

Stadt Bad Berka



HOCHWASSERSCHUTZ HUNGERBACH

LEISTUNGSTEIL I

- Wasserwirtschaftliche Konzeption -
- *Hydrologisches und hydraulisches Gutachten* -

Ergebnisbericht



BCE

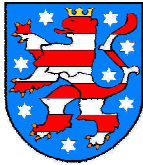
BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

ERFURT

Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt GmbH
Brühler Herrenberg 2a · 99092 Erfurt
Telefon 0361 2249-0 · Telefax 0361 2249-11

Dezember 2017

SeW/LI/TZ/CF/CK/2015099.20



Stadt Bad Berka



Auftraggeber:

Stadtverwaltung Bad Berka
Am Markt 10
99438 Bad Berka

Projekt:

Hochwasserschutz Hungerbach
Leistungsteil I – Wasserwirtschaftliche Konzeption

Auftragnehmer:

BjörnSEN Beratende Ingenieure Erfurt GmbH
Brühler Herrenberg 2a
99092 Erfurt



Bearbeiter:

Dipl.-Ing. S. Weichelt
M. Sc. T. Zareba
Dipl.-Ing. (FH) H. Licht
M. Sc. S. Petersohn

Dipl.-Ing. J. Kretzschmar

(Unterschrift Geschäftsführer)

Datum:

07.12.2017

Inhaltsverzeichnis

Leistungsteil I – Wasserwirtschaftliche Konzeption

Ergebnisbericht Leistungsteil I		Seite
1	Allgemeines	1
2	Zielstellung	2
3	Grundlagenermittlung	3
3.1	Datensichtung/Datenaufbereitung	3
3.2	Abgrenzung des Bearbeitungsgebietes	4
3.3	Ortseinsicht	5
3.4	Abstimmung mit Fachbehörden	9
3.5	Terrestrische Gewässervermessung	10
3.6	Digitales Geländemodell (DGM 2 und DGM 5)	12
3.7	Beschreibung des Einzugsgebietes	13
3.7.1	Gebietsmorphologie	13
3.7.2	Gewässerausbau, relevante Einflussparameter (Land- und Forstwirtschaft, Bergbau, Wehranlagen)	16
3.7.3	Rückhaltebecken und Speicher	18
3.7.4	Siedlungsentwässerung	18
3.8	Historische und aktuelle Extrem-Hochwasserereignisse	20
3.8.1	Recherche vorangegangener Ereignisse	20
3.8.2	Dokumentation und Auswertung von Hochwasserschäden und abgelaufenen Prozessen	21
4	Hydrologische Grundlagen	23
4.1	Niederschlags-Abfluss-Modellierung	23
4.2	Herausstellung und Abgleich der hydrologischen Daten für die weiterführende Projektbearbeitung	23
5	Hydraulische Berechnungen	25
5.1	Grundlagen	25
5.2	Aufbau des hydraulischen Modells	29
5.3	Sensitivitätsanalyse	34
5.4	Modellkalibrierung	36
5.5	Durchführung der hydraulischen Berechnungen Ist-Zustand	40
5.6	Auswertung der hydraulischen Berechnungen Ist-Zustand	41
5.7	Defizit- und Gefährdungsanalyse	45
5.7.1	Defizitanalyse – Auswertung der Überschwemmungsgebietsermittlung	45
5.7.2	Ausweisung des vorhandenen Schutzgrades (hydraulische Leistungsfähigkeit)	47
5.7.2.1	Ortslagen	47

5.7.2.2	Außerhalb der Ortslagen	48
5.7.2.3	Bauwerke (Brücken, Durchlässe)	48
5.7.2.4	Hochwasserschutzanlagen (HWSA)	49
5.7.3	Gefährdungsanalyse infolge Verklausung	49
5.8	Beurteilung und ggf. Berücksichtigung der Interaktion mit Gewässern I. Ordnung bzw. anderen relevanten Gewässern	50
5.9	Geschiebe- und Schwemmholtztransport	50
6	Ableitung von Schutzziele	51
7	Maßnahmenplanung/Variantenbetrachtung	53
7.1	Ableitung von potentiellen Maßnahmen	53
7.1.1	Maßnahmen des natürlichen Wasserrückhalts, Retentionsräume, Berücksichtigung geänderter Bewirtschaftungsformen in der Aue	53
7.1.2	Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes	58
7.1.2.1	Sanierung/Gewässerunterhaltung in Gutendorf	59
7.1.2.2	Ausbau vorhandener Gräben und Errichtung neuer Gräben in Gutendorf	61
7.1.2.3	Einlaufbauwerke/Sand- und Geröllfang	62
7.1.2.4	Beispiele für Maßnahmen zum Rückhalt und Umlenkung von Niederschlagswasser aus Sturzfluten/Starkregen („Hangwasser“)	64
7.1.2.5	Entlastungsbauwerke	66
7.1.2.6	HWS-Mauer / HWS-Wand	66
7.1.2.7	Objektschutz	67
7.1.3	Querbauwerke	68
7.1.4	Abstimmung mit Ober- und Unterliegern (Verschlechterungsverbot)	69
7.1.5	Vorschläge für Hochwasservorsorgemaßnahmen	70
7.1.6	Maßnahmen der Gefahrenabwehr/des Katastrophenschutzes	76
7.2	Extremfall: Starkregen und Sturzfluten – Risiko und Prävention	78
7.3	Ableitung Vorzugslösung zur Herstellung des Hochwasserschutzes	80
7.3.1	Maßnahmenkombination – Variantenbildung	80
7.3.2	Wirtschaftlichkeit – Kostenschätzung	86
7.3.3	Absenkung Landesstraße L2155 in Gutendorf	87
7.3.4	Darstellung der Vorzugsvariante	89
7.4	Restriktionen	93
7.4.1	Schutzgebiete und Naturdenkmale	93
7.4.2	Infrastrukturprojekte	94
7.4.3	Leistungsbestand, Infrastrukturanlagen, Flächenbedarf	94
8	Wirkungsnachweis der Maßnahmen (Plan-Zustand)	95
8.1	Modellumbau Plan-Zustand	95
8.2	Durchführung der hydraulischen Berechnungen Plan-Zustand	97
8.3	Auswertung Plan-Zustand (Ist/Plan-Vergleich)	98
8.4	Betrachtung des verbleibenden Risikos und Handlungsempfehlungen	101
8.5	Priorisierung der Maßnahmen	102

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Anzahl Querprofile und Bauwerke gemäß Vermessung	11
Tabelle 2: Bodentypenverteilung im Einzugsgebiet	14
Tabelle 3: Nutzungsverteilung im Einzugsgebiet	15
Tabelle 4: Hydrologischer Längsschnitt (Bezug Bad Berka) – Ist-Zustand	24
Tabelle 5: Hydrologischer Längsschnitt (Bezug Gutendorf) – Ist-Zustand	24
Tabelle 6: Maßgebende Hochwasserscheitelwerte $HQ_{(T)}$ für die Ilm	25
Tabelle 7: Angesetzte Rauheitsparameter im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse	34
Tabelle 8: Vorhandener Schutzgrad in den Ortslagen - Bauwerke	48
Tabelle 9: Schutzziele gemäß Richtlinie im Freistaat Sachsen [12]	51
Tabelle 10: Variantenbildung Hochwasserschutzmaßnahmen Gutendorf	82
Tabelle 11: Variantenbildung Hochwasserschutzmaßnahmen Bad Berka	85
Tabelle 12: Kostenübersicht – HW-Schutzmaßnahmen Gutendorf	86
Tabelle 13: Kostenübersicht – HW-Schutzmaßnahmen Bad Berka	86
Tabelle 14: Übersicht Kenngrößen HRB Vorzugslösung Variante 3	90
Tabelle 15: Hydrologischer Längsschnitt (Bezug Bad Berka) - Plan-Zustand	98
Tabelle 16: Hydrologischer Längsschnitt (Bezug Gutendorf) - Plan-Zustand	98

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Einzugsgebiet des Hungerbaches (rot) und Modellgrenze für die hydraulische Berechnung (grün)	4
Abbildung 2: Oberhalb OL Gutendorf (li: L 2155 - Blick in Richtung OL; re: L2155 - Blick Ortsausgang in Richtung Meckfeld/Klettbach)	5
Abbildung 3: OL Gutendorf – obere Ortseinfahrt L2155; Blick zum Kulturhaus	5
Abbildung 4: Fassung der Gräben an der L2155 am oberen Ortsrand	6
Abbildung 5: OL Gutendorf (li: Blick Unterdorf Ortsausfahrt; re: Blick aus „Tiefengrubener Straße“ in Richtung L2155)	6
Abbildung 6: Gutendorf (Unterdorf) – Beginn offener Graben (li: Blick Grabenverlauf in Richtung KA; re: Ansicht Entwässerungsbauwerk „Tiefengrubener Straße“)	6

Abbildung 7:	Wiesenflächen zwischen Gutendorf und Bad Berka – kein Grabenverlauf sichtbar	7
Abbildung 8:	Offener Gewässergraben – Blick stromab (li: oberhalb Forsthaus; re: unterhalb Forsthaus)	7
Abbildung 9:	li: Bachlauf oberhalb Bad Berka – Blick stromab; re: Zulauf „Erfurter Bach – Blick stromauf“	8
Abbildung 10:	li: Hungerbach Bad Berka oberer Ortsrand – Blick stromab; re: Hungerbach in Bad Berka/Gewerbegebiet – Blick stromab“	8
Abbildung 11:	Bad Berka (li: schadhafter Gewässerabschnitt unterh. Straßenbrücke Fl.-km 0+990; re: Gewässerabschnitt Bad Berka Fl.-km 0+800 – Blick stromab	9
Abbildung 12:	Bad Berka – Zeughausplatz (li: Hungerbach am Bahnhof Haltepunkt – Blick stromauf ; re: Einlauf Verdolung Hungerbach	9
Abbildung 13:	DGM 5 mit Darstellung Einzugsgebiet Hungerbach	12
Abbildung 14:	DGM 2 im Bereich der Gewässer mit Darstellung Einzugsgebiet Hungerbach	13
Abbildung 15:	Böden im Einzugsgebiet	15
Abbildung 16:	Flächennutzung im Einzugsgebiet	16
Abbildung 17:	Grabenausbau/-befestigung in Bad Berka	17
Abbildung 18:	Bad Berka: Sohlen- und Böschungsbefestigung mit Wasserbaupflaster im Bauwerksbereich	17
Abbildung 19:	li: Bad Berka – Gewässerausbau mit Böschungsbefestigung; re: oberhalb Bad Berka – Grabenbefestigung mit Betonplatten und grober Steinschüttung	17
Abbildung 20:	Ausschnitt Kanalnetzplan Gutendorf/Oberdorf [1]	19
Abbildung 21:	Kanalisierte Verlauf des Hungerbaches in Bad Berka (Quelle IB PROWA [7])	20
Abbildung 22:	Hochwasser am 19. September 2014 – Überflutungen in Gutendorf	22
Abbildung 23:	Querprofil (Bauwerk) gemäß terrestrischer Vermessung	28
Abbildung 24:	Digitales Geländemodell (DGM 2x2)	29
Abbildung 25:	Flussschlauchmodell Hungerbach (li: Lageplan terrestr. Vermessung, re: 2D/3D-Modell)	30
Abbildung 26:	Vorlandmodellierung mit Laser_as-2D	31
Abbildung 27:	Aufbau einer Steuerungsdatei für LASER_AS-2D	32
Abbildung 28:	Bad Berka - Ausschnitt aus dem 2D-Modell in 3D-Darstellung	33
Abbildung 29:	Gutendorf - Ausschnitt aus dem 2D-Modell in 3D-Darstellung	33

Abbildung 30:	Normalverteilung der Wasserspiegellagendifferenz im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse in Bad Berka	35
Abbildung 31:	Veränderung der Überschwemmungsflächen durch Variation des Rauheitsparameters im Flussschlauch	36
Abbildung 32:	Ermittelte natürliche Fließwege im Einzugsgebiet von Gutendorf („Flow Accumulation“)	37
Abbildung 33:	Verteilung effektiver Niederschlag Neff für ein TEZG für das Regenereignis vom 19.09.2014	38
Abbildung 34:	Ergebnis Sturzflutmodellierung zum Regenereignis vom 19.09.2014	39
Abbildung 35:	Bsp. Modellkalibrierung in Bad Berka (Brauhausstraße) im Vergleich zu abgelaufenen Hochwasserereignissen aus 2013 bzw. 2014	40
Abbildung 36:	Berechnungsergebnisse HQ ₁₀₀ im Bereich von Gutendorf	43
Abbildung 37:	Berechnungsergebnisse HQ ₁₀₀ oberhalb von Bad Berka im Mündungsbereich vom Zufluss aus dem Erfurter-/Kerntal	43
Abbildung 38:	Berechnungsergebnisse HQ ₁₀₀ im Stadtkern von Bad Berka	44
Abbildung 39:	Berechnungsergebnisse HQ ₁₀₀ im Mündungsbereich vom Hungerbach in die Ilm in Bad Berka	44
Abbildung 40:	Lage der Entwässerungsgräben in Gutendorf	46
Abbildung 41:	Ausgebagerte Geröllmassen - obere Ortseinfahrt Gutendorf	50
Abbildung 42:	Nach dem HW 19.09.14 in Gutendorf – li: verfüllter Graben mit Geröll re: Geröllablagerungen am Friedhof (Quelle Fotos: HWSK Gutendorf [9])	51
Abbildung 43:	Hochwasserabflussganglinien in Bad Berka für HQ ₁₀₀ , HQ ₅ und HQ ₂ und erforderliche Bemessungsgrößen für Retentionsmaßnahmen	54
Abbildung 44:	Potentielle Retentions-/Rückhaltestandorte	55
Abbildung 45:	Standort 1 – Rückhaltung an Zusammenfluss Hungerbach/Erfurter Bach	55
Abbildung 46:	Standort 2 – Rückhaltung am Erfurter Bach	56
Abbildung 47:	Standorte 3 bis 5 - Speicherkette Tiefborntal	56
Abbildung 48:	Potentieller Retentionsbereich unterhalb von Gutendorf	57
Abbildung 49:	Talsolesenquerung mit Rohrdrossel	57
Abbildung 50:	Standort Speicher 6 und 7 entlang L1053	58
Abbildung 51:	Sanierung-/Unterhaltungsbedarf an der vorhandenen Grabenstrukturen (Quelle: Hochwasserschutzkonzept Gutendorf 2013/2014 [9])	59
Abbildung 52:	Erforderliche Grabenunterhaltung li: Graben 1; re: Graben 5 (Quelle: Hochwasserschutzkonzept Gutendorf 2013/2014 [9])	60

Abbildung 53:	Erforderliche neue Gräben; Ausbau vorhandener Gräben (Quelle: Hochwasserschutzkonzept Gutendorf 2013/2014 [9])	61
Abbildung 54:	Beispiele für ungeeignete Einlaufbauwerke	63
Abbildung 55:	Bsp. Einlaufbauwerk in naturnahem Ausbau nach dem Entwurf der ATV-A 241	63
Abbildung 56:	Beispiel für robuste Einlaufbauwerke mit Handrechen ohne Geröll- und Sandfang	64
Abbildung 57:	li: Mulden – Rigolen System (Quelle: IB Koschmieder); re: Retentions- und Sickerbecken (Quelle: IB Koschmieder)	65
Abbildung 58:	li: Kleine HRB (grünes Becken) am Bornshainer Bach (Quelle: BCE)	65
Abbildung 59:	li: Einfriedung vom Grundstück (Quelle: Land Oberösterreich); re: Großkochberg, Haselbach (Quelle: BCE Erfurt)	66
Abbildung 60:	Entlastungskanal durch die L2155 in Verbindung mit der Absenkung der Landesstraße im Unterdorf	66
Abbildung 61:	Beispiele - li: Ufermauer als HWS-Mauer in Mihla, Thüringen (Quelle: BCE Erfurt); re: HW-Schutzwand Bad Neustadt a.d. Saale, Bayern (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Bad Kissingen)	67
Abbildung 62:	Bsp. mobile Objektschutzmaßnahmen zur Sicherung von Öffnungen, Türen, Fenstern und Zuwegungen	68
Abbildung 63:	Beispiel von bereits erbrachten Objektschutzmaßnahmen in Gutendorf (Grundstücke in der Steingasse)	68
Abbildung 64:	Hochwasserrisikomanagementzyklus (nach LAWA [13])	70
Abbildung 65:	Beispiel Hochwassermeldepegel	74
Abbildung 66:	Lattenpegel mit dem OTT ecoLog 500 Datensammler mit integriertem GSM/GPRS-Modem zur Datenfernübertragung der Fa. OTT Hydromet GmbH (Prognosepegel)	75
Abbildung 67:	Variante 1 – durchschnittl. Querschnitt Neubau Entwässerungsgräben	82
Abbildung 68:	Zielfunktion für den erforderlichen Retentionsraum zur Sicherstellung des schadlosen Hochwasserabflusses in Bad Berka	84
Abbildung 69:	Schnittführung für die Auswertung der Wasserspiegellage von Straße L2155 über Durchlass Tiefengrubener Straße in Richtung Gewässergraben (Hungerbach)	88
Abbildung 70:	Schnittführung für die Auswertung der Wasserspiegellage nur entlang Straße L2155	89
Abbildung 71:	Anordnung Entlastungsgraben (Durchschnittsgröße) im Straßenraum L2155 in Gutendorf	90

Abbildung 72:	Kasten-Durchlass mit Gitterrostabdeckung „Tiefengrubener Straße“	91
Abbildung 73:	Beispiel Einlaufbauwerk mit Handrechen für kleine Gräben	91
Abbildung 74:	Beispiel Sedimentfang vor Rohrdurchlass für kleine Gräben	92
Abbildung 75:	li: Zulauf Sedimentfang, re: Sedimentfang mit Ablauf Rohrdurchlass	92
Abbildung 76:	Geplanter Grabenneubau mit Verwallung südlich der Kläranlage in Gutendorf	96
Abbildung 77:	Geplante Durchlassaufweitung sowie Neubau eines Entlastungsgrabens parallel zur L2155 am Ortsausgang von Gutendorf	96
Abbildung 78:	Modelltechnische Umsetzung geplanter Hochwasserrückhaltebecken am Fließweg aus Kerntal	97
Abbildung 79:	Vergleich von Ist- und Plan-Zustand der Überschwemmungsfläche oberhalb von Gutendorf	99
Abbildung 80:	Vergleich von Ist- und Plan-Zustand der Überschwemmungsfläche unterhalb von Gutendorf	100
Abbildung 81:	Wasserspiegellagendifferenz (Ist/Plan) am Ortsausgang von Gutendorf in Richtung Bad Berka für HW HQ ₁₀₀	101

Anlagen

A-1	Hydrologisches Gutachten
A-2	WSP-Ergebnisse $HQ_{(T)}$ Ist-Zustand
A-3	Defizitanalyse Bauwerke Ist-Zustand
A-4	Kostenschätzung Maßnahmenplanung
A-5	Varianten HRB
A-6	WSP-Ergebnisse $HQ_{(T)}$ Plan-Zustand

Lose beigefügte Pläne

Maßstab

B-1.1	Überschwemmungsflächen HQ_{100} Hungerbach – Ist-Zustand	1 : 5.000
B-1.2	Wassertiefen HQ_{100} Hungerbach – Ist-Zustand	1 : 5.000
B-2.1	Überschwemmungsflächen HQ_{100} Hungerbach – Plan-Zustand	1 : 5.000
B-2.2	Wassertiefen HQ_{100} Hungerbach – Plan-Zustand	1 : 5.000
B-3	Überschwemmungsflächendifferenzen HQ_{100} Hungerbach	1 : 5.000
B-4.1	Maßnahmen - Variante 1	1 : 5.000
B-4.2	Maßnahmen - Variante 2	1 : 5.000
B-4.3	Maßnahmen - Variante 3 - Vorzugsvariante	1 : 5.000
B-4.4	Maßnahmen - Variante 3 - Vorzugslösung	1 : 5.000
B-5	Schutzgebiete	1 : 12.500

Verwendete Unterlagen / Literaturverzeichnis

- [1] Stadt Bad Berka
Lagepläne Kanalnetz Bad Berka und Gutendorf
Übergabe per E-Mail am 02.03.2016

- [2] Stadt Bad Berka
Unterlagen zur Verrohrung Hungerbach Bad Berka; Planungsunterlagen HRB Bad Berka
Übergabe per E-Mail am 05./06.06.2016

- [3] Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie
Digitales Geländemodell – DGM5; OBK-CIR-Daten
Übergabe per E-Mail am 15.03.2016

- [4] Stadtwerke Jena
Leitungsauskuft Ver- und Entsorgungsanlagen
Übergabe per E-Mail am 17./18.03.2016

- [5] Thüringer Landesamt für Vermessung und Geoinformation
Digitales Geländemodell – DGM2
Übergabe per E-Mail am 22.03.2016

- [6] Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie
2D-Modellabschnitt IIm
Übergabe per Upload am 12.04.2016

- [7] Stadt Bad Berka
„Abflussvermögen des Hungerbaches in Bad Berka“
Verfasser: Ing.-Büro PROWA-KITTELBERGER GmbH
Stand: Januar 1998
Übergabe per E-Mail am 12.04.2016

- [8] Stadt Bad Berka
Datengrundlage DTK, DLM, ALKIS, DOP-Karten
Übergabe am 13.04.2016

- [9] Stadt Bad Berka
„Hochwasserschutzkonzept Gutendorf“
Stand: Oktober 2014
Übergabe per E-Mail am 21.06.2016

- [10] Vermessungsbüro Suhl
Unterlagen terrestrische Querprofilvermessung
Übergabe per E-Mail am 23./24.05.2016

- [11] Deutscher Wetterdienst
Climate Data Center
Verfügbar am 15.04.2016 unter:
<ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/>

- [12] Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen
Richtlinie zur Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten für Fließgewässer – Empfehlungen für die Ermittlung des Gefährdungs- und Schadenpotentials bei Hochwasserereignissen sowie für die Festlegung von Schutzzielen
Fassung März 2003
- [13] LAWA
„Empfehlung zur Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen“
2010

Abkürzungsverzeichnis

AG	Auftraggeber
ALK	Amtliches Liegenschaftskataster
BauGB	Baugesetzbuch
BCE	Björnsen Beratende Ingenieure
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
CIR	Colorinfrarotdaten
DGM	Digitales Geländemodell
DHHN	Deutsches Haupthöhennetz
EZG	Einzugsgebiet
Fa.	Firma
Fl.-km	Flusskilometer
FND	Flächennaturdenkmal
HRB	Hochwasserrückhaltebecken
HW	Hochwasser
HWGK	Hochwassergefahrenkarten
HWM	Hochwassermarke
HWRK	Hochwasserrisikokarten
HWRM	Hochwasserrisikomanagement
HWRMP	Hochwasserrisikomanagementplanung
HWRM-RL	Hochwasserrisikomanagementrichtlinie
HWSK	Hochwasserschutzkonzept
IB	Ingenieurbüro
Kap.	Kapitel
KOK	Konstruktionsoberkante
KUK	Konstruktionsunterkante
LSG	Landschaftsschutzgebiet
N-A-Modell	Niederschlag-Abfluss-Modell
NHN	Normalhöhennull
NSG	Naturschutzgebiet
OBK	Offenland-Biotopkartierung
OL	Ortslage
OW	Oberflächenwasser
PKBW	Projektkostenbarwerte
PNBW	Projektnutzenbarwerte
SUP	Strategische Umweltprüfung
T	Hochwasser-Wiederkehrintervall
TAB	Thüringer Aufbaubank
TLUG	Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie
TLVermGeo	Thüringer Landesamt für Vermessung und Geoinformation
TMLFUN	Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz
ÜSG	Überschwemmungsgebiet
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VV	Vorzugsvariante
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WSP	Wasserspiegel
WT	Wassertiefe

1 Allgemeines

Der Hungerbach (abschnittsweise Gewässer II. Ordnung) fließt im Landkreis Weimarer Land. Das Gewässer entspringt oberhalb des Bad Berkaer Ortsteiles Gutendorf und mündet nach etwa 8,0 km Lauflänge im Stadtgebiet Bad Berka in den Unterlaufabschnitt des Schleußengrabens (nahe der Mündung in die Ilm).

In seinem Verlauf wird der Hungerbach durch mehrere seitliche Zuflüsse gespeist. Wichtigste Nebengewässer sind der „Bach aus dem Erfurter Tal“ und der „Bach vom Flughafen“. Das Gesamteinzugsgebiet des Grabensystems Hungerbach beträgt ca. 12 km².

In den Jahren 1997, 2005, Juni 2013 und September 2014 sind vor allem in der Ortslage von Gutendorf erhebliche Überschwemmungen aufgetreten.

Vor allem die Ereignisse in 2013 und 2014 haben zu erheblichen Schäden geführt. So standen am 20.06.2013 fast 100 % der Höfe im Unterdorf bis zu 1 m unter Wasser. Die Schäden lagen bei etwa 1 Mio. €. Auch das Hochwasser vom 19.09.2014 hatte verheerende Auswirkungen. Die Schäden lagen etwa im Bereich des Vorjahres.

Ursache der immensen Schäden infolge Überflutung waren die großen Mengen an Niederschlagswasser (einschl. Schlamm), die von den Wiesen- und Ackerflächen im Einzugsgebiet des Gewässerlaufes nach kurzer Zeitdauer plötzlich zum Abfluss kommen und der Ortslage zufließen. Zur Verschärfung der Hochwassersituation tragen vor allem die im Unterdorf zu hoch gebaute und somit als Staudamm wirkende Landesstraße L2155, die weiterhin fehlenden Entwässerungsgräben, die früher entlang der Dorfstraße (Landesstraße) bis zu deren Verbreiterung ausreichend vorhanden waren sowie die Verrohrung des ehemaligen offenen Grabensystems bei. Die heute vorhandenen bis max. 800 mm großen Betonrohre unter der Landesstraße sind bei starken Niederschlägen selbst für die Innenbereichsentwässerung des Ortes nicht mehr ausreichend.

In Anbetracht der vergangenen Hochwasserereignisse der letzten Jahre plant die Stadt Bad Berka im Einzugsgebiet des Hungerbaches den Hochwasserschutz zu verbessern. Dabei sollen Maßnahmen erarbeitet werden, die zu einer Retentionsoptimierung, zur Verbesserung des Abflussgeschehens sowie zu einer Reduzierung des Gefährdungspotentials im Hochwasserfall führen.

Eine vorgeschaltete Studie soll zunächst die Grundlagen schaffen, um quantitative Aussagen zur aktuellen hydrologischen und hydraulischen Situation im Einzugsgebiet des Hungerbaches zu erhalten.

Im Ergebnis soll eine genehmigungsreife Planung in Abstimmung mit der Genehmigungsbehörde des Landkreises Weimarer Land erarbeitet werden.

Diesbezüglich beauftragte die Stadt Bad Berka die BjörnSEN Beratende Ingenieure Erfurt GmbH mit Vertrag vom 02.02./23.02.2016 mit den hydrologischen und hydraulischen Untersuchungen (Leistungsteil I) sowie den Planungsleistungen zum Hochwasserschutz (Leistungsteil II).

2 Zielstellung

Um detaillierte Aussagen über die bestehenden Abflussverhältnisse im Hochwasserfall (Extremereignisse/Ist-Zustand) und nachfolgend zur Hochwassersicherheit erhalten zu können, ist die Durchführung einer hydrodynamisch-numerischen 2D-Modellierung für insgesamt ca. 7,7 Gewässerlaufkilometer Hungerbach zzgl. Mündungsbereich Schleußengraben/Ilm und verschiedener Nebengewässer geplant. Dabei soll der gesamte Oberflächenwasserkörper im Einzugsgebiet des Hungerbaches von den verschiedensten Quellgebieten und Oberflächen Berücksichtigung finden und im zu erstellenden 2D-Modell abgebildet werden.

Die dazu erforderlichen Hochwasserscheitelabflusswerte $HQ_{(T)}$ mit einem Wiederkehrintervall $T = 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100$ werden vorab mittels eines zu erstellenden Niederschlag-Abfluss Modells (N-A-Modell) ermittelt.

Aufbauend auf den Ergebnissen der nachfolgend durchgeführten hydraulischen 2D-Berechnungen für die verschiedenen Hochwasserereignisse HQ_T wird der derzeit vorhandene Schutzgrad für die Ortslagen und außerörtlichen Gewässerabschnitte ermittelt und mit den im Freistaat Thüringen empfohlenen Schutzzielen bzw. ggf. mit den abgestimmten Schutzzielen verglichen.

Es erfolgt eine Analyse des bestehenden Defizit- und Gefährdungspotentiales. Die Gründe für den unzureichenden Schutz werden entsprechend dokumentiert.

Im nächsten Schritt werden auf der Grundlage der Defizitbetrachtung mögliche Maßnahmen zur Herstellung des gewünschten Schutzzieles aufgezeigt.

Im Quellgebiet des Hungerbaches im Bereich der Ortslage Gutendorf sollen Maßnahmen für eine gefährdungsreduzierte Ableitung der Oberflächenwässer (Optimierung der Fließwege) entwickelt werden. Sämtliche Maßnahmen werden als Einzelmaßnahmen oder als Maßnahmenbündel in einer Variantenbetrachtung beschrieben und in einer Maßnahmenkarte dargestellt.

In Abstimmung mit dem AG erfolgt die Festlegung der Vorzugsvariante und die Erstellung einer Prioritätenliste nach vorherigem Abgleich ökologischer und ökonomischer (Kostenschätzung) Parameter unter Beachtung der Anforderungen der WRRL.

Für die Maßnahmen der Vorzugsvariante erfolgt ein hydraulischer Nachweis (Plan-Zustand).

3 Grundlagenermittlung

3.1 Datensichtung/Datenaufbereitung

Vom Auftraggeber sind dabei folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt worden:

- HWSK-Konzept Gutendorf mit Fotos zum Hochwasserereignis 2014 [9]
- Bestandspläne zum Kanalnetz in Bad Berka und Gutendorf [1]
- Unterlagen zum geplanten HRB „Bad Berka“ [2]
- Unterlagen zur Abflussermittlung und Hydraulik Hungerbach in Bad Berka [7]
- DTK10, Luftbilder, ALKIS-Daten [8]

Seitens der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) sind dabei übergeben worden:

- Digitales Geländemodell (DGM) im 5 m x 5 m Punktraster [3]
- OBK-CIR-Daten Untersuchungsgebiet Hungerbach [3]
- Grundlagendaten Modell Ilm [6]
 - DGM Bad Berka
 - Befliegung: Linien Bruchkanten, Isolinien,
 - 3D-Linien Ilm,
 - Vermessung
 - 2D-Modell, Berechnungsergebnisse.

Vom Thüringer Landesamt für Vermessung und Geoinformation wurde zur Verfügung gestellt [5]:

- Digitales Geländemodell (DGM) im 2 m x 2 m Punktraster + Hausumringe

Von den Stadtwerken Jena wurden zur Verfügung gestellt [4]:

- Auskunft zum Leitungsbestand
- Leitungsbestandspläne Bad Berka und Gutendorf.

3.2 Abgrenzung des Bearbeitungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet des Hungerbaches erstreckt sich im Landkreis Weimarer Land des Freistaates Thüringen über einen etwa 7,7 km langen Gewässerabschnitt. Dieser beginnt als Straßentwässerungsgraben oberhalb der Ortslage Gutendorf und endet in der Stadt Bad Berka an der Mündung in den Schließengraben (Fl.-km 0+000).

Der Hungerbach entwässert ein ca. 12,2 km² großes Einzugsgebiet (vgl. Abbildung 1, Fläche mit rot markierter Umgrenzung), welches gleichzeitig auch das Untersuchungsgebiet für die Niederschlag-Abfluss-Modellierung darstellt.

Hinsichtlich der hydraulischen Modellierung beträgt das Bearbeitungsgebiet ca. 6,3 km² (vgl. Abbildung 1, Fläche mit grün markierter Umgrenzung). In das Berechnungsnetz wurden neben dem Gewässerlauf Hungerbach (einschl. detaillierter Geländebereiche der OL Gutendorf) auch der gesamte Abschnitt des Gewässers aus dem Erfurter Tal sowie der Graben vom Flughafen eingebunden. Des Weiteren wurde zur Untersuchung der Rückstauproblematik die Ilm (einschl. Unterlauf Schließengraben) auf einer Länge von ca. 2,8 km im Modell berücksichtigt.

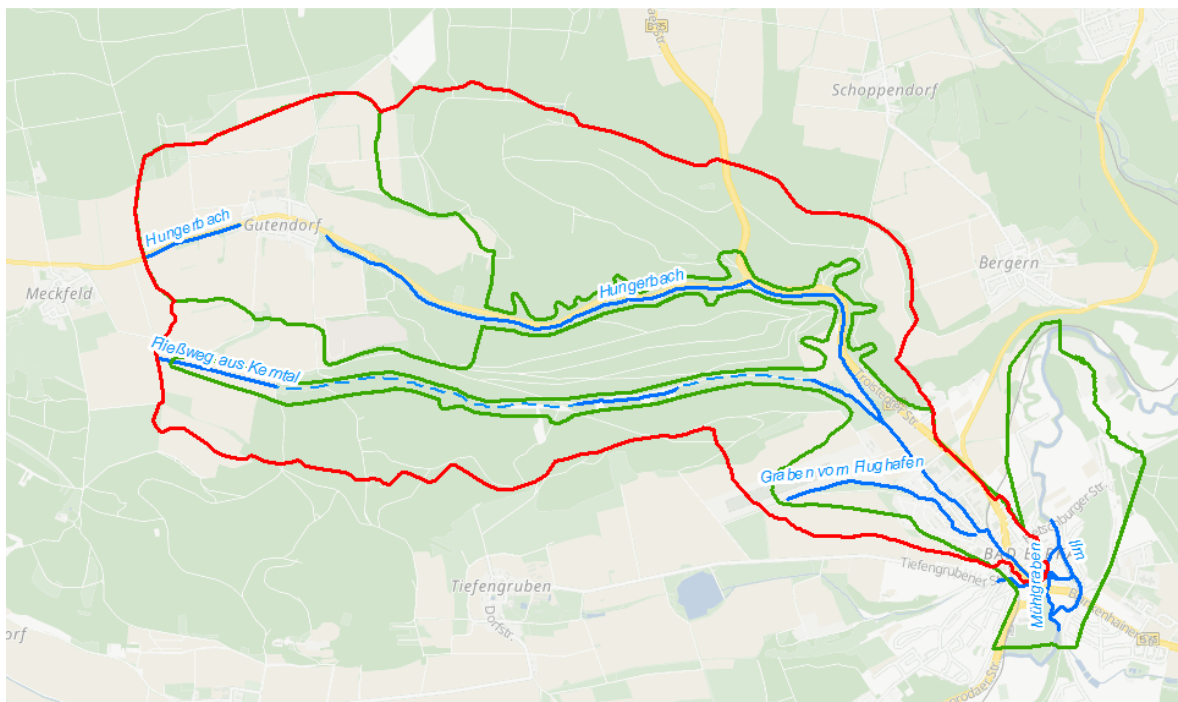


Abbildung 1: Einzugsgebiet des Hungerbaches (rot) und Modellgrenze für die hydraulische Berechnung (grün)

3.3 Ortseinsicht

Vorab sowie im Zuge der Bearbeitung sind verschiedene Ortsbegehungen vom Untersuchungsgebiet durchgeführt worden. Nachfolgende Fotodokumentation gibt einen Überblick über das Untersuchungsgebiet sowie den Gewässerlauf Hungerbach.

Oberhalb der OL Gutendorf fließen beidseitig der Landesstraße L2155 Entwässerungs- bzw. Straßengräben in Richtung OL. Das Grabensystem besitzt am oberen Ortsrand über einen Grabeneinlauf Anschluss an das innerörtliche Kanalnetz (Leitungsbeginn DN300).



Abbildung 2: *Oberhalb OL Gutendorf (li: L 2155 - Blick in Richtung OL; re: L2155 - Blick Ortsausgang in Richtung Meckfeld/Klettbach)*



Abbildung 3: *OL Gutendorf – obere Ortseinfahrt L2155; Blick zum Kulturhaus*



Abbildung 4: Fassung der Gräben an der L2155 am oberen Ortsrand

Am unteren Rand der Ortslage fließt das Gewässer nach dem Zufluss mehrerer Seitengräben und verschiedener Einleitungen aus dem Kanalnetz bzw. der Kläranlage als offener Graben in Richtung Bad Berka.



Abbildung 5: OL Gutendorf (li: Blick Unterdorf Ortsausfahrt; re: Blick aus „Tiefengrubener Straße“ in Richtung L2155)



Abbildung 6: Gutendorf (Unterdorf) – Beginn offener Graben (li: Blick Grabenverlauf in Richtung KA; re: Ansicht Entwässerungsbauwerk „Tiefengrubener Straße“)

In Richtung Bad Berka, etwa zwischen Gutendorf (unterhalb Kläranlage) und oberhalb dem Standort Forsthaus ist das Gewässer auf einer Länge von ca. 3,2 km als solches kaum oder nicht sichtbar. Der Abfluss findet hier verteilt in den Wiesenflächen zwischen der linksseitig verlaufenden Landesstraße L2155 und dem rechtseitigen zumeist bewaldeten Talrand statt. Erst ab dem Bereich Forsthaus ist wieder ein Gewässergraben vorhanden.



Abbildung 7: *Wiesenflächen zwischen Gutendorf und Bad Berka – kein Grabenverlauf sichtbar*



Abbildung 8: *Offener Gewässergraben – Blick stromab (li: oberhalb Forsthaus; re: unterhalb Forsthaus)*



Abbildung 9: *li: Bachlauf oberhalb Bad Berka – Blick stromab; re: Zulauf „Erfurter Bach – Blick stromauf“*



Abbildung 10: *li: Hungerbach Bad Berka oberer Ortsrand – Blick stromab; re: Hungerbach in Bad Berka/Gewerbegebiet – Blick stromab“*

Bis zum Einlauf in den unterirdisch geführten Bachlaufabschnitt in Bad Berka ist aufgrund der Grabenstruktur und des Sohlängsgefälles abwechselnd nahezu ein „Trockenfallen“ des Gewässers zu beobachten. Ebenso sind schadhafte Gewässerabschnitte festzustellen.



Abbildung 11: *Bad Berka (li: schadhafter Gewässerabschnitt unterh. Straßenbrücke Fl.-km 0+990; re: Gewässerabschnitt Bad Berka Fl.-km 0+800 – Blick stromab*



Abbildung 12: *Bad Berka – Zeughausplatz (li: Hungerbach am Bahn-Haltepunkt – Blick stromauf ; re: Einlauf Verdolung Hungerbach*

Nach ca. 430 m unterirdischer Gewässerführung (Verdolungsabschnitte mit verschiedenen Kasten- und Rohrquerschnitten) fließt der Hungerbach in den Schleußengraben, der nach weiteren ca. 110 m in die Ilm mündet.

3.4 Abstimmung mit Fachbehörden

Hinsichtlich der allgemeinen Ermittlung der Datengrundlagen sowie der Übernahme und Verwendung der Daten/Unterlagen wurden Abstimmungen geführt mit:

- dem AG – Stadt Bad Berka,
- der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG),
- der Thüringer Landgesellschaft (ThLG),
- dem Thüringer Landesvermessungsamt (TLVermGeo),
- den Stadtwerken Jena.

Bezüglich der Ermittlung der Hochwasserscheitelwerte $HQ_{(T)}$ mittels N-A-Modellierung wurden Abstimmungen mit dem AG geführt.

3.5 Terrestrische Gewässervermessung

Die terrestrische Querprofilvermessung (Gerinne- und Bauwerksprofile) entlang des Hungerbaches wurde durch den Nachauftragnehmer *Vermessungsbüro Suhl* aus Suhl [10] im Zeitraum März - Mai 2016 durchgeführt.

Die Querprofilaufnahme entlang des Hungerbaches erfolgte vom Einlaufbauwerk in den unterirdisch geführten Gewässerlaufabschnitt (Fl.-km 0+4271) in Bad Berka bis oberhalb der Ortslage Gutendorf (Fl.-km 7+7049) auf einer Gesamtlänge von rd. 7,3 km.

Im Abschnitt des unterirdisch, kanalisiert geführten Gewässerlaufes bis zur Mündung in den Schleußengraben (Fl.-km 0+0000) erfolgte keine Vermessung. Detailinformationen zum Kanal sowie die Gewässerlauflänge zwischen dem Einlaufbauwerk und der Mündung in den Schleußengraben von rd. 430 m wurden den vom AG zur Verfügung gestellten Bestandsplänen zum Kanalnetz in Bad Berka ([1], [2], [7]) entnommen bzw. anhand dieser ermittelt.

Insgesamt sind entlang des zu betrachtenden Gewässerabschnittes 94 Querprofile, davon 28 Querbauwerke, wie Brücken, Durchlässe, Sohlabstürze, etc., vermessen worden.

Als mittlerer Profilabstand für die Vermessung am Hungerbach wurde vorgegeben:

- innerhalb Ortslagen ca. 50 m
- außerhalb der Ortslagen
 - bei offenem Gewässerlauf ca. 100 m
 - bei nicht sichtbarem Gewässerlauf ca. 250 m.

Für sämtliche Gewässerquerprofile wurden entsprechend den Gerinnebreiten im Profil zu meist drei bis fünf Sohlenpunkte (Standortbezogen auch mehr) vermessen. Gleichzeitig mit der Sohlenvermessung sind beidseitig die Wasserspiegelhöhe, die Grabenböschungen sowie die linke und rechte Böschungsoberkante aufgenommen worden. Das Vorland wurde im Durchschnitt 10 m von der Böschungsoberkante oder vorhandener Ufermauer vermessen. An einigen Stellen ist aufgrund der topografischen Verhältnisse auch ein längerer, bzw. bei sich direkt anschließendem stark ansteigenden Gelände oder bei Bebauung und erschwerter Zuwegung auch ein kürzerer Vorlandabschnitt aufgenommen worden.

Sonderprofile (Brücken, Durchlässe) markieren in der Regel Engstellen im Gewässer. An diesen Profilen sind die wichtigsten abflussbegrenzenden Konturen (Brückenober-/unterkante,

ggf. Pfeiler, usw.) erfasst worden. Das Bauwerksprofil selbst wurde an der Oberstromseite vermessen. Zugehörig zum Brückenprofil ist die Bauwerkslänge in Fließrichtung vermessen worden.

In Tabelle 1 ist basierend auf den Vermessungsdaten die Anzahl an Querprofilen und Querbauwerken für das Gewässer aufgeführt.

Tabelle 1: Anzahl Querprofile und Bauwerke gemäß Vermessung

Datengrundlage	Anzahl im Gewässersystem Hungerbach [Stck.]
Querprofile	66
Querbauwerke	28
<i>Brücken, Stege,</i>	<i>10</i>
<i>Verdolung, lange Verrohrung</i>	<i>1</i>
<i>Rohrdurchlässe</i>	<i>15</i>
<i>Wehre, Stauwehre, Schütze</i>	<i>-</i>
<i>Sohlabsturz, Sohlschwelle, Sohlgleite, Sohlrampe</i>	<i>2</i>
<i>Furt</i>	<i>-</i>

Zusätzlich zur Querprofilaufnahme erfolgte je nach Erfordernis eine Einzelmesspunktaufnahme, z.B. der Gewässerachse oder von längsbegleitenden Konturen:

- zwischen den Querprofilstandorten bei stark abknickendem Gewässerverlauf,
- am Beginn/Ende z.B. einer Ufermauer oder bei abknickendem Mauerverlauf.

Alle Aufnahmepunkte wurden in UTM-Koordinaten im Lagestatus 489/ETRS89 übergeben. Die Höhenauswertung der Vermessung erfolgte bezogen auf das System des Deutschen Haupthöhennetzes DHHN 92, Höhenstatus 160, mit dem Höhenbezug **m ü NHN**.

Für sämtliche Querprofile ist beginnend von der Mündung in den SchleuBengraben (Fl.-km 0+0000) stromaufwärts bis zum oberen Ende des Untersuchungsabschnittes eine Gewässerlaufstationierung erstellt worden.

Sämtliche Messpunkte eines Querprofils sind auf eine Querprofilspur projiziert im ASCII-Format (Stationierung, x-, y- und z-Koordinaten, Punktkennung) zusammengestellt worden.

Vom Vermessungsabschnitt wurde ein Lageplan im dxf-Format mit Darstellung aller Messpunkte (Höheninformation georeferenziert) inkl. Bruchkanten der Böschungen und Bauwerkskonturen (z.B. Brückenwiderlager) als 3D-Linien erstellt.

Weiterhin sind von allen Querbauwerken Zeichnungen sowie eine Fotodokumentation von allen Querprofilstandorten angefertigt worden.

3.6 Digitales Geländemodell (DGM 2 und DGM 5)

Für die Erstellung des 2D-Berechnungsnetzes wurde das vom Thüringer Landesamt für Vermessung und Geoinformation zur Verfügung gestellte digitale Geländemodell (DGM) im Punktraster 2 m x 2 m [5] verwendet. Zusätzlich wurde zur Erweiterung des hydraulischen Modells im Bereich Gutendorf und der Gewässervorländer sowie für die hydrologischen Untersuchungen (N-A-Modell) das übernommene DGM 5 (Punktraster 5 m x 5 m) genutzt [3].

In das DGM wurden im unmittelbaren Bereich der zu untersuchenden Gewässer (Gewässerschlauch) die Gerinnegeometrien auf Basis der terrestrischen Vermessungsdaten integriert. Vor allem für die spätere Verschneidung der Wasserspiegellagen mit dem digitalen Geländemodell ist diese Anpassung notwendig.

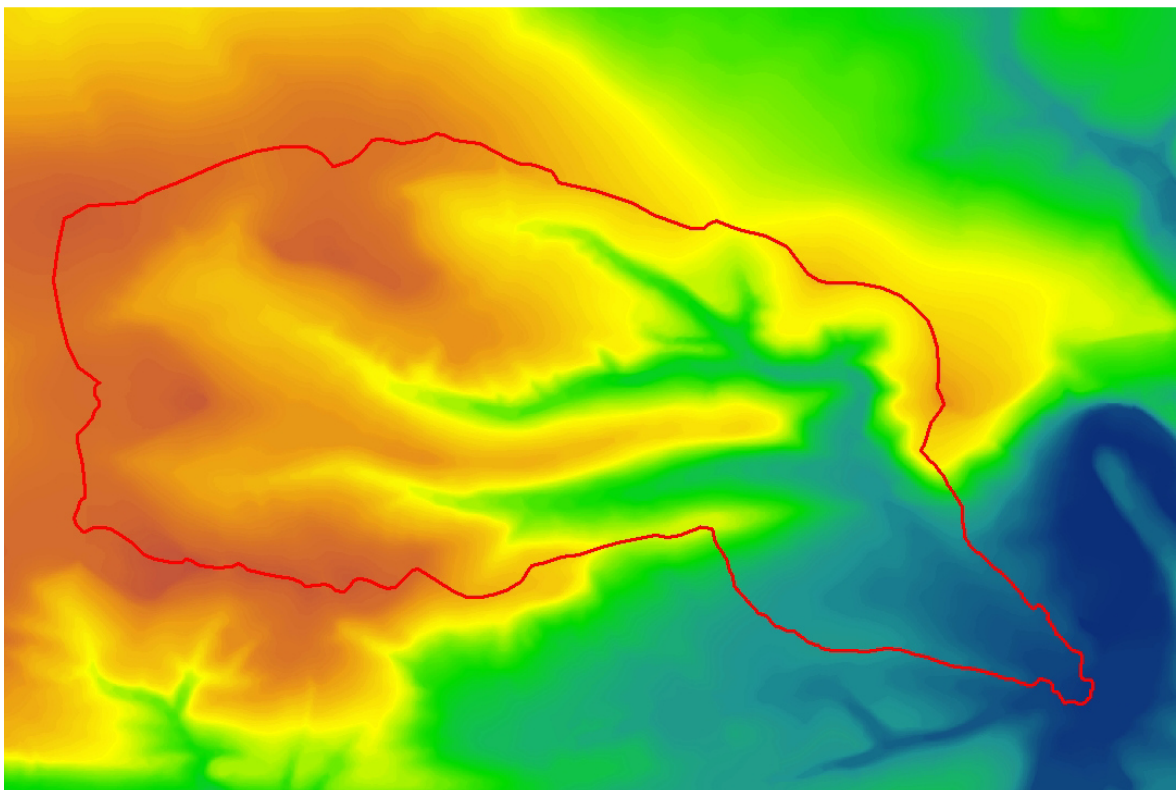


Abbildung 13: DGM 5 mit Darstellung Einzugsgebiet Hungerbach

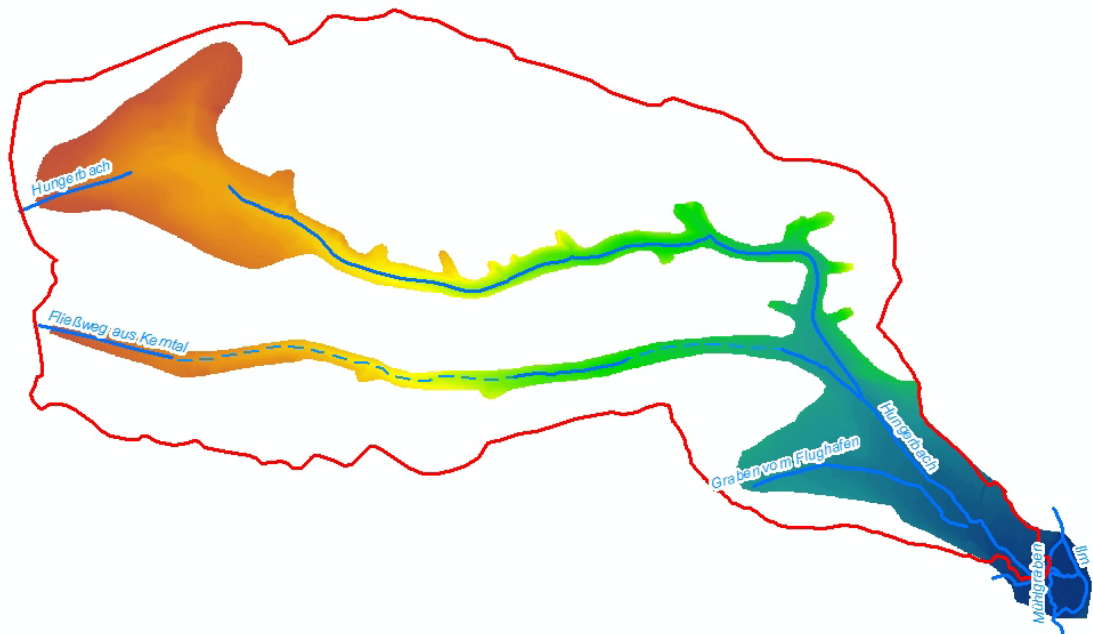


Abbildung 14: DGM 2 im Bereich der Gewässer mit Darstellung Einzugsgebiet Hungerbach

3.7 Beschreibung des Einzugsgebietes

3.7.1 Gebietsmorphologie

Über mehrere seitliche Graben- und Flächenzuläufe aus den Hangflächen im Gebiet um die Ortslage Gutendorf wird die parallel zur L2155 verlaufenden Gräben am Fuße des Rüttelberges auf einer Höhe von etwa 460 m ü NHN gespeist. Das Einzugsgebiet bis nach Bad Berka liegt im Hügelland der Ilm-Saale-Platte.

Die hier zumeist landwirtschaftlich genutzten Flächen sind vorwiegend auf Böden über den Gesteinsschichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins angelegt. Der für die Ilm-Saale-Platte überwiegend vorherrschende Muschelkalk wird hier durch eine Zone des Buntsandsteins unterbrochen. Allgemein sind in der Region eher wasserarme, dünn besiedelte Muschelkalk-/Buntsandsteinformationen der Ilm-Saale-Platte bestimmend. Auf dieser wechseln sich Wald- und Wiesen-/Ackerflächen ab.

Die Buntsandsteingrundwasserleiter entwässern in Richtung Ilm-Tal. In Bad Berka werden die Wässer des Oberen Buntsandsteins für balneologische Zwecke genutzt.

Ab der Wasserscheide zwischen Meckfeld und Gutendorf erfolgt die Gewässerführung bis zum oberen Ortsrand Gutendorf in die Landesstraße L2155 begleitenden Gräben. In Gutendorf ist kein offener Graben vorhanden. Früher vorhandene Entwässerungsgräben wurden im

Zuge des Straßenausbaues überbaut bzw. sind nicht mehr vorhanden. Nur geringe Abflussmengen können über Einläufe in das innerörtliche Kanalnetz abgeleitet werden.

Ab dem unteren Rand der Ortslage Gutendorf bis nach Bad Berka verläuft der Hungerbach – bis auf einen ca. 3,0 km langen, teilweise sumpfigen Wiesenabschnitt (hier ist keine Grabenstruktur vorhanden) – im offenen Graben. Der Bach fließt zwischen Gutendorf und etwa dem Forsthaus oberhalb Bad Berka (Mündung „Erfurter Bach“) in einem vergleichsweise engen, mit bewaldeten Talflanken ausgestatteten Tal zuerst in östlicher und etwa ab dem Forsthaus abknickend in südöstlicher Richtung. In der Ortslage Bad Berka werden die letzten 430 m des Gewässerlaufes bis zur Mündung in den Schleußengraben unterirdisch, kanalisiert geführt. Die Mündung des Hungerbaches in den Schleußengraben (ca. 110 m oberhalb des Zuflusses in die Ilm) liegt auf einer Höhe von etwa 266 m ü NHN.

Den unmittelbaren Untersuchungsbereich zwischen dem Ortsteil Gutendorf und der Stadt Bad Berka (Mündung in den Schleußengraben) durchfließt der Bach auf ca. 7,7 km Länge. Das durchschnittliche Sohlgefälle im Untersuchungsabschnitt beträgt einschließlich der vorhandenen Sohlensprünge an den Sohlenschwellen 24,7 ‰.

Bodenarten und Bodentypen

Die Bestimmung der Bodenverhältnisse erfolgte anhand der Bodenübersichtskarte des Landes Thüringen über den WMS-Dienst (siehe Abbildung 15). Im Einzugsgebiet des Hungerbaches sind überwiegend die Bodenarten Lehm und Ton vorzufinden. Die genaue Bodentypenverteilung ist in Tabelle 2 dokumentiert.

Tabelle 2: Bodentypenverteilung im Einzugsgebiet

Bodentyp	Fläche [ha]	Prozentualer Anteil [%]
Handlehm, lössartig	45,50	3,70
Lehm, stark steinig (Sedimente des Unteren Muschelkalkes)	616,35	50,13
Lehm, tonig - Vega (Nebentäler)	87,05	7,08
Löss - Schlämmschwarzerde (über Muschelkalk, tonig)	80,42	6,54
Ton, lehmig, steinig (Sedimente des Oberen Muschelkalkes)	312,52	25,42
Summe:	1.230,00	100

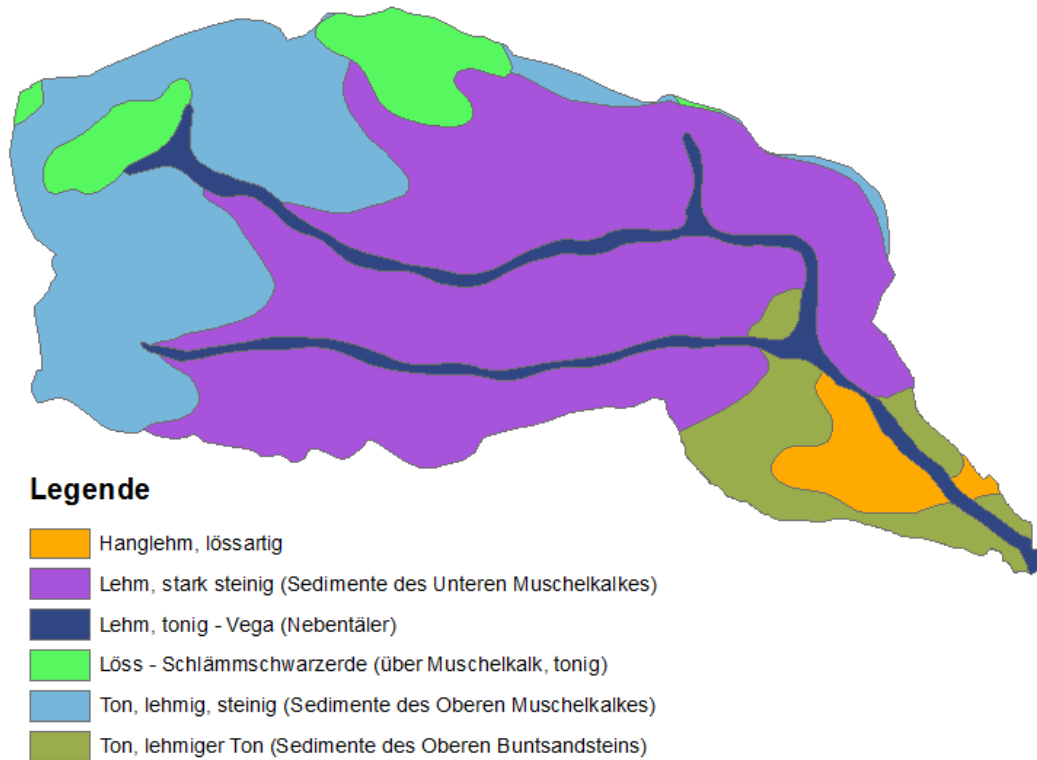


Abbildung 15: Böden im Einzugsgebiet

Flächennutzung

Die anteilige Flächennutzung im Einzugsgebiet wurde anhand der zur Verfügung gestellten CIR-Daten des Landes Thüringen [3] übernommen. Aufgrund der in der Datengrundlage detaillierten Nutzungsdifferenzierung der CIR-Daten wurden diese in Nutzungsklassen zusammengefasst. Die für das Einzugsgebiet bestehende Nutzungsverteilung ist in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3: Nutzungsverteilung im Einzugsgebiet

Nutzung	Fläche [ha]	Prozentualer Anteil [%]
Ackerland	254,70	20,71
Gehölze	11,92	0,97
Gewässer	0,03	0,00
Grünland	210,56	17,12
Siedlung	48,39	3,94
Sonstige Fläche	12,67	1,03
Wald	691,35	56,22
Summe:	1.230,00	100



Abbildung 16: Flächennutzung im Einzugsgebiet

3.7.2 Gewässerausbau, relevante Einflussparameter (Land- und Forstwirtschaft, Bergbau, Wehranlagen)

Innerhalb der Ortslage Bad Berka wurde der Graben des Hungerbaches im Abschnitt zwischen Einlauf in den Verdolungsabschnitt und Bahnhofpunkt abschnittsweise seitlich befestigt. Der Gewässergraben erhält hier durch senkrechte Uferwände aus Beton ein eher kanalisiertes Erscheinungsbild.

Im Bereich des Gewerbegebietes Bad Berka bestehen auch längere Gewässerabschnitte mit befestigten Grabenböschungen mittels Wasserbaupflaster (teilweise überwachsen), die im Zuge eines hier erfolgten Gewässerausbaues hergestellt wurden.

Weiterhin sind kurze Abschnitte im Bereich von Brückenbauwerken oder an Einleitstellen vorhanden, in denen die Uferböschungen und die Gewässersohle mittels Wasserbaupflaster, Gitter- und Betonplatten oder grober Steinschüttung befestigt worden sind.



Abbildung 17: Grabenausbau/-befestigung in Bad Berka



Abbildung 18: Bad Berka: Sohlen- und Böschungsbefestigung mit Wasserbaupflaster im Bauwerksbereich



Abbildung 19: li: Bad Berka – Gewässerausbau mit Böschungsbefestigung; re: oberhalb Bad Berka – Grabenbefestigung mit Betonplatten und grober Steinschüttung

Wehrbauwerke als relevante hydraulische Einflussparameter, die das Abflussgeschehen im Hungerbach regulieren bzw. beeinflussen können, sind nicht vorhanden.

Erheblichen Einfluss auf die Abflusskapazität des Gewässers und somit auf die Abflusssituation im Hochwasserfall besitzen jedoch die vorhandenen unterirdischen Kanalnetzabschnitte, über die der Hungerbach in Bad Berka und in Gutendorf entwässert bzw. geführt wird. Aufgrund der vorhandenen, begrenzten Kapazität der Kanalnetze sowie der örtlichen Gegebenheiten können hier nur anteilig Hochwasserabflussmengen abgeleitet werden. Insbesondere besteht am oberen Ortsrand von Gutendorf die Gefahr, dass über die im Graben sohlgleich angeordneten Einläufe infolge kurzfristiger Verlandung kein Abfluss über das Kanalnetz möglich ist und dieser dann über das Gelände (Straße L2155) in und durch die Ortslage fließt.

3.7.3 Rückhaltebecken und Speicher

Im Einzugsgebiet des Hungerbaches sind keine Rückhalteeinrichtungen vorhanden, die einem wirksamen Hochwasserschutz dienen bzw. eine deutliche Abflussreduzierung im Hochwasserfall bewirken würden.

Im Einzugsgebiet des südlich des Hungerbaches verlaufenden Gewässers Steingraben, das ebenfalls der Stadt Bad Berka zufließt, befindet sich zwischen den Ortslagen Tiefengruben und Bad Berka der Speicher Tiefengruben mit einem Stauraum von 60.000 bis 65.000 m³. Ursprünglich für Bewässerungszwecke in der Landwirtschaft angelegt, erfüllt der Speicher heute eine Retentionsfunktion.

Einen gewissen Abflussrückhalt im Gerinne bietet der im Bereich des Gewerbegebietes Bad Berka im Zuge eines erfolgten Gewässerausbaus vergrößerte Grabenquerschnitt im Zusammenwirken mit den sich bei Hochwasserabfluss einstellenden Rückstauerscheinungen an den Brücken- bzw. Durchlassbauwerken.

3.7.4 Siedlungsentwässerung

In Bad Berka und dem Ortsteil Gutendorf bestehen verzweigte Kanalnetzsysteme. Entsprechende Unterlagen (Plangrundlage) und Informationen zum Kanalnetzbestand sind vom AG ([1], [2]) sowie von den Stadtwerken Jena [4] zur Verfügung gestellt bzw. übermittelt worden.

Gutendorf

Es besteht ein Kanalnetz zwischen dem Oberdorf und der Kläranlage unterhalb der Ortslage. Die Durchmesser der Leitungsabschnitte im Hauptstrang (Gutendorfer Str./L2155) betragen am Beginn (oberen Ortsrand) 300 mm und vergrößern sich bis zum Einlauf in die Kläranlage auf 800 mm. In den seitlichen Zulaufsträngen liegen Leitungen der Größe 250 bis 400 mm. Das Kanalnetz ist nicht für die Aufnahme von Hochwasserabflussmengen vorgesehen.

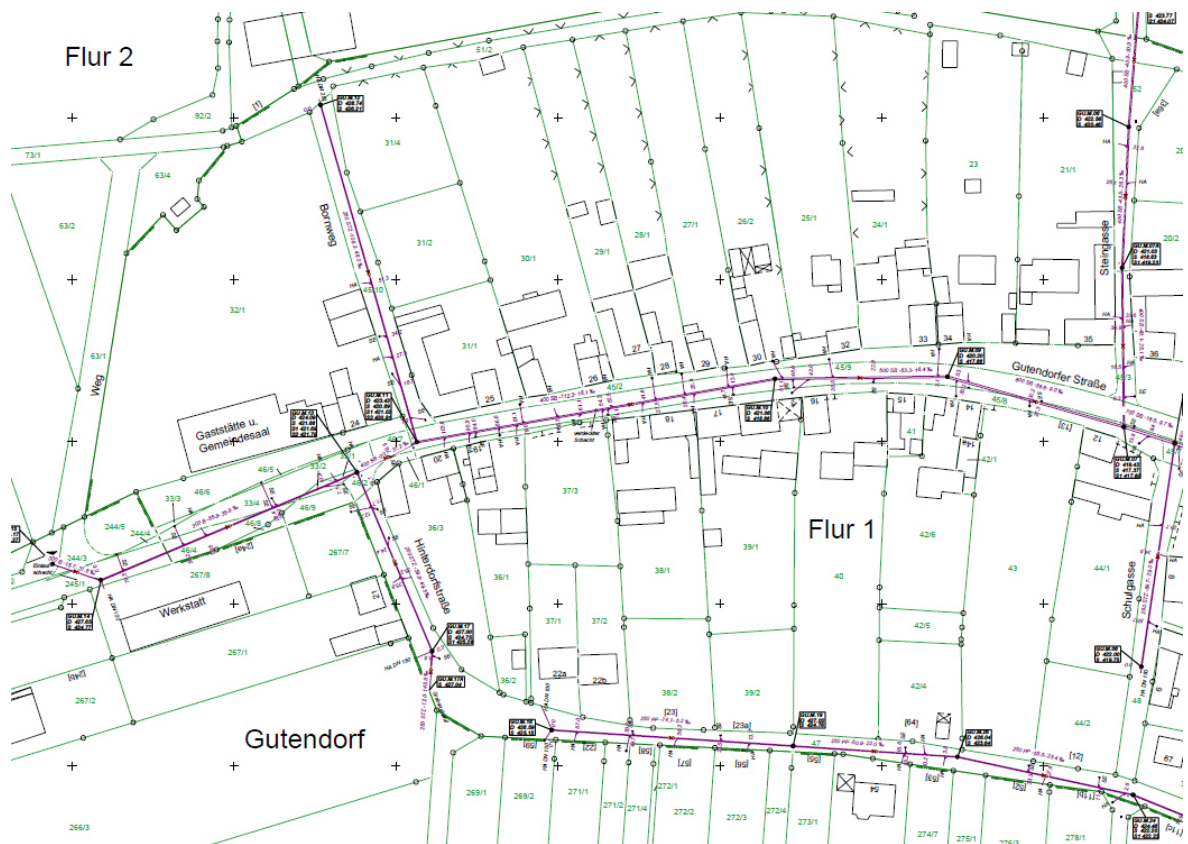


Abbildung 20: Ausschnitt Kanalnetzplan Gutendorf/Oberdorf [1]

Bad Berka

Im innerstädtischen Gebiet ist ein weit verzweigtes Kanalnetz vorhanden. In diesem Gebiet wird auch der Gewässerlauf des Hungerbaches auf einer Länge von ca. 430 m unterirdisch kanalisiert geführt. Der Einlauf in den Kanal befindet sich am Zeughausplatz, der Auslauf in den Schleißengraben in der Blankenhainer Straße ca. 50 m unterhalb des Wehrbauwerkes an der Gewässerquerung Mühlgraben/Schleißengraben.

Die Verdolungsstrecke weist verschiedene Kasten- und Rohrquerschnitte mit unterschiedlichen Leistungsfähigkeiten zwischen 2,9 und 3,8 m³/s auf (gemäß Ermittlung des Abflussvermögens für den Hungerbach in Bad Berka durch das Ingenieurbüro PROWA [7]).

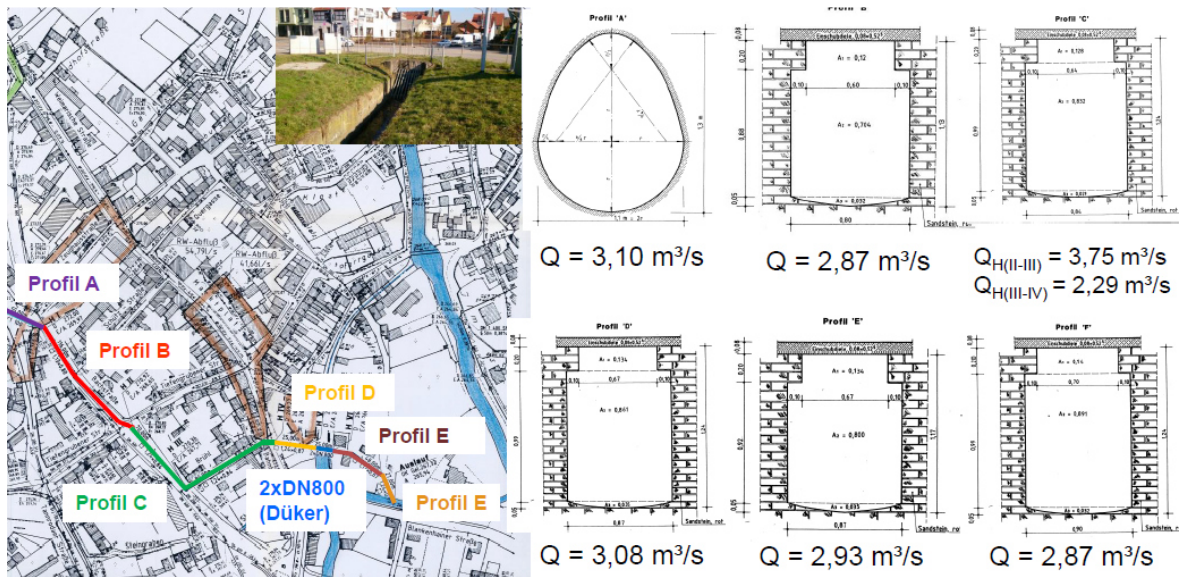


Abbildung 21: Kanalisierter Verlauf des Hungerbaches in Bad Berka (Quelle IB PROWA [7])

3.8 Historische und aktuelle Extrem-Hochwasserereignisse

3.8.1 Recherche vorangegangener Ereignisse

In der jüngeren Vergangenheit traten am Hungerbach, insbesondere in der OL Gutendorf, Hochwasserereignisse mit extremen Überflutungen und Schäden auf.

Auslöser für diese Hochwasserereignisse waren zumeist Starkniederschläge, die sogenannte Sturzfluten¹ verursacht haben. Die sich sammelnden Starkniederschlagsmengen kommen aufgrund der topografischen Geländebeziehungen sowie auch der Flächennutzung (intensive landwirtschaftliche Nutzung) im Umfeld der OL Gutendorf sehr schnell zum Abfluss.

Gemäß den Unterlagen der Stadt Bad Berka [9] fanden in den zurückliegenden Jahren verheerende Hochwasserereignisse statt:

- 1997
- 2005
- 20. Juni 2013
- 19. September 2014

Besonders die Ereignisse der Jahre 2013 und 2014 verursachten ein enormes Ausmaß an Schäden. Nicht wenige persönliche Schicksale waren dabei stets zu beklagen.

Die örtliche Feuerwehr war im Dauereinsatz, vielfältige Schutzmaßnahmen waren zu erbringen und in der Folge mussten Keller ausgepumpt und Aufräumarbeiten geleistet werden.

¹ Kurzzeitige, schnellabfließende und lokal konzentriert abfließende Wassermengen

In Gutendorf wurden Straßen, Plätze und Keller geflutet sowie Gärten verwüstet. Enorme Mengen an Treib- und Schwemmgut sind angespült und abgelagert worden. Die Hochwassersituation wurde auch dadurch verschärft, dass die im Unterdorf überhöhte Landesstraße (Dorfstraße) das Abfließen von den Wassermengen erheblich verhindert hat und folglich zum andauernden Rückstau führte. Des Weiteren sind die in der Ortslage bis zum Ausbau der Landesstraße (Dorfstraße) als offenes Grabensystem ausreichend bestandenen Entwässerungsgräben nicht mehr vorhanden.

Das heute vorhandene Kanalnetzsystem (Rohrleitungen max. Durchmesser bis 0,8 m) unter der Landesstraße bzw. den Straßen der Ortslage reicht – auch aus Erfahrung der vergangenen Starkregen- und HW-Ereignisse – bei starken Niederschlägen nicht für die innerörtliche Entwässerung aus.

3.8.2 Dokumentation und Auswertung von Hochwasserschäden und abgelaufenen Prozessen

Aufgrund der zur Verfügung gestellten Dokumentation (HWSK-Konzept Gutendorf [9]) wird nachfolgend insbesondere das Hochwasserereignis von 2014 näher betrachtet.

Dieses HW-Ereignis wurde durch einen lokalen Starkniederschlag verursacht. Gemäß den abgefragten und ausgewerteten RADOLAN-Daten [11] sind am Abend des 19. September 2014 über 50 mm Niederschlag innerhalb von 3 Stunden im Bereich der OL Gutendorf gefallen. Der entstandene Abfluss ist in kurzer Zeit von den umliegenden Hängen überwiegend breitflächig direkt in die Ortslage geflossen. Aufgrund der Höhenlage der Landesstraße sowie der fehlenden Entwässerungsgräben hat sich eine enorme Wassermenge in der Ortslage gesammelt und zu einer großflächigen Überschwemmung in Gutendorf geführt. Besonders im Unterdorf standen viele Höfe bzw. bebaute Grundstücke bis zu 1 m unter Wasser. Die daraus entstandenen Schäden lagen geschätzt bei etwa 1 Mio. Euro.

Von einer ähnlichen Schadenssumme wurde auch bezüglich des Hochwasserereignisses vom Juni 2013 berichtet.

Die hydrologische Situation vom Ereignis September 2014 wurde mittels N-A-Modellierung nachgebildet. Die somit ermittelten Abflusswerte zeigten, dass im Vergleich zu den ebenfalls mittels N-A-Modellierung ermittelten Bemessungsabflüssen $H_{Q(T)}$ in der OL Gutendorf ein Hochwasserereignis mit der Jährlichkeit größer $T=100$ a aufgetreten ist.

Dieses Ergebnis wurde nachfolgend mittels hydraulischer Simulation validiert. Die mit dem hydraulischen Modell (2D-Berechnungsnetz) berechneten Wasserstände und ermittelten Überschwemmungsflächen stimmen mit den Beobachtungen gemäß der vorliegenden Fotodokumentation überein.

Die fotodokumentierten Beobachtungen (Auswahl Bilder gemäß Abbildung 22) zum Ablauf des HW-Ereignisses in der OL Gutendorf bilden eine aussagekräftige Grundlage, die das Ausmaß der Überflutungen mit den zu erwartenden Schäden veranschaulicht.

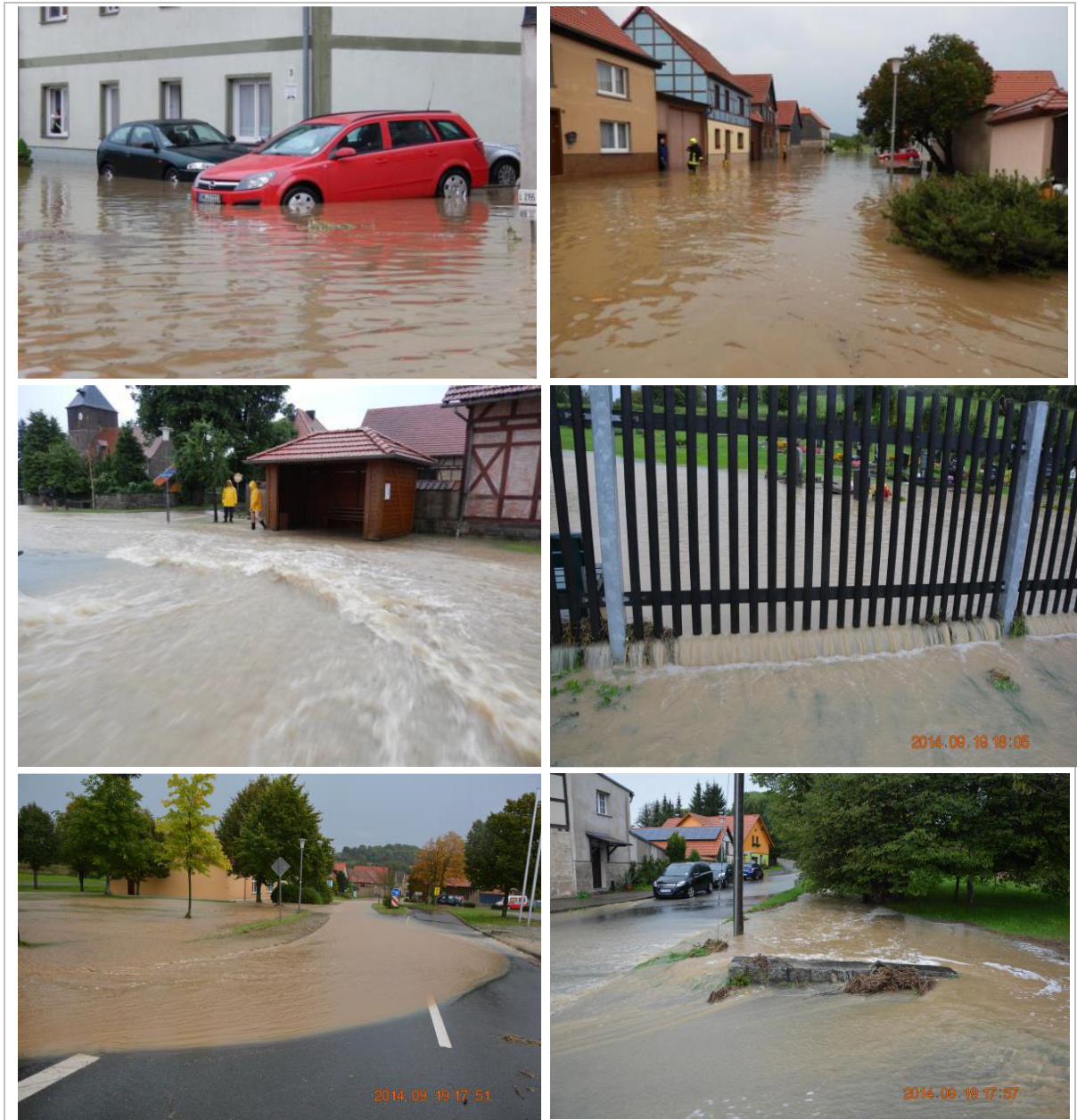


Abbildung 22: Hochwasser am 19. September 2014 – Überflutungen in Gutendorf

4 Hydrologische Grundlagen

4.1 Niederschlags-Abfluss-Modellierung

Für die Ermittlung und Darstellung der Bestandssituation im Hochwasserfall (Ist-Zustand) sowie nachfolgend für die technische Planung von Maßnahmen zum Hochwasserschutz wird vorab eine Ermittlung der Bemessungsabflusswerte notwendig. Die hydrologische Situation im Einzugsgebiet des Hungerbaches wird mittels eines Niederschlag-Abfluss-Modells (N-A-Modell), basierend auf dem SCS-Verfahren nach DVWK-Heft 112 und 113, abgebildet.

Die hydrologischen Berechnungen erfolgten dabei für die Hochwasserereignisse $HQ_{(T)}$ mit einem Wiederkehrintervall $T = 2, 5, 10, 20, 25, 50$ und 100 mit verschiedenen Niederschlagsdauern. Die maximalen Scheitelabflüsse der Berechnungen entsprechen den maßgeblichen Abflüssen, die nachfolgend als Datengrundlage für die hydraulische Modellierung dienen. Die Ermittlung der Hochwasserscheitelabflusswerte $HQ_{(T)}$ erfolgte separat für zwei Bezugspunkte – OT Gutendorf und Bad Berka.

Neben der Ermittlung der Hochwasserscheitelabflusswerte $HQ_{(T)}$ wurde auch anhand der „Echtzeit“-Niederschlagsdaten die hydrologische Situation in Gutendorf beim Hochwasserereignis vom 19.09.2014 mittels N-A-Modellierung nachgebildet. Die ermittelten Hochwasserscheitelwerte zeigen, dass in dem Gebiet eine Sturzflut abgelaufen ist, die aus einem kurzen und extrem intensiven Niederschlagsereignis resultierte. Diese Erkenntnisse über Entstehung und Verlauf dieses Ereignisses wurden im Zuge der hydraulischen Modellierung und Planung von HW-Schutzmaßnahmen für die Ortslage berücksichtigt.

Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise bei der N-A-Modellierung ist der Anlage A-1 zu entnehmen.

4.2 Herausstellung und Abgleich der hydrologischen Daten für die weiterführende Projektbearbeitung

In der nachfolgenden Tabelle 4 und Tabelle 5 sind die Hochwasserscheitelwerte $HQ_{(T)}$ für den Hungerbach als hydrologischer Längsschnitt für den Ist-Zustand aufgelistet worden. Diese Hochwasserscheitelwerte $HQ_{(T)}$ wurden für die weiterführende Bearbeitung – hydraulische Berechnungen Ist-Zustand – verwendet.

Je nach Betrachtungsweise hinsichtlich der Ermittlung der Hochwasserscheitelabflusswerte $HQ_{(T)}$ für die Ortslage Gutendorf – Ansatz: Gesamteinzugsgebiet Hungerbach oder nur Teileinzugsgebiet Ortslage Gutendorf – errechneten sich aufgrund der hier anzusetzenden, abweichenden Niederschlagshöhen nach KOSTRA (Flächenwichtung) geringfügig unterschiedliche Scheitelabflüsse $HQ_{(T)}$ (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5. Weitere Erläuterungen dazu sind der Anlage A-1, Kap. 2.2.2 und 2.2.6 zu entnehmen.

Für die Berechnungen des Plan-Zustandes erfolgte in Abhängigkeit der Maßnahmenplanung (Vorzugsvariante) ggf. eine Modifizierung der Hochwasserscheitelwerte $HQ_{(T)}$ (siehe dazu Kap. 8.2).

Tabelle 4: Hydrologischer Längsschnitt (Bezug Bad Berka) – Ist-Zustand

Fließgewässerquerschnitt	Hochwasserscheitelabflusswerte $HQ_{(T)}$ [m ³ /s]							
	A_E [km ²]	T=2a	T=5a	T=10a	T=20a	T=25a	T=50a	T=100a
Hungerbach								
Oberhalb Ortslage Gutendorf	0,50	0,30	0,50	0,67	0,86	0,92	1,13	1,34
Ortslage Gutendorf	0,81	0,50	0,82	1,09	1,39	1,49	1,82	2,16
Unterhalb Ortslage Gutendorf	1,64	0,87	1,43	1,92	2,45	2,63	3,21	3,82
Tiefborntal 3	2,91	1,29	2,15	2,91	3,75	4,03	4,94	5,90
Tiefborntal 2	3,59	1,52	2,57	3,50	4,54	4,89	6,02	7,21
Tiefborntal 1	4,01	1,64	2,78	3,80	4,94	5,32	6,56	7,87
Oberhalb Siedlung Tiefborn	6,69	2,22	3,82	5,25	6,91	7,46	9,24	11,1
Oberhalb Mündung Erfurter Bach (Kerntal)	7,41	2,39	4,11	5,67	7,47	8,07	9,99	12,1
Unterhalb Mündung Erfurter Bach (Kerntal)	10,77	2,76	4,76	6,58	8,67	9,36	11,6	14,1
Oberhalb Gewerbegebiet Bad Berka	11,11	2,82	4,83	6,65	8,73	9,43	11,9	14,3
Unterhalb Gewerbegebiet Bad Berka	12,12	3,15	5,40	7,42	9,73	10,5	13,2	15,9
Mündung in den Schleußen-graben	12,16	3,18	5,47	7,52	9,84	10,7	13,4	16,2

Tabelle 5: Hydrologischer Längsschnitt (Bezug Gutendorf) – Ist-Zustand

Fließgewässerquerschnitt	Hochwasserscheitelabflusswerte $HQ_{(T)}$ [m ³ /s]							
	A_E [km ²]	T=2a	T=5a	T=10a	T=20a	T=25a	T=50a	T=100a
Hungerbach								
Oberhalb Ortslage Gutendorf	0,50	0,33	0,57	0,77	0,99	1,06	1,30	1,55
Ortslage Gutendorf	0,81	0,56	0,93	1,25	1,60	1,71	2,09	2,48
Unterhalb Ortslage Gutendorf	1,64	0,97	1,63	2,19	2,82	3,02	3,70	4,41

Die Hochwasserscheitelwerte $HQ_{(T)}$ für den Berechnungsabschnitt der Ilm stellte die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie zur Verfügung. Die in Tabelle 6 angegebenen Hochwasserscheitelwerte $HQ_{(T)}$ wurden für die hydraulischen Berechnungen im 2D-HN-Modell angesetzt.

Tabelle 6: Maßgebende Hochwasserscheitelwerte $HQ_{(T)}$ für die Ilm

Querschnitt	HQ ₂ [m ³ /s]	HQ ₅ [m ³ /s]	HQ ₁₀ [m ³ /s]	HQ ₂₀ [m ³ /s]	HQ ₂₅ [m ³ /s]	HQ ₅₀ [m ³ /s]	HQ ₁₀₀ [m ³ /s]
uth. Mündung Schwarza	25,9	40,9	52,7	64,8	68,9	81,3	93,5

5 Hydraulische Berechnungen

5.1 Grundlagen

Die hydraulischen Berechnungen für den Hungerbach erfolgten mit dem Programm HYDRO_AS-2D in der Version 2.2. Für die Modellvorbereitung und Modellauswertung wurde das daran gekoppelte Programm SMS genutzt. Für die Vorlandnetzgenerierung wurde das Programm LASER_AS-2D herangezogen.

Das Strömungsmodell HYDRO_AS-2D wurde von Dr. Marinko Nujic entwickelt und seit 2003 kommerziell vertrieben. Seit 2003 ist Hydrotec Vertriebspartner von Dr. Nujic. Im Sommer 2014 hat Hydrotec den Vertrieb aller HYDRO_AS-2D-Produkte übernommen. Dr. Nujic und Hydrotec entwickeln die Software gemeinsam weiter. HYDRO_AS-2D wurde an die Oberfläche des SMS-Programms von Aquaveo sowie als Add-on zu Kalypso direkt gekoppelt, d.h., die mittels SMS-Programm bzw. Kalypso erzeugten Ausgabedateien dienen HYDRO_AS-2D als Eingangsdaten. Die Berechnungsergebnisse werden wiederum mit SMS bzw. Kalypso eingelesen und veranschaulichend dargestellt.

HYDRO_AS-2D besitzt folgende grundlegende Eigenschaften, auf die bei der Erstellung von Berechnungsgrundlagen zu achten ist.

Die Lösung der Strömungsprobleme basiert bei HYDRO_AS-2D auf den **tiefengemittelten 2D-Flachwassergleichungen (FWG)**. Bei dieser Vereinfachung der 3D-NSG wird der vertikale Impuls vernachlässigt, wodurch sich der Anteil der Impulserhaltung in z-Richtung auf hydrostatische Druckverhältnisse reduziert. Für die Impulse in x- und y- Richtung wird zusätzlich auf die konvektiven Anteile der Geschwindigkeitskomponente „w“ in z-Richtung verzichtet. Dies bezieht sich sowohl auf die Impuls- als auch die Massenerhaltungsgleichungen. Da bei der zweidimensionalen Betrachtungsweise davon ausgegangen wird, dass der z-Anteil eines Kontrollvolumens sich vom Wasserspiegel bis zur Gewässersohle erstreckt, erfolgt eine Integration der 3D-Gleichungen über die Tiefe „h“.

Die **Turbulenzmodellierung** erfolgt über die Kombination aus empirischem Viskositätsansatz und abschnittsweise konstanter Viskosität. Grundlage dafür ist die statistische Turbulenzmodellierung über **Wirbelviskositätsmodelle** in Form eines **Nullgleichungsmodells**.

HYDRO_AS-2D verwendet für die Zeitdiskretisierung das **explizite Runge-Kutta-Verfahren 2. Ordnung**. Explizite Verfahren verwenden zur Berechnung der Variablen für den nächsten

Zeitschritt t^{n+1} bzw. t^{m+1} ausschließlich die bereits bekannten Werte der Variablen aus dem aktuellen Zeitschritt t^n bzw. t^m . Diese Betrachtungsweise ist sehr vorteilhaft in Bezug auf die rechnergestützte Umsetzung und damit einhergehenden Rechenaufwand. Problematisch und damit auch ein großer Nachteil ist, dass ein möglicher Fehler im räumlichen Schritt (Δx , Δy) zum Zeitpunkt t^n nicht korrigiert werden kann, was zur Folge hat, dass das Verfahren bei anwachsenden Zeitschritten instabil wird. Um dies zu vermeiden, muss eine Beschränkung bei der Wahl der Zeitschrittlänge festgelegt werden. Dazu dient die Courant-Friedrichs-Lewy (**CFL**) – Bedingung, auch Courant-Zahl (Cr) genannt, welche angibt, wie weit sich eine betrachtete Größe pro Zeitschritt maximal fortbewegt. Je nach vorliegender Gitternetzgröße Δx kann somit eine maximal zulässige Zeitschrittgröße festgelegt werden, damit die Stabilität des Modells gewährleistet ist.

Als numerischer Lösungsansatz wird für HYDRO_AS-2D zur **räumlichen Diskretisierung** die **Finite-Volumen-Methode (FVM)** genutzt. Das Prinzip der FVM ist, dass das vorliegende Modellgebiet in eine endliche Anzahl von Kontrollvolumina V_i zerlegt wird. Das Verfahren zur Anordnung des Kontrollvolumens V_i und der damit verbundenen unbekannteren Erhaltungsgröße, bezogen auf das vorhandene Berechnungsgitter, ist frei wählbar. HYDRO_AS-2D bedient sich dabei dem **Zellmittelpunktverfahren**, um die Variabilität des Kontrollvolumens als die Variabilität des Gitternetzes anzupassen. Beim Zellmittelpunktverfahren liegen die gesuchten Strömungsgrößen in der Mitte des Kontrollvolumens V_i . Die Lage der Zellränder wird mit Hilfe eines Streckenzugs über die Mittelpunkte der benachbarten Gitterzellen gebildet. Der numerische Fluss wird über die Zellränder interpoliert. Zudem ist die Struktur des Kontrollvolumens, vor allem bei unstrukturierten Elementen, vielfältiger, aber aufgrund der Mittelung über die umgebenden Zellen abhängig von den Gütekriterien bzgl. der Netzelemente, um unnötige Interpolationen aufgrund schmaler Dreiecke zu vermeiden.

Zur besseren Abbildung des **konvektiven Strömungsanteils** wird in HYDRO_AS-2D das sogenannte „Upwind-Verfahren“ genutzt, um inhärente physikalische Dämpfungen zu berücksichtigen, die sich automatisch an den Strömungsgradienten anpassen. Stabilitätsstörungen können dabei bereits im physikalischen Vorgang gedämpft werden, wodurch u.a. Unstetigkeiten und Oszillationen in den Ergebnissen vermieden werden.

Zur Diskretisierung des **diffusiven Strömungsanteils** werden von HYDRO_AS-2D die sogenannten **Zentraldifferenzen der Finiten-Differenzen-Methode** genutzt.

Des Weiteren sind für ein HYDRO_AS-2D-Modell **globale Parameter** festzulegen, welche vor allem die Genauigkeit und den damit verbundenen Rechenaufwand beeinflussen. Dies beinhaltet insbesondere *die Abflussbedingungen, die Simulationszeit (Total Time), den Zeitschritt (Time Step), die minimale Wassertiefe (H_{min}), die maximal zu berücksichtigende Fließgeschwindigkeit, Minimale Elementgröße (A_{min})*. Das Prinzip der „gefrorenen Zellen“ wird über den H_{min} -Wert definiert und legt fest, ab wann eine Berechnung in einer Zelle aktiv wird. Dies dient dazu, dass bei Benetzung und Trockenfallen einer Zelle ab dieser Tiefe h_{min} das Volumen dieser gespeichert wird. Unterhalb dieser vorgeschriebenen Höhe werden die Massen- und Impulsaustausche unterdrückt. Grundlage für das Vorkonditionieren stellt die Festlegung des A_{min} -Wertes dar. Das Residuum kann über einen Vergleich vom A_{min} -Wert mit den Flä-

chen der Kontrollvolumina gedämpft werden. Dies erfolgt über einen Multiplikationsfaktor „ k “, der dem Residuum beigefügt wird. Wenn $A_{KV} < A_{min}$ ist, wird das Residuum folglich gedämpft. Im anderen Fall bleibt es unverändert. Bei kleineren Elementen erfolgt eine größere Dämpfung.

Die **Abflussberechnung** mit HYDRO_AS-2D erfolgt grundsätzlich instationär bzw. quasistationär. Dafür stehen 2 Berechnungsmodule mit unterschiedlichem Zeitdiskretisierungsansatz zur Verfügung. Das eigentliche Berechnungsmodul ist „HYDRO_AS“, welches zur 2D-Simulation von instationären Prozessen dient. Dieses Modul bedient sich des expliziten Runge-Kutta-Verfahrens 2. Ordnung für eine so genau wie mögliche Näherungslösung, vor allem für hochstationäre Vorgänge, wie bspw. eine Dammbrechwellenausbreitung. Für die Simulation von stationären bzw. geringfügig instationären Abflussberechnungen dient das Berechnungsmodul HYDRO_AS-1STEP, welches eine Vereinfachung von HYDRO_AS darstellt, da es lediglich eine Zeitdiskretisierung 1. Ordnung, wie bspw. dem expliziten Euler-Verfahren, durchführt. Der Vorteil dieser Berechnungsvariante ist die benötigte Rechenzeit, welche sich deutlich minimiert.

In HYDRO_AS-2D werden sowohl über- als auch durchströmte **Bauwerke** modelliert. Bei überströmten Bauwerken, wie bspw. Wehre, Rampen, Straßendämme oder Deiche, erfolgt die Berechnung über die empirische Überfallformel. Dabei besteht die Wahl zwischen dem Vorgehen nach DU BUAT (über Energiehöhe) oder POLENI (über Wasserstand). Durchströmte Bauwerke sind sowohl rechteck- und kreisförmige Durchlässe, Brücken und weitere Bauwerke, bei denen eine Durchströmung möglich ist. HYDRO_AS-2D bietet die Möglichkeit durchströmte Bauwerke mittels 2D-Modellierung oder über empirische Formel zu berechnen. Bei der Bauwerksmodellierung über das 2D-Modellnetz erfolgt die Abbildung über die exakte Geometrie des durchströmten Querschnittes sowie die Integration von konstruktiven Unterkantenwerten als punktuelle Randbedingung am Berechnungsknoten. Bei der Berechnung des durchströmenden Abflusses über den empirischen Ansatz werden für die korrekte Abflussermittlung zwischen 4 Zuständen zur Abbildung von Freispiegel- und Druckabflussverhältnissen unterschieden. Somit wird bei der Berechnung der Einfluss des Fließzustandes und folglich die Lage der Abflusskontrolle berücksichtigt.

Je nach Relevanz für die Simulation wird zwischen äußeren und inneren **Randbedingungen** unterschieden. Bei den äußeren Randbedingungen handelt es sich um die Zu- und Ablaufränder im Modell, denen eine Charakterisierung und spezifische Werte für benötigte Strömungsgrößen zugeordnet werden. Man unterscheidet grundlegend zwischen offenen und geschlossenen Rändern. Geschlossene Ränder gelten als nicht durchströmte, da die vertikale Geschwindigkeitskomponente in diesem Bereich zu Null gesetzt wird. Diese Bedingung findet beispielsweise bei extremen Erhöhungen, wie Wänden, Anwendung. Offene Modellränder gelten hingegen als durchströmte Bereiche, über die ein Massenaustausch mit der Umgebung stattfinden kann. Diese werden als Zulauf- und Auslauftrandbedingungen angewandt.

Als **Anfangswertbedingungen** stehen bei HYDRO_AS-2D die Ansätze „*Ruhezustand*“ (Annahme eines konstanten Wasserspiegels [$h = const., u = v = 0$]), „*hot start*“ (Übernahme von

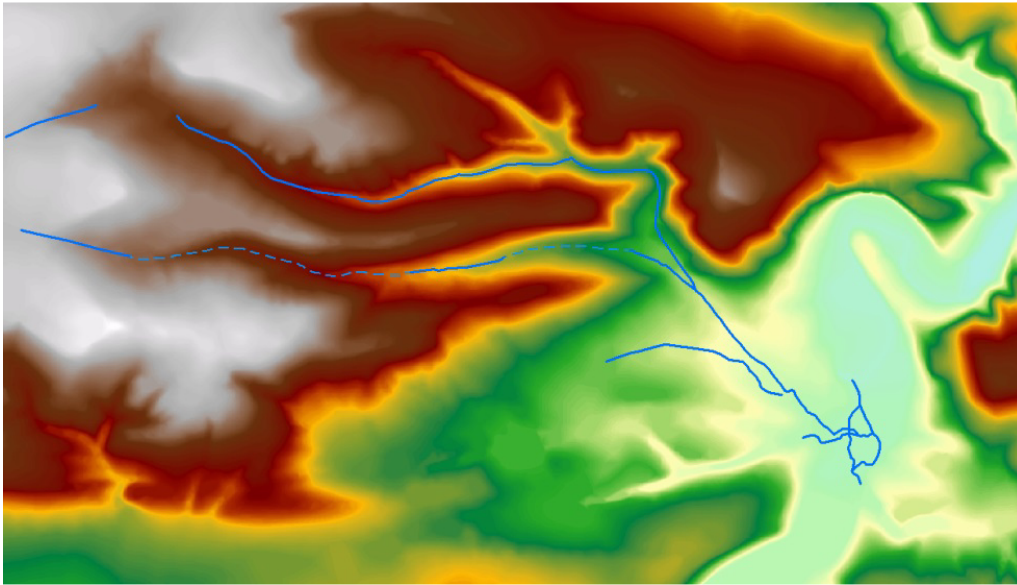


Abbildung 24: Digitales Geländemodell (DGM 2x2)

Sonstige verwendete Datengrundlage und Informationen:

- Bestandspläne – Kanalnetz Bad Berka
- 2D-Mündungsmodell der Ilm
- Fotodokumentation zu abgelaufenen HW-Ereignissen (HWSK Gutendorf [9]).

Bezüglich des digitalen Geländemodells (DGM) wurden zur Verfügung gestellte DGM-Daten im Punktraster 2 m x 2 m (und 5 m x 5 m für die Erweiterung der Gewässervorländer) verwendet. Die Ausgangsdaten des digitalen Geländemodells wurden auf Plausibilität und Vollständigkeit geprüft. Dementsprechend erfolgte eine Kontrolle, ob die längsbegleitenden Strukturen im Vorland im notwendigen Maße enthalten sind.

Zur weiteren Verwendung und zur Gewährleistung von Qualität und Genauigkeit wurden die DGM-Punkte in ein 1 x 1 m-Raster umgewandelt.

5.2 Aufbau des hydraulischen Modells

Die Erstellung des 2D-HN-Modells erfolgte auf Basis und Kopplung mehrerer Programmsysteme. Für die Zusammenstellung und Aufbereitung aller notwendigen Geodaten wurde *ArcGIS 10.3* verwendet. Insbesondere die Vorbereitung der Vermessungsdaten für die 2D-Flussschlauch- und Vorlandmodellerstellung erfolgte über das Geoinformationssystem. Weiterhin kam im Rahmen des **Pre-Processing** die Software *SMS 10.1* zum Einsatz, welche hierbei für die Flussschlauchmodellerstellung sowie die Kontrolle und bzw. Korrektur des gesamten 2D-HN-Modells genutzt wurde (Einbau von Bauwerken, Rauheitsverteilung, Plausibilisierung, Festlegung von Randbedingungen). Zur Generierung des Vorlandes wurde die Software *LASER_AS-2D* verwendet.

Flussschlauch

Die Erstellung des Flussschlauchmodells erfolgte auf Basis der Querprofilinformation als 3D-Polylinien und den Bruchkanten der quer- und längsbegleitenden Bauwerke aus der terrestrischen Vermessung sowie in Anlehnung an den definierten Verlauf der Böschungsoberkante bzw. Uferlinie gemäß DGM.

Bis zur Böschungsoberkante erfolgte die Modellierung ausschließlich über Daten der terrestrischen Vermessung. Die Bruchkanten der terrestrischen Vermessung wurden im Uferbereich zwischen den Profilen GIS-technisch an die Lauform des Gewässers angepasst. Ab der Böschungsoberkante werden im Vorlandbereich die Höhenwerte des DGM genutzt.

Die Implementierung der Querbauwerke erfolgte gemäß den terrestrischen Vermessungsdaten. Bei den Brückenbauwerken sind im Modell die Widerlager in Form von ausgeschnittenen Elementen berücksichtigt sowie die Bauwerksunterkanten über s.g. „KUK-Werte“ höhenmäßig erfasst worden. An einigen Brückenbauwerken wurde zudem ein Wehrüberfall an den Brücken definiert, um eine mögliche Überströmung zu gewährleisten und einen unplausiblen Aufstau zu verhindern. Sohlensprünge wurden entsprechend ihrer Geometrie in das Berechnungsnetz integriert.

Ufermauern – sofern vorhanden – wurden vordergründig entsprechend der terrestrischen Vermessung im Modell abgebildet.

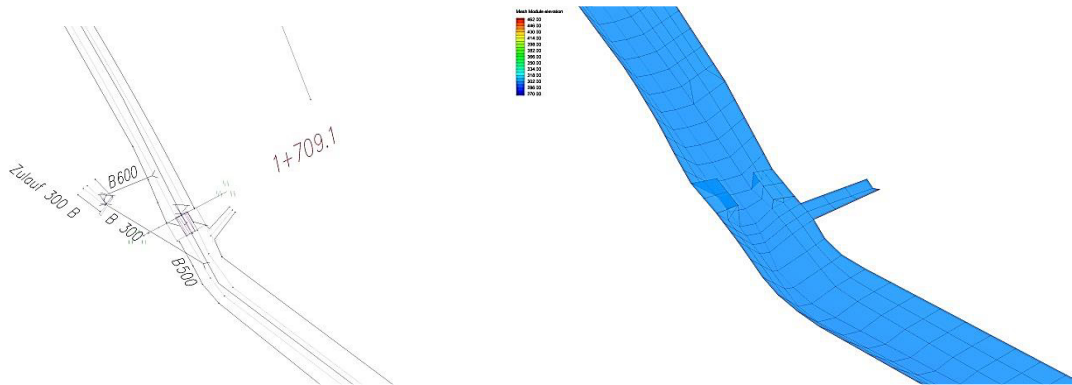


Abbildung 25: Flussschlauchmodell Hungerbach (li: Lageplan terrestr. Vermessung, re: 2D/3D-Modell)

Vorland

Die Erstellung des Vorlandmodells erfolgte mit dem Programm *LASER_AS-2D* in 3 Schritten. Zuerst erfolgt die Aufbereitung von Bruchkanten-Themen mit Hilfe von *SMS 10.1*. Dabei wird für nachfolgende Themen jeweils eine map-Datei erstellt:

- Flussschlauchnetz
- Terrestrische Bruchkanten
- Modellgrenze
- Gebäudeumrisse

Zudem sind die Dateien Holes.xy (dient zur Identifizierung des Flussschlauchpolygons) sowie Raster.xyz (DGM 1) zur Netzerstellung mit *LASER_AS-2D* nötig.

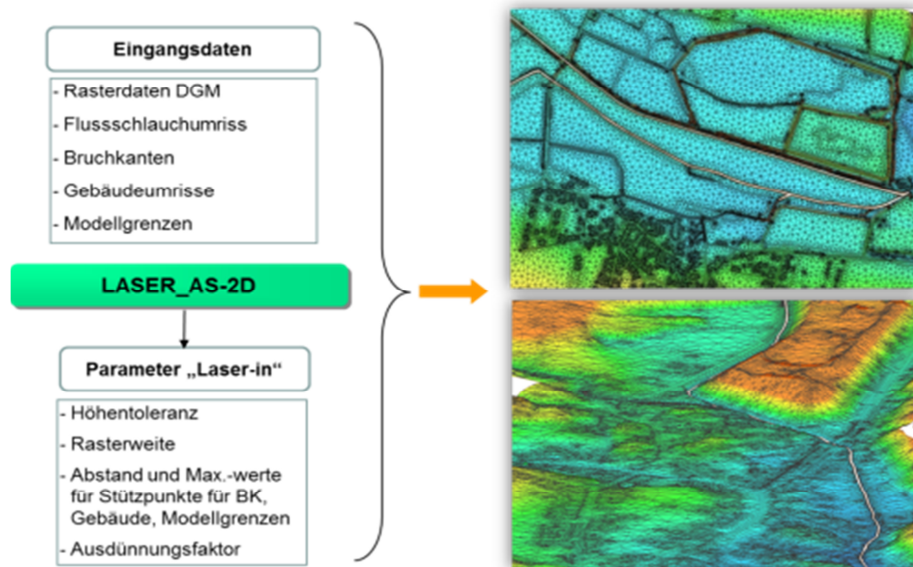


Abbildung 26: Vorlandmodellierung mit Laser_as-2D

Im zweiten Schritt erfolgt unter Angabe von Netzerstellungskriterien in der Steuerungsdatei Laser-in.dat (Bspw. Punkteverteilung entlang von Bruchkanten) die automatisierte Netzgenerierung (siehe Abbildung 27). Nach der Entwicklung unterschiedlicher Vorlandnetze mit differenzierten Parametern zur Netzerstellung erfolgt im letzten Schritt eine Plausibilisierung der Vorzugsvariante. D.h. mit Hilfe von Luftbildern und dem zur Verfügung gestellten DGM 2 werden Netzbereiche optimiert, um zum einen eine möglichst genaue Abbildung der Topografie und zum anderen ein numerisch stabiles Berechnungsnetz zu erhalten.

2.0	Rasterabstand (dxy) [m]
0.20, 0.50	Höhtoleranz [m] (dz1: Standardwert, dz2: für mit Tol_z.map definierte Bereiche)
6.0	Redistribute (d1) [m]
2	Radius für die Ermittlung der Maximalwerte (in Hinblick auf Deichkrone); vgl. Handbuch Wichtig: Radius bezieht sich auf den Rasterabstand, z.B. 2 bedeutet Radius = 2 x dxy [m]
0	Koeffizient, kann 0 oder 1 sein 0 = Die Nachbarn - Bruchkantenpunkte werden für die Bestimmung der Maximalwerte nicht verwendet 1 = Die Nachbarn - Bruchkantenpunkte werden für die Bestimmung der Maximalwerte verwendet
0.20	Filterungsgrad (0 = keine Filterung; 0.25 = maximale Filterung)
4., 30	Redistribute - Punktabstand [m], (d1) + winkeländerung für Bruchkanten (Bruch-terrestrisch.map)
4., 30	Redistribute - Punktabstand [m], (d1) + winkeländerung für Gebäude (Gebäude.map)
8., 30	Redistribute - Punktabstand [m], (d1) + winkeländerung für Umgrenzung (Umgrenzung.map)
200.	

Flag	Definiert Qualität des resultierenden DGMS
2, 2	DGM_Qualität = (1...4), d1_min = (1...4) 1 = geringere Genauigkeit, weniger Netzpunkte 4 = höhere Genauigkeit, mehr Netzpunkte

Abbildung 27: Aufbau einer Steuerungsdatei für LASER_AS-2D

Das folglich entstandene Vorlandmodell wurde daraufhin mit dem Flussschlauchmodell in *SMS 10.1* zusammengefügt. Daran anschließend erfolgte eine Prüfung auf Plausibilität des erstellten 2D-HN-Modells hinsichtlich der Geländeverläufe und Höhenlagen, jeweils im Abgleich mit den Vermessungsdaten, Vorort-Fotos und weiteren Geodaten.

Rauheitsbeiwerte k_{st}

Im letzten Schritt des Modellaufbaus erfolgte die 2D-Verteilung der Rauheitszonen. Grundlage dafür bildeten die vom AG zur Verfügung gestellten Vorortfotos sowie Luftbilder. Bei der Verteilung der Rauheitszonen wurde eine Abgrenzung zwischen Flussschlauch und Vorland vorgenommen. Je nach Gebietsverhältnissen wurde der Detaillierungsgrad der Nutzungsflächen angepasst.

Im Gewässer erfolgte eine abschnittsweise Unterteilung in Rauheitszonen. Dabei wurde zusätzlich zwischen Grabensohle und Uferbereich unterschieden, wodurch eine 3-Zonen-Unterteilung im Gewässerquerschnitt entsteht.

Nach der Verteilung der Rauheitszonen wurden den einzelnen Nutzungen Rauheitsbeiwerte (k_{st} [$m^{(1/3)}/s$]) auf Grundlage von Erfahrungswerten und den örtlichen Gegebenheiten zugewiesen.

Die hydrodynamisch-numerischen Berechnungen erfolgten mit dem Finite-Volumen-Programm *HYDRO_AS-2D* (Version 2.2), welches an *SMS* gekoppelt ist und somit einen reibungslosen Austausch von Ein- und Ausgabedaten gewährleistet. Zudem können globale und interne Randbedingungen und Parameter direkt im *SMS* eingegeben werden.

Das erstellte 2D-HN-Modell (Ausschnitte) ist in den nachfolgenden Abbildungen grafisch dargestellt.

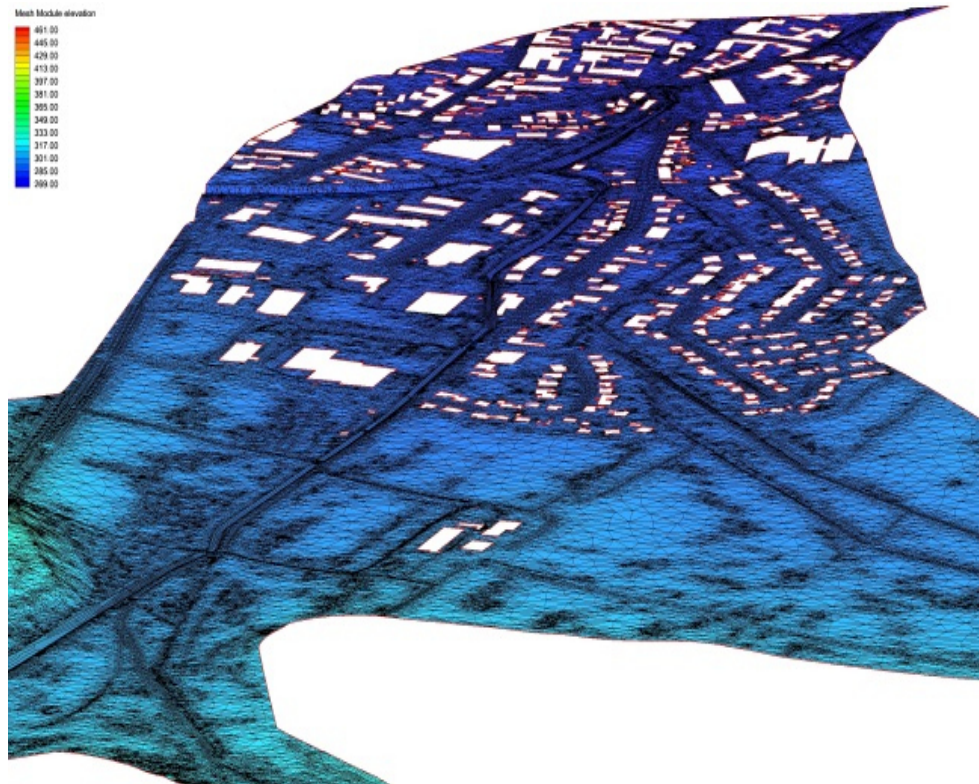


Abbildung 28: Bad Berka - Ausschnitt aus dem 2D-Modell in 3D-Darstellung

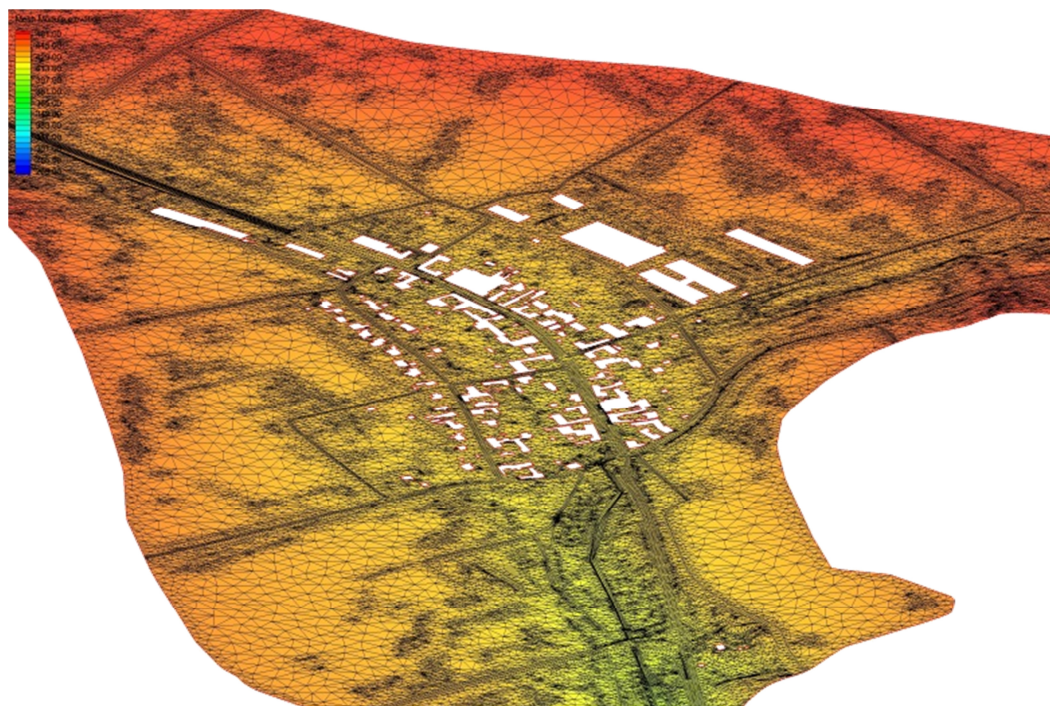


Abbildung 29: Gutendorf - Ausschnitt aus dem 2D-Modell in 3D-Darstellung

Gebietsspezifische Feinheiten

In Gutendorf erfolgte für eine exakte Abbildung der Fließwege bzw. der Strömungssituation im Hochwasserfall eine Verfeinerung der baulichen Strukturen, wie Gebäudekanten und Einfriedungen (Mauern und Tore) im Modell.

5.3 Sensitivitätsanalyse

Zur Prüfung der Modellsensitivität wurde der Rauheitsparameter im Flussschlauch um $k_{st} +5$ und $k_{st} -5$ variiert. Dadurch wurde eine Abschätzung eines eventuellen Fehlers, bspw. infolge jahreszeitlicher Schwankungen der Struktureigenschaften, ermöglicht.

Die angesetzten Rauheitsbeiwerte nach Strickler sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Dabei ist zu beachten, dass für Beton sowie rauem Beton keine Variation vorgenommen wird.

Aufgrund des abweichenden Modellansatzes für Gutendorf (siehe Kapitel 5.4) erfolgt eine Auswertung ausschließlich im Siedlungsbereich von Bad Berka.

Tabelle 7: Angesetzte Rauheitsparameter im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse

Nutzungs-kategorie	Rauheitsbeiwert k_{st} [$m^{1/3}/s$]		
	$k_{st} -5$	k_{st}	$k_{st} +5$
Asphalt	60	65	70
Bahngleis	25	30	35
Beton	60	60	60
Beton rau	55	55	55
Gehölz	16	21	26
Gehweg	35	40	45
Holz	53	58	63
Krautwuchs	16	21	26
Mauer	43	48	53
Mittlerer Kies	28	33	38
Pflasterstein	40	45	50
Rasen	33	38	43
Sand, Schlamm	33	38	43
Steinig	20	25	30
Weg, befestigt	30	35	40
Wiese	20	25	30

Die Abbildung 30 zeigt die Häufigkeitsverteilung der auftretenden Wasserspiegellagendifferenzen. Es ergeben sich weitestgehend sehr kleine bis keine Veränderungen der Wasserspiegellagendifferenzen in Bad Berka. Gründe hierfür sind zum einen die dominanten Bauwerke, welche durch ihre Geometrie bei Einstau die Wasserspiegellagen vorgeben, und zum anderen die ausgeprägten Vorlandströmungen, welche durch die Variation des Rauheitsparameters im Flussschlauch unbeeinflusst bleiben.

Die mittleren Wasserspiegellagendifferenzen liegen zwischen 1 cm für $k_{st} -5$ und -1 cm für $k_{st} +5$. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass in Bad Berka sowohl für eine Erhöhung als auch Verringerung des k_{st} -Wertes eine annähernd gleiche Modellsensitivität vorliegt.

Neben den geringen Veränderungen der Wasserspiegellagen ergeben sich zudem kaum Veränderungen in der lateralen Ausdehnung der Überschwemmungsflächen. Beispielhaft sind hierfür die Überschwemmungsflächen der unterschiedlichen Rauheitsansätze von Station 0+4271 bis Station 0+8510 in Abbildung 31 dargestellt.

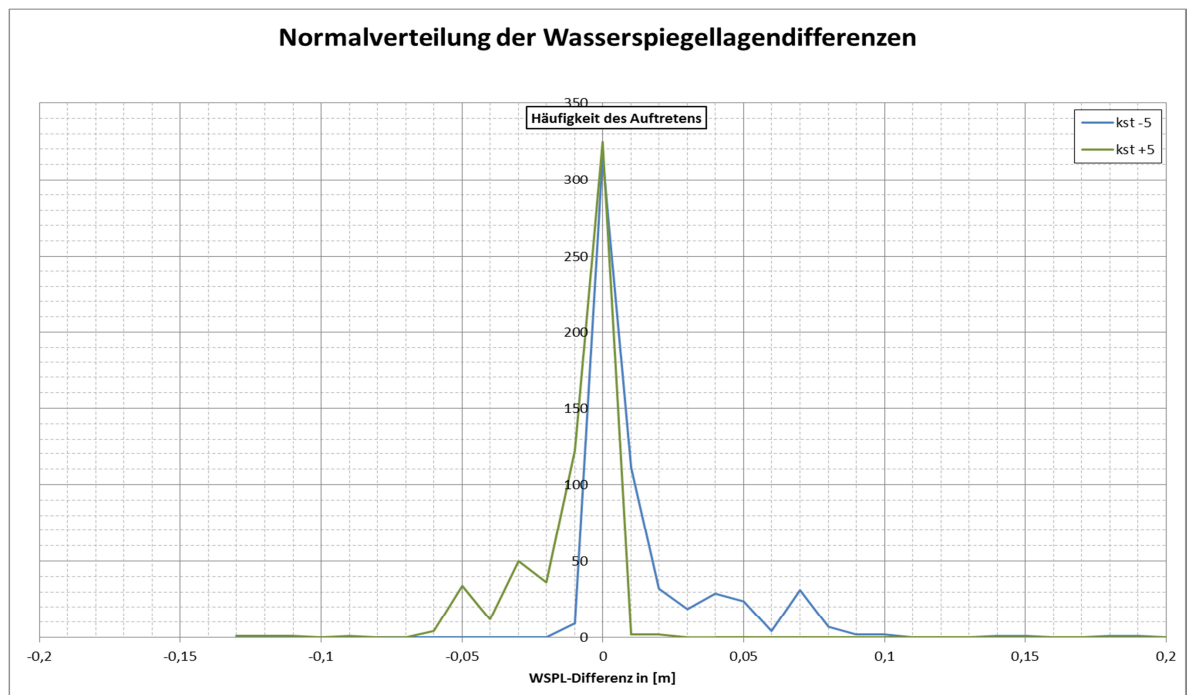


Abbildung 30: Normalverteilung der Wasserspiegellagendifferenz im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse in Bad Berka

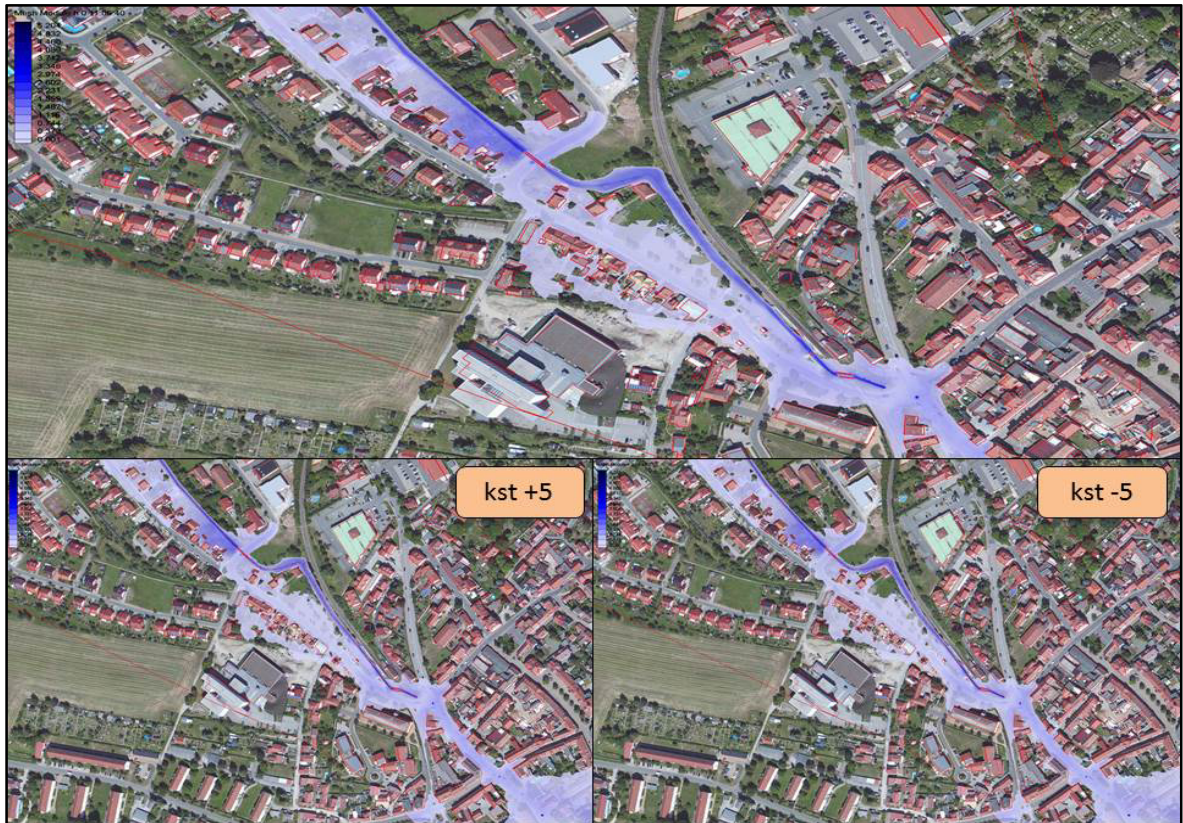


Abbildung 31: Veränderung der Überschwemmungsflächen durch Variation des Rauheitsparameters im Flussschlauch

5.4 Modellkalibrierung

Die Modellkalibrierung erfolgt im Bereich Gutendorf anhand von Vorortfotos des Hochwasserereignisses vom 19.09.2014 [9] und der im Rahmen einer Bürgerversammlung gesammelten Informationen. Diese zeigen eine flächenhafte Strömungscharakteristik in und um Gutendorf. Die bisherige Vorgehensweise sieht punktuelle Zuflüsse im Gerinne vor. Da der Hungerbach und die zufließenden Straßengräben im Siedlungsgebiet verrohrt sind, kann dieser Ansatz nicht zur Abbildung der realen Fließverhältnisse gewählt werden.

Um die Vorortverhältnisse der Starkregenszenarien von 2013 und 2014 modelltechnisch korrekt abbilden zu können, wurde separat zum gesamtheitlichen Simulationsansatz für den Hungerbach eine sogenannte **Sturzflutmodellierung** ausschließlich für die **Ortslage Gutendorf** durchgeführt.

Bei der standardmäßigen 2D-Modellierung werden an bekannten Abflussstandorten Zulaufbedingungen angegeben (beispielsweise aus einem Nebengraben). D. h., der Zulaufstrom bei einem Hochwasser ist bekannt. Für die Ortslage Gutendorf hingegen ist diese Vorabschätzung der Zuströmwege bei Hochwasserereignissen nur bedingt ableitbar. Nach ersten Testberechnungen konnte u. a. im Rahmen von Öffentlichkeitsbeteiligten festgestellt werden, dass

nicht alle Zuflussbereiche im Modell erfasst wurden. Für die N-A-Modellierung wurden im Vorfeld natürliche Fließwege anhand des digitalen Geländemodells erfasst (vgl. Abbildung 32).



Abbildung 32: Ermittelte natürliche Fließwege im Einzugsgebiet von Gutendorf („Flow Accumulation“)

Aufgrund der Komplexität und Vielzahl an Abflusssträngen ist eine exakte Aufteilung der Abflusswerte auf die einzelnen Fließwege nur ansatzweise möglich. Darüber hinaus können nur punktuelle Zuflüsse im standardmäßigen Ansatz definiert werden. Anhand der Äußerungen von Anwohnern und des AG sind in der Vergangenheit bei Starkregenereignissen flächendeckende Sturzfluten aus den umliegenden Hängen der Ortslage zugeflossen. Um diesem Phänomen gerecht werden zu können, wurde eine andere Herangehensweise an die hydraulische Modellierung für die Ortslage gewählt.

Bei dem Ansatz der Sturzflutmodellierung werden nicht die in der hydrologischen Voruntersuchung ermittelten Abflusswerte Q , sondern die für die Abflussbildung verantwortlichen effektiven Niederschlagshöhen N_{eff} angesetzt.

Die Eingangsgrößen für die Sturzflutmodellierung sind dementsprechend Niederschlagshöhen in mm bis l/m^2 im 5 min-Intervall für ein Regenereignis mit einer Dauer von 2 bis 3 h. Für die Ortslage Gutendorf wurden insgesamt 5 Teileinzugsgebiete betrachtet, die unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für ein Regenereignis mit einer bestimmten Wiederkehrwahrscheinlichkeit aufweisen. In Abbildung 33 ist eine Niederschlagsverteilung für ein Teileinzugsgebiet

(TEZG) mit der entsprechenden Niederschlagsintensität bzw. Niederschlagshöhe je Zeitintervall (5 min) für die gesamte Laufzeit des Regenereignisses dargestellt.

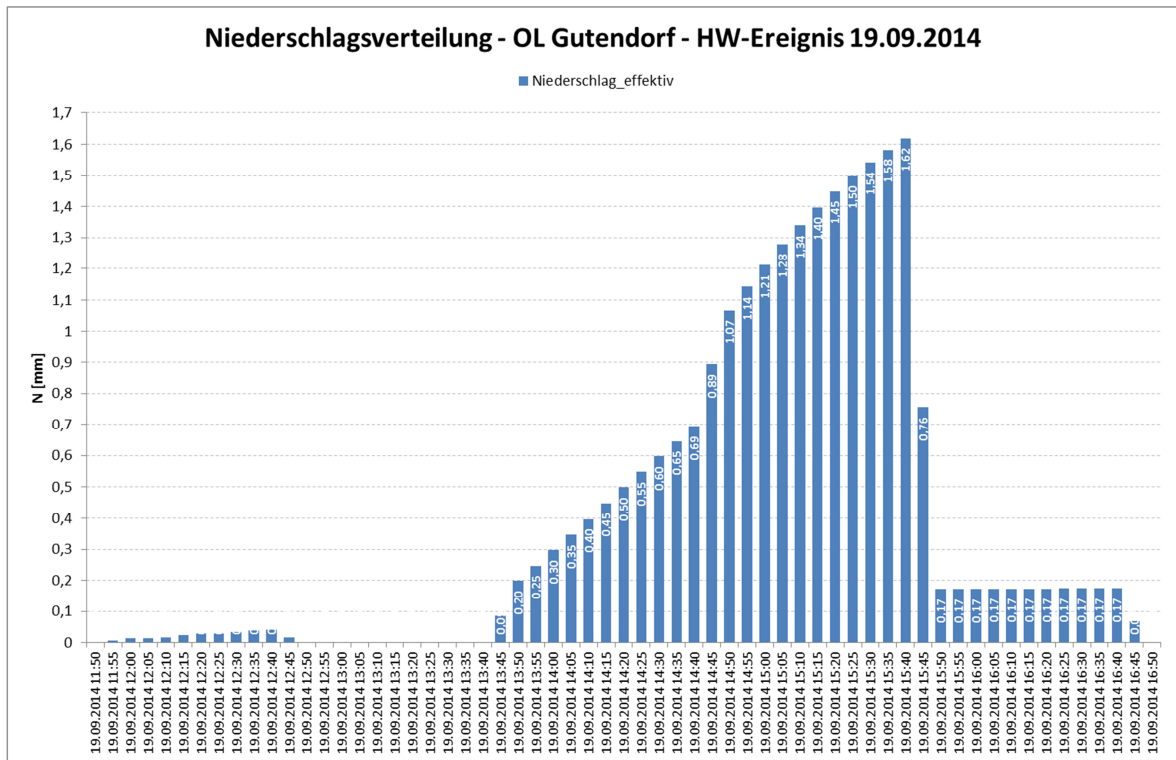


Abbildung 33: Verteilung effektiver Niederschlag Neff für ein TEZG für das Regenereignis vom 19.09.2014

Diese Verteilung zuzüglich der Verteilungen der anderen 4 Teileinzugsgebiete sind die Eingangsgrößen in das Modellsystem für die Sturzflutmodellierung. Aufgrund der dauerhaften Veränderungen der Niederschlagshöhe über die Zeit musste für jedes Zeitintervall eine eigenständige Modellberechnung generiert werden, die am Ende zu einem gesamtheitlichen Simulationsmodell zusammengeführt wurden. Aufgrund dieser notwendigen Vorgehensweise und der insgesamt erforderlichen 38 Einzelsimulationen ist die Sturzflutmodellierung sehr komplex, liefert jedoch die erwarteten Resultate hinsichtlich der Überschwemmungsflächen im gesamten Gebiet in und um Gutendorf.

Durch die Sturzflutmodellierung wurde gewährleistet, dass durch die quasi flächige und zeitabhängige Regensimulation großflächige Überschwemmungsflächen im Hangbereich um Gutendorf durch Sturzfluten nachgebildet werden konnten.

Das Ergebnis der Sturzflutmodellierung für das Regenereignis vom 19.09.2014 ist in Abbildung 34 dargestellt und entsprechend dem Zustand nach ca. 2 Stunden Regendauer (Zeitpunkt der maximalen Regenintensität).

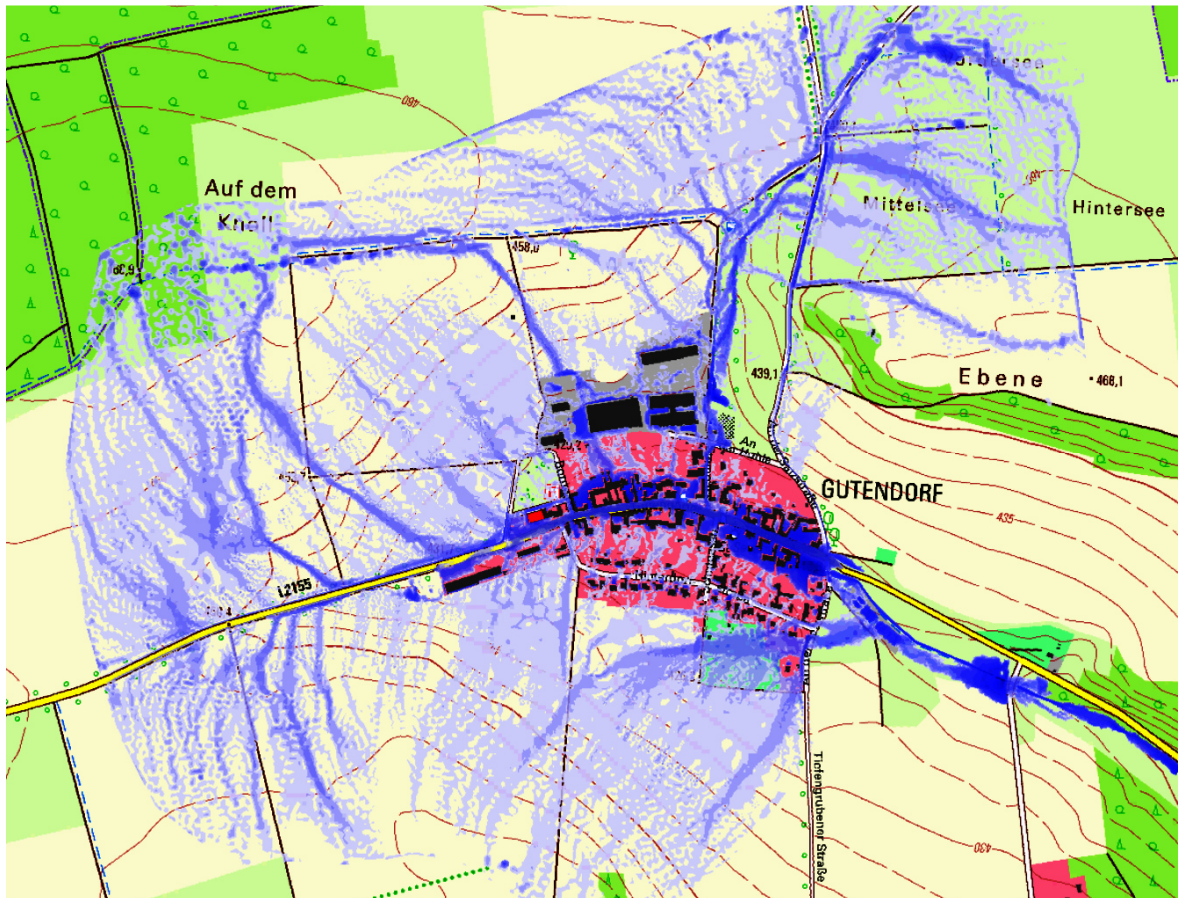


Abbildung 34: Ergebnis Sturzflutmodellierung zum Regenereignis vom 19.09.2014

Die Ergebnisse decken sich mit den vorliegenden Erfahrungsberichten und Fotodokumentationen vom damaligen Hochwasserereignis. Innerhalb der Ortslage liegen Wassertiefen im Mittel von 0,5 bis 1,0 m vor. Lokal, insbesondere im Unterdorf oberhalb des Abflussdurchlasses unter der Landstraße bzw. der Tiefengrubener Straße, steigen die Wassertiefen auf bis 2 m an und überströmen letztendlich selbige Straße, da der Zustrom nur mit zeitlicher Verzögerung Richtung Unterwasser abfließen kann. Dadurch wird maßgeblich der rückstaubedingte Aufstau in der Ortslage während eines Starkregenereignisses erzeugt.

Der Abfluss vom Regenereignis liegt nach hydrologischen Grundlagen über einem 100-jährigen Hochwasserereignis.

Eine Kalibrierung im Bereich Bad Berka wurde anhand von Dokumentationen zu abgelaufenen Hochwasserereignissen in 2013 und 2014 durchgeführt. Die durch das N-A-Modell und über die Radolan-Daten ermittelten Abflusswerte für die Starkregenereignisse aus 2014/2013 wurden mit dem 2D-Modell nachgerechnet und im Abgleich mit den vorhandenen Video- und Fotodokumentationen analysiert sowie bestätigt. Beispielhaft dazu sind in Abbildung 35 Modellergebnisse mit Videoaufnahmen vom Hochwasser 2013 im Bereich der Brauhausstraße in Bad Berka gegenübergestellt. Die damaligen Aufnahmen konnten mit dem Modell reproduziert werden.

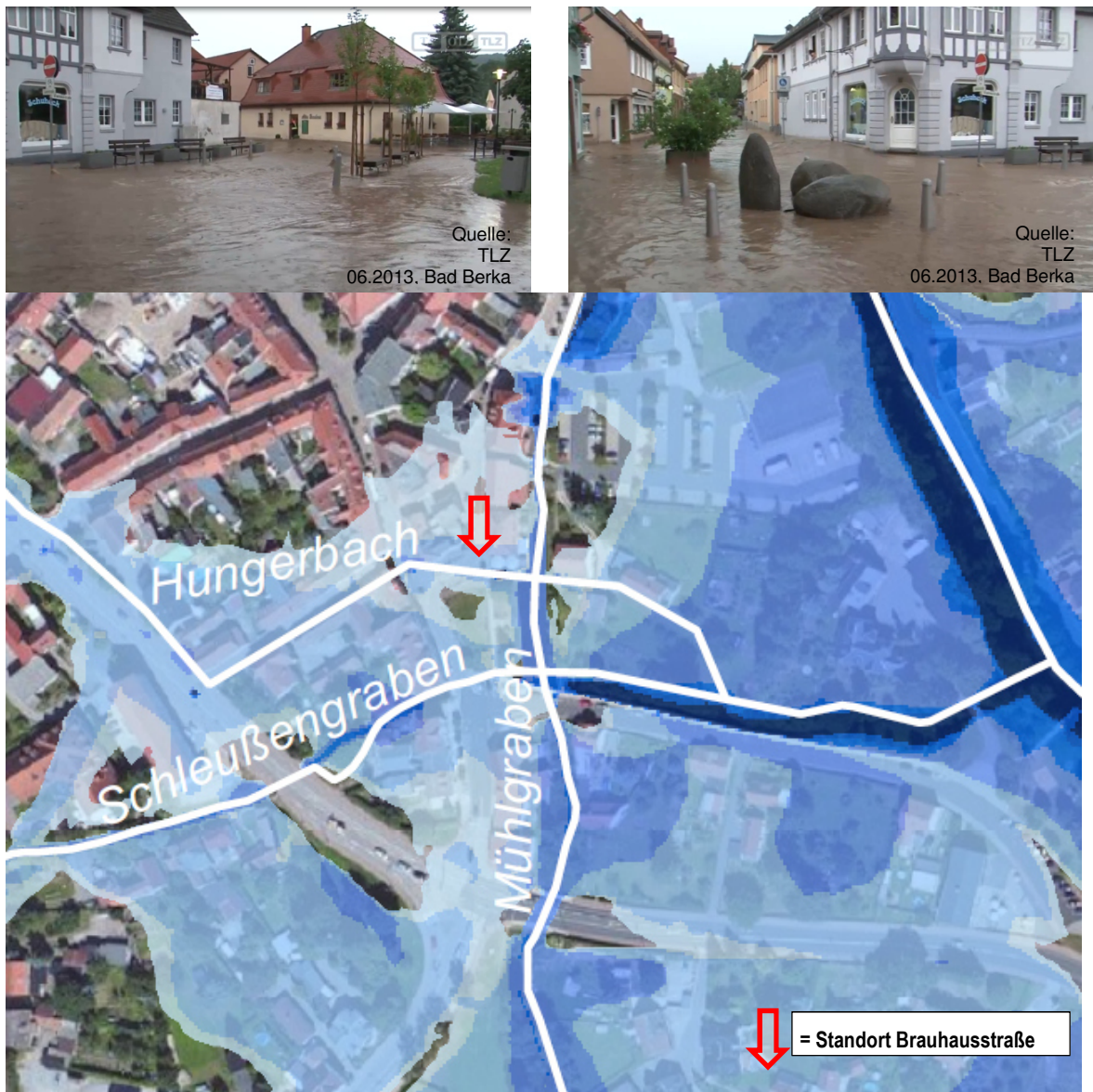


Abbildung 35: Bsp. Modellkalibrierung in Bad Berka (Brauhausstraße) im Vergleich zu abgelaufenen Hochwasserereignissen aus 2013 bzw. 2014

5.5 Durchführung der hydraulischen Berechnungen Ist-Zustand

Die für die hydraulischen 2D-Berechnungen definierten HQ_T -Werte wurden vom AN im Vorfeld ermittelt und sind tabellarisch und längsschnittbezogen für die untersuchten Gewässer aufgelistet (vgl. Tabelle 4 und Tabelle 5). In dem hydrologischen Längsschnitt sind sowohl die Durchflussänderungen aufgrund von einleitenden Nebengewässern als auch die Abflusszunahmen aus Teileinzugsgebietsflächen vorhanden.

Für die Bemessungslastfälle HQ_T wurden die Eingangsdaten aus dem hydrologischen Längsschnitt übernommen und angepasst. Die lokalen Zuflüsse konnten direkt im 2D-HN-Modell an dem einleitenden Gewässer angesetzt werden. Bei den diffusen Zuflüssen (Zunahmen aus Teileinzugsgebietsflächen) musste eine Differenzierung hinsichtlich der Zunahmemenge vorgenommen werden. Je nach Größe der Differenz im Zwischengebiet wurde diese Abflussänderung auf mehrere Stützstellen im betroffenen Abschnitt verteilt, um die Abflusszunahme im Gewässerverlauf allmählich darzustellen. Ebenso wurden Zuflüsse aus Hanglagen bzw. seitlichen Tälern in Zwischengebieten auch adäquat im Modell als seitliche Gebietszuflüsse angesetzt, um eine natürliche Abflusskonzentration in Richtung Hungerbach sowie natürliche Fließwege im Einzugsgebiet realitätsnah im Modell abzubilden.

Für das Vorflutgewässer der Ilm wurden adäquat zum Hungerbach Abflusswerte mit identischer Wiederkehrwahrscheinlichkeit (HQ_{100} Hungerbach/Schleußengraben trifft auf HQ_{100} Ilm) angesetzt, um die maximale Beeinflussung und Hochwasserbetroffenheit in Bad Berka modelltechnisch zu erfassen und abzubilden. Die Abflusswerte der Ilm können der Tabelle 6 entnommen werden.

Somit beschreibt die Abflussdefinition im Modell sowie im Ergebnis der Berechnungen die Darstellung der Überschwemmungsflächen in der Karte gemäß Anlagen B-1.1 und B-2.1 für den Mündungsbereich der Gewässer bzw. für Bad Berka den sogenannten „Worst-Case“-Fall. Erfahrungsgemäß ist ein Zusammentreffen von Hochwasserabflusswellen mit gleicher Wiederkehrwahrscheinlichkeit (insbesondere hier HQ_{100}) jedoch nur äußerst selten zu erwarten, auszuschließen ist dieses jedoch nicht. Beobachtungen und gewonnene Erkenntnisse bei Hochwasserereignissen an vergleichbaren Gewässern (ähnliche Gewässergrößen und -eigenschaften) zeigen, dass z.B. bei einem HQ_{100} -Ereignis im mündenden Nebengewässer meist etwa bordvoller Abfluss im Hauptvorfluter besteht bzw. sich hier Wasserstände bei einem Abfluss HQ_2 bis HQ_{10} einstellen.

5.6 Auswertung der hydraulischen Berechnungen Ist-Zustand

Die Berechnungsergebnisse vom Rechenkern Hydro_AS-2D werden standardmäßig im SMS-Programm visualisiert.

Folgende Scalar- und Vectorwerte können zusätzlich in das ESRI Shape-Format konvertiert werden:

- Wasserspiegellage über Gelände (WSPL minus elevation),
- Gelände über Wasserspiegellage,
- Wasserspiegellage über NHN (WSPL),
- Fließgeschwindigkeitsbetrag (Veloc Scalar),
- Fließgeschwindigkeitsvektor (Veloc Vector),
- Geländehöhe (elevation),
- Energiehöhe, Froude.

Die Anzahl der Elemente mit gleichen Attributen wird minimiert (dissolve-Funktion).

In Anlehnung an die Erstellung der Hochwassergefahrenkarten in Thüringen wird für die Darstellung von Überschwemmungsgrenzen und Wassertiefen ein Layoutprojekt im ArcGis 10.4 gefertigt. Der Blattschnitt wird frei vom AN gewählt und eine Blattschnittübersicht auf jedem Plan dargestellt.

Die Aufbereitung der Berechnungsergebnisse erfolgte GIS-datentechnisch als Überschwemmungsflächen und Wassertiefen. Zusätzlich wurde die Differenzenfläche HQ_{100} Plan-/Ist-Zustand ermittelt (vgl. Plan B-3).

Weiterhin erfolgte eine auf die vermessenen Querprofile bezogene Auswertung der Wasserspiegellagen im Ist-Zustand (vgl. Anlage A-2) und Plan-Zustand (vgl. Anlage A-6).

Ermittlung der Überschwemmungsflächen und Wassertiefen

Für die Darstellung der Berechnungsergebnisse wurde das digitale Geländemodell mit dem Raster 2 m x 2 m des Thüringer Landesamtes für Vermessung und Geoinformation [5] verwendet.

Aus der Verschneidung des Geländes mit der Wasserspiegellage resultiert die Grenze des Überschwemmungsbereiches, welche die Anschlaglinie des Geländes an der Überschwemmungsfläche ist. Diese Anschlaglinie wurde für alle Hochwasserabflüsse $HQ_{(T)}$ ermittelt. Die Geländehöhen gingen aus den Daten des digitalen Höhenmodells für die Vorlandbereiche hervor.

Zur Berechnung der Anschlaglinie zwischen Wasserspiegellage und Geländeniveau wurden die räumlichen Wasserstandspunktwolken zu einem Raster umgewandelt. Die Verschneidung dieser Höhenschicht mit der Geländehöhe wurde mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) durchgeführt. Dazu wurden die Datengrundlagen aus Geländehöhen und Wasserspiegellagen in das GIS-System überführt, zu je einem Höhenmodell vernetzt und anschließend für die zu betrachtenden Abflussereignisse die Uferlinie berechnet.

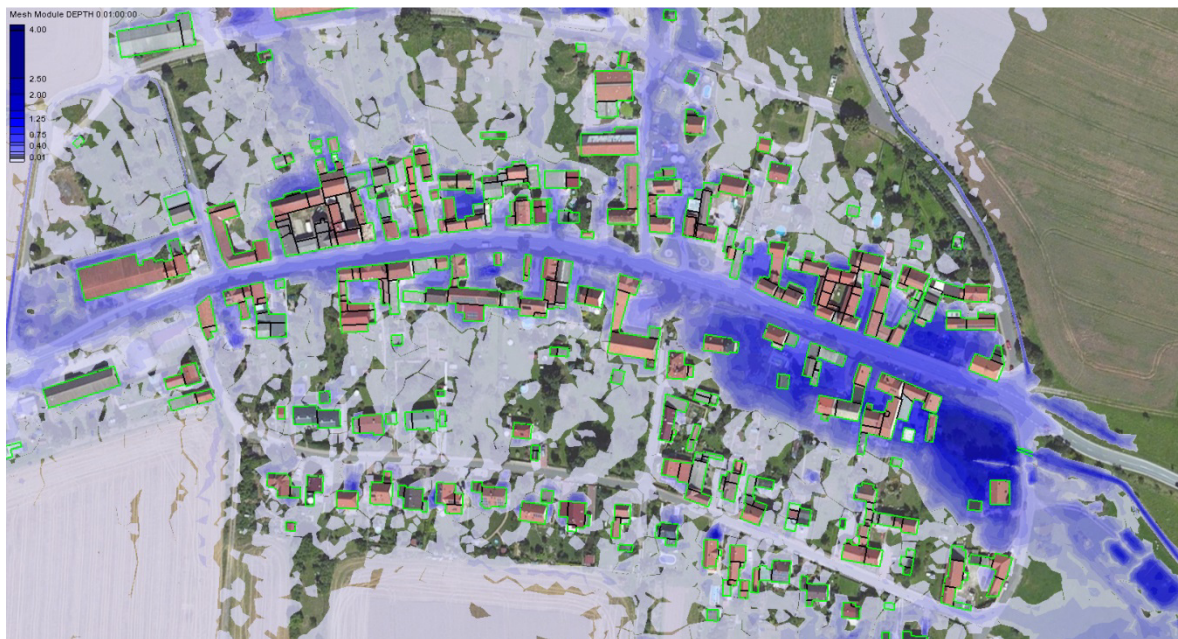


Abbildung 36: Berechnungsergebnisse HQ_{100} im Bereich von Gutendorf

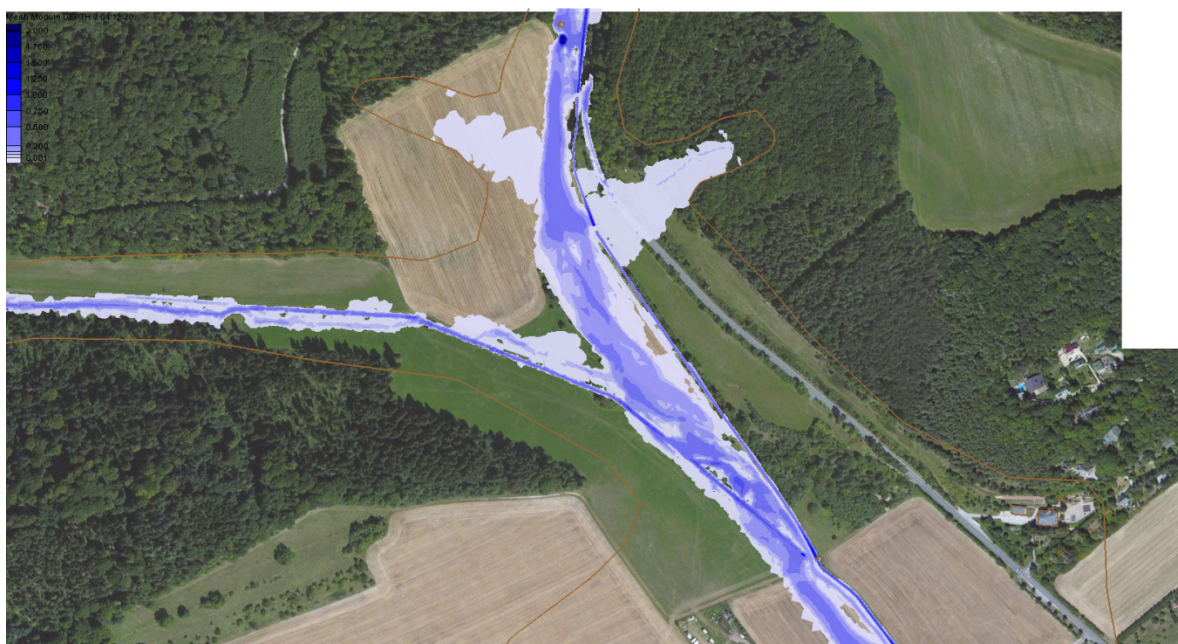


Abbildung 37: Berechnungsergebnisse HQ_{100} oberhalb von Bad Berka im Mündungsbereich vom Zufluss aus dem Erfurter-/Kerntal



Abbildung 38: Berechnungsergebnisse HQ₁₀₀ im Stadtkern von Bad Berka

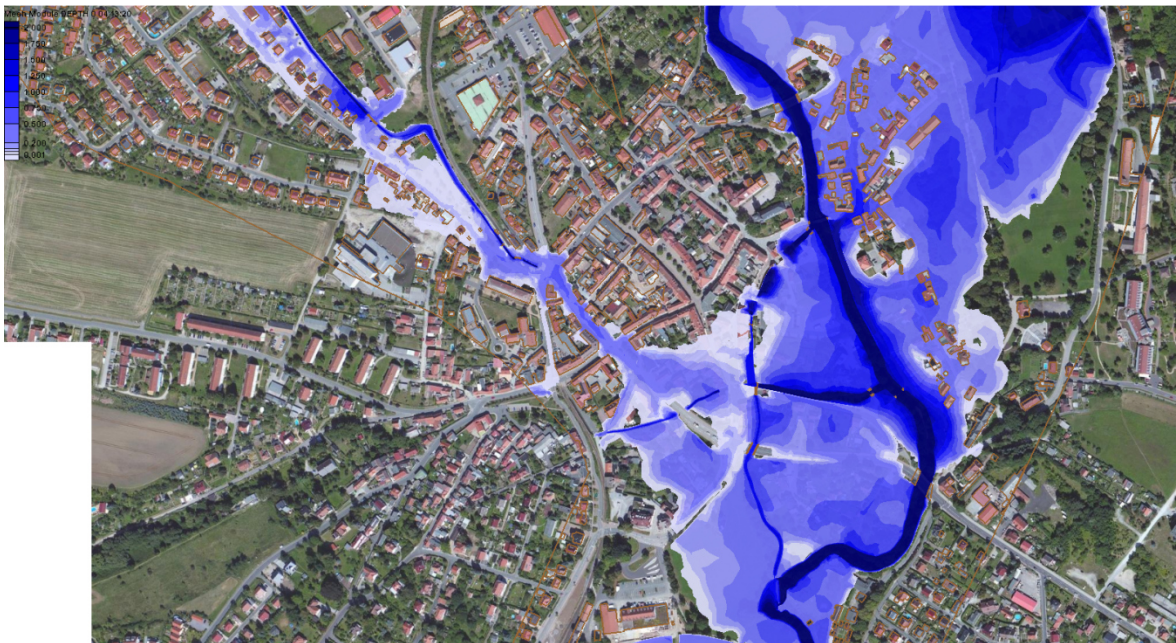


Abbildung 39: Berechnungsergebnisse HQ₁₀₀ im Mündungsbereich vom Hungerbach in die Ilm in Bad Berka

Die sich dabei einstellenden überfluteten Flächen sind in den Überschwemmungs-/Wassertiefenkarten für den Ist-Zustand (Anlagen B-1.1 bis B-1.2) sowie für den Plan-Zustand (Anlagen B-2.1 bis B-2.2) dokumentiert. Die Plausibilitätsprüfung der Überschwemmungsgrenzen erfolgte anhand der TK10 sowie der vorhandenen Aufzeichnungen zu Hochwasserereignissen.

Analog der zuvor beschriebenen Vorgehensweise und als Grundlage für die Ermittlung der Überschwemmungsgebietsflächen wurden in Abhängigkeit von den berechneten Wasserspiegellagen und dem erstellten Höhenmodell die Wasserstände über der Geländeoberkante berechnet. Die als Grundlage für die Ausweisung der Überschwemmungsgrenzen vorliegenden Daten wurden entsprechend der Bearbeitung der Überschwemmungsgebiete auf ihre Plausibilität geprüft und zum Beispiel Bereiche, die nicht hydraulisch im Zusammenhang mit dem Gewässer stehen und nur aufgrund ihrer tieferen Lage mit Wasser als überstaut ausgewiesen sind, nicht dargestellt.

Das Wassertiefen-Shape basiert auf einer Klassifizierung des Wassertiefengrids (zellbasiertes Rastermodell) entsprechend den für die Darstellung der Wassertiefen in Thüringen geltenden Klassenbereichen.

5.7 Defizit- und Gefährdungsanalyse

5.7.1 Defizitanalyse – Auswertung der Überschwemmungsgebietsermittlung

Die Entwässerung im Bereich **Gutendorf** erfolgt durch Straßengräben und einen Mischwasserkanal entlang der Dorfstraße. Zur Orientierung sind in Abbildung 40 die integrierten Straßengräben:

- 1 – Straßengraben L 2155
- 2 – Straßengraben Meckfelder Weg
- 3 – Straßengraben Bornweg
- 4 – Straßengraben Steingasse
- 5 – Straßengraben Troistedter Straße
- 6 - Hungerbach

dargestellt.

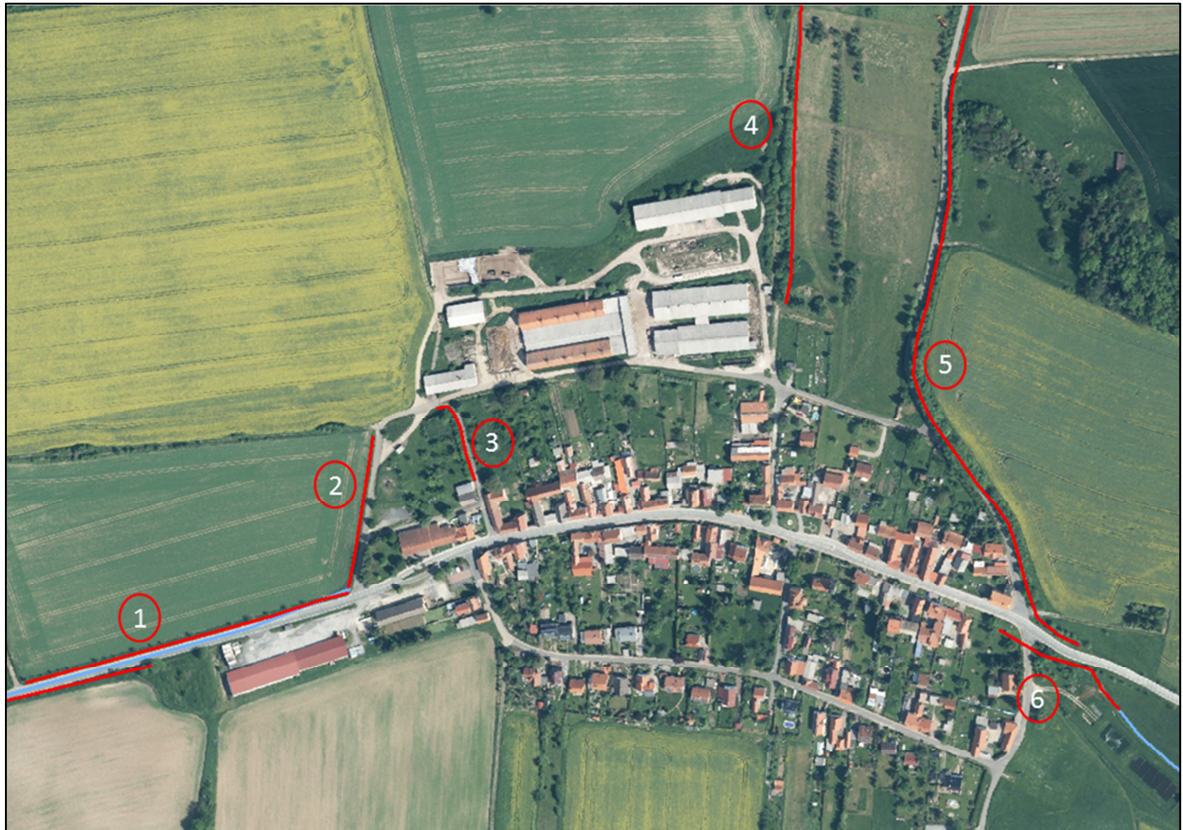


Abbildung 40: Lage der Entwässerungsgräben in Gutendorf

Aufgrund des fehlenden oder nur teilweise vorhandenen Grabensystems kann eine koordinierte Entwässerung der flächenhaften Strömung in Gutendorf nicht gewährleistet werden.

Zwischen Station 7+2180 und 7+4866 strömt abfließendes Niederschlagswasser in Richtung der L 2155, wo es durch zwei Entwässerungsgräben beidseitig der Straße abgeführt wird. Diese haben bis zum Einlauf in den Mischwasserkanal lediglich eine maximale Gerinnekapazität von $0,75 \text{ m}^3/\text{s}$. Im Zusammenwirken mit Rückstauwirkungen am Durchlass Station 7+1229 kommt es zur Überströmung der Landesstraße. Hier wird der südliche Straßengraben mittels Durchlass unter der L2155 in den nördlichen Straßengraben übergeleitet.

Verstärkt wird diese Strömung durch die fehlende Wirksamkeit des Einlaufs in den Mischwasserkanal. Aus Erfahrungsberichten geht hervor, dass dieser durch Geschiebetransport zugesetzt wird, wodurch der Mischwasserkanal nicht zur Entlastung beitragen kann und es schon bei sehr geringen Abflüssen zur Ausuferung des Grabens verbunden mit Überschwemmungen in die Ortslage hinein kommt.

Analoge Verhältnisse bestehen am Einlauf Bornweg. Infolge Ausuferung werden Abflussmengen entlang des Bornweges bis zur Dorfstraße geführt.

Weiterhin ergeben sich Defizite im Bereich der Entwässerung südlich von Gutendorf. Hier existieren derzeit keine Grabenstrukturen, wodurch das Wasser direkt in die Ortschaft gelangt.

Die Grabenstruktur entlang des Feldweges der Steingasse ist weitestgehend ausreichend dimensioniert. Die Strömung wird durch die Verwallung nördlich des Friedhofes gebremst und führt zum Anstieg der Wasserspiegellage. Der Abfluss in diesem Bereich hängt von den Kapazitäten der beiden Durchlässe zum Mischwasserkanalsystem in Gutendorf ab. Im ersten Durchlass können, unter Druckabfluss, 672 l/s abgeführt werden. Diese werden in eine Vertiefung geführt und nach ca. 2 m Freispiegelabfluss durch einen kleineren Durchlass mit einer maximalen Leistungsfähigkeit von 476 l/s abgeführt. Dieser kurzzeitige Freispiegelabfluss verursacht eine Ausuferung, wodurch Wassermengen entlang der Steingasse in Richtung Dorfstraße abfließen.

An der Straßenkreuzung Troistedter Straße/Dorfstraße kommt es zur Überlagerung der Strömungen. Aufgrund fehlender Entwässerungsmöglichkeiten nördlich der L2155 außerhalb von Gutendorf kommt es zum Rückstau am Durchlass der Troistedter Straße (Station 6+4289). Diese führt zur Überstömung der Dorfstraße und zu einer zusätzlichen Belastung des Durchlassbauwerkes an der Straßenüberfahrt der Tiefengrubener Straße. Der Durchlass an der Tiefengrubener Straße weist eine maximale Leistungsfähigkeit unter Druckabfluss von 3,47 m³/s und unter Freispiegelabfluss von 3,06 m³/s auf.

Die Abfluss- und Strömungssituation in **Bad Berka** wird im Wesentlichen durch die vorhandenen Durchlassbauwerke bestimmt. Das vorhandene Gerinne besitzt weitestgehend eine ausreichende Kapazität zur schadlosen Hochwasserabflussführung auf, allerdings kommt es an den Durchlassbauwerken infolge Abflussrückstau zum Aufstau der Wasserspiegellage und somit zu Ausuferungen und Strömungen im Vorland. Diese Vorlandabflussströmungen bleiben vom jeweiligen Ort der Ausuferung bis zur Mündung in den Schleusengraben bestehen und werden durch lokale, zusätzliche Überlagerungen von Ausuferungen verstärkt bzw. durch lokale Strömungen zurück ins Gerinne verringert.

5.7.2 Ausweisung des vorhandenen Schutzgrades (hydraulische Leistungsfähigkeit)

5.7.2.1 Ortslagen

Bezogen auf die Berechnungsergebnisse und die ermittelten Überschwemmungsgebiete $HQ_{(T)}$ sind für Bad Berka und Gutendorf die gegenwärtig vorhandenen Schutzgrade anhand der hydraulischen Leistungsfähigkeit ermittelt worden.

Oftmals sind für die Bestimmung des bestehenden Schutzgrades die Durchflusskapazitäten der Brückenbauwerke bzw. Durchlässe maßgebend (vgl. Kapitel 5.7.2.3).

Bei den betrachteten Ortslagen wird deutlich, dass für die bebauten Ortskerne allgemein ein hohes Hochwasserrisiko vorliegt.

Aufgrund der (zweidimensionalen) Strömungssituationen im Bereich von Gutendorf (hier kein Gewässer im eigentlichen Sinne vorhanden) ist eine Schutzgradausweisung anhand von $HQ_{(T)}$ -Werten nicht möglich. Im Allgemeinen kann daher von einer schadlosen Entwässerung mit einer maximalen Wassertiefe von 10 cm ausgegangen werden.

Die Ortslage **Bad Berka** weist gegenwärtig einen Hochwasserschutz bzw. einen **Schutzgrad von einem zwei- bis fünfjährlichen Hochwasserereignis** auf.

5.7.2.2 Außerhalb der Ortslagen

Die Hochwasserbetroffenheit gewässernaher Flächen ist zwischen Bad Berka und Gutendorf lokal unterschiedlich. In Bereichen von Gewässerquerungen (Durchlässe oder Brückenbauwerke) kommt es zu Ausuferungen ab einem **HQ₂ bis HQ₅**. Ansonsten besteht Hochwasserbetroffenheit aufgrund von Ausuferungen aus dem Gerinne ab einem HQ₅₀.

5.7.2.3 Bauwerke (Brücken, Durchlässe)

Die Ermittlung des vorhandenen Schutzgrades von wasserbaulichen Anlagen (Brücken, Durchlässe, Stege) erfolgte über die Bestimmung des vorhandenen Freibordes mittels Differenzbildung zwischen der maßgeblichen Konstruktionshöhe und der simulierten Wasserspiegellage am Bauwerk für den 100-jährlichen Bemessungslastfall.

Für die Festlegung des vorhandenen Schutzgrades sind die Freibordverhältnisse bezogen auf die Bauwerksunterkante maßgebend. Der Bezugswasserstand wird an der Oberstromseite des Bauwerkes gemessen, um folglich auch Aufstauereffekte zu berücksichtigen.

Als Kriterium für eine Gefährdung sowie für die Ausweisung des vorhandenen Schutzgrades gilt auf Basis der einschlägigen technischen Regelwerke eine Mindestfreibordhöhe von 0,5 m. Abweichend davon erfolgt die Ausweisung des vorhandenen Schutzgrades hier auf die max. Querschnittskapazität und somit bezogen auf die Differenz zwischen der Wasserspiegellage $HQ_{(T)}$ und der maßgebenden Bauwerksunterkante ohne zusätzliche Berücksichtigung eines Freibordmaßes von 0,5 m. Bei zusätzlichem Ansatz eines Freibordmaßes von 0,5 m würde die Mehrzahl der Bauwerke ggf. einen kleineren vorhandenen Schutzgrad aufweisen.

In der Anlage A-3 ist jeweils gewässerbezogen als Übersicht der vorhandene Schutzgrad (Abflusskapazität) sowie die Einstau- und die Überströmungsgefährdung bezogen auf den Bemessungslastfall HQ₁₀₀ des Ist-Zustandes für die im Untersuchungsgebiet befindlichen Brückenbauwerke angegeben worden.

Tabelle 8: Vorhandener Schutzgrad in den Ortslagen - Bauwerke

Gewässer	Stadt / Gemeinde / Ortsteil	Schutzgrad [HQ _T]
Hungerbach	Gutendorf	HQ ₂ bis >HQ ₂₀
Hungerbach	Bad Berka	HQ ₂ bis HQ ₁₀

Im Bereich Gutendorf besitzen lediglich zwei Durchlässe einen Schutzgrad größer HQ₂₀. In Gutendorf überwiegen Bauwerke mit einem Schutzgrad für HQ₂ oder niedriger.

In Bad Berka ist die Mehrheit der Durchlässe und Brückenbauwerke für ein HQ₅ oder niedriger ausgelegt. Lediglich an Station 1+2743 wird ein Schutzgrad von HQ₁₀ erreicht.

5.7.2.4 Hochwasserschutzanlagen (HWSA)

Ausgeprägte und wirksame HWSA (Deiche, Schutzmauern) sind im Untersuchungsabschnitt nicht vorhanden.

Abschnittsweise vorhandene, ufernahe Verwallungen oder verwallungsähnliche Geländeerhebungen wurden hinsichtlich der Schutzgradausweisung nicht separat berücksichtigt.

5.7.3 Gefährdungsanalyse infolge Verklausung

Hinsichtlich der Beurteilung eines möglichen Gefährdungspotentials durch Verklausung wurden unter Beachtung der Berechnungsergebnisse die Querbauwerke (Engstellen) für den gesamten Berechnungsabschnitt untersucht. Bei der Gefährdungsanalyse an Querbauwerken erfolgte neben der Betrachtung der Verhältnisse bezogen auf die Bauwerksunterkante auch eine Freibordanalyse vergleichend zur Bauwerksoberkante, um folglich auch eine vorhandene Überströmungsgefährdung auszuweisen.

Als verklausungsgefährdet werden die Bauwerke (Brücken) eingestuft, an denen bezogen auf den Bemessungsabfluss HQ₁₀₀ kein erforderliches Freibordmaß von 0,5 m zwischen Wasserstand und maßgebender Bauwerksunterkante eingehalten ist. Rohrdurchlassbauwerke werden generell als verklausungsgefährdet betrachtet.

Eine Auflistung aller Brückenbauwerke einschließlich einer Bewertung der bestehenden Abflussverhältnisse (Defizitanalyse) bezogen auf den Abfluss HQ₁₀₀ ist in der Anlage A-3 dokumentiert.

Entlang des Hungerbaches sind von den im Untersuchungsabschnitt vorhandenen Bauwerken (Brücken, Durchlässe und Stege) alle Durchlässe und Brückenbauwerke verklausungsgefährdet.

Ebenfalls liegt eine Überströmung der Bauwerkskonstruktion bei allen im Modellgebiet integrierten Bauwerken vor.

5.8 Beurteilung und ggf. Berücksichtigung der Interaktion mit Gewässern I. Ordnung bzw. anderen relevanten Gewässern

Der Mündungsbereich des Hungerbaches und somit die unteren Abschnitte der Verdolung werden insbesondere bei großen Hochwasserereignissen maßgeblich durch Abflussrückstau der Ilm in den Schleußengraben bzw. infolge Ausuferung der Ilm und Flutung des linken Ilm-Vorlandes im Mündungsbereich des Schleußengrabens beeinflusst.

5.9 Geschiebe- und Schwemmh Holztransport

Gemäß der durchgeführten Vorortbegehung im Untersuchungsgebiet sind nur wenige Bereiche oder Schwerpunkte mit größerer Treib- und Schwemmgutablagerung am Gewässerlauf festgestellt worden.



Abbildung 41: Ausgebaggerte Geröllmassen - obere Ortseinfahrt Gutendorf

Vorhandene Kiesanlandungen in geringer Menge bestehen an wenigen Brücken- und Durchlassbauwerken. Die Ablagerungen führen gegenwärtig in der Mehrzahl jedoch nur zu einer begrenzten Verringerung des Fließquerschnittes.

Abschnittsweise und insbesondere oberhalb der Ortslage Gutendorf ist jedoch teilweise ein erhebliches Potential an Geschiebe-/Geröllmassen (Schlamm, Kies, Schotter und größere Steine) auf den sich anschließenden Vorlandbereichen vorhanden. Dieser Vorrat kann im Hochwasserfall stromab bzw. in die Ortslage transportiert werden und an entsprechenden Engstellen im Gewässer (Bauwerken) zu Verklausungserscheinungen und nachfolgend zur Durchflussbegrenzung oder zum Verschluss dieser führen.

Insgesamt wird eingeschätzt, dass die Problematik von Treib- und Schwemmgut von erhöhter Bedeutung ist. Vorhandene Dokumentationen zu den HW-Ereignissen der letzten Jahre bestätigen den Einfluss von Treib- und Schwemmgut auf die Abflussverhältnisse als Gefährdungspotential.



Abbildung 42: Nach dem HW 19.09.14 in Gutendorf – li: verfüllter Graben mit Geröll re: Geröllablagerungen am Friedhof (Quelle Fotos: HWSK Gutendorf [9])

6 Ableitung von Schutzziele

Die Definition der Schutzziele erfolgt in Anlehnung an die „Richtlinie zur Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten – Empfehlungen für die Ermittlung des Gefährdungs- und Schadenspotentials bei Hochwasserereignissen sowie für die Festlegung von Schutzziele“ des Freistaates Sachsen [12].

Tabelle 9: Schutzziele gemäß Richtlinie im Freistaat Sachsen [12]

Objektkategorie	Mittleres statistisches Wiederkehrintervall T_n in Jahren
Sonderobjekte	im Einzelfall bestimmen
geschlossene Siedlungen	100
Einzelgebäude,	25

Objektkategorie	Mittleres statistisches Wiederkehrintervall T_n in Jahren
nicht dauerhaft bewohnte Siedlungen	
Industrieanlagen	100
überregionale Infrastrukturanlagen	100
regionale Infrastrukturanlagen	25
landwirtschaftliche Flächen	5
Naturlandschaften	-

In den Objektkategorien sind Abstufungen des Wiederkehrintervalls je nach Hochwasserschutzwürdigkeit möglich. Spezifizierungen sind entsprechend den örtlichen Verhältnissen von den Behörden oder auch den Kommunen vorzunehmen.

Sonderobjekte, die bei Hochwasser außergewöhnliche Konsequenzen erzeugen, sind behördlich vorzugeben.

Für landwirtschaftliche Flächen besteht kein oder nur untergeordneter Anspruch auf Hochwasserschutz. In der Regel ist eine der Situation angepasste Landwirtschaft durchzuführen. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist eine generelle Umsetzung der Schutzziele nicht immer möglich, sodass in Einzelfällen davon abgewichen wird. In diesen Fällen wird ein Objektschutz für den betroffenen Bereich empfohlen.

Auf Basis der Bemessungsabflüsse, der berechneten Überschwemmungsflächen (Ergebnisbewertung Ist-Zustand) und den zur Verfügung stehenden Untersuchungsräumen zum Gebietsrückhalt wird deutlich, dass die allgemeingültigen Schutzziele für die vorliegenden Nutzungsflächen entlang des Hungerbaches jedoch nur bedingt eingehalten werden.

Für das Einzugsgebiet des Hungerbaches erfolgte in Abstimmung mit Auftraggeber und der TAB die Ableitung eines bestimmten Maßes an Sicherheit bezogen auf ein Ereignis mit einem bestimmten Wiederkehrintervall in Abhängigkeit von den Nutzungen im Untersuchungsgebiet.

Demzufolge wird für die Festlegung des **Schutzzieles in den Ortslagen des Untersuchungsgebietes ein Niederschlagsereignis angesetzt, welches ein 100-jähriges Hochwasserereignis hervorruft.**

Im Rahmen der folgenden Maßnahmenplanung wird das Schutzziel hinsichtlich der Machbarkeit untersucht.

Der Ansatz der Maßnahmenplanung sieht daher vor, sowohl technische Lösungen als auch Vorsorgemaßnahmen zum maximal realisierbaren Hochwasserschutz für die Ortslagen zu gewährleisten.

7 Maßnahmenplanung/Variantenbetrachtung

7.1 Ableitung von potentiellen Maßnahmen

Unter Berücksichtigung der topographischen Gegebenheiten und der jeweiligen örtlichen Situation werden für einen verbesserten Hochwasserschutz entlang des Hungerbaches sowie zum Schutz der Ortslagen vor zufließendem Niederschlagswasser nach einem Starkregenereignis aus dem umliegenden Hanggelände in erster Linie folgende Maßnahmen betrachtet und geprüft:

- für die Ortslage Bad Berka
 - Retentions- bzw. Rückhaltemaßnahmen zwischen Gutendorf und Bad Berka (außerorts) in Verbindung mit innerörtlichen, technischen Einzelmaßnahmen
 - Objektschutz bzw. operativer Hochwasserschutz an Gebäuden, Öffnungen, Brücken

- für die Ortslage Gutendorf
 - Unterhaltung und Ausbau/Neubau des bestehenden Grabensystems
 - Leitwerke in Hanglage zur Abführung von zufließendem Hangwasser um die Ortslage herum
 - Objektschutz bzw. operativer Hochwasserschutz an Gebäuden, Öffnungen, Brücken.
 - Entwässerung der innerörtlichen Infrastruktur
 - Anpassung Verkehrsflächen im Unterdorf

7.1.1 Maßnahmen des natürlichen Wasserrückhalts, Retentionsräume, Berücksichtigung geänderter Bewirtschaftungsformen in der Aue

Retentionsfördernde Maßnahmen sind im Untersuchungsgebiet vom Hungerbach vordergründig für die Stadt Bad Berka von Bedeutung. Für die Ortslage Gutendorf sind Maßnahmen zum Wasserrückhalt, zur Entwässerung und zu Veränderungen in der Bewirtschaftung in den Auen relevant.

Anhand der durchgeführten hydrologischen und hydraulischen Voruntersuchungen wurden die für die Bemessung relevanten Hochwasserabflussganglinien und die Auswirkungen auf das Untersuchungsgebiet ermittelt. Daraus können wesentliche Aspekte und Randbedingungen für retentionsfördernde Maßnahmen abgeleitet werden.

In der Abbildung 43 sind beispielhaft die ermittelten Hochwasserabflussganglinien für HQ_{100} , HQ_5 und HQ_2 repräsentativ für die Ortslage Bad Berka dargestellt. Anhand der dargestellten Hochwasserganglinien und dem hydrologischen Längsschnitt aus Tabelle 4 ist zu erkennen, dass der Abflussscheitelwert für eine 100-jähriges Hochwasserereignis innerhalb der Ortslage Bad Berka bei ca. $16 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt.

Im Rahmen der Defizitanalyse wurde ermittelt, dass der vorhandene Schutzgrad in Bad Berka zwischen einem HQ₂ und HQ₁₀ liegt. Da innerhalb der Ortslage von Bad Berka aufgrund der Siedlungsdichte kaum Möglichkeiten zu Gewässerausbau- bzw. Gewässerumverlegungsmaßnahmen bestehen, muss für den Hochwasserschutz von Bad Berka der Fokus auf den Wasserrückhalt bzw. die Hochwasserretention im Oberlauf von der Stadt gelegt werden. Die Zielfunktion für die Drosselung des zufließenden Hochwassers leitet sich aus dem vorhandenen Schutzgrad ab. Als Orientierung für die erforderliche Abflussdrosselung wird daher ein Bemessungsabfluss von 3 bis 5 m³/s (HQ₂ bis HQ₅) für Bad Berka angenommen. Da das damit verbundene Retentionsvolumen der Hochwasserwelle relativ groß ist, werden voraussichtlich mehrere einzelne Rückhaltmaßnahmen als Speicherkette im Einzugsgebiet erforderlich sein.

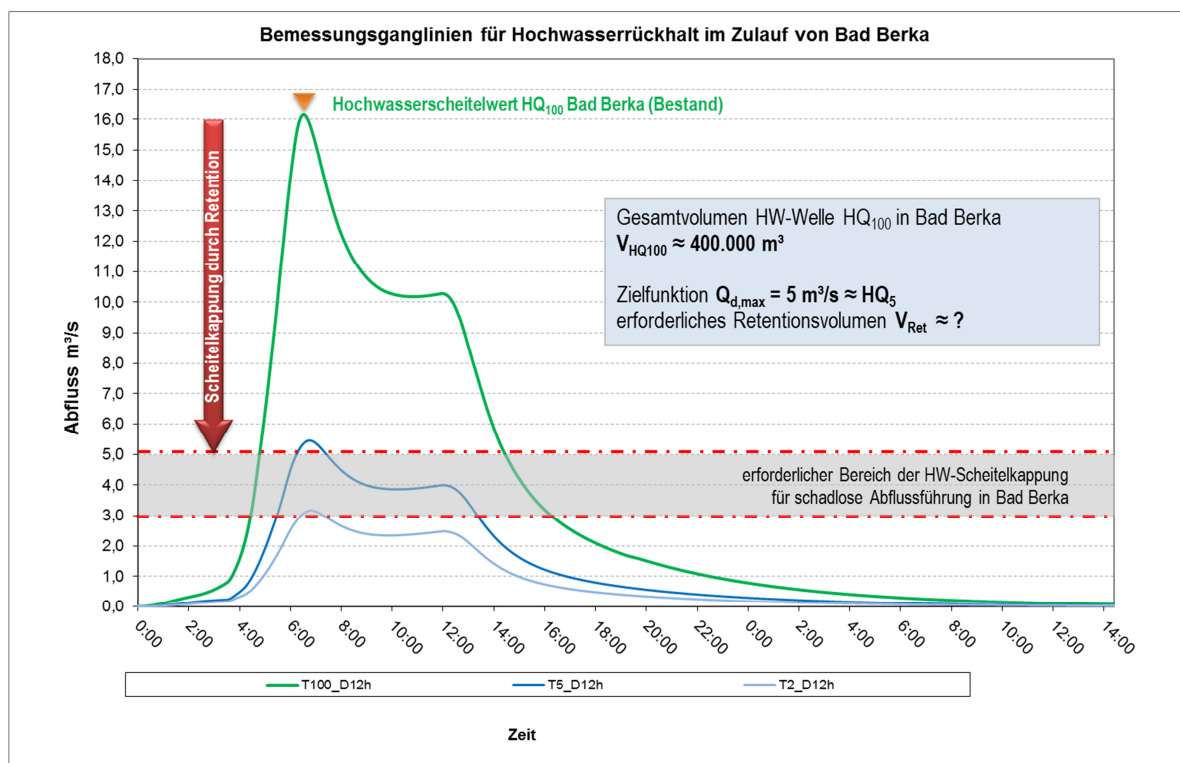


Abbildung 43: Hochwasserabflussganglinien in Bad Berka für HQ₁₀₀, HQ₅ und HQ₂ und erforderliche Bemessungsgrößen für Retentionsmaßnahmen

Im Rahmen einer Voruntersuchung wurden im Einzugsgebiet des Hungerbaches einschließlich Nebengewässern unterschiedliche potentielle Retentions-/Rückhaltestandorte (GIS-basiert) analysiert. Dabei wurden an ausgewählten Standorten Einstaubereiche mit Stauhöhen von 2 bis 7 hinsichtlich der erforderlichen Fläche und dem resultierenden Rückhaltevolumen ermittelt. Als Randbedingung für die Retentionssuche wurden restriktive Schutzgebiete sowie alle innerörtlichen Flächen ausgeklammert. Bei der Betrachtung der topografischen Verhältnisse spielt zudem das Längsgefälle eine entscheidende Rolle.

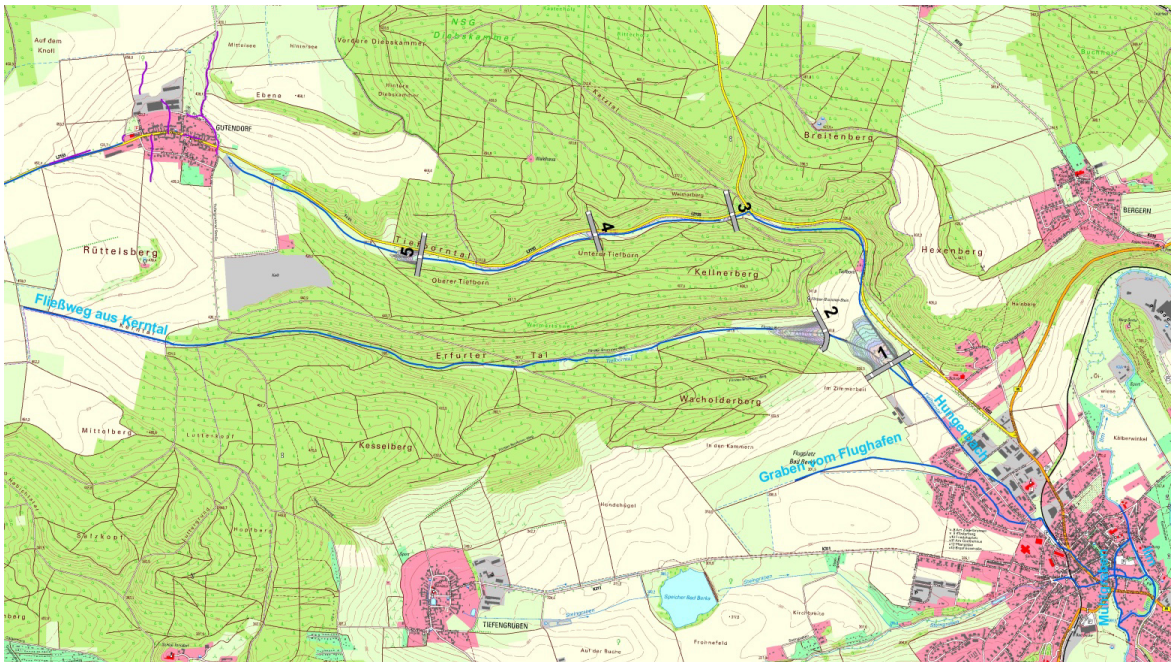
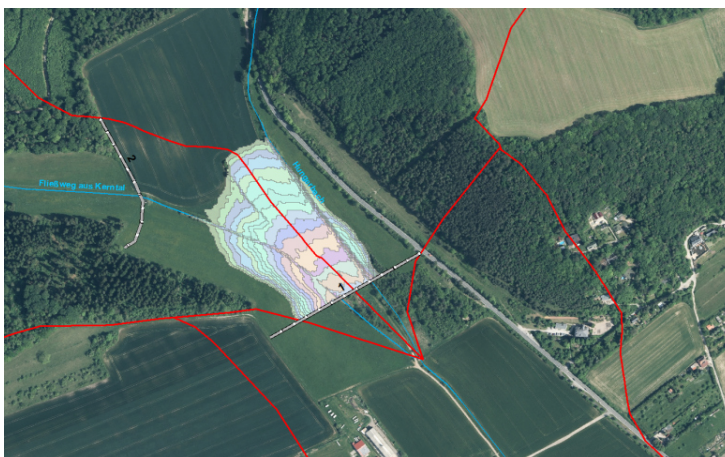


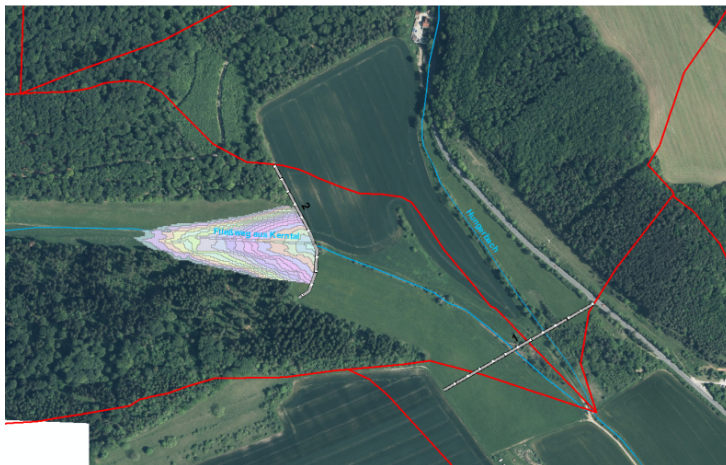
Abbildung 44: Potentielle Retentions-/Rückhaltestandorte

Direkt oberhalb von Bad Berka sind durch die topografischen Verhältnisse 2 potentielle Rückhaltemaßnahmen möglich, mit denen sich zudem größere Einstauvolumina erreichen lassen. Sie liegen beide im Zusammenflussbereich von Hungerbach und dem Zufluss aus dem Erfurter-/Kerntal. Bei einer Einstauhöhe von rd. 7 m lassen sich rd. 106.000 m³ bzw. rd. 60.000 m³ Rückhaltevolumen generieren.



WSP [m NHN]	Volumen [m ³]	Area [m ²]
299,75	0,0	0,0
300,25	7,8	56,0
300,75	154,5	833,0
301,25	1.034,4	2.727,0
...		
304,25	33.422,0	20.031,0
304,75	44.303,9	23.385,0
305,25	56.915,1	27.049,0
...		
306,75	106.773,9	39.198,0

Abbildung 45: Standort 1 – Rückhaltung an Zusammenfluss Hungerbach/Erfurter Bach



WSP [m NHN]	Volumen [m³]	Area [m²]
310,87	9,6	40,0
311,37	66,7	264,0
311,87	339,8	939,0
312,37	1.099,2	2.171,0
...		
315,37	22.225,3	11.456,0
315,87	28.340,5	13.000,0
316,37	35.279,9	14.794,0
...		
317,87	61.182,1	19.700,0

Abbildung 46: Standort 2 – Rückhaltung am Erfurter Bach

Zwischen den Ortslagen Gutendorf und Bad Berka ist im Verlauf des Tiefborntales geplant, die vorhandenen Talsohlenquerungen als mehrere kleine „Staustufen“ zum besseren Hochwasserschutz für Bad Berka auszubauen bzw. den dazwischen befindlichen Retentionsraum und somit den Abflussrückhalt zu optimieren.

Das aktuelle Speichervolumen der „Speicherkette Tiefborntal“ bis Oberkante L2155 (Straße nicht überströmt) beträgt:

- Standort 3: rd. 1.500 m³ (Stauhöhe < 2 m)
- Standort 4: rd. 2.000 m³ (Stauhöhe < 2 m)
- Standort 5: rd. 22.000 m³ (Stauhöhe rd. 5 m)



Abbildung 47: Standorte 3 bis 5 - Speicherkette Tiefborntal



Abbildung 48: *Potentieller Retentionsbereich unterhalb von Gutendorf*



Abbildung 49: *Talsohlenquerung mit Rohrdrossel*

Das aktuelle Speichervolumen der beiden untersuchten Speicher zwischen Abzweig Berkaer Straße und dem Forsthaus beträgt bis Oberkante Verlauf L1053 (Straße nicht überströmt):

- Standort 6: rd. 10.000 m³ (Stauhöhe rd. 5 m)
- Standort 7: rd. 4.500 m³ (Stauhöhe rd. 4 m).

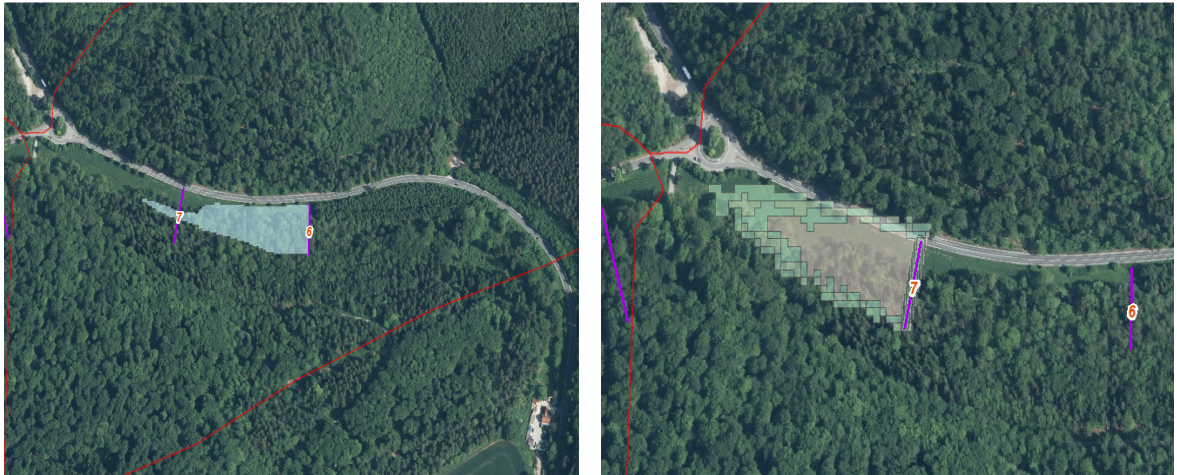


Abbildung 50: Standort Speicher 6 und 7 entlang L1053

Die ermittelten Rückhaltevolumina sind im Rahmen der Wirksamkeitsanalyse immer in Bezug zu den bereits vorhandenen Überschwemmungsflächen zu betrachten. Die hydraulischen Betrachtungen vom Ist-Zustand verdeutlichen bereits, dass insbesondere die Standorte 3 und 4 sowie 6 und 7 keine zusätzliche Retentionswirkung erwarten lassen, die Flächen bereits im Bestand zum größten Teil natürlich eingestaut sind.

Eine retentionsfördernde Wirkung werden voraussichtlich die Standorte 1, 2 und 5 ermöglichen.

Ergänzend dazu wurden im Verlauf des Tiefborntals noch weitere potentielle Rückhaltestandorte untersucht.

7.1.2 Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes

Um die Hochwassergefahr zu vermeiden bzw. weiter zu mindern, sind folgende Maßnahmen geprüft worden:

- Grabenum- und -ausbau, Grabenunterhaltung
- Maßnahmen zum Rückhalt und Umlenkung von Niederschlagswasser aus Sturzfluten bzw. Starkregen/Hangwasser
- die Anordnung technischer Hochwasserschutzeinrichtungen in Form von HWS-Mauern bzw. HWS-Wänden (ggf. auch mobiler Hochwasserschutz)
- sowie weitere potentielle Maßnahmen, wie
 - Gewässerquerschnittsaufweitung
 - Gewässerumverlegung/Gewässeroffenlegungen
 - hochwasserangepasste Geländegestaltung (Optimierung der Infiltration und Retention im Gelände/Boden)
 - Aufforstung in Einzugsgebieten/„Zustrom“-gebieten rund um Gutendorf

- Leitwerke innerorts
- Objektschutzmaßnahmen
- Verstärkung des Rückhaltes auf landwirtschaftlichen Nutzflächen
 - Anbau/Ackern quer zum Hang
 - Erhalt von Waldbeständen.

Die Anordnung und die Bemessung erfolgen immer unter Beachtung der bestehenden Randbedingungen des Einzelfalles und orientieren sich am Hochwasserschadenspotential und am notwendigen Schutzziel. Betrachtet werden müssen die vorhandenen Platzverhältnisse, der lage- und höhenmäßige Verlauf gewässerbegleitender Straßen und Wege (auch Grundstückszufahrten) sowie die Grundstückseigentumsverhältnisse.

7.1.2.1 Sanierung/Gewässerunterhaltung in Gutendorf

Als wesentliche Maßnahmen für die Ortslage Gutendorf gelten die Sanierung und Unterhaltung vorhandener Entwässerungsgräben, um die Abflussführung bei Starkregen zu gewährleisten. Dies beinhaltet Bestandsgräben, die infolge von Hochwasserschäden vom 20.06.13 sowie wiederholend vom 19.09.14 geschädigt wurden und nicht oder nur eingeschränkt funktionieren:

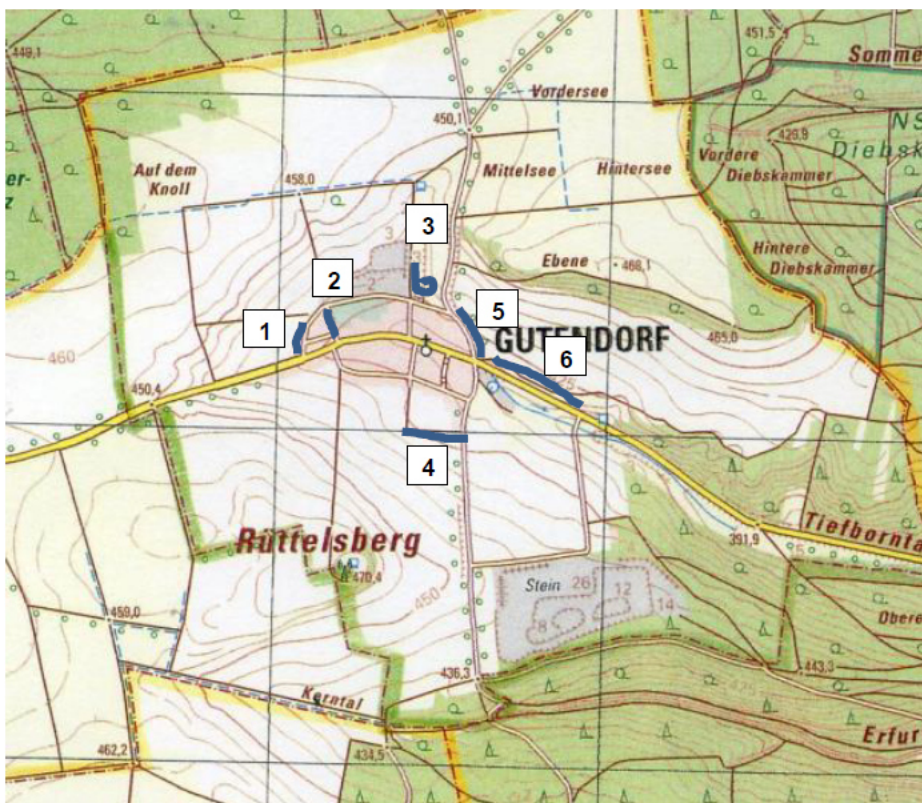
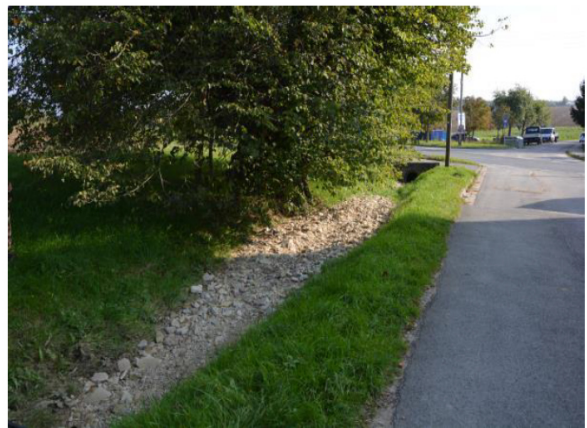


Abbildung 51: Sanierung-/Unterhaltungsbedarf an der vorhandenen Grabenstrukturen (Quelle: Hochwasserschutzkonzept Gutendorf 2013/2014 [9])

1. Graben westlich des Kulturhauses (ca. 100 m Länge)
Graben mit Lehm/Schutt voll verlandet und seit 2013 zugewachsen
2. Graben am Bornweg (ca. 80 m Länge)
Bornweg mit Feuerwehrezufahrt wiederholend tief ausgespült, da der Graben mit Geröll zugesetzt ist
3. Graben oberhalb/neben Friedhof einschl. natürliches Rückhaltebecken
Graben mit Lehm/Schutt dauerhaft zugesetzt
4. Graben südlich des unteren Hinterdorfes (170 m Länge entlang Gemeindeweg)
Graben mit Bachschutt voll und wird dann immer wieder zugepflügt
5. Graben entlang ehem. Troistedter Str. ab Kreuzung Landesstr. bis Abzweig „An der Hohle“, (160 m Länge auf 4 m breitem Gemeindegrundstück)
Graben ist durch die vielen Hochwässer tief ausgespült, sodass die Standsicherheit der Asphaltstraße zum Schießstand gefährdet ist
6. Graben nördlich der Landesstraße im Bereich Kreuzung Salzstr., mit östlichem Verlauf
Graben mit Humus und Geröll zugesetzt



Foto 014: Bereich Graben 1: westlich Kulturhaus, Schutt wieder ausgebaggert; im Bildhintergrund Graben noch vom letzten Jahr verfüllt



noch zu Grabenbereich 5;
Foto 041: Graben völlig mit Geröll verfüllt;

Abbildung 52: Erforderliche Grabenunterhaltung li: Graben 1; re: Graben 5 (Quelle: Hochwasserschutzkonzept Gutendorf 2013/2014 [9])

7.1.2.2 Ausbau vorhandener Gräben und Errichtung neuer Gräben in Gutendorf

Des Weiteren sind über die Sanierung und Unterhaltung von bestehenden Gräben auch Maßnahmen zum Ausbau vorhandener Grabenstrukturen und die Herstellung neuer Entwässerungsgräben zwingend erforderlich.

In der Abbildung 53 sind die potentiell möglichen Ausbaumaßnahmen in Anlehnung an das Hochwasserschutzkonzept der Ortslage Gutendorf aus 2013/2014 [9] dargestellt.

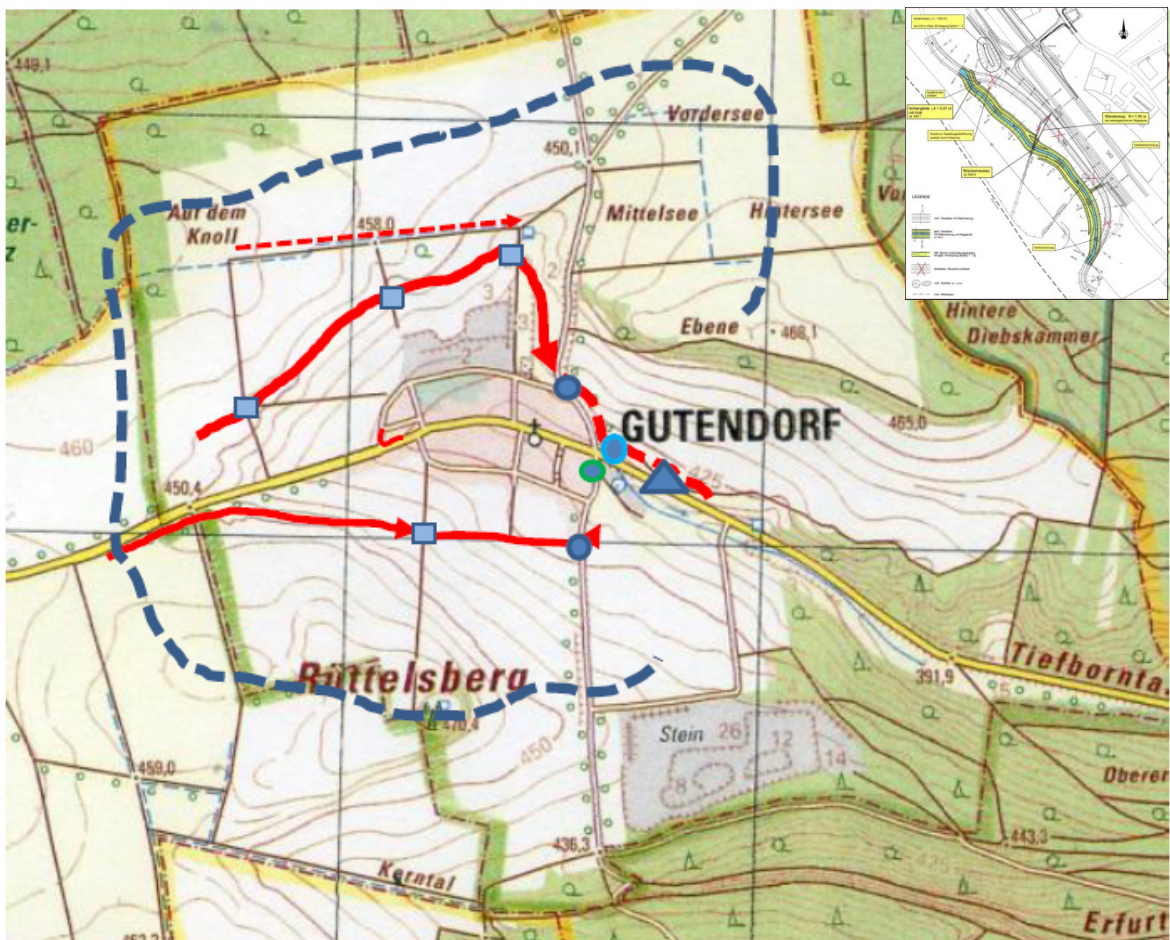


Abbildung 53: Erforderliche neue Gräben; Ausbau vorhandener Gräben (Quelle: Hochwasserschutzkonzept Gutendorf 2013/2014 [9])

Der **Nordgraben** muss alle anfallenden Niederschlagswässer nördlich des Dorfes, vordergründig die ebenen Flächen (Vordersee, Mittelsee, Auf dem Knoll) aufnehmen und am „Friedhofstal“ am Dorf vorbei in den auszubauenden Graben „An der Hohle“ und weiter aus dem Dorf herausführen, ohne im Kreuzungsbereich von Salzstraße und Landesstraße wie bisher in das Unterdorf einzustauen.

Unterstützend sollte der vorhandene parallel dem Wege West-Ost verlaufende Hochgraben „Auf dem Knoll“ ausgebaut werden. Dieser entwässert dann potentiell in den Nordgraben.

Der Nordgraben muss oberhalb der Einmündung „An der Hohle“ in die Troistedter Straße durch letzte geführt werden (Furt oder großer Durchlass). Der folgende Grabenabschnitt bis einschließlich freiem Auslauf in das Tal unterhalb Gutendorf muss deutlich ausgebaut werden.

Der **Südgraben** muss den oberhalb des westlichen Ortseinganges bereits parallel zur Landesstraße vorhandenen (und derzeit mit allen anderen aus Richtung Westen anfallenden Zuflüssen in ein DN300 Betonrohr führenden) Graben südlich verlängernd aufnehmen und entlang der Südgrenze der Hinterdorfstraßen-Grundstücke mit letztlich freiem Auslauf in die Wiese des Fußballplatzes weitgeführt werden.

Aufgrund der vordergründigen senkrecht zur Strömungsrichtung ausgerichteten Entwässerungsgräben werden parallel dazu Verwallungen notwendig, um den Strömungsimpuls „abzufangen“ und eine Umlenkung des Hangwassers um die Ortslage herum zu gewährleisten.

7.1.2.3 Einlaufbauwerke/Sand- und Geröllfang

Da Einlaufbauwerke, Durchlässe und Grabenstrukturen dauerhaft bei stärkeren Niederschlägen mit Geröll zugesetzt werden, empfiehlt sich der Umbau dieser Anlagen bzw. die Herstellung von Sand- und Geröllfängen vor den Einlaufbauwerken, um eine gezielte Anlandung von Sedimenten zu gewährleisten, welche die Unterhaltung und Beräumung von Gräben und Bauwerken gewährleistet.

Zudem sind Einlaufbauwerke, die nur überströmt beschickt werden bzw. einen zu geringen Einlaufquerschnitt aufweisen (bspw. durch Rechen) umzubauen, um deren Leistungsfähigkeit zu vergrößern bzw. dauerhaft nutzen zu können.





Abbildung 54: Beispiele für ungeeignete Einlaufbauwerke

Beispielhaft für Einlaufbauwerke mit vorgeschaltetem Sand- bzw. Geröllfang und naturnahem Ausbau sind nachfolgend dargestellt und werden nach ATV-A 241 empfohlen.

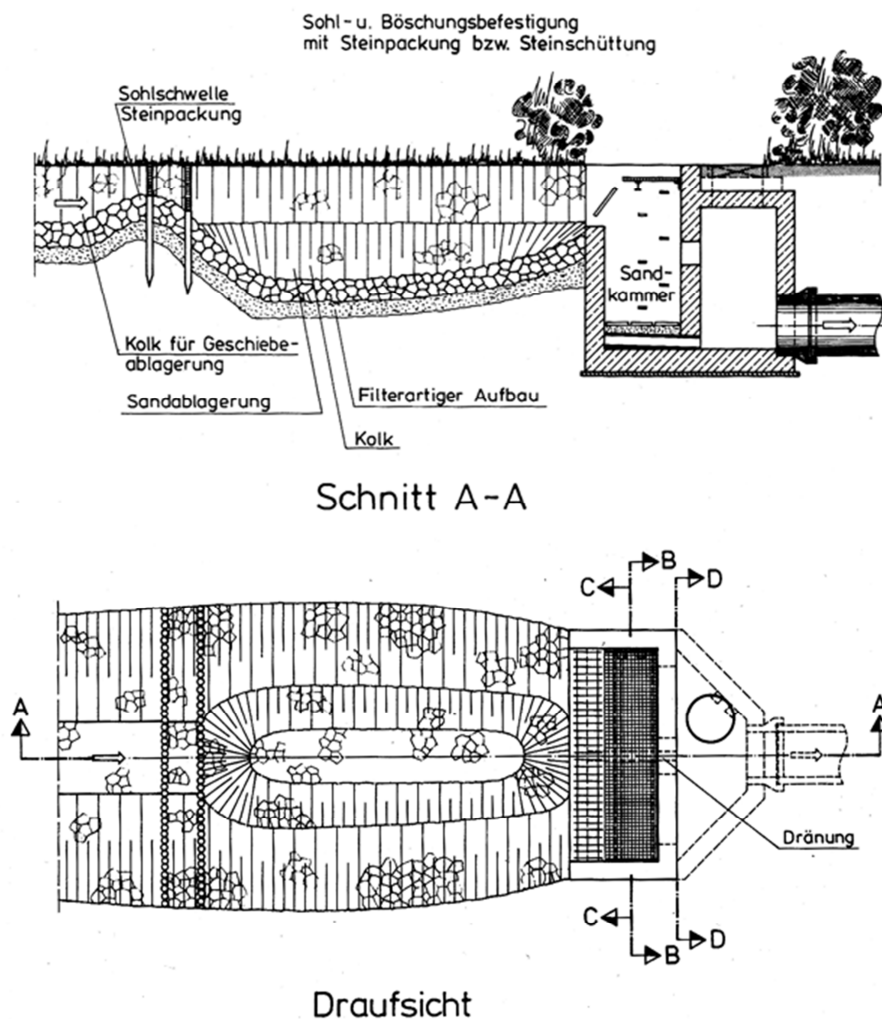


Abbildung 55: Bsp. Einlaufbauwerk in naturnahem Ausbau nach dem Entwurf der ATV-A 241

Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit Einlaufbauwerke ohne Sand- und Geröllfang robust und leistungsfähig zu herzustellen. Der Einlauf wird dazu in Strömungsrichtung errichtet und mit einem Handrechen versehen, der so dimensioniert ist, dass der erforderliche Abflussquerschnitt im Einlaufbauwerk beibehalten wird.



Abbildung 56: Beispiel für robuste Einlaufbauwerke mit Handrechen ohne Geröll- und Sandfang

Folgende Merkmale leistungsfähiger Einlaufbauwerke –ohne Sand- und Geröllfang – zu beachten:

- Die Rechenfläche ist deutlich größer als der Bauwerksquerschnitt des abgehenden Kanals
- Der Rechen selbst ist aus verzinktem Bandeisen gefertigt, dessen schmale Seite vom Wasser angeströmt wird
- Das Wasser kann im Belegungsfall oder beim extremen Wasseranfall den Rechen wenigstens teilweise auch von oben fluten
- Die Rechenneigung ist so zu wählen, dass sie eine manuelle Reinigung erleichtert
- Der Einlaufbereich ist zu befestigen

7.1.2.4 Beispiele für Maßnahmen zum Rückhalt und Umlenkung von Niederschlagswasser aus Sturzfluten/Starkregen („Hangwasser“)

Anfallendes Niederschlagswasser bzw. sich daraus bildendes Hochwasser aus Starkregen- und Sturzflutereignissen muss im Umfeld von in Niederungen liegender Ortslagen, kurzzeitig zurückgehalten bzw. um die zu schützenden Siedlungsbereiche umgeleitet werden.

Dies erfolgt u.a. über

- lokale Rückhaltebecken (Speicher), die kurzzeitig zufließende Wassermengen speichern und zeitversetzt über Entwässerungsgräben entleert werden
- Grabensysteme in Hanglage zur Umlenkung von Sturzfluten
- Verwallungen in der Aue im Hang zur Verlangsamung der anströmenden Wassermengen und Sicherstellung einer gezielten Ableitung

- Mulden-/Rigolensystem bzw. Sickerbecken, zur Erhöhung der Retention im Boden durch Infiltration
- Einfriedung von Grundstücken, die durch Hangwasser und Sturzfluten betroffen sind, eine Durchströmung zu vermeiden



Abbildung 57: li: Mulden – Rigolen System (Quelle: IB Koschmieder); re: Retentions- und Sickerbecken (Quelle: IB Koschmieder)



Abbildung 58: li: Kleine HRB (grünes Becken) am Bornshainer Bach (Quelle: BCE)



Abbildung 59: li: Einfriedung vom Grundstück (Quelle: Land Oberösterreich); re: Großkochberg, Haselbach (Quelle: BCE Erfurt)

7.1.2.5 Entlastungsbauwerke

In Gutendorf ist im Bereich des Unterdorfes angedacht, die Rückstausituation durch einen Entlastungskanal im Bereich des Grünstreifens durch die L 2155 in Verbindung mit der Absenkung der Landesstraße im Bereich des Unterdorfes zu entschärfen.



Abbildung 60: Entlastungskanal durch die L2155 in Verbindung mit der Absenkung der Landesstraße im Unterdorf

7.1.2.6 HWS-Mauer / HWS-Wand

Lokale Hochwasserschutzmauern dienen dazu, überlastete Gewässerabschnitte bzw. überlastete Hochwasserabflussprofile im Querschnitt zu vergrößern. Diese können direkt am Gewässer, aber auch im Vorland vorgesehen werden, um das Hochwasserabflussprofil so groß wie möglich zu gestalten ohne dabei Nutzungen mit hohem Schadenspotential zu beanspruchen.



Abbildung 61: *Beispiele - li: Ufermauer als HWS-Mauer in Mihla, Thüringen (Quelle: BCE Erfurt); re: HW-Schutzwand Bad Neustadt a.d. Saale, Bayern (Quelle: Wasserwirtschaftsamt Bad Kissingen)*

Im Untersuchungsgebiet wird diese Art der Maßnahmen nur Bereich zum Tragen kommen, in denen durch alternative Schutzmaßnahmen (Bsp. Wasserrückhalt) keine vollständige Herstellung einer schadlosen Abflussführung sichergestellt werden kann.

7.1.2.7 Objektschutz

Über die in den vorherigen Kapiteln aufgezeigten Maßnahmen hinausgehend, bestehen des Weiteren Möglichkeiten zur Schadensminimierung durch Objektschutzmaßnahmen einzelner schützenswerter und nachweislich vom Hochwasser betroffener Gebäude, Anlagen und Einrichtungen. Dabei kann es sich um Schutzwände als stationär oder mobile Vorrichtungen handeln. Bei geringen Betroffenheiten werden überwiegend mobile Objektschutzmaßnahmen, wie beispielsweise Absperrvorrichtungen/Barriersysteme an Maueröffnungen, Einfahrten, Türen, Fenstern und sonstigen Eingängen vorgeschlagen.





Abbildung 62: *Bsp. mobile Objektschutzmaßnahmen zur Sicherung von Öffnungen, Türen, Fenstern und Zuwegungen*

In Gutendorf wurden bereits an einigen Grundstücken Objektschutzmaßnahmen von Eigentümern umgesetzt. Hierbei wurden sowohl Mauern errichtet als auch Absperungen an Zäunen angebracht.



Abbildung 63: *Beispiel von bereits erbrachten Objektschutzmaßnahmen in Gutendorf (Grundstücke in der Steingasse)*

7.1.3 Querbauwerke

Bezüglich der Querbauwerke in den Ortslagen ist gemäß den hydraulischen Berechnungen des Ist-Zustandes festzustellen, dass alle Bauwerke bezogen auf den 100-jährlichen Bemessungsabfluss (unter Vernachlässigung eines Freibordes von 0,50 m) zu gering dimensioniert sind. Dies betrifft insbesondere auch den kanalisiertem Gewässerverlauf des Hungerbaches in Bad Berka.

Aufgrund zu geringer Querschnittsgrößen und der somit eingeschränkten Abflusskapazität beschreiben die betroffenen Bauwerke eine Engstelle im Gewässer, bewirken zumeist einen

zusätzlichen Aufstau der Wasserspiegellage und führen u. U. somit zu einer Verschlechterung der Hochwassersituation (Ausuferung des Gewässers). Zudem besteht zusätzlich immer die Gefahr einer Verklausung des Brückenquerschnittes.

Als Hochwasserschutzmaßnahme bzw. zur Verbesserung der bestehenden Hochwassersituation wird vorgeschlagen, diese Brückenbauwerke **perspektivisch** baulich zu verändern oder im Rahmen innerörtlicher Maßnahmen (z. B. Sanierung angrenzender Verkehrswege) zu berücksichtigen.

Im Einzelfall ist jedoch die Notwendigkeit eines Um- oder Neubaus auch aus ökonomischer Sicht festzustellen. Bei weiterführenden Untersuchungen (Planungen) ist zu prüfen, ob für die Schaffung einer größeren Abflusskapazität ein Anheben der Straßen-/Weggradienten möglich ist. Mit einer solchen Maßnahme könnte auch eine Erhöhung der Böschungs-/Maueroberkanten verbunden werden, wodurch wiederum die Gerinnekapazität gesteigert werden kann. Zu berücksichtigen sind dabei auch am Gewässerlauf Oberstrom geplante Retentionsmaßnahmen, die eine Abflussreduzierung bewirken und somit im Gewässerverlauf unterhalb ggf. am betreffenden Bauwerk kein Kapazitätsdefizit mehr besteht.

7.1.4 Abstimmung mit Ober- und Unterliegern (Verschlechterungsverbot)

Im Untersuchungsgebiet vom Hungerbach korrespondieren aus abflussspezifischen Gesichtspunkten die beiden Ortslagen Gutendorf und Bad Berka miteinander. Das bedeutet, dass hochwasserabflussbildende Regenereignisse in Gutendorf anteilig auch Auswirkungen auf Bad Berka haben. Die Beeinflussungen sind allerdings eher gering, da im Zwischengebiet von Gutendorf und Bad Berka ein größerer Anteil der Abflussmenge natürlich zwischengespeichert wird. Im Rahmen der Maßnahmenplanung ist dennoch zu beachten, dass keine wesentliche Beschleunigung von Hochwasserabflusswellen in Richtung Bad Berka generiert wird bzw. eventuelle Veränderungen der Abflussganglinie wieder im Zwischengebiet kompensiert werden.

Darüber hinaus wird der Stadtbereich von Bad Berka allerdings auch durch den Zufluss vom Steingraben aus Tiefengruben bzw. in der Ortslage dem Schleußengraben beeinflusst.

Im östlichen Bereich von Bad Berka wird bis zur Bahnhofstraße die Ortslage im Wesentlichen durch das Hochwasser der Ilm beeinflusst. Schlussfolgernd daraus werden durch Hochwasserschutzmaßnahmen am Hungerbach keine Verschlechterungen im Unterwasser von Bad Berka zu erwarten sein.

Im Rahmen von Öffentlichkeitsterminen und Bürgerversammlungen wurde ein Interessenaustausch zwischen beiden Ortslagen durchgeführt. Zudem wird durch den AG (Stadt Bad Berka) die Korrespondenz zu den Anwohnern von Gutendorf sichergestellt, sodass ein gesamtheitlicher Hochwasserschutz für den Hungerbach mit Berücksichtigung beidseitiger Interessen ermöglicht wird.

7.1.5 Vorschläge für Hochwasservorsorgemaßnahmen

Entsprechend des Hochwasserrisikomanagements besteht die Möglichkeit, Maßnahmen zum Schutz und zur Risikominimierung vor, während und nach einem Hochwasserereignis zu ergreifen.



Quelle: LAWA

Abbildung 64: Hochwasserrisikomanagementzyklus (nach LAWA [13])

Die darin verankerten Handlungsbereiche von Vorsorgemaßnahmen dienen vordergründig dazu, die durch Hochwasser potentiell eintretenden Risiken und Schäden zu minimieren. Die Handlungsbereiche der Vorsorgemaßnahmen werden wie folgt mit Bezug zum Vorhaben beschrieben:

- **Flächenvorsorge:**

Vermeidung einer Erhöhung des Schadenspotentials in den durch Überschwemmung gefährdeten Gebieten. Absicherung der Verfügbarkeit von angepasster Flächennutzung zum Wasserrückhalt. Dies soll durch regionalplanerische und bauleitplanerische Maßnahmen geschehen.

Befinden sich Überschwemmungsflächen in landwirtschaftlicher Nutzung oder in Grünflächen mit Bewuchs, so sind diese derart zu bewirtschaften bzw. zu erhalten, dass die oberen Bodenschichten durch Bewuchs gebunden sind und somit bei Überflutungen keine Abtragungen entstehen können, sondern durch den Bewuchs Abflusswiderstände vorhanden sind, die den Hochwasserabfluss verzögern und eine Retentionswirkung erzwingen.

○ **Bauvorsorge:**

Beinhaltet die Vermeidung oder Verminderung von Hochwasserschäden an Gebäuden und Anlagen der Infrastruktur sowie Vermeidung von Schäden durch wassergefährdende Stoffe in hochwassergefährdeten Gebäuden und Anlagen sowie in Schutzgebieten gemäß EG-WRRL Anhang IV, als auch hochwasserangepasstes Planen, Bauen und Sanieren.

Bei den Maßnahmen zur Bauvorsorge ist das Ziel, Gebäude mittels angepasster Gebäudenutzung, -ausstattung und -abdichtung vor hochwasserbedingten Schäden an Menschen und deren Gütern zu schützen. Dies beginnt im besten Fall bereits in der Bauplanungsphase von Gebäuden, z.B. durch Verzicht auf einen Keller oder der Bauweise auf Stützen und Stelzen.

Sollten bereits Gebäude bestehen, ist eine angepasste Bauweise und auf Hochwasser ausgerichtete Anlagenausstattung sowie die entsprechende Nutzung gefährdeter Keller, Wohn- und sonstiger Nutzungsräume mit Gefährdungspotential wichtig. Neben der Möglichkeit, durch bauliche Abdichtung das Wasser außerhalb des Gebäudes zu halten, sind auch Methoden zum planmäßigen Wassereintritt und Schonung der Bausubstanz aufgrund der Druckminderung möglich.

Ein weiteres Interesse der Bauvorsorge ist es, die Kontaminierung der Umwelt durch wassergefährdende Stoffe im Hochwasserfall zu verringern.

Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

Wassergefährdende Stoffe treten in vielen Bereichen, wie im Haushalt, in der Landwirtschaft, im Gewerbe und in der Industrie auf. Beispiele für wassergefährdende Stoffe sind Wasch- und Putzmittel, Pflanzenschutzmittel und Dünger, Lacke, Lösemittel und Klebstoffe sowie Mineralölprodukte wie Heizöl, Diesel und Benzin, aber auch Laugen oder Salze. Wassergefährdend ist ein Stoff, der die Beschaffenheit des Grundwassers oder von Flüssen und Seen nachteilig verändern kann. Aus Vorsorgegründen gilt grundsätzlich jeder Stoff als wassergefährdend, von dem nicht das Gegenteil nachgewiesen wird. Daher ist jeder verpflichtet, mit solchen Stoffen sorgfältig umzugehen.

Als Maßstab für ihre Wassergefährdung werden sie nach dem Bewertungsschema der Verwaltungsvorschrift² über die Einstufung wassergefährdender Stoffe in drei Wassergefährdungsklassen (WGK) eingestuft:

- WGK 1: schwach wassergefährdend (z.B. Essigsäure, Natronlauge, Alkohol oder Jod)
- WGK 2: wassergefährdend (z.B. Heizöl, Formaldehyd, Natriumhypochlorit)
- WGK 3: stark wassergefährdend (z.B. Altöl, chlorierte Kohlenwasserstoffe, Benzol)

² Bundesanzeiger – Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum WHG über die Einstufung wassergefährdender Stoffe in Wassergefährdungsklassen

Maßnahmenvorschläge

Im Untersuchungsgebiet bzw. im Bereich von Ortslagen sind Winterdiensteinschränkungen vorzusehen. Zur Vermeidung von unerwünschten Einträgen wassergefährdender Stoffe in Wasser und Boden ist beim Winterdienst auf den Einsatz von Streusalz zu verzichten und alternative Streumittel sind zu wählen.

Die Verwendung von Heizöl ist in Anlagen und Gebäuden hinsichtlich des Gefährdungspotentials bei Hochwasser zu prüfen und wenn möglich anzupassen.

Fahrzeuge sind bei Hochwasservorhersage bzw. Starkregenvorhersage aus dem hochwassergefährdeten Gebiet rechtzeitig zu entfernen.

Des Weiteren ist darauf zu achten, dass Abwasserleitungen nicht durch äußere Einwirkungen beschädigt oder eingeschränkt werden können.

Strategien zur Bauvorsorge

Massive Gebäude, Anlagen und Einrichtungen können durch Grund- und Hochwasser folgenden Gefährdungen ausgesetzt sein:

- Gefährdung der Standsicherheit
- Gefährdung der Einrichtung durch Eindringen ins Gebäude
- Gefährdung der Außenanlagen

Dabei können Sach- und Personenschäden die Folge sein. Entsprechend können folgende Strategien zur Bauvorsorge angewandt werden:

- **Ausweichen**

- Bau außerhalb des potentiellen Überschwemmungsgebietes
- Bau ohne Keller
- Aufständern des Gebäudes

- **Widerstehen**

- Vermeidung von Wassereintritt durch bauliche Maßnahmen, unter Beachtung der Standsicherheit verhindern

- **Nachgeben/Anpassen**

- planmäßiges Fluten
- hochwasserangepasste Gebäudenutzung



Quelle: Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forste Rheinland-Pfalz

Die Maßnahmen haben das Ziel, primär den Wassereintritt zu verhindern und sekundär den Wassereintritt und den Schaden zu begrenzen.

Maßnahmenvorschläge der Bauvorsorge zum Vorhaben

- Als hochwasserangepasste Bauweisen gelten u.a. Vermeidung von Kellerräumen bzw. das Lagern wasserempfindlicher und wassergefährdender Stoffe in Kellern, Vermeidung tiefliegender Öffnungen, Rückstausicherungen an Gebäudeentwässerungen und Vermeidung von Gips, Holz und Kunststoffen bei der Umsetzung von Sanierung und Neubau von Gebäuden.


Quelle:
S. Goltz / J. Nikolowski,
11.06.2013, Grimma
- Erhöhung der Widerstandsfähigkeit von Gebäuden, Anlagen und Infrastruktureinrichtungen im HW-Risikogebiet durch bauvorsorgliche Maßnahmen, z. B. durch hochwassersichere Installation von elektrischen Installationseinheiten, durch Ausweisung überflutungsgefährdeter Räume und Anlagenteile innerhalb von Gebäuden oder durch Anpassung von Boden- und Wandbelegen (Fliesen, Beton, Estrich) und Putz (mineralische Putze wie Zement und hydr. Kalk).


Quelle: Gretzschel,
2011
- Energieversorgung durch Gasheizung oder erneuerbare Energien (hochwasserangepasster Umgang mit wassergefährdenden Stoffen)
- Einsatz von Schutzvorrichtungen zur Abdichtung von Fenstern, Türen und Kanalschlüssen.
- **Risikovorsorge:**
Mit den Maßnahmen der Risikovorsorge sind die individuelle, eigenverantwortliche Vorsorge durch private, finanzielle Rücklagen und/oder der Abschluss von Versicherungen gegen Naturgewalten gemeint, sodass im Falle eines Hochwassereintritts trotz vorhandenem Schutzstandard die eigene Leistungsfähigkeit nicht überfordert wird. Dabei sollten die potentiell Betroffenen eine Größenordnung der anfallenden Kosten durch Hochwasserschäden den Randbedingungen des Versicherungsschutzes gegenüberstellen.
Durch die hier durchgeführten hydraulischen Untersuchungen sowie die veröffentlichten Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten können sich die potentiell Betroffenen einen ersten Überblick über das Gefährdungspotential und die möglichen Hochwasserschäden machen.

Maßnahmenvorschläge zum Vorhaben

Im weiteren Planungsfortschritt des Vorhabens werden die baulichen Anlagen und Konstruktionen mit Kostenschätzungen untersetzt. Eine entsprechende Verifizierung und Fortschreibung der Schadensprognosen zu Schadenspotentialermittlungen wird darauf aufbauend durchgeführt. Diese Schadenssummen können dem Eigentümer als Orientierung

zur Ermittlung von finanziellen Rücklagen und erforderlichen Versicherungen zur Absicherung gegen eintretende Hochwasserschäden dienen.

o **Informationsvorsorge:**

Hochwasservorhersage sowie die Information der Öffentlichkeit über Verlauf und Entwicklung eines Hochwasserereignisses sind wichtige Bestandteile eines modernen Hochwasserrisikomanagements.

Derzeit befinden sich im Einzugsgebiet des Hungerbaches keine offiziellen Messpegel. Eine verlässliche Wasserstands- und Abflussmessung eines Pegels ist jedoch besonders im Hochwasserfall wichtige Voraussetzung, um u. U. notwendige Schutzmaßnahmen für unterhalb liegende Gewässerabschnitte einleiten zu können.

Um überhaupt Informationen über Hochwasserverläufe zu erhalten, Trends ableiten und nachfolgend eine Verbesserung der Vorhersagemöglichkeiten erreichen zu können, wäre die Anlage von Hochwassermeldepegeln oder alternativ zur Wasserstandsmessung von sogenannten Prognosepegeln im Einzugsgebiet erforderlich.



Abbildung 65: Beispiel Hochwassermeldepegel

Jedoch mit Blick auf die Gewässergröße sowie den technischen Aufwand und die Herstellungskosten für die Anlage eines offiziellen Hochwassermeldepegels wird die Installation der Prognosepegel bevorzugt vorgeschlagen.

Ein Prognosepegel gibt frühzeitig Aufschluss über die Auswirkungen von Niederschlägen bzw. die Abflussbildung im jeweiligen Hochwasserentstehungsgebiet der Gewässer. Die Messsignale des Prognosepegels werden aus der nahen Ortslage über eine Festnetz- oder DSL-Verbindung zur zentralen Steuerung übertragen. Der Prognosepegel kann ggf. auch Bestandteil einer automatisierten Steuerung eines HRB sein.

Der bauliche Eingriff am gewählten Standort für den Prognosepegel ist minimal. Die Messseinrichtung wird als „Fertigteillösung“ z. B. an einer Brücke oder Ufermauer montiert. Ein Ausbau des Messquerschnittes oder in Längsrichtung des Gewässers („Pegelstrecke“) ist nicht erforderlich.

Der Prognosepegel besteht aus einem senkrechten Lattenpegel zur Wasserstandsmessung mit einem Datensammler mit Datenfernübertragung.

Beispielhaft dafür wird der „OTT ecoLog 500 Datensammler mit integriertem GSM/GPRS-Modem zur Datenfernübertragung via GPRS/FTP“ der Fa. OTT Hydromet GmbH als Lösung vorgeschlagen.



Abbildung 66: *Lattenpegel mit dem OTT ecoLog 500 Datensammler mit integriertem GSM/GPRS-Modem zur Datenfernübertragung der Fa. OTT Hydromet GmbH (Prognosepegel)*

Aufgrund der kurzen Gewässerlauflänge, der möglichen Standorte und der Standortabstände in Bezug zur Ortslage funktionieren diese Pegel als reine Informations-, Melde- oder auch Steuerpegel. Die Möglichkeit der Vorwarnung über einen längeren Zeitraum vor einem zu erwartenden Hochwasserereignis ist hier nicht gegeben.

○ **Verhaltensvorsorge:**

Aufklärung der betroffenen Bevölkerung über das Verhalten bei Hochwasser und individuelle Möglichkeiten der Schadensminderung sowie Stärkung des Problembewusstseins in Bezug auf Hochwasserrisiken.

Die Maßnahmen der Verhaltensvorsorge zielen darauf ab, bei der Bevölkerung bzw. den jeweiligen Betroffenen und Interessierten das Problembewusstsein hinsichtlich Hochwasserrisiken zu stärken und Informationen zu Vorbereitungsmaßnahmen im Falle eines eventuell auftretenden Hochwassers zu bieten.

Dabei handelt es sich um die Vorsorge zu individuellen Möglichkeiten zur Schadensminimierung oder das Verhalten bei Hochwasser, z.B. durch die Bekanntmachung von Verhaltensoptionen bzw. -regeln oder die Beratung zu geeigneten Verhaltensmustern in einem Hochwasserfall.

Potentiell mögliche Maßnahmenvorschläge zum Vorhaben

Ebenso ist die Verhaltensvorsorge an die Zielgruppe der Helfenden gerichtet. Diese sollten auf das Erstellen von Einsatzplänen und Katastrophenschutzübungen vorbereitet werden.

Des Weiteren können Informationsflyer dazu dienen, die ausgehenden Gefahren im Falle eines Hochwassers zu erläutern und regional mögliche Vorsorgehandlungen sowie Empfehlungen zur akuten Hochwasserabwehr zu geben.

Durch das Aufstellen von Hinweisschildern mit der Aufschrift „Hochwasser“ im Bereich vom Gewässer sowie in bekannten Überflutungsgebieten kann das Problembewusstsein bei Verantwortlichen und Besuchern gestärkt werden.

Durch das damit aufgezeigte Risiko wird das Bewusstsein beim Betrachter dahingehend gestärkt, mehr Interesse an Hochwasserinformationen zu erhalten und entsprechend den Umgang und das Verhalten mit Hochwasser anzupassen und persönlich im Katastrophenfall tätig zu werden.



Quelle: Amt für Umwelt und Geologie, Kanton Basel-Stadt

7.1.6 Maßnahmen der Gefahrenabwehr/des Katastrophenschutzes

Bei den Maßnahmen der Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzes geht es um zwei wichtige Aspekte. Erstens um das Verfahren und die Organisation der Bekämpfung von Großschäden und zweitens um den Einsatz und die Führung von Hilfskräften.

Dies bedeutet in erster Linie die Überprüfung der Einsatzpläne sowie die Überprüfung der Vollständigkeit materieller (z.B. Sandsäcke, Pumpen, Notstromaggregate, etc.) und personeller Ressourcen zur Gefahrenabwehr.

Dabei geht es bei den personellen Ressourcen um die Einsatzkräfte der Feuerwehr, Polizei, privaten Hilfsorganisationen (z.B. Malteser Hilfsdienste e.V., Deutsches Rotes Kreuz, etc.), THW (Bundesanstalt Technisches Hilfswerk), Bundeswehr, etc.

Im Allgemeinen sind für den Hochwasserschutz, den Betrieb und die Unterhaltung der Gewässer II. Ordnung die Kommunen zuständig.

Mit der Feststellung des Katastrophenfalls durch den Leiter der Katastrophenschutzbehörde übernehmen die Technischen Einsatzleitungen die Leitung der Hochwasserabwehr vor Ort. Gemeinden, die erfahrungsgemäß von Hochwassergefahr bedroht werden, wird folgendes empfohlen:

- Bildung einer Wasserwehr (§ 90 ThürWG)
- Vorhalten erforderlichen Hilfsmittel für deren Einsatz
- regelmäßige Hochwasserübungen
- Erstellung von Hochwassereinsatzplänen

Auch das Handlungsfeld der Hochwasserabwehr und der Nachsorge ist im Zuge des Vorhabens zu beachten:

o **Vorhaltung und Vorbereitung der Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzes**

Überprüfung und Komplettierung der Alarm- und Einsatzpläne (auch Gefahrenabwehrpläne) sowie der notwendigen materiellen und personellen Ressourcen für Gefahrenabwehr. Als erforderliche Maßnahmen zur Vorbereitung auf ein Hochwasserereignis werden folgende Empfehlungen gegeben:

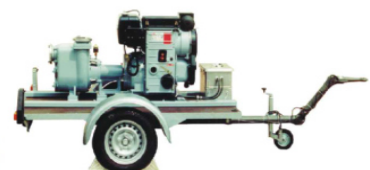
- o Festlegung von Einsatzkräften und Erstellung von HW-Einsatzplänen
- o Durchführung von regelmäßigen Aus- und Fortbildungen von Einsatz- und Rettungskräften
- o Schaffung von Lagern und Bereitstellung notwendiger materieller Ressourcen für die Einsatzkräfte zur HW-Bewältigung (Sandsäcke, Holzbohlen, Pumpen, ...)



Quelle: Freiwillige Feuerwehr Stadt Bremervörde



Quelle: Zuwa-Zumpe GmbH



Quelle: Dynamik-Pumpen GmbH, Stuhr

- **Sicherstellung der schadlosen Abflussführung über Verkehrsflächen innerhalb der Ortslage bei zwischenzeitlichen Ausuferungen.**

- **Nachsorge/Regeneration nach einem Hochwasserereignis**
Als erforderliche Maßnahmen nach einem Hochwasserereignis werden insbesondere für das von Hochwasser betroffene Gebiet in Gutendorf und Bad Berka folgende Empfehlungen gegeben:
 - Erarbeitung von Maßnahmen zur Wiederaufnahme des Betriebes von Hochwasser betroffenen Anlagen durch Aufbau und Entwicklung eines Katastrophenplanes bzw. eines Sicherheitskonzeptes in Hochwasser betroffenen Anlagen, wodurch eine schnellstmögliche Wiederaufnahme des Betriebes gewährleistet wird und die Verluste reduziert werden. Durchführung einer regelmäßigen Risiko- und Schwachstellenanalyse zur Abwägung entsprechender Vorsorge- und Sicherheitsmaßnahmen wird damit verbunden empfohlen.

 - Erarbeitung von Maßnahmen zur Abfallbeseitigung und Unratentfernung nach einem Hochwasser. Planung, Vorbereitung und Umsetzung von Maßnahmen zur Säuberung der von Hochwasser betroffenen Gebiete einschließlich der Naturräume sowie der fachgerechten Entsorgung und Deposition an- und aufgeschwemmter Abfälle.



Quelle: Stefanie Bohne, Gemeinde Uhlstädt-Kirchhasel

7.2 Extremfall: Starkregen und Sturzfluten – Risiko und Prävention

„Von einer Sturzflut spricht man, wenn innerhalb von sechs Stunden nach einem starken Regenereignis oder einem Dammbrech bzw. Durchbruch einer anderen Barriere plötzlich riesige Wassermengen über ein Gebiet hereinbrechen“

Bei einer Sturzflut werden lokale Abwasser- und Entwässerungssysteme überlastet. Zusätzlich kann es durch den Transport von Geschiebematerial auch zur Verstopfung dieser Systeme kommen. Eine Sturzflut trifft die Bevölkerung meist unvorbereitet, da die Warnzeiten extrem kurz sind und das exakte Auftreten des Hochwassers nur bedingt abschätzbar ist.

Starkregen und Sturzfluten können jeden treffen und sind nicht an bestimmte Gebiete gebunden. Dabei sind generell:

- Grundstücke in der Nähe von Flüssen und Bächen,
- hochversiegelte Gewerbe- und Industrieflächen,
- Grundstücke ohne Rückstausicherung,
- Grundstücke ohne ausgeprägte Bordsteinkante, Tiefgaragen und Kellerräume

gefährdet.

Ein hohes Risiko besteht an Hanglagen (Abflussbeschleunigung, Erosion), in tieferliegenden Geländelagen (Gefahr von Rückstau aus der Kanalisation) oder in Kerbtälern (Flutung ohne Abfluss). Dies trifft insbesondere auf die Ortslage Gutendorf zu.

Bei Starkregen und Sturzfluten besteht insbesondere Gefährdung durch starke Strömungskräfte, die Bäume herausreißen, Fahrzeuge hinwegspülen und Gebäude und Brücken zerstören können. Dabei ist es essenziell wichtig zu wissen, dass das Auftreten von Sturzfluten unabhängig davon ist, ob Gewässer in der Nähe sind. Sturzfluten werden bei Starkregenereignissen in Hanglagen durch schnelleren Abfluss begünstigt. Zudem kann Rückstau im Kanalsystem oder an Durchlassbauwerken zu oberirdischen Überschwemmungen von Straßen und Grundstücken führen. Um Schäden minimieren zu können, ist es wichtig, sich der Gefahr einer möglichen Überschwemmung bewusst zu sein, sich zu informieren und entsprechende Vorsorge zu treffen.

Der Umgang und die Präventionsmaßnahmen bei Sturzflutereignissen orientieren sich grundsätzlich an den potentiell möglichen Maßnahmen zum Schutz vor Hochwasserereignissen, müssen allerdings etwas detaillierter untersetzt werden.

Ein vollständiger vorsorgender Schutz vor Starkregen und wild abströmendem Wasser ist nicht möglich. Dennoch können gezielte bauliche Maßnahmen Schäden begrenzen, insbesondere durch Maßnahmen zum Wasserrückhalt, die den Zufluss zu bebauten Bereichen begrenzen, wie beispielsweise durch

- eine erosionsmindernde Flächenbewirtschaftung an Hanglagen,
- die Schaffung von zusätzlichen Versickerungsmöglichkeiten und
- temporäre Speichermöglichkeiten (Rückhaltebecken).

Darüber hinaus sind Objektschutzmaßnahmen in solchen Gebieten unabdingbar. Durch geeignete bauliche Maßnahmen können Gebäude vor Schäden geschützt werden.

Beispiele dafür sind

- Gebäudeöffnungen gegen das Eindringen von Wasser abdichten durch z. B. passgenaue Abdichtungen für Eingangs- und Fensteröffnungen, Schwellen
- Außenfassade durch wasserabweisende Materialien schützen

- elektrische Versorgungseinrichtungen und Heizanlagen nach Möglichkeit in den oberen Stockwerken einrichten und Installationen (z. B. Steckdosen) mit hohem Bodenabstand anlegen
- elektrische Geräte „hochlagern“ (z. B. Waschmaschine auf Regal)
- Einbau einer Rückstausicherung gegen eindringendes Kanalisationswasser

Auch private finanzielle Absicherung gegen potentielle Schäden sind zu berücksichtigen, z. B. durch den Abschluss einer Elementarschadenversicherung gegen Schäden infolge von Unwetterereignissen, Starkregen und Sturzfluten.

Bei Starkregen und Sturzfluten sind von Betroffenen und Anwohnern folgende Verhaltensregeln zu beachten:

- sich kurzfristig im Radio, Fernsehen, Internet und per App über Unwetterwarnungen informieren,
- bei eindringendem Wasser Strom für gefährdete Gebäudeteile abschalten,
- Objekte sichern, die bei einer Überflutung Schäden verursachen könnten,
- bei Gefahr in den oberen Etagen der Gebäude bleiben,
- bei einem Notfall den Notruf der Feuerwehr wählen,
- Nachbarn helfen und auf hilfsbedürftige Personen achten,
- überflutete Bereiche in Senken und im Umfeld von Kanalisation und Durchlassbauwerken meiden.

Um den schnellen Wiederaufbau nach einem Starkregen mit verbundener Sturzflute zu gewährleisten, sind

- Gebäude auf Schäden zu prüfen,
- nach Anweisung eines Sachverständigen Maßnahmen zum Trocknen durchführen,
- beschädigte Bausubstanz, Heizöltanks und elektrische Geräte überprüfen zu lassen,
- Feuerwehr zu rufen, wenn Wasser mit Schadstoffen (z. B. Heizöl oder Chemikalien) eingedrungen ist,
- Schäden zur Beweissicherung zu fotografieren und umgehend die Versicherung zu informieren.

7.3 Ableitung Vorzugslösung zur Herstellung des Hochwasserschutzes

7.3.1 Maßnahmenkombination – Variantenbildung

Auf Basis der hydraulischen Berechnungsergebnisse und der daraus prognostizierten Schädigungen erfolgt hinsichtlich der Ableitung einer Vorzugsvariante eine qualitative und variantenbezogene Analyse und Bewertung potentieller Einzelmaßnahmen je Ortslage. Für die Variantenbildung sind gemäß Kap. 7.1 die verschiedenen, potentiellen Einzelmaßnahmen bezogen auf den technischen Hochwasserschutz sowie auf die Aktivierung und Nutzung von Retenti-

onsraum erarbeitet und beschrieben worden. Dabei ist insbesondere für die Ortslage Gutendorf eine Unterscheidung zwischen variantenunabhängigen Maßnahmen und variantenbezogenen Maßnahmen vorgenommen worden.

Für die Ortslagen sind folgende Maßnahmen zu analysieren:

Ortslage Gutendorf

➤ **Variantenunabhängige Einzelmaßnahmen**

- Sanierung vorhandener Entwässerungsgräben
- Neubau bzw. Ausbau und Umbau Durchlassbauwerke und Einlaufbauwerke
- Errichtung von Geröll-/Sedimentfängen vor Einlaufbauwerken im Ober- und im Unterdorf
- Neubau von Entwässerungsgraben/Mulde inkl. Verwallung (Deich) Tiefengrubener Straße
- Objektschutz an einzelnen Gebäuden bei weiterhin erkennbarem Gefährdungspotential/Restrisiko

➤ **Variantenbezogene Einzelmaßnahmen**

- Ausbau vorhandener Entwässerungsgräben
- Neubau von Entwässerungsgräben/Mulden um die Ortslage herum
- Verwallungen entlang neuer Entwässerungsgräben (außerhalb der Ortslage)
- Neubau bzw. Ausbau und Umbau Durchlassbauwerke, teilweise mit verbundener Straßen-/Wegeanhebung im Grabenquerungsbereich
- Neubau Feldwegquerung als Furt
- Bau von Verwallungen (Deichen) und HW-Schutzmauern an den Grundstücksgrenzen
- Errichtung Entlastungskanal im Bereich des Grünstreifens parallel der L 2155 im Unterdorf
- Erweiterung Durchlass Tiefengrubener Straße
- Weitere Einzelmaßnahmen (nur Wirksamkeitsbetrachtung)
 - Gewässeraufweitung im Bereich Kläranlage
 - Absenkung der Landstraße L2155 im Unterdorf

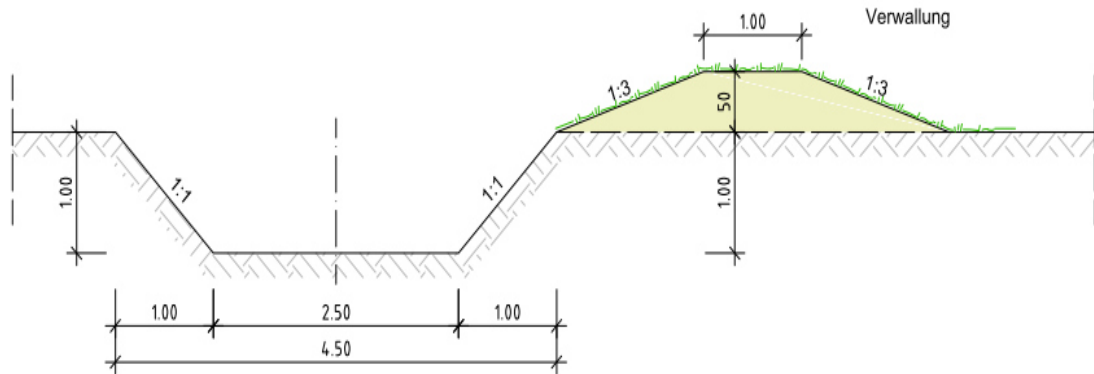


Abbildung 67: Variante 1 – durchschnittl. Querschnitt Neubau Entwässerungsgräben

Tabelle 10: Variantenbildung Hochwasserschutzmaßnahmen Gutendorf

Variante 1 - Neubau von Entwässerungsgräben inkl. Verwallungen	
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ausbau vorhandener Entwässerungsgräben ➤ Neubau von Entwässerungsgräben/Mulden um die Ortslage herum ➤ Verwallungen entlang der neuen Entwässerungsgräben ➤ Neubau von Entwässerungsgräben/Mulde inkl. Verwallung (Deich) Tiefen- grubener Straße ➤ Neubau bzw. Ausbau und Umbau Durchlassbauwerke, teilweise mit verbun- dener Straßen-/Wegeanhebung im Grabenquerungsbereich ➤ Neubau Feldwegquerung als Furt
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Minderung Zufluss von Niederschlagswasser in die Ortslage ✓ Ableitung des gefassten Niederschlagswassers um die Ortslage herum ✓ geringe Versagenswahrscheinlichkeit ✓ höhere Akzeptanz der Bürger zu erwarten
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - erforderliche, hohe Flächenverfügbarkeit - eingeschränkte Wirksamkeit hinsichtlich Schutzzielerreichung aufgrund wei- terhin bestehendem Zwischeneinzugsgebiet - breiter Grabenquerschnitt erforderlich für Sicherstellung der Durchfahrbarkeit - Behinderung von Zuwegungen und der Bewirtschaftung der Nutzflächen - Umbau, Anhebung Gradienten von Straßen-/Wegequerungen für Anschluss Verwallung - regelmäßiger Unterhaltungsaufwand - hohe Investitionskosten - hohe Unterhaltungskosten - hoher Zeitaufwand für die Umsetzung

Variante 2 – Errichtung Verwallungen (Deiche), HW-Schutzmauern	
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bau von Verwallungen (Deichen) und HW-Schutzmauern an den Grundstücksgrenzen ➤ Neubau von Entwässerungsgraben/Mulde inkl. Verwallung (Deich) Tiefengrubener Straße
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Minderung/Verhinderung des Zufluss von Niederschlagswasser in die bebauten Grundstücke ✓ gute Wirksamkeit hinsichtlich Schutzzielerreichung ✓ geringe Versagenswahrscheinlichkeit ✓ niedrige Unterhaltungskosten
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - erforderliche, hohe Flächenverfügbarkeit - Funktion HW-Schutz jedoch nur in Gesamtheit - Einwirkungen auf das Landschaftsbild, ggf. Sichtbehinderungen - Behinderung von Grundstückszuwegungen - Entstehen von Vernässungsflächen hinter HWS - vermutl. eingeschränkte Akzeptanz der Bürger - hohe Investitionskosten - hoher Zeitaufwand für die Umsetzung
Variante 3 - Errichtung Entlastungskanal an L2155 im Unterdorf	
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Errichtung Entlastungskanal im Bereich des Gehweges und des Grünstreifens parallel zur L2155 im Unterdorf ➤ Erweiterung Kasten-Durchlasses Tiefengrubener Straße ➤ Neubau von Entwässerungsgraben/Mulde inkl. Verwallung (Deich) Tiefengrubener Straße ➤ Neubau bzw. Ausbau und Umbau Durchlassbauwerke, teilweise mit verbundener Straßen-/Wegeanhebung im Grabenquerungsbereich
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ✓ zügige Ableitung von Niederschlagswasser aus der Ortslage heraus ✓ Minderung von Rückstauerscheinungen im Unterdorf ✓ geringe Flächeninanspruchnahme ✓ geringer Zeitaufwand für die Umsetzung ✓ moderate Unterhaltungskosten
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Anpassung/Veränderung einiger Grundstückszuwegung erforderlich - eingeschränkte Wirksamkeit hinsichtlich Schutzzielerreichung - erhebliche Investitionskosten (im Vergleich zum Nutzen) - weiterhin bestehende innerörtliche Betroffenheit

Ortslage Bad Berka

- **Variantenunabhängige Einzelmaßnahmen**
 - Objektschutz bzw. operativer Hochwasserschutz an Gebäuden, Öffnungen, Brücken bei weiterhin erkennbarem Gefährdungspotential/Restrisiko

- **Variantenbezogene Einzelmaßnahmen**
 - Rückhalt/Drosselung Bemessungsabfluss auf maximal 5 m³/s
 - HRB Hungerbach
 - HRB Erfurter Bach
 - Kleinspeicher-Kette zwischen Ortslagen Gutendorf und Bad Berka.

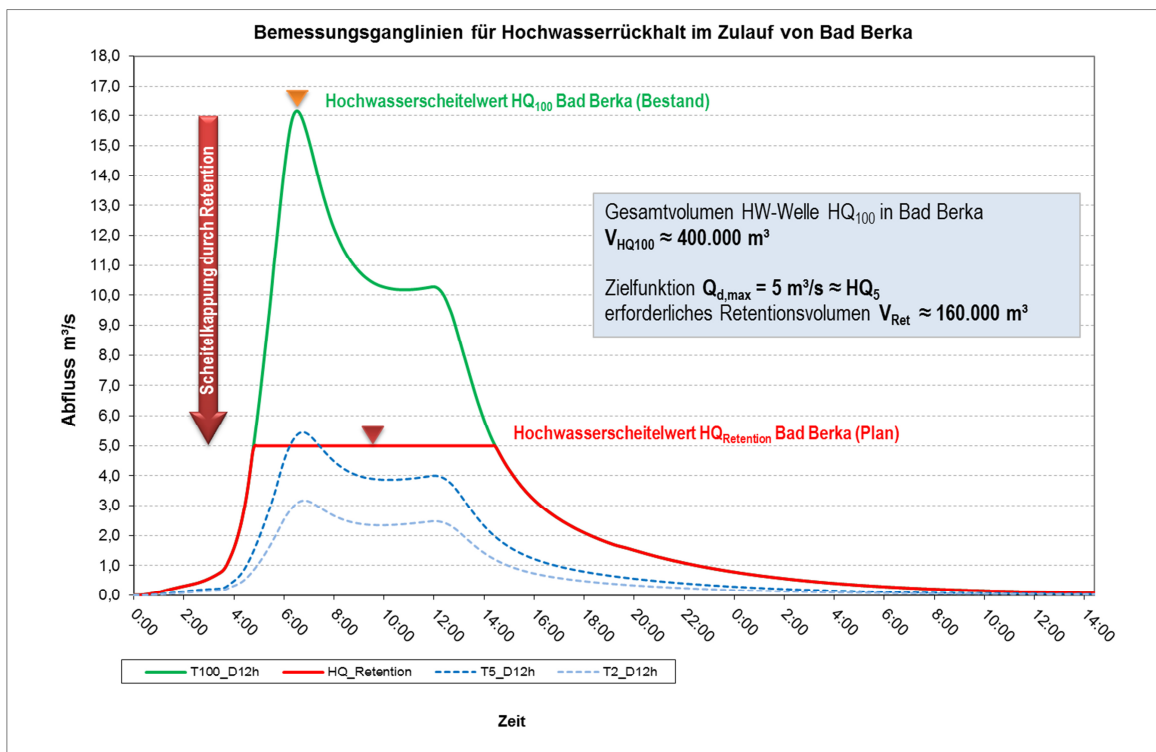


Abbildung 68: Zielfunktion für den erforderlichen Retentionsraum zur Sicherstellung des schadlosen Hochwasserabflusses in Bad Berka

Tabelle 11: Variantenbildung Hochwasserschutzmaßnahmen Bad Berka

Variante 1 – Bau von HRB und Kleinspeichern (bauliche Maximalvariante)	
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rückhalt/Drosselung Bemessungsabfluss mittels <ul style="list-style-type: none"> - HRB 2 Standorte Nr. 1 und 2 - Kleinspeicher-Kette (5 Speicher Nr. 3-7) zwischen Ortslagen Gutendorf und Bad Berka
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Minderung Zufluss in die Ortslage Bad Berka auf maximal 3,60 m³/s ✓ Wirksamkeit hinsichtlich Schutzzielerreichung ✓ geringe Versagenswahrscheinlichkeit bezüglich HW-Schutz ✓ geringer Aufwand an Objektschutzmaßnahmen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - erforderliche Flächenverfügbarkeit - sehr hohe Investitionskosten - regelmäßiger Unterhaltungsaufwand - hohe Unterhaltungskosten - hoher Zeitaufwand für die Umsetzung
Variante 2 – Bau von HRB und Kleinspeichern (reduzierte Stauzielhöhe, reduziertes Speichervolumen)	
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rückhalt/Drosselung Bemessungsabfluss mittels <ul style="list-style-type: none"> - HRB 2 Standorte Nr. 1 und 2 - Kleinspeicher-Kette (5 Speicher Nr. 3-7) zwischen Ortslagen Gutendorf und Bad Berka
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Minderung Zufluss in die Ortslage Bad Berka auf maximal 6,30 m³/s
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - höhere Versagenswahrscheinlichkeit bezüglich HW-Schutz in Bad Berka - erforderliche Flächenverfügbarkeit - zwar „reduzierte“, dennoch hohe Investitionskosten - regelmäßiger Unterhaltungsaufwand - Unterhaltungskosten - hoher Zeitaufwand für die Umsetzung - erhöhter Aufwand an Objektschutzmaßnahmen
Variante 3 – Bau von HRB (bauliche Minimalvariante)	
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rückhalt/Drosselung Bemessungsabfluss mittels <ul style="list-style-type: none"> - HRB 2 Standorte Nr. 1 und 2 mit maximal erforderlichem Ausbau - keine Kleinspeicher-Kette zwischen Ortslagen Gutendorf und Bad Berka
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Minderung Zufluss in die Ortslage Bad Berka auf maximal 3,70 m³/s ✓ „reduzierte“ Investitions- und Unterhaltungskosten gegenüber Var 1 und 2 ✓ Wirksamkeit hinsichtlich Schutzzielerreichung ✓ geringe Versagenswahrscheinlichkeit bezüglich HW-Schutz ✓ hohe Akzeptanz der Bürger zu erwarten ✓ überschaubarer Zeitaufwand für die Umsetzung ✓ geringer Aufwand an Objektschutzmaßnahmen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - erforderliche Flächenverfügbarkeit - zwar „reduzierte“, dennoch hohe Investitionskosten - regelmäßiger Unterhaltungsaufwand - Unterhaltungskosten

7.3.2 Wirtschaftlichkeit – Kostenschätzung

Für alle identifizierten Maßnahmen erfolgte auf Basis von definierten Geometrien und Einheitskosten (Erfahrungswerte aus vergleichbaren Projekten) eine Erstabschätzung hinsichtlich der Investitionskosten (Beschaffungs-/Baukosten) und der laufenden Kosten pro Jahr (Unterhaltungs-/Instandhaltungskosten) unterteilt nach den Ortslagen entsprechend der Anlage A-4 (Kostenschätzung).

Zudem sind die Kosten für den Objektschutz einzeln ausgewiesen und in verschiedenen Kostenzusammenstellungen pro Variante dargestellt worden.

Kosten für die Absenkung der Straße L2155, überregionale und allgemeine Vorsorgemaßnahmen (z.B. Flächen- und Bauvorsorge, Risiko- und Informationsvorsorge, u.a.) sowie für Maßnahmen der Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzes sind hier **nicht** enthalten.

Tabelle 12: Kostenübersicht – HW-Schutzmaßnahmen Gutendorf

Zusammenstellung Kosten Gutendorf		Investitionskosten		Jährliche Kosten	
Vorzugsvariante / Variante 3 - inkl. Objekt-Schutz		Summe:	1.170.000 €	Summe:	4.957 €
Vorzugsvariante / Variante 3 - ohne Objekt-Schutz		Summe:	815.000 €	Summe:	3.102 €
Variante 2	inkl. Objekt-Schutz	Summe:	2.622.500 €	Summe:	3.932 €
	ohne Objekt-Schutz	Summe:	2.267.500 €	Summe:	2.077 €
Variante 1	inkl. Objekt-Schutz	Summe:	3.722.000 €	Summe:	5.010 €
	ohne Objekt-Schutz	Summe:	3.367.000 €	Summe:	3.155 €

Tabelle 13: Kostenübersicht – HW-Schutzmaßnahmen Bad Berka

Zusammenstellung Kosten Bad Berka		Investitionskosten		Jährliche Kosten	
Vorzugsvariante / Variante 3 - inkl. Objekt-Schutz		Summe:	2.130.000 €	Summe:	60.500 €
Vorzugsvariante / Variante 3 - ohne Objekt-Schutz		Summe:	2.100.000 €	Summe:	60.000 €
Variante 2	inkl. Objekt-Schutz	Summe:	2.250.000 €	Summe:	55.000 €
	ohne Objekt-Schutz	Summe:	2.150.000 €	Summe:	54.300 €
Variante 1	inkl. Objekt-Schutz	Summe:	2.280.000 €	Summe:	61.800 €
	ohne Objekt-Schutz	Summe:	2.250.000 €	Summe:	61.300 €

7.3.3 Absenkung Landesstraße L2155 in Gutendorf

Im Zuge der Erarbeitung und Prüfung von wirksamen Maßnahmen zur Verbesserung der Hochwassersituation in Gutendorf sollte zusätzlich die nach Aussagen des AG am unteren Ortsrand überhöhte Landesstraße L2155 hinsichtlich deren Auswirkung auf die Abflussverhältnisse bzw. den Wasserstand überprüft werden. Dabei sollte der hier als „Staudamm wirkende“ und somit am Ortsausgang eine „Muldenlage“ erzeugende Straßenverlauf im hydraulischen Modell entsprechend beseitigt bzw. die Straße in der Gradienten abgesenkt werden. Entsprechend der vorhandenen Datengrundlage und der topographischen Verhältnisse (DGM) wurde die Absenkung der Straße dabei in der Art vorgenommen, dass sich ab Ortsausgang in Richtung Bad Berka ein Gefälle in der Straßengradienten einstellt und somit ein Wasserabfluss über die Straße aus der Ortslage heraus gegeben wäre. Dies bedeutet, dass eine Absenkung auf einer Länge von ca. 300 m erforderlich wäre. Bezüglich der Höhenlage wäre ein Geländeabtrag in der Spitze bis max. ca. 2,30 m notwendig.

Im Vergleich zum Ist-Zustand sind zwei Zustände modelliert und die Wasserspiegellagen jeweils für den Lastfall HQ₁₀₀ berechnet worden:

- Zustand 1: nur Straßenabsenkung L2155
- Zustand 2: Straßenabsenkung L2155 zzgl. Aufweitung Betondurchlass Tiefengrubener Straße (um ca. 3,0 m à Breite 4,50 m).

Auswertung der Berechnungsergebnisse:

Zustand 1 - nur Straßenabsenkung L2155

Rechtsseitig neben dem Verlauf der Landesstraße 2155, im Bereich der Senke oberhalb des Durchlasses Tiefengrubener Straße, ist eine Reduzierung des Wasserstandes um im Mittel etwa 60 cm festzustellen (siehe Abbildung 70). Der Abfluss wird durch den „schmalen“ Betondurchlass rückgestaut.

Im Bereich der Straßeneinmündungen Troistedter bzw. Tiefengrubener Straße stellt sich im Bereich der Landesstraße eine Absenkung des Wasserstandes um bis zu 30 cm ein (siehe Abbildung 70).

Rechentechische Auswirkungen auf die WSP-Lage bestehen im Bereich der Landesstraße auf einer Länge von max. 130-150 m ab etwa der Tiefengrubener Straße in Richtung Querung Kirchgasse, wobei die WSP-Differenzen aufgrund des ansteigenden Geländes zur Ortsmitte hin schnell deutlich geringer werden. Eine deutlichere Verringerung der ÜSG-Fläche besteht für die Flurstücke südlich der L2155 im Bereich bis max. 80 m oberhalb der Tiefengrubener Straße sowie partiell unterhalb des Betondurchlasses. In Richtung Ortsmitte bis zur Querung Kirchgasse sind nur marginale Veränderungen feststellbar.

Die Straße L2155 fungiert im Hochwasserfall als „Nebengerinne“ und wird mindestens auf der Länge der Absenkung zusätzlich überflutet.

Zustand 2 - Straßenabsenkung L2155 zzgl. Aufweitung Betondurchlass Tiefengrubener Straße

Rechtsseitig neben dem Verlauf der Landesstraße 2155, im Bereich der Senke oberhalb des Durchlasses Tiefengrubener Straße, ist eine Reduzierung des Wasserstandes um etwa 100 cm festzustellen (siehe Abbildung 69). Der Rückstau einfluss durch den Betondurchlass wird deutlich reduziert bzw. nahezu beseitigt.

Im Bereich der Straßeneinmündungen Troistedter bzw. Tiefengrubener Straße stellt sich im Bereich der Landesstraße eine Absenkung des Wasserstandes ähnlich Zustand 1 um bis zu 30 cm ein (siehe Abbildung 70).

Gleiche Verhältnisse wie bei Zustand 1 bestehen bei der längenmäßigen Auswirkung auf die WSP-Lage im Bereich der Landesstraße in Richtung Ortsmitte. Die größten Unterschiede in der WSP-Lage zum Ist-Zustand bestehen im Bereich der rechtsseitigen Senke oberhalb des Durchlasses Tiefengrubener Straße. Aufgrund der weiteren Absenkung des Wasserstandes stellt sich im Vergleich zum Zustand 1 eine noch deutlichere Verringerung der ÜSG-Fläche ein. Der Wirkungsbereich beschränkt sich auch hier insbesondere auf die Flurstücke südlich der L2155 im Bereich bis max. 80 m oberhalb der Tiefengrubener Straße. Darüber hinaus bestehen in Richtung Ortsmitte ähnlich dem Zustand 1 nur marginale Veränderungen gegenüber dem Ist-Zustand.

Die Straße L2155 fungiert im Hochwasserfall als „Nebengerinne“ und wird mindestens auf der Länge der Absenkung zusätzlich überflutet.

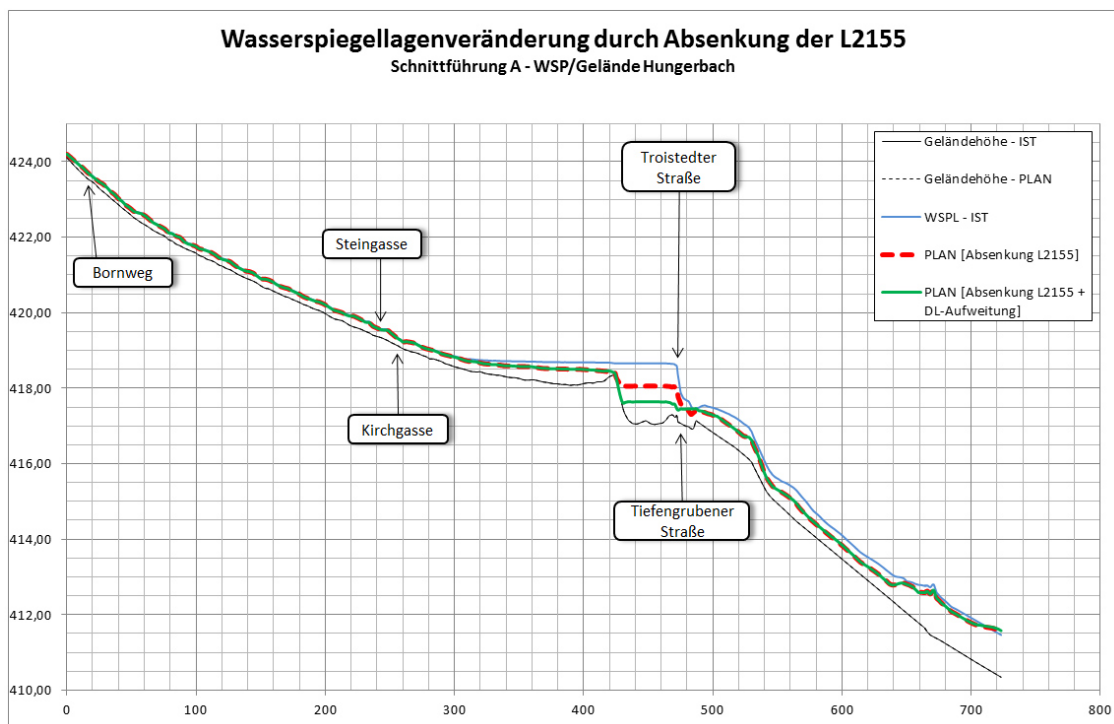


Abbildung 69: Schnittführung für die Auswertung der Wasserspiegellage von Straße L2155 über Durchlass Tiefengrubener Straße in Richtung Gewässergraben (Hungerbach)

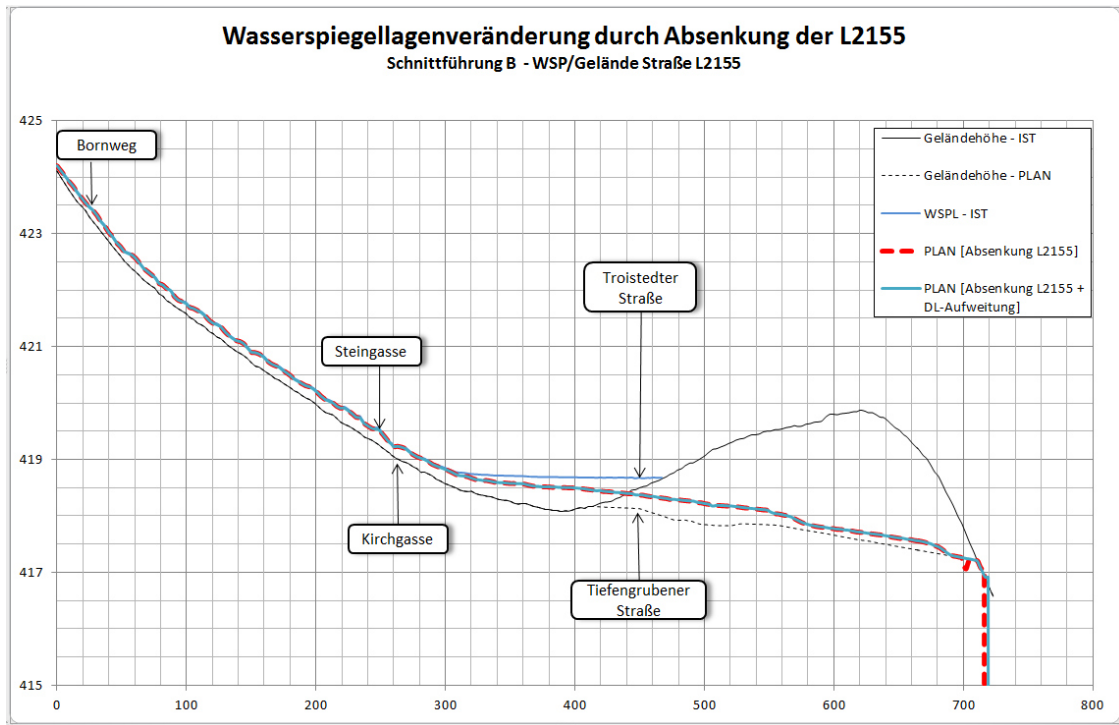


Abbildung 70: Schnittführung für die Auswertung der Wasserspiegellage nur entlang Straße L2155

Fazit

Generell ist festzustellen, dass sich mit der modellierten Absenkung der L2155 (selbst mit zusätzlicher Aufweitung des Betondurchlasses Tiefengrubener Straße) deutlich verbessernde Auswirkungen hinsichtlich Wasserstand und Ausweitung der ÜSG-Fläche auf einen begrenzten Raum am unteren Ortsrand von Gutendorf beschränken (erweiterter Kreuzungsbereich der L2155 mit der Troistedter/Tiefengrubener Straße sowie die hier rechtsseitig, tiefer liegenden Flurstücke oberhalb Betondurchlass Tiefengrubener Straße). Weiter in Richtung Ortsmitte sind infolge der Straßenabsenkung dann geringe Auswirkungen feststellbar.

Mit der Absenkung wäre im Hochwasserfall auch eine zusätzliche Beanspruchung/Überflutung der Straße außerhalb der Ortslage verbunden.

Die Aufweitung des Betondurchlasses Tiefengrubener Straße besitzt positive Auswirkungen bezüglich einer Minderung/Beseitigung des bestehenden Abflussrückstaus für die rechtsseitig der L2155 tiefer liegenden Flurstücke oberhalb des Durchlasses. Demnach wurde diese Maßnahme als Bestandteil in die zu bildende Vorzugsvariante übernommen.

7.3.4 Darstellung der Vorzugsvariante

Die Vorzugsvariante entspricht jeweils der Variante 3 für die Ortslagen Bad Berka und Gutendorf. Diese beinhaltet folgende Maßnahmen:

- Anschluss/Einstau von Retentionsflächen mittels Sperrbauwerken

- Bau 2 Stck. Hochwasserrückhaltebecken (HRB)
 - HRB Hungerbach (Becken Nr. 1)
 - HRB Erfurter Bach (Becken Nr. 2)

Tabelle 14: Übersicht Kenngrößen HRB Vorzugslösung Variante 3

Variante 3 - Kronenhöhen bei den Becken stammen aus der Berechnung von Jörg. Die HWE liegt 1,0 m unter der jeweiligen Kronenhöhe unter der jeweiligen Dammkrone.							
Becken Nr.:	Vollstau [Tsd. m³]	Höhe beim Vollstau [m NHN]	Dammlänge [m]	Dammkronen [m NHN]	Sohle beim Grundablass / Bachsohle [m NHN]	Dammhöhe [m]	Grundablass
1	249,3207	309,50	ca. 170	310,50	299,75	10,75	DL DN 500
2	71,4359	318,37	ca. 150	319,37	310,80	8,57	DL DN 400
Scheitelabflusswert HQ ₁₀₀ am Element SK07 Bad Berka -> 3.694 m³/s							

- Gewässerunterhaltung - Sanierung vorhandener Entwässerungsgräben (Gutendorf)
 - Beräumung Gewässersohle
 - Beseitigung abflussbehindernder Bewuchs
- Gewässerausbau, Bau Entlastungsgraben an L2155 (Gutendorf)
 - Gewässersohle mit einheitlichem Sohlgefälle
 - Gerinneaufweitung
 - Pflasterung mit Gitterrostabdeckung

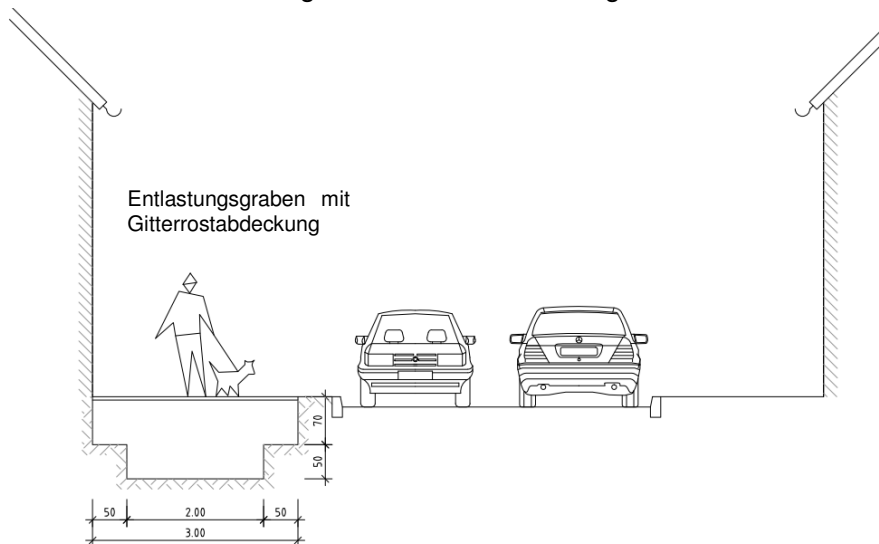


Abbildung 71: Anordnung Entlastungsgraben (Durchschnittsgröße) im Straßenraum L2155 in Gutendorf

- abschnittsweiser Neubau von Entwässerungsgräben/Mulden (Tiefengruber Straße)
- Verwallung – ufernah an Entwässerungsgraben (Tiefengruber Straße)
- Neubau bzw. Ausbau und Umbau verschiedener Durchlassbauwerke
 - Vermeidung von Rückstau, Bauwerksschäden

- Querschnittserweiterung zur Erhöhung der Durchflusskapazität
- Straßen-/Wegeanhebung im Grabenquerungsbereich in Verbindung mit Umbau Durchlassbauwerk
- Erweiterung Kasten-Durchlass Tiefengrubener Straße
 - Vermeidung von Rückstau, Bauwerksschäden
 - Querschnittserweiterung zur Erhöhung der Durchflusskapazität



Abbildung 72: Kasten-Durchlass mit Gitterrostabdeckung „Tiefengrubener Straße“

- Neubau Geröll-/Sedimentfänge vor Durchlässen/Einlaufbauwerken
 - zur Vermeidung von Verklausung
 - Sicherstellung der Durchflusskapazität der Bauwerke



Abbildung 73: Beispiel Einlaufbauwerk mit Handrechen für kleine Gräben



Abbildung 74: *Beispiel Sedimentfang vor Rohrdurchlass für kleine Gräben*



Abbildung 75: *li: Zulauf Sedimentfang, re: Sedimentfang mit Ablauf Rohrdurchlass*

- Objektschutz bzw. operativer Hochwasserschutz an Gebäuden, Öffnungen, und Durchlassbauwerken bei weiterhin erkennbarem Gefährdungspotential/Restrisiko
 - Vorhalten von Sandsäcken
 - Schutzmauern
 - ggf. mobile HW-Schutzwände

Mit den einzelnen Maßnahmen soll die bestehende Hochwassersituation in den Ortslagen verbessert werden. Die Absenkung der Landesstraße L2155 ist nicht Bestandteil der Vorzugsvariante, diese wurde lediglich als weitere, mögliche Optimierungsmaßnahme betrachtet.

7.4 Restriktionen

7.4.1 Schutzgebiete und Naturdenkmale

Allgemein gilt, dass erhebliche Beeinträchtigungen von Schutzgebieten bzw. Oberflächengewässern gemäß BNatSchG in der Regel nicht vorliegen, wenn

- nachteilige Abweichungen, die geringer sind als die natürlichen Fluktuationen, die für den betreffenden Lebensraum oder die betreffende Art als normal gelten,
- nachteilige Abweichungen, die auf natürliche Ursachen zurückzuführen sind oder aber auf eine äußere Einwirkung im Zusammenhang mit der Bewirtschaftung der betreffenden Gebiete, die den Aufzeichnungen über den Lebensraum oder den Dokumenten über die Erhaltungsziele zufolge als normal anzusehen ist oder der früheren Bewirtschaftungsweise der jeweiligen Eigentümer oder Betreiber entspricht,
- einer Schädigung von Arten oder Lebensräumen, die sich nachweislich ohne äußere Einwirkung in kurzer Zeit so weit regenerieren werden, dass entweder der Ausgangszustand erreicht wird oder aber allein auf Grund der Dynamik der betreffenden Art oder des Lebensraums ein Zustand erreicht wird, der im Vergleich zum Ausgangszustand als gleichwertig oder besser zu bewerten ist.

Sind erhebliche Beeinträchtigungen nicht vermeidbar, sind diese vom Verursacher zu kompensieren.

Im unmittelbaren Bereich der geplanten Maßnahmen (Vorzugsvariante 3) am Gewässer sind keine FFH-Schutzgebiete nach NATURA 2000, Naturschutz- oder Wasserschutzgebiete ausgewiesen.

Hinsichtlich anderer Schutzgebietstypen befinden sich alle geplanten Maßnahmen entlang des Grabensystems (Hungerbach) von Gutendorf bis Bad Berka im Landschaftsschutzgebiet (LSG) „Ilmtal von Oettern bis Kranichfeld“. Ebenso sind mehrere gesetzlich geschützte Biotope gemäß § 18 Thüringer Naturschutzgesetz (ThürNatG)/§ 30 BNatSchG (u.a. lineare Streuobst-Baumreihen, z.T. heckenartig verbuscht, schmaler Graben mit Flutschwadern, Streuobstbestände, extensiv genutzte Grünländer) vorhanden.

Ob und inwieweit die als zu schützendes Naturdenkmal ausgewiesenen „Zwei Linden“ am unteren Ortsrand von Gutendorf von den Maßnahmen tatsächlich betroffen sind, ist im Zuge weiterer Planungsphasen zu prüfen.

Die im „Erfurter Tal“ ausgewiesene Fläche für „Geschützte Landschaftsbestandteile“ (GLB) liegt oberhalb der durch das vorgesehene HRB eingestauten Flächen.

Rechtlich gesehen ist die Anlage eines Hochwasserrückhaltebeckens bzw. der zeitlich begrenzte Flächeneinstau in einem Landschaftsschutzgebiet nicht ausgeschlossen. Allerdings weisen alle zugewiesenen Retentionsflächen eine besondere ökologische Bedeutung auf. In

Ergänzung zum reinen Hochwasserschutz sind hier natürlich auch gewässeraufwertende Maßnahmen denkbar.

Sämtliche im Untersuchungsgebiet vorhandenen Schutzgebiete, Biotope und Naturdenkmale sind in der Übersichtskarte Anlage B-5 dargestellt.

7.4.2 Infrastrukturprojekte

Über geplante oder in der Umsetzung befindliche Infrastrukturprojekte, die im Zusammenhang mit den standortbezogenen Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen wären, lagen keine Informationen vor.

7.4.3 Leitungsbestand, Infrastrukturanlagen, Flächenbedarf

Neben den zu erfassenden Restriktionen bzgl. des Naturschutzes (Eingriff in Schutzgebiete, vgl. Kap. 7.4.1) sind zudem zur qualitativen Bewertung der Maßnahmen auch mögliche Beeinflussungen im Hinblick auf

- Entwässerungseinrichtungen
- Leitungsbestand (Regenwasser, Abwasser, Gas, MS/TS)
- Infrastrukturanlagen (Straßen, Zuwegungen, Überfahrten)
- Flächenbedarf

zu prüfen (siehe dazu auch Kap. 3.7.4).

In den Außengebieten zwischen Bad Berka und Gutendorf ist für die Anlage der HRB ein erheblicher Flächenbedarf zu erwarten.

Innerorts werden vor allem in Gutendorf Eingriffe in den Leitungsbestand verschiedener Medienenträger sowie in die Infrastrukturanlagen erforderlich.

Erforderliche Eingriffe in Grundstücksflächen (insbesondere in private Grundstücksflächen) sind hier im Zuge weiterer Planungsphasen detailliert im Hinblick auf eine dauerhafte und/oder bauzeitliche Beanspruchung aufzuzeigen.

8 Wirkungsnachweis der Maßnahmen (Plan-Zustand)

Die Wirksamkeitsanalyse der Maßnahmen für den Plan-Zustand beinhaltet die hydrologische und hydraulische Modellmodifikation sowie die damit verbundene Nachweisführung der Wirksamkeit der definierten Vorzugsvariante (Variante 3) gemäß Kap. 7.3.3.

In Vorbereitung zur quantitativen Wirksamkeitsanalyse wurden Maßnahmen identifiziert, die positive Auswirkungen hinsichtlich

- der Abflussretention (HRB),
- einer Reduzierung der unmittelbaren Hochwasserbetroffenheit für die Anlieger,
- des Abflussgeschehens (Fließverhältnisse)

und somit allgemein auf die bestehende Situation im Hochwasserfall bewirken können.

Für die potentiell retentionswirksamen Maßnahmen (Scheitelkappung an Haupt- und Nebengewässern) innerhalb der Vorzugsvariante wurde ein Wirkungsnachweis mittels N-A-Modell geführt.

Die neuen Scheitelabflüsse $HQ_{(T)}$ (siehe Kap. 8.2) werden unter Berücksichtigung der Retentionsraummaßnahmen (HRB) an den Berechnungsknoten für die stationären Nachweise mit dem N-A-Modell ausgewiesen.

Für die modelltechnische Nachweisführung wurden alle hydraulisch wirksamen Maßnahmen der Vorzugsvariante in das hydronumerische Modell eingearbeitet und die Berechnungen mit den neuen Scheitelabflüssen aus dem modifizierten N-A-Modell erneut durchgeführt. Die Berechnungen werden dabei für alle Hochwasserereignisse HQ_T durchgeführt.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass Maßnahmen im Oberlauf oder an Nebengewässern auch Auswirkungen am Unterlauf des Hauptgewässers haben können. Somit ist es u.U. erforderlich, die Auswirkungen auch für Modellabschnitte nachzuweisen, in denen explizit keine hydraulisch nachweisbaren Maßnahmen vorgesehen sind.

8.1 Modellumbau Plan-Zustand

Für eine aussagekräftige Bewertung bzgl. des Einflusses der geplanten Maßnahmen zur Verbesserung der allgemeinen Hochwassersituation (Überschwemmungsgebiete, Wasserstände) erfolgte eine hydraulische Neuberechnung der Wasserspiegellagen sowie der Wassertiefen im bestehenden 2D-HN-Modell.

Für die Nachbildung des Plan-Zustandes wurden die im Konzept definierten Geometrien (Länge, Höhe, Breite) der Maßnahmen als 3D-Höhenmodell aufbereitet und anschließend in das 2D-Berechnungsnetz integriert.

Die Anpassungen im 2D-Modell für den Plan-Zustand sind entsprechend der hydraulisch nachweisbaren Maßnahmen der Vorzugsvariante nachfolgend beispielhaft beschrieben.

Geplante Gräben wurden mit einem repräsentativen Gerinnequerschnitt im Modell geometrisch berücksichtigt. Deichstrukturen sowie Verwallungen wurden teilweise als Geometrie oder mit der Materialdefinition „disable“ modelliert. Dadurch können Wasserstände an der geplanten Struktur abgelesen und die benötigte Kronenhöhe abgeleitet werden (vgl. Abbildung 76 und Abbildung 77).

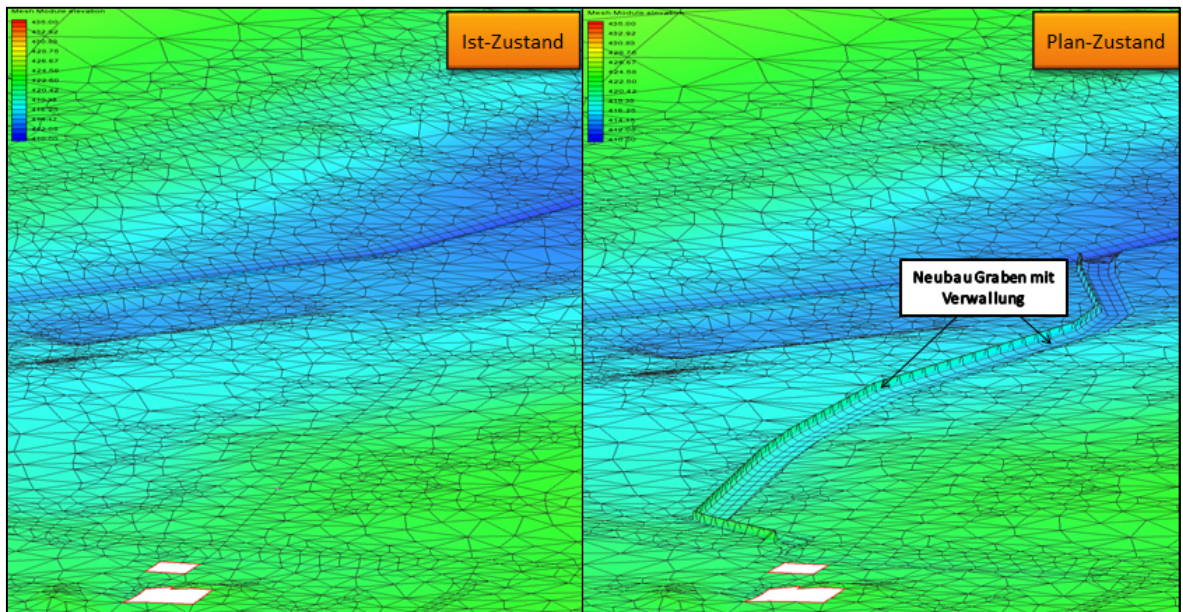


Abbildung 76: Geplanter Grabenneubau mit Verwallung südlich der Kläranlage in Gutendorf

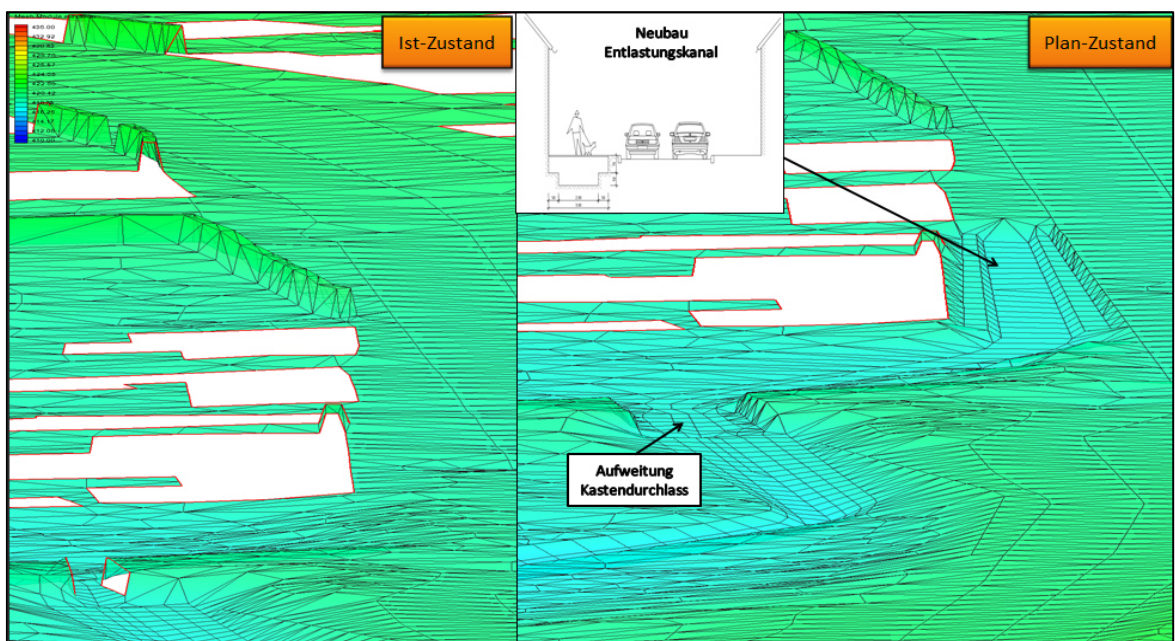


Abbildung 77: Geplante Durchlassaufweitung sowie Neubau eines Entlastungsgrabens parallel zur L2155 am Ortsausgang von Gutendorf

Die geplanten Rückhaltebecken zwischen Bad Berka und Gutendorf wurden vereinfacht mit Hilfe von Auslauffunktionen oberhalb (W-Q-Beziehung) sowie Abflusszunahmen unterhalb des geplanten Absperrbauwerks modelliert. Zusätzlich erfolgte eine Abbildung der Deichkrone mit der Materialdefinition „disable“.

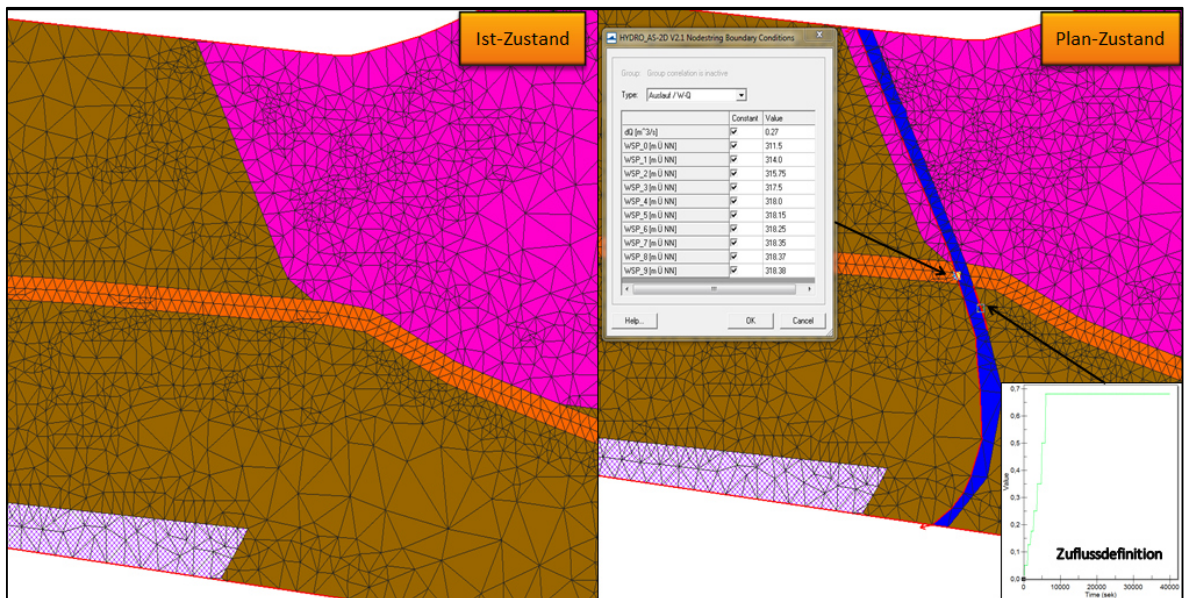


Abbildung 78: Modelltechnische Umsetzung geplanter Hochwasserrückhaltebecken am Fließweg aus Kerntal

8.2 Durchführung der hydraulischen Berechnungen Plan-Zustand

Das hydronumerische 2D-Modell wurde entsprechend der modifizierten Randbedingungen in der Geometrie und den Eingangsgrößen angepasst.

Die Berechnungen vom Plan-Zustand erfolgten identisch zum Ist-Zustand für die Lastfälle **HQ₅, HQ₂₀, HQ₅₀ und HQ₁₀₀**.

Unter Berücksichtigung der erfolgten Maßnahmenplanung (Vorzugsvariante 3) war eine entsprechende Modifizierung des N/A-Modells (Ansatz Hochwasserretention durch 2 HRB-Standorte) und somit der Bemessungsabflusswerte $HQ_{(T)}$ erforderlich. Für den Plan-Zustand wurden nachfolgende Hochwasserscheitelabflusswerte $HQ_{(T)}$ gemäß der Tabelle 15 und Tabelle 16 ermittelt.

Tabelle 15: Hydrologischer Längsschnitt (Bezug Bad Berka) - Plan-Zustand

Fließgewässerquerschnitt	Hochwasserscheitelabflusswerte HQ(T) [m³/s] Plan-Zustand							
	AE [km²]	T=2a	T=5a	T=10a	T=20a	T=25a	T=50a	T=100a
Hungerbach								
Oberhalb Ortslage Gutendorf	0,50	0,30	0,50	0,67	0,86	0,92	1,13	1,34
Ortslage Gutendorf	0,81	0,50	0,82	1,09	1,39	1,49	1,82	2,16
Unterhalb Ortslage Gutendorf	1,64	0,87	1,43	1,92	2,45	2,63	3,21	3,82
Tiefborntal 3	2,91	1,29	2,15	2,91	3,75	4,03	4,94	5,90
Tiefborntal 2	3,59	1,52	2,57	3,50	4,54	4,89	6,02	7,21
Tiefborntal 1	4,01	1,64	2,78	3,80	4,94	5,32	6,56	7,87
Oberhalb Siedlung Tiefborn	6,69	2,22	3,82	5,25	6,91	7,46	9,24	11,1
Oberhalb Mündung Erfurter Bach (Kerntal)	7,41	2,39	4,11	5,67	7,47	8,07	9,99	12,1
Unterhalb Mündung Erfurter Bach (Kerntal) / HRB 1 und 2	10,77	0,87	0,99	1,06	1,12	1,14	1,20	1,24
Oberhalb Gewerbegebiet Bad Berka	11,11	0,93	1,09	1,20	1,36	1,42	1,60	1,78
Unterhalb Gewerbegebiet Bad Berka	12,12	1,20	1,69	2,02	2,50	2,64	3,11	3,59
Mündung in den Schleusen-graben	12,16	1,22	1,72	2,13	2,57	2,72	3,20	3,69

Tabelle 16: Hydrologischer Längsschnitt (Bezug Gutendorf) - Plan-Zustand

Fließgewässerquerschnitt	Hochwasserscheitelabflusswerte HQ(T) [m³/s] Plan-Zustand							
	AE [km²]	T=2a	T=5a	T=10a	T=20a	T=25a	T=50a	T=100a
Hungerbach								
Oberhalb Ortslage Gutendorf	0,50	0,33	0,57	0,77	0,99	1,06	1,30	1,55
Ortslage Gutendorf	0,81	0,56	0,93	1,25	1,60	1,71	2,09	2,48
Unterhalb Ortslage Gutendorf	1,64	0,97	1,63	2,19	2,82	3,02	3,70	4,41

Die hydraulischen Berechnungen für die 4 zu betrachtenden Lastfälle erfolgten ebenfalls stationär.

8.3 Auswertung Plan-Zustand (Ist/Plan-Vergleich)

Für den Plan-Zustand wurden gleichermaßen zum Ist-Zustand die Bemessungslastfälle HQ_T berechnet. Die Berechnungsergebnisse wurden aus SMS in das notwendige ESRI-Format exportiert und konvertiert. Über ArcGIS 10.4 erfolgte die Aufbereitung der Ergebnisdaten.

Als Auswertung der hydraulischen Berechnungen wurden Übersichtskarten erstellt mit den räumlichen Ergebnissen zu:

- Überschwemmungsgrenzen
- Wassertiefen
- Differenzen der Überschwemmungsgrenzen.

Ermittlung der Überschwemmungsflächen und Wassertiefen

Die Ermittlung der Überschwemmungsflächen und Wassertiefen erfolgte analog zur Vorgehensweise für den Ist-Zustand (vgl. Kap. 5.6). Die Karten für den Plan-Zustand sind dem Ergebnisbericht als lose Pläne (Anlagen B-2.1 und B-2.2) beigelegt.

In der Anlage B-3 sind die Differenzen der Überschwemmungsflächen zwischen dem Ist- und Plan-Zustand für das Hochwasserereignis HQ₁₀₀ (Gutendorf) gegenübergestellt.

Die Ergebnisse des Plan-Zustandes können ortsbezogen wie folgt bewertet werden. Am Ortsausgang von Gutendorf in Richtung Meckfeld zeigen sich keine signifikanten Veränderungen der Überschwemmungsflächen (vgl. Abbildung 79). Grund hierfür ist, dass die vorgesehenen Maßnahmen lediglich einen Einfluss auf das Strömungsverhalten am Ortsausgang in Richtung Bad Berka haben. Oberhalb von Gutendorf ist die Abflusssituation durch eine Vielzahl von Zuflüssen geprägt, die selbst durch eine verbesserte Abflussführung im Unterwasser (Unterdorf) nicht beeinflusst bzw. verändert werden kann.



Abbildung 79: Vergleich von Ist- und Plan-Zustand der Überschwemmungsfläche oberhalb von Gutendorf

Die Veränderung der Überschwemmungsfläche am Ortsausgang von Gutendorf in Richtung Bad Berka ist in Abbildung 80 dargestellt. Aufgrund des geplanten Entwässerungsgerinnes mit Verwallung südlich der Ortslage bzw. der Kläranlage kann in diesem Bereich eine gezieltere

Abflussführung erreicht werden. Allerdings ergeben sich weiterhin Betroffenheiten aufgrund der Vielzahl von Zuflüssen in die Ortslage Gutendorf.



Abbildung 80: Vergleich von Ist- und Plan-Zustand der Überschwemmungsfläche unterhalb von Gutendorf

Eine lokale Verringerung der Wassertiefen in Gutendorf ergibt sich aufgrund des vorgesehenen Entlastungskanal entlang der L2155 sowie der Querschnittsaufweitung des Kastendurchlasses „Tiefengrubener Straße“. Die Wassertiefen können um durchschnittlich 67 cm gesenkt werden, jedoch begrenzt sich die Wirksamkeit auf einen nur rd. 0,67 ha großen Bereich am Ortsausgang von Gutendorf (vgl. Abbildung 81).



Abbildung 81: *Wasserspiegellagendifferenz (Ist/Plan) am Ortsausgang von Gutendorf in Richtung Bad Berka für HW HQ₁₀₀*

Die Wirksamkeit der vorgesehenen Hochwasserrückhaltebecken (HRB) zwischen Gutendorf und Bad Berka zeigt sich in Anlage B-2.1. Durch den gezielten Einstau des Hungerbachs sowie dem Fließweg aus Kerntal wird in Bad Berka ein maximaler Abfluss von 3,30 m³/s erreicht, wodurch die Betroffenheit der Ortslage von der Johann-Scholz-Straße bis zur B85 durch den Hungerbach deutlich reduziert wird.

8.4 Betrachtung des verbleibenden Risikos und Handlungsempfehlungen

Die Hochwasserschutzmaßnahmen hinsichtlich Retention (HRB / Maßnahmen M23 und M25) für die Stadt Bad Berka sind auf das Hochwasserereignis mit einer Jährlichkeit von T = 100 a und entsprechend den topografischen Verhältnissen (Geländeinformationen nach DGM und terrestrische Gewässervermessung) ausgelegt.

Das Restrisiko besteht dementsprechend in der Intensität der Regenereignisse und der Erhaltung des Hochwasserabflussprofils im Gewässer und der Aue. Ebenso sind bei einem Ereignis >HQ₅₀ zusätzliche Schutzvorkehrungen im Bereich des Einlaufes der Verdolung erforderlich.

Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass der allgemeine Gewässerzustand erhalten bleibt bzw. durch Unterhaltung verbessert wird, um die geodätischen Randbedingungen einzuhalten.

Im Bereich der Ortslage Gutendorf führen die definierten Maßnahmen neben einer teilweisen Einschränkung des Zustromes von Oberflächenwasser aus dem umliegenden Gelände in die Ortslage in erster Linie jedoch zu einer Verbesserung der Abflussverhältnisse hinsichtlich einer schnelleren Abflussableitung aus der Ortslage heraus in den Gewässergraben. Der bestehende Abflussrückstau kann vermindert und somit der Wasserstand am unteren Ortsrand abgesenkt werden.

Allgemein gilt jedoch, dass für Bad Berka bei Hochwasserereignissen ab HQ_{50} (unter Berücksichtigung HRB) und prioritär für Gutendorf bei Starkregenereignissen mit großer Abflussbildung aus dem umliegenden Gelände zusätzliche Schutzvorkehrungen zu treffen sind. Entsprechende Handlungsempfehlungen bei Extremereignissen sind im Kap. 7.2 aufgeführt.

In Gutendorf kann mit den Um- und -Ausbaumaßnahmen der Vorzugsvariante 3 allein (Maßnahmen M1 bis M5 sowie M18 bis M20) in erster Linie das Ziel der Verbesserung der bestehenden Abflussverhältnisse (Abflussableitung, Minderung Abflussrückstau) erreicht, nur teilweise jedoch der Zustrom von abfließendem Oberflächenwasser aus dem umliegenden Hanggelände in die Ortslage verhindert werden.

Diesbezüglich wären noch zusätzlich mögliche Maßnahmen in der Fläche z.B.

- durch Umwidmung der Landnutzung,
- Anlegen von parallel zur Ortslage verlaufenden Gehölzschutzstreifen,
- Feldbearbeitung parallel zur Ortslage bzw. Vermeidung eines senkrechten Verlaufes der Ackerfurchen in Richtung Ortslage

in Zusammenarbeit mit den Grundstückseigentümern zu prüfen und umzusetzen.

8.5 Priorisierung der Maßnahmen

Die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen ist mit einem erheblichen finanziellen, planerischen sowie verwaltungstechnischen Aufwand verbunden.

Es ist davon auszugehen, dass eine nahezu gleichzeitige Umsetzung aller geplanten Maßnahmen (HRB, Maßnahmen Gutendorf) – insbesondere finanziell – kaum möglich ist.

Für die Stadt Bad Berka ist im Ergebnis sämtlicher Berechnungen des Plan-Zustandes festzustellen, dass ein Erreichen eines Schutzzieles nahe HQ_{100} (mind. jedoch HQ_{50}) nur mit den vorgesehenen HRB-Standorten 1+2 (M23, M25) realisiert werden kann. Damit könnten die Ausuferungen und Überflutungen am Einlauf in die Verdolung sowie damit entstehende innerörtliche Schäden schon beim Ablauf kleinerer Hochwasserereignisse erheblich minimiert bzw. vermieden werden.

Für die Ortslage Gutendorf sind hinsichtlich der Verbesserung der Abflussverhältnisse (Minderung Abflussrückstau) am unteren Ortsrand prioritär die Maßnahmen

- M18 Entlastungskanal im Bereich des Grünstreifens parallel der L2155,
- M19 Neubau bzw. Ausbau und Umbau vorhandener Kastendurchlass (Tiefengrubener Straße)

umzusetzen.

Ggf. ist in diesem Zusammenhang eine abschnittsweise Absenkung der Straße L2155 (M28) mit einzubeziehen.

Im Zusammenhang mit der Prüfung und Bewertung der Maßnahmen Vorzugsvariante 3 erfolgten nach entsprechender Abstimmung mit dem AG und unter Berücksichtigung bestehender Restriktionen (Flächenverfügbarkeit, Leitungsbestand, etc.) für die Ortslage Gutendorf einige Anpassungen bzw. Ergänzungen zu den erarbeiteten Maßnahmen. Das betrifft beispielsweise den Verlauf und die Ausbauform des Entlastungskanals parallel zur L2155, zu verlängernde Grabenausbauabschnitte oder die Konstruktion verschiedener Bauwerke.

Diesbezüglich ist ergänzend eine Übersichtskarte Anlage B-4.4 - Maßnahmen – Variante 3 (Vorzugslösung) erstellt worden. Die Maßnahmen dieser Vorzugslösung stellen die Grundlage für die folgenden Planungsphasen dar und werden im Zuge der Bearbeitung des Leistungsteiles II (LP 2 - Vorplanung) näher beschrieben bzw. planerisch umgesetzt.