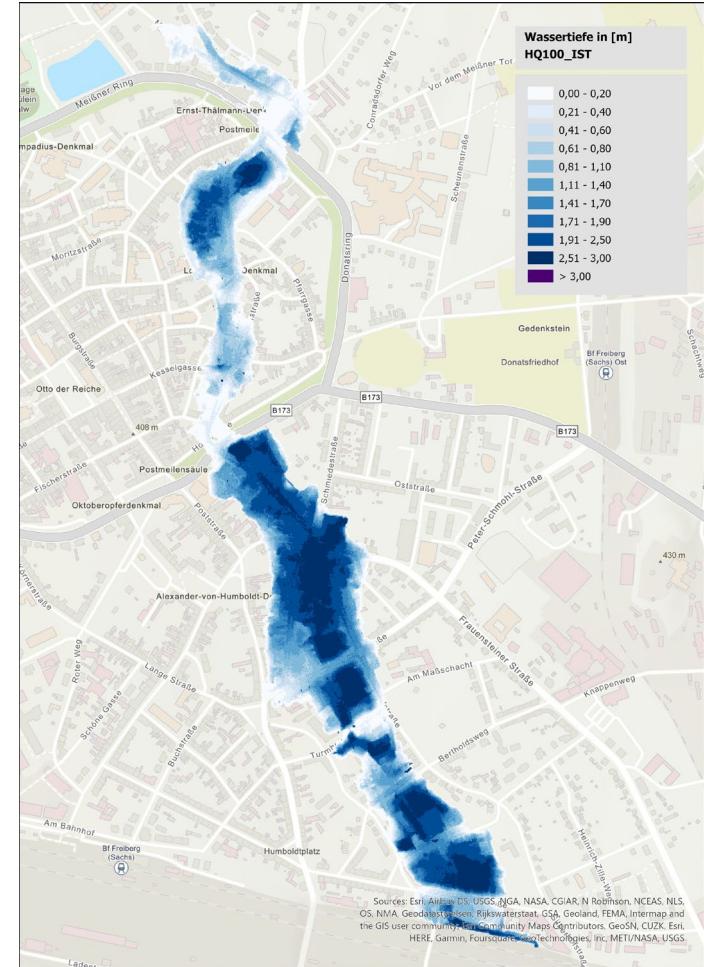
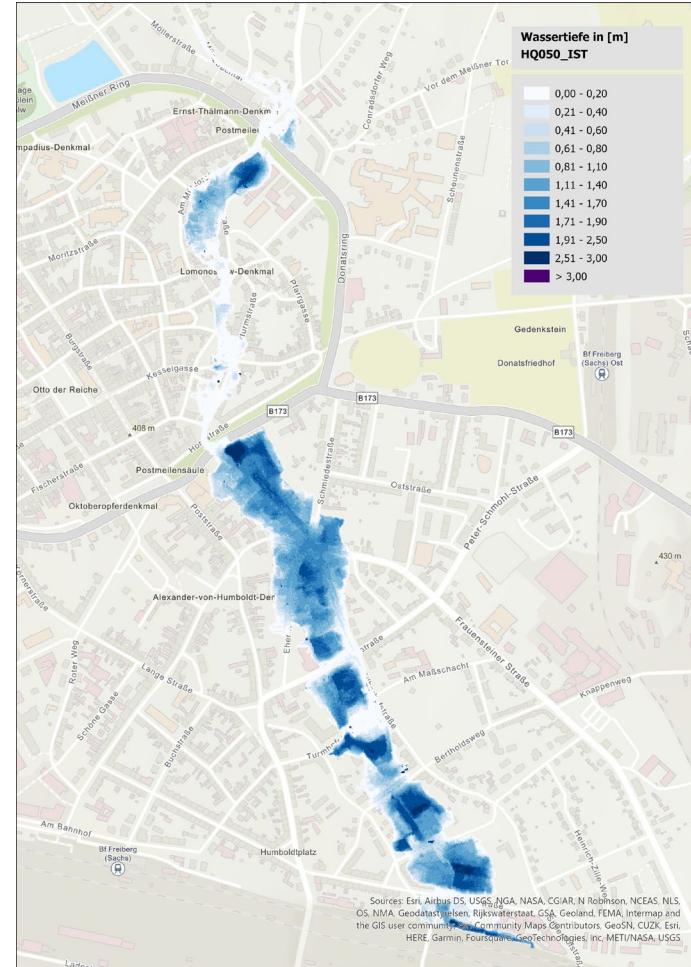
## IST-ZUSTAND

# Resultierende Überschwemmungsflächen und Wassertiefen für den IST-Zustand bei einem HQ<sub>50</sub>- bzw. HQ<sub>100</sub>-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 HQ<sub>100</sub>-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

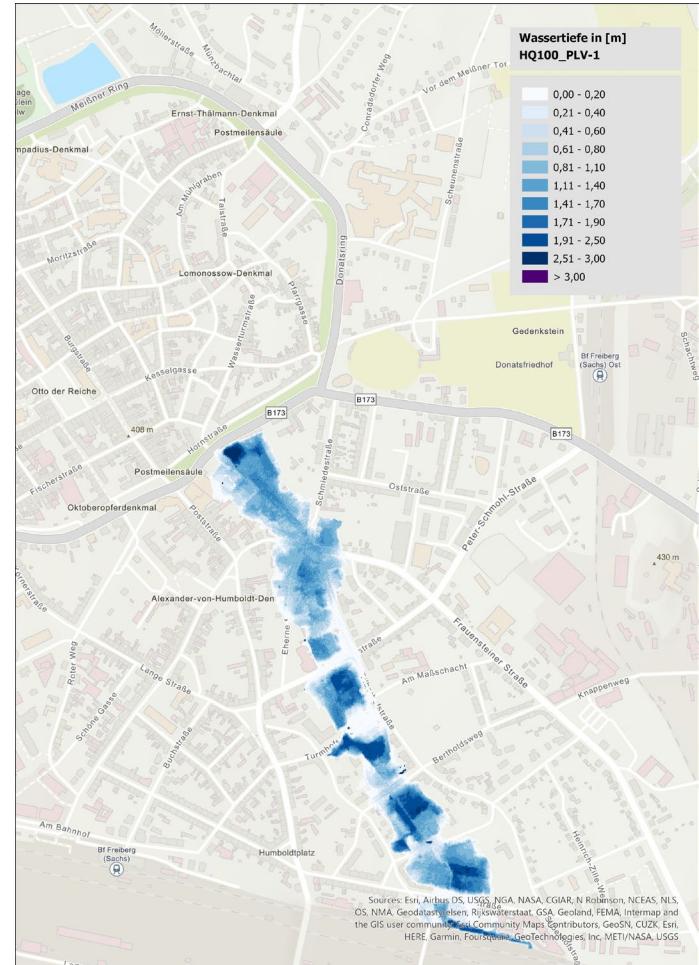
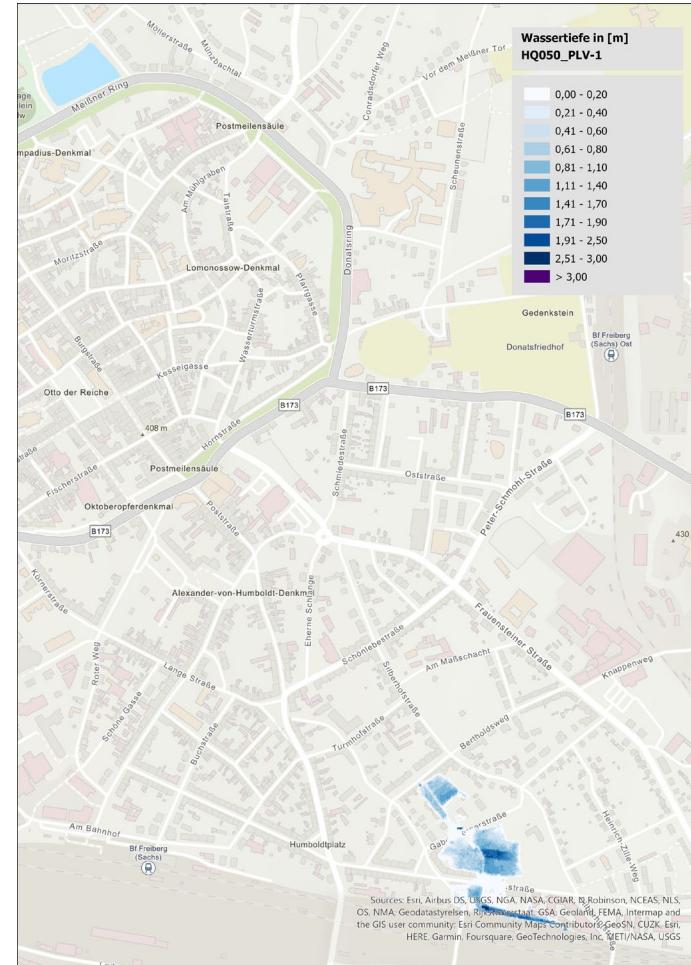


# Hochwassergefährdung

## PLANUNGSVARIANTE 1

Die Umsetzung der Maßnahmen der PLV 1 führen im gesamten Stadtgebiet zu einer signifikanten Minderung der resultierenden Wassertiefen.

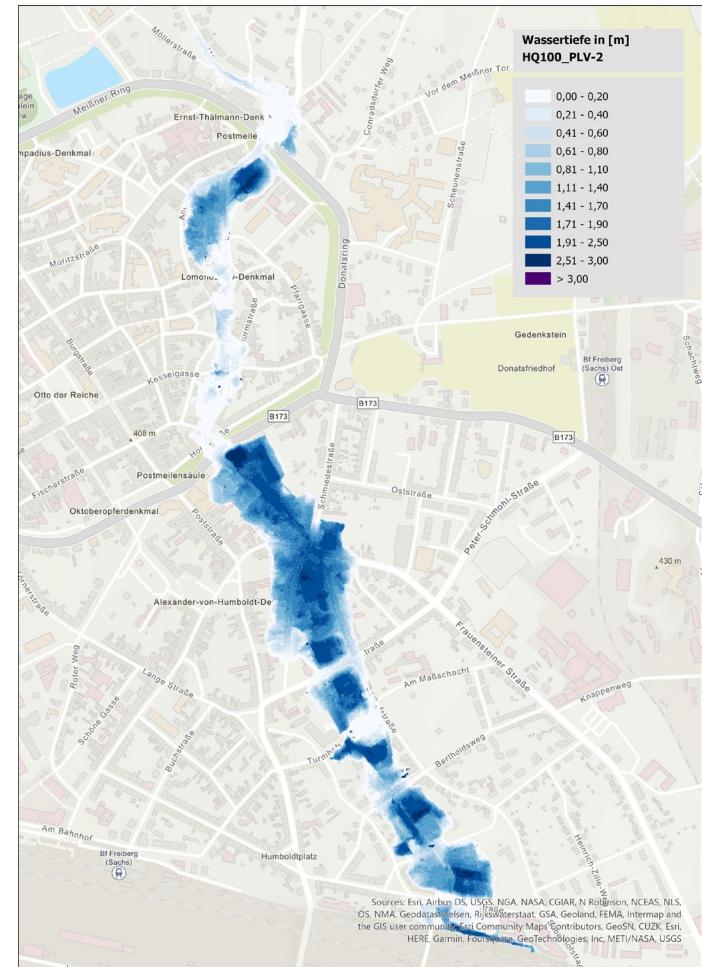
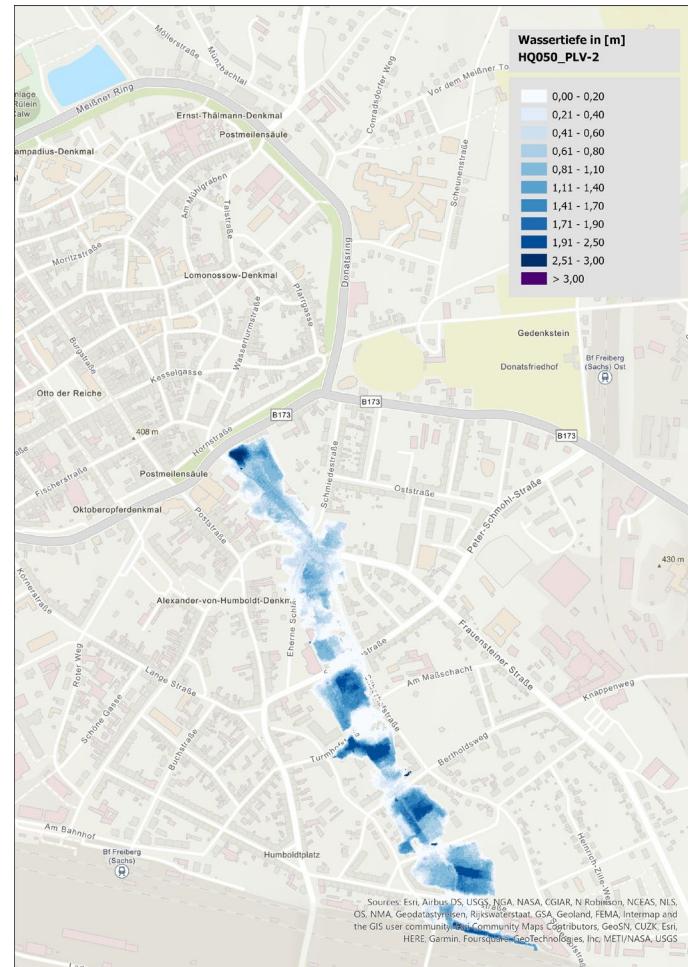
Die Siedlungsflächen der Freiberger Altstadt nördlich der B173 (Hornstraße) sind bei dieser Planungsvariante auch bei einem HQ<sub>100</sub> nicht mehr betroffen.



## Hochwassergefährdung

## PLANUNGSVARIANTE 2

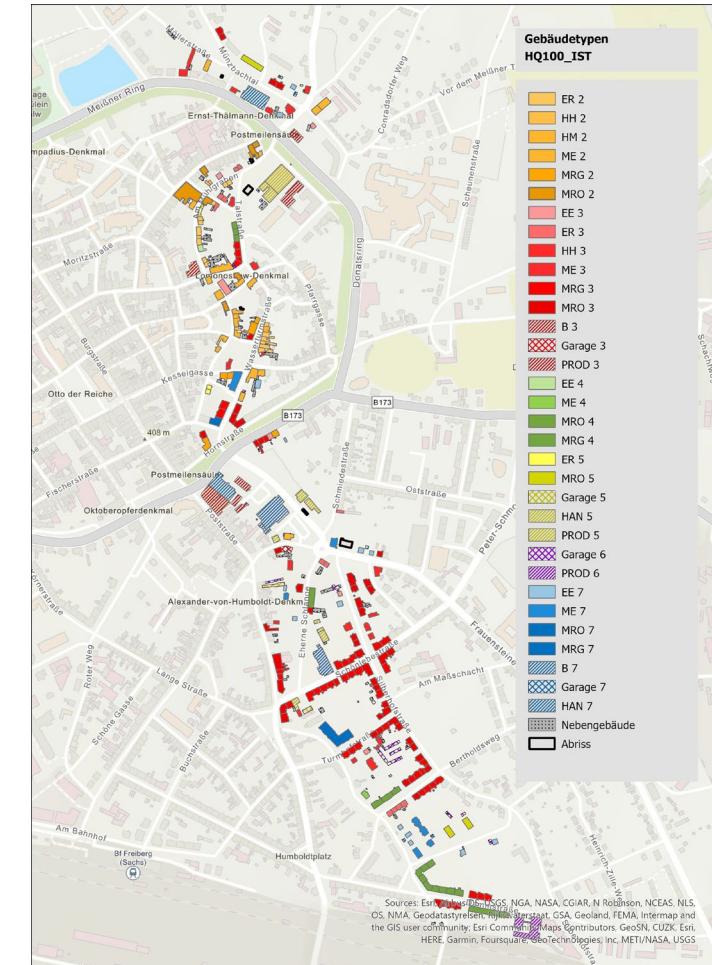
Die Maßnahmen der PLV 2 führen zwar zu einer Minderung der zu erwartenden Wasserstände, gleichwohl bleiben große Bereiche des Stadtgebietes weiterhin gefährdet.



## Expositionsanalyse

### IDENTIFIZIERUNG UND DIFFERENZIERUNG DES GEFÄHRDETEN GEBÄUDEBESTANDS

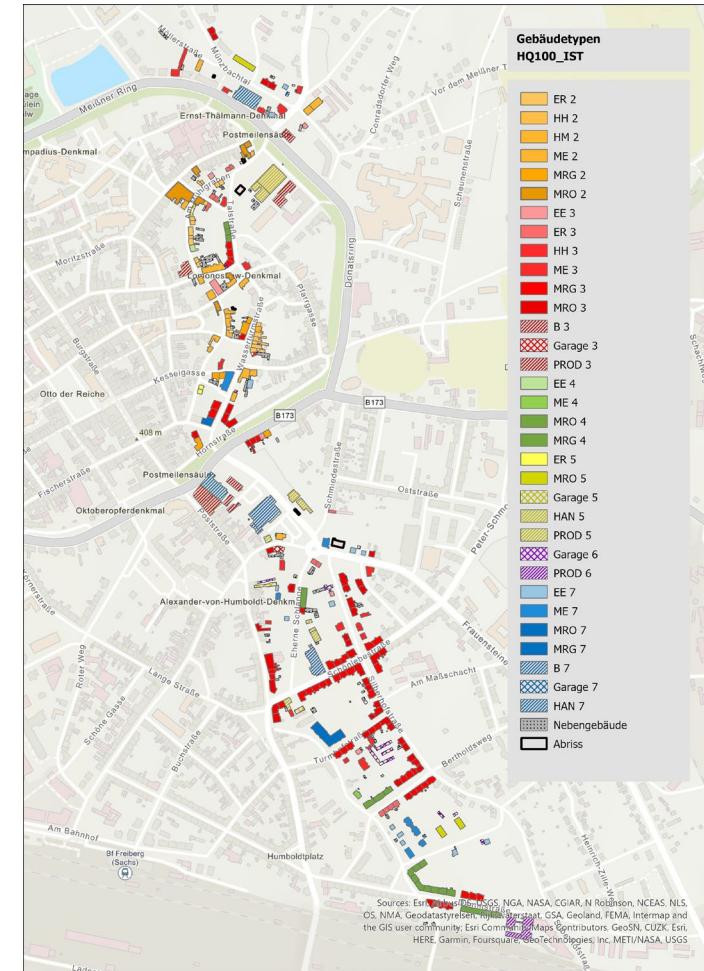
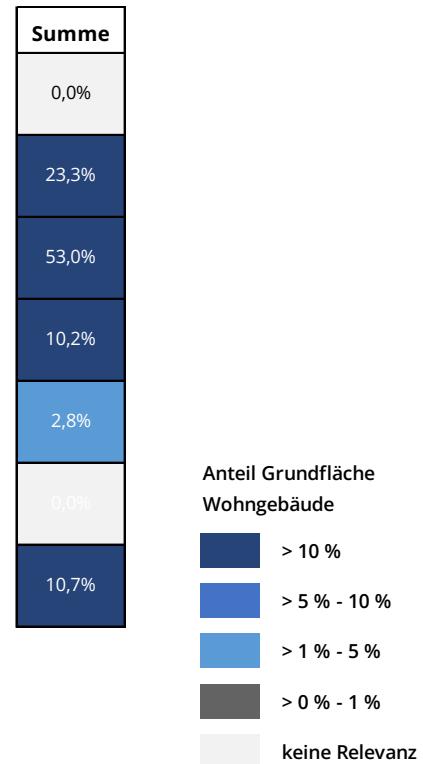
Gebäude	Anzahl		Fläche in [m <sup>2</sup> ]	
	absolut	relativ	absolut in [m <sup>2</sup> ]	relativ in [%]
Wohngebäude	241	59 %	41.683	65 %
Gebäude für öffentliche Zwecke	9	2 %	5.339	8 %
Gebäude für Wirtschaft und Gewerbe	17	4 %	10.684	17 %
Nebengebäude	115	28 %	4.325	7 %
Garagen	28	7 %	2.243	3 %



## Expositionsanalyse

# WOHNGEBÄUDETYPLOGIE

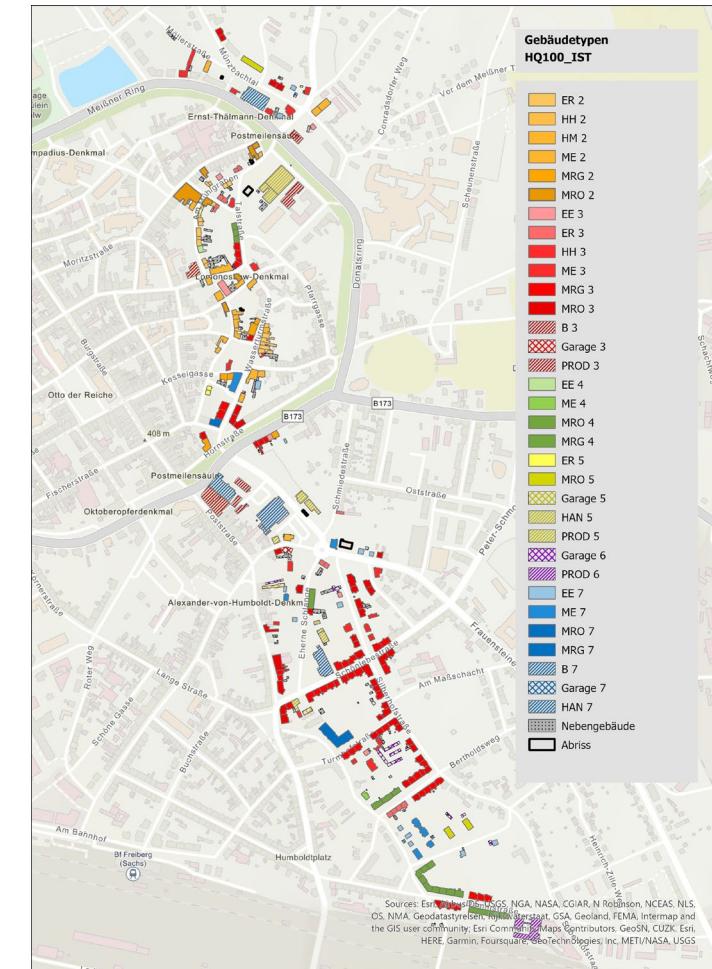
Baualtersstufe	Bebauungsart	Einzelne stehende Gebäude					Mehrere, in Reihe stehende Gebäude		
		EFH/ZFH	HH	L		MFH	EFH/ZFH	MFH	
		EE	HH	LW	LWS	ME	ER	MRG	MRO
vor 1870 Fachwerkbau	1								
vor 1870 Massivbau	2		HH2 0,2%			ME2 9,8%	ER2 4,5%	MRG2 3,1%	MRO2 5,7%
1870 - 1918 Massivbau	3	EE3 2,1%	HH3 1,3%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



## Expositionsanalyse

### AUSGEWÄHLTE NICHTWOHNGEBÄUDE

#	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	

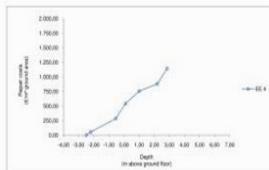


## Vulnerabilitätsanalyse

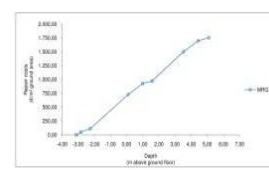
### SYNTHETISCHE SCHADENSFUNKTIONEN



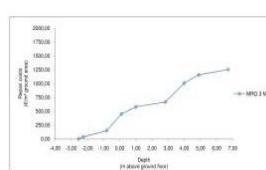
ER 4



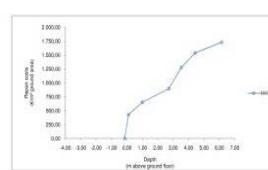
MRG 2 a



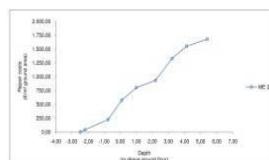
MRG 3 ML



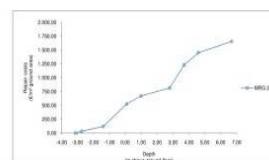
HH 2



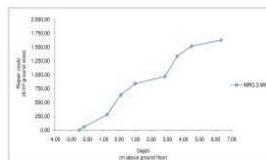
ME 3



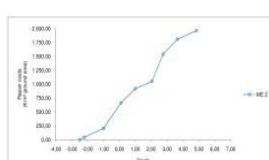
MRG 2 b



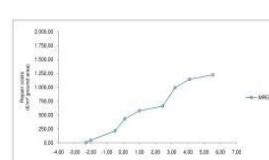
MRG 3 MW



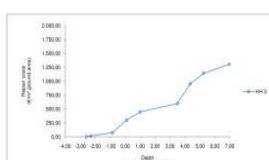
ME 2



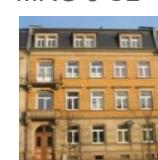
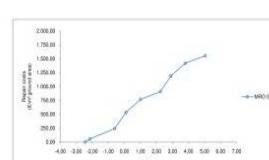
MRG 4



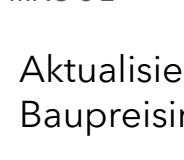
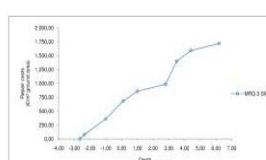
HH 3



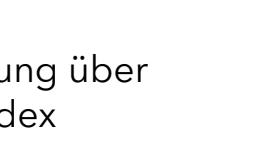
MRO 5 b



MRG 3 SL



MRO 5 z



Aktualisierung über  
Baupreisindex

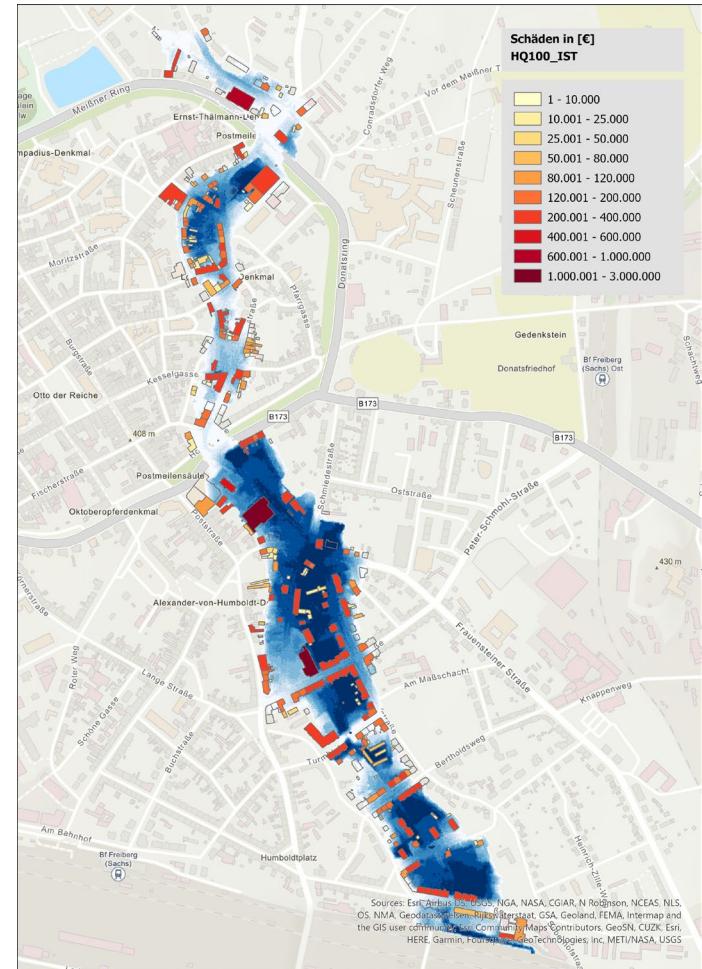
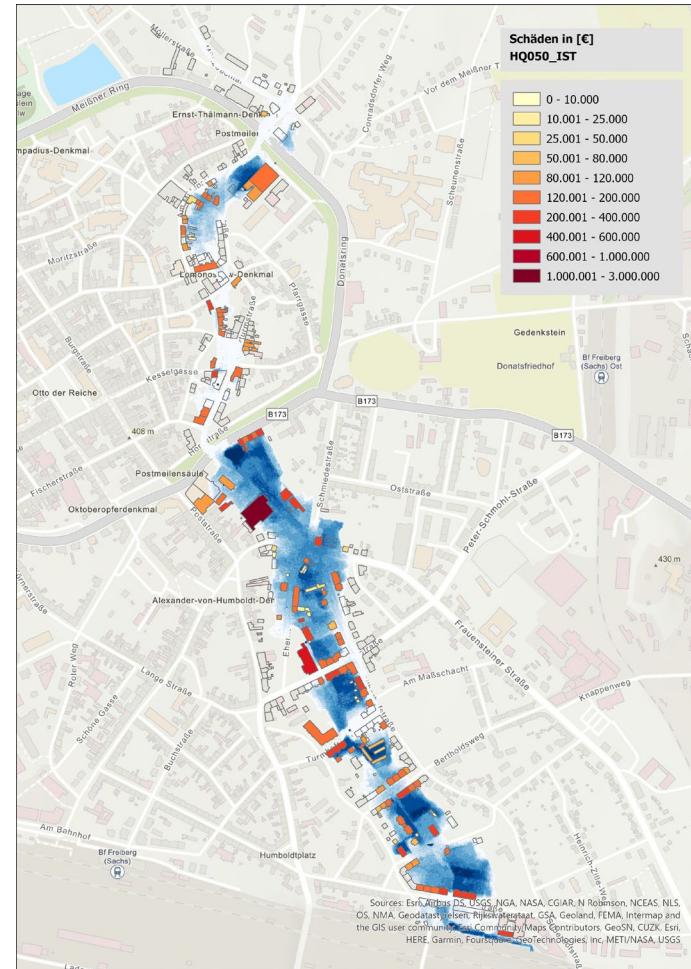
## Substanz- und Inventarschäden an Gebäuden

### IST-ZUSTAND

Den Gesamtschaden prägen die Schäden an den Wohngebäuden ( $HQ_{100} = 78\%$ ).

Besonders hohe Einzelschäden sind für die beiden Supermärkten (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	Schaden [€]	Anz	Schaden [€]
Gebäude für öffentliche Zwecke	5	631.310	9	1.190.623
Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe	14	5.001.230	17	8.155.001
Nebengebäude	77	297.425	115	555.881
Wohngebäude	167	16.358.063	241	37.575.324
Garagen	20	333.683	28	711.744
<b>Summe</b>	<b>283</b>	<b>22.621.712</b>	<b>410</b>	<b>48.188.574</b>



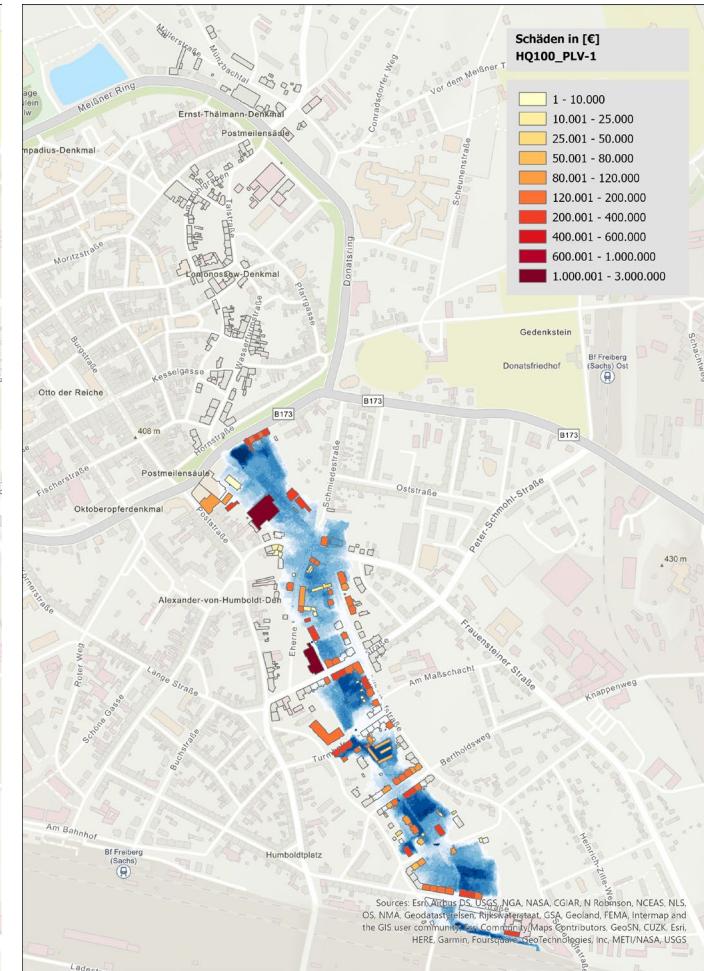
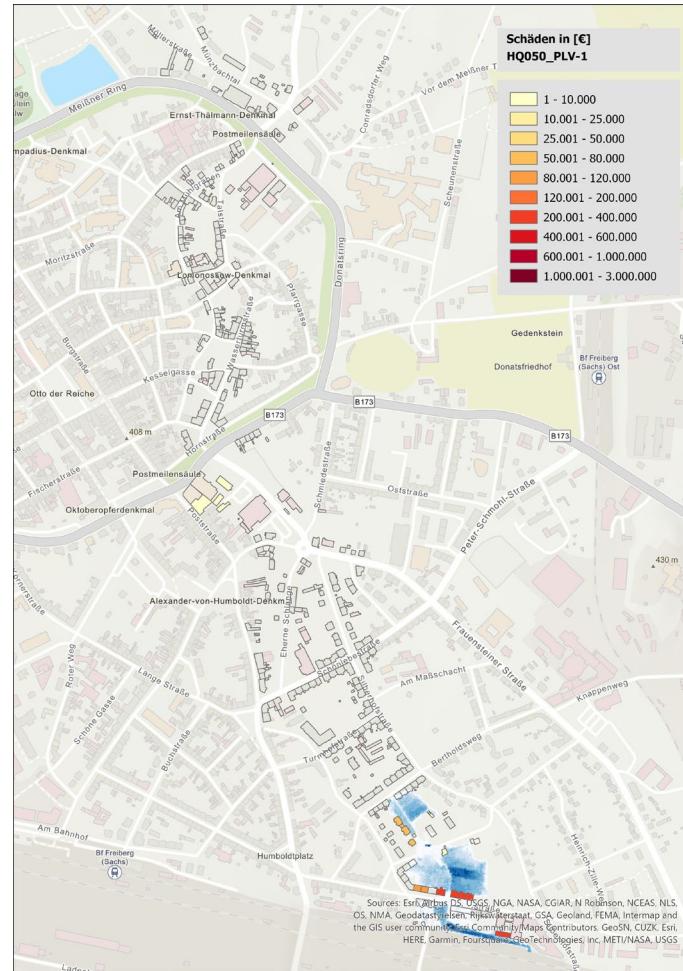
# Substanz- und Inventarschäden an Gebäuden

## PLANUNGSVARIANTE 1

Die Umsetzung der Maßnahmen der PLV 1 führen bei beiden Hochwasserszenarien zu einer signifikanten Minderung der zu erwartenden Schäden im Stadtgebiet ( $HQ_{100} = -60,6\%$ ).

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
<b>Summe</b>	<b>37</b>	<b>2.084.281</b>	<b>180</b>	<b>18.662.073</b>



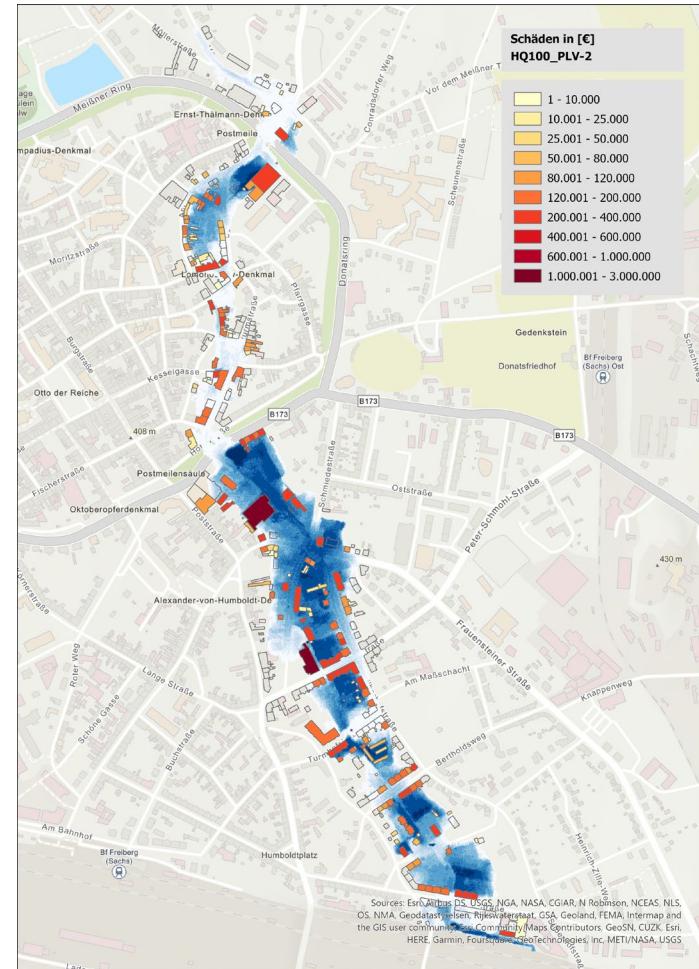
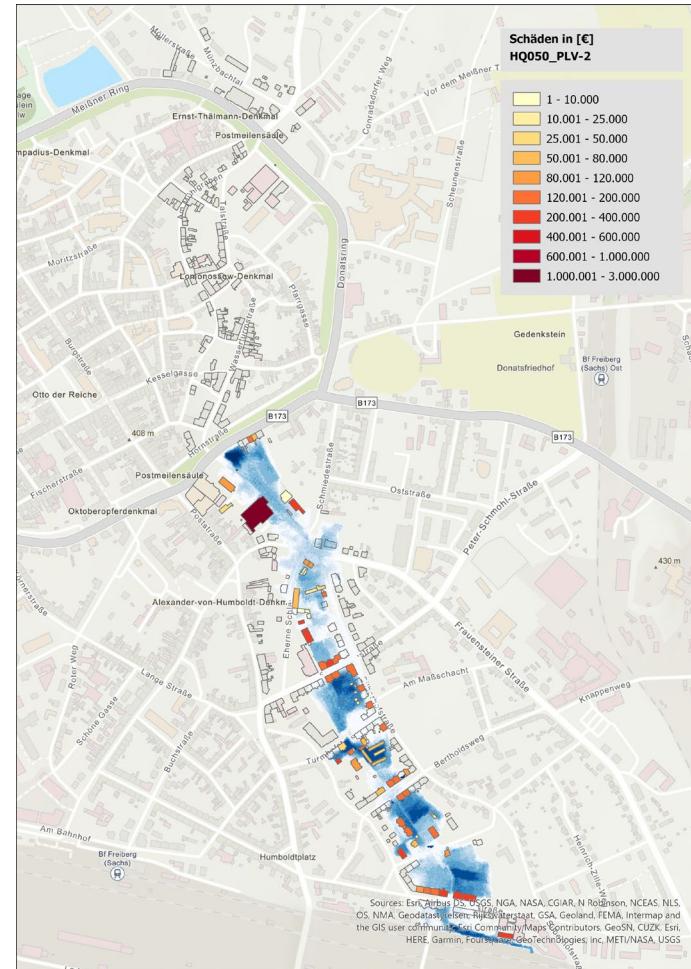
## Substanz- und Inventarschäden an Gebäuden

## PLANUNGSVARIANTE 2

Die Umsetzung der Maßnahmen der PLV 2 führen bei beiden Hochwasserszenarien zu einer moderaten Minderung der zu erwartenden Schäden im Stadtgebiet ( $HQ_{100} = -38,3\%$ ) 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	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
ragen	12	284.799	22	596.842
<b>Summe</b>	<b>107</b>	<b>11.133.809</b>	<b>245</b>	<b>29.427.951</b>



# 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)

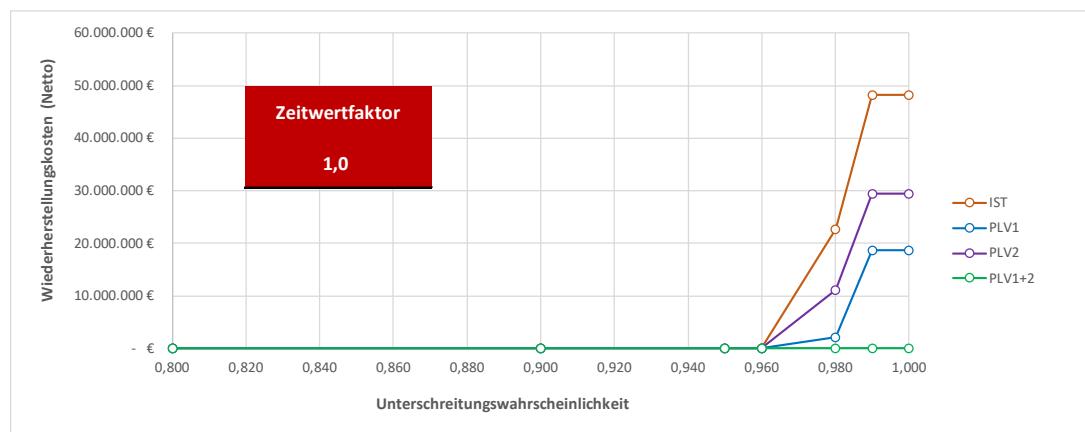
# Nutzen-Kosten-Untersuchungen

NKV

Überflutungs-szenario	Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	Unterschreitungs-wahrscheinlichkeit	Wiederherstellungs-kosten (Netto)		Wiederherstellungs-kosten (Netto)		Wiederherstellungs-kosten (Netto)	
			IST in [EUR]	PLV1 in [EUR]	PLV2 in [EUR]	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 <sub>00</sub>	0	1,000	48.188.574 €	18.662.073 €	29.427.951 €	- €	- €	- €
SEW (Euro/a)			<b>1.062.200 €</b>	<b>311.200 €</b>	<b>608.500 €</b>	<b>- €</b>		

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

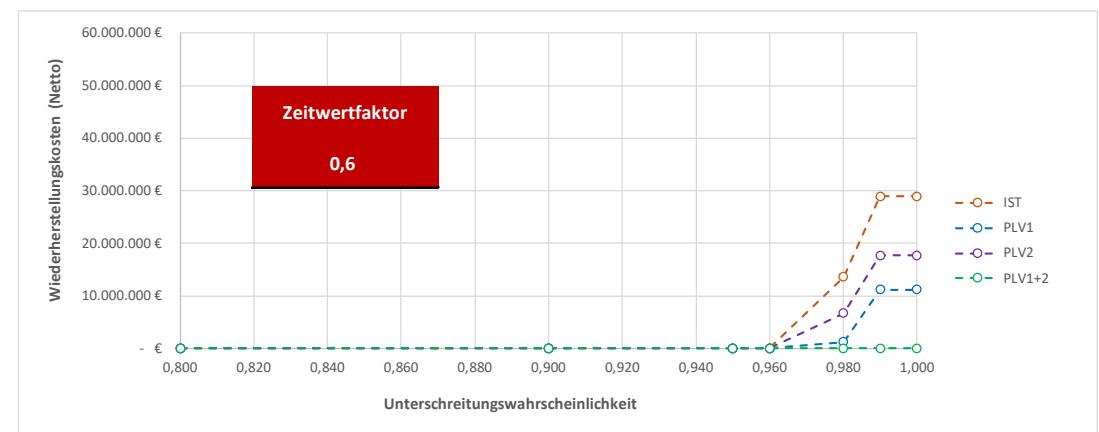
Minderung des Schadenserwartungswerts ( $\Delta_{SEW_i}$ ), absolut (Euro/a)	<b>751.000 €</b>	<b>453.700 €</b>	<b>1.062.200 €</b>
Minderung des Schadenserwartungswerts ( $\Delta_{SEW_i}$ ), relativ (Prozent)	<b>70,7%</b>	<b>42,7%</b>	<b>100,0%</b>



Überflutungs-szenario	Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	Unterschreitungs-wahrscheinlichkeit	Wiederherstellungs-kosten (Netto)		Wiederherstellungs-kosten (Netto)		Wiederherstellungs-kosten (Netto)	
			IST in [EUR]	PLV1 in [EUR]	PLV2 in [EUR]	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 <sub>00</sub>	0	1,000	28.913.144 €	11.197.244 €	17.656.771 €	- €	- €	- €
SEW (Euro/a)			<b>637.300 €</b>	<b>186.800 €</b>	<b>365.100 €</b>	<b>- €</b>		

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

Minderung des Schadenserwartungswerts ( $\Delta_{SEW_i}$ ), absolut (Euro/a)	<b>450.500 €</b>	<b>272.200 €</b>	<b>637.300 €</b>
Minderung des Schadenserwartungswerts ( $\Delta_{SEW_i}$ ), relativ (Prozent)	<b>70,7%</b>	<b>42,7%</b>	<b>100,0%</b>



# Nutzen-Kosten-Untersuchungen

NKV

**Zeitwertfaktor**  
**1,0**

Nutzenbarwerte						
i	$\Delta_{SEW_i}$	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		NKV
i		NKV
1 (IST - PLV1)		2,33
2 (IST - PLV2)		2,14
3 (IST - PLV1+2)		1,99

**Zeitwertfaktor**  
**0,6**

Nutzenbarwerte						
i	$\Delta_{SEW_i}$	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		NKV
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%	
Preisseigerungsrate [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

Nutzen-Kosten-Verhältnis	Zinssatz (i) p.a.						
	0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%	
Preisseigerungsrate [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

Nutzen-Kosten-Verhältnis	Zinssatz (i) p.a.						
	0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%	
Preisseigerungsrate [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

Zeitwertfaktor
0,6

**PLV1**

Nutzen-Kosten-Verhältnis	Zinssatz (i) p.a.						
	0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%	
Preisseigerungsrate [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

**PLV2**

Nutzen-Kosten-Verhältnis	Zinssatz (i) p.a.						
	0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%	
Preisseigerungsrate [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

**PLV3**

Nutzen-Kosten-Verhältnis	Zinssatz (i) p.a.						
	0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%	
Preisseigerungsrate [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

<b>Variante</b>	<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 1 + Variante 2</b>
Maßnahme	Abschlagbauwerk und Überleitungsstollen am Großen Hüttenbach in Richtung Freiberger Mulde	Hochwasserrückhaltebecken (HRB) am Standort Biberteich	Hochwasserrückhaltebecken (HRB) am Standort Biberteich sowie Abschlagbauwerk und Überleitungsstollen am Großen Hüttenbach 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)
<b>Nutzen-Kosten-Verhältnis</b>	<b>2,33</b>	<b>2,14</b>	<b>1,99</b>