

Hochwasserschutz Bad Staffelstein

Neumodellerstellung, Ermittlung des Ü-Gebiets am Lauterbach und Erarbeitung der Vorzugslösung zur Vorplanung

Erläuterungsbericht

12.09.2025

Auftraggeber: WWA Kronach
Projekt: Hochwasserschutz Bad Staffelstein
Maßnahme: Neumodellerstellung, Ermittlung des Ü-Gebiets am Lauterbach und
Erarbeitung der Vorzugslösung zur Vorplanung
Projektnummer: IW062106

Qualitätssicherung

Dateiname HWSbadstaffelstein_HydrVorzugslsg_BERICHT-V00.docx
Datum 12.09.2025
Erstellt von Felicitas Rudzki, Knud Kramer
Gesehen von Johann Penn, Benedikt Sander-Kessels

Ingérop Deutschland GmbH
Barthstraße 4
80339 München
Deutschland

Änderungen:

Index	Geprüft am	Angaben	Geändert von:	Gesehen von:
00	09.09.2025 12.09.2025	Vorabzug	Knud Kramer	Johann Penn Benedikt Sander-Kessels

München, 12.09.2025
Ingérop Deutschland GmbH / Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH



i. V. Johann Penn
Projektleiter



Knud Kramer
Projektbearbeitung



Felicitas Rudzki
Projektbearbeitung

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines und Datengrundlagen	7
1.1 Einleitung	7
1.2 Lage des Projektgebiets	8
1.3 Verwendete Grundlagen	9
1.4 Kurzbeschreibung der Gewässer und der örtlichen Gegebenheiten	11
1.5 Hintergrund und Ziel der überarbeiteten Vorplanung	17
1.5.1 Ergebnisse der Vorplanung 2023	17
1.5.2 Überarbeitung der Hydrologie und Bedeutung für die Vorplanung	18
1.5.3 Ziel der vorliegenden Untersuchung	19
2 Hydraulische Untersuchung zum bestehenden Zustand	20
2.1 Allgemeines	20
2.2 Neumodell (Lauterbach)	20
2.2.1 Vermessung	20
2.2.2 Erstellung des Flussschlauch- und Vorlandmodells	23
2.2.3 Bauwerke	26
2.2.4 Rauheiten	33
2.3 Gesamtmodell (Lauterbach / Main)	34
2.3.1 Modellanpassungen Main-Modell	34
2.3.2 Modellgrenzen	35
2.3.3 Allgemeine Berechnungsparameter	36
2.4 Verifizierung des Berechnungsmodells	37
2.4.1 Proberechenläufe	37
2.4.2 Verifizierung mit dem ursprünglichen HQ_{100} -Abfluss	37
2.4.3 Fazit der Verifizierungsberechnungen	40
2.5 Hydraulische Berechnungen	41
2.5.1 Überblick	41
2.5.2 Ermittlung des Überschwemmungsgebiets des 100-jährlichen Hochwassers	41
2.5.3 Hydraulische Leistungsfähigkeit des Lauterbachs	46
3 Untersuchung zur Wahl der Vorzugslösung	50
3.1 Ziel der vorliegenden Untersuchung und Beschreibung der Vorgehensweise	50
3.2 Hydraulische Berechnungen zum PLAN-Zustand	52
3.3 Ergebnis der iterativen Untersuchung	56
3.4 Beschreibung der Hochwasserschutzmaßnahmen	58
3.4.1 Allgemeine Informationen	58
3.4.2 Loffeld	59
3.4.3 Horsdorf	61
3.4.4 Bad Staffelstein	65
3.5 Grobkostenschätzung	69
4 Zusammenfassung	71

Anlagenverzeichnis

Anlage A	Unterlagen zur hydraulischen Untersuchung	
<i>Anlage A1</i>	<i>Allgemeines zur Modellerstellung</i>	
Anlage A1.1	Rauheitsbelegung des Berechnungsmodells	kein Maßstab
Anlage A1.2	Leistungsband Bad Staffelstein	kein Maßstab
Anlage A1.3	Lageplan zum schadlosen Abfluss	Maßstab 1:25.000
<i>Anlage A2</i>	<i>Fließtiefen IST-Zustand</i>	
Anlage A2.1	Übersichtslageplan	Maßstab 1:5.000
Anlage A2.2	Loffeld	Maßstab 1:2.000/1:20.000
Anlage A2.3	Horsdorf	Maßstab 1:2.000/1:20.000
Anlage A2.4	Bad Staffelstein	Maßstab 1:2.000/1:20.000
Anlage B	Unterlagen zur Vorzugslösung	
<i>Anlage B1</i>	<i>Fließtiefen PLAN-Zustand</i>	
Anlage B1.1	Übersichtslageplan	Maßstab 1:5.000
Anlage B1.2	Loffeld	Maßstab 1:2.000/1:20.000
Anlage B1.3	Horsdorf	Maßstab 1:2.000/1:20.000
Anlage B1.4	Bad Staffelstein	Maßstab 1:2.000/1:20.000
<i>Anlage B2</i>	<i>Lageplan Hochwasserrückhaltebecken</i>	<i>Maßstab 1:250/1:1.000</i>
<i>Anlage B3</i>	<i>Grobkostenschätzung</i>	
Anlage B3.1	Kostenschätzung innerörtliche Maßnahmen	kein Maßstab
Anlage B3.2	Kostenschätzung Hochwasserrückhaltebecken	kein Maßstab

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: hydrologischer Längsschnitt des Lauterbachs (Neuberechnung LfU, Quelle [U9])	19
Tabelle 2: Fallunterscheidung bei Festlegung der Kronenhöhe und Segmentbreite	28
Tabelle 3: Brückenbauwerke im Neumodell – Bereich Bad Staffelstein	29
Tabelle 4: Brückenbauwerke im Neumodell – Bereich Horsdorf und Loffeld	30
Tabelle 5: Modellierete Durchlässe im Neumodell	31
Tabelle 6: Sonstige modellierete Bauwerke und hydraulisch relevante Strukturen	32
Tabelle 7: Verwendete Rauheiten für das Berechnungsmodell	34
Tabelle 8: Zuläufe des Berechnungsmodells für den IST-Zustand	36
Tabelle 9: Höhenvergleich zwischen berechneten und aufgezeichneten WSPs beim HW 1978	38
Tabelle 10: Rückhaltevolumina in Abhängigkeit des Drosselabflusses (Neuermittlung [U10])	50
Tabelle 11: Zuläufe des Berechnungsmodells für den PLAN-Zustand	53
Tabelle 12: Umfang der innerörtlichen Maßnahmen in Abhängigkeit des Drosselabflusses	56
Tabelle 13: Grobkosten in Abhängigkeit des Drosselabflusses - Zahlenwerte	57
Tabelle 14: Grobkostenschätzung	70

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hochwasser 1978 – Stadtzentrum Bad Staffelstein [Q1].....	7
Abbildung 2: Hochwasser 1978 – Überschwemmung auf der Horsdorfer Straße [Q1]	7
Abbildung 3: Aufweitung mit Zugang zum Gewässer	7
Abbildung 4: Hochwasserschutzmauern	7
Abbildung 5: Übersicht des Projektgebiets (Quelle Hintergrund: Vermessungsverwaltung Bayern) .	8
Abbildung 6: Ufermauer in Loffeld	11
Abbildung 7: Ufermauer und Aufweitung in Horsdorf.....	11
Abbildung 8: Bogenbrücke in Loffeld	11
Abbildung 9: Steg und Sohlschwelle in Loffeld	11
Abbildung 10: Ausleitungswehr Horsdorf.....	12
Abbildung 11: Entlastungsmöglichkeit in Horsdorf.....	12
Abbildung 12: Einlaufbereich der ‚Alten Mühle‘	12
Abbildung 13: Schützenanlage (links) und Leerschuss (rechts) der ‚Fuchsenmühle‘	12
Abbildung 14: Bewuchs und Uferbefestigung eines außerörtlichen Abschnitts des Lauterbachs..	13
Abbildung 15: Uferbefestigung unterhalb der Autobahnbrücke.....	13
Abbildung 16: Ausleitungswehr für den Mühlbach (unterstrom der A73)	13
Abbildung 17: Verrohrung des Mühlbachs am ‚Äußeren Frankenring‘.....	13
Abbildung 18: Bestehender Sommerdeich im linken Vorlandbereich des Lauterbachs	13
Abbildung 19: Streichwehr am Mühlbach (1).....	14
Abbildung 20: Streichwehr am Mühlbach (2).....	14
Abbildung 21: Auslauf des Mühlbachdükers	14
Abbildung 22: Lauterbach und Mühlbach im ‚Grünen Band‘	14
Abbildung 23: ‚Mühlbach-Kaskaden‘	15
Abbildung 24: Überleitungsbauwerk ‚Goethestraße‘	15
Abbildung 25: Aufweitung des Fließquerschnitts des Mühlbachs.....	15
Abbildung 26: Naturnaher Mühlbach mit grasbewachsener Böschung	15
Abbildung 27: Ufermauern am Lauterbach	16
Abbildung 28: Lauterbach im ‚grünen Band‘	16
Abbildung 29: Rechteckdurchlass am Bahndamm.....	16
Abbildung 30: HWS-Mauer an der Obermain-Therme.....	16
Abbildung 31: Breit angelegte Grünfläche am Lauterbach auf Höhe der Obermain Therme	16
Abbildung 32: Naturbelassener Streckenabschnitt bis zur Mündung in den Main	16
Abbildung 33: Fußgängersteg über den Mühlbach.....	17
Abbildung 34: Straßenbrücke über den Lauterbach	17
Abbildung 35: Untersuchte Standorte der HRBs [U1]	18
Abbildung 36: Untersuchte Varianten [U1].....	18
Abbildung 37: Bewertungsmatrix der Varianten [U1]	18
Abbildung 38: Vermessungsumfang.....	21
Abbildung 39: Prinzip-Skizze zur Vermessung der Brücken (Quelle: LfU-Vorgaben)	21
Abbildung 40: Gewässer und Bauwerke an der Hopfenmühle (Hintergrund: freie Geodaten Bay.) .	22
Abbildung 41: Vermessung des historischen Grabens auf Höhe der Hopfenmühle.....	23
Abbildung 42: Modellierung von Mauern im Stadtgebiet Bad Staffelstein	24
Abbildung 43: Eingabedatei LASER_AS für Vorlandmodellerstellung.....	25
Abbildung 44: Beispiel für die Modellierung einer Brücke im hydraulischen Berechnungsmodell ..	27
Abbildung 45: Modellierte Ausleitungswehre	32
Abbildung 46: Modellierte Streichwehre in Bad Staffelstein.....	32
Abbildung 47: Modellierte Abstürze.....	33
Abbildung 48: Modellierte Absperrschütze	33

Abbildung 49: Umgriff des Gesamtmodells für den IST-Zustand	35
Abbildung 50: Vergleich des Ü-Gebiets im Bereich Horsdorf / Loffeld ($HQ_{100,alt} = 37,2 \text{ m}^3/\text{s}$)	39
Abbildung 51: Vergleich des Ü-Gebiets im Bereich Bad Staffelstein ($HQ_{100,alt} = 37,2 \text{ m}^3/\text{s}$)	40
Abbildung 52: Fließtiefen im IST-Zustand für HQ_{100} in Bad Staffelstein (Überblick)	42
Abbildung 53: Fließtiefen im IST-Zustand bei HQ_{100} am Ortseingang von Bad Staffelstein	43
Abbildung 54: Fließtiefen im IST-Zustand bei HQ_{100} im Stadtbereich Süd	43
Abbildung 55: Fließtiefen im IST-Zustand bei HQ_{100} im Stadtbereich Nord	44
Abbildung 56: Fließtiefen im IST-Zustand bei HQ_{100} in der 'Auwaldsiedlung'	45
Abbildung 57: Fließtiefen im IST-Zustand bei HQ_{100} in Horsdorf	45
Abbildung 58: Fließtiefen im IST-Zustand bei HQ_{100} in Loffeld	46
Abbildung 59: Frühzeitige Ausuferungen im Bereich der Hopfenmühle	47
Abbildung 60: Kritische Stellen in Bad Staffelstein beim Abfluss $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ (blaue Flächen)	48
Abbildung 61: Leistungsband Bad Staffelstein	49
Abbildung 62: Zusammenhang zw. Drosselabfluss und Umfang der innerörtlichen Maßnahmen ..	51
Abbildung 63: Schema zur iterativen Vorgehensweise	51
Abbildung 64: Zukünftiges Ü-Gebiet im Bereich der Hopfenmühle	54
Abbildung 65: Umgriff des Gesamtmodells für den PLAN-Zustand ($Q_{Dr} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$)	55
Abbildung 66: Grobkosten in Abhängigkeit des Drosselabflusses – graphische Darstellung	58
Abbildung 67: Lage des HRBs mit Staulinie (Auszug aus Anlage B2)	59
Abbildung 68: isometrische Darstellung des Dammes (Blick aus süd-östlicher Richtung)	60
Abbildung 69: Geplante Mauer am Feuerwehrhaus Loffeld	60
Abbildung 70: Fließtiefen im PLAN-Zustand in der Ortschaft Loffeld	61
Abbildung 71: Fließtiefen im PLAN-Zustand in der Ortschaft Horsdorf	62
Abbildung 72: Querschnitt durch Mühlbach und Lauterbach oberstrom von Horsdorf	63
Abbildung 73: Prinzipskizze der Überfallscharte zwischen Mühlbach und Lauterbach	63
Abbildung 74: Mobiler Verschluss am Tor des Anwesens ‚Fuchsenmühle 1‘	64
Abbildung 75: Mauerwerks-Abdichtung an der Außenwand des Anwesens ‚Fuchsenmühle 1‘	64
Abbildung 76: Fließtiefen im PLAN-Zustand am Stadtrand von Bad Staffelstein	65
Abbildung 77: Straßenerhöhung an der St 2204 (Hintergrundbild: Google)	66
Abbildung 78: Skizze des Absperrbauwerks vor Mühlbach-Durchlass	67
Abbildung 79: Prinzipskizze zur Ertüchtigung des Sommerdeichs	67
Abbildung 80: Querschnitt des zu sanierenden Sommerdeichs	68
Abbildung 81: Fließtiefen im PLAN-Zustand im Stadtgebiet Bad Staffelstein	68
Abbildung 82: Mauererhöhung am Mühlbach am Anwesen ‚Am oberen Lauterdamm 2‘	69
Abbildung 83: HWS-Mauer am Gasthof ‚Grüner Baum‘ / Edeka-Parkplatz	69
Abbildung 84: Mauererhöhung am Anwesen ‚Rotkreuzweg 5‘ (Bereich Goethestraße)	69

1 ALLGEMEINES UND DATENGRUNDLAGEN

1.1 Einleitung

Um zukünftig die Stadt Bad Staffelstein vor einem 100-jährlichen Hochwasserereignis (HQ_{100}) plant das Wasserwirtschaftsamt Kronach (WWA) Hochwasserschutzmaßnahmen am Lauterbach.

Das Stadtbild ist durch den Lauterbach, ein Gewässer 2. Ordnung, geprägt. In der Vergangenheit führten Hochwasserereignisse zu ausgeprägten Überschwemmungen im Stadtgebiet. Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen historische Zeitungsbilder des Hochwassers vom Mai 1978.



Abbildung 1: Hochwasser 1978 – Stadtzentrum Bad Staffelstein [Q1]



Abbildung 2: Hochwasser 1978 – Überschwemmung auf der Horsdorfer Straße [Q1]

In den Zeiträumen 1986 bis 1999 und 2008 bis 2011 wurden bereits innerörtliche Hochwasserschutzmaßnahmen durchgeführt, wie es Abbildung 3 und Abbildung 4 beispielhaft zeigt. Diese bestanden in der Aufweitung des Fließgewässers (Lauterbach) und dem Neubau von Ufermauern.



Abbildung 3: Aufweitung mit Zugang zum Gewässer



Abbildung 4: Hochwasserschutzmauern

Durch diese Maßnahmen konnte der Hochwasserschutz auf ein 20-jährliches Ereignis (HQ_{20}) erhöht werden. Erst in Kombination mit einem oberhalb des Stadtgebiets gelegenen Hochwasserrückhaltebecken (HRB) kann der Schutz vor einem HQ_{100} gewährleistet werden.

Im Zuge der Vorplanung stellte die Planungsgemeinschaft Ingérop Deutschland GmbH und Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH (PG) – ehemals EDR und Blasy & Øverland – anhand einer Variantenuntersuchung verschiedene Becken-Kombinationen gegenüber und bewertete diese im Hinblick auf wasserwirtschaftliche und monetäre Aspekte [U1]. Bei der Bewertung wurde auch das Schadenspotential der oberliegenden Ortschaften mit einbezogen – je nach Lage der betrachteten Kombination wird ggf. auch die Hochwassersituation der Ortschaften Horsdorf, Loffeld und Stublang verbessert und somit deren Schadenspotential bei einem HQ_{100} reduziert. Variante 6 (Einzelbecken 2) hat sich dabei als wirtschaftlichste Lösung für die Erzielung eines Hochwasserschutzes der Stadt Bad Staffelstein herausgestellt.

Im Verlauf der Projektbearbeitung kam es zur Überarbeitung der hydrologischen Grundlagen, welche die Basis der hydraulischen Untersuchungen darstellen. Aufgrund dessen ist die Aktualisierung der Vorplanung notwendig. Im folgenden Bericht wird die ursprüngliche Vorplanung angepasst, indem Hochwasserschutzmaßnahmen für die veränderten Verhältnisse erarbeitet werden.

1.2 Lage des Projektgebiets

Das Projektgebiet ist in Abbildung 5 grob eingetragen (rot strichliert). Der Lauterbach ist ein rund 7,4 km langes Gewässer (II. Ordnung), das aus dem Zusammenfluss der Döberten und Döriz in der Ortschaft Stublang entspringt. Bis zur Mündung in den Main bei Fluss-Kilometer 257 verläuft das Gewässer durch die Ortschaften Loffeld, Horsdorf und Bad Staffelstein. In Horsdorf und Bad Staffelstein ist abschnittsweise ein parallel verlaufender Mühlbach vorhanden, der durch den Lauterbach gespeist wird. Die angrenzenden Bereiche der außerörtlichen Fließstrecken sind durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt.

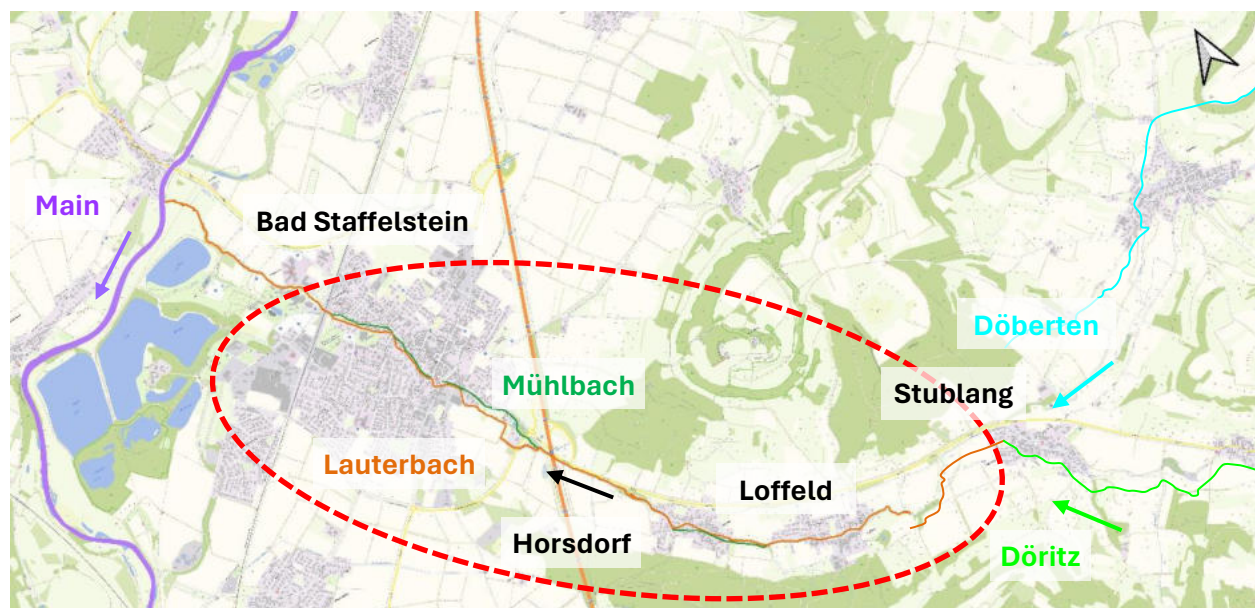


Abbildung 5: Übersicht des Projektgebiets (Quelle Hintergrund: Vermessungsverwaltung Bayern)

1.3 Verwendete Grundlagen

Für die Durchführung der Berechnungen standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- [U1] Vorplanung zum Hochwasserschutz Bad Staffelstein, EDR GmbH, Stand Februar 2023
→ Erläuterungsbericht und Planunterlagen zur Variantenuntersuchung
- [U2] Bestandsmodell des Lauterbachs inklusive Döberten und Döriz (HYDRO_AS-Version 2.2 bzw. 4.3, vermutlich DHHN92-Höhen), übergeben durch das WWA, Berechnungsnetz (2dm-Datei) sowie Wasserspiegellagen (Maximal-Werte)
→ Modell mit GK-Koordinaten: Übergabe per digitalem Datenaustausch am 27.07.2021
→ Modell mit UTM-Koordinaten: Übergabe per digitalem Datenaustausch am 14.09.2021
- [U3] Hochwasserschutz Bad Staffelstein – Erweiterung des Projektgebiets um Horsdorf und Lof-feld, Erläuterungsbericht mit Anlagen, EDR & Dr. Blasy Øverland Ingenieure GmbH (im Auf-trag des WWA Kronach), Dezember 2023
- [U4] Georeferenzierte digitale Geodaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung (<https://geodaten.bayern.de/opengeodata>):
→ Raster-DGM-Daten 1 m x 1 m (txt-Format)
→ digitale Ortskarte (DOK) und Luftbilder (DOP20 und DOP 40)
→ Hausumringe (shp-Format)
- [U5] Vermessungsdaten des Lauterbachs und Mühlbachs, Ingenieurbüro IGL Werneck, Stand Juli 2024:
→ Querprofile, Linienstrukturen, Uferlinien und Böschungsoberkanten
→ Bauwerke
- [U6] Vermessungsdaten des historischen Grabens, WWA Kronach, Stand 30.10.2024
→ Durchlässe
→ Einzelpunkte der Sohle
- [U7] Aufzeichnungen der Wasserspiegellagen zum historischen Hochwasser im Mai 1978 (Zei-tungsartikel sowie handschriftliche Höhenkoten der Wasserspiegel in verschiedene Ort-schaften), übergeben vom WWA Kronach per digitalem Datenaustausch am 27.07.2021
- [U8] Niederschlag-Abfluss-Modell für den Lauterbach inkl. Bemessung des HRBs, Erläuterungs-bericht mit Anlagen, BGS, Dezember 2018
- [U9] Randbedingungen / Zuflüsse für das Neumodell des Lauterbachs, E-Mail vom WWA (Hr. Trost) vom 18.09.2024
→ Hydrologischer Längsschnitt des Lauterbachs
(Neuberechnung der Hochwasserabflüsse durch das bayerische Landesamt für Umwelt)
→ Anzusetzender Main-Zufluss für die HQ₁₀₀-Berechnungen am Lauterbach
(Lastfallkombination für Main und Lauterbach)
→ Abmessungen der Fußgängerunterführung am Bahndamm im Stadtgebiet
- [U10] Ermittlung der erforderlichen Rückhaltevolumina (anhand des aktualisierten Niederschlag-Abfluss-Modells) für unterschiedliche Drosselabflüsse, E-Mail vom 14.05.2025 von BGS
- [U11] Bestandsmodell des Mains (HYDRO_AS-Version 4.0, Gauß-Krüger-Koordinaten und DHHN12-Höhen), übergeben durch das WWA am 19.08.2024
→ Berechnungsnetz (2dm-Datei) und Dateien sämtlicher Berechnungsergebnisse
- [U12] Bestandsmodell des Lauterbachs im Stadtbereich Bad Staffelstein (HYDRO_AS-Version 4.0 und UTM-Koordinaten), übergeben durch das WWA am 09.08.2024
→ Berechnungsnetz (2dm-Datei) und Dateien sämtlicher Berechnungsergebnisse

- [U13] Georeferenzierte Geodaten im shape-Format
→ tatsächliche Gebietsnutzung, übergeben durch das WWA am 12.08.2024
→ digitale Flurkarte (DFK), übergeben durch das WWA am 17.12.2024
- [U14] Planunterlagen zu historischen und bestehenden Mühlen in Bad Staffelstein, übergeben durch das WWA am 28.08.2024
- [U15] Planunterlagen und historische Aufzeichnungen zu den Mühlen in Horsdorf, übergeben durch das WWA am 19.02.2025
- [U16] Planunterlagen und Betriebsanleitungen der innerstädtischen Regel- und Steuerungsorgane, übergeben durch das WWA am 04.09.2024
- [U17] HQ₁₀₀-Zuflüsse aus den Einzugsgebieten zwischen Becken 2 und Stadtrand (Ergebnisse des aktualisierten Niederschlag-Abfluss-Modells), E-Mail vom 03.07.2025 von BGS

Folgende fachliche Literatur und Normen wurden der Bearbeitung zugrunde gelegt:

- [F1] Handbuch hydraulische Modellierung – Vorgehensweisen und Standards für die 2D-Modellierung von Fließgewässern in Bayern, Ausgaben Juli 2015 und Januar 2018, Bayerisches Landesamt für Umwelt
- [F2] Merkblatt DWA-M 522 – kleine Talsperren und kleine Hochwasserrückhaltebecken, gemeinsames Merkblatt der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT), des Deutschen Talsperren-Komitees (DTK) und der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Mai 2015
- [F3] DIN 19700-12:2004-07, Teil 12 (Hochwasserrückhaltebecken), in Verbindung mit den Teilen 10 (gemeinsame Festlegungen) und 11 (Talsperren)
- [F4] DIN 19712:2013-01: Hochwasserschutzanlagen in Fließgewässern, Januar 2013
- [F5] DVWK Merkblatt 246/1997 – Freibordbemessung an Stauanlagen, 1997
- [F6] Hydraulik im Wasserbau, R. Rössert, 10. Auflage, Oldenbourg Verlag, 1999
- [F7] Bautabellen für Ingenieure, K.-J. Schneider, 15. Auflage, Werner Verlag, 2002

Für die Berechnungen wurde folgende Software verwendet:

- [S1] QGIS, Version 3.32: Zusammenstellung von Geodaten und graphische Darstellungen
- [S2] HYDRO_AS, Version 5.5.4: Programm zur Berechnung der Wasserspiegellagen
- [S3] LASER_AS, Version 2.0.3: Ausdünnung der Befliegungsdaten und Erstellung des Berechnungsmodells für den Vorlandbereich der Gewässer
- [S4] SMS, Version 13.3.9: Programm für das Pre- und Post-Processing (Anpassung des Berechnungsmodells, Auswertung und Darstellung der Ergebnisse)
- [S5] Flussschlauchgenerator (Version 1.0) / RiverMesh (Version 2.2): Erstellung des Berechnungsmodells im Bereich des Flussschlauches auf Grundlage der Vermessungs-Querprofile
- [S6] AutoCAD 2022: Aufbereitung der Vermessung für die Modellierung von Mauern
- [S7] Autodesk Civil3D 2022: Konstruktion von 3D-Polylinien für die Modellierung von Bauwerken
- [S8] Microsoft Excel, Version 365: Tabellen-Kalkulations-Programm zur Durchführung der hydraulischen Untersuchungen und Darstellung der Ergebnisse

Quellen von Abbildungen, die nicht von IDE angefertigt worden sind:

- [Q1] Historische Zeitungsfotos, Zeitung ‚Fränkischer Tag‘ vom 24./ 25.05.1978, Nr. 155, S. 22-23

- [Q2] Informationen über und Fotos der innerörtlichen HWS-Maßnahmen (2008 – 2011) in Bad Staffelstein, abgerufen von der Homepage des WWA am 19.08.2025
→ https://www.wwa-kc.bayern.de/projekte/hws_bad_staffelstein/index.htm
- [Q3] Fotos des Sommerdeichs ins Bad Staffelstein, übermittelt durch das WWA am 17.07.2025
- [Q4] Statistische Entwicklung der Baupreisindices für Wohngebäude und Straßenbau, Homepage des Statistischen Bundesamts 2025
https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/01/PD25_011_61261.html

1.4 Kurzbeschreibung der Gewässer und der örtlichen Gegebenheiten

Der aktuelle Gewässerausbau des Lauterbachs variiert stark in Abhängigkeit der Lage des jeweiligen Fließabschnitts – innerorts zeigt sich ein stark verbauter Fließquerschnitt (weitgehend mit Ufermauern befestigt), außerorts weist der Lauterbach einen naturnäheren Charakter auf.

Nachfolgende Abbildungen verdeutlichen die innerörtliche Situation in den Ortschaften Loffeld und Horsdorf. Das Ortsbild ist geprägt durch begleitende Ufermauern, die in Betonbauweise bzw. als Mauerwerk aus Blocksteinen ausgeführt wurden (siehe Abbildung 6 und Abbildung 7).

Es existieren viele Brücken, darunter auch Bogenbrücken, sowie einige Stege aus einfachen Betonplatten mit Geländer (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9). In beiden Ortschaften bestehen einige Sohlschwellen, die primär der Stabilisierung der Gewässersohle hinsichtlich der ursprünglich hohen Längsneigung dienen (siehe Abbildung 9).



Abbildung 6: Ufermauer in Loffeld



Abbildung 7: Ufermauer und Aufweitung in Horsdorf

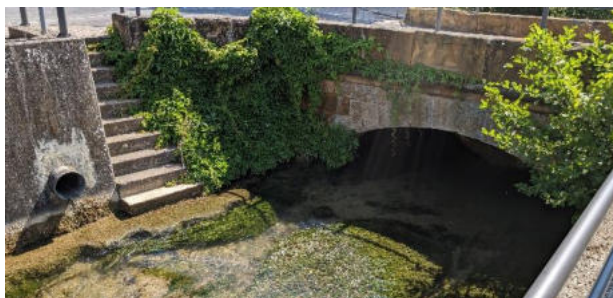


Abbildung 8: Bogenbrücke in Loffeld



Abbildung 9: Steg und Sohlschwelle in Loffeld

In Horsdorf verläuft parallel zum Lauterbach der Mühlbach als offenes Gerinne, dessen Ausleitung über eine ca. 250 m oberhalb von Horsdorf gelegene Wehranlage bewerkstelligt wird (siehe

Abbildung 10). Innerorts besteht eine Entlastungsmöglichkeit zwischen Mühlbach und Lauterbach (siehe Abbildung 11).



Abbildung 10: Ausleitungswehr Horsdorf



Abbildung 11: Entlastungsmöglichkeit in Horsdorf

Neben der ‚Alten Mühle‘, an der ein altes Wasserrad angetrieben wird, wird auch die ‚Fuchsenmühle‘ durch den Mühlbach gespeist (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13).



Abbildung 12: Einlaufbereich der ‚Alten Mühle‘



Abbildung 13: Schützenanlage (links) und Leerschuss (rechts) der ‚Fuchsenmühle‘

Der Fließabschnitt zwischen Horsdorf und Bad Staffelstein ist größtenteils unverbaut, wobei die Ufer stark bewachsen sind. Über kurze Abschnitte besteht eine Uferbefestigung in Form von Wasserbausteinen (siehe Abbildung 14). Erst auf Höhe der Autobahn A73 sind wieder größere Verbauungen am Lauterbach zu finden. Auf Uferbefestigungen im Bereich unterhalb der Autobahnbrücke (siehe Abbildung 15) folgen eine Wehranlage für die Ausleitung des städtischen Mühlbachs (siehe Abbildung 16) sowie eine Brücke und zwei Durchlässe auf Höhe des ‚Äußeren Frankenrings‘. Der größere Mühlbach-Durchlass ist in Abbildung 17 dargestellt.



Abbildung 14: Bewuchs und Uferbefestigung eines außerörtlichen Abschnitts des Lauterbachs



Abbildung 15: Uferbefestigung unterhalb der Autobahnbrücke



Abbildung 16: Ausleitungswehr für den Mühlbach (unterstrom der A73)



Abbildung 17: Verrohrung des Mühlbachs am ‚Äußeren Frankenring‘

Im Bereich der Hopfenmühle existiert linksseitig des Lauterbachs auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen ein Sommerdeich (siehe Abbildung 18), der im Hochwasserfall die Überschwemmung in Richtung Ortszentrum unterbinden soll.



Abbildung 18: Bestehender Sommerdeich im linken Vorlandbereich des Lauterbachs

Im Stadtgebiet verlaufen Lauterbach und Mühlbach annähernd parallel, wobei immer wieder Verbindungen zwischen den beiden Fließgewässern bestehen. Diese dienen einerseits der Aus- und Wiedereinleitung und andererseits der Entkopplung der Gewässer im Hochwasserfall. Im südlichen Stadtgebiet existieren beispielsweise zwei Streichwehre, die wasserstandsabhängig automatisch gesteuert werden, so dass der Lauterbach im Hochwasserfall abgesperrt werden kann [U16]. Ansichten der Streichwehre sind in Abbildung 19 und Abbildung 20 dargestellt. Ca. 40 m unterstrom des unteren Streichwehrs geht der Mühlbach in eine Verrohrung über (Querung unterhalb des Stadtgrabens und der Bamberger Straße) und tritt letztendlich am sogenannten ‚Grünen Band‘

wieder aus. Ab dieser Stelle verläuft der Mühlbach parallel als offenes Gerinne zum Lauterbach (siehe Abbildung 21 und Abbildung 22).



Abbildung 19: Streichwehr am Mühlbach (1)



Abbildung 20: Streichwehr am Mühlbach (2)



Abbildung 21: Auslauf des Mühlbachdükers



Abbildung 22: Lauterbach und Mühlbach im 'Grünen Band'

Auf Höhe der Brücke an der ‚Goethestraße‘ mündet der Mühlbach in den Lauterbach über die ‚Mühlbach-Kaskaden‘ ein (siehe Abbildung 23). Direkt unterhalb der Brücke wird der Mühlbach über ein Überleitungsbauwerk, bestehend aus einem Schütz und einem anschließenden Rechteckdurchlass, wieder ausgeleitet (siehe Abbildung 24).



Abbildung 23: ‚Mühlbach-Kaskaden‘



Abbildung 24: Überleitungsbauwerk ‚Goethestraße‘

Der Mühlbach kann in dem bisher beschriebenen Bereich als stark verbautes Fließgewässer charakterisiert werden, da er größtenteils als offenes, von Mauern eingefasstes Gerinne verläuft. Erst unterstrom der Brücke an der ‚Goethestraße‘ weitet sich der Fließquerschnitt allmählich und die seitlichen Begrenzungen werden durch natürliche, grasbewachsene Böschungen abgelöst (siehe Abbildung 25 und Abbildung 26), bis er sich letztendlich kurz oberstrom des Bahndamms wieder mit dem Lauterbach vereinigt.

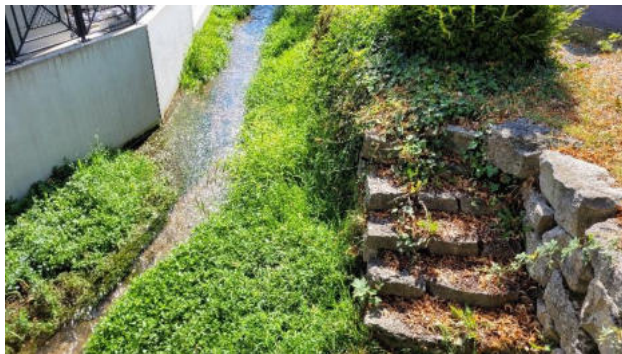


Abbildung 25: Aufweitung des Fließquerschnitts des Mühlbachs



Abbildung 26: Naturnaher Mühlbach mit grasbewachsener Böschung

Im Gegensatz zum Mühlbach ist der Fließquerschnitt des innerörtlichen Lauterbach deutlich größer. Im Zuge der Umsetzung von Hochwasserschutzmaßnahmen (Bauzeit zwischen 2008 und 2011) wurde das Bachbett auf einer Länge von 1,6 km mindestens 6,0 m verbreitert [Q2]. Innerhalb der bebauten Abschnitte wurden über längere Strecken Hochwasserschutzmauern errichtet (siehe Abbildung 27), die jedoch abschnittsweise durch natürlich Böschungen abgelöst werden. Der Lauterbach wurde auf diesem Wege in das ‚Grüne Band‘ integriert, welches attraktive Zugangsmöglichkeiten zum Fließgewässer schafft (siehe Abbildung 28).



Abbildung 27: Ufermauern am Lauterbach



Abbildung 28: Lauterbach im ‚grünen Band‘

Nach der Unterquerung des Bahndamms über einen großen Rechteck-Durchlass (siehe Abbildung 29), passiert das Gewässer den Bereich der Obermain-Therme und des Kurzentrums. In diesem Bereich schützt linksseitig eine Mauer gegen Ausuferungen (siehe Abbildung 30); an den beidseitig angrenzenden Grünflächen sind breite Überschwemmungen zugelassen (siehe Abbildung 31).



Abbildung 29: Rechteckdurchlass am Bahndamm



Abbildung 30: HWS-Mauer an der Obermain-Therme



Abbildung 31: Breit angelegte Grünfläche am Lauterbach auf Höhe der Obermain Therme



Abbildung 32: Naturbelassener Streckenabschnitt bis zur Mündung in den Main

Nach der Passage unbebauter landwirtschaftlicher Flächen (siehe Abbildung 32) mündet der Lauterbach in den Main.

Ortsbildprägend sind die ca. 40 Brückenbauwerke bzw. Fußgängerstege, wobei in Abbildung 33 und Abbildung 34 beispielhafte Darstellungen zu finden sind. Diesen Bauwerken kann im Hochwasserfall eine große Bedeutung zukommen, da sie den Fließquerschnitt einengen und einen Aufstau verursachen könnten.



Abbildung 33: Fußgängersteg über den Mühlbach



Abbildung 34: Straßenbrücke über den Lauterbach

1.5 Hintergrund und Ziel der überarbeiteten Vorplanung

1.5.1 Ergebnisse der Vorplanung 2023

Im Rahmen der Vorplanung 2023 [U1] untersuchte die PG mehrere mögliche Beckenstandorte und Kombinationen, wobei die Ergebnisse in diesem Unterkapitel kurz zusammengefasst werden. Für Details der Variantenuntersuchung wird auf die Unterlagen zur Vorplanung (Erläuterungsbericht mit Plänen) verwiesen [U1].

Abbildung 35 zeigt die fünf untersuchten Standorte der HRBs. Es wurden insgesamt 16 Varianten hinsichtlich verschiedener Kriterien (wasserwirtschaftliche Aspekte, Ökologie, Eingriffe Dritter, Eignung der Flächenstandorte, Ökonomie) untersucht. Die betrachteten Varianten sind in Abbildung 36 zusammengefasst. Dabei wurde auch die Ausführung der Becken im Hauptschluss (HS) oder Nebenschluss (NS) berücksichtigt.

Anhand der genannten Kriterien wurde eine Bewertungsmatrix aufgestellt, um die Varianten untereinander vergleichen und schließlich eine Vorzugslösung wählen zu können. Die Matrix und deren Skalierung sind in Abbildung 37 dargestellt. Aus der Matrix geht hervor, dass Variante 6, die das Einzelbecken am Standort 2 (zwischen Loffeld und Stublang) beinhaltet, mit einer Bewertung von 34,7 die höchste Punktzahl erhalten hat (siehe Abbildung 37). Auf Basis der damaligen hydrologischen Grundlage [U8] umfasste das Einzelbecken ein Rückhaltevolumen von 550.000 m³ bei einem Drosselabfluss von $Q_{Dr} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$. Ein bedeutender Vorteil der Ausführung als Einzelbecken sind die geringeren Kosten bezüglich Herstellung und Unterhalt.

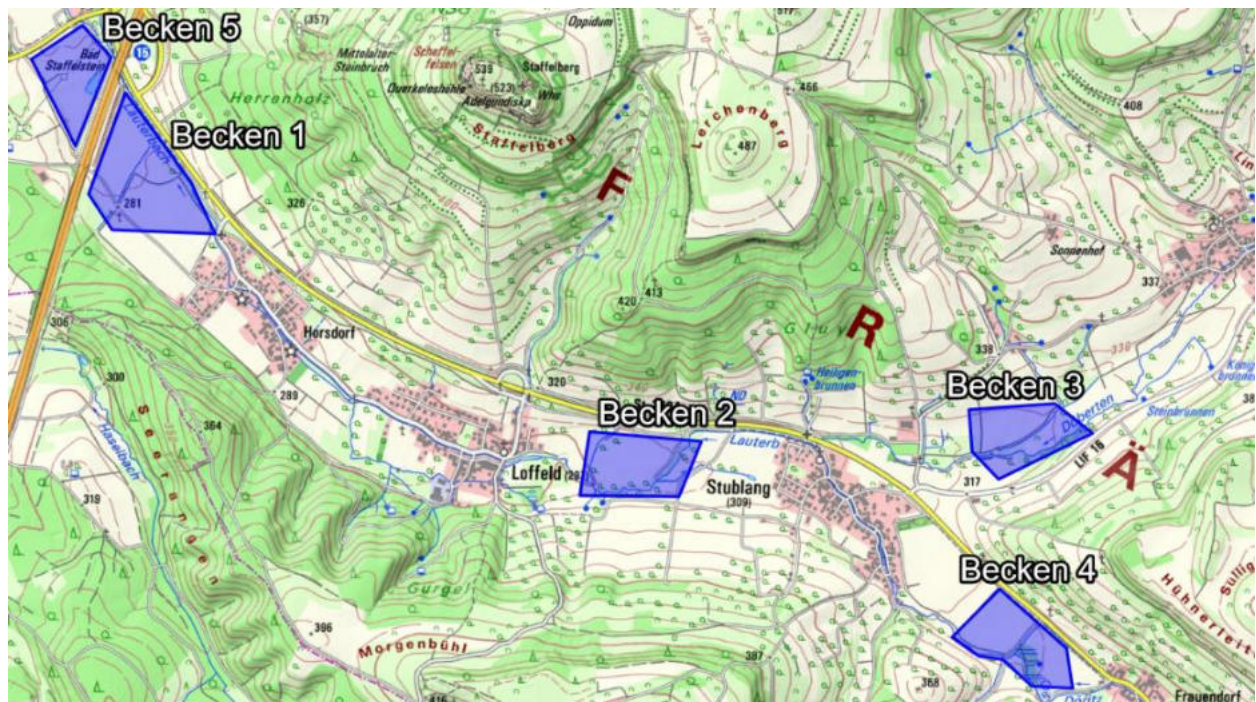


Abbildung 35: Untersuchte Standorte der HRBs [U1]

Variante	Becken	Art
1	1 (HS)	Einzelbecken
2	1 + 2	Beckenkombination
3	1 + 3	Beckenkombination
4	1 + 4 (HS)	Beckenkombination
5	1 + 4 (NS)	Beckenkombination
6	2	Einzelbecken
7	2 + 3	Beckenkombination
8	2 + 4 (HS)	Beckenkombination
9	2 + 4 (NS)	Beckenkombination
10	3 + 4 (HS)	Beckenkombination
11	1 (NS)	Beckenkombination
12	1 + Bypass Horsdorf	Beckenkombination
13	3	Einzelbecken
14	4	Einzelbecken
15	3 + 4 (NS)	Beckenkombination
16	5	Einzelbecken

Abbildung 36: Untersuchte Varianten [U1]

Becken 4 NS	25,45	26,85																
Becken 4 HS	26,3	29,4	32,45															
Becken 3	27,7	31,05	32,45															
Becken 2	24,55	34,7	31,05	29,4	26,85													
Becken 1	30,8	24,65	27,7	26,3	25,45													
	<table border="1"> <tr><td>> 34</td><td>zu favorisieren</td></tr> <tr><td>32-34</td><td></td></tr> <tr><td>30-32</td><td></td></tr> <tr><td>28-30</td><td></td></tr> <tr><td>26-28</td><td></td></tr> <tr><td>< 26</td><td>nicht sinnvoll</td></tr> </table>	> 34	zu favorisieren	32-34		30-32		28-30		26-28		< 26	nicht sinnvoll	Becken 1	Becken 2	Becken 3	Becken 4 HS	Becken 4 NS
> 34	zu favorisieren																	
32-34																		
30-32																		
28-30																		
26-28																		
< 26	nicht sinnvoll																	

Abbildung 37: Bewertungsmatrix der Varianten [U1]

1.5.2 Überarbeitung der Hydrologie und Bedeutung für die Vorplanung

Durch das bayerische Landesamt für Umwelt wurden die Scheitelabflüsse des Lauterbachs für verschiedene Jährlichkeiten neu ermittelt, wobei die Ergebnisse vom WWA im September 2024 der PG zur Verfügung gestellt wurden [U9] und diese in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgeführt sind.

Fließgewässer- querschnitt	AEO [km ²]	Hochwasserscheitelabfluss HQ_T in [m ³ /s] für das Wiederkehrintervall T						
		MHQ	HQ ₅	HQ ₁₀	HQ ₂₀	HQ ₅₀	HQ ₁₀₀	HQ ₁₀₀₀
Pegel Stublang	38,3	3,8	3,8	5,5	8	15	23	41
Loffeld	40,8	4,0	4,0	5,9	9	16	25	44
Horsdorf	41,6	4,1	4,1	6,0	9	16	25	44
A73	44,7	4,4	4,4	6,5	10	17	27	48
Mündung in den Main	46,2	4,6	4,6	6,8	10	18	28	50

Tabelle 1: hydrologischer Längsschnitt des Lauterbachs (Neuberechnung LfU, Quelle [U9])

Demnach beträgt der Scheitelabfluss des 100-jährlichen Hochwasserereignisses an der Autobahn $HQ_{100,A73} = 27 \text{ m}^3/\text{s}$. Aus dem Stadtgebiet fließen zusätzlich noch in der Spitze $1 \text{ m}^3/\text{s}$ zu, so dass sich der Gesamtabfluss des Lauterbachs im Mündungsbereich in den Main auf $HQ_{100} = 28 \text{ m}^3/\text{s}$ erhöht. Verglichen mit den ursprünglichen Scheitelabflüssen verringerte sich der HQ_{100} -Abfluss für den Standort der Autobahn A73 von $37,6 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $27 \text{ m}^3/\text{s}$.

Anhand der neu ermittelten Scheitelabflüsse wurde das 2018 erstellte Niederschlags-Abfluss-Modell [U8] durch das Ingenieurbüro BGS Wasser (BGS) aktualisiert und damit die Ganglinien (Hochwasserfüllen) neu ermittelt. Die Reduzierung des Scheitelabflusses führte zu einer signifikanten Verringerung der Hochwasserfülle.

1.5.3 Ziel der vorliegenden Untersuchung

Die Änderung der Grundlagen (primär die hydrologischen Randbedingungen, siehe Kapitel 1.5.2, sekundär die Erstellung des Neumodells des Lauterbachs, siehe nachfolgendes Kapitel 2) erforderte eine Überprüfung der Ergebnisse aus der Vorplanung – durch die damaligen signifikant größeren Hochwasserfüllen wären die vorgesehenen HRBs überdimensioniert.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist somit die Optimierung der Größe des HRBs (Standort 2, zwischen Loffeld und Stublang), wobei folgende Bearbeitungsschritte vorgesehen sind:

- Erstellung eines Neumodells des Lauterbachs → Kapitel 2.2 bis 2.4
- Ermittlung des bestehenden Überschwemmungsgebiets des Lauterbachs und Bestimmung des schadlosen Abflusses im Stadtgebiet → Kapitel 2.5
- Variantenuntersuchung zum Variante 6 (Becken 2) und erneute Festlegung der Vorzugslösung → Kapitel 3

2 HYDRAULISCHE UNTERSUCHUNG ZUM BESTEHENDEN ZUSTAND

2.1 Allgemeines

Zur Durchführung der hydraulischen Berechnungen zur Vorplanung [U1] wurde zunächst ein bestehendes Berechnungsmodell des Lauterbachs verwendet [U2]. Im Zuge dieser Berechnungen wurden Auffälligkeiten am Bestandsmodell festgestellt [U3], die Einfluss auf die Berechnungsergebnisse haben könnten. Aus diesem Grund und auf Empfehlung durch die PG wurde vom WWA entschieden, ein Neumodell des Lauterbachs erstellen zu lassen.

Die hydraulischen Berechnungen werden mit der Software HYDRO_AS durchgeführt. HYDRO_AS-Strömungsmodelle [S2] basieren auf der numerischen Lösung der 2-dimensionalen, tiefengemittelten Strömungsgleichungen mit der Finite-Volumen-Diskretisierung. Für das Pre- und Post-Processing wird das Programmsystem SMS (Surface Water Modelling System), Version 13.3, verwendet [S4].

Das neu erstellte Berechnungsmodell setzt sich zusammen aus den folgenden Teilmodellen:

- Neumodell Lauterbach → Kapitel 2.2
- Bestandsmodell Main → Kapitel 2.3

Details zu den beiden Modellen sind im jeweiligen Unterkapitel zu finden.

Grundlage des Neumodell stellen neue Vermessungsdaten des Lauterbachs (Profile, Längsstrukturen etc.) dar, die durch das Vermessungsbüro IGL [U5] aufgenommen wurden und sich auf UTM-Koordinaten sowie das (aktuelle) Höhensystem DHHN2016 beziehen. Die vom WWA zur Verfügung gestellten Bestandsmodelle beziehen sich großteils auf das (alte) Höhensystem DHHN12, so dass eine Umrechnung der Höhen vorgenommen werden musste. Gemäß SAPOS Bayern besteht für das Projektgebiet eine mittlere Höhendifferenz zwischen den Höhensystem **DHHN12** und DHHN2016 von 3,4 cm:

$$[\text{Höhe in DHHN2016}] = [\text{Höhe in } \mathbf{DHHN12}] - 3,4 \text{ cm}$$

Das Bestandsmodell des Lauterbachs [U2] basiert dagegen vermutlich auf das Höhensystem DHHN92, wobei gemäß SAPOS Bayern die Höhendifferenz zwischen diesem und dem aktuellen Höhensystem DHHN2016 für das Projektgebiet 9 mm beträgt.

2.2 Neumodell (Lauterbach)

2.2.1 Vermessung

Zunächst wurden im Rahmen einer Vermessung Querprofile und Längsstrukturen entlang des Lauter- und Mühlbachs aufgenommen (UTM32-Lagesystem und DHHN2016-Höhensystem). Die Vermessungen wurden durch das Vermessungsbüro IGL durchgeführt [U5]. Als Grundlage für die Vermessung wurde durch IDE ein Vermessungskonzept erstellt (siehe Abbildung 38).

Neben den Querprofilen wurden auch die Böschungsoberkanten und Uferlinien (Schnittpunkte zwischen Wasserspiegel und Böschung) aufgenommen, so dass der Verlauf des Gewässers

realitätsnah im Modell berücksichtigt werden konnte. Die aufgenommenen Punkte der Böschungsoberkanten wurden in Form von 3D-Polylinien aufbereitet.

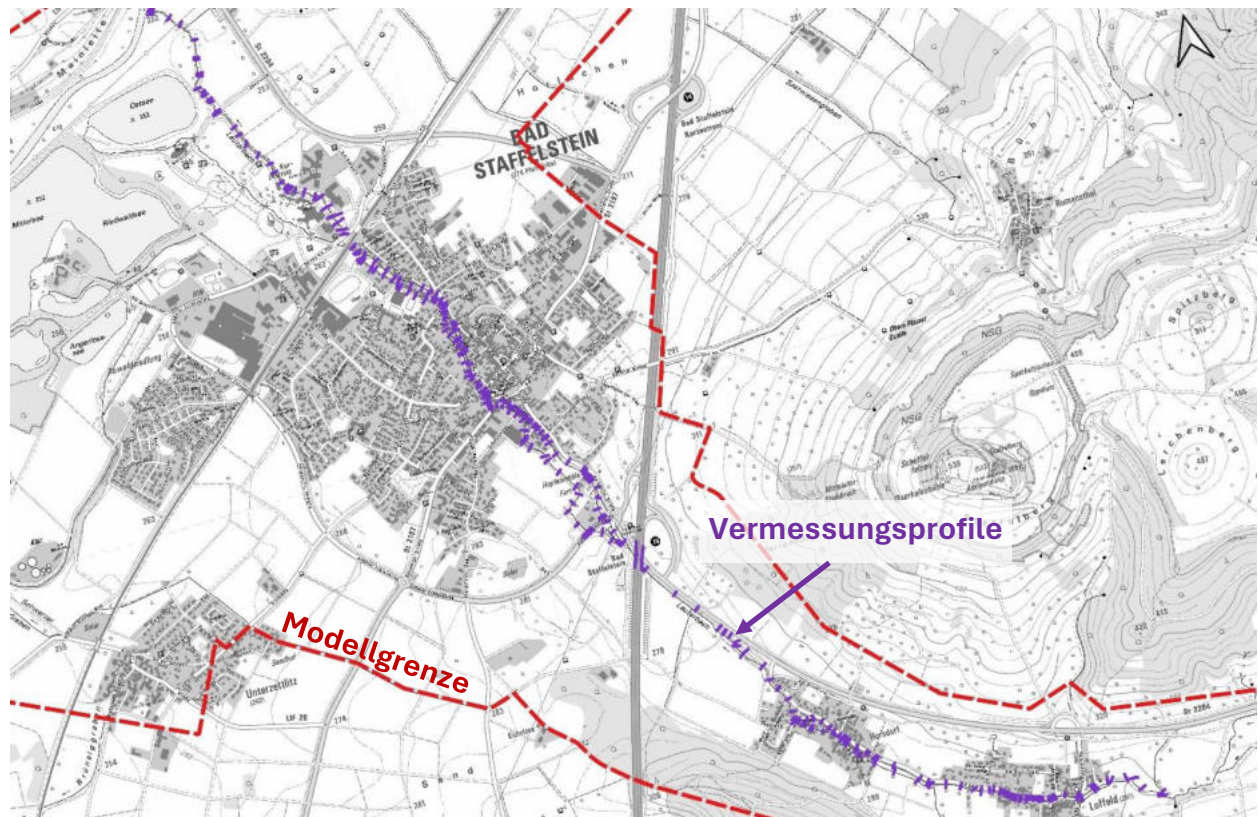


Abbildung 38: Vermessungsumfang

Zudem wurden vorhandene Bauwerke (Brücken, Abstürze oder Durchlässe) im Rahmen der Vermessung gemäß den entsprechenden LfU-Vorgaben aufgenommen. Vor und nach dem Brückenbauwerk wurde jeweils ein Querprofil aufgenommen (Horizont 0). Als Horizont 1 sind die Widerlager-Fußpunkte und die Brücken-Unterkanten festgelegt. Daneben wurden die Brücken-Oberkanten (Fahrbahn-OK) als Horizont 2 und die Geländer-Oberkante als Horizont 4 definiert. Abbildung 39 zeigt eine Prinzip-Skizze zur Vermessung der Brückenbauwerke.

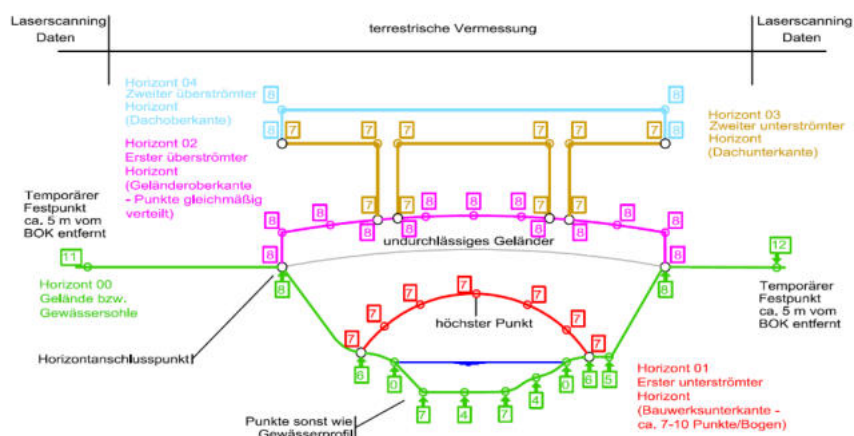


Abbildung 39: Prinzip-Skizze zur Vermessung der Brücken (Quelle: LfU-Vorgaben)

In Abbildung 41 sind der Verlauf des Grabens an der Horsdorfer Straße (linkes Foto) sowie der Einlauf des Rechteckdurchlasses an der Hopfenmühle (rechtes Foto) dargestellt. Die Geometrie des Grabens wurde in den nicht vermessenen Bereichen oberstrom des Äußeren Frankenrings aus der Analyse der Befliegungsdaten (DGM1-Raster) mittels LASER_AS [S3] abgebildet (Vorlandmodell).



Abbildung 41: Vermessung des historischen Grabens auf Höhe der Hopfenmühle

2.2.2 Erstellung des Flussschlauch- und Vorlandmodells

Grundlage des Berechnungsmodells stellen die Befliegungsdaten [U4] (DGM1 mit Rasterabstand 1 m) und die Vermessungsdaten der Gewässer [U5] dar, woraus das Vorland- und Flussschlauchmodell entwickelt werden. Aus den aufgenommenen Querprofilaten sowie Längsstrukturen (Böschung-Ober-/Unterkanten) wird das Modell des Flussschlauchs aufgebaut. Aus den Befliegungsdaten wird das Modell der Vorlandbereiche erstellt. Die Teilmodelle werden anschließend zu einem Gesamtmodell zusammengefügt, was in diesem Kapitel näher beschrieben wird. In das Gesamtmodell werden schließlich die hydraulisch bedeutenden Bauwerke eingebaut (siehe Kapitel 2.2.3) und den Elementen die Rauheitsbeiwerte zugewiesen (siehe Kapitel 2.2.4).

Flussschlauchmodell

Das Flussschlauchmodell wurde mit dem Programm Flussschlauchgenerator [S5] erstellt, wobei in einem ca. 850 m langem Abschnitt des Mühlbachs (zwischen A73 und Einlauf in eine Verrohrung am Stadtgraben in Bad Staffelstein) Version 2.2 (RiverMesh) verwendet wurde. Alle übrigen Abschnitte wurden mit dem Flussschlauchgenerator Version 1 generiert. Mit dieser Software können die Querprofilaten und 3D-Polylinien der Böschungsoberkanten der Gewässer (entsprechen der Nahtstelle zwischen Flussschlauch- und Vorlandmodell) eingelesen und daraus ein Berechnungsnetz des Flussschlauchs – bestehend aus linearen Vierecks-Elementen – erstellt werden.

Mauern, die unmittelbar am Gewässer liegen und im Rahmen der Vermessung als Längsstruktur aufgenommen worden sind, wurden direkt in das Flussschlauchmodell eingearbeitet. Abbildung

42 zeigt die Modellierung von Mauerstrukturen, wobei der Flussschlauch bereits in das Vorlandmodell eingearbeitet wurde.

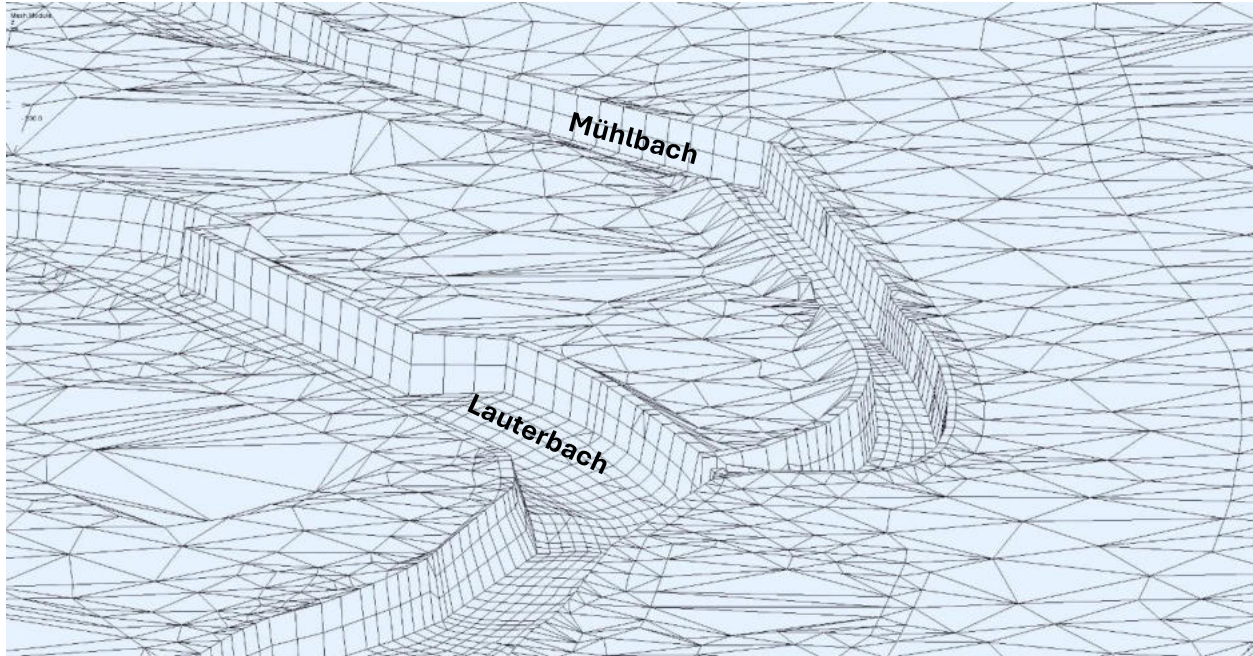


Abbildung 42: Modellierung von Mauern im Stadtgebiet Bad Staffelstein

Aus dem fertigen Flussschlauchmodell wurde abschließend die Umgrenzungslinie erstellt, die als Randbedingung in die Vorlandmodellerstellung einging.

Vorlandmodell-Erstellung

Aufgrund des Rasterabstands von 1 m der Befliegungsdaten DGM1 [U4] müssen die Befliegungsdaten zur Erstellung des Vorlandmodells im Hinblick auf Modellgröße und Rechenzeit ausgedünnt werden. Hierfür kommt die Software LASER_AS [S3] zum Einsatz.

Folgende Daten fließen in die Vorlandnetzerstellung mit ein:

- Vermessene 3D-Linienstrukturen:
 - Bruchkanten außerhalb der Gewässer
 - Umgrenzung des Flussschlauchs (Modellgrenzen der Gewässer)
- 2D-Bruchkanten:
 - Straßenflächen, d. h. angepasste Straßen-Flurstücke aus der digitalen Flurkarte [U13]
 - Hausumrisse [U4] mit AutoCAD vereinfacht (Löschen von Einzelpunkten u. kleineren Linien)
→ Interpolation durch LASER_AS in das Modell mit den Höhen der Befliegungsdaten
- Randbereiche des Main-Modells als 3D-Linien (Nahtstelle zwischen Neumodell und Main-Modell, siehe Abbildung 49)

Für die Ausdünnung der Daten sind eine Reihe von Einstellungen erforderlich, die in die Parameterdatei ‚laser.opt‘ anzugeben sind. Die Parameter wurden so gewählt, dass ein Kompromiss aus handhabbarer Modellgröße und Höhengenaugigkeit entsteht. Hierfür waren mehrere Durchläufe

erforderlich, bis schließlich mit den in Abbildung 43 angegebenen Parametern ein zufriedenstellendes Vorlandmodell erzeugt werden konnte.



Abbildung 43: Eingabedatei LASER_AS für Vorlandmodellerstellung

Die Gebäude werden im Berechnungsmodell nicht als Lücken abgebildet, sondern die Außenkanten der Gebäude werden untereinander durch Elemente mit der Rauheit ‚Disable‘ verbunden. Netzknoten innerhalb der Gebäudeumrisse wurden gemäß Vorgabe des Handbuchs hydraulischer Modellierung [F1] herausgelöscht.

Grabenstrukturen im Vorlandbereich wurden in erster Linie durch die Analyse der Befliegungsdaten mittels LASER_AS [S3] erfasst.

Die Modellgrenzen wurden anhand einer ersten sehr groben Berechnung mithilfe des Überschwemmungsgebiets des HQ_{extrem} bestimmt, wobei das zugrunde gelegte Modell allein aus den Befliegungsdaten erstellt wurde. Anhand dieser Ergebnisse ergaben sich Überschwemmungen in

südwestliche Richtung, so dass die Modellgrenzen in westliche Richtung – im Vergleich zum ursprünglichen Bestandsmodell des Lauterbachs [U2] – vergrößert wurden. Zudem wurde unterstrom im Übergangsbereich zum Main ein Teil des bestehenden Main-Bestandsmodells angeschlossen (Beschreibung siehe Kapitel 2.3, graphische Darstellung siehe Abbildung 49).

Zusammenführen von Modellteilen

Durch die Einbettung der Umgrenzungslinie des Flussschlauchmodells (3D-Polylinie) in das Vorlandmodell ist eine Verknüpfung zwischen Vorland- und Flussschlauchmodell auf einfache Art und Weise mittels der Software SMS [S4] möglich.

Zudem wurden auch die Randknoten des Main-Modells (s. 2.3.1) direkt in das Vorlandmodell übernommen, so dass auch hier ein nahtloser Anschluss möglich war.

Nach dem Zusammenfügen der Modellteile (Flussschlauch-, Vorland- und Main-Modell) wurde das Gesamtmodell auf Lücken überprüft, ggf. korrigiert und auf einen stimmigen Übergang zwischen Flussschlauch- und Vorlandmodell geachtet. Im Anschluss wurde das Modell anhand der von der HYDRO_AS-Prüfroutine ausgegebenen Warnungen (Knotenabstand, Innenwinkel der Elemente) überprüft und korrigiert.

2.2.3 Bauwerke

Grundlagen der Modellierung

Innerhalb des Neumodell-Bereichs existieren an den Gewässern viele Bauwerke in Form von Brücken, Durchlässen oder Wehren. Diese Bauwerke können in HYDRO_AS-Berechnungsmodellen entweder als 1D-Randbedingung (über sogenannte Nodestrings) definiert oder geometrisch aus Knoten und Elemente modelliert werden.

Die Berücksichtigung hydraulisch maßgebender Bauwerke erfolgte bei Wehrüberfällen sowie Brückenbauwerken geometrisch über die **Modellierung aus Elementen** (Drei- oder Vierecke), da damit erfahrungsgemäß die besten Ergebnisse erzielt werden. Nachteil stellt allerdings die oftmals längere Rechenzeit dar. Kleinere Durchlässe wurden überwiegend als **1D-Randbedingung** mittels Nodestrings modelliert, größere Durchlässe (2 Stück mit Durchmesser bzw. Breite > 80 cm) wurden im Hinblick auf die zuverlässigeren Berechnungsergebnisse ebenfalls aus Elementen modelliert (analog zu den Brückenbauwerken).

Brücken

Grundlage der Modellierung von Brücken stellt die Vermessung [U5] dar. Da der minimale Knotenabstand programmbedingt 11 cm beträgt, können senkrechte Wände (Brückenwiderlager) ausschließlich über schräg geneigte Elemente simuliert werden. Im Bereich der Brückenwiderlager werden die Elemente mit der Rauheit ‚disable‘ belegt. Die Brücken-Unterkanten werden als Knoten-Randbedingung (programmintern als KUK bezeichnet) definiert. An Bauwerken mit einer niedrig gelegenen Oberbau-Konstruktion, die somit im Hochwasserfall eingestaut und überströmt werden

könnte, werden im Berechnungsmodell Nodestrings mit Wehr-Definitionen eingefügt, um die Überströmbarkeit des Brücken-Oberbaus bei der hydraulischen Berechnung zu berücksichtigen.

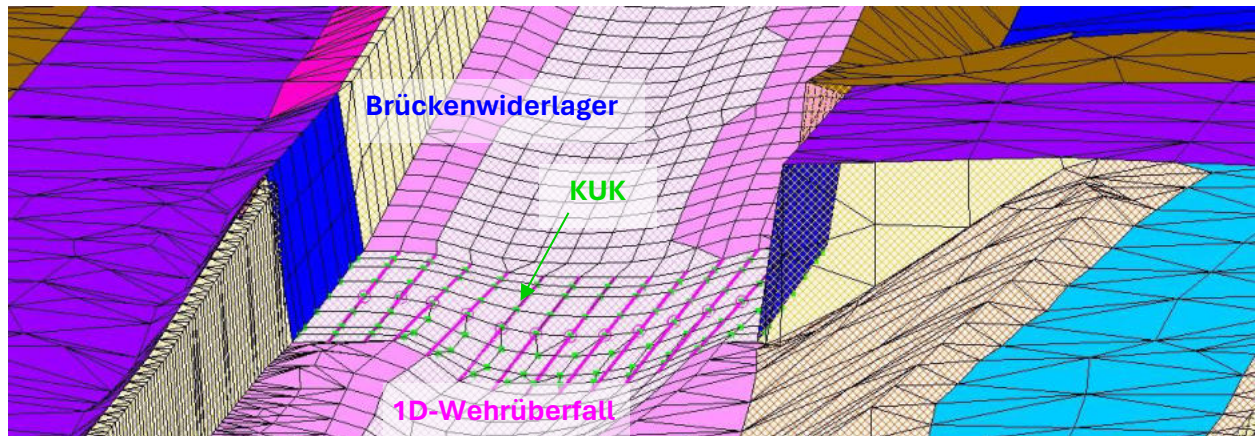


Abbildung 44: Beispiel für die Modellierung einer Brücke im hydraulischen Berechnungsmodell

Für die Wehr-Definition der ‚Nodestrings‘ sind Vorgaben zu Überfallbeiwert, (Segment-) Breite, Kronenhöhe sowie die Berücksichtigung von Fließgeschwindigkeiten (DuBuat oder Poleni) erforderlich. Als Überfallbeiwert wurde hier $\mu = 0,55$ angesetzt. Für die Kronenhöhe und Segmentbreite wurde in Anlehnung an das Handbuch für hydraulische Modellierung [F1] eine Fallunterscheidung in Abhängigkeit der Geländer-Geometrie durchgeführt. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Fallunterscheidung mit jeweiligem Beispiel.

Hydraulisch nicht relevante Brücken (dünne Stege, Gitterstege, Betonplatten) wurden im Modell nicht berücksichtigt. Bei den bogenförmigen Brücken in Horsdorf und Loffeld wurde die Fläche von Ein- und Auslauf bestimmt und über ein Rechteck angenähert. Die Höhe des Rechtecks ging in die Festlegung der Brückenunterkante (KUK) ein.

In Tabelle 3 und Tabelle 4 sind zu den Brückenbauwerke innerhalb des modellierten Abschnitts des Lauterbachs die folgenden Angaben zusammengefasst:

- Lage der Brückenbauwerke:
 - Stadtgebiet Bad Staffelstein: Tabelle 3
 - Bereich Horsdorf und Loffeld: Tabelle 4
- Vermessene und modellierte Brücken
- Informationen zu den Brücken (Art, Lage, Ober- und Unterkante)




Fall	Umsetzung im Modell		Beispiel
	Kronenhöhe	Segmentbreite	
a	Fahrbahnoberkante	$\frac{\text{Lichte Weite (unter Brücke)}}{\text{Anzahl Nodestrings}}$	
b	Fahrbahnoberkante	$0,5 \cdot \frac{\text{Lichte Weite (unter Brücke)}}{\text{Anzahl Nodestrings}}$	
c	Geländer-Oberkante	$\frac{\text{Lichte Weite (unter Brücke)}}{\text{Anzahl Nodestrings}}$	

Tabelle 2: Fallunterscheidung bei Festlegung der Kronenhöhe und Segmentbreite

Ort	Nr.	Gewässer	Station [Bach-km]	Art	model- liert	Brücken-UK [m NHN]	Brücken-OK		
							Wehr- überfall	[m NHN]	
Bad Staffelstein	1	Lauterbach	692 - 700	Straßenbrücke	☑	257,67	☑ a	258,44	
	2	Lauterbach	1175 - 1176	Holzbrücke	☑	259,89	☑ a	260,22	
	3	Lauterbach	1420	Fußgängersteg	☑	(Feld 1) 261,62	☑	b	261,77
	4					(Feld 2) 261,77	☑		261,94
	5					(Feld 3) 261,81	☑		261,98
	6					(Feld 4) 261,78	☑		261,94
	7					(Feld 5) 261,60	☑		261,76
	8	Lauterbach	1612	Fußgängersteg	☑	262,25	☑ b	262,71	
	9	Lauterbach	1646	Fußgängersteg	☑	262,67	☑ b	263,21	
	10	Mühlbach	1836	Fußgängersteg	☑	263,45	☑ a	263,73	
	11	Lauterbach	1848	Fußgängersteg	☑	264,33	☑ a	264,77	
	12	Lauterbach	1983	Fußgängersteg	☑	264,89	☑ a	265,35	
	13	Mühlbach	1984 - 1985	Fußgängersteg	☑	263,58	☑ b	264,12	
	14	Mühlbach	2040	Fußgängersteg	☑	264,18	☑ a	264,60	
	15	Lauterbach	2070 - 2083	Straßenbrücke	☑	265,12	☑ a	265,87	
	16	Mühlbach	2167 - 2173	Fußgängersteg	☑	266,51	☑ a	266,95	
	17	Mühlbach	2193 - 2194	Fußgängersteg	☑	266,81	☑ a	267,21	
	18	Mühlbach	2230 - 2231	Straßenbrücke	☑	266,86	☑ a	267,40	
	19	Lauterbach	2240 - 2246	Straßenbrücke	☑	266,50	☑ a	267,20	
	20	Mühlbach	2251	Fußgängersteg	☑	267,13	☑ a	267,37	

Ort	Nr.	Gewässer	Station [Bach-km]	Art	modelliert	Brücken-UK [m NHN]	Brücken-OK	
							Wehr-überfall	[m NHN]
	21	Mühlbach	2281	Fußgängersteg*	☒			
	22	Mühlbach	2295 - 2296	Straßenbrücke	☑	267,57	☑ a	268,08
	23	Lauterbach	2300 - 2306	Straßenbrücke	☑	266,91	☑ a	267,64
	24	Lauterbach	2387	Fußgängersteg	☑	267,61	☑ a	267,72
	25	Lauterbach	2406	Fußgängersteg	☑	267,70	☑	267,81
	26	Lauterbach	2515 - 2516	Straßenbrücke	☑	268,32	☑ a	269,07
	27	Lauterbach	2581 - 2600	Straßenbrücke	☑	268,62	☑ a	269,42
	28	Mühlbach	2660	Fußgängersteg	☑	269,89	☑ a	270,09
	29	Lauterbach	2682 - 2685	Fußgängersteg	☑	269,62	☑ b	270,04
	30	Mühlbach	2686	Fußgängersteg*	☒			
	31	Mühlbach	2712	Fußgängersteg*	☒			
	32	Mühlbach	2732	Fußgängersteg	☑	269,94	☑ a	270,09
	33	Mühlbach	2764	Fußgängersteg	☑	270,17	☑ c	270,81
	34	Mühlbach	2779	Fußgängersteg	☑	270,09	☑ a	270,26
	35	Mühlbach	2795	Fußgängersteg*	☒			
	36	Mühlbach	2807 - 2843	Straßenbrücke	☑	270,31	☑ a	270,83
	37	Mühlbach	2876	Fußgängersteg	☑	270,84	☑ a	271,02
	38	Lauterbach	2857 - 2872	Straßenbrücke	☑	270,48	☑ a	271,36
	39	Mühlbach	3141 - 3142	befahrbarer Steg	☑	272,23	☑ a	272,84
	40	Mühlbach	3160	Fußgängersteg*	☒			
	41	Mühlbach	3168	Fußgängersteg*	☒			
	42	Lauterbach	3455 - 3470	Straßenbrücke	☑	275,94	☒ -	-
	43	Lauterbach	3731 - 3778	Autobahnbrücke**	☒			
	44	Lauterbach	4244 - 4245	befahrbarer Steg	☑	279,92	☑ a	280,30

* hydraulisch nicht relevant

** linkes Widerlager modelliert

Tabelle 3: Brückenbauwerke im Neumodell – Bereich Bad Staffelstein

Ort	Nr.	Gewässer	Station [Bach-km]	Art	modelliert	Brücken-UK [m NHN]	Brücken-OK	
							Wehr-überfall	[m NHN]
Horsdorf	45	Lauterbach	4778 - 4786	Straßenbrücke***	☑	283,66	☑ c	285,26
	46	Lauterbach	4854 - 4855	befahrbarer Steg	☑	284,21	☑ a	284,54
	47	Lauterbach	4930 - 4931	befahrbarer Steg	☑	284,45	☑ a	284,88
	48	Lauterbach	4952	Fußgängersteg	☑	284,77	☑ a	285,03
	49	Lauterbach	5000	Fußgängersteg	☑	285,30	☑ a	285,66
	50	Lauterbach	5025 - 5032	Straßenbrücke***	☑	285,34	☑ c	287,06
	51	Lauterbach	5079	Fußgängersteg	☑	286,12	☑ a	286,37
	52	Lauterbach	5178	Holzbrücke	☑	286,36	☑ a	286,57
	53	Mühlbach	65	sonstiges	☑	284,83	☒ -	-
	54	Mühlbach	90 - 99	Holzbrücke	☑	285,93	☑ a	286,11

Ort	Nr.	Gewässer	Station [Bach-km]	Art	modelliert	Brücken-UK [m NHN]	Brücken-OK	
							Wehr-überfall	[m NHN]
	55	Mühlbach	231	Fußgängersteg	☑	286,04	☑ a	286,27
	56	Mühlbach	254 - 263	Straßenbrücke	☑	286,40	☑ c	287,19
	57	Mühlbach	308	Fußgängersteg	☑	286,33	☑ b	287,62
	58	Mühlbach	410	Fußgängersteg	☑	288,81	☑ a	289,00
Loffeld	59	Lauterbach	5642	Holzbrücke	☑	290,19	☑ a	290,46 - 290,60
	60	Lauterbach	5715	befahrbarer Steg	☑	290,81	☑ a	291,03 - 291,33
	61	Lauterbach	5756	befahrbarer Steg	☑	291,12 - 291,90	☑ a	291,46 - 292,13
	62	Lauterbach	5791 - 5800	befahrbarer Steg	☑	291,38 - 291,68	☑ a	291,90 - 292,08
	63	Lauterbach	5824 - 5825	befahrbarer Steg	☑	292,58 - 292,82	☑ a	292,97 - 293,17
	64	Lauterbach	5888 - 5889	Fußgängersteg	☑	293,38 - 293,60	☑ a	293,70 - 293,93
	65	Lauterbach	5932 - 5939	befahrbarer Steg	☑	293,75 - 293,86	☑ a	294,33 - 294,53
	66	Lauterbach	5978 - 5988	Straßenbrücke***	☑	294,41	☑ c	295,61
	67	Lauterbach	6249 - 6110	Straßenbrücke***	☑	294,75	☑ c	296,49
	68	Lauterbach	6201	Fußgängersteg	☑	295,48	☑ a	295,74

*** bogenförmige Brücke

Tabelle 4: Brückenbauwerke im Neumodell – Bereich Horsdorf und Loffeld

Durchlässe

Hydraulisch bedeutende Durchlässe (mit Durchmesser > 80 cm) wurden geometrisch über Elemente anhand der Angaben aus der Vermessung [U5] modelliert. Durchlässe, die einen Durchmesser kleiner als 80 cm aufweisen bzw. aus hydraulischer Sicht eine untergeordnete Rolle spielen, wurden im Berechnungsmodell als **1D-Randbedingung** (1D-RB) berücksichtigt. An einigen Durchlässen wurde am Ein- und Auslauf die HYDRO_AS-Randbedingung ‚1d-/2d-Übergang‘ definiert.

Tabelle 5 fasst die im Modell berücksichtigten Durchlässe zusammen. Neben der Angabe zur Lage und Gewässer, werden die Art der Modellierung, geometrische Angaben (Profil und Abmessung) sowie die Informationsquelle für die Modellierung aufgeführt.

Ort	Nr.	Lage	Gewässer	Modellierung	Profil	Ø bzw. B x H [m]	Quelle
Bad Staffelstein	1	Bahndamm (Höhe Bahnhof)	Lauterbach	geometrisch	Rechteck	5,50 x 1,55	Vermessung IGL
	2	Stadthain (Höhe Herrgottsmühle)	Nebengewässer	1D-RB	kreisförmig	0,30	Altmodell WWA
	3	Hopfenmühle (unterhalb Gebäude)	Historischer Graben	1D-RB	Rechteck	1,18 x 0,43	Vermessung WWA
	4	Überfahrt (Horsdorfer Straße)	Historischer Graben	1D-RB	kreisförmig	0,50	Vermessung WWA
	5	Äußerer Frankenring (am Kreisverkehr)	Historischer Graben	1D-RB	kreisförmig	0,50	Vermessung WWA
	6	Äußerer Frankenring (westlich Nr. 13)	Mühlbach	geometrisch	Maulprofil*	2,20 x 0,80	Vermessung IGL

Ort	Nr.	Lage	Gewässer	Modellierung	Profil	Ø bzw. B x H [m]	Quelle
Horsdorf	7	Fuchsenmühle (Fuchsenmühle 2)	Mühlbach	1D-RB**	kreisförmig	0,60	Vermessung IGL
	8	Fuchsenmühle (Fuchsenmühle 2)	Mühlbach	1D-RB**	kreisförmig	0,60	Vermessung IGL
	9	Fuchsenmühle (Fuchsenmühle 2)	Mühlbach	1D-RB	kreisförmig	0,80	Vermessung IGL

* Annäherung des durchflossenen Querschnitts über die halbe Ellipsenfläche

** Verjüngung von DN900 auf DN600 → auf der sicheren Seite liegend DN600 gewählt

Tabelle 5: Modellerte Durchlässe im Neumodell

Sonstige Bauwerke

Weitere hydraulisch relevante Bauwerke sind die beiden Ausleitungswehre (siehe Abbildung 10 und Abbildung 16), Absperrschütze (siehe Abbildung 11 und Abbildung 13) oder größere Abstürze, die im Neumodell integriert wurden. Als Grundlage wurden die Vermessungsdaten [U5], Bestandspläne und Informationen des WWA verwendet.

Im Bereich von niedrigen Sohlabstürzen wurde sowohl die Absturz-Oberkante als auch der Sohlbereich ca. 6 m unterstrom des Absturzes in Form von Querprofilen vermessen. Diese Profile gingen in die Modellierung des Flussschlauchs ein – modelltechnisch wurden sie daher als Sohlrampen angenähert. Höhere Abstürze wurden nachträglich manuell in das Modell eingearbeitet.

Tabelle 6 fasst die hydraulisch relevanten Strukturen, die in das Modell eingearbeitet wurden, zusammen.

Ort	Station	Bezeichnung	Beschreibung	Modellierung	Quelle
Bad Staffelstein	1583	Fußgängerunterführung Bahndamm (Höhe Angererstraße)	2 Rechteckdurchlässe (1,50 m x 2,45 m)	1D-RB	Altmodell
	1583	Fußgängerunterführung Bahndamm (Höhe Bahnhof)	Rechteckdurchlass (3,50 m x 2,50 m)	1D-RB	Altmodell
	2070	Überleitungsbauwerk (Höhe Brücke Goethestraße)	Rechteckdurchlass (0,60 m x 0,35 m)	geometrisch	WWA Kronach
	2103 - 2153	Stillgelegte Mühle (Bahnhofstraße 57)	Rechteckdurchlass (2,40 m x 0,60 m)	Geometrisch	Vermessung IGL
	2488 - 2639	Ehemalige Mühle (Höhe Polizeistation)	Kreisförmiger Durchlass (Ø 0,80 m)	1D-RB	Altmodell
	2686	Streichwehr 1 (Am oberen Lauterdamm)	Rechteckdurchlass (1,50 m x 0,20 m)	1D-RB geometrisch	Bestandsplan WWA Kronach
	2795	Streichwehr 2 (Am oberen Lauterdamm)	OK Sperrschütz = WSP aus Vermessung	geometrisch	Bestandsplan Vermessung IGL
	3160 - 3168	Hopfenmühle (Wasserkraftanlage)	kreisförmiger Durchlass (Ø 0,80 m)	1D-RB	Altmodell
	3189	Absturz (oberstrom Einlauf Hopfenmühle)	Absturzhöhe ca. 0,30 m	geometrisch	Vermessung IGL
	3370	Absturz (unterstrom Äußerer Frankenring)	Absturzhöhe ca. 0,30 m	geometrisch	Vermessung IGL

Ort	Station	Bezeichnung	Beschreibung	Modellierung	Quelle
	3631	Ausleitungswehr Hopfenmühle (nördlich Äußerer Frankenring)	1 Wehrfeld als geöffnet modelliert (WWA)	Geometrisch	Vermessung IGL WWA Kronach
Horsdorf	90 (Mühlbach)	Wasserrad (Schütz) (Fuchsenmühle 2)	Im HW-Fall geschlossen	geometrisch	Vermessung IGL
	193 (Mühlbach)	HW-Entlastung (Damm Balken) (Horsdorf 23)	Im HW-Fall geschlossen	geometrisch	Vermessung IGL
	330 – 339 (Mühlbach)	Alte Mühle (Wasserkraftanlage)	Kreisförmiger Durchlass (Ø 2,50 m)	1D-RB*	Bestandsplan
	5447	Ausleitungswehr Horsdorf (unterstrom Loffeld)	1 Wehrfeld als geöffnet modelliert (WWA)	1D-RB	Vermessung IGL WWA Kronach

* Q_{max} auf maximalen Turbinendurchfluss beschränkt ($Q = 0,67 \text{ m}^3/\text{s}$)

Tabelle 6: Sonstige modellierte Bauwerke und hydraulisch relevante Strukturen

Abbildung 45 bis Abbildung 48 zeigen auszugsweise beispielhaft im Modell eingefügte Bauwerke und Abstürze.

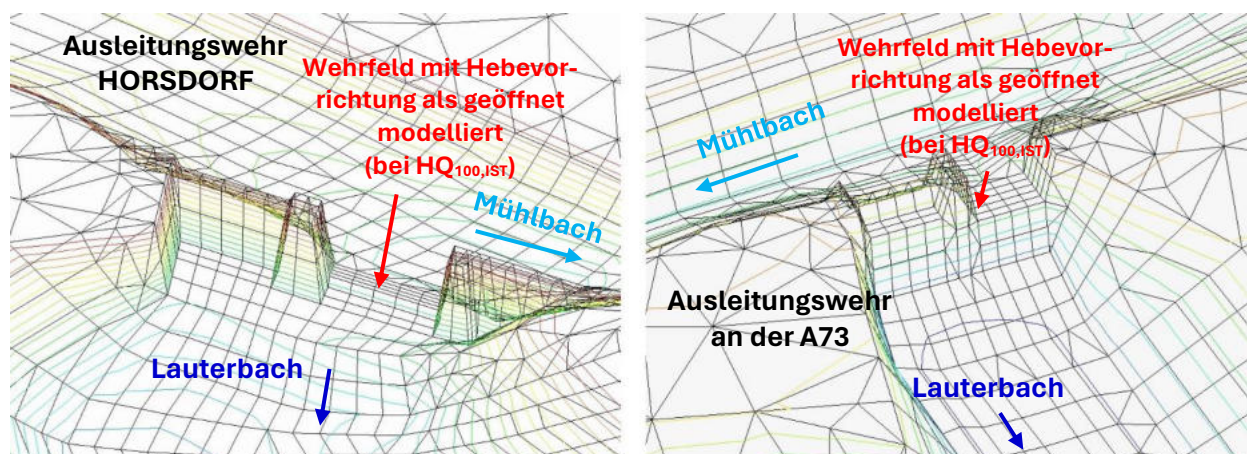


Abbildung 45: Modellierte Ausleitungswehre

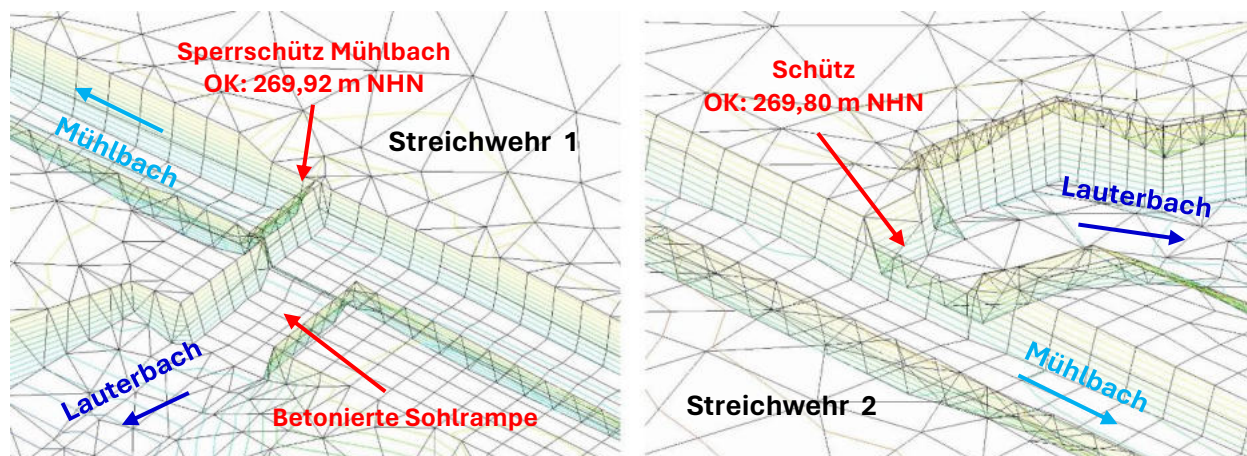


Abbildung 46: Modellierte Streichwehre in Bad Staffelstein

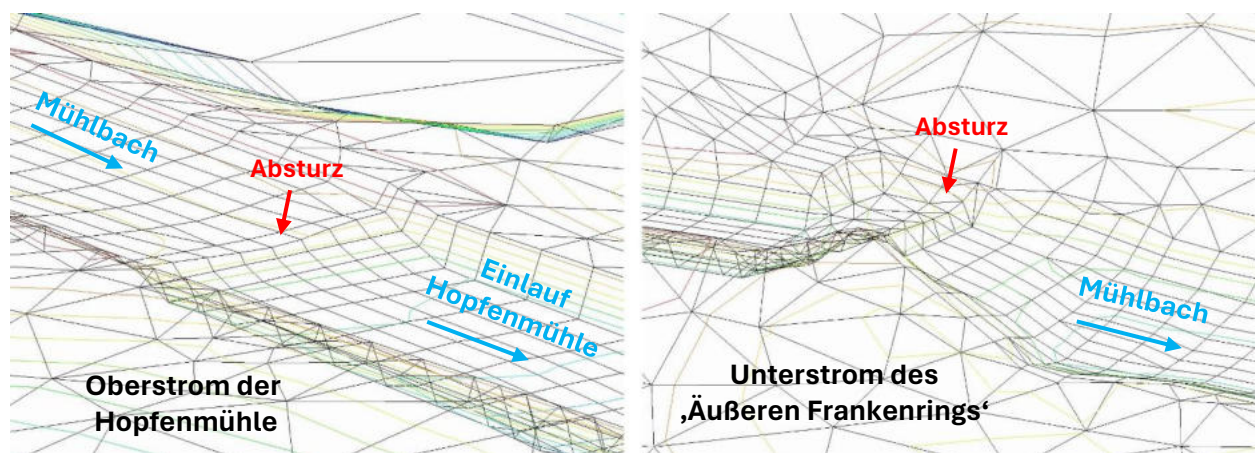


Abbildung 47: Modellierte Abstürze

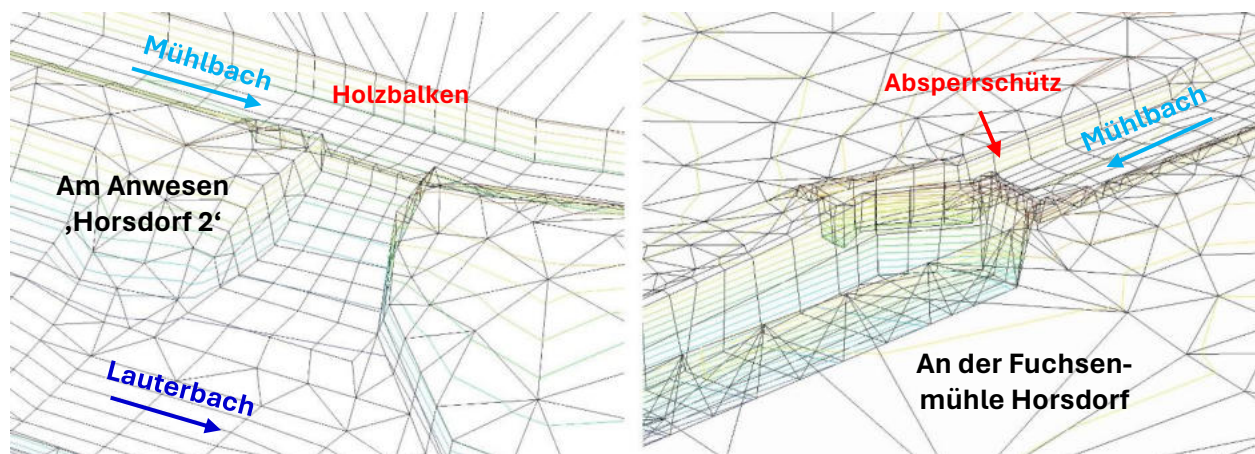


Abbildung 48: Modellierte Absperrschütze

2.2.4 Rauheiten

Den Netzelementen des Neumodells wurden anhand der Landnutzungs-Daten [U13] bestimmte Strickler-Werte als Rauheit zugewiesen. Die definierten Rauheiten wurden hierfür auf Grundlage des Handbuchs für Hydraulische Modellierung festgelegt [F1]. Im Bereich des Main-Modells wurden die Rauheiten übernommen und deren Nummer mit einer vorangestellten 1 ergänzt, um eine eindeutige Differenzierung zu ermöglichen. Die Rauheiten für die Flusssohle des Lauter- und Mühlbachs wurde im Zuge der Modellverifizierung bestimmt (siehe Kapitel 2.4).

Die Strickler-Werte der Rauheiten für das Berechnungsmodell sind in Tabelle 7 aufgelistet. Eine flächenhafte Darstellung mit der Zuweisung der Rauheiten ist in Anlage A1.1 enthalten.

Nr.	Materialname	K _{St} [m ^{1/3} /s]	Nr.	Materialname	K _{St} [m ^{1/3} /s]
0	Disable (Gebäude)	-	101	Material1_AltmodellMain	20
1	Flusssohle_Lautba-BisBahnlinie	26	102	Material2_AltmodellMain	35
2	Flusssohle_Lautba-BisEdekabrücke	26	103	Material3_AltmodellMain	33,33

Nr.	Materialname	K _{St} [m ^{1/3} /s]	Nr.	Materialname	K _{St} [m ^{1/3} /s]
3	Flusssohle_Lautba-BisHorsdorf	26	104	Material4_AltmodellMain	31,25
4	Flusssohle_Lautba-Horsdorf	26	105	Material5_AltmodellMain	28,57
5	Flusssohle_Lautba-BisLoffeld	26	106	Material6_AltmodellMain	28
6	Flusssohle_Lautba-Loffeld	26	110	Material10_AltmodellMain	26,32
7	Flusssohle_MuelbaBadStaff	28	111	Material11_AltmodellMain	25
8	Flusssohle_MuelbaHorsdorf	28	112	Material12_AltmodellMain	27,78
10	Fliessgewaesser	25	113	Material13_AltmodellMain	26
11	Boeschung_bewachsen	15	114	Material14_AltmodellMain	20
20	StehendesGewaesser	30	120	Material20_AltmodellMain	30
30	Wohnbauflaeche	10	121	Material21_AltmodellMain	10
31	Gewerbegebiet	12	122	Materia22_AltmodellMain	16,66
32	sonstigeSiedlungsflaeche	12	131	Material31_AltmodellMain	40
33	Siedlungsfreiflaeche	16	132	Material32_AltmodellMain	35,71
40	Verkehrsflaeche	40	141	Material41_AltmodellMain	12,5
41	Strassen	40	151	Material51_AltmodellMain	10
42	Wege	30	152	Material52_AltmodellMain	10
43	Wege_Randstreifen	20	153	Material53_AltmodellMain	9
44	Betonoberflaeche	50	161	Material61_AltmodellMain	15
50	Ackerland	15	162	Material62_AltmodellMain	20
51	Gruenland	20	163	Material63_AltmodellMain	19,61
54	Wald	10	171	Material71_AltmodellMain	11
55	Gehoelz	10	172	Material72_AltmodellMain	16,6
56	UnlandVegetationsloseFlaeche	20	181	Material81_AltmodellMain	16,6
58	Sumpf	11			

Tabelle 7: Verwendete Rauheiten für das Berechnungsmodell

2.3 Gesamtmodell (Lauterbach / Main)

2.3.1 Modellanpassungen Main-Modell

Konvertierung

Um die Verbindung des Bestandsmodells des Mains mit dem Neumodell des Lauterbachs (siehe Kapitel 2.2) zu ermöglichen, wurde das Bestandsmodell (als Version 4.0 vom WWA übergeben [U11]) in die Version 5.5 konvertiert.

Modellkürzung

Erste Proberechenläufe haben ergeben, dass sich das Überschwemmungsgebiet des Lauterbachs in süd-westliche Richtung ausdehnt und damit deutlich breiter ist als ursprünglich Berechnete. Da die im Bestandsmodell [U12] definierte, einzige Randbedingung am unteren Modellrand (Lauterbach) somit nicht ausreicht, wurde in Abstimmung mit dem WWA festgelegt, das Neumodell des

Folgende Fließstrecken werden durch die Berechnungsmodelle abgebildet:

- **Lauterbach:** Abschnitt oberstrom Loffeld bis zur Mündung in den Main
- **Mühlbach:** streckenweise parallel zum Lauterbach verlaufend, überwiegend innerorts (Horsdorf und Bad Staffelstein) vorhanden, mit Verbindungen zum Lauterbach, teilweise verrohrt
- **Main:** Abschnitt ober- und unterstrom von Bad Staffelstein (Fluss-km 423,440 bis Fluss-km 429,843)

Im Modell des IST-Zustands wurden für den bestehenden Zustand insgesamt 4 Zuflüsse definiert, die in Abbildung 49 als blaue Pfeile markiert sind. Den höchsten Zufluss stellt derjenige des Mains dar, der nach Vorgabe des WWA mit $470 \text{ m}^3/\text{s}$ [U9] definiert wurde.

Auf der Homepage des Hochwassernachrichtendienstes Bayern (www.hnd.bayern.de) ist für den rund 15 km stromaufwärts gelegenen Main-Pegel ‚Schwürbitz‘ der Abfluss eines 5-jährlichen Hochwassers mit $HQ_5 = 410 \text{ m}^3/\text{s}$ und derjenige eines 10-jährlichen Hochwassers mit $HQ_{10} = 520 \text{ m}^3/\text{s}$ angegeben, so dass der im Modell vorgegebene Abfluss für den Main in etwa einem 7-jährlichen Hochwasser entspricht (HQ_7).

Zusammenfassend sind in Tabelle 8 die Zuläufe des IST-Modells aufgelistet (HQ_{100}):

Zulauf-Nr.	Lage/Beschreibung	$Q_{\text{IST}} [\text{m}^3/\text{s}]$
1	Zulauf Lauterbach (oberer Modellrand)	25,0
4	Zulauf Lauterbach im Bereich Horsdorf	2,0
7	Zulauf Lauterbach im Bereich Bad Staffelstein	1,0
8	Zulauf Main	470,0

Tabelle 8: Zuläufe des Berechnungsmodells für den IST-Zustand

Die Randbedingung an der unteren Modellgrenze (Markierung als **grüner** Pfeil in Abbildung 49) wird aus dem Bestandsmodells des Mains [U11] übernommen: an dieser Stelle erfolgt die Vorgabe, dass der Start-Wasserspiegel nach der Formel von Strickler mit einem mittleren Energieliniengefälle von $I_E = 0,63 \text{ ‰}$ ermittelt wird (Normalwassertiefe).

2.3.3 Allgemeine Berechnungsparameter

Für die WSP-Berechnungen werden folgende allgemeine Berechnungsparameter angesetzt:

- Simulationszeit: 129600 Sekunden (entspricht 36 Stunden)
→ Durchführung der Rechenläufe, bis stationärer Zustand im Lauterbach erreicht ist
- Berechnungsschritt: 600 Sekunden
- Minimale Wassertiefe (H_{min}) = 0,01 m
- Maximale erlaubte Fließgeschwindigkeit (VELMAX) = 15 m/s
- Minimal erlaubte Elementgröße $A_{\text{min}} = 0 \text{ m}^2$
- Viskositätskoeffizient (CMUVISC) = 0,6; Courant-Friedrichs-Lewy-Zahl (CFL) = 0,8

2.4 Verifizierung des Berechnungsmodells

2.4.1 Proberechenläufe

Für die Verifizierung des Berechnungsmodells wurden drei Proberechenläufe durchgeführt, wobei die Modelle im Zuge der Durchführung dieser Rechenläufe geometrisch immer weiter verfeinert wurden. Als Zuflüsse wurden bei allen drei Rechenläufen die in Abbildung 49 und Tabelle 8 eingetragenen Werte (HQ_{100}) angesetzt.

- Proberechenlauf 1 → Strickler-Beiwert der Flusssohle: $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Proberechenlauf 2 → Strickler-Beiwert der Flusssohle: $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
(15% Reduzierung hinsichtlich Vorgabe zur Sensitivitätsanalyse)
→ Anpassungen und Einbau einzelner Bauwerke
- Proberechenlauf 3 → Strickler-Beiwert der Flusssohle: $26 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
→ Strickler-Beiwert der Böschung: $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
(differenzierte Rauheitsbelegung)
→ Einbau sämtlicher Bauwerke (Stege, Streichwehre)

Die Auswertung der Proberechenläufe ergab, dass eine Sohlrauheit für den Lauterbach von $26 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ plausibel erscheint. Die Rauheit der Sohle des Mühlbachs wurde auf $28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ festgelegt, da deren Beschaffenheit auf Basis der aufgenommenen Fotos der Vermessung und Ortsbegehungen etwas glatter eingeschätzt wird als diejenige des Lauterbachs. Die im Berechnungsmodell festgelegten Rauheiten für verschiedenen Abschnitte der Flusssohle können Tabelle 7 und Anlage A1.1 entnommen werden.

2.4.2 Verifizierung mit dem ursprünglichen HQ_{100} -Abfluss

Wasserspiegellagen-Vergleich des Hochwassers 1978

Zur groben Verifizierung der berechneten Wasserspiegellagen anhand des Neumodells wurde ein Vergleich mit den vom WWA zur Verfügung gestellten Unterlagen des Hochwassers im Mai 1978 [U7] herangezogen. In diesen Unterlagen sind Wasserspiegellagen in Absolut-Höhen für ausgewählte Stellen in den Ortschaften Loffeld und Horsdorf angegeben. Da die damals vorliegende Flussgeometrie (Ausbauquerschnitt, Höhe der Flusssohle) und die Art und Weise, wie die Aufnahme der angegebenen Wasserspiegellagen erfolgte, nicht bekannt ist, kann der Höhenvergleich zwischen Berechnung und Messung ausschließlich als grobe Orientierung angesehen werden.

Der Abfluss des Lauterbachs während des Hochwasser 1978 wurde in der hydrologischen Untersuchung [U8] im Bereich von Horsdorf auf einen Wert zwischen $35 \text{ m}^3/\text{s}$ und $40 \text{ m}^3/\text{s}$ geschätzt. Somit wurden für den Höhenvergleich die Wasserspiegellagen für den ursprünglichen HQ_{100} -Abfluss in Höhe von $HQ_{100,alt} = 37,2 \text{ m}^3/\text{s}$ mit dem Neumodell ermittelt. Die Auswertung in Tabelle 9 ergab, dass die Wasserspiegellagen des Proberechenlaufs an den betreffenden Punkten tendenziell höher lagen als diejenigen des Hochwassers 1978.

An dieser Stelle wird nochmals darauf hingewiesen, dass die damaligen geometrischen Randbedingungen (Sohlhöhen, Brücken etc.), der Scheitelabfluss des Hochwassers 1978, das

bezugnehmende Höhensystem und auch der genaue Aufnahme-Zeitpunkt der erfassten WSP-Aufzeichnung nicht bekannt waren. Vor diesem Hintergrund wird das Neumodell als geeignete Grundlage für die Wasserspiegellagenberechnung eingestuft, zumal mit dem Neumodell auf der sicheren Seite liegende (= höhere) Wasserspiegellagen liefert.

Ort	Stelle	HW1978 Historische Aufzeichnungen [U7]	Berechnung HQ _{100,alt} = 37,2 m ³ /s	Differenz Berechnung – HW1978
		WSP [m NHN]	WSP [m NHN]	[m]
Loffeld	Feuerwehrhaus	296,71	≈ 296,98	+ 0,28
	Milchhaus	295,53	≈ 295,70	+ 0,17
	Gemeindehaus	295,50	≈ 295,65	+ 0,15
	Bushaltestelle	295,72	≈ 295,70	- 0,02
	Lindner	294,61	≈ 294,76	+ 0,15
	Mohr	292,33	≈ 292,31	- 0,02
	Grasser	293,25	≈ 293,61	+ 0,36
	Weber	291,38	≈ 291,52	+ 0,14
Horsdorf	Donath	287,09	≈ 287,14	+ 0,05
	Wich	286,77	≈ 286,79	+ 0,02
	Dück	285,57	≈ 285,88	+ 0,31
	Kotschenreuther	285,69	≈ 286,01	+ 0,32
	Loneis	285,29	≈ 285,59	+ 0,30
	Dierauf	285,31	≈ 285,54	+ 0,23
	Gagel	285,20	≈ 285,47	+ 0,27
	Böh	284,38	≈ 284,33	- 0,05
	Göppner	285,47	≈ 285,55	+ 0,08
	Freitag	284,81	≈ 284,95	+ 0,14

Tabelle 9: Höhenvergleich zwischen berechneten und aufgezeichneten WSPs beim HW 1978

Überschwemmungsgebiet im Bereich Horsdorf / Loffeld

Unter Ansatz des ursprünglichen HQ₁₀₀-Abflusses HQ_{100,alt} = 37,2 m³/s wurde das mit dem Neumodell berechnete Überschwemmungsgebiet mit demjenigen des Altmodells [U2] verglichen. In nachfolgender Abbildung 50 sind die Fließtiefen des Neumodells **flächig blau** dargestellt – im Vergleich dazu entsprechen die **roten** Linien den Ü-Gebiets-Grenzen aus der Berechnung mit dem Altmodell. Demnach liefert der Vergleich eine gute Übereinstimmung – lediglich im Bereich des Mühlbachs gibt es größere Abweichungen – diese sind darauf zurückzuführen, dass der Mühlbach im Altmodell gar nicht abgebildet / modelliert wurde.

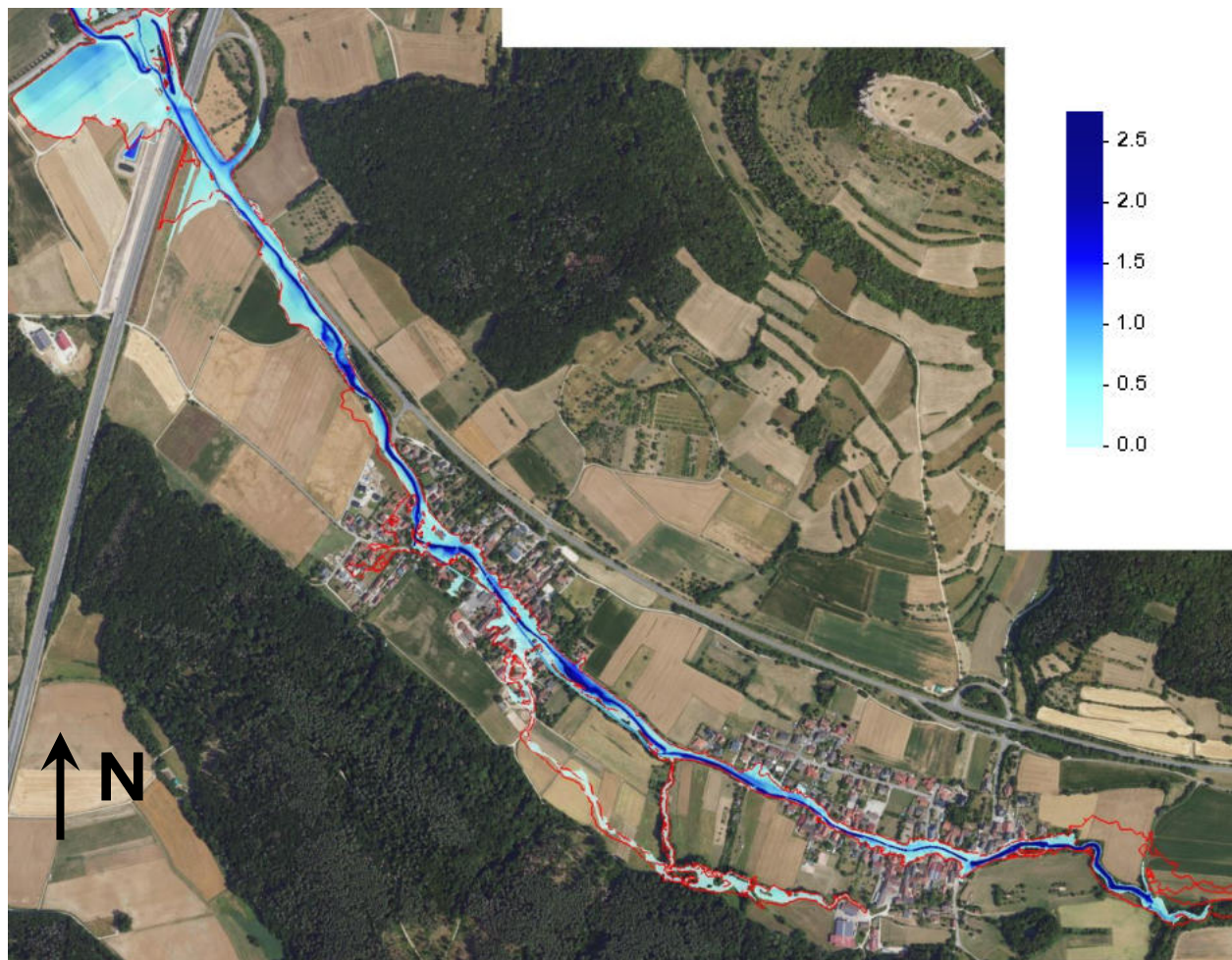


Abbildung 50: Vergleich des Ü-Gebiets im Bereich Horsdorf / Loffeld ($HQ_{100,alt} = 37,2 \text{ m}^3/\text{s}$)

Überschwemmungsgebiet im Bereich Bad Staffelstein

Vom WWA wurde das Altmodell des Lauterbachs für das Stadtgebiet Bad Staffelstein zur Verfügung gestellt [U12], womit die im Stadtgebiet ausgeführten Hochwasserschutzmaßnahmen geplant und bemessen worden sind. Zudem wurden damit auch – unter Ansatz eines HQ_{100} -Abflusses in Höhe von $40 \text{ m}^3/\text{s}$ – die Überschwemmungsgrenzen ermittelt.

Als weitere Verifizierung wurde das Überschwemmungsgebiet des Altmodells mit demjenigen des Neumodells verglichen – Abbildung 51 zeigt den Vergleich zwischen den aktuellen (blaue Flächen) und den alten Ergebnissen (rote Linien). Das Überschwemmungsgebiet stimmt dabei größtenteils überein. Die größten Unterschiede sind im Bereich nordwestlich der Bahnlinie erkennbar: durch den kleineren Umgriff des Altmodells können für diesen Bereich im Altmodell keine Wasserspiegel-lagen berechnet werden. Zudem sind Unterschiede im Bereich der Hopfenmühle erkennbar, was auf die fehlende Modellierung des Mühlbachs und den Zulauf im Lauterbach zurückgeführt werden kann.

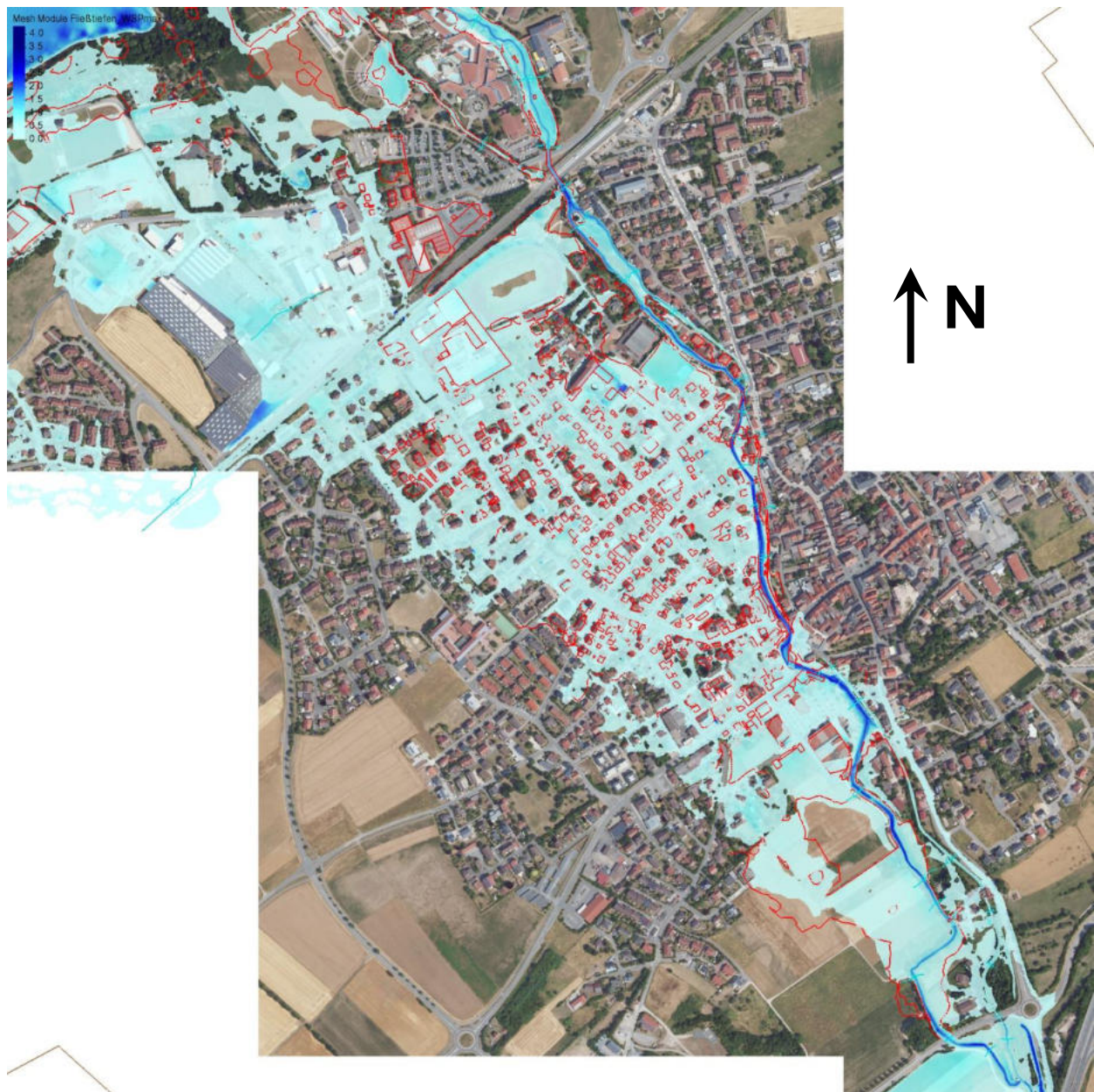


Abbildung 51: Vergleich des Ü-Gebiets im Bereich Bad Staffelstein ($HQ_{100,alt} = 37,2 \text{ m}^3/\text{s}$)

2.4.3 Fazit der Verifizierungsberechnungen

Die Ergebnisse der Verifizierungsberechnungen erscheinen insgesamt plausibel. Im Zuge der durchgeführten Rechenläufe wurde – hinsichtlich der Zwischenergebnisse – kleinere ‚kosmetische‘ Modelanpassungen, um ein zufriedenstellendes und zuverlässiges Berechnungsmodell für die anstehende Untersuchung zur Wahl der Vorzugslösung zu erhalten.

Aus der Sicht von PG kann mit dem neu erstellten Berechnungsmodell die Hochwassersituation am Lauterbach gut abgebildet werden.

2.5 Hydraulische Berechnungen

2.5.1 Überblick

Mit dem erstellten Berechnungsmodell (siehe Kapitel 2.2 bis 2.4) werden

- das Ü-Gebiet für das 100-jährliche Hochwasser ($HQ_{100} = 28 \text{ m}^3/\text{s}$) ermittelt (Kapitel 2.5.3) und
- die hydraulische Leistungsfähigkeit des Lauterbachs (Kapitel 2.5.3) bestimmt.

Mit diesen Ergebnisse sollen Hinweise über hydraulische Engstellen / überlastete Abschnitte an den Gewässern erhalten werden. Diese Erkenntnisse fließen schließlich als Grundlage in die Untersuchung zur Wahl der Vorzugslösung (siehe Kapitel 3) ein.

2.5.2 Ermittlung des Überschwemmungsgebiets des 100-jährlichen Hochwassers

Zur Ermittlung der Überschwemmungsgebiete werden die hydraulischen Berechnungen stationär durchgeführt, das heißt die Berechnung wird so lange durchgeführt, bis sich an bestimmten Stellen (sogenannte Kontrollquerschnitte) keine Änderungen des Durchflusses ergeben. Die Wasserspiegellagen und das Überschwemmungsgebiet für das HQ_{100} werden mit den in Tabelle 8 aufgelisteten Zuflüsse ermittelt (siehe Abbildung 49).

Die folgenden Abbildungen zeigen die Überschwemmungsgebiete und Fließtiefen des HQ_{100} (Auszüge aus den Anlagen A2.1 – A2.4). Daraus ist erkennbar, dass beim 100-jährlichen Hochwasser große Teile der Ortschaften im Projektgebiet betroffen sind. Daneben sind auch Verbindungsstraßen bzw. Ortsdurchfahrten teilweise durch das Hochwasser überflutet (z.B. Staatsstraße 2204, Ortsdurchfahrt Loffeld und Horsdorf).

In den nachfolgenden Unterkapiteln sind die vom HQ_{100} überschwemmten Bereiche näher dargestellt und beschrieben.

Ü-Gebiet des HQ_{100} im Bereich von Bad Staffelstein

Abbildung 52 gibt einen Überblick über die Stadt Bad Staffelstein. Die Ausuferungen beginnen südlich der Autobahn A 73 und breiten sich im Stadtgebiet linksseitig des Lauterbachs bzw. Mühlbachs aus. Ursache für die Überschwemmungen ist die geringe hydraulische Leistungsfähigkeit des Lauter- und Mühlbachs oberstrom der Hopfenmühle – Details hierzu sind in Kapitel 2.5.3 zu finden.

Der Bahndamm wird auf Höhe des Gewerbegebiets überströmt, sodass sich die das Überschwemmungsgebiet weiter Richtung Norden und in die Auwaldsiedlung ausdehnt. Unterstrom des Kurzentrums ufer der Lauterbach überwiegend rechtsseitig aus, wobei größtenteils landwirtschaftliche Flächen betroffen sind.



Abbildung 52: Fließtiefen im IST-Zustand für HQ₁₀₀ in Bad Staffelstein (Überblick)

In Abbildung 53 sind die Fließtiefen am Ortseingang von Bad Staffelstein detaillierter dargestellt. Ausuferungen oberstrom der Autobahn A73 führen zu Überschwemmungen auf die Staatsstraße 2204 (violette Markierung in Abbildung 53), die sich weiter in nördliche Richtung zum Ortszentrum entlang der Horsdorfer Straße fortsetzen. Der Oberflächenabfluss entlang der Horsdorfer Straße wird zusätzlich durch Ausuferungen am Mühlbach oberstrom der Hopfenmühle verstärkt.

Linksseitig des Lauterbachs treten ebenfalls Ausuferungen auf – der bestehende Sommerdeich kann den Oberflächenabfluss dabei nicht vollständig zurückhalten, so dass dieser südwestlich umströmt wird und für das breite Überschwemmungsgebiet im Stadtzentrum sorgt.



Abbildung 53: Fließtiefen im IST-Zustand bei HQ_{100} am Ortseingang von Bad Staffelstein

Abbildung 54 zeigt das Überschwemmungsgebiet im Stadtzentrum (westlich des Ü-Gebiets in Abbildung 53). Daraus ist erkennbar, dass zahlreiche Gebäude im Ortskern betroffen sind und die Überschwemmungen ausschließlich linksseitig (westlich) des Lauterbachs auftreten, was auf die Umströmung des bestehenden Sommerdeichs zurückgeführt werden kann.



Abbildung 54: Fließtiefen im IST-Zustand bei HQ_{100} im Stadtbereich Süd

Die Fließtiefen im Stadtgebiet nördlich der Goethestraße sind in Abbildung 55 dargestellt, wobei das ausgedehnte Überschwemmungsgebiet südlich des Bahndamms zu erkennen ist und dadurch viele Gebäude und Straßenflächen eingestaut sind. Die Folge der Ausuferungen im Ortskern ist die Überströmung des Bahndammes im Bereich des Gewerbegebiets, die hier für einen Einstau der Industrieanlagen sorgen.

Das Kurzentrum und die Obermain-Therme bleiben dagegen von Überschwemmungen verschont. Hier uferet der Lauterbach erst westlich des Kurzentrums rechtsseitig aus, wobei ausschließlich landwirtschaftlich genutzte Flächen betroffen sind. Die im Vergleich geringfügige linksseitige Ausuferung betrifft Parkplatz- und landwirtschaftlich genutzte Flächen.



Abbildung 55: Fließtiefen im IST-Zustand bei HQ_{100} im Stadtbereich Nord

Die Überströmung des Bahndamms im Bereich des Gewerbegebiets führt zu Ausuferungen in Richtung der Auwaldsiedlung, welche in Abbildung 56 visualisiert sind. Das Überschwemmungsgebiet betrifft vor allem die Straßenflächen und angrenzenden Gebäude der Auwaldstraße und der Rosenstraße.

Die Auswertung der Berechnung hat gezeigt, dass die Stadt Bad Staffelstein im Fall eines 100-jährlichen Hochwasserereignisses ($HQ_{100} = 28 \text{ m}^3/\text{s}$) großflächig von Überschwemmungen betroffen ist. Mittels GIS [S1] wurden rund 1.000 Gebäude gezählt, die durch die Überschwemmungen bei HQ_{100} betroffen sind. Hydraulische Schlüsselstellen werden im Kapitel 2.5.3 durch die Ermittlung des schadlosen Abflusses aufgezeigt (schrittweise Erhöhung des Abflusses und Ermittlung der Wasserspiegellagen) und analysiert.



Abbildung 56: Fließtiefen im IST-Zustand bei HQ_{100} in der 'Auwaldsiedlung'

Ü-Gebiet des HQ_{100} im Bereich von Horsdorf

Abbildung 57 zeigt die Fließtiefen des HQ_{100} für den Bereich der Ortschaft Horsdorf. Die Hauptstraße der Ortschaft ist bei diesem Abfluss vollständig überflutet, wobei die angrenzenden Bebauungen teilweise eingestaut sind. Größere Ausuferungen ergeben sich im Umfeld der ‚Alten Mühle‘ und der ‚Fuchsenmühle‘. Oberstrom der Ortschaft sind Ausuferungen im Bereich zwischen Mühlbach und Lauterbach erkennbar.

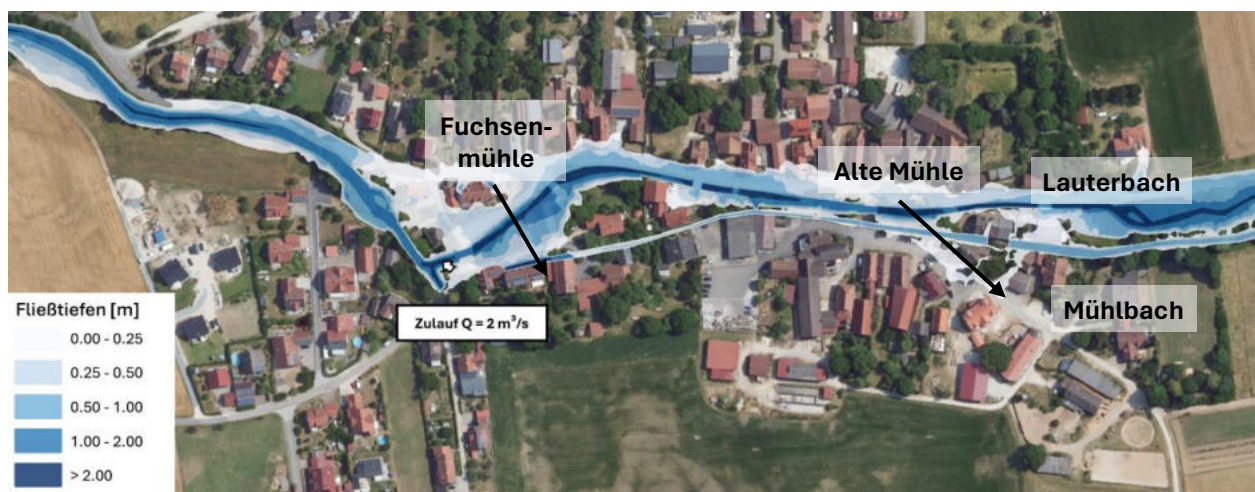


Abbildung 57: Fließtiefen im IST-Zustand bei HQ_{100} in Horsdorf

Ü-Gebiet des HQ_{100} im Bereich von Loffeld

Die Fließtiefen in der ca. 300 m bachaufwärts gelegenen Ortschaft Loffeld sind in Abbildung 58 dargestellt. Hier zeigt sich ein ähnlich ausgeprägtes Überschwemmungsgebiet wie in Horsdorf. Insbesondere die Hauptdurchgangsstraße und ihre angrenzenden Gebäude sind betroffen. Im Bereich des Feuerwehrhauses und auf Höhe des Anwesens ‚An der Lauter 40‘ sind ebenfalls Ausuferungen ersichtlich.



Abbildung 58: Fließtiefen im IST-Zustand bei HQ_{100} in Loffeld

2.5.3 Hydraulische Leistungsfähigkeit des Lauterbachs

Eine wichtige Grundlage für die Planung und Ausarbeitung der Hochwasserschutzmaßnahmen stellt die hydraulische Leistungsfähigkeit der Gewässer im bestehenden Zustand dar. Dabei liegt der Fokus in erster Linie auf die bebauten Bereiche, da hier durch die Überschwemmungen die höchsten Schäden und Kosten verursacht werden. Unter Verwendung des neu erstellten Berechnungsmodells werden mehrere Rechenläufe mit unterschiedlichen Abflüssen durchgeführt, um zum einen die Lage der hydraulischen Engstellen herauszufinden und zum anderen den schadlosen Abfluss zu bestimmen.

Für die Bestimmung des schadlosen Abflusses in Bad Staffelstein wurden einige Rechenläufe durchgeführt, wobei der Abfluss innerorts Bad Staffelstein zwischen $5 \text{ m}^3/\text{s}$ und $21 \text{ m}^3/\text{s}$ variiert wurde. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Anlage A1.3 graphisch dargestellt.

Ober- und unterstrom der Ortschaften befinden sich viele Grünflächen, die bei erhöhtem Abfluss überschwemmt werden. Durch diese ungefährlichen Ausuferungen (kein Einstau von Gebäuden) werden die Hochwasserscheitel reduziert (natürlicher Rückhalt), so dass diese einen positiven, wünschenswerten Effekt für die Hochwassersituation darstellen und zukünftig möglichst beibehalten werden sollten.

Schadloser Abfluss am Stadtrand zwischen Hopfenmühle und Edeka-Markt

Die durchgeführten Rechenläufe mit den unterschiedlichen Abflüssen haben ergeben, dass die kritischen Stellen im Bereich der Hopfenmühle liegen – in diesem Abschnitt des Lauterbachs treten frühzeitig Ausuferungen, also bereits bei kleineren Abflüssen.

Hier ergeben sich Ausuferungen, die Überschwemmungen des Stadtzentrums zur Folge haben:

- Linksseitige Ausuferung am Lauterbach und anschließende Umströmung des Sommerdeichs (**hellgrüne** Markierung in Abbildung 59), bei Abflüssen größer als $15,5 \text{ m}^3/\text{s}$
→ Ursache der Überschwemmungen im Stadtzentrum (siehe Abbildung 54 und Abbildung 55)
- Rechtsseitige Ausuferung am Mühlbach unmittelbar oberstrom der Hopfenmühle (**orange** Markierung in Abbildung 59), bei Abflüssen größer als $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$
→ Ursache der Überschwemmungen entlang der Horsdorfer Straße
- Ausuferungen zwischen Mühlbach und Lauterbach oberstrom der Hopfenmühle (**violette** Markierung in Abbildung 59), bei Abflüssen größer als $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$
→ Ursache der Überschwemmungen der Gebäude rund um die Hopfenmühle

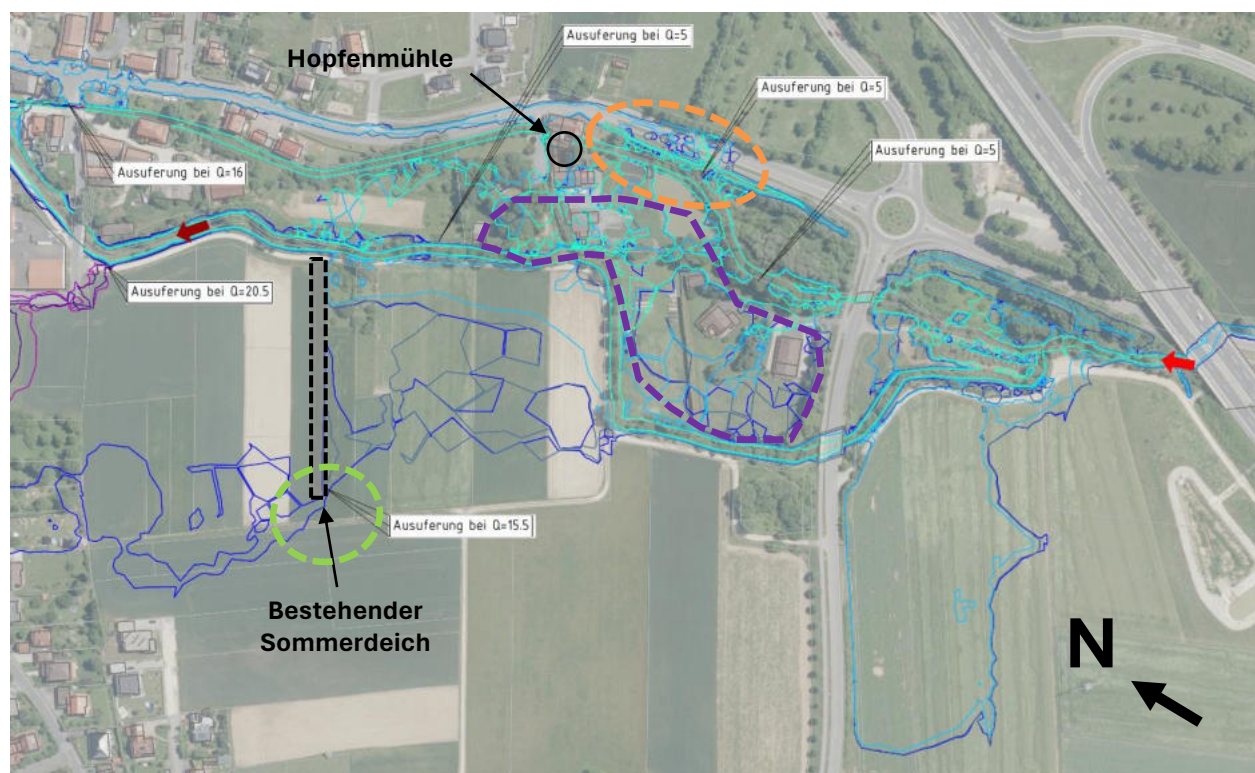


Abbildung 59: Frühzeitige Ausuferungen im Bereich der Hopfenmühle

Schadloser Abfluss im Stadtgebiet unterstrom des Edeka-Marktes (Freibord $f = 0$ cm)

Die Untersuchung zeigt, dass der bordvolle Zustand (kein Freibord an den uferbegleitenden HWS-Mauer, $f = 0$ cm) der innerörtlichen Fließgewässer bei einem Abfluss von $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht ist. An den folgenden zwei Stellen beginnt der Lauterbach bei diesem Abfluss geringfügig auszuufern:

- Parkplatz des Edeka-Markts (Abbildung 60, links)
- Grünfläche des Anwesens ‚Rotkreuzweg 5‘ (Abbildung 60, rechts)

Ab einem Abfluss von $Q = 21 \text{ m}^3/\text{s}$ pflanzen sich die Ausuferungen an den genannten Stellen großflächig entlang der Straßenflächen fort.

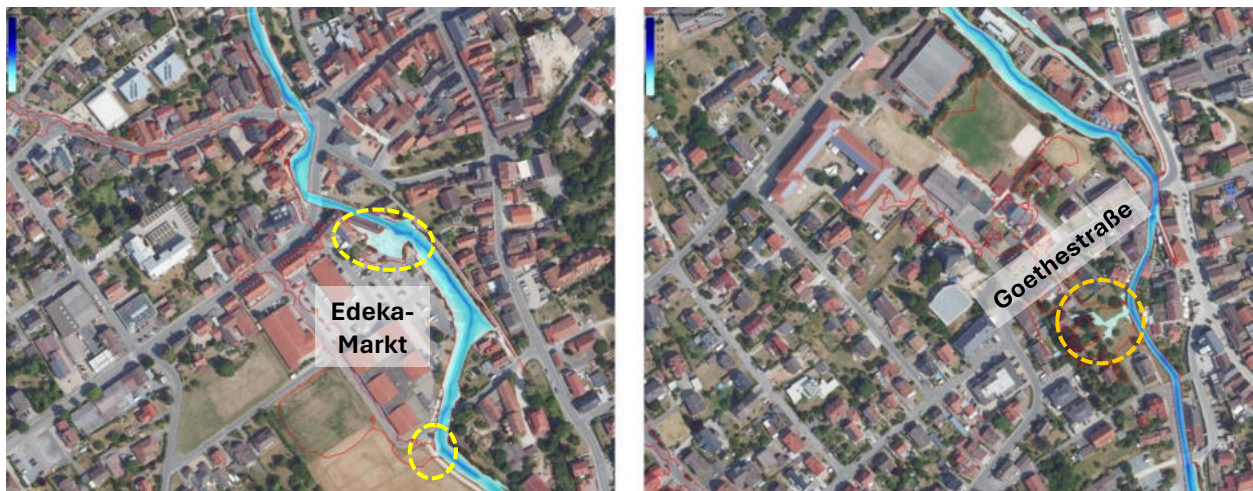


Abbildung 60: Kritische Stellen in Bad Staffelstein beim Abfluss $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ (blaue Flächen)

Diese Ergebnisse geben erste Anhaltspunkte für die hydraulische Leistungsfähigkeit der innerörtlichen Fließgewässer und für die Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen.

Leistungsband Bad Staffelstein (Freibord $f = 20$ cm)

Im Rahmen des Hochwasserschutzes Bad Staffelstein wurden bereits im Jahr 2008 erste innerörtliche Schutzmaßnahmen – größtenteils gewässerbegleitender Linienschutz in Form von Ufermauern – umgesetzt. Im weiteren Verlauf der Projektbearbeitung wurde untersucht, bei welchem innerörtlichen Abfluss ein Freibord von 20 cm an den Ufermauern eingehalten ist. Die Ergebnisse der Untersuchung wurden anhand eines Leistungsbands für den innerörtlichen Bereich von Bad Staffelstein visualisiert (siehe Anlage A1.2), wobei der Sohlverlauf, die berechneten Wasserspiegel (für die Abflüsse 16 und $20 \text{ m}^3/\text{s}$), die Mauer- bzw. Geländeoberkanten und der Freibord in Form eines Längsschnitts entlang des Lauterbachs eingetragen ist.

Aus Abbildung 61 (Auszug aus Anlage A1.2) wird ersichtlich, dass bei einem innerörtlichen Zufluss von $Q = 16 \text{ m}^3/\text{s}$ der geforderte Freibord von 20 cm eingehalten ist. Ebenfalls lassen sich die zwei kritischen Stellen an Goethestraße und Edeka-Markt erkennen, bei denen bei einem innerörtlichen Zufluss von $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ der bordvolle Zustand erreicht ist bzw. erstmalig Ausuferungen auftreten.

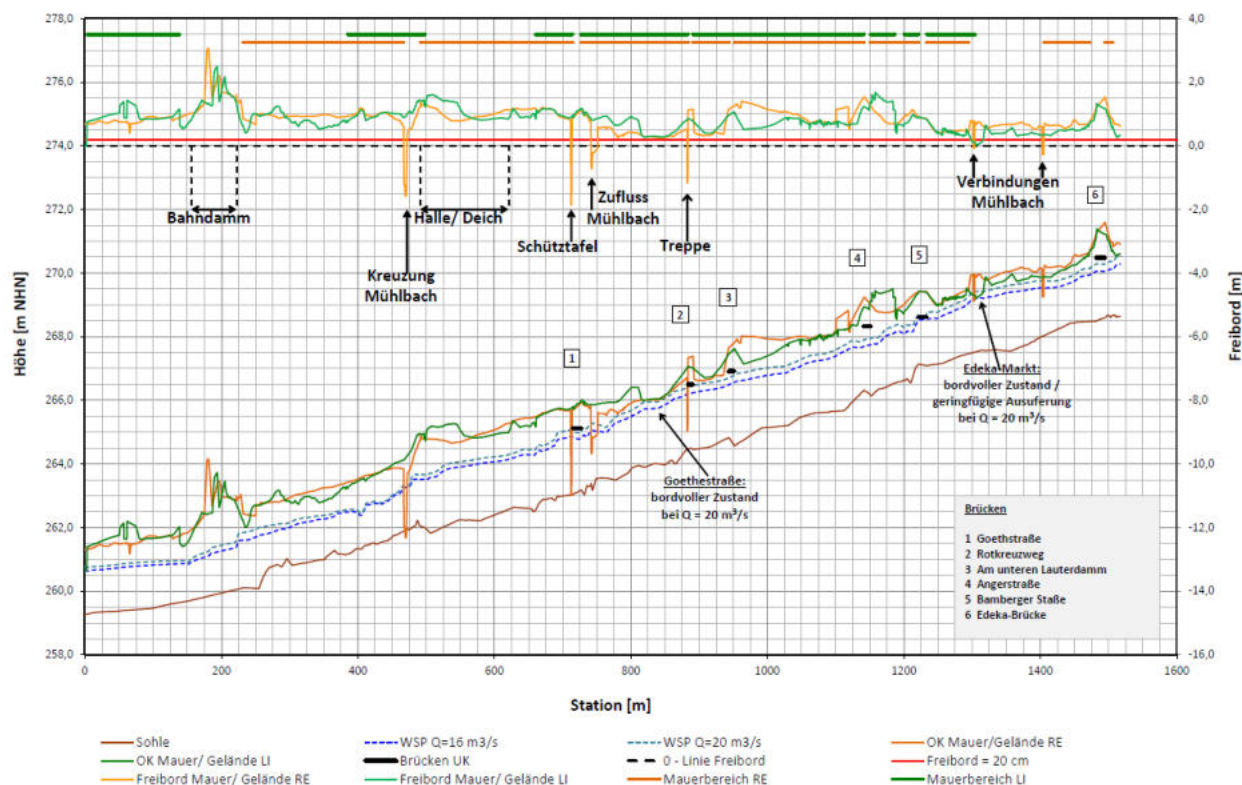


Abbildung 61: Leistungsband Bad Staffelstein

Schadloser Abfluss innerhalb der Ortschaften Horsdorf und Loffeld

Im Rahmen der Untersuchung ‚Erweiterung des Projektgebiets um Horsdorf und Loffeld‘ [U3] wurde der schadlose Abfluss innerhalb der beiden Ortschaften Horsdorf und Loffeld ermittelt (anhand des Bestandsmodells des Lauterbachs [U2]). Nach dieser Quelle kann der schadlose Abfluss für die beiden Ortschaften wie folgt definiert werden:

„Der schadlose Abfluss für die **Ortschaft Horsdorf** wird maßgeblich von den Höhenverhältnissen am Anwesen 'Zur Fuchsenmühle 1' (...) bestimmt. Das Anwesen besteht aus einem kleinen Wohnhaus (...) und einem größeren Nebengebäude, dessen nördliche Außenwände direkt an den Lauterbach angrenzen. An der östlichen Seite des Nebengebäudes befindet sich ein Zufahrtstor (...). Das Anwesen ist bereits frühzeitig von Hochwasser betroffen: bei einem Abfluss von $8,94 \text{ m}^3/\text{s}$ (...) stellt sich in diesem Bereich in etwa ein Wasserspiegel auf Höhenlage der Tor-Schwelle (284,19 m NHN) ein. (...)

Für die **Ortschaft Loffeld** wird der schadlose Abfluss auf ca. $9,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (...) ermittelt. Das hierfür maßgebende Gebäude ist das Feuerwehrhaus am Ortseingang von Loffeld. Bereits bei einem Abfluss von $9,1 \text{ m}^3/\text{s}$ sind hier aufgrund des Einstaus an der benachbarten Bogenbrücke bordvolle Verhältnisse erreicht.“

3 UNTERSUCHUNG ZUR WAHL DER VORZUGSLÖSUNG

3.1 Ziel der vorliegenden Untersuchung und Beschreibung der Vorgehensweise

Im Zuge der Vorplanung 2023 [U1] wurden anhand einer Variantenuntersuchung für den Hochwasserschutz Bad Staffelstein verschiedene Becken-Kombinationen gegenübergestellt und im Hinblick auf die wasserwirtschaftlichen, monetären und weiteren Verhältnisse bewertet (Details siehe Kapitel 1.5.1). Unter Berücksichtigung des Nutzen-Kosten-Vergleichs sind vor allem Variante 6 (Becken 2), Variante 7 (Becken 2 + 3), Variante 8 (Becken 2 + 4 Hauptschluss) und Variante 10 (Becken 3 + 4) zu bevorzugen. Variante 6 in Form eines Einzelbeckens am Standort 2 (Lage siehe Abbildung 35) hat sich dabei als wirtschaftlichste Lösung für die Erzielung eines Hochwasserschutzes der Stadt Bad Staffelstein herausgestellt, wobei ein Stauvolumen von 550.000 m³ und ein Drosselabfluss von 14 m³/s vorgesehen war.

Wie in Kapitel 1.5.2 beschrieben ändern sich mit den hydrologischen Ansätzen auch die Füllen der Hochwasserganglinien für das 100-jährliche Ereignis (HQ₁₀₀). Da die HRBs auf das HQ_{100+K} bemessen wurden, muss das erforderliche Rückhaltevolumen neu ermittelt werden. Die neuen Bemessungsergebnisse für das Becken 2 (Ermittlung durch BGS anhand des aktualisierten Niederschlag-Abfluss-Modells) sind in der nachfolgenden Tabelle 10 aufgelistet [U10]:

Becken 2	Drosselabfluss Becken 2 [m ³ /s]	15.0	14.0	13.0	12.0	11.0	10.0	9.0	8.0	7.3
	Beckenvolumen [m ³]	216,000	245,000	275,000	307,000	349,000	397,000	450,000	505,000	548,000
Abfluss HQ _{100+15%} in Höhe A73 [m ³ /s]		19.7	18.8	17.8	16.9	16.0	15.1	14.1	13.2	12.5

Tabelle 10: Rückhaltevolumina in Abhängigkeit des Drosselabflusses (Neuermittlung [U10])

Mit den geänderten hydrologischen Grundlagen, die eine Reduzierung der Hochwasserfüllen gegenüber der ursprünglichen Hydrologie bedeutet, könnte bei gleichbleibenden Stauvolumen (550.000 m³) der Drosselabfluss aus dem Becken deutlich (von 14 m³/s auf 7,3 m³/s) reduziert werden (siehe gelbe Markierung in Tabelle 10). Im Hinblick auf die generell hohen Herstellungskosten für das Dammbauwerk würde diese Lösung jedoch ein schlechtes Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen.

Im Hinblick auf die Ergebnisse aus den hydraulischen Berechnungen zum IST-Zustand (siehe Kapitel 2.5.2 und 2.5.3) wird der Hochwasserschutz für Bad Staffelstein, Horsdorf und Loffeld wohl neben der Errichtung des HRBs auch aus der Realisierung von innerörtlichen Maßnahmen bestehen, also eine Kombination aus außer- und innerörtlichen Maßnahmen sein. Die Größe des Einzelbeckens 2 könnte also dahingehend optimiert werden, indem unterstrom des Bauwerks geeignete innerörtliche Maßnahmen (Bad Staffelstein, Horsdorf und Loffeld) gewählt werden, durch die der schadlose Abfluss in den Ortschaften erhöht wird.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist somit die Optimierung des Einzelbeckens 2, indem der Umfang der Maßnahmen des außerörtlichen und innerörtlichen Hochwasserschutzes untereinander so kombiniert wird, um ein zufriedenstellendes Kosten-Nutzen-Verhältnis zu erhalten. Die Wahl des Drosselabflusses (Q_D) des Hochwasserrückhaltbeckens stellt dabei den Kern dieser

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dar, der unmittelbaren Einfluss aus das Rückhaltevolumen ($V_{\text{Rückhalt}}$) und den Umfang der innerörtlichen Maßnahmen ($U_{\text{innerörtl.HWS}}$) hat:

- höherer Q_{Dr} → geringerer $V_{\text{Rückhalt}}$ → höherer $U_{\text{innerörtl.HWS}}$
- geringerer Q_{Dr} → größerer $V_{\text{Rückhalt}}$ → geringerer $U_{\text{innerörtl.HWS}}$

Abbildung 62 soll dabei die Zusammenhänge veranschaulichen:

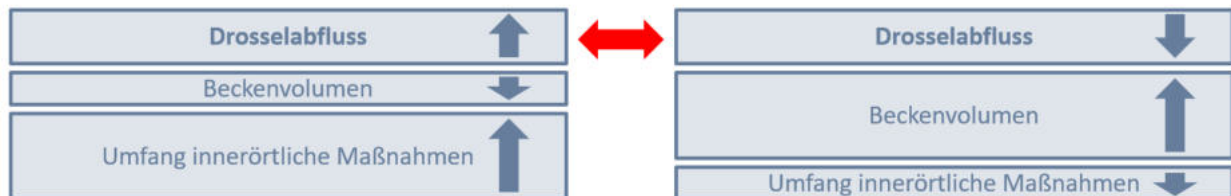


Abbildung 62: Zusammenhang zw. Drosselabfluss und Umfang der innerörtlichen Maßnahmen

Je höher der Drosselabfluss gewählt wird, desto geringer wird das Beckenvolumen und desto mehr zusätzliche innerörtliche Maßnahmen sind notwendig, um einen vollumfänglichen Hochwasserschutz für die Ortschaften Bad Staffelstein, Horsdorf und Loffeld zu gewährleisten. Dadurch sinken zwar die Kosten für das Hochwasserrückhaltbecken, jedoch steigen die Kosten für den innerörtlichen Hochwasserschutz. Dagegen wäre bei einem geringeren Drosselabfluss der Umfang der innerörtlichen Maßnahmen geringer, jedoch das Beckenvolumen größer (höhere Herstellkosten für das Becken).

Für die Optimierung wird eine iterative Vorgehensweise verwendet, wobei die folgenden Bearbeitungsschritte mehrmals durchgeführt wird:

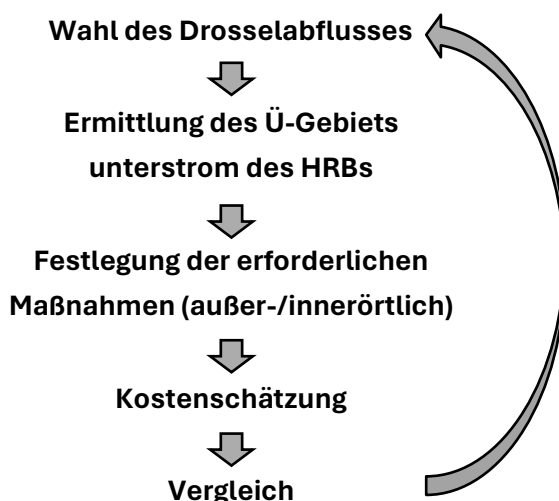


Abbildung 63: Schema zur iterativen Vorgehensweise

Ausgangspunkt ist die Wahl eines Drosselabflusses des Beckens. Zusammen mit den Zuflüssen aus den seitlichen Einzugsgebieten zwischen Becken 2 und dem Stadtrand von Bad Staffelstein werden die Überschwemmungsgebiete unterstrom des HRBs ermittelt. Mit diesen Informationen

werden die erforderlichen innerörtlichen Maßnahmen erarbeitet, um die bebauten Gebiete zukünftig vor einem 100-jährlichen Hochwasserereignis zu schützen. Im nächsten Schritt erfolgt die Kostenschätzung zur Errichtung der außer- und innerörtlichen Maßnahmen. Die ermittelten Grobkosten werden anschließend graphisch in Abhängigkeit des Drosselabflusses untereinander verglichen. Schließlich entspricht die Lösung mit den geringsten Herstellungskosten der Vorzugslösung.

Das Ergebnis der Optimierung ist in Kapitel 3.3, die Maßnahmen der Vorzugslösung ist in Kapitel 3.4 beschrieben.

3.2 Hydraulische Berechnungen zum PLAN-Zustand

Allgemeine Informationen

Die Ermittlung der Wasserspiegellagen anhand hydraulischer Berechnungen ist für die Abschätzung der Schutzhöhen und Dimensionierung der HWS-Maßnahmen im Projektgebiet sowie für die Ermittlung der Überschwemmungsgebiete für den PLAN-Zustand erforderlich.

Die hydraulischen Berechnungen wurden ausschließlich für den Abfluss des 100-jährlichen Hochwasserereignisses durchgeführt, wobei sich dieser Abflusswert je nach Wahl des Drosselabflusses aus dem HRB ändert. Die Überschwemmungsgebiete wurden für jeden Drosselabfluss berechnet, allerdings sind in diesem Kapitel die Berechnungsergebnisse (Fließtiefen und Überschwemmungsgebiet) für die Vorzugslösung ($Q_{Dr} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$) exemplarisch beschrieben. Eine zeichnerische Darstellung der hydraulischen Berechnungen zeigen hierzu die Anlagen B1.1 bis B1.4 (Fließtiefen der Vorzugslösung mit $Q_{Dr} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$).

Anpassungen des Berechnungsmodells zum PLAN-Zustand

Das neu erstellte Berechnungsmodell des Lauterbachs wurde für die Berechnungen des zukünftigen Zustands zum einen um die geplanten Maßnahmen erweitert und zum anderen hinsichtlich der geänderten Zuflüsse (in erster Linie der Drosselabfluss aus dem HRB) aktualisiert.

Folgende Modellanpassungen wurden für die Berechnungen zum PLAN-Zustand vorgenommen:

- **Zuflüsse**

Im Vergleich zum Modell des IST-Zustands (Abbildung 49) stellen die Zuflüsse die wesentliche Änderung am Berechnungsmodell zum PLAN-Zustand dar. Das HRB wurde im Berechnungsmodell ausschließlich über den zukünftigen Drosselabfluss berücksichtigt (Definition als Modellzulauf). Außerdem wurden in das Modell die Zuflüsse aus den seitlichen Einzugsgebieten (unterstrom des Beckens bis zum Stadtrand) eingepflegt. Die Zufluss-Werte wurden im Rahmen der hydrologischen Bemessung zum PLAN-Zustand ermittelt [U17].

→ Die für den PLAN-Zustand definierten Zuläufe sind in Tabelle 11 zusammengefasst, deren Lage ist in Abbildung 65 graphisch dargestellt.

Zulauf-Nr.	Lage/Beschreibung	Q _{PLAN} [m ³ /s]
1	Zulauf oberer Modellrand (Lauterbach) – <i>Variation des Drosselabflusses</i>	11,0
2	Zulauf Feuerwehrhaus Loffeld	1,186
3	Zulauf unterstrom Loffeld	1,266
4	Zulauf Mühlbach Horsdorf	1,095
5	Zulauf St 2204	0,792
6	Zulauf A73	0,651
7	Zulauf oberstrom Bad Staffelstein	1,0
8	Zulauf oberer Modellrand (Main)	470,0

Tabelle 11: Zuläufe des Berechnungsmodells für den PLAN-Zustand

- *Geometrische Modellierung*

Folgende Maßnahmen wurden geometrisch (Anpassung der Knoten und Elemente) im Berechnungsmodell zum PLAN-Zustand berücksichtigt (Beschreibung der Maßnahmen siehe Kapitel 3.4):

- Überfallscharte zwischen Mühlbach und Lauterbach oberstrom von Horsdorf
- Verschluss beider Wehrfelder am Ausleitungswehr oberstrom der Hopfenmühle

- *Definition über Disable-Rauheit*

Für die Simulation zukünftig hochwasserfreier Bereiche können neue Linienbauwerke (z.B. Mauern), die nicht überströmt werden, über Disable-Rauheiten definiert werden. Dies wurde im Modell an den folgenden Stellen durchgeführt (Beschreibung der Maßnahmen siehe Kapitel 3.4):

- Mauer am Feuerwehrhaus in Loffeld
- Lokale Erhöhung der Staatsstraße im Bereich der Autobahn
- Absperrbauwerk vor Mühlbach-Durchlass
- Verlängerung und Ertüchtigung des Sommerdeichs
- Mauer am Anwesen ‚Am oberen Lauterdamm 2‘ in Bad Staffelstein

Einzelobjektschutzmaßnahmen wie mobile Verschlüsse oder Mauerwerks-Abdichtungen wurden im Modell nicht explizit berücksichtigt. An diesen Stellen wurden aus der hydraulischen Berechnung die Wasserspiegellagen ausgegeben, um die Abmessungen festzulegen und daraus die Kosten zu schätzen.

Die beiden bestehenden Wehranlagen, die für die Ausleitung des Wassers in die Mühlbäche zu den angeschlossenen Kleinwasserkraftanlagen in Horsdorf (siehe Abbildung 10) und in Bad Staffelstein (siehe Abbildung 16) sorgen, sind augenscheinlich in einem baufälligen und sanierungsbedürftigen Zustand, so dass die Funktionstüchtigkeit zum Heben der Schütztafeln im Hochwasserfall angezweifelt werden kann. Durch die Anordnung des neuen Absperrbauwerks an der Verrohrung des Mühlbachs am ‚Äußeren Frankenrings‘ kann das Ausleitungswehr unterstrom der A73 (siehe Abbildung 16) in seinem jetzigen Zustand verbleiben, d.h. ein Heben der Schütztafeln wäre nicht erforderlich. Dadurch können die Überschwemmungen im Bereich der Hopfenmühle vollständig unterbunden werden, wie die in Abbildung 64 dargestellten Fließtiefen belegen.



Abbildung 64: Zukünftiges Ü-Gebiet im Bereich der Hopfenmühle

Der Umgriff des Berechnungsmodells zum PLAN-Zustand entspricht demjenigen des IST-Modells, wie die folgende Abbildung 65 zeigt.

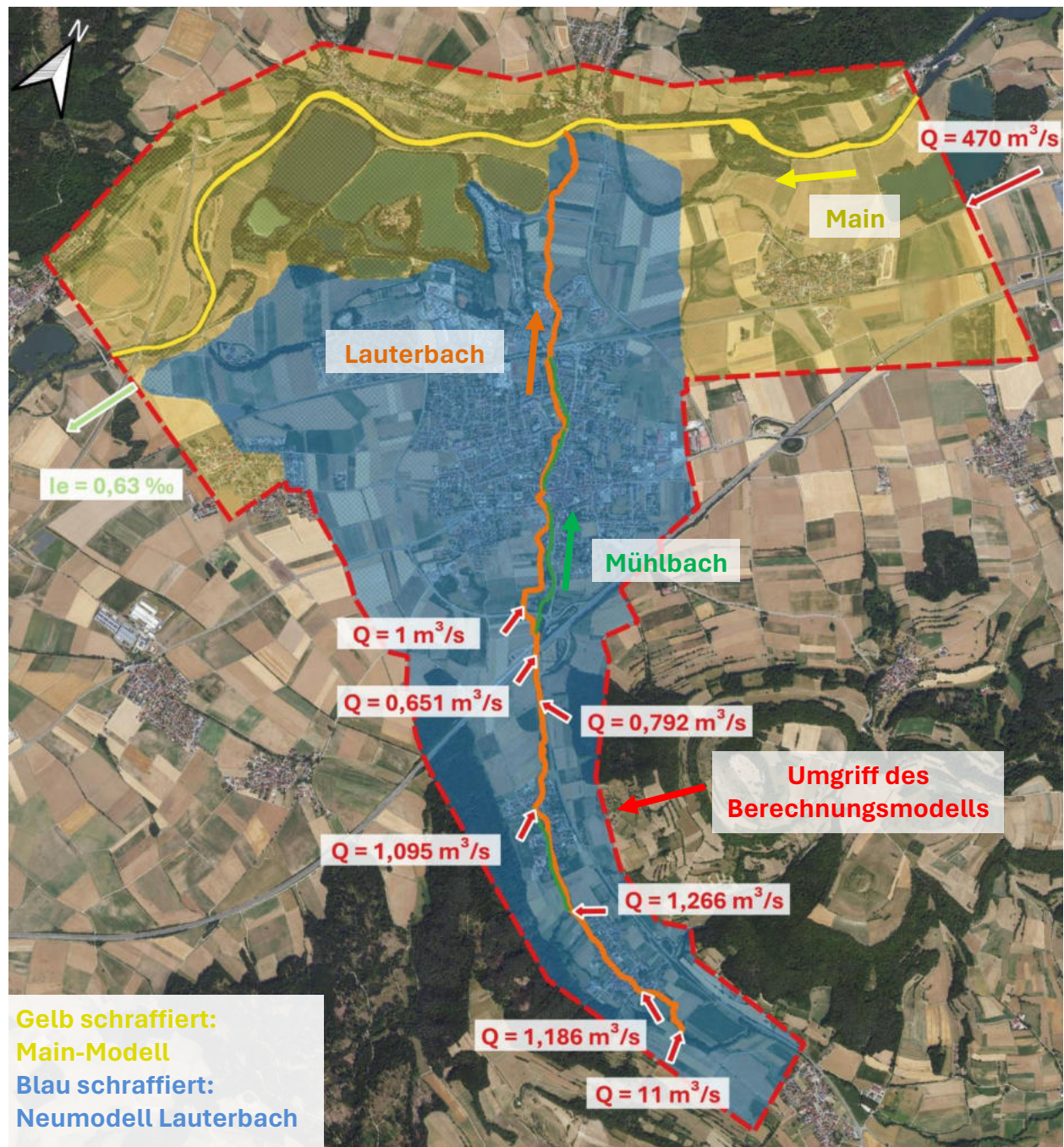


Abbildung 65: Umgriff des Gesamtmodells für den PLAN-Zustand ($Q_{Dr} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$)

In den Anlagen A2.1 und B1.1 sind die Überschwemmungsgebiete des IST- und PLAN-Zustands (HRB mit $Q_{Dr} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$) gegenübergestellt. Daran ist erkennbar, dass mit den vorgesehenen Maßnahmen der Vorzugslösung der Hochwasserschutz gegen HQ_{100} für die drei Ortschaften gewährleistet werden kann. Im Detail sind die Maßnahmen im Kapitel 3.4 beschrieben.

3.3 Ergebnis der iterativen Untersuchung

Das in Kapitel 3.1 beschriebene iterative Vorgehen (siehe Abbildung 63) wird für Drosselabflüsse zwischen den folgenden beiden Grenzwerten durchgeführt:

- **Oberer Grenzwert**
 Als Vorgabe seitens des WWA soll der Abfluss im Stadtgebiet Bad Staffelstein maximal so hoch sein, dass ein Mindest-Freibord von 20 cm eingehalten ist. Gemäß des aufgestellten Leistungsbandes entspricht dies einem Abfluss in Höhe von 16 m³/s (siehe Abbildung 61 in Kapitel 2.5.3). Durch eine Mauererhöhung im Bereich der Goethestraße (Darstellung siehe Anlage B1.4) kann der schadlose Abfluss im Stadtbereich auf rund 17 m³/s erhöht werden.
 Durch Subtraktion aller Zuflüsse im Bereich zwischen Stadtgebiet und Auslauf des Hochwasserrückhaltebeckens (siehe Tabelle 11) ergibt sich somit als oberer Grenzwert für die iterative Untersuchung der Drosselabfluss $Q_{Dr,max} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$.
- **Unterer Grenzwert**
 Für die ursprünglich geplante Beckengröße von 550.000 m³ würde sich unter den aktualisierten hydrologischen Grundlagen ein Drosselabfluss von 7,3 m³/s ergeben (siehe Tabelle 10). Bei diesem Abfluss wären nur wenige innerörtliche Maßnahmen erforderlich, allerdings würden sehr hohe Herstellungskosten zur Errichtung des Dammes entstehen.
 Vor diesem Hintergrund wird als unterer Grenzwert für die iterative Untersuchung der Drosselabfluss $Q_{Dr,min} = 7,3 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt.

Für verschiedene Drosselabflüsse zwischen den beiden Grenzwerten wurden die Wasserspiegellagen und Überschwemmungsgebiete ermittelt, darauf basierend die erforderlichen innerörtlichen Hochwasserschutzmaßnahmen festgelegt und schließlich die Grobkosten zur Herstellung der Maßnahmen ermittelt.

In der folgenden Tabelle 12 sind in Abhängigkeit des Drosselabflusses die erforderlichen innerörtlichen Maßnahmen aufgezählt. Demnach vergrößert sich der Umfang der innerörtlichen HWS-Maßnahmen mit ansteigendem Drosselabfluss. Um die weitere Entwicklung der Grobkosten darzustellen, wurde die Untersuchung um den Drosselabfluss $Q_{Dr} = 13 \text{ m}^3/\text{s}$ ergänzt.

Drossel- Abfluss	Becken- Volumen	Innerörtliche Maßnahmen									
		Mauerwerks- abdichtung	Verschluss von Gebäudeöffn.	Neubau von Mauern	Überfallscharte	Straßenumbau	Absperrbauwerk	Sommerdeich	Gewässer- anpassung	Mobile Elemente	
m ³ /s	m ³	m ²	Anzahl	Länge	Anzahl	Länge	Anzahl	Länge	Länge	Länge	
7,30	548.000	✓ 22	✓ 1	✓ 10	✓ 1	✓ 50	✓ 1	✗	✗	✗	
9,00	450.000	✓ 32	✓ 1	✓ 10	✓ 1	✓ 50	✓ 1	✗	✗	✗	
9,45	425.000	✓ 33	✓ 1	✓ 10	✓ 1	✓ 50	✓ 1	✓ 160	✗	✗	
11,00	349.000	✓ 41	✓ 2	✓ 49	✓ 1	✓ 50	✓ 1	✓ 200	✗	✗	
13,00	275.000	✓ 62	✓ 7	✓ 67	✓ 1	✓ 50	✓ 1	✓ 250	✓ 35	✓ 5	

Tabelle 12: Umfang der innerörtlichen Maßnahmen in Abhängigkeit des Drosselabflusses

Anhand der Kostenansätze aus der Vorplanung (Kostenbasis 2022) wurde in einem nächsten Schritt für die jeweiligen Drosselabflüsse die Grobkosten ermittelt. Das Ergebnis ist dabei in

Tabelle 13 aufgeführt, in der die Brutto-Kosten der innerörtlichen (Spalte 3), der außerörtlichen Hochwasserschutzmaßnahmen (Spalte 4) sowie deren Summe (Spalte 5) enthalten sind. Zudem ist in Spalte 6 der Tabelle 13 die Gesamtkosten der Kostenbasis 2025 angegeben – hier wurde ein Aufschlag von 30% (in Anlehnung an die statistische Baupreisentwicklung bis Nov. 2024 gemäß des statistischen Bundesamts [Q4]) hinzugezählt.

Die geometrischen Kennwerte des Damms für Becken 2 wurden in Abhängigkeit des Drosselabflusses angepasst, so dass die Kosten für die verschiedenen Beckengrößen ermittelt werden konnten. Die wesentlichen Bestandteile der Kosten für die Errichtung des HRBs bilden die Schüttung des Erddammes (ca. 48%) sowie die Errichtung des Durchlassbauwerks (ca. 47%), u.a. Massivbau, Gründung und Stahlwasserbau.

1	2	3	4	5	6
Drossel- Abfluss	Becken- Volumen	Kosten innerörtlicher HWS (brutto) Kostenbasis 2022	Kosten außerörtlicher HWS (brutto) Kostenbasis 2022	Gesamtkosten (brutto) Kostenbasis 2022	Gesamtkosten (brutto) Kostenbasis 2025
m ³ /s	m ³	€	€	€	€
7,30	548.000	440.000	9.280.000	9.720.000	12.700.000
9,00	450.000	445.000	8.553.000	8.998.000	11.700.000
9,45	425.000	559.000	8.344.000	8.903.000	11.600.000
11,00	349.000	644.000	7.856.000	8.500.000	11.100.000
13,00	275.000	Nicht relevant hinsichtlich einzuhaltendem Freibord in Bad Staffelstein 816.000	7.213.000	8.029.000	10.500.000

Tabelle 13: Grobkosten in Abhängigkeit des Drosselabflusses - Zahlenwerte

Eine graphische Darstellung der ermittelten Grobkosten der Tabelle 13 sind in Abbildung 66 zu finden. Daraus geht hervor, dass

- die Größe des HRBs die Gesamtkosten entscheidend beeinflusst, da die Kosten für den innerörtlichen Hochwasserschutz in Abhängigkeit des Drosselabflusses nur geringfügig ansteigen und diese in Relation zu den Grobkosten des HRBs signifikant geringer sind.
- die Grobkosten mit steigendem Drosselabfluss zwar abnehmen, allerdings der absolute Scheitelpunkt der Grobkosten-Kurve noch nicht erreicht ist.

Im Hinblick auf das einzuhaltende Freibord in Höhe von 20 cm für das Stadtgebiet Bad Staffelstein wird als Vorzugslösung der als oberer Grenzwerte definierte Drosselabfluss in Höhe von 11 m³/s gewählt, da sich hierfür die geringsten Herstellkosten ergeben (siehe Abbildung 66). Die für diesen Drosselabfluss ($Q_{Dr} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$) erforderlichen Maßnahmen sind im nachfolgenden Kapitel 3.4 beschrieben.

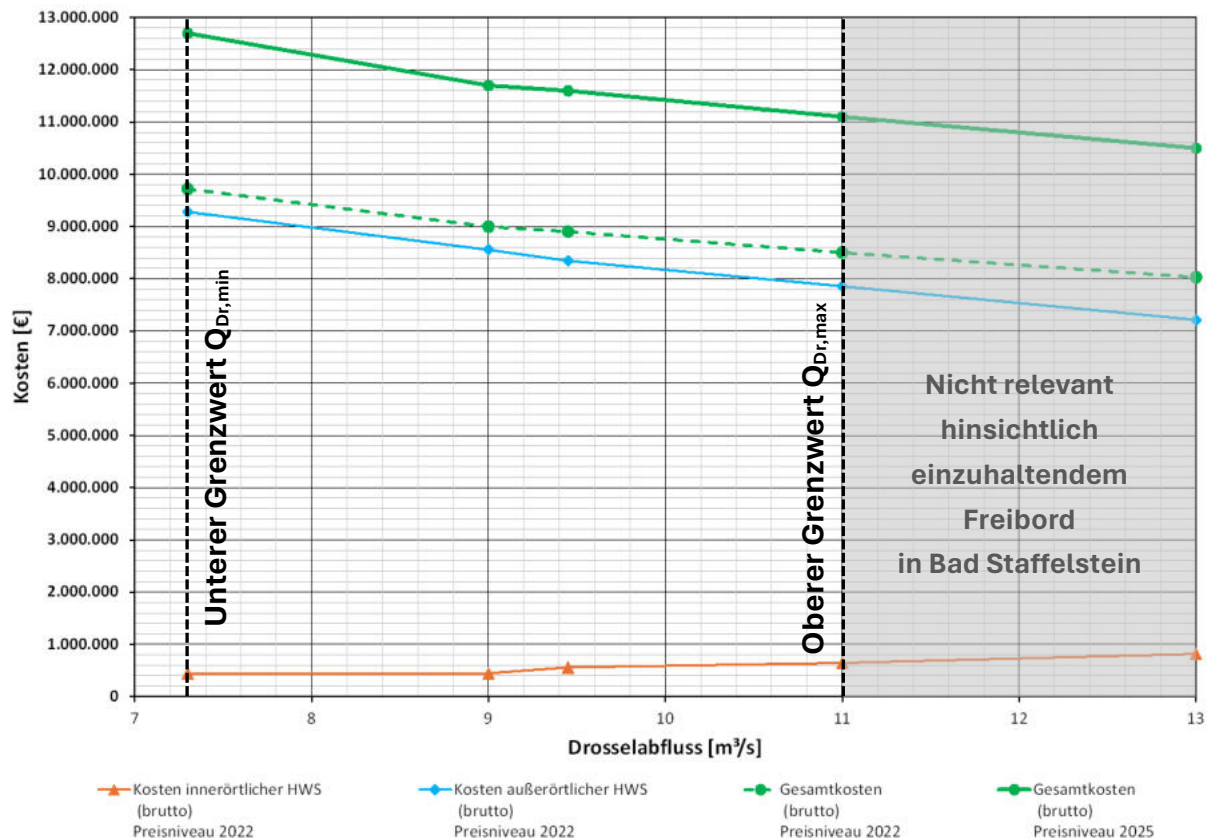


Abbildung 66: Grobkosten in Abhängigkeit des Drosselabflusses – graphische Darstellung

3.4 Beschreibung der Hochwasserschutzmaßnahmen

3.4.1 Allgemeine Informationen

Die Stadt Bad Staffelstein soll zukünftig gegen Überschwemmungen eines 100-jährlichen Hochwasser (HQ₁₀₀) geschützt werden. Dabei sind die vorgesehenen Maßnahmen auf das Bemessungshochwasser HQ_{100+K} zu dimensionieren, was einem um den Klimafaktor von 15% erhöhtem 100-jährlichen Hochwasserereignis entspricht.

Wesentlicher Bestandteil der Hochwasserschutzmaßnahmen ist das Hochwasserrückhaltebecken oberstrom von Loffeld, durch das zukünftig der Abfluss unterstrom des Beckens auf den schadlosen Abfluss innerhalb der Stadt (unter Einhaltung des Mindest-Freibords von 20 cm) gedrosselt wird. Durch das Bauwerk werden auch die Ortschaften Loffeld und Horsdorf vor Hochwasser geschützt. Die Bemessung des Rückhalteriums des HRBs erfolgte dabei auf den Abfluss HQ_{100+K}.

Die vorgesehenen Hochwasserschutzmaßnahmen werden in dem nachfolgenden Kapitel näher beschrieben – beginnend am östlichen Ende mit dem Hochwasserrückhaltebecken und fortschreitend in Fließrichtung des Lauterbachs.

3.4.2 Loffeld

Hochwasserrückhaltebecken (zwischen Stublang und Loffeld)

Gegenüber den Abmessungen aus der Vorplanung 2023 [U1] konnte das erforderliche Stauvolumen des HRBs auf 350.000 m^3 reduziert werden (Drosselung des HQ_{100+K} -Zuflusses auf maximal $Q_{Dr} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$). Dieses Volumen wird bei einem Stauziel von $306,25 \text{ m}$ NHN erreicht, was einer mittleren Dammhöhe von rund $7,5 \text{ m}$ entspricht (maximale Dammhöhe am Durchlassbauwerk $10,35 \text{ m}$). Anhand einer der Damm-Konstruktion mittels Autodesk Civil3d konnte das Dammvolumen auf rund 54.100 m^3 bestimmt werden (inkl. Berücksichtigung einer voraussichtlich erforderlichen Überschüttung im Hinblick auf die bindigen Untergrundverhältnisse). Die Oberkante der Dammkrone ist auf Höhenkote $307,75 \text{ m}$ NHN festgelegt, so dass ein Freibord von $1,5 \text{ m}$ besteht. Das rund 320 m lange Dammbauwerk ist in der nachfolgenden Abbildung 67 eingetragen.

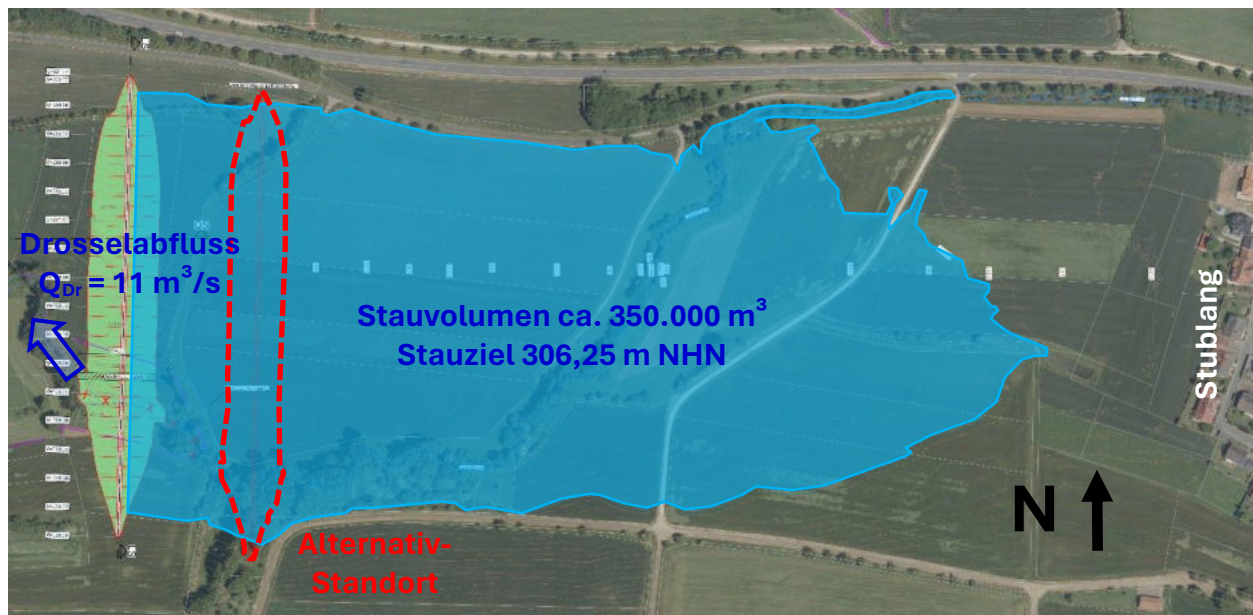


Abbildung 67: Lage des HRBs mit Staulinie (Auszug aus Anlage B2)

Die Aufstandsfläche des in Abbildung 67 dargestellten Dammbauwerks ragt in ein bestehendes FFH-Gebiet hinein. Um diesen Eingriff zu vermeiden, wäre im Rahmen der nachfolgenden Planungsphasen zu untersuchen, ob das Erdbauwerk noch weiter in Richtung Stublang (in östliche Richtung) verschoben werden kann. Gegebenenfalls ist eine Erhöhung des Dammes erforderlich, um das erforderliche Dammvolumen zu erreichen.

Im Kreuzungsbereich des Dammes mit dem Lauterbach wird – analog zu Vorplanung 2023 – das Durchlassbauwerk errichtet. Dieses Stahlbetonbauwerk wird senkrecht zur Dammachse angeordnet, so dass eine Verlegung des Lauterbachs notwendig ist. Zur Gewährleistung der ökologischen Durchgängigkeit wird das Durchlassbauwerk in Form einer Ökoschlucht ausgebildet. Die Regulierung des Abflusses erfolgt über hydraulische Schütze, außerdem ist eine Hochwasserentlastung mit Tosbecken sowie ein Grob – und Feinrechen zum Rückhalt von Treibgut vorgesehen.

Die Lage und die eingestaute Fläche ist in größerer Darstellung in Anlage B2 zu finden.



Abbildung 68: isometrische Darstellung des Dammes (Blick aus süd-östlicher Richtung)

Mauer am Feuerwehrhaus

Aufgrund der Drosselung des Abflusses durch das oberstrom liegende HRB wäre innerhalb der Ortschaft Loffeld lediglich das Feuerwehrhaus durch Überschwemmungen betroffen (siehe Abbildung 58), wobei die Ausuferungen an der orographisch linken Seite auftreten. Zum Schutz dieses Bauwerks ist eine Mauer an der linken Uferseite vorgesehen (siehe Abbildung 69).

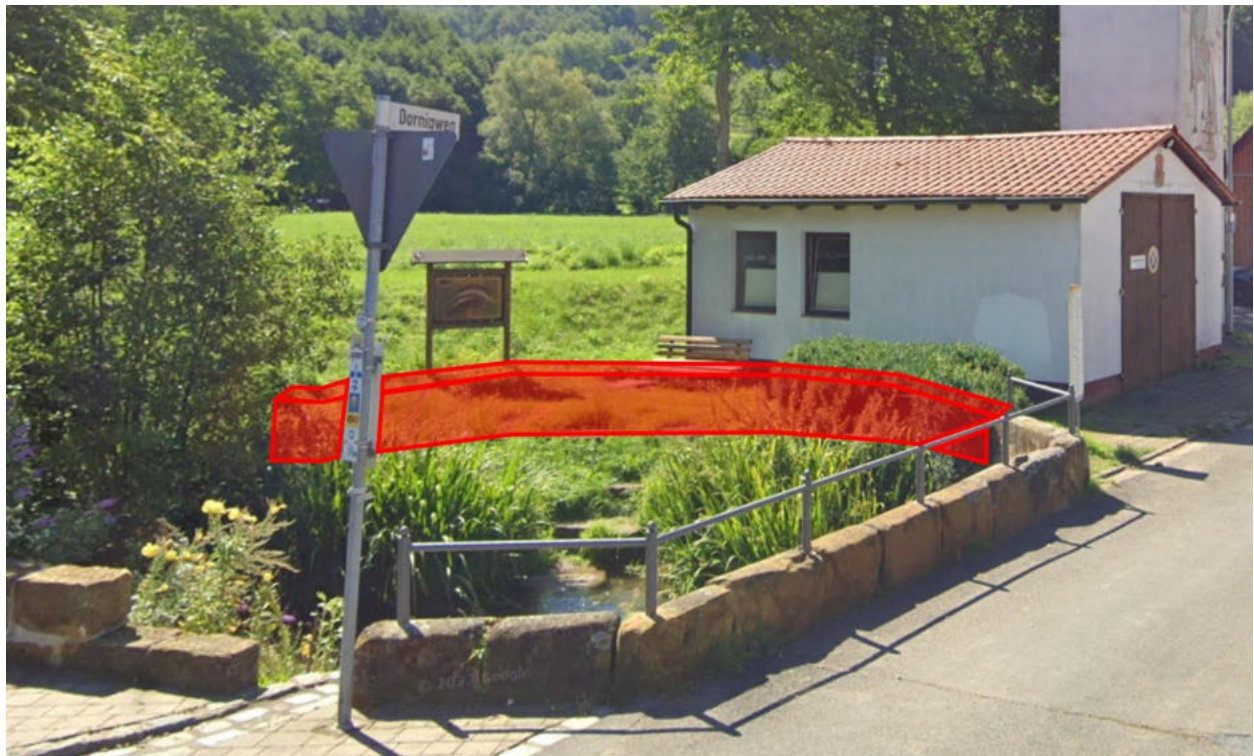


Abbildung 69: Geplante Mauer am Feuerwehrhaus Loffeld

Die Mauer erstreckt sich über eine Länge von rund 20 m – die Mauerhöhe beträgt bis zu 40 cm. Die Mauer wurde im Modell des PLAN-Modells geometrisch modelliert und bietet nachweislich ausreichenden Schutz für das Feuerwehrhaus.

Eine Alternative zur Mauer könnte die Anpassung der Gewässersohle im Bereich der Bogenbrücke sein: durch das Brückenbauwerk wird ein Aufstau verursacht, der schließlich die Ursache der Ausuferungen darstellt. Die alternative Lösung müsste zunächst hydraulisch untersucht und nachgewiesen werden. Hinsichtlich der ökologischen Belange (Eingriff in das Gewässerbett) und auch des eventuell erforderlichen Eingriffs direkt am Brückenbauwerk (statischer Zustand?) wäre die Errichtung einer Mauer am linken Ufer die sichere Variante und der Gewässeranpassung vorzuziehen.

Bachabwärts bestehen auch im PLAN-Zustand Ausuferungen entlang der Ortsstraße (siehe orange Markierung in Abbildung 70). Da es dadurch allerdings zu keinem Einstau vorhandener Bebauungen kommt, sind in diesem Bereich keine weitere Hochwasserschutzmaßnahmen vorgesehen.

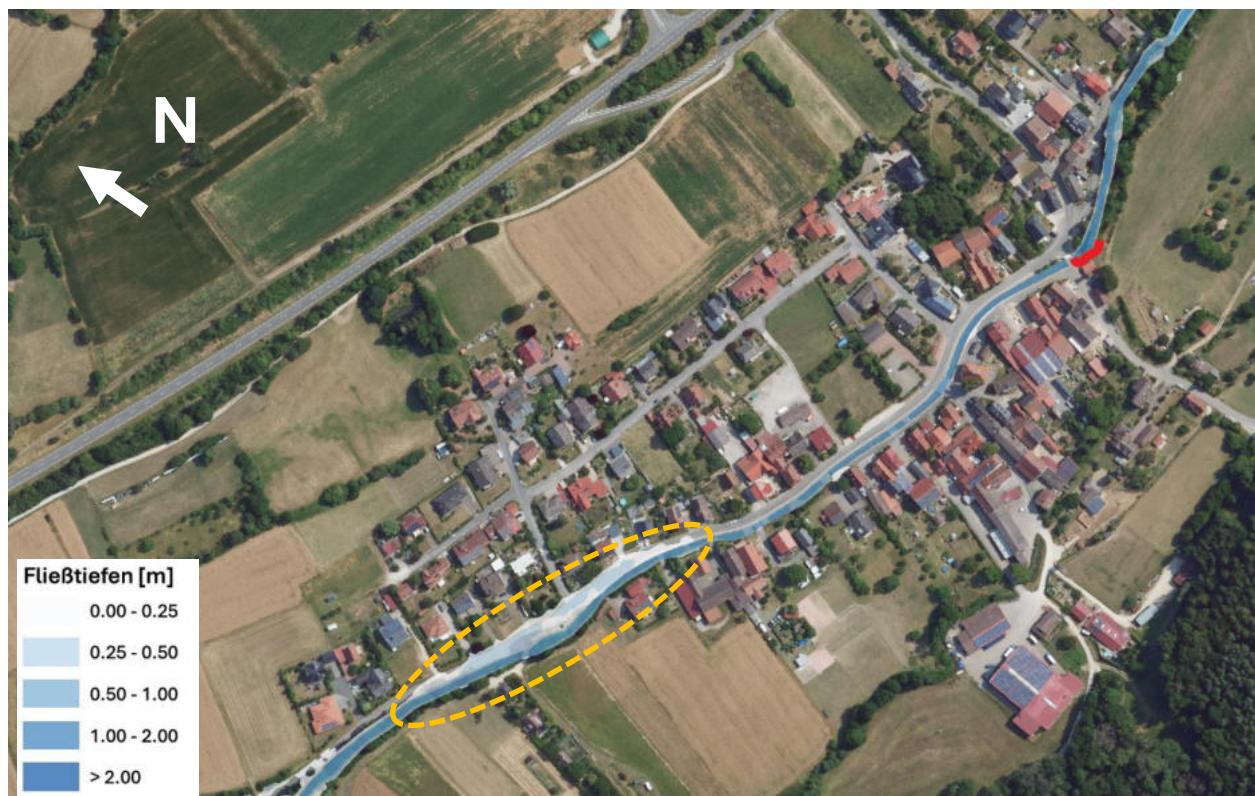


Abbildung 70: Fließtiefen im PLAN-Zustand in der Ortschaft Loffeld

3.4.3 Horsdorf

Im bestehenden Zustand treten bei HQ_{100} beidseitige Ausuferungen am Lauterbach auf, die die innerörtliche Straße und auch gewässernahe Gebäude einstauen (siehe Abbildung 57). Auch hier bewirkt die Abfluss-Drosselung durch das oberstrom geplante HRB eine deutliche Reduzierung des Überschwemmungsgebiets. Darüber hinaus sind am Ortseingang (oberstrom der Alten Mühle) und gegenüber der Fuchsenmühle Einzelobjektschutzmaßnahmen geplant:

- Hochwasserentlastung in Form einer Überfallscharte (**orange** Markierung in Abbildung 71)
- Einzelobjektschutz am Anwesen ‚Fuchsenmühle 1‘ (**pinke** Markierung in Abbildung 71)

Zusammen mit der Reduzierung des HQ_{100} -Abflusses durch das HRB kann das Ü-Gebiet innerhalb von Horsdorf zukünftig auf die in Abbildung 71 dargestellte Ausdehnung reduziert werden. Durch die vorgesehene Überfallscharte werden die Ausuferungen an der ‚Alten Mühle‘ unterbunden.

Bei den hydraulischen Berechnungen wurde dasjenige Wehrfeld des Ausleitungswehres Horsdorf als geöffnet angesetzt, an dem die Hebevorrichtung angebracht ist (siehe Abbildung 10). Es ist unklar, ob die Funktionstüchtigkeit der offensichtlich sanierungsbedürftigen Wehranlage gegeben ist. Im Zuge der nachfolgenden Entwurfsplanung sollte diesbezüglich Information vom Unterhaltspflichtigen / Betriebsbeauftragten der Wehranlage eingeholt werden.



Abbildung 71: Fließtiefen im PLAN-Zustand in der Ortschaft Horsdorf

Überfallscharte

Die Ausuferungen am Ortseingang sind zum einen auf die geringe Leistungsfähigkeit der Gewässer und zum anderen auf den Rückstau von der ‚Alten Mühle‘ zurückzuführen. Durch die Anordnung einer Entlastungsmöglichkeit am Mühlbach in Form einer Überfallscharte (**orange** Markierung Abbildung 71) soll bei Überlastung des Mühlbachs ein Teil des Hochwassers kontrolliert zurück in den Lauterbach fließen. Aus Gründen der Energieerzeugung verläuft der Mühlbach auf einem höheren Geländeneiveau als der Lauterbach (siehe Abbildung 72). Die Überfallscharte wurde dabei so dimensioniert, so dass diese ausschließlich im Hochwasserfall selbsttätig anspricht und bei erhöhten Abflüssen für die Ableitung des Hochwassers sorgt – die Höhenkote der Oberkante wurde oberhalb des Mühlbach-Stauziels angeordnet, so dass bei Niedrig-/Mittelwasserverhältnisse keine Überströmung erfolgt. Zur Vermeidung von Erosionen ist eine Sicherung der Entlastungsrinne mit verklammerten Wasserbausteinen vorgesehen.

Die Überfallscharte wurde in das Berechnungsmodell zum PLAN-Zustand durch den in Abbildung 72 markierten Abtrag geometrisch modelliert. Um einen ausreichenden Abfluss in den Lauterbach zu gewährleisten und damit Ausuferungen an der ‚Alten Mühle‘ zu vermeiden, muss die Länge der Scharte 15 m betragen.

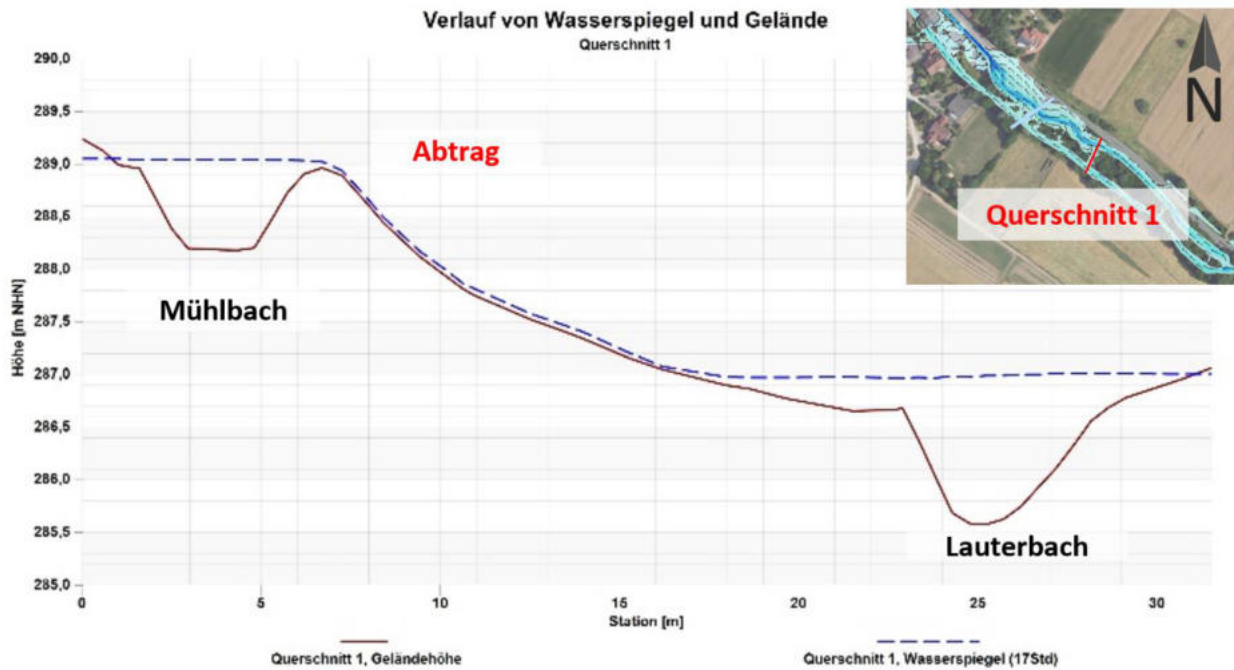


Abbildung 72: Querschnitt durch Mühlbach und Lauterbach oberstrom von Horsdorf

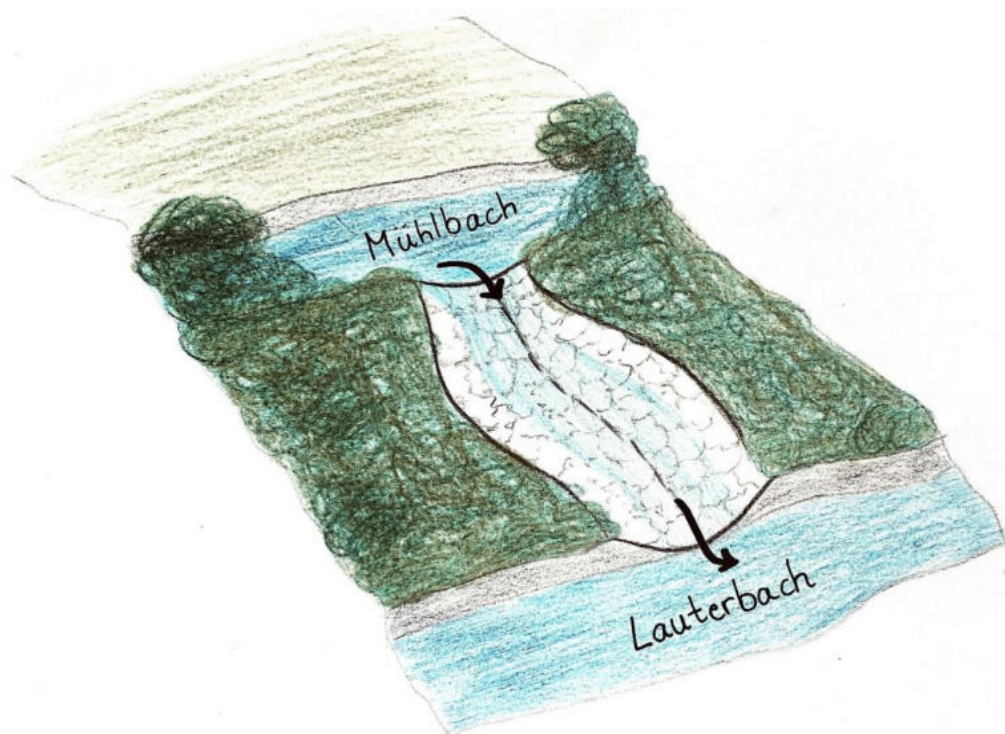


Abbildung 73: Prinzipskizze der Überfallscharte zwischen Mühlbach und Lauterbach

Einzelobjektschutz ‚Fuchsenmühle 1‘

Die hydraulischen Berechnungen zum bestehenden Zustand haben ergeben, dass das Anwesen ‚Fuchsenmühle 1‘ frühzeitig durch Hochwasser eingestaut wird. Da bauliche Maßnahmen wie Deiche oder Mauern aus Platzgründen nicht realisiert werden können, wird das Anwesen zukünftig durch Einzelobjektschutz-Maßnahmen vor HQ_{100} geschützt. Zum einen sind an 2 Zufahrtstoren mobile Verschlüsse vorgesehen (siehe Abbildung 74). Zum anderen soll auf die Außenwand zum Lauterbach hin eine Mauerwerks-Abdichtung aus wasserabweisendem Putz (siehe Abbildung 75) aufgebracht werden.

Die beiden erläuterten Maßnahmen wurden im Modell nicht explizit simuliert. Die Grobkosten wurden anhand der ermittelten Fließtiefen am Gebäude abgeschätzt.



Abbildung 74: Mobiles Verschluss am Tor des Anwesens ‚Fuchsenmühle 1‘



Abbildung 75: Mauerwerks-Abdichtung an der Außenwand des Anwesens ‚Fuchsenmühle 1‘

3.4.4 Bad Staffelstein

Aus den Ergebnissen zu den hydraulischen Berechnungen ist ersichtlich, dass ein Teil des Hochwasserabflusses entlang der Horsdorfer Straße fließt und für Überschwemmungen nördlich des Mühlbachs sorgt (siehe Abbildung 53). Die Ausuferungen treten maßgeblich an den folgenden zwei Stellen auf:

- Ausuferung auf St2204 im Bereich der Autobahn-Brücke
→ **violette** Markierung in Abbildung 53
- Ausuferungen des Mühlbachs in den historischen Graben oberstrom der Hopfenmühle
→ **orange** Markierung in Abbildung 59

Um die Ausuferungen entlang der Horsdorfer Straße zukünftig zu vermeiden, sind als HWS-Maßnahmen eine **Straßenerhöhung** an der St2204 und ein **Absperrbauwerk** oberstrom des Mühlbach-Durchlasses ‚Äußerer Frankenring‘ vorgesehen, deren Lage in Abbildung 76 eingetragen ist.

Mit der **Ertüchtigung** des bestehenden Sommerdeichs wird eine deutliche Verkleinerung des Überschwemmungsgebiets erreicht und die Überschwemmungen im Stadtzentrum unterbunden (siehe Abbildung 76). Die Maßnahmen werden in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.



Abbildung 76: Fließtiefen im PLAN-Zustand am Stadtrand von Bad Staffelstein

Straßenerhöhung an der St2204

Die erhöhte Straßengradiente westlich der Autobahnbrücke leitet das aufgestaute Wasser an der Staatsstraße zurück in Richtung Lauterbach bzw. in den historischen Graben. Aus hydraulischer Sicht ist eine Anhebung der Straße von bis zu 30 cm erforderlich – bei einer Längsneigung von 1% würde dies einer Anpassung der Straßengradiente über eine Länge von rund 50 m bedeuten. Die Straßenerhöhung ist in der nachfolgenden Abbildung 77 skizziert.

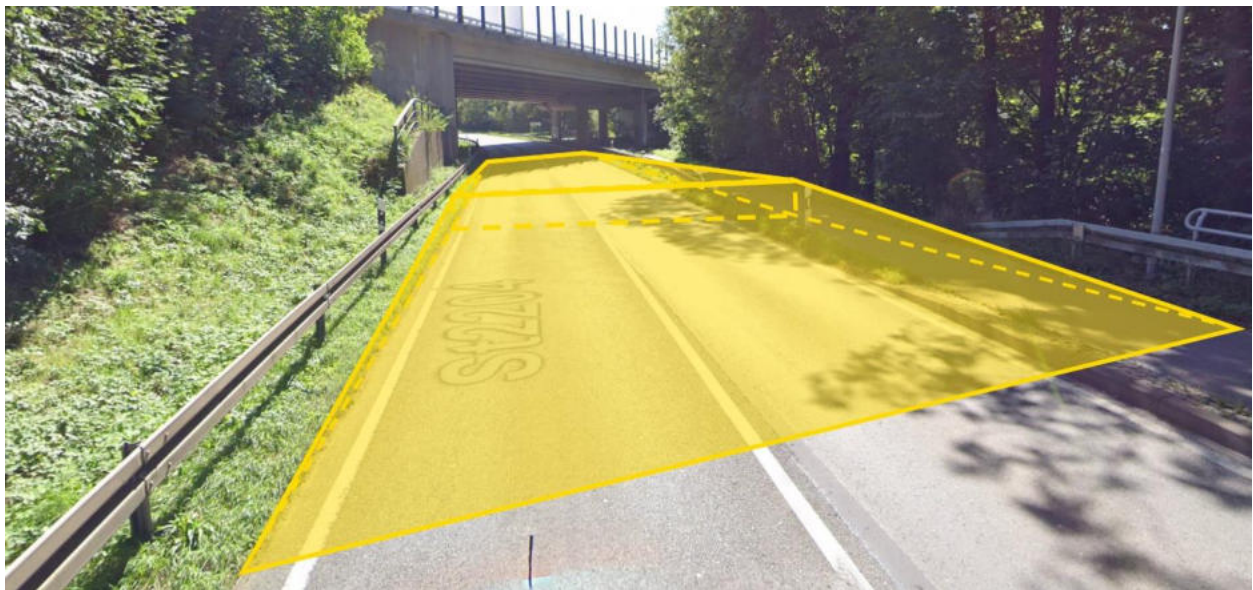


Abbildung 77: Straßenerhöhung an der St 2204 (Hintergrundbild: Google)

Absperrbauwerk vor Mühlbach-Durchlass

Durch hydraulische Berechnungen konnte nachgewiesen werden, dass durch den Verschluss der Mühlbach-Durchlasses am ‚Äußeren Frankenring‘ die Überschwemmungen an der Hopfenmühle und folglich auch die Ausuferungen entlang der Horsdorfer Straße vermieden werden können. Bei den Berechnungen wurde das bestehende Ausleitungswehr als verschlossen angesetzt (wie im derzeitigen Zustand), siehe Abbildung 64. Durch ein neu zu errichtendes Absperrbauwerk soll es zukünftig möglich sein, den Durchfluss in der Verrohrung zu reduzieren bzw. vollständig zu unterbinden.

Das Bauwerk, bestehend aus einer quer zum Mühlbach liegenden Mauer mit integriertem Spindelschieber, könnte unmittelbar vor dem bestehenden Durchlass errichtet werden, wie es skizzenhaft in Abbildung 78 dargestellt ist. Die seitlichen Flügelmauern und die angrenzenden Spundwände müssen dabei höhengleich mit der Fahrbahn-Oberkante ausgebildet werden, um das Einströmen in die Verrohrung bei Hochwasser zu vermeiden. Der Betrieb des Bauwerks (automatische Steuerung) soll – analog zu den bestehenden Streichwehren am Mühlbach – auch durch den Bauhof der Stadt Bad Staffelstein erfolgen, um im Hochwasserfall rechtzeitig reagieren zu können. Vorteile des neuen Absperrbauwerks bestehen darin, dass die Sanierung des bestehenden Ausleitungswehrs entfallen könnte (hydraulisch nicht erforderlich) und die Steuerung im Hochwasserfall unabhängig vom Mühlenbetreiber wäre.

Eine alternative Möglichkeit zum Absperrbauwerk stellt die Errichtung einer Mauer zwischen historischem Mühlbach und der Horsdorfer Straße dar. Allerdings müsste dieses Linienbauwerk bis zu 2 m hoch und rund 130 m lang ausgebildet werden, also mit optischen Nachteilen verbunden wäre.

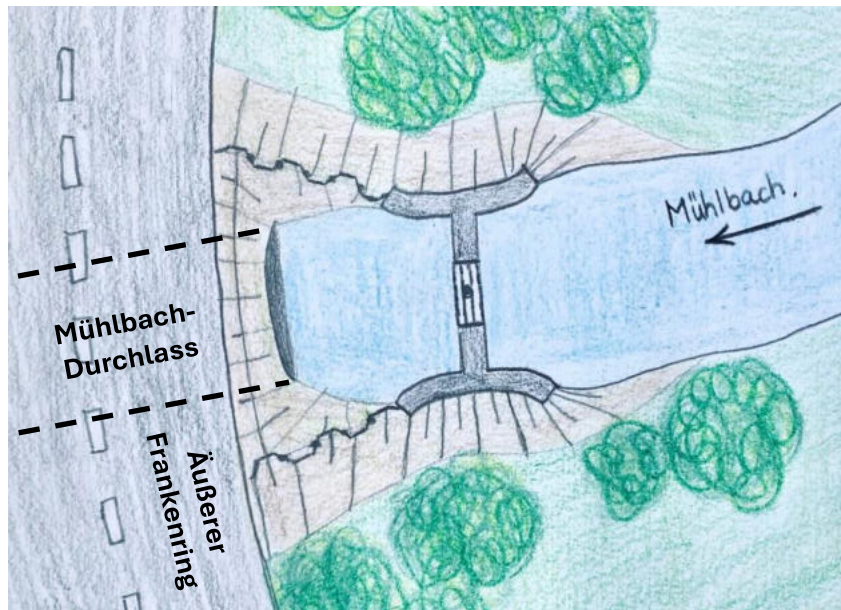


Abbildung 78: Skizze des Absperrbauwerks vor Mühlbach-Durchlass

Ertüchtigung des Sommerdeichs

Maßgebliche Ursache für die Überschwemmung des Stadtzentrums von Bad Staffelstein ist Ausuferung am linksseitigen Vorlandbereich des Lauterbachs (siehe hellgrüne Markierung in Abbildung 59), wobei die Umströmung des bestehenden Sommerdeichs ab Abflüssen $> 15,5 \text{ m}^3/\text{s}$ eintritt (siehe Anlage A1.3). Vor diesem Hintergrund ist als Hochwasserschutzmaßnahme die Ertüchtigung des Sommerdeichs vorgesehen, wie es skizzenhaft in Abbildung 79 angedeutet ist.

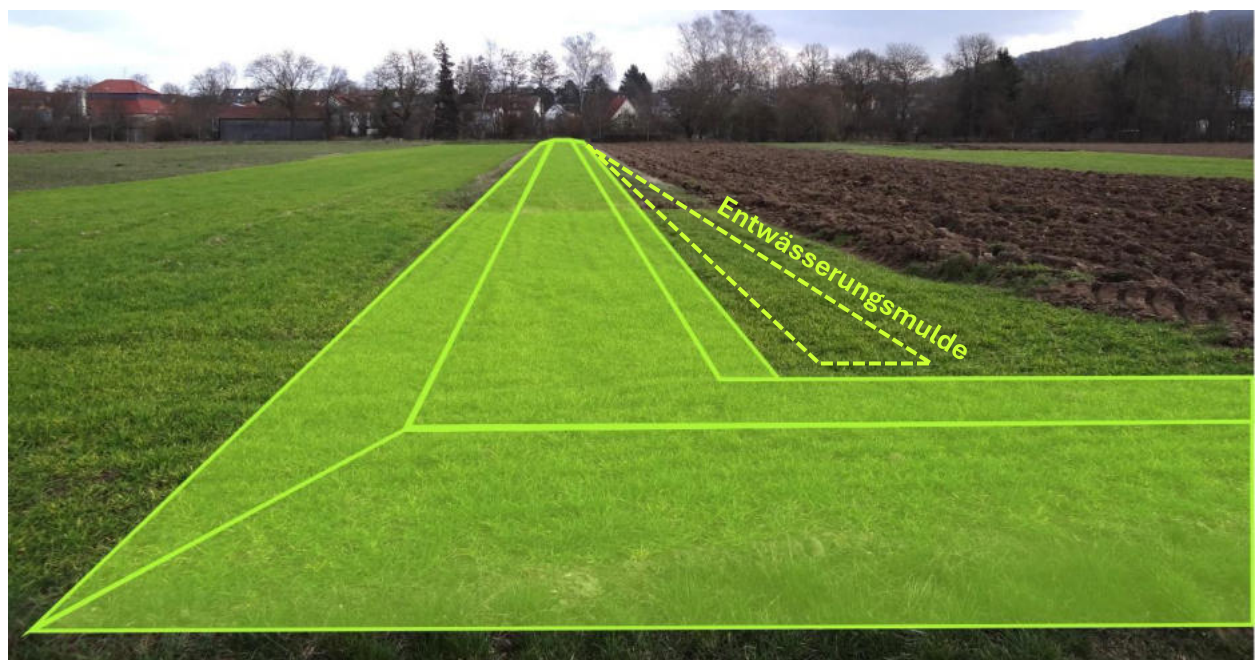


Abbildung 79: Prinzipskizze zur Ertüchtigung des Sommerdeichs

Der Sommerdeich muss dabei auf eine Länge von rund 200 m verlängert werden. Im Hinblick auf die Berechnungsergebnisse ist das Erdbauwerk mit einer Höhe von bis zu 70 cm zu errichten, wodurch sich eine Breite von ca. 7,2 m ergibt (siehe Abbildung 80). Damit das im Hochwasserfall aufgestaute Wasser frei abfließen kann, ist eine Entwässerungsmulde am wasserseitigen Deichfuß vorgesehen.

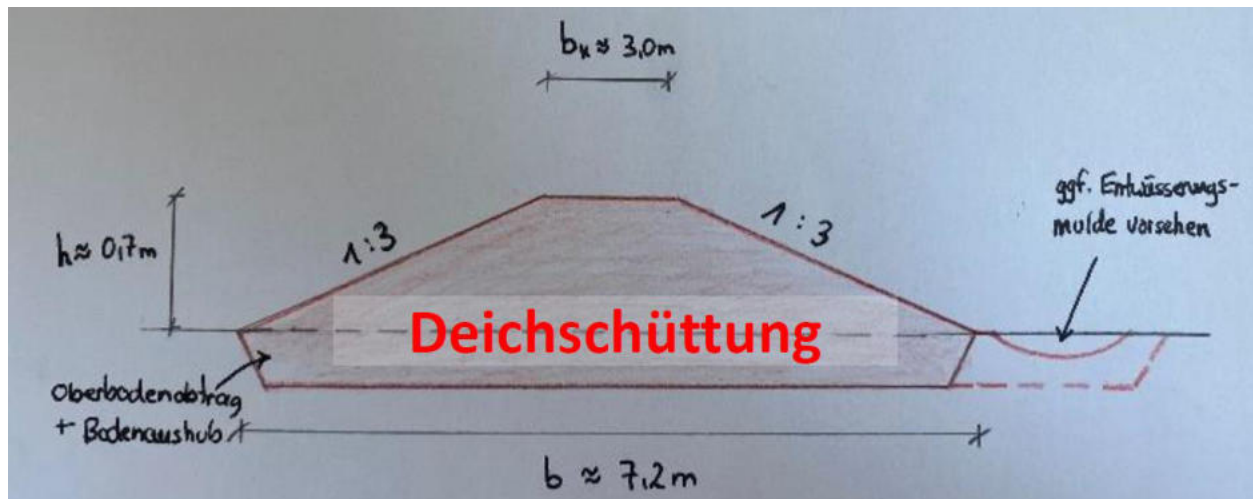


Abbildung 80: Querschnitt des zu sanierenden Sommerdeichs

Mauererhöhungen im Stadtgebiet

Trotz Maßnahmen oberstrom des Stadtgebiets zur Abflussreduzierung (HRB) und Unterbindung der Ausuferungen (Sommerdeich) sind innerhalb des Stadtzentrums an insgesamt drei Stellen Mauererhöhungen erforderlich, die in der folgenden Abbildung 81 markiert sind.



Abbildung 81: Fließtiefen im PLAN-Zustand im Stadtgebiet Bad Staffelstein

Am Anwesen ,Am oberen Lauterdamm 2‘ ist die Erhöhung der bestehenden Ufermauer entlang des Mühlbachs um 20 cm auf einer Länge von 10 m erforderlich (siehe Abbildung 82).

Zur Unterbindung von Ausuferungen im Bereich des Edeka-Parkplatzes ist ein rund 15 m langer Mauerneubau unterstrom des bestehenden Fußgängerstegs vorgesehen (siehe Abbildung 83). Die Mauerhöhe beträgt bis zu 20 cm.

Außerdem ist im Bereich des Anwesens ,Rotkreuzweg 5‘ (zwischen Rotkreuzweg und Goethestraße) der Freibord von 20 cm um wenige Zentimeter nicht eingehalten, so dass hier die Ufermauer über eine Länge von rund 4 m um ca. 5 cm erhöht werden muss (siehe Abbildung 84).



Abbildung 82: Mauererhöhung am Mühlbach am Anwesen ,Am oberen Lauterdamm 2‘



Abbildung 83: HWS-Mauer am Gasthof ,Grüner Baum‘ / Edeka-Parkplatz



Abbildung 84: Mauererhöhung am Anwesen ,Rotkreuzweg 5‘ (Bereich Goethestraße)

3.5 Grobkostenschätzung

Die Grobkosten für die ausgearbeiteten Maßnahmen wurden anhand Erfahrungswerte und aktueller Ausführungsprojekte (Hochwasserrückhaltebecken und innerörtliche Hochwasserschutzprojekte) ähnlicher Größe ermittelt. Bei den ermittelten Kosten der innerörtlichen Hochwasserschutzmaßnahmen handelt es sich um die reinen Herstellkosten, d.h. Planungs-, Grunderwerbs- und

Kosten für die ökologischen Maßnahmen sind in der Summe nicht enthalten. In den Kosten für den außerörtlichen Hochwasserschutz (Hochwasserrückhaltebecken) ist ein erster grober Ansatz für die Grunderwerbskosten (analog zur Vorplanung 2023 [U1]) enthalten.

Zu derzeitigen Projektstand bestehen zudem noch viele unbekannte und offene Punkte, die einen Einfluss auf die Herstellkosten haben:

- fehlende Informationen über den Baugrund für den innerörtlichen Hochwasserschutz
→ wichtig für die Gründungsverhältnisse von Mauern, Absperrbauwerk, Sommerdeich etc.
- fehlende Informationen über die Statik bestehender Mauern
→ wichtig für Tragfähigkeit bei Mauererhöhung
- unbekannter Ausführungszeitpunkt
→ Entwicklung der Baupreise
- Rahmenbedingungen wie Baustraßen oder Materialverfügbarkeit

Die Grobkostenermittlung erfolgt auf der Grundlage der Kostenbasis 2022 (Vorplanung [U1]). Zur Umrechnung der Gesamtkosten auf die Kostenbasis 2025 wurde ein Aufschlag von 30% hinzugezählt (in Anlehnung an die statistische Baupreisentwicklung bis Nov. 2024 gemäß dem statistischen Bundesamt [Q4]).

Die ermittelten Grobkosten sind in der nachfolgenden Tabelle 14 aufgelistet.

	Bruttosumme (Kostenbasis 2022)	Bruttosumme (Kostenbasis 2025*)
Außerörtlicher HWS	7.856.000 €	10.213.000 €
Innerörtlicher HWS	644.000 €	837.000 €
Gesamter HWS	8.500.000 €	11.050.000 €

* Faktor 1,3 für Baupreissteigerung zwischen 2022 und 2025

Tabelle 14: Grobkostenschätzung

4 ZUSAMMENFASSUNG

Im Zuge der Vorplanung 2023 wurden anhand einer Variantenuntersuchung für den Hochwasserschutz Bad Staffelstein verschiedene Becken-Kombinationen gegenübergestellt und im Hinblick auf die wasserwirtschaftlichen und monetären Verhältnisse bewertet. Unter Berücksichtigung des Nutzen-Kosten-Vergleichs sind vor allem Variante 6 (Becken 2), Variante 7 (Becken 2 + 3), Variante 8 (Becken 2 + 4 Hauptschluss) und Variante 10 (Becken 3 + 4) zu bevorzugen. Variante 6 in Form eines Einzelbeckens am Standort 2 hat sich dabei als wirtschaftlichste Lösung für die Erzielung eines Hochwasserschutzes der Ortschaften Bad Staffelstein, Horsdorf und Loffeld herausgestellt, wobei ein Stauvolumen von 550.000 m³ und ein Drosselabfluss von 14 m³/s vorgesehen war.

Durch das bayerische Landesamt für Umwelt wurden die Scheitelabflüsse des Lauterbachs für verschiedene Jährlichkeiten neu ermittelt. Anhand dieser Neuermittlung wurde das 2018 erstellte Niederschlags-Abfluss-Modell durch das Ingenieurbüro BGS Wasser aktualisiert und damit die Ganglinien (Hochwasserrückhaltefüllen) neu berechnet. Die Reduzierung des Scheitelabflusses führte auch zu einer signifikanten Verringerung der Hochwasserrückhaltefülle.

Mit den geänderten hydrologischen Grundlagen könnte bei gleichbleibenden Stauvolumen (550.000 m³) der Drosselabfluss aus dem Becken deutlich (von 14 m³/s auf 7,3 m³/s) reduziert werden. Im Hinblick auf die generell hohen Herstellungskosten für das Dammbauwerk würde diese Lösung jedoch ein schlechtes Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen. Vor diesem Hintergrund könnte der Hochwasserschutz für Bad Staffelstein, Horsdorf und Loffeld neben der Errichtung des HRBs auch aus der Realisierung von innerörtlichen Zusatzmaßnahmen bestehen, also eine Kombination aus außer- und innerörtlichen Maßnahmen sein.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist somit die Optimierung des Einzelbeckens 2, indem der Umfang der Maßnahmen des außer- und innerörtlichen Hochwasserschutzes untereinander so kombiniert wird, um ein zufriedenstellendes Kosten-Nutzen-Verhältnis zu erhalten. Die Wahl des Drosselabflusses (Q_{Dr}) des HRBs stellt dabei den Kern der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dar, der unmittelbaren Einfluss aus dem Rückhaltevolumen ($V_{Rückhalt}$) und den Umfang der innerörtlichen Maßnahmen ($U_{innerörtl.HWS}$) hat.

Als Ergebnis der Untersuchung wurde von der PG die Vorzugslösung gewählt, die folgende Maßnahmen für den Hochwasserschutz Bad Staffelstein beinhaltet:

- Hochwasserrückhaltebecken zwischen Stublang und Loffeld (Standort 2):
 $V_{Rückhalt} = 350.000 \text{ m}^3$, $Q_{Dr} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$
→ Schutz der Ortschaften Bad Staffelstein, Horsdorf und Loffeld
- Mauerneubau und Mauererhöhungen in Loffeld und Bad Staffelstein
- Überfallscharte zwischen Horsdorf und Loffeld
- Einzelobjektschutzmaßnahmen
- Sanierung des bestehenden Sommerdeichs an der Hopfenmühle
- Absperrbauwerk vor Mühlbach-Durchlass
- Straßenerhöhung an der St2204