Fugro Consult GmbH

Grimmelallee 4 c
99734 Nordhausen

Geschäftsführer:
Dr. Uta Alisch (Vorsitz)
Dr. Martin Bernhard
Dr. Dirk Brinschwitz
Wolfgang Weinhold

Tel.: 03631 657-0
Fax: 03631 657400
fugro@fugro.com
www.fugro.de

AG Berlin-Charlottenburg
HRB 134082 B
Ust.-IdNr.: DE 150 375 679

Deutsche Bank AG
Konto-Nr. 960 300 2
BLZ 100 700 00

IBAN: DE83 1007 0000 0960 3002 00
SWIFT/BIC: DEUTDEBBXXX

Erarbeitung eines Hochwasserschutzkonzeptes für die Gewässer II. Ordnung im Einzugsgebiet des Linderbaches

Auftraggeber:
Landeshauptstadt Erfurt
Stadtverwaltung
Garten- und Friedhofsamt
Abteilung Gewässerunterhaltung
Heinrichstraße 78
99092 Erfurt

Auftragnehmer:
Fugro Consult GmbH
Grimmelallee 4 c
99734 Nordhausen

Bearbeiter:
Frau Dipl.-Hydrol. N. Krätzschmar
Herr M. Sc. O. Vorogushyn
Frau Dipl.-Ing. P. Wanke
Frau Dipl.-Ing. oec. K. Kühn

Auftrags-Nr.: 320-15-100 HWSK Linderbach

Fugro Consult GmbH

Bestätigt: .....
i.V. Dr. René Flach
Abteilungsleiter Oberflächenwasser

Datum: Nordhausen, 04.12.2015

Inhaltsverzeichnis

1 Veranlassung 12
2 Zielstellung 13
3 Grundlagenermittlung 15
3.1 Beschaffung erforderlicher Daten 15
3.2 Abgrenzung des Bearbeitungsgebietes 16
3.3 Abstimmung mit Fachbehörden 18
3.4 Terrestrische Gewässeraufnahme (Vermessung) 19
3.5 Aufbau eines qualifizierten digitalen Geländemodells 20
4 Beschreibung des Einzugsgebietes 23
4.1 Gebietsmorphologie 23
4.2 Meteorologische Verhältnisse 24
4.3 Flächennutzung 27
4.4 Gewässerausbau 28
4.4.1 Gebietsbegehung 28
4.4.2 Peterbach 29
4.4.3 Pfingstbach 31
4.4.4 Urbach 34
4.4.5 Linderbach 35
4.5 Beurteilung des Gewässerzustandes 38
4.5.1 Grundlage 38
4.5.2 Beurteilung des ökologischen Zustands/Potentials 39
4.5.3 Beurteilung des chemischen Zustands 40
4.6 Bewertung der Raumordnung und Bauleitplanung 41
5 Historische und aktuelle Extrem-Hochwasserereignisse 46
5.1 Recherche abgelaufener Ereignisse 46
5.1.1 Vorgehensweise bei der Datenrecherche 46
5.1.2 Hochwasserereignisse vor dem Jahr 2000 47
5.1.3 Hochwasserereignisse in den Jahren 2000 bis 2012 48
5.1.4 Extremhochwasserereignisse im Jahr 2013 48
5.1.5 Extremhochwasserereignis im Jahr 2014 54
5.2 Dokumentation und Auswertung von Hochwasserschäden und abgelaufenen Prozessen 63
5.3 Ökonomische Bewertung / Schadensbilanzen 65
6 Hydrologische Berechnungen 67
6.1 Softwarelösung NASIM 67
6.2 Modellaufbau 68
6.2.1 Datengrundlage 68
6.2.2 Teileinzugsgebiete 68

6.2.3 Boden und Landnutzung 71
6.2.4 Modellaufbau und Parametrisierung 74
6.2.5 Niederschlag 77
6.2.6 Modellkalibrierung 83
6.3 HQ_T-Berechnung 84
7 Hydraulische Berechnungen 88
7.1 Softwarelösung HYDRO_AS-2D 88
7.2 Modellaufbau 88
7.2.1 Aufbau 2D-Modell 88
7.2.2 Gerinne- und Vorlandrauheiten 91
7.2.3 Randbedingungen 93
7.3 Modellkalibrierung 93
7.4 Berechnung der Überschwemmungsflächen 102
7.5 Hydrologische Ergebnisbewertung 114
7.6 Hydraulische Leistungsfähigkeit der Bauwerke und des Gewässers 117
7.7 Interaktion zur Gramme (Gewässer II. Ordnung) 121
7.8 Bewertung von Prozessen beim Hochwasserabfluss 122
7.9 Gefährdungs- und Schadenspotential 124
7.10 Festlegung des Schutzgrades 129
7.11 Ableitung differenzierter Schutzziele 129
8 Maßnahmenplanung 132
8.1 Übergeordnete Maßnahmen zum Hochwasserschutz 132
8.1.1 Grundlage 132
8.1.2 Flächenvorsorge 133
8.1.3 Bauvorsorge 134
8.1.4 Informationsvorsorge 135
8.1.5 Verhaltensvorsorge 136
8.1.6 Gefahrenabwehr und Katastrophenschutz 137
8.2 Maßnahmenplanung für das Schutzziel HQ_{100} 138
8.2.1 Entwicklung von Hochwasserschutzmaßnahmen 138
8.2.2 Varianten 143
8.2.3 Ermittlung der Vorzugsvariante - Bewertungsmethodik 150
8.2.4 Kostenschätzung der vorgeschlagenen Maßnahmen 156
8.2.5 Identifikation der Vorzugsvariante 161
8.2.6 Hydraulischer Nachweis der Vorzugsvariante 167
8.2.7 Zusammenfassende Bewertung der Auswirkungen auf Ober- und Unterlieger 178
8.2.8 Schadenspotentiale Vorzugsvariante 180
8.3 Maßnahmenplanung für Starkniederschlagsereignisse 182

8.3.1 Grundlage 182
8.3.2 Standorte Hochwasserrückhalt 183
8.3.3 Analyse der hydrologischen Wirksamkeit 185
8.3.4 Definition einer Vorzugslösung 193
8.3.5 Hydraulischer Nachweis der Wirksamkeit 195
9 Installation von Frühwarnsystemen im Einzugsgebiet 208
9.1 Grundlage 208
9.2 Hochwasservorhersage und -information durch Pegel im Einzugsgebiet 208
9.3 Frühwarnung anhand von Niederschlägen 210
9.4 Zusammenfassende Empfehlung 212
10 Nutzen-Kosten-Analyse 214
10.1 Ermittlung des Nutzens 214
10.2 Kostenermittlung 215
10.3 Nutzen-Kosten-Analyse 218
10.4 Sonstige Bewertungskriterien 220
11 Erstellung einer Prioritätenliste und Hinweise zur Umsetzung 224
12 Zusammenfassung 231
13 Literatur- und Quellenverzeichnis 233

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1 Einordnung Bearbeitungsgebiet Linderbach 17
Abbildung 3-2 DGM Bereiche Bearbeitungsgebiet 21
Abbildung 3-3 ESRI-TERRAIN im Bereich der Ortslage Linderbach 22
Abbildung 4-1 Einzugsgebiet und Geländehöhen Linderbach 23
Abbildung 4-2 Klimastation Station Erfurt-Weimar (Reihe 1961 – 1990) [5] 25
Abbildung 4-3 Statistische Auswertung der Niederschläge für Deutschland [7] 26
Abbildung 4-4 Landnutzung im Einzugsgebiet 27
Abbildung 4-5 Peterbach oberhalb Rohda 29
Abbildung 4-6 Peterbach in Büßleben 30
Abbildung 4-7 Peterbach zwischen Büßleben und dem Zusammenfluss mit dem Urbach 31
Abbildung 4-8 Peterbach Furtbrücke oberhalb des Zusammenflusses mit dem Urbach (rechts) 31
Abbildung 4-9 Pfingstbach an der Suhlequelle 32
Abbildung 4-10 Pfingstbach oberhalb von Niedernissa 32
Abbildung 4-11 Pfingstbach Niedernissa 33
Abbildung 4-12 Mündung des Pfingstbachs (links) in den Urbach (rechts) 34
Abbildung 4-13 Urbachs am Urbicher Kreuz und unterhalb der Rudolstädter Straße Urbich 34
Abbildung 4-14 Urbach, Ortslage Urbich und oberhalb des Zusammenflusses mit dem Peterbach 35
Abbildung 4-15 Linderbach, OL Linderbach 36

Abbildung 4-16 Linderbach zwischen OL Linderbach und Azmannsdorf 37
Abbildung 4-17 Linderbach, OL Linderbach 38
Abbildung 4-18 Ökologischer Zustand / Potential Linderbach [21] 40
Abbildung 4-19 Teilräume der Stadt Erfurt für das Einzugsgebiet Linderbach (Auszug aus [10]) 42
Abbildung 5-1 Fragenkatalog (Anwohnerbefragung durch die Bürgerinitiative) 46
Abbildung 5-2 Hochwasser 1943 im Bereich Linderbach im Ziegelgarten und am Weiherweg [14] 47
Abbildung 5-3 Urbich, Brücke „Über den Krautländern“, 31.05.2013 [14] 49
Abbildung 5-4 Niedernissa, „Am Peterbach“, 20.06.2013 gegen 18 Uhr [14] 50
Abbildung 5-5 Büßleben, 20.06.2013 abends [14] 51
Abbildung 5-6 Linderbach, Bereich Weimarische Straße, 20.06.2013 abends [14] 52
Abbildung 5-7 Kerspleben, skizzierte Überflutungsausbreitung 2013 [18] 53
Abbildung 5-8 Kerspleben, Bereich Mittelgasse [18] 54
Abbildung 5-9 Niedernissa, an der Brücke „Über dem Dorfe“, 19.09.2014 [14] 55
Abbildung 5-10 Rohda, Kirchgraben [14] 56
Abbildung 5-11 Büßleben, Hochwassermarken [14] 57
Abbildung 5-12 Büßleben, Überflutungen am 19.09.2014 [17] 58
Abbildung 5-13 Linderbach, 19.09.2014 abends [14] 59
Abbildung 5-14 Linderbach, stromoberhalb Furtbrücke „Weimarische Straße“ [14] 60
Abbildung 5-15 Linderbach, Skizze zur beobachteten Überflutungsausbreitung Hochwasser 2014 [17] 61
Abbildung 5-16 Bahndamm nördlich Linderbach, Überflutungen 2014 61
Abbildung 5-17 Kerspleben, Skizze zur beobachteten Überflutungsausbreitung Hochwasser 2014 [17] 62
Abbildung 5-18 Sportplatz zwischen Kerspleben und Töttleben – nach Ablauf Hochwasser 2014 [14] 62
Abbildung 5-19 Töttleben, Skizze und Fotos der Überflutungsausbreitung Hochwasser 2014 63
Abbildung 5-20 Hochwasserschäden am Linderbach und seiner Nebengewässer 2013/2014 [14] 64
Abbildung 6-1 Urbane Einzugsgebiete im Bereich von Büßleben 69
Abbildung 6-2 Hydrologische Teilgebiete Linderbach des N-A-Modells 70
Abbildung 6-3 Bodentypen im Einzugsgebiet 72
Abbildung 6-4 NASIM-Systemplan Linderbach 74
Abbildung 6-5 Niederschlagsstationen DWD (stündliche Werte) 78
Abbildung 6-6 Veränderung punktueller Starkniederschlagshöhen Station Erfurt-Weimar 80
Abbildung 6-7 Niederschlagsverteilung nach DVWK [3] 83
Abbildung 6-8 Abflussganglinien des Linderbachs an der Mündung in die Gramme 86
Abbildung 7-1 Grenze des Modellgebiets 89
Abbildung 7-2 Ausschnitt aus dem 2D-Modellnetz (Querung Linderbach – Bahnstrecke) 91
Abbildung 7-3 Rauheitsbelegung des 2D-Modells 92
Abbildung 7-4 RADOLAN-Niederschlagssummen vom 20.09.2014 94
Abbildung 7-5 Büßleben, Hochwasser 2014 – Vergleich Kalibrierungsergebnis 96
Abbildung 7-6 Linderbach Weimarische Straße, Hochwasser 2014 – Vergleich Kalibrierungsergebnis 97

Abbildung 7-7 Linderbach, Ortsteil bis Bahnlinie, Hochwasser 2014 – Vergleich Kalibrierungsergebnis 98
Abbildung 7-8 Azmannsdorf, Hochwasser 2014 – Vergleich Kalibrierungsergebnis 99
Abbildung 7-9 Kerspleben, Hochwasser 2014 – Vergleich Kalibrierungsergebnis 100
Abbildung 7-10 Töttleben, Hochwasser 2014 – Vergleich Kalibrierungsergebnis 101
Abbildung 7-11 Ortslage Rohda – Gewässer Peterbach, Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200} 103
Abbildung 7-12 Ortslage Büßleben – Gewässer Peterbach, Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200} 104
Abbildung 7-13 Ortslage Niedernissa – Gewässer Pfingstbach, Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200} ...106
Abbildung 7-14 Ortslage Urbich – Gewässer Urbach, Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200} 107
Abbildung 7-15 Ortslage Linderbach – Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200}.....109
Abbildung 7-16 Ortslage Azmannsdorf, Gewässer Linderbach – Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200} ..111
Abbildung 7-17 Ortslage Kerspleben, Gewässer Linderbach – Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200} 112
Abbildung 7-18 Ortslage Töttleben, Gewässer Linderbach – Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200} 113
Abbildung 7-19 Wahrscheinlichkeit HQ_T-Ereignisse an ausgewählten Querschnitten (Gumbelverteilung) 114
Abbildung 7-20 Hochwasserganglinie 2014 an verschiedenen Querschnitten im Einzugsgebiet 115
Abbildung 7-21 Festgesetztes Überschwemmungsgebiet Gramme HQ_{100} [27] 122
Abbildung 7-22 Peterbach, Oberlauf 123
Abbildung 7-23 Schadensentwicklung in Abhängigkeit des Wiederkehrintervalls HQ_T 127
Abbildung 8-1 Hochwasserrisikomanagement-Kreislauf nach LAWA [30] 132
Abbildung 8-2 Beispiele für Objektschutzmaßnahmen [31] 143
Abbildung 8-3 Ortslage Büßleben, Lage geplante Maßnahmen M012-b und M023.....168
Abbildung 8-4 Niedernissa, Objektschutz für die gekennzeichneten Gebäude 169
Abbildung 8-5 Auswirkungen der Maßnahme M007 in Urbich 171
Abbildung 8-6 Ortslage Linderbach - Auswirkungen der Maßnahmen M013, M014 und M026 173
Abbildung 8-7 Ortslage Kerspleben - Auswirkungen der Maßnahmen M016, M017, M019 und M020.....176
Abbildung 8-8 Ortslage Töttleben - Auswirkungen der Maßnahmen M016, M017, M019 und M020.....177
Abbildung 8-9 Schadensentwicklung in Abhängigkeit des Wiederkehrintervalls HQ_T Planzustand 181
Abbildung 8-10 Wirkung eines HRB mit konstanter Abgabe über Grundablass (vereinfacht).....183
Abbildung 8-11 Potentielle Standorte für Hochwasserrückhalt im Einzugsgebiet 184
Abbildung 8-12 Variante 1: Ganglinien der Speichersimulation.....187
Abbildung 8-13 Variante 2: Ganglinien der Speichersimulation M003 – Becken oh. Rohda.....188
Abbildung 8-14 Variante 2: Ganglinien der Speichersimulation M002 – Becken uh. Rohda.....189
Abbildung 8-15 Variante 2: Ganglinien der Speichersimulation M001-b – Becken oh. Büßleben.....189
Abbildung 8-16 Variante 3: Ganglinien der Speichersimulation.....192
Abbildung 8-17 HW 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen, oberhalb Büßleben 196
Abbildung 8-18 HW 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen, Büßleben 197
Abbildung 8-19 HW 2014 Abflussganglinie Büßleben - abgelaufen und prognostiziert 198
Abbildung 8-20 HW 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen, Linderbach Weimarische Straße 199
Abbildung 8-21 HW 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen, Niedernissa.....201

Abbildung 8-22 HW 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen, Urbich 202
Abbildung 8-23 HW 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen, Ortslage Linderbach 203
Abbildung 8-24 HW 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen, Kerspleben 205
Abbildung 8-25 HW 2014 Abflussganglinie Töttleben - abgelaufen und prognostiziert 206
Abbildung 9-1 Vorschläge für einen Pegelstandort am Linderbach 209
Abbildung 9-2 Identifizierte Bereiche für Ombrometerstationen zur Frühwarnung 211

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1 Berechnungsstrecke der Gewässer II. Ordnung 18
Tabelle 4-1 Vergleich der Durchschnittswerte [6] 25
Tabelle 4-2 Zustand und Zielerreichung des OWK Gramme [20] 39
Tabelle 4-3 Raumempfindlichkeiten und Funktionen der vorhanden Teilräume [10] 43
Tabelle 6-1 Zusammenfassung Teileinzugsgebiete Linderbach 71
Tabelle 6-2 Modellparameter der Landnutzung 71
Tabelle 6-3 Bodenparameter 73
Tabelle 6-4 Schätzung RETOB nach RIECK [3] 77
Tabelle 6-5 Niederschlagssummen Erfurt-Weimar für die Starkniederschlagsereignisse 2013 und 2014 79
Tabelle 6-6 Vergleich der KOSTRA-DWD 2000 Kachel S44,Z55 (Zeitraum 1951 bis 2000) mit punktuellen Starkniederschlagshöhen Erfurt (1951 bis 2010) 81
Tabelle 6-7 Niederschlagshöhen für die Modellierung mit NASIM nach KOSTRA-DWD 2000, PEN-LAWA 82
Tabelle 6-8 HQ_T-Längsschnitt N-A-Berechnung Linderbach 85
Tabelle 6-9 Maßgebliches Niederschlagsereignis für den höchsten Abflussscheitelwert 87
Tabelle 7-1 Rauheitswerte im 2D-Modell nach MANNING-STRICKLER 91
Tabelle 7-2 Private Hochwassermarken 2014 94
Tabelle 7-3 Vergleich gemessene und berechnete Wasserspiegellagen (HW-Marken 2014) 96
Tabelle 7-4 Einleitungsmengen der hydrologischen Berechnung - „Am Tonberg“ und Urbich 116
Tabelle 7-5 Brückenstatus HQ_T-Berechnungen (rote Markierung (neg. Werte) = eingestaut) 118
Tabelle 7-6 Hydraulische Leistungsfähigkeit der Gewässerabschnitte 120
Tabelle 7-7 Spezifische Vermögenswerte der Nutzungsklassen in EURO/m² (nach LfUG*) [22] 124
Tabelle 7-8 Schadensfunktionen mit Berücksichtigung der Überflutungshöhen 125
Tabelle 7-9 Potentielle Schäden nach Landnutzungsklasse 126
Tabelle 7-10 Potentielle Schäden nach Ortsbereichen 126
Tabelle 7-11 Potentiell betroffene Einwohner 128
Tabelle 7-12 Zuordnung von Objektkategorien zum Schutzgrad (nach [26]) 129
Tabelle 7-13 Identifizierter vorhandener Schutzgrad für den Istzustand 131
Tabelle 8-1 Maßnahmenpool 140
Tabelle 8-2 Gegenüberstellung der Alternativen mit identischer Wirksamkeit 144
Tabelle 8-3 Bewertungskriterien 155

Tabelle 8-4 Zusammenfassung Kostenschätzung geplante Maßnahmen (Schutzziel HQ_{100}).....157
Tabelle 8-5 Variantenvergleich für die Bewertungskriterien.....162
Tabelle 8-6 Ergebnis der Bewertungsmethodik 166
Tabelle 8-7 Potentielle Schäden nach Landnutzungsklasse Vorzugsvariante 180
Tabelle 8-8 Potentielle Schäden nach Ortsbereichen Vorzugsvariante.....182
Tabelle 8-9 Verfügbare Rückhaltevolumina an den Standorten 185
Tabelle 8-10 Zusammenfassung Kostenschätzung geplante Maßnahmen (Starkniederschläge) 193
Tabelle 8-11 Potentielle Schäden nach Landnutzungsklasse Hochwasser 2014.....207
Tabelle 8-12 Potentielle Schäden nach Ortsbereichen Vorzugsvariante.....207
Tabelle 10-1 Jährlicher mittlerer Schadenserwartungswert für die Vorzugsvariante im Istzustand 214
Tabelle 10-2 Jährlicher mittlerer Schadenserwartungswert für die Vorzugsvariante im Planzustand 215
Tabelle 10-3 Verwendete finanzmathematische Umrechnungsfaktoren (aus [35]) 216
Tabelle 10-4 Jahreskosten Vorzugsvariante (Preise in Netto).....217
Tabelle 10-5 Potentiell betroffene Einwohner im Planzustand.....220
Tabelle 10-6 Verhältnis direkte/indirekte Schäden.....221
Tabelle 11-1 Ableitung der Prioritätsstufe aus der Kosten-Wirksamkeits-Abschätzung [34].....225
Tabelle 11-2 Ermittlung der Prioritätsstufe für die Hochwasserschutzmaßnahmen Linderbach 225

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Übersichtskarte	Maßstab 1 :50.000
Anlage 2	Vermessung Linderbach 2015 *(26 Kartenblätter)*	Maßstab 1 : 2.500
Anlage 3	Überflutungsflächen aus der hydraulischen Berechnung Istzustand HQ_{20}, HQ_{50}, HQ_{100} und HQ_{200} *(11 Kartenblätter)*	Maßstab 1 : 5.000
Anlage 4	Überflutungsflächen aus der hydraulischen Berechnung Hochwasser 2014 *(11 Kartenblätter)*	Maßstab 1 : 5.000
Anlage 5	Übersichtskarte Brückenbauwerke	Maßstab 1 :20.000
Anlage 6	Flächendarstellung der Schadenspotentiale Istzustand *(je 4 Kartenblätter)*	Maßstab 1 :10.000
6.1	Schadenspotential HQ_{20}	
6.2	Schadenspotential HQ_{50}	
6.3	Schadenspotential HQ_{100}	
6.4	Schadenspotential HQ_{200}	
Anlage 7	Maßnahmenblätter	
Anlage 8	Maßnahmenkarten *(je 8 Kartenblätter)*	Maßstab 1 : 5.000
8.1	Maßnahmenkarte Variante 1	
8.2	Maßnahmenkarte Variante 2	
8.3	Maßnahmenkarte Variante 3	
8.4	Maßnahmenkarte Variante 4	
8.5	Maßnahmenkarte Variante 5	
Anlage 9	Bewertungsblatt Variantenvergleich	
Anlage 10	Schutzgebiete im Bearbeitungsgebiet	Maßstab 1 :50.000
Anlage 11	Kostenschätzung der Maßnahmen - Schutzziel HQ_{100} (Stufe 1)	
Anlage 12	Überflutungsflächen aus der hydraulischen Berechnung Planzustand HQ_{20}, HQ_{50}, HQ_{100} und HQ_{200} *(11 Kartenblätter)*	Maßstab 1 : 5.000
Anlage 13	Differenzenplan HQ_{100} (Planzustand - Istzustand) *(11 Kartenblätter)*	Maßstab 1 : 5.000
Anlage 14	Kostenschätzung der Maßnahmen - Schutzziel Starkniederschlagsereignisse Pfingstbach und Peterbach (Stufe 2)	

Anlage 15	Überflutungsflächen aus der hydraulischen Berechnung Prognose Hochwasser 2014 mit vorgeschlagenen Hochwasserschutzmaßnahmen *(11 Kartenblätter)*	Maßstab 1 : 5.000
Anlage 16	Differenzenplan Hochwasser 2014 (Prognose - Istzustand) *(11 Kartenblätter)*	Maßstab 1 : 5.000
Anlage 17	Ergebnis der hydrologischen Berechnung für verschiedene Niederschlagsdauerstufen	

Abkürzungsverzeichnis

AG	Auftraggeber
AN	Auftragnehmer
ASB	Artenschutzbeitrag
DFAKE	Diskontierungsfaktor für einmalige Kosten
DWD	Deutscher Wetterdienst
EU-WRRL	EU-Wasserrahmenrichtlinie
GVZ	Güterverkehrszentrum
HRB	Hochwasserrückhaltebecken
HMWB	Heavily Modified Water Body
HWGK	Hochwassergefahrenkarte
HWRK	Hochwasserrisikokarte
HWRM-RL	Hochwasserrisikomanagementrichtlinie
HWRMP	Hochwasserrisikomanagementplan
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen
LBP	Landschaftspflegerischer Begleitplan
LiDAR	Light detection and ranging
N-A-Modell	Niederschlag-Abfluss-Modell
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PKBW	Projektkostenbarwert
SEW	Schadenserwartungswert
shp	Shapefile
TSK	Talsperrenklasse
UQN	Umweltqualitätsnorm
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

1 Veranlassung

Im Einzugsgebiet des Linderbaches kam es in der Vergangenheit zu mehreren Hochwasserereignissen mit erheblicher Betroffenheit in den anliegenden Ortsteilen. Insbesondere im Mai/Juni des Jahres 2013 sowie im September 2014 entstanden durch starke Niederschläge und daraus resultierende Hochwasserabflüsse große Schäden an privaten Immobilien, wie auch an der öffentlichen Infrastruktur. Die Schilderungen der letzten abgelaufenen Ereignisse stehen teilweise im Widerspruch zu den Angaben der vorhandenen Gutachten und den Gefahren- und Risikodarstellungen der vergangenen Jahre, wodurch eine aktuelle Bewertung des Hochwasserrisikos für das Bearbeitungsgebiet erforderlich ist.

Um Gefährdungen am Linderbach einschätzen zu können, wurde nach dem Hochwasser 1994 im Jahr 1999 ein Gutachten im Auftrag der Stadt Erfurt angefertigt, das zu erwartende Ausuferungen eines Hochwassers mit 100-jährigem Wiederkehrintervall darstellt. Darin wurde u.a. für die Ortslage Linderbach ein rechnerischer Hochwasserschutz bis einschließlich HQ_{100} angegeben, was auch die aktuellen Gefahren- und Risikokarten der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) bestätigen. Ebenso bei HQ_{200} sind gemäß aktuellen Angaben keine gravierenden Auswirkungen durch Hochwasserereignisse für die angrenzenden Ortslagen (bis auf Töttleben und Kleinmölsen) zu erwarten.

Stromauf der Mündung des Linderbaches in die Gramme bis zur Ortslage Linderbach liegen ausgewiesene Überschwemmungsgebiete und Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten vor. Für die Nebengewässer Pfingstbach und Peterbach sowie den Linderbach bis Windischholzhausen (auch als Urbach bezeichnet) existieren keine festgesetzten Überschwemmungsgebiete.

Insbesondere das Hochwasserereignis vom 20.06.2013 ging deutlich über die bisher ausgewiesene Grenze des HQ_{200} hinaus. Gemäß Berichten stand der Bereich, „wo der Urbach und der Peterbach zusammen fließen […] zuletzt mannshoch“ [1] unter Wasser. Bei einem entsprechenden Hochwasserabfluss, u.a. auch durch zunehmende Starkregenereignisse, sind am Linderbach relativ hohe Schäden sowohl an Industrie- und Gewerbeflächen als auch an Wohnbebauungen nicht auszuschließen. Daher soll ein Hochwasserschutzkonzept für die Gewässer II. Ordnung im Einzugsgebiet des Linderbaches und seiner Nebengewässer erarbeitet und ein ganzheitliches Konzept für das Einzugsgebiet zum Hochwasserschutz der angrenzenden Ortslagen entwickelt werden.

Auf der Grundlage des Angebotes vom 04.12.2014 wurde die Fugro Consult GmbH mit dem Vertrag vom 04.02.2015 beauftragt, das Hochwasserschutzkonzept für die Gewässer II. Ordnung im Einzugsgebiet des Linderbaches und seiner Nebengewässer zu erarbeiten.

2 Zielstellung

In Rahmen der Auswertung der Hochwasserereignisse des Jahres 2013 wurden durch die Stadtverwaltung bereits erste Maßnahmen zur Optimierung des Hochwasserabflusses ergriffen. Zur Gewährleistung der hydraulischen Leistungsfähigkeit wurde bereits im Zuge der Schadensbeseitigung ein erhöhter Unterhaltungsaufwand betrieben.

Mit der Erarbeitung des Hochwasserschutzkonzeptes war zu untersuchen, ob künftig Schäden infolge von Überschwemmungen am Linderbach und seinen Nebengewässern durch die Entwicklung technischer Hochwasserschutzmaßnahmen oder durch Schaffung eines Wasserrückhalts reduziert bzw. vermieden werden können. Im Rahmen des vorliegenden Konzeptes sollten dabei verschiedene grundsätzliche Maßnahmen identifiziert werden.

Im Wesentlichen umfasste die Bearbeitung folgende Schwerpunkte:

- Auswertung und Aufbereitung der Datengrundlagen
  - Bestandsaufnahme und Prüfung der vorhandenen Daten
  - Ergänzung, Recherche weiterer Grundlagendaten (z.B. Niederschlagsdaten, KOSTRA-DWD 2000-Daten, Anfrage DWD aktuelle Gutachten u. ä.)
  - Recherche hydrologischer Gutachten, Längsschnitte und Abflusswerte aus HQ-Regional (Thüringenweit einheitliches Regionalverfahren)
  - bekannte Überschwemmungsflächen
  - Flächennutzungsdaten
  - Geomorphologie
  - topografische Karten
  - terrestrische Vermessung
- Einzugsgebietsbeschreibung
- Zusammenfassung historischer Hochwasserereignisse (Schäden, Identifikation Brennpunkte)
- Hydrologische Modellierung und Auswertung
- Hydraulische Modellierung und Auswertung
- Maßnahmenplanung
  - Ermittlung des Schadenspotentials
  - Festlegung von Schutzzielen
  - Identifizierung von Maßnahmen und Entwicklung von Konzepten zur Schadensminderung
  - Hydraulische Berechnungen von Varianten
  - Ermittlung der Kosten der Maßnahmen
- Festlegung einer Vorzugsvariante
  - u.a. durch Nutzen-Kosten-Analyse
- Zusammenfassung und Dokumentation der Ergebnisse

Die zu bearbeitenden Gewässerabschnitte am Linderbach, Peterbach; Urbach und Pfingstbach belaufen sich auf eine Strecke von insgesamt ca. 19,2 km Länge. Der Aufbau des N-A-Modells erfolgt für das gesamte Einzugsgebiet des Linderbachs mit einer Fläche von ca. 60 km².

3 Grundlagenermittlung

3.1 Beschaffung erforderlicher Daten

Für die Bearbeitung wurden folgende Unterlagen und Daten zur Verfügung gestellt:

- LiDAR-Daten, 2011 (*.txt-Datei, xyz-Punkte) für das Stadtgebiet von Erfurt
- LiDAR-Daten, 2014 (*.txt-Datei, xyz-Punkte) für Bereiche bei Kleinmölsen und Obernissa außerhalb des Stadtgebietes von Erfurt
- DGM 2, 2011 (*.shp-Datei)
- Digitale Stadtgrundkarte SGK mit Umriss der Gebäude, 2014 (*.shp-Datei)
- Topografische Karte DTK10, 2013 (*.tif-Datei)
- Digitale Orthofotos, 2011 (*.tif-Datei)
- Digitale Orthofotos, 2014 (*.tif-Datei)
- DGM 25 für das gesamte Einzugsgebiet des Linderbachs (*.txt-Datei, xyz-Punkte)
- Umgriff des vorläufig gesicherten Überschwemmungsgebietes Linderbach der TLUG (*.shp-Datei)
- Altgutachten:
  - 1999 Hochwasserstudie für den Linderbach
  - 2005 Ermittlung der Überschwemmungsgebiete am Pfingstbach-Linderbach Niedernissa
  - 2005 Ermittlung der Überschwemmungsflächen am Linderbach in Erfurt-Linderbach
  - 2005 Ermittlung der Überschwemmungsflächen am Linderbach in Urbich
  - 2005 Ermittlung der Überschwemmungsflächen am Linderbach Kerspleben und Töttleben
  - 2005 Ermittlung der Überschwemmungsflächen am Peterbach in Büßleben
- Lichtbilder und Videoaufnahmen zu den Hochwasserereignissen Mai/Juni 2013, Juni 2013, September 2014
- Bilddarstellung der Niederschlagssumme vom 19.09.2014 aus dem Radarniederschlagsprodukt RADOLAN des DWD
- Skizzen zu Überflutungsflächen der Hochwasserereignisse Juni 2013 und September 2014 (aus Informationen der Feuerwehr usw. – gesammelte Übergabe durch den AG)
- Daten und zum Teil Pläne zu festgesetzten sowie geplanten B-Plan-Gebieten im Stadtgebiet von Erfurt (mit geplanten Rückhaltevolumina und Drosselangaben)
- Unterlagen zu den öffentlichen Abwasseranlagen im Einzugsgebiet des Linderbaches
- Vorplanung zu Hochwasserschutzmaßnahmen im Bereich der Ortslage Hayn (außerhalb Stadtgebiet Erfurt, im oberen Teil des Einzugsgebietes)

- Digitale Bodengeologische Karte Thüringen der TLUG
- Gefahren- und Risikokarten der TLUG ab der Weimarischen Straße in nördliche Richtung

Im Zuge der Recherche abgelaufener Hochwasserereignisse wurde auch Kontakt mit der ortsansässigen „Bürgerinitiative der Ortsteile im Osten von Erfurt zum Hochwasserschutz“ aufgenommen. Zur Ergänzung der bereits vorliegenden Unterlagen von den Ortsteilräten und der Stadtverwaltung wurden von der Bürgerinitiative weitere Fotodokumentationen, Erfahrungsberichte, Dokumentationen von Schäden sowie beobachtete Wasserstände in den verschiedenen Ortslagen übergeben. Darüber hinaus erfolgte eine Recherche verfügbarer Berichte und Zeitungsartikel über das Internet.

Für die Erstellung des hydrologischen Modells und das Verfahren zur Ermittlung des HQ_{200}-Ereignisses wurden die „Anforderungen an hydrologische Gutachten“ [2] beachtet.

Die zur Verfügung gestellten LiDAR-Daten wurden im Lagesystem ETRS89/UTM32 (8-stellige Koordinaten) und im Höhenstatus DHHN92 übergeben. Da alle weiteren Daten im System ETRS89 mit 6-stelligen Koordinaten vorlagen, wurde für die GIS-technische Bearbeitung eine Transformation in das letztgenannte Lagesystem durchgeführt.

In Abstimmung mit dem AG wurden bei der Erstellung des Hochwasserschutzkonzeptes das geplante Gewerbegebiete Urbich (URB638), die Erweiterung des GVZ (LIA284) sowie die Planung „Am Tonberg“ (LIN587) berücksichtigt. Die genannten Bereiche wurden entsprechend den Planungen mit ihren Flächengrößen, Versiegelungen und Regenrückhalten bereits im Istzustand eingearbeitet.

3.2 Abgrenzung des Bearbeitungsgebietes

Das Bearbeitungsgebiet erstreckt sich vom östlichen bis südöstlichen Bereich der Landeshauptstadt Erfurt auf die Ortsteile Töttleben, Kerspleben, Azmannsdorf, Linderbach, Büßleben, Rohda, Urbich und Niedernissa.

Anlage 1 stellt das Bearbeitungsgebiet in einer Übersichtskarte dar. Sie zeigt die Teileinzugsgebiete sowie die bearbeiteten Gewässerstrecken. Weiterhin werden die Blattschnitte dargestellt, auf die sich alle weiteren Kartendarstellungen zum vorliegenden Bericht beziehen.

Die folgende Abbildung 3-1 zeigt die topografische Einordnung des Bearbeitungsgebietes.

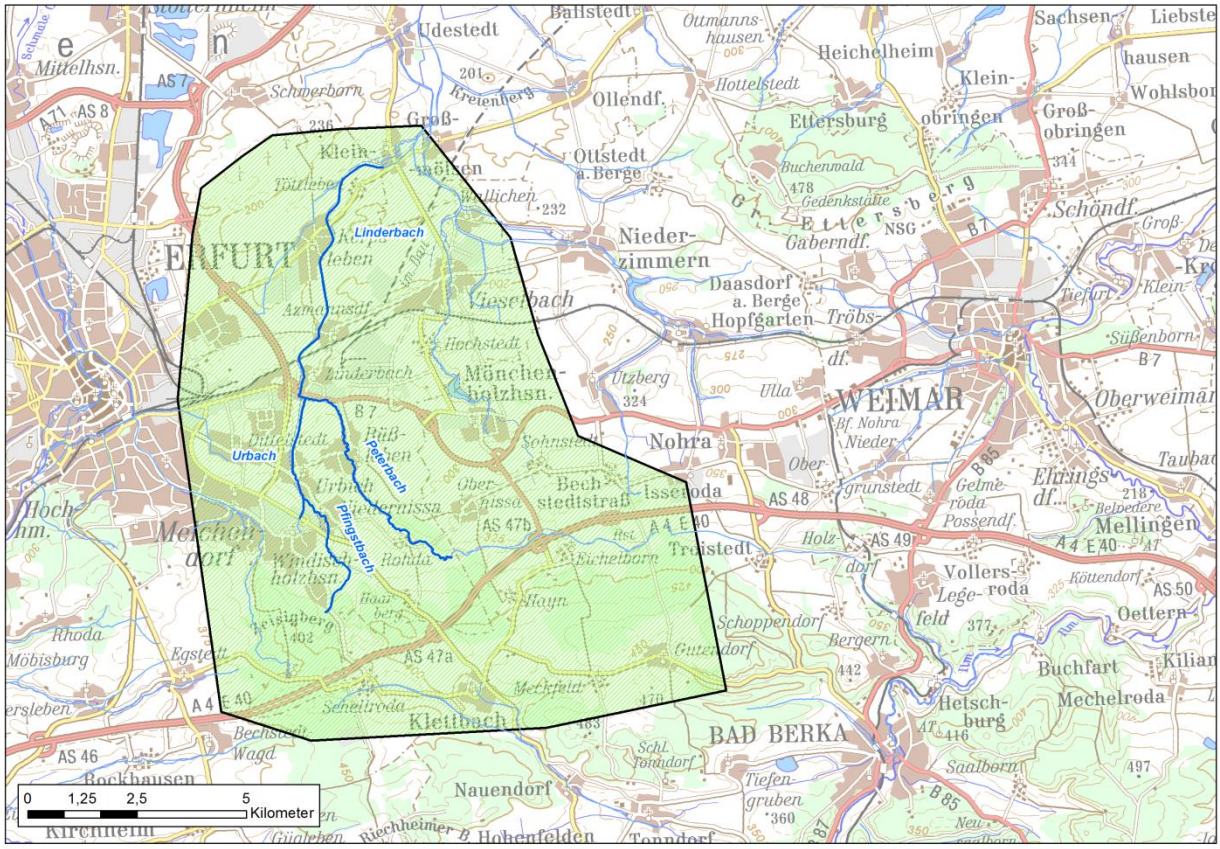


Abbildung 3-1 Einordnung Bearbeitungsgebiet Linderbach

(Kartengrundlage: DTK200, Open Data - Geodatenzentrum des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie)

Entsprechend dem Lagesystem lässt sich das Gebiet wie folgt einordnen:

- ETRS89/UTM32
  - RW 643954 bis 657051
  - HW 5642549 bis 5655518

Die Berechnung der Wasserspiegellagen und Ermittlung des Hochwasserrisikos sollte innerhalb des Bearbeitungsgebietes für die Gewässer II. Ordnung durchgeführt werden. Daher umfasste die Bearbeitung folgende Gewässerabschnitte des Stadtgebietes Erfurt:

Tabelle 3-1 Berechnungsstrecke der Gewässer II. Ordnung

Gewässername	Berechnungsstrecke		
	von	bis	Länge [km]
Pfingstbach	Suhlequelle	Mündung in den Urbach	3,4
Urbach	Rohrauslauf Windischholzhausen	Einmündung Peterbach	2,9
Peterbach	Stadtgrenze oh. OL Rohda	Mündung in den Linderbach	6,3
Linderbach	Zusammenfluss Urbach und Peterbach	Stadtgrenze oh. Kleinmölsen	6,6

Insgesamt beläuft sich die betrachtete Gewässerstrecke auf eine Länge von ca. 19,2 km.

In den zur Verfügung gestellten Datengrundlagen wird der Gewässerlauf vom Rohrauslauf am Urbicher Kreuz, über Urbich bis zum Zusammenfluss mit dem Peterbach teilweise als „Linderbach“ oder „Urbach“ bezeichnet. Um eine einheitliche Bezeichnung beizubehalten, wurde für diesen Gewässerabschnitt bei allen folgenden Ausführungen der Name „Urbach“ verwendet.

3.3 Abstimmung mit Fachbehörden

Die Erstellung des vorliegenden Hochwasserschutzkonzeptes erfolgte unter einer regelmäßigen Abstimmung von Zwischenergebnissen und der vorgesehenen Bearbeitungskonzeption mit der Stadtverwaltung Erfurt und der Unteren Wasserbehörde.

Insbesondere die Ergebnisse der Modellkalibrierung und eine daraus resultierende Akzeptanz des hydrologischen und hydraulischen Modells sowie die berechneten HQ_T-Abflusswerte wurden vor der weiteren Bearbeitung mit den genannten Beteiligten abgestimmt.

Weiterhin erfolgte eine Vorab-Übermittlung der berechneten HQ_T-Scheitelwerte für HQ_{20}, HQ_{100} und HQ_{200} in Form eines tabellarischen Längsschnittes an die TLUG, damit diese auf regionale Plausibilität und Akzeptanz geprüft werden konnten. Mit dem Schreiben vom 30.04.2015 wurden die ermittelten Abflusswerte durch die TLUG bestätigt und für die hydraulische Berechnung freigegeben.

Die vorliegende Bearbeitung erfolgte unter Berücksichtigung der Anforderungen an hydrologische Gutachten [2] der TLUG.

3.4 Terrestrische Gewässeraufnahme (Vermessung)

Für die aktuelle Bearbeitung erfolgte eine terrestrische Vermessung des Linderbachs, Peterbachs, Urbachs und Pfingstbachs durch das Vermessungsbüro G. Schröder, Ilfeld im Februar / März 2015.

Das Ergebnis der terrestrischen Vermessung wird in Anlage 2 dargestellt.

Die Gesamtlänge der zu vermessenden Gewässer II. Ordnung belief sich auf ca. 19,2 km. Davon befanden sich ca. 7,1 km innerhalb der Bebauung (Ortslagen Töttleben, Kerspleben, Azmannsdorf, Linderbach, Büßleben, Rohda, Urbrich, Niedernissa) und 12,1 km außerhalb bebauter Gebiete. Zusätzlich waren in einer Länge von ca. 4 km einmündende Gewässerabschnitte mit zu vermessen.

Die Vermessung erfolgte zur bestmöglichen und lagegenauen Übernahme in ein zweidimensionales Strömungsmodell in Form von Bruchkanten, die in ihrer Art gekennzeichnet wurden. Es erfolgte die Aufnahme der Sohle (Gewässermittellinie) und des Gerinnes (linke und rechte Böschungsunterkante) sowie des Ufers (linke und rechte Böschungsoberkante). Falls vorhanden, wurden Bermen mit aufgenommen. Deiche und Mauern wurden jeweils mit ihren Unter- und Oberkanten als durchgängige Linien erfasst. Zusätzlich zum Gerinne wurden im Vorlandbereich in einem Korridor von ca. 20 m links und rechtsseitig des Gewässer längs und querverlaufende Straßen, Wege, Bahnlinien und Geländestrukturen sowie Mauern mit Ober- und Unterkanten eingemessen, da diese hydraulisch von großer Bedeutung sind. Wenn keine dieser Strukturen vorhanden waren, wurden einzelne Höhen innerhalb des Korridors aufgenommen.

Im Bereich von Bauwerken wurden zur Abbildung der korrekten Durchlassgeometrie jeweils Ein- und Auslaufprofile erfasst. Das Gerinne wurde links und rechts bis zum Widerlager (ggf. mit Pfeilern) eingemessen. Ein- und auslaufseitig erfolgte die Aufnahme der Brückenunter- und Brückenoberkante des Bauwerkes (Straße, Gehweg), und wenn vorhanden, der Geländer- oder Maueroberkanten. Auch Sohlschwellen, Sohlsprünge und Sohlgleiten wurden mit gesonderten Profilen erfasst, um diese in der Hydraulik bestmöglich abbilden zu können.

Insgesamt wurden für das Bearbeitungsgebiet neben dem normalen Gewässerverlauf folgende Sonderbauwerke eingemessen:

- 23 Straßen- und Wegebrücken
- 1 Bahnbrücke
- 9 Stege
- 9 Durchlässe (Rechteck- und Rohrdurchlässe)
- 6 Verdolungen (Ein- und Auslaufprofile)
- 10 Furten
- 1 Siel

Die Vermessung wurde mit Bezug auf das Landes-Lage- und Höhensystem (ETRS89/UTM, DHHN92) übergeben. Die Datenübergabe erfolgte digital im *.dxf-Format in Form von 3D-Höhenpunkten und 3D-Polylinien, so dass eine direkte Weiterverarbeitung mit einem Geoinformationssystem möglich war.

Mit Abschluss der Vermessungsarbeiten wurden die Vermessungsdaten dem AG in digitaler Form übergeben.

3.5 Aufbau eines qualifizierten digitalen Geländemodells

Das Digitale Geländemodell (DGM) basiert auf Daten einer im Jahr 2011 (für das Stadtgebiet von Erfurt) und 2014 (für den Bereich außerhalb des Stadtgebietes bei Obernissa und Kleinmölsen) durchgeführten Laserscanbefliegung des Gebietes. Die aufbereiteten Daten der Befliegung wurden in Form von ASCII-Dateien bereitgestellt. Die Dateien enthielten Bodenpunkte mit X-, Y- und Z-Koordinaten in unregelmäßigen Punktabständen.

Die Übergabe der Daten erfolgte in 83 Kacheln von jeweils 1 x 1 km Kantenlänge. Für die Verwendung im Modell wurden diese Kacheln zu einem Gesamtmodell zusammengeführt. Dadurch wurde ein lückenloses Geländemodell ohne Aussparungsflächen erstellt, das das gesamte Bearbeitungsgebiet erfasst.

Die Höhengenauigkeit von LiDAR-Systemen beträgt etwa ≤ ± 0,10 m bis 0,15 m, die Lagegenauigkeit beläuft sich auf ≤ ± 0,15 m bis 0,30 m.

Die hochaufgelösten LiDAR-Daten standen für das Stadtgebiet Erfurt zur Verfügung. Um jedoch bei der hydraulischen Modellierung belastbare Berechnungsergebnisse zu erhalten, war es erforderlich die Randbedingungen nicht unmittelbar am Beginn und Ende der eigentlichen Berechnungsstrecke, sondern mindestens 500 m ober- bzw. unterhalb festzulegen. Daher wurden in Abstimmung mit dem AG fehlende Vorlandbereiche bei Kleinmölsen (1,9 km²) und Obernissa (0,6 km²) mit LiDAR-Daten ergänzt. Zur digitalen Abgrenzung des gesamten Einzugsgebietes wurde für die weiter außen liegenden Bereiche das DGM 25 genutzt.

Die folgende Abbildung 3-2 zeigt die verwendeten DGM-Grundlagen in einer Übersicht.

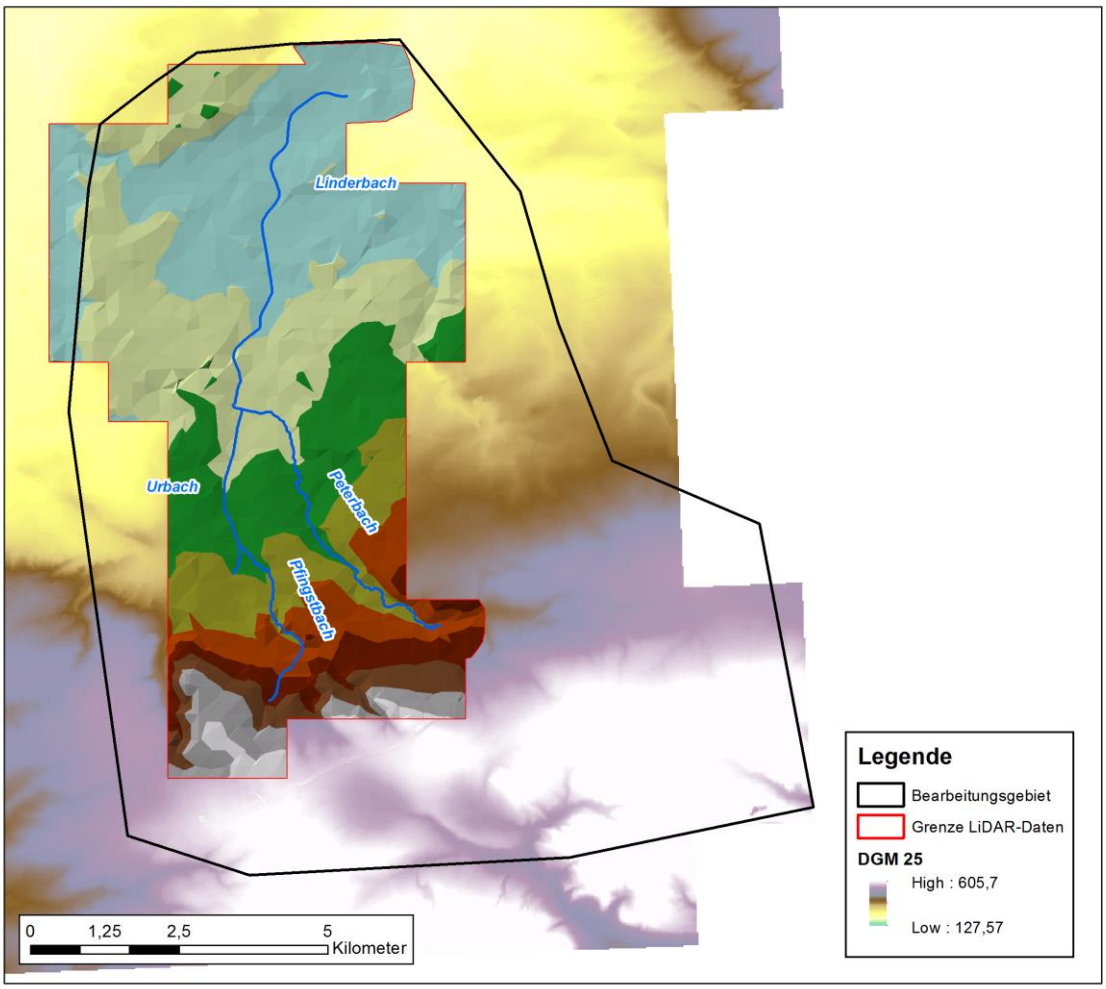


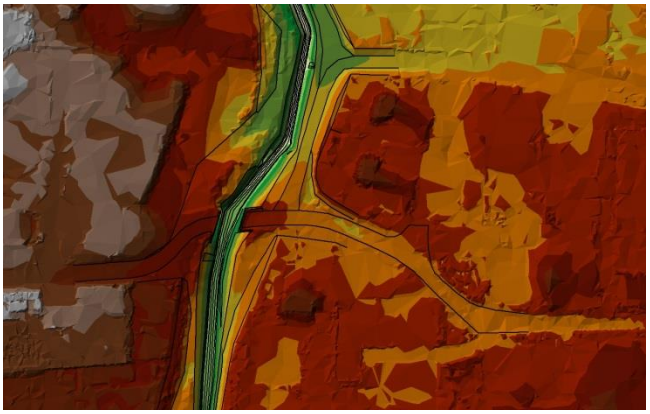
Abbildung 3-2 DGM Bereiche Bearbeitungsgebiet

Im Rahmen der Bearbeitung erfolgte eine weitere Aufbereitung des Geländemodells, indem ein ESRI-TERRAIN aufgebaut wurde.

Da bei der Laserscan-Befliegung keine Gewässersohle erfasst wird, wurde mit den Daten aus der terrestrischen Vermessung für die Gewässer ein Flussschlauch konstruiert und in das Geländemodell eingesetzt. Dabei wurden die relevanten Gewässerbruchkanten (linkes und rechtes Ufer, linkes und rechtes Gerinne, Sohlmittellinien ggf. Fußlinien und Oberkanten von gewässerbegleitenden Längsstrukturen) aus den Vermessungsdaten generiert und mit aktuellen Luftbildern abgeglichen. Das somit erzeugte DGM wurde für die weitere Bearbeitung verwendet, um bei dem Ergebnisverschnitt der Modellergebnisse mit dem Gelände in der Darstellung plausible Wassertiefen zu erhalten und das 2D-Modell auf Basis eines optimierten Modells aufzubauen. Außerdem lagen für verschiedene hydraulisch relevante Höhenstrukturen im Vorland durchgehende Vermessungslinien mit Höhenwerten vor, die ebenfalls in das Geländemodell eingearbeitet wurden.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft einen Ausschnitt aus dem ESRI-TERRAIN für den Linderbach im Bereich der Brücke „Im Ziegelgarten“.

Bruchkanten des Flussschlauchs



Qualifiziertes DGM mit eingearbeiteten Bruchkanten

Abbildung 3-3 ESRI-TERRAIN im Bereich der Ortslage Linderbach

Da im Rahmen der vorliegenden Bearbeitung eine aktuelle Gewässervermessung durchgeführt wurde, war eine sehr gute Datenbasis gegeben. Die Daten der Vermessung und des Geländemodells wurden zur Plausibilitätsprüfung in ausgewählten Bereichen (freie Felder und Wiesen) verglichen. Dabei wurde im Allgemeinen eine gute Übereinstimmung von ca. < 0,10 m ermittelt. Tendenzielle Fehler zwischen Vermessung und Laserscandaten konnten nicht festgestellt werden.

4 Beschreibung des Einzugsgebietes

4.1 Gebietsmorphologie

Der Linderbach kann dem Flussgebiet der Unstrut zugeordnet werden (Mündung in die Gramme, die im weiteren Verlauf in die Unstrut entwässert). Aus naturräumlicher Sicht befindet sich das Untersuchungsgebiet des Linderbachs im Thüringer Becken, das sich zentral und nördlich im Land Thüringen erstreckt.

Die Wasserscheide des Einzugsgebiets verläuft im Südwesten über den Zeisigberg sowie zwischen Hayn und Klettbach bis nördlich der Ortslage Gutendorf. Die Abgrenzung zum östlich vom Linderbach gelegenen Einzugsgebiet des Vieselbachs und der Gramme verläuft über die Ortslage Obernissa und westlich von Vieselbach (vgl. folgende Abbildung 4-1). Westlich vom Einzugsgebiet des Linderbachs befindet sich das Einzugsgebiet der Gera.

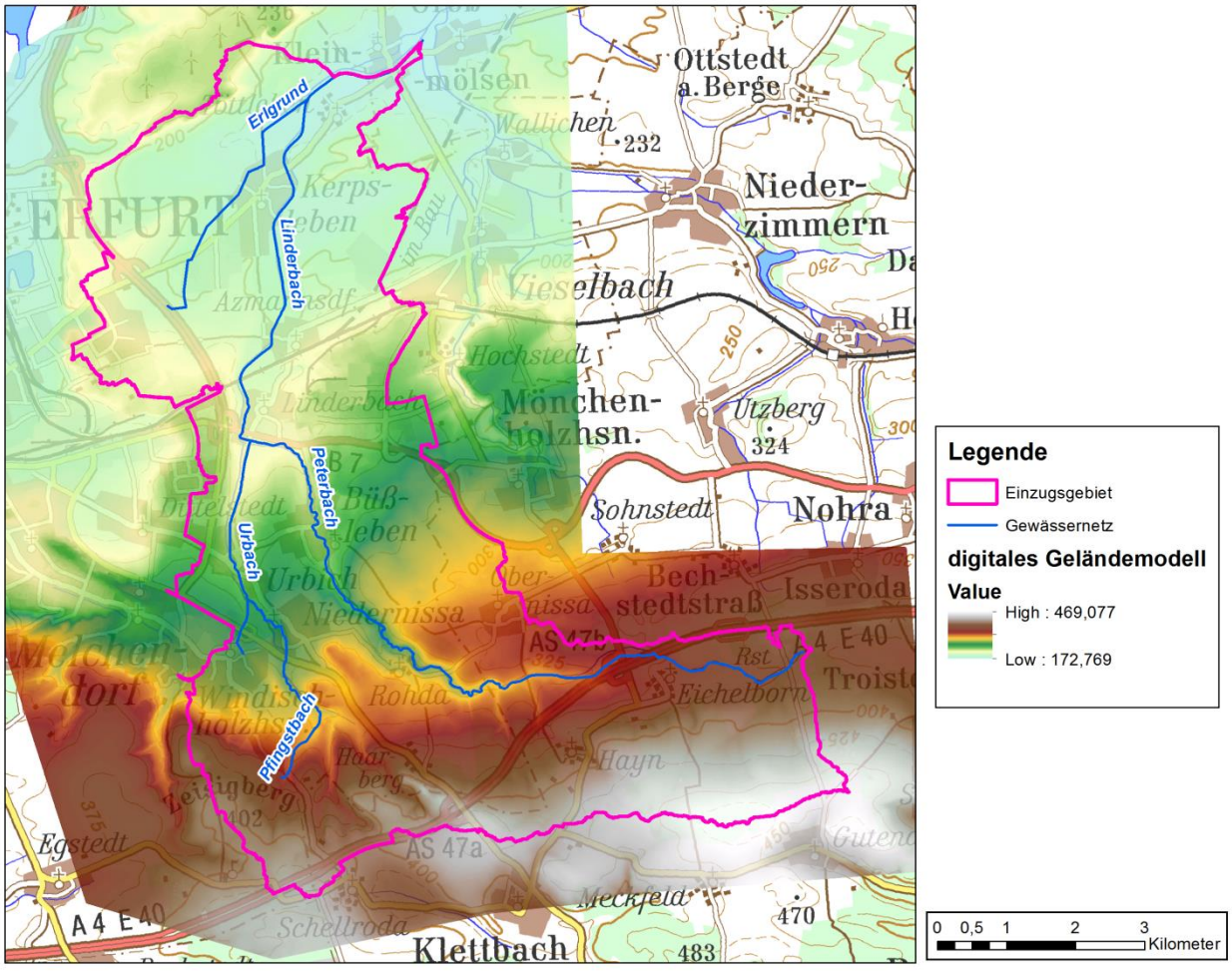


Abbildung 4-1 Einzugsgebiet und Geländehöhen Linderbach

Innerhalb des Einzugsgebiets beläuft sich die maximale Geländehöhe auf 469,05 m NHN, das Minimum befindet sich am Gebietsauslass bei 176,16 m NHN. Das mittlere Gebietsgefälle des Einzugsgebiets beträgt 6,5 %.

Im oberen Teil des Einzugsgebiets gibt es sehr steile Hänge, die vor allem zu einer schnellen Abflusskonzentration des anfallenden Niederschlagswassers führen können. Hiervon ist insbesondere das Teileinzugsgebiet des Peterbachs stark geprägt. Das Sohlgefälle des Peterbachs beläuft sich auf 1,8 % im oberen Teil des Gewässers bis zu 0,8 % im Bereich der Ortslage Linderbach.

Der Pfingstbach besitzt ein Sohlgefälle von ca. 1,8 %. Das Teileinzugsgebiet des Gewässers weist im Oberlauf ebenso sehr steile Hänge aus Richtung Zeisigberg und Haarberg auf.

Die Gewässerstrecke des Urbachs beginnt mit einem Rohrauslauf unterhalb des Urbicher Kreuzes. Oberhalb von Windischholzhausen konnte für das Gewässer kein Gewässerlauf identifiziert werden, da der Bereich Windischholzhausen komplett überbaut ist. Das Sohlgefälle des Urbachs beläuft sich bis zum Zusammenfluss mit dem Peterbach auf durchschnittlich 1,5 %.

Ab der Vereinigung des Peterbachs und Urbachs zum Linderbach verläuft das Gewässer mit einem geringeren Sohlgefälle, das sich zwischen 0,7 % und 0,3 % (im Bereich der Mündung in die Gramme) bewegt. Unterhalb der querenden Bahntrasse zwischen Linderbach und Azmannsdorf gibt es neben dem Gewässer flache Auenbereiche, die im Hochwasserfall weiträumig überströmt werden können.

4.2 Meteorologische Verhältnisse

Das Einzugsgebiet Linderbach befindet sich im Thüringer Becken zwischen Erfurt und Weimar. Es befindet sich im Regenschatten des Thüringer Waldes und Harz und gehört daher zu den trockensten Gebieten Deutschlands. Das vorherrschende Klima wird sowohl durch feuchte atlantische als auch durch trockene kontinentale Einflüsse geprägt.

Um die meteorologische Situation besser bewerten zu können, wird im Folgenden ein Klimadiagramm der Klimastation Erfurt-Weimar (Erfurt-Bindersleben) für die Reihe 1961 bis 1990 dargestellt [5]. Das Einzugsgebiet befindet sich ca. 9 km östlich der vorhandenen Station.

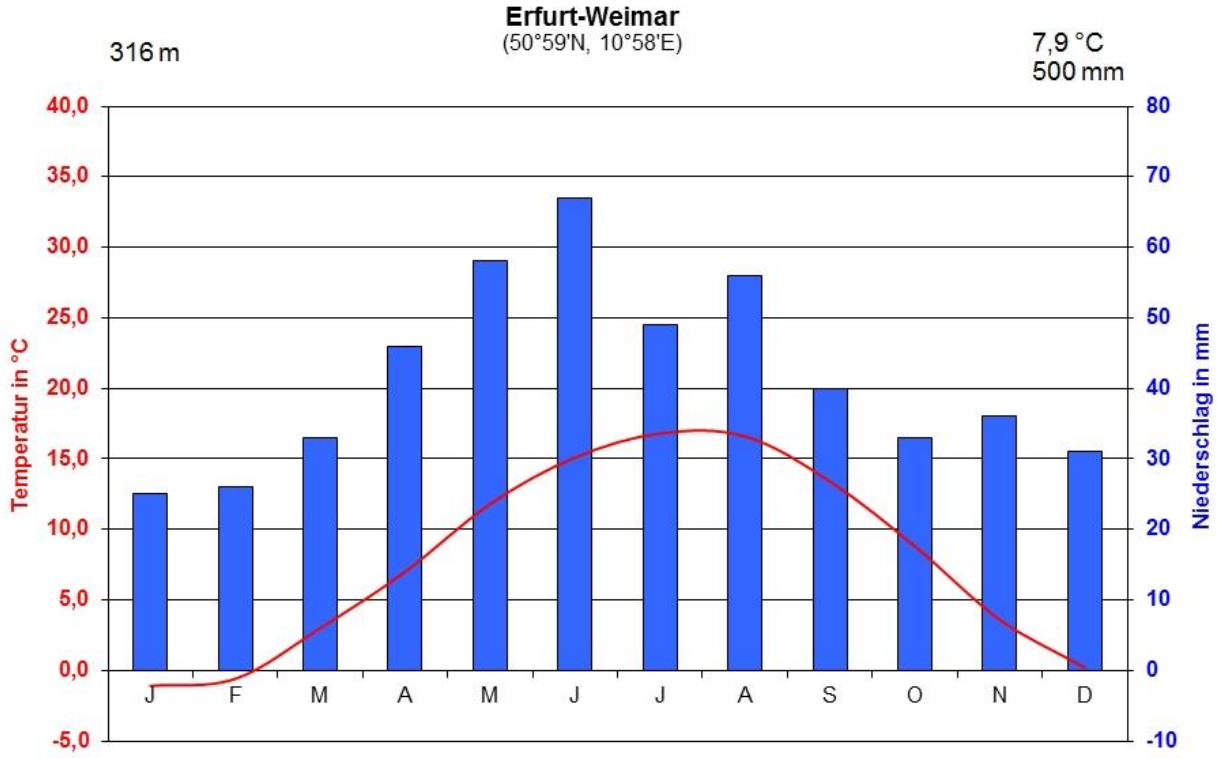


Abbildung 4-2 Klimastation Station Erfurt-Weimar (Reihe 1961 – 1990) [5]

Wie ersichtlich wird, liegen die Niederschlagsmengen in der Region Erfurt gemäß der Zeitreihe von 1961 bis 1990 bei etwa 500 mm pro Jahr. Die durchschnittliche Jahrestemperatur liegt bei 7,9 °C. Als besonders niederschlagsreiche Monate können anhand der Klimazeitreihen von 1961 bis 1990 die Monate Mai, Juni und August identifiziert werden. Der wärmste Monat ist der Juli mit durchschnittlich 16,8 °C, der kälteste Monat ist der Januar mit -1,1 °C. In allen Monaten liegt ein humides Klima vor.

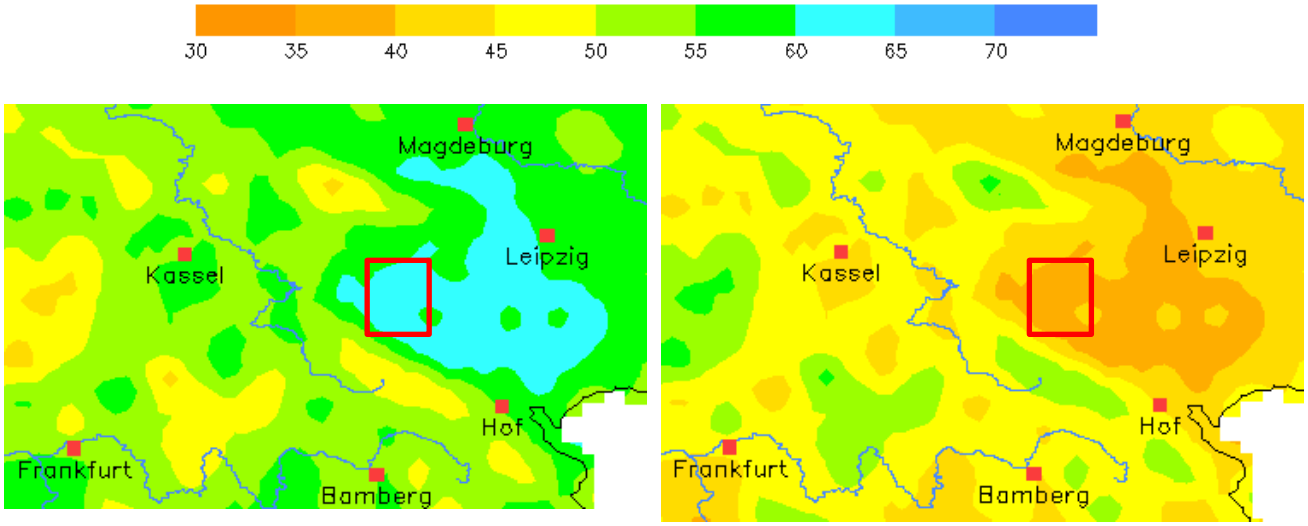
Gemäß einer Auswertung der meteorologischen Situation im Halbjahresbericht 1/2011 der „Erfurter Statistik“ der Stadtverwaltung [6] gibt es bei einem Vergleich des dargestellten Zeitraums von 1961 bis 1990 mit Messwerten aus den Jahren 1991 bis 2010 einen Aufwärtstrend der durchschnittlichen jährlichen Niederschlagssumme und Temperatur (vgl. Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1 Vergleich der Durchschnittswerte [6]

Zeitraum	Temperatur [°C]	Niederschlagshöhe [mm]
1961 – 1990	7,9	500,4
1991 – 2010	8,7	560,5

Es ist zu erkennen, dass gemäß der Berücksichtigung aktueller meteorologischer Aufzeichnungen die Jahresniederschlagssumme bei ca. 560,5 mm liegt. Die Jahresdurchschnittstemperatur beläuft sich auf ca. 8,7 °C.

Die folgende Abbildung stellt die Verteilung des Niederschlags anteilig für das Sommer- und Winterhalbjahr in einer Grafik dar [7].



Anteil Niederschlag im Sommerhalbjahr (Apr.-Sept.) am Jahresniederschlag [%]

Anteil Niederschlag im Winterhalbjahr (Okt.-März) am Jahresniederschlag [%]

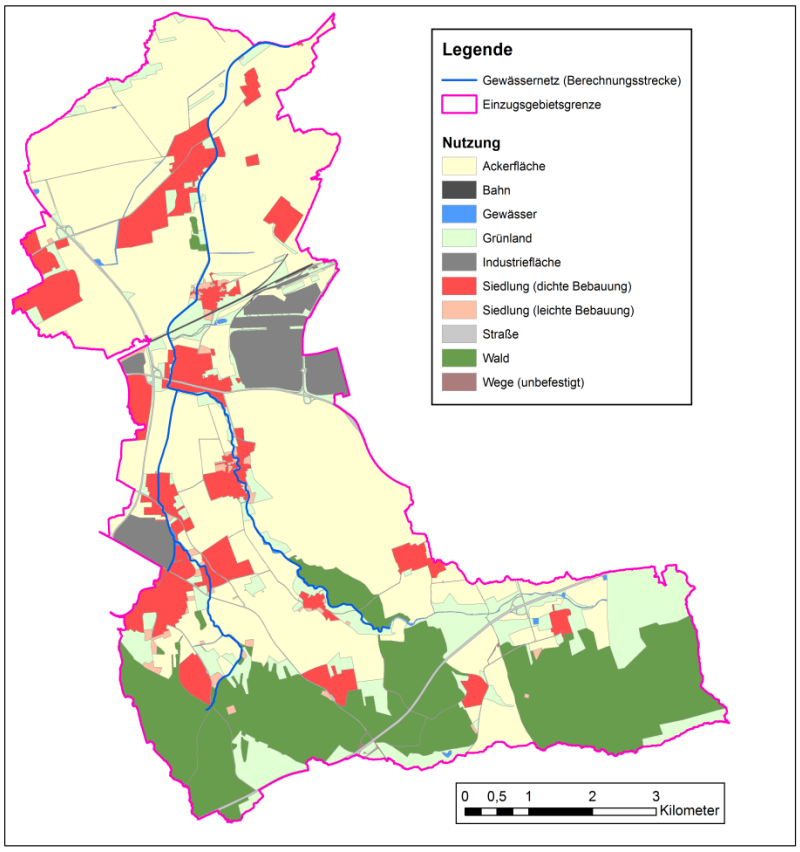
Abbildung 4-3 Statistische Auswertung der Niederschläge für Deutschland [7]

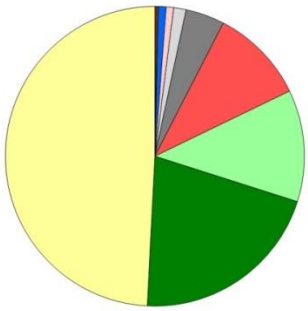
Entsprechend der Darstellung befindet sich das Einzugsgebiet des Linderbachs in einer Region, in der zwischen 60 und 65 % der Niederschläge in den Sommermonaten registriert werden. Dies lässt vermuten, dass in diesen Monaten häufig Starkregenereignisse auftreten, die zu Hochwasserereignissen führen können. In den Wintermonaten ist vermutlich nicht mit großen Hochwasserereignissen zu rechnen, sofern durch rasche Temperaturanstiege keine plötzliche Schneeschmelze eintritt.

4.3 Flächennutzung

Anhand von Luftbildaufnahmen wurde die Landnutzung des Einzugsgebietes digital aufbereitet. Es erfolgte eine Einteilung in 10 verschiedene Landnutzungstypen.

Eine Übersicht über die Landnutzung im betrachteten Einzugsgebiet gibt Abbildung 4-4. Sie zeigt ebenso die prozentualen Anteile der einzelnen Nutzungsklassen an der Gesamtfläche des Einzugsgebietes.





Nutzungsklasse	Anteil [%]
Wege (unbefestigt)	0,2
Bahn	0,2
Gewässer	0,8
Siedlung (leichte Bebauung)	0,8
Straße	1,3
Industriefläche	4,2
Siedlung (dichte Bebauung)	10,4
Grünland	12,0
Wald	20,9
Ackerfläche	49,2

Abbildung 4-4 Landnutzung im Einzugsgebiet

Das Bearbeitungsgebiet ist eine überwiegend durch Landwirtschaft und Grünland geprägte Region. Gemeinsam nehmen diese zwei Klassen 61,2 % der Nutzung des Gebietes ein. Im oberen Teil des Einzugsgebietes gibt es ebenso große Flächenanteile an Waldflächen (20,9 %).

Insgesamt gibt es mit einer Summe von 11,2 % einen hohen Anteil an leicht oder dicht bebauten Siedlungsgebieten. Industrieflächen nehmen ca. 4,2 % des gesamten Einzugsgebietes ein.

Über das gesamte Bearbeitungsgebiet verteilen sich kleinere Ortslagen wie z.B. Büßleben, Linderbach, Niedernissa, Azmannsdorf oder Kerspleben. Eine starke anthropogene Überprägung des Einzugsgebietes ist im Bereich von Windischholzhausen zu erkennen.

Als größte Industriefläche ist das Güterverkehrszentrum östlich der Ortslage Linderbach zu nennen. Den höchsten Siedlungsanteil weist die Ortslage Niedernissa mit einer Einwohnerdichte von 428 EW/km² auf.

4.4 Gewässerausbau

4.4.1 Gebietsbegehung

Zur Beurteilung der vorliegenden Situation der Gewässer im Einzugsgebiet wurde eine Gebietsbegehung der gesamten Gewässerstrecken durchgeführt. Zur Dokumentation wurde ein georeferenzierter Shapefile für die Fotostandorte erstellt, in dem eine Verknüpfung zum Ordner „Fotos_Befahrung“ über das Attributfeld „Fotobez“ ist möglich. Die Fotos wurden entsprechend folgendem Schema bezeichnet:

Bsp.: ***P1130778*** _ ***Peterbach*** _ ***001_OW_naehe_K41*** _ ***links***_ ***m****.jpg*

1 2 3 4 5

1: Fotonummer original

2: Gewässername

3: fortlaufende Fotonummer

4: Thema:

- OW Oberwasser
- UW Unterwasser
- NG Nebengewässer
- DL Durchlass
- VL Vorland

5: Standort:

- links, rechts, Mitte mit Bezeichnung der Fließrichtung
- m mit Fließrichtung
- g gegen Fließrichtung
- r senkrecht zur Fließrichtung, Fließrichtung von rechts nach links
- l senkrecht zur Fließrichtung, Fließrichtung von links nach rechts

Der Fotoshape wurde dem AG digital als Anlage zum Bericht übergeben.

Die Erkenntnisse aus der Gebietsbegehung bilden die Grundlage für die Beschreibung der folgenden Kapitel.

4.4.2 Peterbach

Ein Gewässerausbau liegt vor, wenn entsprechend § 67 Abs. 2 Satz 1 WHG eine wesentliche Umgestaltung des Gewässers oder seiner Ufer vorgenommen wurde. Am Beginn der hydraulischen Berechnungsstrecke des Peterbachs oberhalb von Rohda liegt das Gerinne in einem natürlichen Zustand vor. Die folgende Abbildung zeigt das Gerinne des Peterbachs in diesem Abschnitt. Für die landwirtschaftliche Nutzung gibt es hier mehrere Furten, die das Gewässer queren und an denen ein sehr breites und flaches Gerinne vorhanden ist.

1: Gerinne oberhalb Rohda

2: Gerinne oberhalb Rohda

3: Furt

4: Furt

Abbildung 4-5 Peterbach oberhalb Rohda

Mit Beginn der Ortslage Büßleben sind bauliche Veränderungen am Gewässer und Veränderungen der natürlichen Uferstruktur erkennbar. Unterhalb der Furt an der Straße der Einheit gibt es einen kleinen Sohlsprung, in dem die Gewässersohle befestigt wurde. Im weiteren Verlauf wurde in der Ortslage Büßleben das Gerinne teilweise kastenförmig ausgebaut oder es sind Ufermauern vorhanden. Die Abbildung 4-6 zeigt dazu entsprechende Fotos aus der Gebietsbegehung in Büßleben. Wie zu erkennen ist, gibt es auch in Büßleben Bereiche, die eine bedingt natürliche bzw. naturnahe Uferzone haben (siehe Abbildung 4-6,

Foto 4). Die Brücke „Zur Trolle“ stellt in der Ortslage jedoch dabei eine erkennbare Einengung des Fließquerschnittes dar.

1: Sohlsprung am Beginn von Büßleben

2: Ufermauer

3: Ausgebautes Gerinne in Büßleben

4: natürlicher Uferbereich mit Brücke zur Trolle

Abbildung 4-6 Peterbach in Büßleben

Unterhalb der Ortslage Büßleben bis zum Zusammenfluss des Urbachs weist das Gewässer einen weitestgehend natürlichen Charakter auf (siehe Abbildung 4-7, Foto 1). Ca. 500 m vor dem Zusammenfluss mit dem Urbach bei der Ortslage Linderbach wurde die rechte Uferseite des Peterbaches (Prallhang) mit einer Mauer befestigt. Bei der Vor-Ort-Begehung lagen auch Steinschüttungen in den Uferbereichen vor.

1: Gerinne unterhalb Büßleben

2: Uferbefestigung am Autohaus Gitter in Linderbach

Abbildung 4-7 Peterbach zwischen Büßleben und dem Zusammenfluss mit dem Urbach

Oberhalb des Zusammenflusses mit dem Urbach befindet sich eine Furtbrücke, die derzeit hauptsächlich für die Landwirtschaft genutzt wird. Die Brücke wurde dabei hydraulisch so gestaltet, dass sie im Hochwasserfall überströmt werden kann (siehe folgende Abbildung).

Abbildung 4-8 Peterbach Furtbrücke oberhalb des Zusammenflusses mit dem Urbach (rechts)

4.4.3 Pfingstbach

Der Beginn der hydraulischen Berechnungsstrecke des Pfingstbachs befindet sich mit der Suhlequelle östlich der Märchensiedlung Windischholzhausen. Die folgende Abbildung zeigt die Suhlequelle und das Gerinne des Pfingstbachs in diesem Abschnitt.

1: Suhlequelle

2: Gerinne unterhalb der Suhlequelle

Abbildung 4-9 Pfingstbach an der Suhlequelle

Unterhalb der Schellrodaer Straße verläuft das Gewässer in einer Waldstrecke und besitzt ein natürliches Gerinne. Für die Profilaufnahme der terrestrischen Vermessung war hier eine Strecke von ca. 250 m nicht zugänglich. Da das Gerinne jedoch in diesem Abschnitt beidseitig steile Hänge besitzt und keine Querschnittsveränderungen aufweist, wurde für die weiterführende Modellerstellung das Gerinne anhand des vorhandenen DGMs nachgebildet und die Höhen zwischen den vermessenen Profilen linear interpoliert.

Am Beginn der Ortslage Niedernissa quert der Pfingstbach die Straße L1052 („Am Herrenberg“). Unterhalb des Bauwerks gibt es einen kleinen Sohlsprung. Unterhalb des Brückendurchlasses wurde die Sohle mit groben Steinen ausgelegt. Die Uferbereiche wurden mit Rasengittersteinen beidseitig befestigt (vgl. Abbildung 4-10).

Abbildung 4-10 Pfingstbach oberhalb von Niedernissa

Im weiteren Verlauf wurde in der Ortslage Niedernissa das Gerinne kastenförmig ausgebaut. Es gibt insgesamt 7 Brücken (bzw. Stege) und zwei lange Straßenverdolungen (ca. 50 m). Die folgende Abbildung 4-11 zeigt dazu entsprechende Fotos aus der Gebietsbegehung in Niedernissa.

1: Kastengerinne

2: Kastengerinne mit Durchlass (bogenförmig)

3: Einlauf Verdolung

4: Kastengerinne

Abbildung 4-11 Pfingstbach Niedernissa

Unterhalb der Ortslage Niedernissa bis zur Mündung in den Urbach weist der Pfingstbach im weiteren Verlauf einen nahezu natürlichen Charakter auf (siehe folgende Abbildung).

Abbildung 4-12 Mündung des Pfingstbachs (links) in den Urbach (rechts)

4.4.4 Urbach

Die betrachtete Gewässerstrecke des Urbachs beginnt nördlich des Urbicher Kreuzes bei Windischholzhausen. Die folgende Abbildung (Foto 1) zeigt den Rohrauslauf am Herrenberg (Aufnahme aus der Gebietsbegehung).

1: Rohrauslauf am Herrenberg

2: Rechte Ufermauer Rudolstädter Straße

Abbildung 4-13 Urbachs am Urbicher Kreuz und unterhalb der Rudolstädter Straße Urbich

Das Gerinne und die Ufer sind stromunterhalb des Rohrauslaufs am Herrenberg bis zur Einmündung des Pfingstbachs stark bewachsen. Insbesondere durch die Einengung durch Straßen weist das Gerinne in der Ortslage Urbich lediglich einen bedingt naturnahen Charakter auf. Auch hier konnte bei der Gebietsbegehung ein starker Bewuchs der Uferbereiche erkannt werden. Im Abschnitt unterhalb der

Rudolstädter Straße ist die rechte Uferseite des Gewässers mit einer Mauer befestigt (Abbildung 4-13, Foto 2).

Im weiteren Gewässerverlauf stromunterhalb der Ortslage Urbich ist, bis zum Zusammenfluss mit dem Peterbach, ebenso ein natürliches Gerinne mit stark bewachsenen Ufern vorhanden. Bei der Gebietsbegehung befanden sich teilweise grobe Steine an der Gewässersohle, die von der Böschung abgetragen wurden.

1: Bewachsenes Gerinne - Urbich

2: Gerinne zwischen Urbich und Zusammenfluss Peterbach

Abbildung 4-14 Urbach, Ortslage Urbich und oberhalb des Zusammenflusses mit dem Peterbach

4.4.5 Linderbach

Der Linderbach beginnt ab dem Zusammenfluss des Peterbachs mit dem Urbach südlich der Weimarischen Straße (B7). In der Ortlage Linderbach liegt, bis auf die befestigten Brückenbereiche der B7 und der Brücke „Im Ziegelgarten“, ein unverbautes Gerinne mit unbefestigten Uferbereichen vor (Abbildung 4-15, Foto 1). An der Straße „Im Ziegelgarten“ gibt es eine Furt, die eine Durchquerung des Gewässers ermöglicht.

1: Gerinne unterhalb der Brücke „Im Ziegelgarten“

2: Furt „Im Ziegelgarten“

Abbildung 4-15 Linderbach, OL Linderbach

Im weiteren Verlauf mündet stromunterhalb der Ortslage Linderbach der Zufluss aus dem Hochwasserrückhaltebecken des Güterverkehrszentrum (GVZ) in den Linderbach. Der Zufluss ist mit einem Sielbauwerk verschließbar (Abbildung 4-16, Foto 1). Im Bereich der Unterquerung der Bahntrasse wurden die Böschungsbereiche des Linderbachs mit groben Steinen befestigt (Abbildung 4-16, Foto 2). Stromunterhalb dieses Bereichs besitzt das Gewässer wieder einen naturnahen Charakter mit bewachsenen Böschungsbereichen (Abbildung 4-16, Foto 3)

1: Sielbauwerk, Zufluss aus dem GVZ

2: Gerinne an der Querung der Bahnstrecke

3: Gerinne bei Azmannsdorf

Abbildung 4-16 Linderbach zwischen OL Linderbach und Azmannsdorf

Nahe der Ortslagen Kerspleben und Töttleben besitzt der Linderbach sehr flache Auenbereiche, die ein weiträumiges Ausströmen bei Hochwasserereignissen vermuten lassen. Die Böschungszonen sind zum Teil mit kleinen Bäumen bewachsen. Befestigte Sohl- und Uferbereiche konnten in diesem Abschnitt insbesondere an Brückenbauwerke erkannt werden (Abbildung 4-17). Außerdem wurde die Gewässersohle im Bereich „An der Gärtnerei“ mit massiven Wasserbausteinen befestigt.

1: Gerinne bei Kerspleben

2: Ausgedehnte Auenbereiche bei Töttleben (Blick stromauf)

Abbildung 4-17 Linderbach, OL Linderbach

4.5 Beurteilung des Gewässerzustandes

4.5.1 Grundlage

Der Zustand eines Gewässers wird anhand von ökologischen, chemischen und gewässerstrukturellen Parametern bewertet. Wird bei der Bewertung festgestellt, dass sich das betrachtete Gewässer in keinem guten Zustand befindet, müssen Maßnahmen zur Verbesserung ergriffen werden. Dies entspricht der Umsetzung der Kernziele der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) für Oberflächengewässer, die darin liegen, in allen europäischen Mitgliedsstaaten bis Ende 2015 für Gewässer einen „guten ökologischen Zustand“ (für künstliche oder erheblich veränderte Wasserkörper das „gute ökologische Potential“) und einen „guten chemischen Zustand“ zu erreichen. Die Zielerreichung ist dabei u.a. durch Verbesserung der Gewässerstruktur, des Wasserrückhalts, der Gewässergüte und die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Gewässer möglich.

Die Bezugsgröße zur Überprüfung der Umweltziele ist eine Unterteilung in Oberflächenwasserkörper (OWK). Der Linderbach kann dabei dem OWK Gramme zugeordnet werden (DETH_56434_0+33).

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf Erkenntnisse zur Beschreibungen des OWK Gramme, zu dessen Einzugsgebiet der Linderbach gezählt werden kann (eine Einzelbewertung des Gewässers war nicht verfügbar).

4.5.2 Beurteilung des ökologischen Zustands/Potentials

Die Bewertung des ökologischen Zustands wird durch die Beschreibung von biologischen Qualitätskomponenten durchgeführt, da diese eine umfassende Beurteilung der komplexen Gewässersituation ermöglichen. Hierfür werden vier Gruppen von Organismen (Tiere und Pflanzen) zur Bewertung herangezogen: Fische, Makrozoobenthos, Makrophyten/Phytobenthos und Phytoplankton.

Entsprechend einer Zustandsbewertung aus dem Jahr 2014 handelt es sich bei dem OWK Gramme um einen erheblich veränderten Wasserkörper (Heavily Modified Water Body – kurz: HMWB) [19]. Für diesen weicht die Gewässermorphologie stark von der eines natürlichen Gewässers ab, so dass eine natürliche Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften nicht mehr zu erwarten ist. Gemäß EG-WRRL ist das Gewässer so zu bewirtschaften, dass ein gutes ökologisches Potential erreicht wird.

Entsprechend einer Veröffentlichung des Thüringer Ministeriums für Umwelt, Energie und Naturschutz aus dem Jahr 2015 (Entwurf) [20] wird für den OWK Gramme das ökologische Potential wie folgt bewertet:

Tabelle 4-2 Zustand und Zielerreichung des OWK Gramme [20]

Wasserkörpertyp:	*Fließgewässer*	
Oberflächenwasserkörper – Name:	*Gramme*	
EU-Code:	*DETH_56434_0+33*	
Flussgebietseinheit:	*Elbe*	
Einstufung:	*HMWB*	
Qualitätskomponente		**Bewertung**
Makrozoo-benthos	Makrozoobenthos Saprobie	gut
	Makrozoobenthos Allgemeine Degradation	unbefriedigendes ökologisches Potential
	Makrozoobenthos gesamt	unbefriedigendes ökologisches Potential
Makrophyten und Phytobenthos		unbefriedigend
Phytoplankton		nicht relevant
Fische		mäßiges ökologisches Potential
Gesamtbewertung Ökologisches Potential		unbefriedigendes ökologisches Potential

Insgesamt ergibt sich entsprechend der Bewertung ein unbefriedigendes ökologisches Potential. Dies wird auch öffentlich auf der Seite „Umwelt regional“ der TLUG für den Linderbach und seine Nebengewässer dargestellt [21] (Abbildung 4-18).

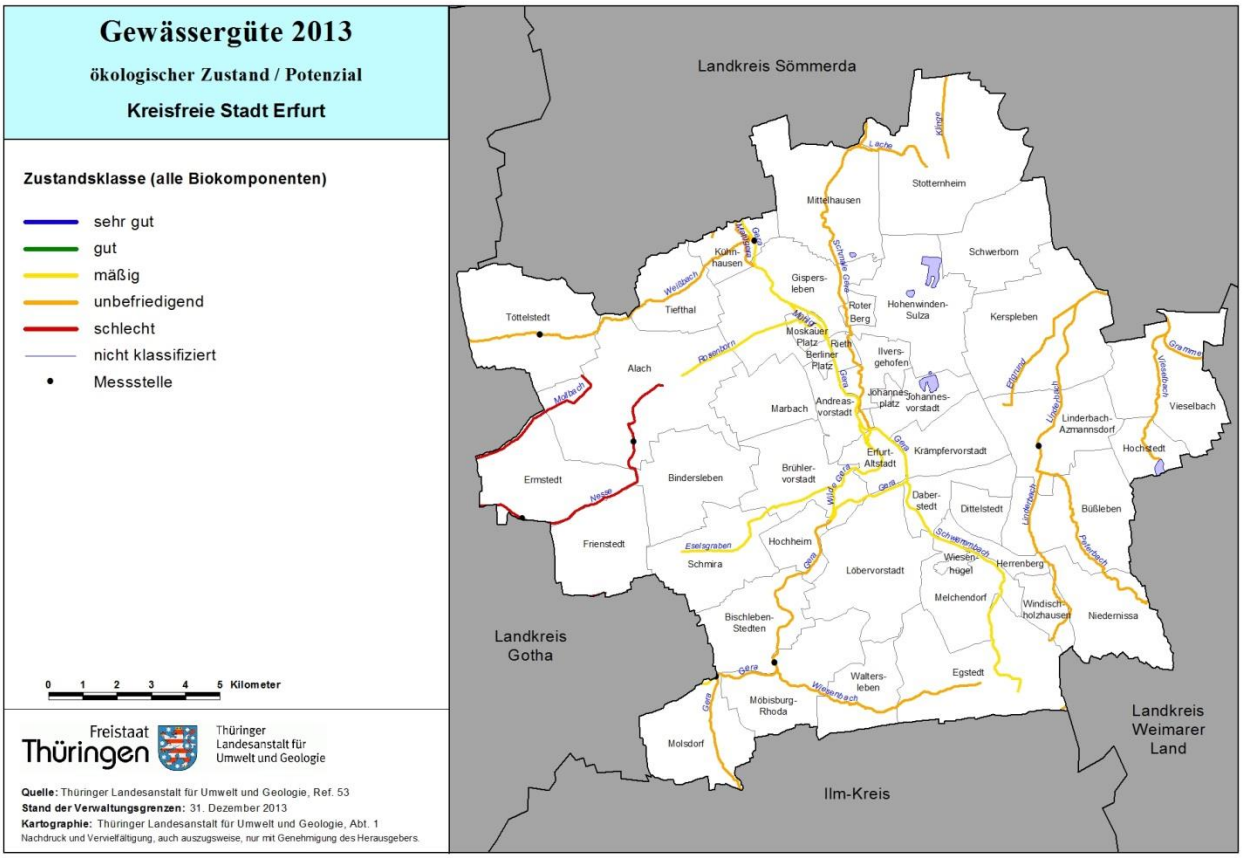


Abbildung 4-18 Ökologischer Zustand / Potential Linderbach [21]

4.5.3 Beurteilung des chemischen Zustands

Zur Überprüfung der chemischen Belastung der Oberflächengewässer werden Schadstoffe / prioritäre Stoffe herangezogen, die „aufgrund ihrer Giftigkeit, Beständigkeit im Gewässer bzw. Anreicherung im Organismus ein erhebliches Risiko darstellen“ [20]. Hierzu zählen Nitrat, Schwermetalle, Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Industriechemikalien und Pflanzenschutzmittel.

Das Bewertungsschema unterscheidet den chemischen Zustand von Gewässern zweistufig in „gut“ und „nicht gut“. Wird ein Parameter in einer Höchstkonzentration überschritten, wird der Zustand als „nicht gut“ eingestuft.

Gemäß der Bewertung im Entwurf zum Thüringer Landesprogramm Gewässerschutz [20] weist der OWK Gramme eine Überschreitung der Umweltqualitätsnorm (UQN) für den Schadstoff Nitrat auf. Die Überschreitung des Grenzwertes ist auf anthropogene Ursachen zurückzuführen.

Der gesamt beurteilte chemische Zustand des OWK (ohne die Bewertung des Quecksilbers) für den OWK wird daher als „nicht gut“ eingestuft [20].

4.6 Bewertung der Raumordnung und Bauleitplanung

Gemäß Kartendarstellungen des Landesentwicklungsplanes Thüringen 2004 [9] werden Teile des Einzugsgebiets des Linderbachs landschaftsräumlich als „Raum mit besonderer Bedeutung für die Landwirtschaft“ sowie „Raum mit ökologisch besonders bedeutsamen Landschaften“ definiert. Das heißt, dass der Landwirtschaft im Einzugsgebiet eine besondere Bedeutung zukommt und eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Bodennutzung und der Schutz der Ertragsfunktion bei allen raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen im Vordergrund stehen sollten. Für die ökologisch bedeutsamen Landschaften soll die naturräumliche Vielfalt gewahrt und die Schutzgüter Boden, Wasser, Klima/Luft, Arten und Lebensräume sowie das Landschaftsbild gesichert werden [9].

Eine rechtsverbindliche landschaftsrahmenplanerische Vorgabe für das Gebiet des Linderbachs existiert derzeit in Form des Regionalplans Mittelthüringen. Gemäß den Zielaussagen sollen Teile des Einzugsgebiets als Vorrang- und Vorbehaltsgebiete zur Freiraumsicherung und Vorranggebiete für landwirtschaftliche Bodennutzung vorgehalten werden. Innerhalb des Gebietes verläuft in Form der Bahnstrecke eine „europäisch bedeutsame Schienenverbindung“. Die Bundesstraße B7 und die Landesstraße L1052 gelten als großräumig bedeutsame Straßenverbindungen.

Im „Masterplan Grün Erfurt - Rahmenkonzept zur Fortschreibung des Landschaftsplanes der Landeshauptstadt Erfurt“ [10] werden darüber hinaus Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege für den vorliegenden Planungsraum konkretisiert und Maßnahmen beschrieben, um die entsprechenden Ziele zu erreichen. Der gültige Landschaftsplan des Stadtgebietes Erfurt wurde im Jahr 1997 angefertigt und bezüglich einzuhaltender neuer europarechtlicher Vorgaben (z.B. EG-WRRL, FFH-Richtlinie, EG-Vogelschutzrichtlinie) weiterführend ergänzt. Entsprechend des Landschaftsplanes lässt sich das Einzugsgebiet des Linderbachs in die folgenden dargestellten Teilräume einordnen.

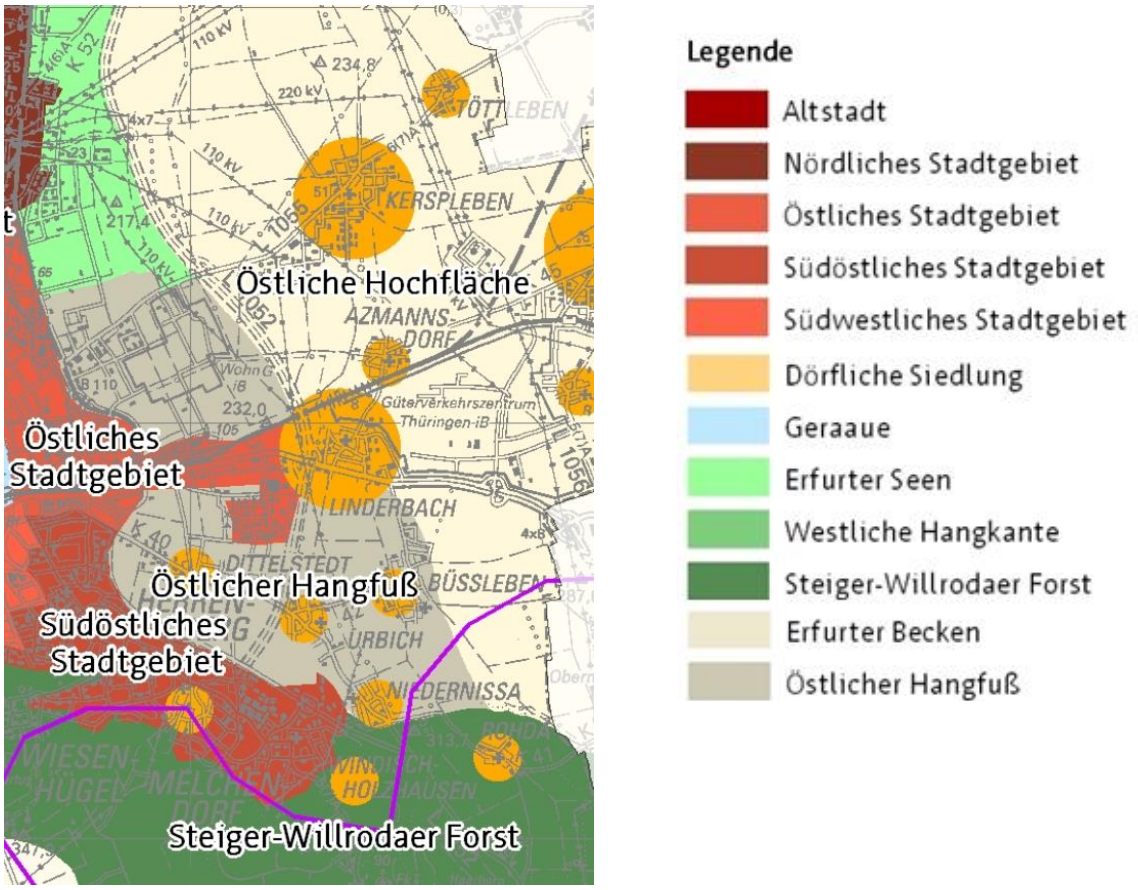


Abbildung 4-19 Teilräume der Stadt Erfurt für das Einzugsgebiet Linderbach (Auszug aus [10])

Das Einzugsgebiet Linderbach befindet in den folgenden Teilräumen:

- Steiger-Willrodaer Forst
- südöstliches Stadtgebiet
- östlicher Hangfuß
- östliche Hochfläche
- dörflich Siedlung

Entsprechend dem Landschaftsplan lassen sich dabei für das Einzugsgebiet Linderbach aus den vorhandenen Teilräumen folgende wesentlich relevanten Raumempfindlichkeiten und Funktionen zusammenfassen:

Tabelle 4-3 Raumempfindlichkeiten und Funktionen der vorhanden Teilräume [10]

Nutzung	Pflanzen/Tiere/ biologische Vielfalt	Boden	Gewässer
Steiger Willrodaer Forst			
• bewaldete Bereiche • südlicher Teil des Einzugsgebiets • forstwirtschaftliche Nutzung • wichtige Funktion für Arten- und Biotopschutz	• beherbergt sämtliche Waldlebensräume • vorwiegend Eichen-Hainbuchenwald und Buchen(misch)wald • artenreiches mageres Grünland •artenreiche Vogel- und Säugetierfauna • durch BAB4 erhebliche Barriere	• steinig-lehmig • naturnahe Böden • natürliche Ertragsfähigkeit mittel • Suhlequelle sowie an Talhängen im Oberlauf des Pfingstbachs: geringe natürliche Ertragsfähigkeit • Sonderstandorte für stark spezialisierte Pflanzengesellschaften am Pfingstbach (Suhlequelle) und Peterbach	• Quellbereich von Pfingstbach • Gewässer nur gering bis deutlich verändert • Retentions-vermögen mittel bis hoch
Südöstliches Stadtgebiet			
• Herrenberg und Windischholzhausen • Wohnnutzung und Gewerbeflächen (entlang der Weimarischen Straße und Urbicher Kreuz)	• Siedlungsbiotoptypen (Mischgebiets-, Wohnbau- und Gewerbeflächen) mit mittlerem Versiegelungsgrad • Bedeutung Biotoptypen: gering bis sehr gering	• Böden stark überprägt • geringe bis sehr geringe Naturnähe	• Gewässer vollständig verändert • nahezu keine Retentionsfunktion aufgrund der dichten Bebauung
Östlicher Hangfuß			
• Wechsel bebauter und landwirtschaftlich genutzter Flächen (Ackernutzung) • Gemüseanbau, Gärten und Obstwiesen • umschließt dörfliche Siedlungen Urbich, Büßleben und Niedernissa	• Ackerbiotope mit geringer Bedeutung • z.T. Biotoptypen mit hoher Bedeutung – z.B. Grünland, Staudenfluren und Obstwiesen • Gehölz und Staudensäume • Umfeld von Linderbach und Peterbach hat Bedeutung für den Biotopverbund von Fließgewässerlebensräumen • Barrieren: L1052 und Bahntrasse	• sehr hohe natürliche Ertragsfähigkeit • mittlere Naturnähe, in bebauten Bereichen gering bis sehr gering • östliche Seite des Peterbachtals sowie das Umfeld von Linderbach und Peterbach ist Sonderstandort für spezialisierte Pflanzengesellschaften	• nur wenige Fließgewässer • Linderbach durch Ausbaumaßnahmen stark bis sehr stark verändert • Peterbach nur mäßig verändert und relativ naturnah • großes Potential für Biotopverbund und als Retentionsraum
Östliche Hochfläche			
• landwirtschaftliche Nutzung (Ackerbau) • größter Bereich des nördlichen Teil des Einzugsgebiets (dörfliche Siedlungen Töttleben, Kerspleben, Azmannsdorf, Linderbach) • umschließt GVZ mit randlicher Eingrünung • extensiv genutzte Flächen mit Entwicklungspotential in den Auen des	• Ackerbiotope mit geringer Bedeutung • entlang des Linderbachs und Bachtals Grünland und Feldgehölze (mittlere bis sehr hohe Bedeutung) • Bedeutung für Biotopverbund von Trocken-, Feucht-, Fließgewässer- und Waldlebensräumen sowie Streuobstwiesen • seit 1997 erhebliche Flächen- und Lebensraumverlust (Erweiterung GVZ) • Bahntrasse stellt Barriere dar	• hohe bis sehr hohe Ertragsfähigkeit • im Bereich Kerspleben mittlere natürliche Ertragsfähigkeit • z.T. seltene Böden • Naturnähe überwiegend mittel • Aue vom Linderbach fungiert als Sonderstandort für spezialisierte Pflanzengesellschaften	• Linderbach, Erlgrund und Peterbach durch Ausbaumaßnahmen überwiegend deutlich bis stark verändert • Erlgrund sehr stark verändert • Peterbach mäßig verändert • großes Potential für Biotopverbund, Naherholung und Vernetzung von

Nutzung	Pflanzen/Tiere/ biologische Vielfalt	Boden	Gewässer
Linderbachs			Erholungsbereichen • Retentionsfunktion in der Aue vom Linderbach mittel bis hoch
Dörfliche Siedlung			
• ländlich/dörflicher Charakter • alle Ortslagen des Einzugsgebiets • Mischung aus Wohn- und Gewerbenutzung, Gärten, randlichen Hecken-, Grünlandstrukturen • Standorte der Landwirtschaft	• dominieren von Siedlungsbiotoptypen • höhere Anteile an Siedlungsgrün • Bedeutung der Biotoptypen gering bis mittel • großflächige Gärten mit Altbaumbeständen • Bedeutung für biologische Vielfalt, heimische Vogelarten und Kleinsäuger	• meist deutlich überprägt • mittlere bis sehr geringe Naturnähe	• Gewässer meist im Bereich der Ortsteile deutlich bis sehr stark verändert • Ufer überwiegend befestigt, begradigt • häufig verroht • Teilraum hat nahezu keine Retentionsfunktion durch Bebauung

Dabei lassen sich aus dem Landschaftsplan folgende Ziele ableiten, die bei der Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen berücksichtigt und ggf. auf mögliche Synergieeffekte überprüft werden sollten [10]:

Boden:

- Verhinderung von Neuversiegelung bzw. Rückbau von versiegelten Flächen (wenn möglich)
- keine Verschmutzung
- Schutz vor Erosion
- Steuerung von Nutzungen/Nutzungstransformationen
- standortgerechte Bodennutzung und Schutz von seltenen Böden sowie Böden mit besonderem Biotopentwicklungspotential

Gewässer:

- übergeordnete Zielvorgabe durch die EG-WRRL
- keine stofflichen Einträge
- Beseitigung von Gewässerverrohrungen, Uferbefestigungen
- Fließgewässer ökologisch aufwerten (Verbesserung der Gewässerstruktur)
- ökologische Durchgängigkeit
- Schutz von Oberflächen- und Grundwasser vor diffusen Nährstoffeinträgen und Gefährdungen
- Schaffung naturnaher Retentionsräume
- Multifunktionalität anstreben (Gewässerökologie, sauberes Wasser, Biotopverbund, Hochwasser/Retention, Erholung)

Biologische Vielfalt:

- Sicherung der biologischen Vielfalt
- Schutz und Entwicklung von Arten und Biotopen
- Erhalt vorhandener Schutzgebiete
- störungsempfindliche Arten/Naturräume durch Lenkungsmaßnahmen sowie alternative Angebote schützen
- extensive Nutzung und Pflege der Offenlandbiotope
- Strukturanreicherung durch Etablierung von Flächen für Bioenergienutzung

Neben den beschriebenen landschaftsrahmenplanerischen Vorgaben liegt für die Stadt Erfurt weiterhin seit dem 27.05.2006 ein wirksamer Flächennutzungsplan vor. Der Plan enthält eine Bindungswirkung u.a. hinsichtlich der Darstellung von Bauflächen und von Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft.

5 Historische und aktuelle Extrem-Hochwasserereignisse

5.1 Recherche abgelaufener Ereignisse

5.1.1 Vorgehensweise bei der Datenrecherche

Um relevante Daten und Fakten in Bezug auf stattgefundene Hochwässer im Bearbeitungsgebiet sowie Informationen zu vorhandenen und geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen zu sammeln, wurde eine Internetrecherche durchgeführt. Weiterhin wurden vom AG verschiedene Unterlagen übergeben, die Informationen zu beobachteten Überschwemmungsgebietsausbreitungen enthielten.

Der größte Anteil an Informationen wurde durch die im November 2014 gegründete "Bürgerinitiative der Ortsteile im Osten von Erfurt zum Hochwasserschutz" zusammengetragen. Durch den Sprecher, Herrn Dr. Funke-Reuter, wurden gezielt Fakten zu den Hochwasserereignissen der beiden zurückliegenden Jahre bei den Anwohnern recherchiert und an Fugro übergeben. Dabei war durch die Anwohner nach dem in Abbildung 5-1 zusammengestellten Fragenkatalog Auskunft zu geben über den beobachteten zeitlichen und räumlichen Ablauf erlebter Hochwasserereignisse.

Das zusammengetragene Material wurde gesichtet und bewertet und für die Dokumentation in den nachfolgenden Kapiteln aufbereitet.

Fragenkatalog zur Anwohnerbefragung

1) *Jedes Hochwasserereignis sollte spezifisch erfasst werden, also z. B. die Daten vom 20.06.2013 getrennt von den Daten vom 19.09.2014. Zur besseren Darstell- und Belegbarkeit sind Fotos, "Hochwassermarken" o. a. sehr sachdienlich! Dabei ist allgemein bekannt, dass kaum jemand während des Hochwasserhöchststandes Muße zum Fotografieren hat. (Dankenswerterweise liegen dem Ingenieurbüro bereits einige aussagekräftige Anwohner-Fotos vor.)*
2) *Wichtig zu erfassen sind die jeweiligen, zeitlichen Abläufe am Ihnen jeweils bekannten Ort:*
   - *2.1) Wann kam das jeweilige Hochwasser, wenn möglich etwaige Uhrzeiten?*
   - *2.2) Wie schnell kam das jeweilige Hochwasser, wenn möglich die Minuten bis zum Höchststand?*
   - *2.3) Wie lange verharrte das jeweilige Hochwasser?*
   - *2.4) Wie schnell war das jeweilige Hochwasser wieder fort?*
3) *Hochwasserhöchststände*
   - *3.1) Wie hoch war der höchste Stand des jeweiligen Hochwassers an Ihnen erinnerlichen bzw. ggf. dokumentierbaren Stellen?*
   - *3.2) Können Sie sogenannte „Schwemmsellinien“ erinnern bzw. ggf. nachweisen? - „Schwemmsellinien“ sind Linien, die anhand von z. B. in Bäumen und Sträuchern hängenden alten bzw. mitgeschwemmten Grasbüscheln (besonders außerorts) auf den jeweiligen Hochwasserstand hinzudeuten vermögen.*
4) *Welche Flächen wurden vom jeweiligen Hochwasser umfasst? Wie lange dauerte es bis zur größten Fläche, wie lange bis zum Rückzug des jeweiligen Hochwassers?*
5) *Aus welcher Richtung bzw. aus welchen Richtungen kam das jeweilige Hochwasser?*

Abbildung 5-1 Fragenkatalog (Anwohnerbefragung durch die Bürgerinitiative)

5.1.2 Hochwasserereignisse vor dem Jahr 2000

Über lang zurückliegende Hochwasserereignisse in der betrachteten Region konnte nicht viel in Erfahrung gebracht werden. Verschiedene Quellen aus dem Internet erwähnen für das Jahr 1613 eine Flutkatastrophe, in deren Verlauf Teile Thüringens von einem Hochwasser betroffen waren. Es heißt: „*…am 29. Mai 1613 entluden sich über Teilen Thüringens schwere Gewitter und ließen viele Flüsse innerhalb weniger Stunden um mehrere Meter ansteigen. Betroffen war ein Gebiet von Mühlhausen, Langensalza und Artern im Norden bis nach Stadtilm und Ichtershausen im Süden, von Erfurt und Gotha im Westen bis nach Naumburg im Osten. Die Unwetterkatastrophe ist als „Thüringer Sintflut“ in den Chroniken vieler Ortschaften beschrieben.*“ [11]. Ob dabei auch das Einzugsgebiet des Linderbaches betroffen war, konnte nicht recherchiert werden.

Ein Eintrag auf der Internetseite des Ortes Linderbach lässt jedoch die Schlussfolgerung zu, dass im März des Jahres 1782 ein Hochwasserereignis stattgefunden hat. Aus einem Brief vom 29.03.1782 von Goethe an Charlotte von Stein wird folgendes zitiert: „*…dieses zum Zeichen daß die Fluthen bey Linderbach mich nicht verschlungen haben…“* [12].

Von Anwohnern der Ortslage Linderbach sind aus dem Jahr 1943 einige Fotos und Erinnerungen erhalten, die bei einem Winterhochwasser Ausuferungen im Bereich stromunterhalb der Weimarischen Straße dokumentieren (Abbildung 5-2). Damals war der Bereich zwischen dem „Ziegelgarten“ im linken Vorland über den heutigen Edmund-Schäfer-Platz im rechten Vorland bis zum Weiherweg von Überflutungen betroffen.

Abbildung 5-2 Hochwasser 1943 im Bereich Linderbach im Ziegelgarten und am Weiherweg [14]

Nach Informationen, die von der Bürgerinitiative übergeben gesammelt wurden, kam es auch im Juni 1961 u.a. in Büßleben durch den Peterbach zu größeren Überschwemmungen in den angrenzenden Ortslagen.

In der Abwägung zum Bebauungsplan LIN641 "Azmannsdorfer Straße" (vom 16.04.2014) wurde in der Stellungnahme des Amtes für Stadtentwicklung und Stadtplanung erwähnt, dass in der Ortslage Linderbach und in anderen umliegenden Orten im Jahr 1994 Überflutungen durch ein Hochwasserereignis auftraten [13]. Unter anderem wurde dabei für Büßleben, nach einem langsamen Wasserspiegelanstieg, ein ca. 3 Tage andauerndes „überraschendes Jahrhunderthochwasser“ beschrieben [14].

Auf der Internetseite des Ortsteils Büßleben werden weitere Hochwasserereignisse in den Jahren 1965 und 1994 genannt [40].

5.1.3 Hochwasserereignisse in den Jahren 2000 bis 2012

Die zusammengestellten Unterlagen der Bürgerinitiative dokumentieren für den Juni und September 2007 am Peterbach Feuerwehreinsätze wegen Gewittergüssen / Sturzfluten und damit verbundenen Überflutungen im Bereich der Ortslage Büßleben [14]. Darüber hinaus wurden auch im Mai 2008 und Anfang Januar 2011 Überschwemmungen im Ort beobachtet. Unter anderem wurden hier in der Scheune „Zum Trolle 1“ Wasserstände von 0,30 m erreicht. Auch für den sich weiter stromab befindlichen Linderbach wurden für die genannten Zeiträume Überflutungen beschrieben.

Auf der Internetseite des Ortsteils Büßleben wird ein weiteres Hochwasserereignisse im Jahr 2007 genannt [40].

5.1.4 Extremhochwasserereignisse im Jahr 2013

Im Jahr 2013 wurden nach längeren Zeitabschnitten mit heftigen Regenfällen mehrere kleinere und größere Hochwasserereignisse an den Bächen im Untersuchungsgebiet beobachtet.

Anwohner berichten, dass der Pfingstbach u.a. in Niedernissa schon im April (12. April 2013) eine erhöhte Wasserführung aufwies [14].

Wie Fotos (Abbildung 5-3) aus Urbich von Ende Mai zeigen, trat der Urbach, durch heftige Regenschauer aufgefüllt, an einigen Stellen am 31.05.2013 über die Ufer.

Abbildung 5-3 Urbich, Brücke „Über den Krautländern“, 31.05.2013 [14]

Die größten Überflutungen entlang des Gewässersystems Pfingstbach – Urbach – Peterbach - Linderbach wurden jedoch im Juni beobachtet. Durch Gewitter mit heftigen Regenfällen traten die Gewässer über die Ufer und richteten besonders in den Ortslagen schwere Schäden an. Die Berufsfeuerwehr musste zu rund 60 Einsätzen vor Ort ausrücken. Auch die Freiwilligen Feuerwehren waren im Einsatz. Heizöltanks mussten gesichert werden. Viele Keller waren vollgelaufen. In Wohnungen war Wasser eingedrungen. Die Straße nach Weimar war z.T. nur einspurig befahrbar (Ortslage Linderbach), da das Wasser nicht abfließen konnte.

Nachfolgend werden einige ausgewählte Fotos und Fakten vom Zeitraum **20./ 21.Juni 2013** gewässerweise aufgeführt, die von Anwohnern an die Bürgerinitiative im Zusammenhang mit den Hochwasserbeobachtungen übergeben wurden.

Pfingstbach, Niedernissa:

Nach Aussagen der Anwohner trat der Pfingstbach bei dem Hochwasserereignis über die Ufer, überflutete Straßen und Wege und ergoss sich in die Keller der Häuser in Bachnähe (Abbildung 5-4).

Gegen 18 Uhr erfolgte ein schneller Anstieg des Wasserspiegels im Bach. Nach ca. 1 h Verharrung erfolgte langsam ein Rückgang der Wassermassen. Ein Anwohner schildert er hätte *„schon oftmals Hochwasser im Ort erlebt, aber so schlimm war es noch nie“* [14].

Abbildung 5-4 Niedernissa, „Am Peterbach“, 20.06.2013 gegen 18 Uhr [14]

Urbach, Urbich:

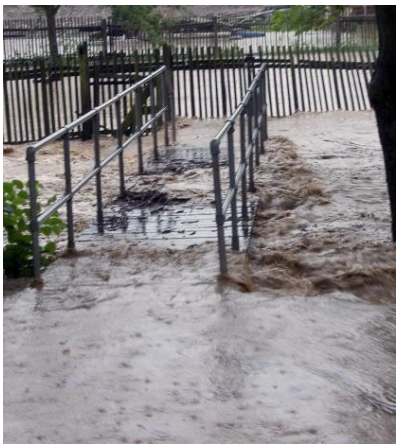
Aus den übergebenen Notizen geht hervor, dass sich am Abend des 20. Juni über eine Dauer von 1,5 Stunden ein Starkregen in und um Urbich ergoss. Örtliche Regenmesser registrierten dabei eine Niederschlagsmenge von ca. 52 mm [14].

Nach dem Zusammenfluss von Pfingst- und Urbach füllten die Wassermassen den Hohlweg bzw. die gesamte Aue und bewegten sich rasend schnell auf Urbich zu. Lose Stämme, Hölzer und Unrat wurden mitgeschwemmt. Die Brückendurchlässe konnten die anströmenden Wassermassen nicht bewältigen. In der Ortslage selbst wurden die Straßen und Wege in Ufernähe und Anliegergebäude überflutet. Auch in dahinterliegenden Straßen staute sich Wasser, so dass es zu großen Schäden im Ort kam.

Peterbach, Büßleben:

Nachdem Ende Mai unter anderem durch überbordende Wasserführung der Peterbach z.B. in der Scheune „Zum Trolle 1“ über mehrere Stunden für einen Wasserstand von ca. 0,10 m sorgte, erreichte die Wasserstandshöhe bei dem als „Jahrhunderthochwasser“ am 20.06. registrierten Ereignis in der Scheune ca. 0,30 m. Die in der nachfolgenden zusammengestellten Fotos vermitteln einen Eindruck von den Auswirkungen des Hochwasserereignisses in Büßleben.

1: Zur Trolle



2: Straße der Einheit, Steg

3: Platz der Jugend

4: Am Pappelstieg

4: Straße der Einheit, nahe Petrikirche

Abbildung 5-5 Büßleben, 20.06.2013 abends [14]

Linderbach, Linderbach:

Wie in den Ortslagen stromoberhalb konnte auch in Linderbach das Bachbett des Linderbaches die nach Zusammenfluss von Peterbach und Urbach anströmenden Wassermassen nicht mehr bewältigen. Aus den oberen Bereichen des Einzugsgebietes wurden große Mengen an Schwemmgut angespült, wodurch es an engen Querschnittsbereichen zu Verklausungen kam. Stromoberhalb staute sich das Wasser und angrenzende Straßenabschnitte, Gärten und Wohnbereiche wurden überflutet, wie unter anderem das unten stehende Foto zeigt (Abbildung 5-6).

1: Blick Richtung Linderbach von Weimarischer Straße, ca. 20 Uhr

2: Überflutungen im Großen Garten, ca. 21:30 Uhr

Abbildung 5-6 Linderbach, Bereich Weimarische Straße, 20.06.2013 abends [14]

Linderbach, Kerspleben:

In einem Brief an die Stadtverwaltung Erfurt schildern Bürger aus Kerspleben, dass sie bei allen Hochwasserereignissen des Jahres 2013 betroffen waren [18]. Im Bereich der Brücke „Große Herrengasse“ bis zur Brücke „Zum Sulzenberg“ kommt es bei erhöhtem Abfluss im Linderbach regelmäßig zu einem Übertritt in die Siedlungsbereiche linksseitig des Gewässers. Insbesondere die Mittelgasse war daher bei dem Hochwasser im Juni 2013 betroffen.

Die folgende Abbildung 5-7 zeigt eine Skizze der beobachteten Überflutungsausbreitung im Bereich von Kerspleben. Abbildung 5-11 zeigt dazu entsprechende Fotoaufnahmen.

Abbildung 5-7 Kerspleben, skizzierte Überflutungsausbreitung 2013 [18]

1: Brücke "Am Sulzenberg"

2: Kreuzung Plangasse und „Am Gartenland"

3: Alte Mittelgasse

4: Alte Mittelgasse

Abbildung 5-8 Kerspleben, Bereich Mittelgasse [18]

Welche Auswirkungen das Hochwasser vom Juni 2013 auf weitere bebaute Bereiche der Ortschaften am Linderbach hatte, geht aus den übergebenen Aufzeichnungen nicht hervor. Es ist jedoch anzunehmen, dass die ufernahen Bereiche ebenfalls von Überschwemmungen betroffen waren.

5.1.5 Extremhochwasserereignis im Jahr 2014

Am 19. September 2014 löste ein Starkregen im Osten von Erfurt eine Hochwasserwelle aus, die alle im Untersuchungsgebiet betrachteten Bäche durchlief und nacheinander insbesondere die Orte Rohda, Büßleben, Linderbach und Kerspleben überflutete. Das Wasser kam schnell und fast ungebremst und durch die Wucht erreichten die Überflutungen in den Anliegergrundstücken an einigen besonders gefährdeten Stellen auch das Erdgeschoss von Wohnhäusern [14].

Durch das Extremereignis entstanden in der Region durch die sich durch die Ortslagen wälzenden Wassermassen wiederum erhebliche Schäden an privatem aber auch betrieblichem und städtischem Eigentum. Uferbefestigungen brachen ab und durch die unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten kam

es zu größeren Materialumverlagerungen. Nach Aussagen vieler Anwohner waren die Ausmaße noch schlimmer als im Juni 2013.

Generell wurde erneut festgestellt, dass einige Brückendurchlässe für die beobachteten extremen Abflussereignisse nicht ausgelegt sind.

Nachfolgend sind aus dem Material der Bürgerinitiative Fotos und Fakten zusammengestellt, die den Verlauf des Hochwasserereignisses vom **19. September 2014** verdeutlichen.

Pfingstbach, Niedernissa:

Anwohner berichten vom 19.09.2014 zwar kein Überlaufen des Pfingstbaches, aber im Bachbett selbst wurde ein sehr schneller Anstieg des Wasserstandes bemerkt. Nach Aussage eines Augenzeugen raste der Pfingstbach mit *„höllischem Tempo“* dahin und *„er war die ganze Nacht am Toben“* [14].

Abbildung 5-9 Niedernissa, an der Brücke „Über dem Dorfe“, 19.09.2014 [14]

Peterbach, Rohda:

Entsprechend den Schilderungen kam es durch den Anstrom von extremen Hangzuflüssen zu Überströmungen im Südöstlichen Teil der Ortslage Rohda (Kirchgraben, Am Teufelstale). Die vorhandenen Gräben und Durchlässe durch die Straßen konnten die Ableitung Richtung Peterbach nicht sicherstellen.

Abbildung 5-10 Rohda, Kirchgraben [14]

Peterbach, Büßleben:

Der Peterbach war durch den Regen vom 19. September so stark über die Ufer getreten, dass er wieder dutzende Keller unter Wasser setzte. Ein Anwohner berichtet, dass eine etwa 2,50 Meter hohe Flutwelle durch das Flussbett schwappte, gefolgt von einem stundenlang anhaltendem „so hohem Strom“ [15].

Das Wasser schwappte über Brücken hinweg und auch in der Scheune „Zum Trolle 1“ wurde wieder „Landunter“ registriert. Der Wasserstand hielt sich mehrere Stunden bei ca. 0,60 m. Berichtet wird, dass sich die Flutwelle vom Haarberg her in den Peterbach ergoss und dann in die Ortslage eindrang.

Die nachfolgenden Bilder (Abbildung 5-11) zeigen Markierungen von Hochwasserständen im Bereich der Ortslage Büßleben.

1: „Am Peterbach“, nahe Bachgasse

2: „ZurTrolle“

Abbildung 5-11 Büßleben, Hochwassermarken [14]

Wie anhand der Hochwassermarken im Foto 1 der Abbildung 5-11 zu erkennen ist, wurden für das Hochwasser 2014 höhere Wasserstände als 2013 beobachtet.

Die folgende Abbildung 5-12 zeigt die Ausdehnung des Überflutungsgebietes in Büßleben für den 20./21. Juni 2014 [14]. In der Darstellung sind Engstellen rot markiert, an denen nach Aussagen der Anwohner durch die Einengungen des Bachbettes der Hochwasserabfluss behindert wird.

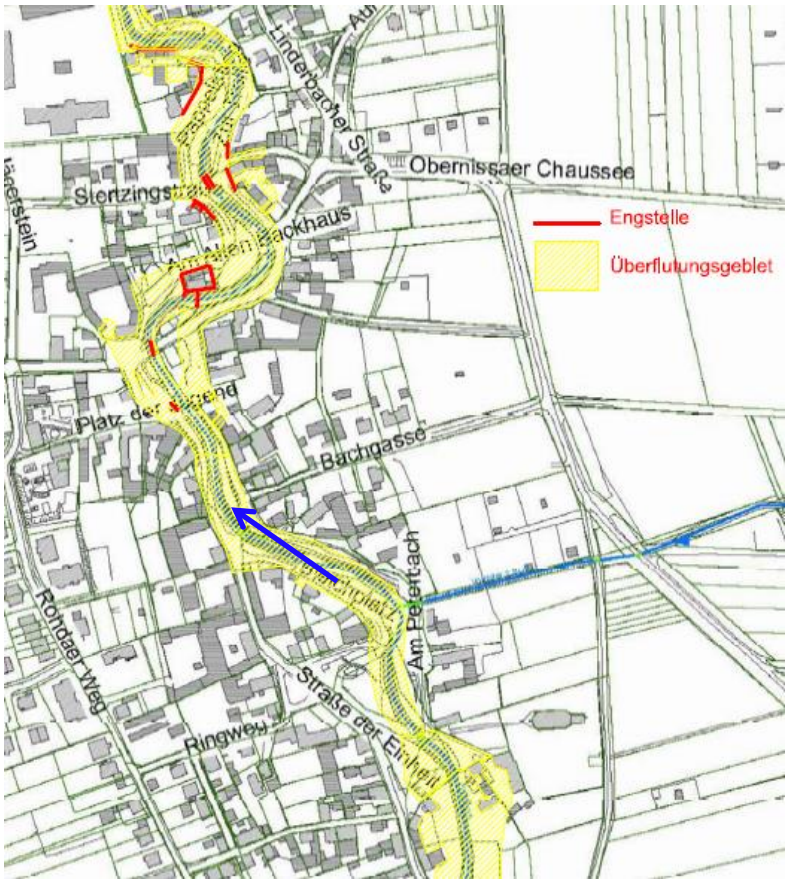


Abbildung 5-12 Büßleben, Überflutungen am 19.09.2014 [17]

Linderbach, Linderbach:

Wie aus der Sichtung des übergebenen Materials der Stadt, der Ortsteile und der Bürgerinitiative hervorgeht, war die Ortslage Linderbach beim Hochwasser 2014 besonders stark betroffen.

Unter anderem musste die Weimarische Straße (B7) in Linderbach zeitweise für den Verkehr gesperrt werden. Auch die Tankstelle in Linderbach stand unter Wasser.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen Fotos von verschiedenen Bereichen in der Ortslage Linderbach. Die Bilder, aufgenommen während und nach dem Hochwasserereignis, zeigen deutlich das Ausmaß der Überschwemmungen.

1: „Zur Steinhohle“ ca. 19 Uhr

2: „Zur Steinhohle“ ca. 19 Uhr

3: „Im Großen Garten“

Abbildung 5-13 Linderbach, 19.09.2014 abends [14]

1: während dem Hochwasser

2: nach abgelaufenen Hochwasser

Abbildung 5-14 Linderbach, stromoberhalb Furtbrücke „Weimarische Straße“ [14]

Im Rahmen der Nachsorge des Hochwasserereignisses 2014 wurde eine Kartierung der beobachteten Überflutungsausbreitung für den Bereich der Ortslage Linderbach durchgeführt. Die folgende Skizze zeigt die beobachtete Hochwassersituation zum Hochwasser 2014 südlich der Weimarischen Straße, wo sich Peterbach und Urbach zum Linderbach vereinen (Abbildung 5-15).

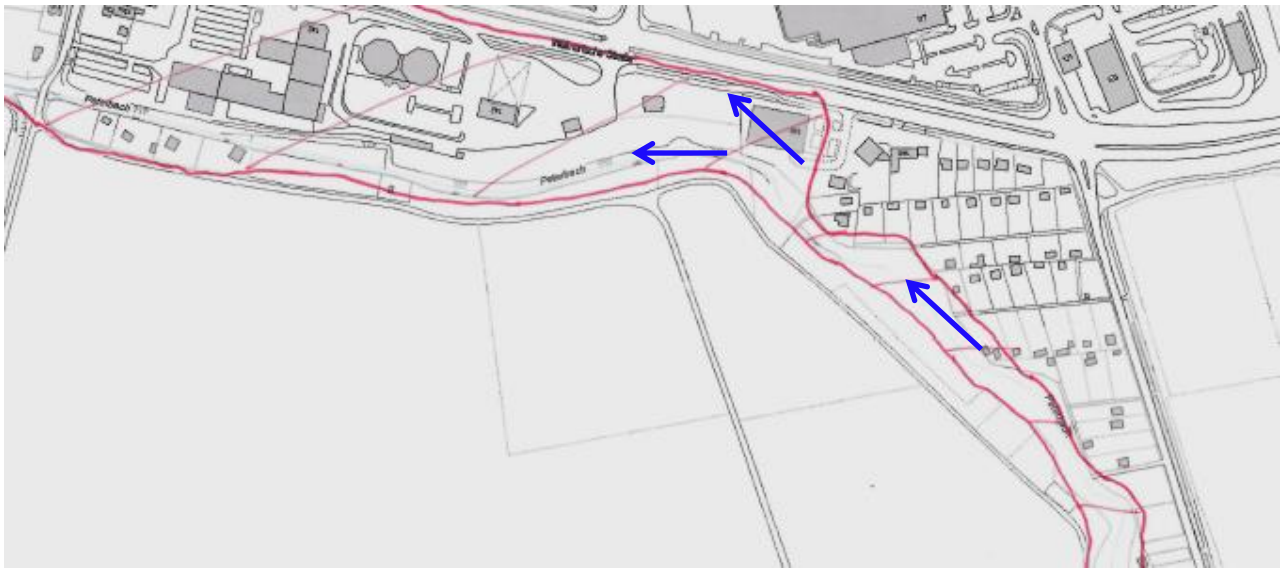


Abbildung 5-15 Linderbach, Skizze zur beobachteten Überflutungsausbreitung Hochwasser 2014 [17]

Am stromunterhalb der Ortslage Linderbach quer verlaufenden Bahndamm konnten bei dem Hochwasser 2014 auch Überflutungen beobachtet werden. Zwischen der Ortslage Linderbach und dem Bahndamm floß das Wasser breitflächig Richtung Norden, anschließend konnte es durch den Durchlass des Linderbachs nur verzögert weiter abfließen. Hier ergab sich rechts- und linksseitig des Gewässers eine breite Ausdehnung der Überflutungsflächen (Abbildung 5-16).

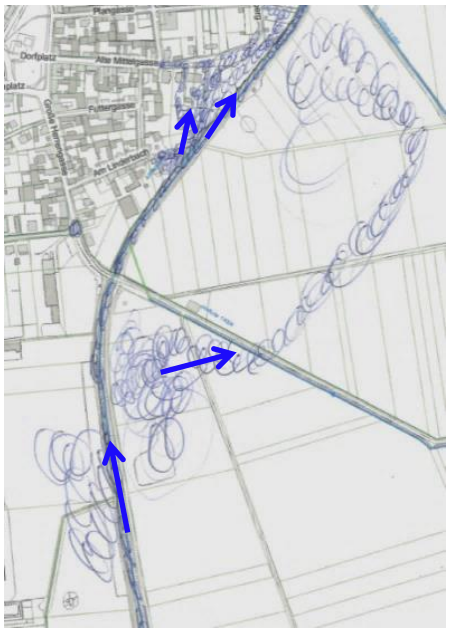
1: Überflutung südlich des Bahndamms [14]

2: Skizze zur beobachteten Überflutungsausbreitung [17]

Abbildung 5-16 Bahndamm nördlich Linderbach, Überflutungen 2014

Linderbach, Kerspleben:

In der Ortslage Kerspleben war auch 2014, analog zur Schilderung des Juni-Hochwassers 2013, der Bereich „Alte Mittelgasse“ bis „Zum Sulzenberg“ von Überflutungen betroffen. Die Abbildung 5-17 zeigt dazu Skizzen zur beobachteten Überflutungsausbreitung.



1: Bereich Alte Mittelgasse

2: Kersplebener Chaussee

Abbildung 5-17 Kerspleben, Skizze zur beobachteten Überflutungsausbreitung Hochwasser 2014 [17]

Abbildung 5-18 Sportplatz zwischen Kerspleben und Töttleben – nach Ablauf Hochwasser 2014 [14]

Linderbach, Töttleben:

Die Ortslage Töttleben war 2014 nicht direkt von Überflutungen aus dem Linderbach betroffen. Jedoch kam es, wie nachstehende Fotos und die Skizze zeigen, nordöstlich von Töttleben zu Überflutungen der Wiesen- und Ackerflächen am Ortsrand.

1: Skizze zur beobachteten Überflutungsausbreitung [17]

2: Überflutete Vorlandbereiche [14]

3: Großräumig überströmte Flächen [14]

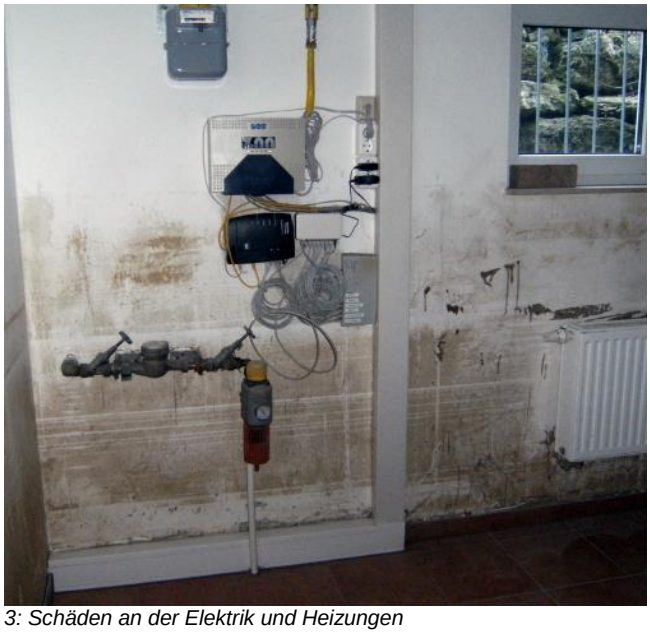
Abbildung 5-19 Töttleben, Skizze und Fotos der Überflutungsausbreitung Hochwasser 2014

5.2 Dokumentation und Auswertung von Hochwasserschäden und abgelaufenen Prozessen

Die folgende Abbildung 5-20 gibt einen Einblick in das Ausmaß an Schäden, die durch die beiden Hochwasserereignisse von 2013 und 2014 im Einzugsgebiet des Linderbachs und seiner Nebengewässer entstanden.

1: Ausgespülte Steine im Böschungsbereich

2: Abgebrochener Wegrand durch Ausspülung



3: Schäden an der Elektrik und Heizungen

4: Schlammablagerung

5: Verlust der Möbel und Elektrogeräte in tiefer gelegenen Wohnräumen

Abbildung 5-20 Hochwasserschäden am Linderbach und seiner Nebengewässer 2013/2014 [14]

Besonders betroffen waren private Anlieger und Kleinindustrie, deren Wohn- und Nutzgebäude sich in den direkt überfluteten Arealen befanden. Aufgrund der Überflutung von Gartenanlagen, dem Eindringen von Wasser in Keller und Wohnräume, entstand ein erheblicher Sachschaden. Durch die Hochwasserereignisse wurden Arbeitsabläufe unterbrochen und ebenfalls Schäden an Bausubstanz sowie Geräten und Anlagen verursacht. Durch die hohen Strömungsgeschwindigkeiten entstanden Schäden an Böschungen von Pfingstbach, Urbach und Linderbach, aber auch an Straßen und Wegen wurden aufgrund der Überflutungen durch Ausspülen und Abschwemmen bzw. Ablagerung von Material Schäden hervorgerufen.

Betroffen waren vor allem die Ortslagen, die sich an den Ufern der betrachteten Gewässer befinden. Nach Sichtung der Fotos und Informationen zeigt sich, dass in der Ortslage Linderbach durch den Zusammenfluss von Urbach und Peterbach zum Linderbach Schäden durch Überflutungen hervorgerufen wurden. Auch in Niedernissa (Pfingstbach) sowie in Urbich (Urbach), Büßleben (Peterbach) und Kerspleben (Linderbach) entstanden Schäden durch Überflutungen.

Schäden durch Hochwasser traten auch früher in den Anliegerortslagen auf, jedoch entsteht nach Sichtung der zusammengetragenen Informationen und Materialien der Eindruck, dass größere Hochwasserereignisse a – häufiger auftreten und b – auch durch mehr extreme Abflüsse gekennzeichnet sind. Die Hauptprobleme werden dabei meist in den Sommermonaten durch Gewittergüsse und Starkregenereignisse erzeugt. Betrachtet man den Ablauf der Ereignisse, wird von betroffenen Anwohnern berichtet, dass ein sehr schneller Anstieg des Wasserspiegels nach Niederschlagsereignissen beobachtet werden kann. Dabei wurde geschildert, dass der Höchststand der jüngst abgelaufenen Ereignisse ca. 2 Stunden nach dem Beginn des Wasserspiegelanstiegs erreicht wurde. Das Hochwasser verweilte dann zwischen 4 bis 6 Stunden in den Ortslagen. Die Überflutungen waren nach 14 Stunden anschließend wieder abgelaufen.

Je nach Wetterlage und Niederschlagsverteilung entwickeln sich die Hochwasserereignisse entweder aus Richtung Pfingstbach - Urbach oder Peterbach, oft auch, zwar mit unterschiedlich gefährlichen Abflussmengen, aus beiden Richtungen gleichzeitig. Bei dem Hochwasserereignis von Juni 2013 kam der Hauptzufluss aus Richtung Pfingstbach - Urbach, und im September 2014 wurde ein größerer Abfluss aus Richtung des Peterbaches registriert. Generell traten bei den Hochwasserereignissen immer wieder Schäden auf, weil durch die großen Mengen an Schwemmgut Brückendurchlässe verklausten und daraus resultierende Rückstaueffekte schadhafte Ausuferungen zur Folge hatten.

5.3 Ökonomische Bewertung / Schadensbilanzen

Eine genaue Schadenshöhe für die abgelaufenen Hochwasserereignisse 2013 und 2014 konnte im Rahmen der Recherchearbeiten nicht ermittelt werden.

Entsprechend der Auskunft der Bürgerinitiative und der Stadtverwaltung Erfurt kam es bei den letzten Hochwasserereignissen nur zu materiellen Schäden. Weiterhin wurde durch vereinzelte Betroffene (ein Haushalt) geschildert, dass nach den Erfahrungen des Hochwassers 2013 im Sinne der Bauvorsorge die Heizungsanlagen aus Kellerräumen nach oben verlegt und elektrische Anlagen höher installiert wurden, um hohe Schäden bei zukünftig ablaufenden Hochwasserereignissen zu verhindern.

Weiterhin ist anhand der Bilddokumentationen davon auszugehen, dass durch Müllbeseitigung infolge der Hochwasser auch entsprechende Kosten entstanden. Diese können sowohl zu den direkten als auch zu den indirekten Schäden gerechnet werden. Theoretisch lassen sich diese in Auswertung des Hochwassers bestimmen. Für den Linderbach waren dazu jedoch keine Angaben verfügbar.

Generell ist es möglich, dass neben direkten Schäden an Wirtschaftsgütern durch die Hochwasser auch finanzielle Verluste durch den Ausfall von Infrastruktureinrichtungen und Versorgungseinheiten sowie langfristige Ertragsverluste in der Landwirtschaft eingetreten sein könnten. Diese lassen sich letztendlich anhand der zur Verfügung gestellten Daten und Informationen nicht konkret beziffern.

Neben der direkten Gefahr für Leib und Leben sowie Krankheiten durch den Kontakt mit stark verunreinigtem Wasser ist es auch möglich, dass Stress durch die Evakuierung oder die Sorge um finanzielle Aspekte als Ursache für Folgeerkrankungen gesehen werden kann. Dies wird dann jedoch bereits nicht mehr ursächlich mit dem Hochwasser in Verbindung gebracht.

6 Hydrologische Berechnungen

6.1 Softwarelösung NASIM

Für die Ermittlung der anfallenden Abflüsse aus Niederschlagsereignissen für das Einzugsgebiet des Linderbachs und seiner Nebengewässer war eine Niederschlag-Abfluss-Modellierung (N-A-Modellierung) erforderlich. Hierbei kam das bewährte und anerkannte konzeptionelle GIS-basierte Modell NASIM (Version 4.4.0) zur Anwendung, das seit vielen Jahren für die Simulation von Abflüssen sowohl aus natürlichen als auch aus städtischen Einzugsgebieten eingesetzt wird. Die Software wurde durch die Fugro Consult GmbH bereits in mehreren Hauptprojekten mit Einzugsgebietsgrößen von ca. 10 bis 1.200 km² angewendet.

Das hoch auflösende flächendetaillierte Modell dient der Abbildung aller wesentlichen physikalischen Prozesse der Wasserbewegung und Wasserspeicherung (z.B. Bodenfeuchte, Grundwasser, Gewässer) für ein Einzugsgebiet. Dazu simuliert das Modell die Reaktion des betrachteten Gebietes unter Berücksichtigung von Boden-, Gelände- und Landnutzungseigenschaften und kann insbesondere gut bei räumlicher Heterogenität des Einzugsgebietes angewendet werden. Einzelne Teilprozesse werden sowohl räumlich als auch prozessdetailliert beschrieben.

Für die vorliegende Bearbeitung wird das Modell mit Bemessungsniederschlägen nach KOSTRA-DWD belastet, um Scheitelwerte bestimmter Wiederkehrintervalle für das Einzugsgebiet zu ermitteln. Eine Modellkalibrierung erfolgt anhand beobachteter Niederschlagsereignisse aus Radardaten für das Hochwasserereignisse 2014.

Generell kann das N-A-Modell auch für eine kontinuierliche Langzeitsimulation der vollständigen Wasserbilanz mit beobachteten Niederschlägen genutzt werden, wobei jedoch weitere meteorologische Eingangsgrößen wie Temperatur- oder Verdunstungszeitreihen über den Simulationszeitraum benötigt werden. Außerdem ist eine Fortführung des N-A-Modells zur Untersuchung weiterer Gewässerstrecken oder Speicherstandorte möglich.

Detaillierte Informationen zur physikalischen Beschreibung der erfassten Teilprozesse können der Modellbeschreibung NASIM [3] entnommen werden.

6.2 Modellaufbau

6.2.1 Datengrundlage

Als Grundlage für den Modellaufbau des N-A-Modells, für die Kalibrierung und die Berechnung der Bemessungsabflüsse wurden folgende Daten genutzt:

- qualifiziertes digitales Geländemodell (DGM)
  Quelle: LiDAR-Daten für den Stadtbereich Erfurt, DGM 25 für die übrigen Bereiche des Einzugsgebietes
- Landnutzungsinformationen
  Quelle: digitale Orthofotos, topografische Karte, Kenntnisse aus Gebietsbegehung
- Bodeninformationen
  Quelle: Digitale Bodengeologische Karte Thüringen der TLUG, Bodeneigenschaften und Schichtung der Horizonte aus der Veröffentlichung zu Leitbodenformen Thüringens [4]
- Niederschlagsdaten
  Quelle: KOSTRA-DWD 2000 (Rasterkarten: S44 Z55, S44 Z56, S45 Z55, S45 Z56), RADOLAN-Niederschlagssummen für das Starkniederschlagsereignis 2014, Information zu punktuellen Starkniederschlagshöhen an der Station Erfurt für verschiedene Dauerstufen für die Jahresreihe 1951 bis 2010

In Altgutachten wurden für das Einzugsgebiet des Linderbachs bereits hydrologische Abflussscheitelwerte rechnerisch ermittelt, die jedoch vermutlich anhand der Erfahrung der letzten Jahre zu geringe Abflussmengen angeben. Im Jahr 1999 wurde durch die Thiele + Büttner GbR eine Hochwasserstudie für den Linderbach angefertigt, die zum Vergleich der aktuell ermittelten Abflüsse herangezogen wurde. Außerdem standen für die Bearbeitung auch die thüringenweit verfügbaren HQ-Regional-Abflusswerte zur Verfügung.

Die im Folgenden beschriebenen und zugrunde gelegten Annahmen und die Vorgehensweise der hydrologischen Berechnung orientieren sich an den „Anforderungen an Hydrologische Gutachten“ der TLUG Jena.

6.2.2 Teileinzugsgebiete

Das Einzugsgebiet des Linderbachs wurde anhand von definierten Berechnungspunkten mit Hilfe des qualifizierten digitalen Geländemodells GIS-gestützt abgegrenzt. Diese Punkte markieren die Auslässe aus den Teilgebieten (TG) und dem Gewässersystem. Die Punkte wurden für den Modellaufbau so gewählt, dass diese markanten Zuflüssen in das Gewässernetz entsprechen. Die Teilgebiete wurden anschließend durch eine Fließwegakkumulation mit Hilfe des digitalen Geländemodells ermittelt.

Da das Einzugsgebiet des Linderbachs eine starke urbane Prägung aufweist, mussten die Teilgebiete der besiedelten Bereiche gesondert betrachtet werden. Zu diesem Zweck wurden durch den AG Unterlagen zu den öffentlichen Abwasseranlagen und Darstellungen der Entwässerungswege in den Ortslagen übergeben. Die Daten wurden entsprechend aufbereitet, vereinfacht und die angebundenen Flächen in Form von urbanen Teileinzugsgebieten in das N-A-Modell übernommen.

Die Abbildung 6-1 zeigt eine Beispieldarstellung der urbanen Einzugsgebiete im Bereich der Ortslage Büßleben.

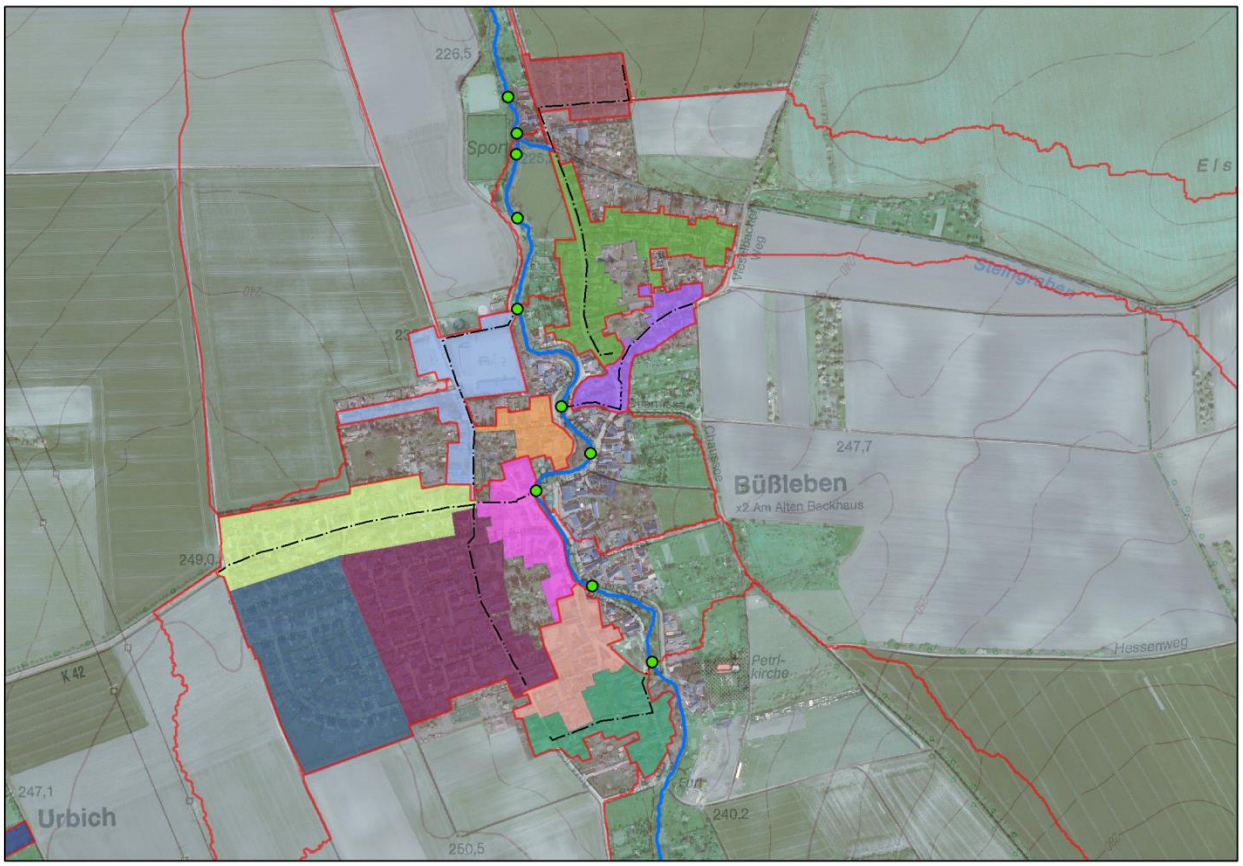


Abbildung 6-1 Urbane Einzugsgebiete im Bereich von Büßleben

Bis zur Mündung in die Gramme hat das Einzugsgebiet (EZG) des Linderbachs eine Größe von 58,96 km². Das Teileinzugsgebiet des Peterbach beläuft sich dabei auf eine Fläche von 25,97 km². Das Teilgebiet des Pfingstbachs hat eine Fläche von 6,74 km² und das Teilgebiet des Urbachs 4,04 km².

Für den Aufbau des Niederschlag-Abfluss-Modells mit der Softwarelösung NASIM wurde das gesamte Einzugsgebiet aufgrund der stark urbanen Prägung in 109 Teilgebiete untergliedert. Diese ergaben sich aufgrund hydrologischer, morphologischer und topografischer Kriterien. Für die Teilgebiete erfolgte die Zuweisung von Identifikations-Namen, die für den Aufbau und eine eindeutige Kennung im NASIM-Systemplan benötigt wurden.

Die folgende Abbildung 6-2 zeigt die Teilgebiete des Linderbachs und der Nebengewässer, die für die Bearbeitung abgegrenzt wurden. Bei der Darstellung wurde für eine bessere Übersicht auf die Beschriftung der kleinen urbanen Teilgebiete verzichtet.

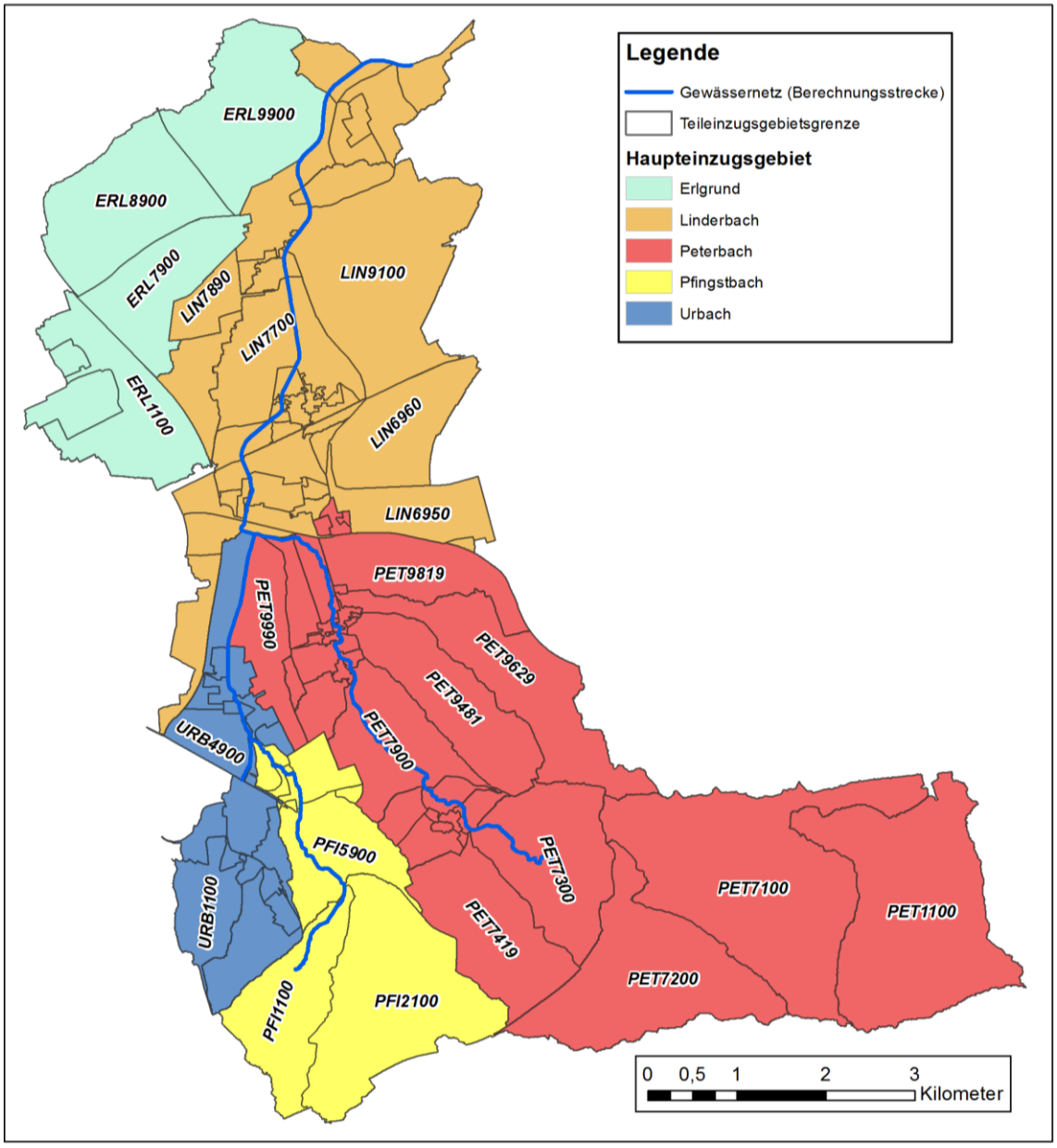


Abbildung 6-2 Hydrologische Teilgebiete Linderbach des N-A-Modells

Tabelle 6-1 Zusammenfassung Teileinzugsgebiete Linderbach

Gewässer	Anzahl Teilgebiete	Fläche gesamt [km²]	Fläche urban [km²]
Pfingstbach	7	6,74	0,39
Urbach (bis Zusammenfluss mit Peterbach, ohne Pfingstbach)	19	4,04	1,54
Peterbach	35	25,96	0,45
Linderbach (ab Zusammenfluss Urbach und Peterbach)	42	13,90	4,56
Erlgrund	6	8,32	0,59
Summe	109	58,96	7,53

Ausgehend von der Gesamtfläche sind bis zur Mündung in die Gramme ca. 13 % der Einzugsgebietsfläche anthropogen überprägt.

6.2.3 Boden und Landnutzung

Für den Aufbau des Modells in NASIM werden Informationen über die Landnutzung und die Bodentypen des Einzugsgebietes benötigt.

Der Nutzungstyp beeinflusst durch den Anteil von versiegelten und unversiegelten Flächen, Bedeckungsgrad, Interzeption und Wurzeltiefe den oberirdischen- und Grundwasserabfluss. Die vorhandenen Anteile der Flächennutzung im Einzugsgebiet wurden in Kapitel 0 bereits beschrieben. Für die Modellsimulation in NASIM wurden den 10 verschiedenen Landnutzungstypen spezifische Eigenschaften zugeordnet. Die Tabelle 6-2 zeigt die zugehörigen Modellparameter.

Tabelle 6-2 Modellparameter der Landnutzung

Landnutzung	Versiegelungsgrad [%]	Interzeptions-speicher [mm]	Durchwurzelungs-tiefe [m]
Acker	1	3,00	1,00
Bahn	15	3,00	0,40
Gewässer	0	200,00	0,01
Grünland	1	3,00	0,90
Industrie	60	2,50	0,20
Siedlung (dichte Bebauung)	30	2,50	0,80
Siedlung (lockere Bebauung)	10	2,50	0,90

Landnutzung	Versiegelungsgrad [%]	Interzeptions-speicher [mm]	Durchwurzelungs-tiefe [m]
Strasse	50	2,50	0,01
Wald	0	7,00	2,00
Weg_unbef	5	1,50	0,30

Der Interzeptionsspeicher für Gewässerflächen wurde mit 200 mm im Vergleich mit den anderen Nutzungsarten als sehr hoch angenommen, da stehende Gewässerflächen bei einem Niederschlagsereignis eine große Speicherwirkung haben und das Wasser vor dem oberirdischen Abfluss zurückhalten.

Für die Charakterisierung der Bodentypen im Untersuchungsgebiet wurde für die Bearbeitung die digitale Bodengeologische Karte Thüringen genutzt. Die vorhandenen Bodentypen werden in Abbildung 6-3 dargestellt.

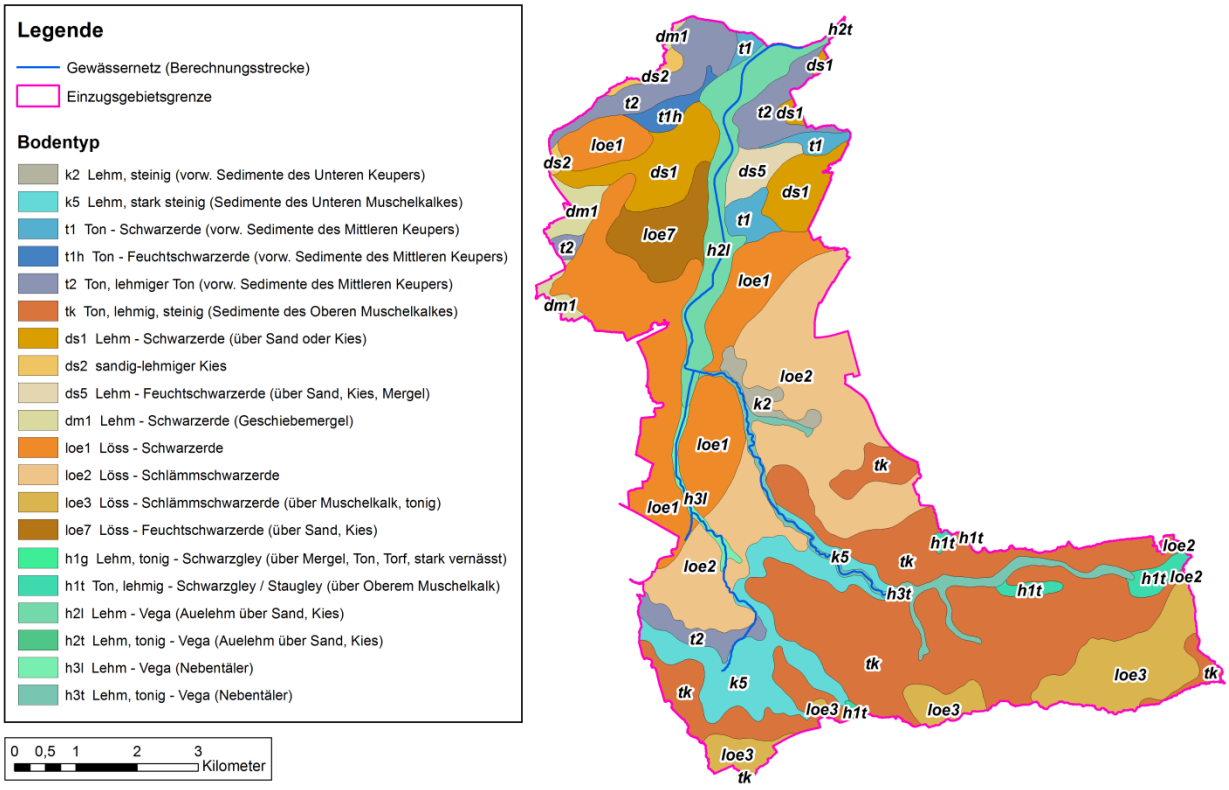


Abbildung 6-3 Bodentypen im Einzugsgebiet

Innerhalb des Einzugsgebietes besitzt der Bodentyp „tk“ - Ton, lehmig, steinig (Sedimente des Oberen Muschelkalkes) mit ca. 27 % den flächenmäßig größten Anteil. Zusätzlich liegen in über 38 % der Einzugsgebietsfläche Lössboden vor („loe1“, „loe2“ und „loe3“). Hydrologisch lassen sich die vorherrschenden Bodentypen folglich primär durch geringe hydraulische Leitfähigkeiten und hohe Feldkapazitäten charakterisieren. Die lehmig, steinigen Tonböden bewirken vor allem bei einer hohen Vorsättigung ein schnelles Abfließen von oberirdischen Abflussmengen.

Im N-A-Modell NASIM beschreiben die vorhandenen Bodentypen die Schichtung der Böden und die in ihm vorkommenden Bodenarten. Mit Hilfe der Dokumentation zu den Leitbodenformen Thüringens [4] wurde für die vorhandenen Bodentypen entsprechend ihrer Codierung (z.B. „tk“ – Ton lehmig, steinig) eine Schichtung der Bodenarten mit Schichtdicken zugeordnet.

Die Bodenarten werden in einer eigenen Tabelle verwaltet, in der die zugehörigen physikalischen Eigenschaften (z.B. Feldkapazität, Welkepunkt, Gesamtporenvolumen, Infiltration oder gesättigte hydraulische Leitfähigkeit) definiert werden.

Die folgende Tabelle zeigt die verwendeten bodenphysikalischen Parameterwerte. Für die Bodenarten wurden dabei die Parameterwerte entsprechend den DVWK-Regeln Heft 116 (1982) verwendet [3]. Nach Abstimmungen mit der TLUG wurde das Gesamtporenvolumen für das Gebiet abweichend von den Standardwerten nach DVWK 116 um bis zu 25 % angepasst, um regional gültige Abflusswerte zu erhalten.

Tabelle 6-3 Bodenparameter

Bodentyp	Welkepunkt [mm/m]	Feldkapazität [mm]	Gesamt-porenvolumen [mm/m]	Hydraulische Leitfähigkeit [mm/h]	Maximale Infiltration [mm/h]
Ss	30	90	475	125	125
Tt	390	540	725	5	5
Tu2	350	490	663	5	5
Tu3	260	410	600	5	5
Tu4	250	420	613	5	5
Lt3	260	410	600	11	11
St2	80	220	500	30	30
Lts	250	410	600	11	11
Su2	30	120	450	42	42
Tl	350	490	663	5	5
Ts3	250	410	600	11	11
Ls4	150	320	538	23	23
Lt2	260	410	600	11	11
Lu	170	360	563	11	11
Sl2	60	220	513	30	30
Sl4	120	280	525	30	30

Um der räumlichen Variabilität des Modellgebietes gerecht zu werden, aber trotzdem die Gesamtzahl der Parameter klein zu halten, wurden die Teileinzugsgebiete in kleine Einheiten unterteilt, die ein ähnliches hydrologisches Regime aufweisen. Diese Hydrotope (hydrologisch homogene Einheiten) wurden im GIS durch Verschneidung des aufbereiteten Teilgebiets-, Landnutzungs- und Bodentypenthemas erzeugt. Nach

dem Verschnitt konnte jeder Elementarfläche genau ein Bodentyp, eine Landnutzung und ein Teilgebiet zugeordnet werden, wodurch die Abbildung der Abflussprozesse in NASIM erfolgt. Insgesamt ergaben sich für das gesamte Einzugsgebiet 1325 Elementarflächen.

6.2.4 Modellaufbau und Parametrisierung

Modellsystem

Der erste Schritt des Modellaufbaus mit NASIM besteht darin, einen Systemplan zu definieren. Dabei wird für jedes Teileinzugsgebiet ein Systemelement erstellt. Der Systemplan definiert somit die Interaktion zwischen den einzelnen Systemelementen bzw. den Zusammenhang der verschiedenen Teilgebiete. Zusätzlich können Elemente wie z.B. Transportelemente (Kanäle, Rohrstrecken und ähnliches) oder Speicherstandorte berücksichtigt werden.

Die Systemelemente wurden entsprechend den festgelegten Teileinzugsgebieten (vgl. Kapitel 6.2.2) bezeichnet. Anschließend wurde definiert, ob es sich um ein natürliches oder urbanes Teileinzugsgebiet handelt bzw. ob in ihm ein Speicher oder ein Transportelement (z.B. Gewässerlauf) vorhanden ist.

Die folgende Abbildung 6-4 zeigt den Systemplan für das N-A-Modell Linderbach.

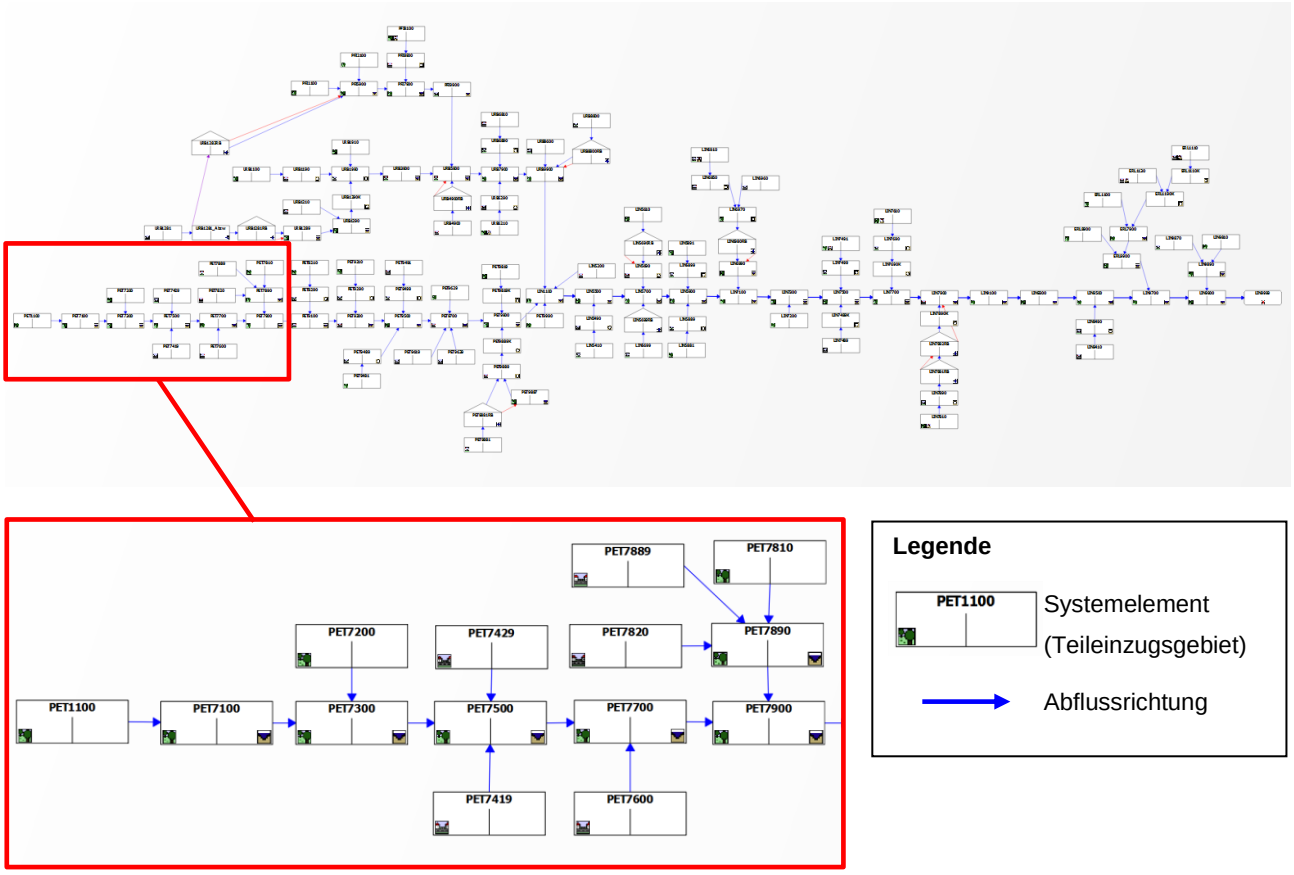


Abbildung 6-4 NASIM-Systemplan Linderbach

Wie bereits beschrieben, handelt es sich bei dem Einzugsgebiet des Linderbachs um ein stark urban geprägtes Gebiet. Für die Ortslagen wurden detaillierte Abwasserpläne zur Verfügung gestellt, die im Rahmen des Modellaufbaus für die Abgrenzung der Teilgebiete Berücksichtigung fanden. Die übergebenen digitalen Pläne enthielten Angaben zu Regenrückhaltebecken im Einzugsgebiet, für die zum Teil Stauvolumina und Drosselabgaben bekannt waren Insofern die Bedeutung der vorhandenen Rückhaltebecken für die Berechnung der Hochwassersimulation im Rahmen des HWSK als maßgeblich eingeschätzt wurde, erfolgte eine Einarbeitung in das N-A-Modell.

Folgende Rückhalte wurden in das N-A-Modell eingearbeitet:

- Regenrückhaltebecken am GVZ (V = 14.270 m³)
- Rückhalt „Bei den Froschäckern“ am GVZ (V = 1.500 m³)
- Regenrückhalt „Fichtenweg“ Kerspleben (V = 1.410 m³)
- Regenrückhalt „Am Goldacker“ Kerspleben (V = 340 m³)
- Rückhalt „Weiherweg“ Linderbach (V = 500 m³, privat)
- Regenrückhaltebecken Urbich (V = 500 m³)
- Regenrückhalt 1 „Märchensiedlung“ nahe Suhlequelle (V = 2.000 m³)
- Regenrückhalt 2 „Märchensiedlung“ nahe Suhlequelle (V = 350 m³)
- *Regenrückhaltebecken Urbich URB 638 (V = 19.000 m³, 65 l/s Drosselabfluss) - geplant*
- *Rückhalt am Tonberg, LIN 587 mit gedrosselter Einleitung - geplant*

In Abstimmung mit dem AG wurde für die Bearbeitung ein N-A-Modell für den Istzustand des Linderbachs erstellt, das bereits das Gewerbegebiet Urbich (URB638), die Erweiterung des GVZ (LIA284) sowie die Planung „Am Tonberg“ (LIN587) enthält (Flächengröße und Versiegelung sowie Regenrückhalte). Insofern ein Drosselabfluss bekannt war, wurde dieser als Randbedingung im Modell berücksichtigt.

Im Rahmen der Modellerstellung mussten für alle Systemelemente Modellparameter definiert werden. Diese umfassten z.B. die Teilgebietsgröße und eine mittlere Geländehöhe. Die hydrologischen Eigenschaften und die räumlichen Variabilität des Modellgebietes wurden durch Hydrotope (hydrologisch homogene Einheiten) beschrieben, die GIS-gestützt durch den Verschnitt des aufbereiteten Teilgebiets-, Landnutzungs- und Bodentypenthemas erzeugt wurden. Jede Elementarfläche wurde einem Systemelement zugeordnet, wodurch die Abbildung der Abflussprozesse in NASIM erfolgen konnte.

Für die Modellberechnung mit Bemessungsniederschlägen und die Modellkalibrierung anhand des Starkniederschlagsereignisses 2014 wurden keine Temperatur- und potentielle Verdunstungszeitreihen für die Simulation benötigt.

Transportelement

Für zwischenliegende Systemelemente, die einen Zufluss von einem Oberlieger erhalten, muss im N-A-Modell ein Transportelement definiert werden. Bei diesen Systemelementen kommt es neben der Konzentration der anfallenden Niederschläge aus der Teileinzugsgebietsfläche auch zur Fließwegkonzentration und zum Transport innerhalb des Gewässerlaufs durch das Systemelement zum Unterlieger. Über das Transportelement erfolgt eine Berechnung der Fließzeit und Retentionseffekte im Gerinne in Anlehnung an Kalinin-Miljukov.

Zur Definition der Transportelemente wurden für die Systemelemente der Gewässer Linderbach, Pfingstbach, Urbach und Peterbach repräsentative Querprofilgeometrien vorgegeben. Die Geometrien wurden den aktuell vermessenen Querprofilen der jeweiligen Gewässerabschnitte entnommen.

Abflussbildung

Die Abflussbildung hängt von den Einzugsgebietseigenschaften ab. Einen großen Einfluss haben z.B. die Infiltration und hydraulische Leitfähigkeit der einzelnen Bodentypen oder die Interzeption der Landnutzungsklassen (vgl. Kapitel 6.2.3).

Abflusskonzentration

Bei der Simulation des Oberflächenabflusses über die natürliche Gebietsoberfläche arbeitet NASIM zur Abbildung des Translationseffektes mit dem Einheitsganglinienverfahren. Für die Berechnung wird dem Programm eine Zeitflächenfunktion vorgegeben, die im GIS mit dem NASIM-Modul „Zeitflächenfunktion“ aus dem digitalen Geländemodell, Teilgebiets-, Gewässer- und Landnutzungsthema Linien gleicher Fließzeit (Isochronen) ermittelt. Die Funktion wird als TAPE20 eingelesen, gibt für die Simulationsberechnung die Einheitsganglinie für die einzelnen Teilgebiete vor und ermöglicht die Ermittlung der Translationswirkung bei einer bestimmten Abflusshöhe. Die Zeitflächenfunktion wurde anhand der berechneten Konzentrationszeit T_c für verschiedene Oberlieger-Teilgebiete mit Hilfe der empirischen Formel nach KIRPICH auf Plausibilität überprüft.

Die Retentionskonstante des Oberflächenabflusses für natürliche Flächen (RETOB) wurde in einem ersten Schritt nach RIECK [3] durch einen pragmatischen Zusammenhang mit der Flächengröße geschätzt.

Tabelle 6-4 Schätzung RETOB nach RIECK [3]

Einzugsgebietsfläche [km²]	RETOB [h]
0,50	3,0
0,75	3,5
1,00	4,0
2,00	5,0
4,00	7,0
9,00	9,0
11,00	10,0

Im Wesentlichen haben die Hanglänge und das Gefälle des Teilgebietes einen Einfluss auf die Retention des Oberflächenabflusses. Diese Charakteristika der Teilgebiete werden jedoch entsprechend dem Ansatz nach RIECK nicht beachtet. Entsprechend Erfahrungswerten aus analogen Projektbearbeitungen wurde die Erstschätzung der Retentionskonstante daher anhand einer Betrachtung des mittleren Gebietsgefälles für Teilgebiete mit sehr starker oder geringer Neigung um bis zu einem Faktor von ±0,5 korrigiert. Ebenso wurde die Retentionskonstante des Oberflächenabflusses auch für Teilgebiete mit einem hohen Waldanteil um 20 % erhöht.

Weiterhin ergaben sich die Schätzung für die Retentionskonstanten des Zwischenabflusses (RETINT) und des Basisabflusses (RETBAS) nach folgenden Formeln:

$$RETINT = 6 \cdot RETOB \quad (1)$$

$$RETBAS = 200 \cdot RETOB \quad (2)$$

Alle weiteren Parameter im Modell wurden entsprechend den Standardwerten angenommen. Für die Simulation mit Bemessungsniederschlägen wurden die Standardanfangsbedingungen verwendet.

6.2.5 Niederschlag

Für die Hochwasserganglinien verschiedener Wiederkehrintervalle im Einzugsgebiet wurden Bemessungsniederschläge nach KOSTRA-DWD verwendet. Die KOSTRA-Bemessungsniederschläge (Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs Auswertungen) des Deutschen Wetterdienstes liegen deutschlandweit in einem 8,5 x 8,5 km Raster vor. Das Einzugsgebiet Linderbach verteilt sich gleichmäßig auf vier Kacheln (Spalte 44 und 45, Zeile 55 und 56). Vor der Eingabe der Niederschläge in das Modell wurden aus den KOSTRA-Tabellen Mittelwerte gebildet.

Bei der Modellsimulation wird das Einzugsgebiet mit Niederschlägen unterschiedlicher Dauerstufen belastet. Da unterschiedliche Gewässerstrecken auch unterschiedliche Konzentrationszeiten besitzen, muss durch die Belastungen des Modells die kritische Dauerstufe für das betrachtete Einzugsgebiet gefunden werden. Eine längere Ereignisdauer führt dabei nicht zwingend zu einem höheren Abflussscheitelwert. Vielmehr führen bei kleinen Einzugsgebieten kurze Starkniederschläge zu höheren Abflussscheitelwerten, als über mehrere Stunden ausgedehnte Ereignisse. Für die Identifikation der Dauerstufe, die den höchsten Abflussscheitelwert für das Einzugsgebiet bewirkt, wurde die Modellsimulation mit Niederschlagsdauerstufen von 15 Minuten bis 24 Stunden durchgeführt. Es erfolgt eine Ermittlung der Abflussscheitelwerte mit Wiederkehrintervallen von 2, 20, 50, 100 und 200 Jahren. Als vereinfachende Annahme gilt, dass ein Niederschlagsereignis einer bestimmten Jährlichkeit zu einem Hochwasserscheitel gleicher Jährlichkeit führt.

Da es in den letzten zwei Jahren extreme Starkniederschlagsereignisse im Einzugsgebiet gab, wurden die KOSTRA-DWD 2000 Daten im ersten Schritt kritisch überprüft und deren Gültigkeit für die aktuelle Betrachtung analysiert. Zu diesem Zweck wurden verfügbare Niederschlagsstationen im Einzugsgebiet bzw. in der Nähe recherchiert (siehe folgende Abbildung).

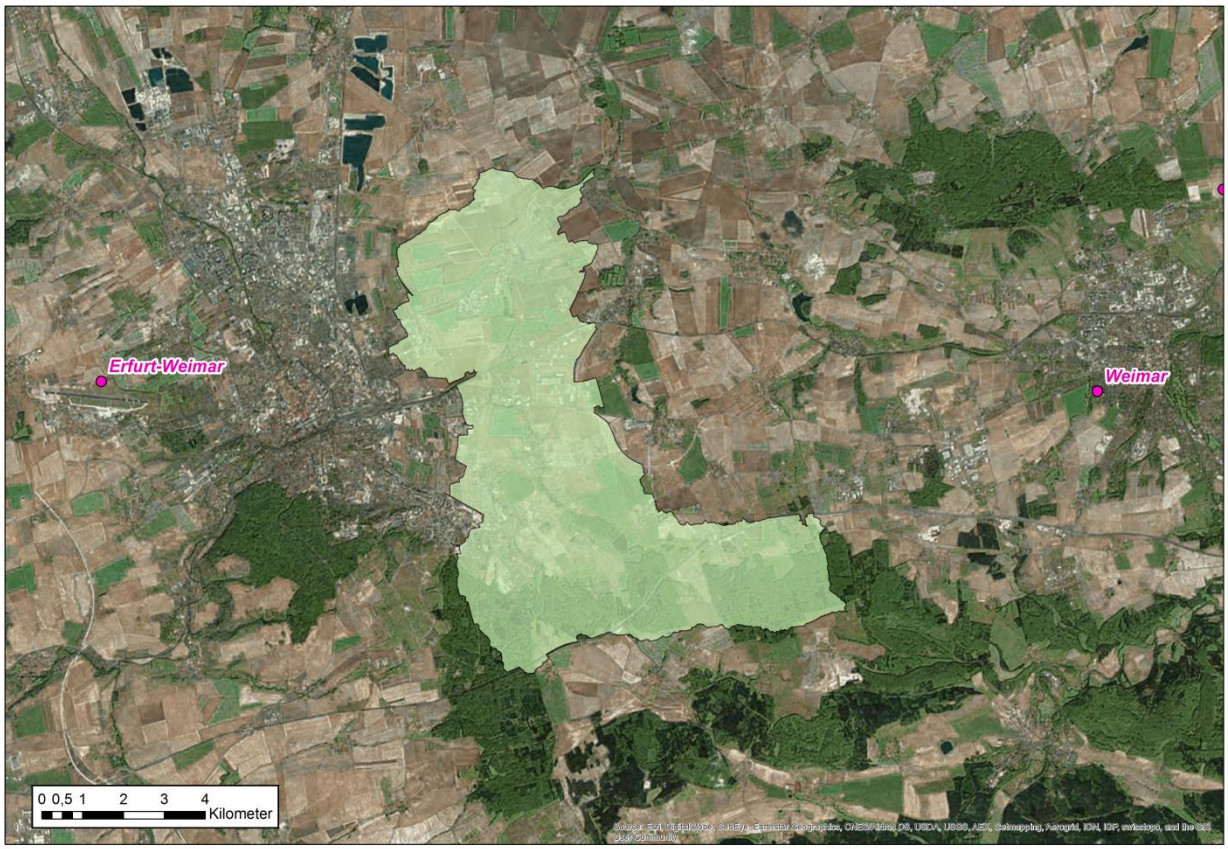


Abbildung 6-5 Niederschlagsstationen DWD (stündliche Werte)

Für die Station Weimar (ID 5419) waren auf der Internetseite des DWD keine aktuellen Messwerte verfügbar. Messwerte liegen beim DWD nur für den Zeitraum von 01.01.1935 bis 30.06.2007 vor. Eine Analyse für die Starkniederschläge der Jahre 2013 und 2014 war daher auf Basis dieser Station nicht möglich.

Für die ca. 8 km westlich des Einzugsgebietes gelegene Station Erfurt-Weimar (ID 1270) lagen beim DWD frei verfügbare Aufzeichnungen für den Zeitraum vom 01.07.1975 bis zum 25.11.2014 vor.

Wie bereits im Rahmen der Auswertung historischer Hochwasserereignisse geschildert wurde, gab es in den Jahren 2013 und 2014 folgende Starkniederschlagsereignisse:

- 20./21.06.2013
- 19.09.2014

Für die Ereignisse wurden an der Station Erfurt-Weimar folgende Niederschlagssummen aufgezeichnet:

Tabelle 6-5 Niederschlagssummen Erfurt-Weimar für die Starkniederschlagsereignisse 2013 und 2014

Zeitraum		**Niederschlagssumme über Zeitraum [mm]**
von	**bis**	
19.06.2013 0:00 Uhr	21.06.2013 24:00 Uhr	10,9
19.09.2014 0:00 Uhr	19.09.2014 24:00 Uhr	3,1

Es ist zu erkennen, dass an der Station Erfurt-Weimar für die genannten Starkniederschlagszeiträume nur sehr geringe Mengen aufgezeichnet wurden. Die „Bewertung der Hochwasser- und Starkregenereignisse im Mai und Juni 2013 in Erfurt“ [8] gibt an, dass am 20.06.2013 im oberen Teil des Einzugsgebietes (am Haarberg) durch Landwirte Niederschlagsmengen von etwa 80 mm gemessen wurden. Auch wenn diese Werte nicht offiziell gemessen und korrigiert wurden, zeigt dies, dass die Station Erfurt-Weimar für die Bewertung der aufgetretenen Starkniederschläge nicht herangezogen werden kann. Es handelte sich um stark lokal begrenzte Ereignisse, die vor allem im südlichen Teil des Einzugsgebietes auftraten und somit große Wassermengen im Peterbach, Urbach und Pfingstbach zum Abfluss brachten. Aufgrund der groben Messnetzdichte war die Erarbeitung einer Korrektur der KOSTRA-DWD 2000-Daten anhand von Niederschlagsmessungen an meteorologischen Stationen somit nicht möglich.

Da durch den DWD für das Jahr 2015 die Veröffentlichung von KOSTRA-2010-Daten geplant ist (ausgewertete Daten für den Zeitraum von 1951 bis 2010), wurde beim DWD angefragt, ob für das Einzugsgebiet bereits aktualisierte KOSTRA-Niederschlagstabellen verfügbar sind. Diese konnten jedoch noch nicht übergeben werden. Allerdings konnte für die Station Erfurt-Weimar eine statistische Analyse zur Verfügung gestellt werden, die punktuelle Starkniederschlagshöhen für verschiedene Dauerstufen und Wiederkehrintervalle für die Zeiträume 1951 bis 1980 und 1951 bis 2010 vergleicht (Abbildung 6-6).

Vergleich von Ergebnissen: 1951 bis 1980 (alt) vs. 1951 bis 2010 (neu)
Punktuelle Starkniederschlagshöhen (in mm) an der Station Erfurt für verschiedene (kleine) Dauerstufen D und Wiederkehrintervalle T

	T = 1a alt	T = 1a neu	T = 5a alt	T = 5a neu	T = 20a alt	T = 20a neu	T = 100a alt	T = 100a neu
5 min	6,1	5,8	8,2	8,5	10,1	10,8	12,2	13,5
15 min	8,6	9,7	12,6	15,7	16,0	20,9	20,0	26,9
30 min	10,7	12,2	16,6	20,2	21,7	27,2	27,5	35,3
60 min	13,4	14,6	22,0	24,8	29,5	33,6	38,1	43,7
120 min	15,8	18,0	25,2	29,5	33,4	39,4	42,8	50,8

Abbildung 6-6 Veränderung punktueller Starkniederschlagshöhen Station Erfurt-Weimar (Zeitraum 1951 bis 1980 und Zeitraum 1951 bis 2010) [28]

Die Tabelle zeigt, dass die statistischen Niederschlagsmengen für den betrachteten Zeitraum von 1951 bis 2010 zum Teil 20 % über den ausgewerteten Niederschlägen der Periode 1951 bis 1980 liegen. Eine steigende Tendenz der Niederschlagsmengen ist erkennbar. Die aktuell zu verwendenden KOSTRA-Daten beruhen jedoch auf der Periode 1951 bis 2000. Für die Station Erfurt-Weimar sind die punktuellen Werte der Periode 1951 bis 2000 jedoch nicht bekannt. Wie zu Beginn des Kapitels beschrieben, liegen die KOSTRA-DWD 2000-Daten in Form von 8,5 x 8,5 km-Kacheln vor. Die Rasterwerte dieser Kacheln basieren auf einer räumlichen Interpolation von allen ausgewerteten Niederschlagsstationen des DWD, daher entspricht der Wert der zugeordneten Kachel nicht 1:1 den Werten der hier vorliegenden Niederschlagsstation. Um dennoch eine Veränderung der Niederschlagsmengen zu den herangezogenen KOSTRA-DWD 2000-Daten zu analysieren, wurden die aktuellen Werte an der Station Erfurt-Weimar den KOSTRA-2000-Werten der entsprechenden Rasterzelle gegenübergestellt.

Tabelle 6-6 Vergleich der KOSTRA-DWD 2000 Kachel S44,Z55 (Zeitraum 1951 bis 2000) mit punktuellen Starkniederschlagshöhen Erfurt (1951 bis 2010)

Dauer	Wiederkehrintervall T = 1			Wiederkehrintervall T = 5		
	hN [mm]		Diff. [%]	hN [mm]		Diff. [%]
	KOSTRA-2000	Erfurt (1951-2010)		KOSTRA-2000	Erfurt (1951-2010)	
5 min	4,5	5,8	28,9	7,2	8,5	18,1
15 min	8,8	9,7	10,2	13,7	15,7	14,6
30 min	11,4	12,2	7,0	18,7	20,2	8,0
60 min	13,5	14,6	8,1	24,2	24,8	2,5
2 h	16,7	18,0	7,8	30,7	29,5	-3,9
Dauer	**Wiederkehrintervall T = 20**			**Wiederkehrintervall T = 100**		
	hN [mm]		Diff. [%]	hN [mm]		Diff. [%]
	KOSTRA-2000	Erfurt (1951-2010)		KOSTRA-2000	Erfurt (1951-2010)	
5 min	9,6	10,8	12,5	12,3	13,5	9,8
15 min	18,0	20,9	16,1	23,0	26,9	17,0
30 min	25,0	27,2	8,8	32,3	35,3	9,3
60 min	33,3	33,6	0,9	44,0	43,7	-0,7
2 h	42,8	39,4	-7,9	56,8	50,8	-10,6

Im Vergleich mit der aktualisierten Auswertung bis 2010 ist zu erkennen, dass die Niederschlagsmengen für kurze Ereignisse prozentual um bis zu 28,9 % zunehmen (T=1; 5 min). Die Unterschiede in den Niederschlagsmengen sind für den Wiederkehrintervall von einem Jahr am deutlichsten erkennbar. Ab einem 60 minütigen Niederschlagsereignis beträgt die Erhöhung der Niederschlagsmengen prozentual maximal 8,1 % (T=1; 60 min). Dabei nimmt mit seltener werdendem Wiederkehrintervall und länger dauerndem Niederschlagsereignis die prozentuale Veränderung der Niederschlagsmengen ab.

Für die Bildung der höchsten Abflussscheitelwerte im Einzugsgebiet des Linderbachs und seiner Nebengewässer sind aufgrund der Gebietsmorphologie Dauerstufen, beginnend ab 60 minütigem Niederschlag, maßgeblich. Außerdem wurden in der vorliegenden Untersuchung hydraulische Berechnungen ab einem Wiederkehrintervall von 20 Jahren durchgeführt. Aufgrund dieser Randbedingungen wurde eine Korrektur der KOSTRA-Daten auf Basis der verglichenen Werte nicht als sinnvoll erachtet. Für die weiteren Berechnungen wurden daher die KOSTRA-DWD 2000-Daten ohne Anpassung verwendet.

Um auch eine hydraulische Berechnung für HQ_{200} durchführen zu können, wurden zusätzlich zu den KOSTRA-Daten (die nur einen Wiederkehrintervall bis 100 Jahre abdecken) Niederschlagsmengen nach PEN-LAWA 2010 eingeholt [29].

Die verwendeten Niederschlagshöhen werden in Tabelle 6-7 zusammengefasst.

Tabelle 6-7 Niederschlagshöhen für die Modellierung mit NASIM nach KOSTRA-DWD 2000, PEN-LAWA

T [a] / D	2	20	50	100	200[*1]
	absolut [mm]	absolut [mm]	absolut [mm]	absolut [mm]	absolut [mm]
15 min	11,2	18,4	21,3	23,5	38,9
30 min	15,1	25,4	29,6	32,7	45,5
45 min	17,3	30,1	35,2	39,0	-
60 min	18,7	33,6	39,6	44,0	53,4
90 min	21,3	38,4	45,2	50,3	-
2 h	23,4	42,2	49,6	55,3	62,8
3 h	26,7	48,2	56,7	63,2	69,2
4 h	29,2	53,0	62,4	69,5	-
6 h	33,3	60,5	71,3	79,5	81,6
12 h	41,6	76,0	89,7	100,0	101,5
18 h	44,1	78,5	92,2	102,5	106,5
24 h	46,6	81,0	94,7	105,0	114,2

*[*1] Werte nach PEN-LAWA 2010*

Basierend auf den verschiedenen Niederschlagsdauern erfolgte mit Hilfe des N-A-Modells die Ermittlung des höchsten Abflussscheitelwerts der Wiederkehrintervalle von 20, 50, 100 und 200 Jahren für das Untersuchungsgebiet. Als vereinfachende Annahme galt, dass ein Niederschlagsereignis einer bestimmten Jährlichkeit zu einem Hochwasserscheitel gleicher Jährlichkeit führt.

Zur Anwendung der angegebenen Niederschlagshöhen im Modell NASIM mussten die Niederschlagsereignisse mit einem Intensitätsverlauf versehen werden. Hierfür wurde für das Projekt der DVWK-Regenverlauf gewählt. Er schlüsselt die Intensität des Niederschlagsereignisses in die drei Phasen auf: Vorregen, Starkregenphase und Nachlauf (Abbildung 6-7).

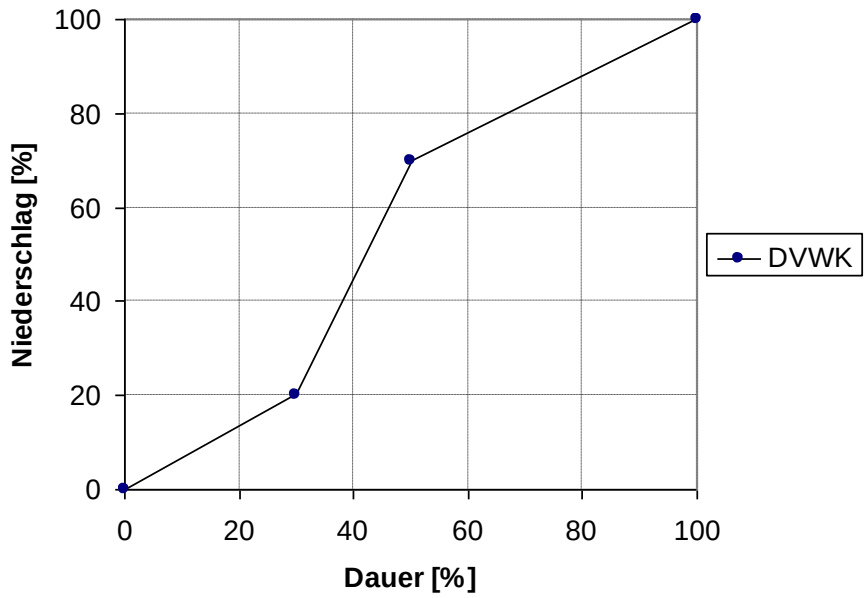


Abbildung 6-7 Niederschlagsverteilung nach DVWK [3]

Laut DVWK (1984) wird darauf hingewiesen, dass dies den ungünstigsten Fall für die Bildung der Abflussscheitel und Fülle der Ganglinie darstellt. Diese Verteilung wird insbesondere für die Abbildung von Ereignissen mit Starkregenphasen verwendet. Die erste Phase (erste 30 % der Niederschlagsdauer) ist eine moderate Phase, in der nur 20 % der gesamten Niederschlagsmenge fallen. Die zweite Phase spiegelt eine starke Niederschlagsphase wieder. Nach 50 % Dauer des gesamten Niederschlagsereignisses sind am Ende dieser Phase bereits 70 % der Niederschlagsmenge gefallen. Die letzte und dritte Phase ist anschließend wieder moderat und ausgedehnt.

Im Allgemeinen wird empfohlen, bei der Anwendung von KOSTRA-Daten als Gebietsniederschläge für Einzugsgebiete mit Flächengrößen > 25 km² eine flächenabhängige Abminderung vorzunehmen [2]. Der anzusetzende Abminderungsfaktor für das Einzugsgebiet Linderbach beläuft sich dabei aufgrund der Einzugsgebietsgröße von ca. 60 km² auf 0,93 (7 % Abminderung der Niederschläge). Da die Abminderung unter 10 % liegt und für die KOSTRA-Niederschläge eine Toleranz von ±20 % anzunehmen ist, wurde aufgrund der vorliegenden Unsicherheitsbandbreite der statistischen Werte keine Korrektur der KOSTRA-Niederschläge vorgenommen.

6.2.6 Modellkalibrierung

Im Einzugsgebiet des Linderbachs gibt es keine Pegelmessstellen. Dadurch war eine eigenständige Kalibrierung des N-A-Modells anhand von Niederschlagsdaten und zugehörigen beobachteten Abflussganglinien nicht möglich.

Für das Starkregenereignis aus dem Jahr 2014 wurden durch den AG jedoch räumlich aufgezeichnete Niederschlagssummen in Form von stündlich aufgelösten RADOLAN-Daten übergeben. Aus der Datenrecherche und Vermessung waren für dieses Ereignis verschiedene Hochwassermarken und Überflutungsausbreitungen bekannt. Aus diesem Grund wurde für eine Modellanpassung eine gekoppelte Kalibrierung des hydrologischen mit dem hydraulischen Modell durchgeführt. Die Niederschlagsdaten wurden genutzt, um die Abflussganglinie im Einzugsgebiet für das Hochwasser 2014 nachzubilden. Diese wurde anschließend als Input verwendet, um mit der hydraulischen Simulation die Hochwassermarken im Einzugsgebiet abzubilden.

Die gekoppelte Modellkalibrierung wird im Kapitel 7.3 beschrieben.

6.3 HQ_T-Berechnung

Die Berechnung der Abflussganglinien wurde mit den bereits dargestellten Bemessungsniederschlägen nach KOSTRA-DWD 2000 durchgeführt (Tabelle 6-7). Die Modellsimulation erfolgte mit den verschiedenen Niederschlagsdauern für die Wiederkehrintervalle von 2, 20, 50, 100 und 200 Jahren. Als Ergebnis wurden die Abflussganglinien für jedes Teilgebiet verglichen, um die maßgebliche Niederschlagsdauerstufe zur Ermittlung des maximal möglichen Abflusses zu identifizieren.

Für die Anfangsbodenfeuchte wurden die Standardwerte nach NASIM angesetzt (Beginn Exfiltration). Die Zeitschrittweite der Modellsimulation beträgt 5 Minuten. Im Ergebnis können für alle Teilelemente des Einzugsgebietes instationäre Abflussganglinien ausgegeben werden, die als Input für die hydraulische Berechnung Anwendung finden.

Anlage 17 zeigt die sich ergebenden Abflussscheitelwerte der hydrologischen Berechnung für verschiedene Niederschlagsdauerstufen und Hochwasserwiederkehrintervalle in einem tabellarischen Längsschnitt. In der nachfolgenden Tabelle 6-8 werden die Maximalwerte der Abflussscheitel in einem hydrologischen Längsschnitt dargestellt.

Tabelle 6-8 HQ_T-Längsschnitt N-A-Berechnung Linderbach

Querschnitt	Fläche [km²]	HQ_2	HQ_{20}	HQ_{50}	HQ_{100}	HQ_{200}
		[m³/s]				
Pfingstbach						
oberhalb OL Niedernissa	6,09	0,63	2,32	3,06	3,69	4,88
Mündung in den Urbach	6,74	1,48	2,73	3,49	4,26	5,32
Urbach						
oberhalb Mdg. Pfingstbach	2,57	1,72	3,16	3,79	4,23	5,62
unterhalb Mdg. Pfingstbach	9,31	3,20	5,89	7,04	7,86	10,42
Mündung in den Linderbach	10,77	3,48	6,56	7,81	8,73	9,31
Peterbach						
Rohda (Ortsmitte)	15,95	2,01	5,24	7,08	8,53	10,65
Büßleben (Ortsmitte)	18,79	2,29	6,20	8,46	10,17	12,83
Mündung in den Linderbach	25,97	2,72	7,56	10,32	12,37	15,78
Linderbach						
unterhalb Zusammenfluss Peterbach und Urbach	36,74	5,47	11,51	15,60	18,99	24,51
oberhalb Mündung Erlgrund	49,20	6,46	13,57	18,34	22,77	25,14
unterhalb Mündung Erlgrund	57,52	7,09	15,84	21,20	26,30	30,43
Mündung in die Gramme	58,96	7,16	16,16	21,62	26,78	31,19

Die ermittelten HQ_T-Scheitelwerte wurden mit der TLUG abgestimmt und bestätigt. Die hydraulische Berechnung erfolgt für die Abflussszenarien HQ_{20}, HQ_{50}, HQ_{100} und HQ_{200}. Die Abbildung 6-8 zeigt die Abflussganglinien für am Auslass des Modells (Mündung des Linderbachs in die Gramme).

Zusätzlich erfolgte nach Anfrage der TLUG die Berechnung der Abflusswerte für ein 2-jähriges Wiederkehrintervall, damit das hydrologische Tableau für das Einzugsgebiet Linderbach vollständig dargestellt werden kann.

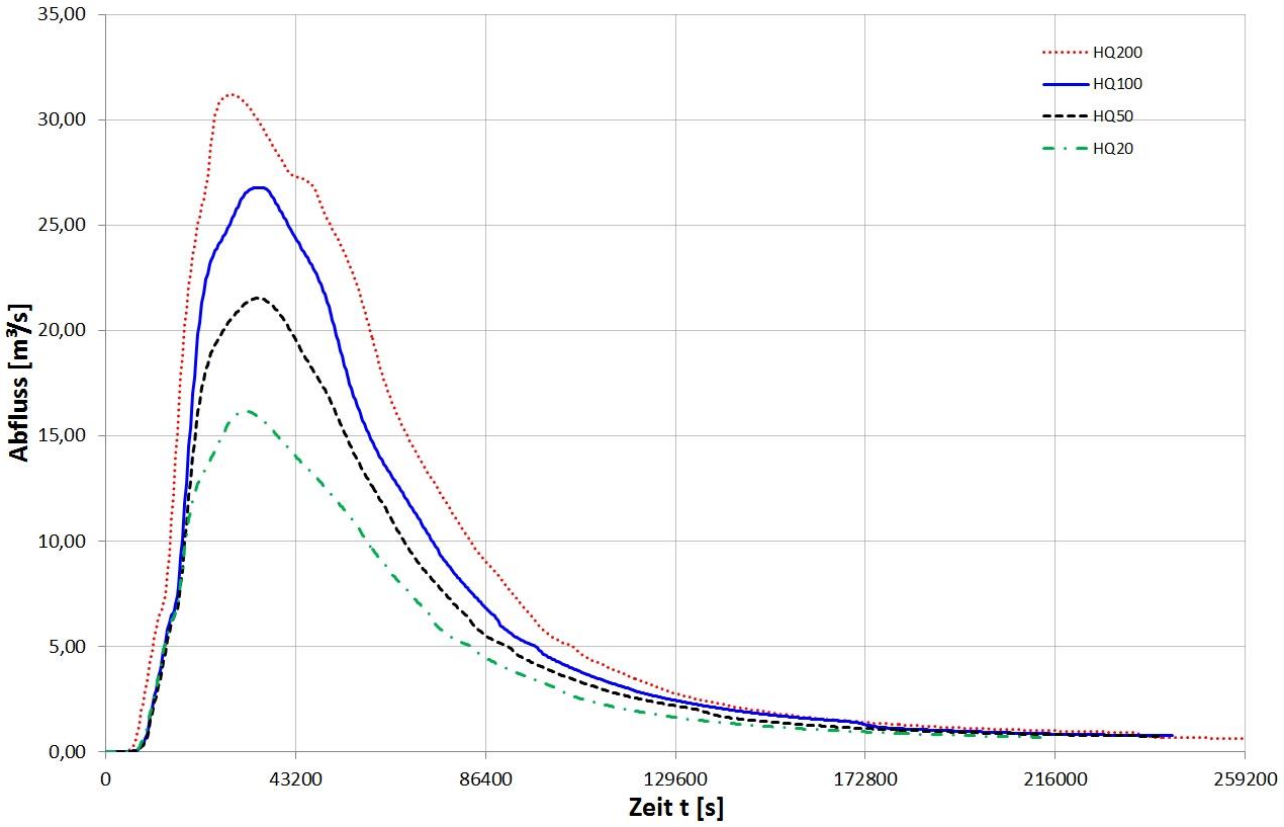


Abbildung 6-8 Abflussganglinien des Linderbachs an der Mündung in die Gramme

Es ist zu erkennen, dass die Bemessungsganglinien einen sehr steilen Anstieg aufweisen. Die Scheitelwerte fallen zügig wieder ab, so dass die Hochwasserereignisse nach 12 bis 16 Stunden abgelaufen sind.

Die maßgebliche Dauerstufe für jedes Teilgebiet variiert je nach Wiederkehrintervall und Gebietseigenschaften zwischen einem 60-minütigem und 4-Stunden-Niederschlag. Die Tabelle 6-9 zeigt mit Hilfe des N-A-Modells ermittelten maßgeblichen Regendauerstufen, die für verschiedene Querschnitte im Bearbeitungsgebiet den höchsten Abflussscheitelwert verursachen (vgl. Ergebnisse Anlage 17).

Tabelle 6-9 Maßgebliches Niederschlagsereignis für den höchsten Abflussscheitelwert

Querschnitt	Wiederkehrintervall							
	20		50		100		200	
	D	mm	D	mm	D	mm	D	mm
Pfingstbach								
oberhalb OL Niedernissa	90 min	38,4	90 min	45,2	2 h	55,3	60 min	53,4
Mündung in den Urbach	60 min	33,6	4 h	62,4	4 h	69,5	60 min	53,4
Urbach								
oberhalb Mdg. Pfingstbach	60 min	33,6	60 min	39,6	60 min	44,0	30 min	45,5
unterhalb Mdg. Pfingstbach	60 min	33,6	60 min	39,6	60 min	44,0	30 min	45,5
Mündung in den Linderbach	60 min	33,6	60 min	39,6	60 min	44,0	60 min	53,4
Peterbach								
Rohda (Ortsmitte)	90 min	38,4	90 min	45,2	2 h	55,3	60 min	53,4
Büßleben (Ortsmitte)	90 min	38,4	90 min	45,2	2 h	55,3	60 min	53,4
Mündung in den Linderbach	90 min	38,4	90 min	45,2	2 h	55,3	60 min	53,4
Linderbach								
unterhalb Zusammenfluss Peterbach und Urbach	3 h	48,2	90 min	45,2	6 h	79,5	60 min	53,4
oberhalb Mündung Erlgrund	2 h	42,2	3 h	56,7	3 h	63,2	60 min	53,4
unterhalb Mündung Erlgrund	2 h	42,2	2 h	49,6	3 h	63,2	30 min	45,5
Mündung in die Gramme	2 h	42,2	2 h	49,6	3 h	63,2	60 min	53,4

Kürzere Ereignisse zwischen 30 und 90 Minuten sind dabei vor allem für den Urbach und Pfingstbach maßgeblich. Am Peterbach liegen die maßgeblichen Dauerstufen zwischen 90 Minuten und 2 Stunden. Für den Gebietsauslass (Mündung des Linderbachs in die Gramme) erzeugen je nach betrachtetem Wiederkehrintervall 60 minütige bis 3-stündige Niederschlagsereignisse die höchsten Abflussscheitelwerte.

7 Hydraulische Berechnungen

7.1 Softwarelösung HYDRO_AS-2D

Für die Ermittlung von Überströmungen aus dem Flusshochwasser war der Aufbau eines hydraulischen Strömungsmodells erforderlich. Die Erstellung eines numerischen Modells setzt sich im Wesentlichen aus folgenden Teilschritten zusammen:

- Definition des zu berechnenden Systems und die Auswahl der für den Anwendungsfall maßgeblichen Prozesse und Eingangsgrößen
- die Bereitstellung der zugehörigen Daten
- die Festlegung der die Prozesse beschreibenden Gleichungen
- die Auswahl der numerischen Lösungsalgorithmen und der entsprechenden Softwarelösung.

Für die Untersuchung von Abflussprozessen bei Oberflächengewässern interessiert hauptsächlich die Beziehung von Abfluss und Wasserstand verbunden mit den auftretenden horizontalen Geschwindigkeiten. Für die Strömungsmodellierung wird eine ortsdiskrete zweidimensionale Aussage zur Wasserstands- und Geschwindigkeitsverteilung im Betrachtungsgebiet angestrebt. Die dafür erforderliche numerische Lösung basiert auf zweidimensionalen Strömungsgleichungen, die die wesentlichen physikalischen Prozesse erfassen.

Als Softwarelösung kam das anerkannte zweidimensionale Finite-Volumen-Modell HYDRO_AS-2D zur Anwendung. Dabei erfasst ein Netzwerk von diskreten Elementen die Topographie und Parameterverteilung und ermöglicht die Ermittlung von Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung und Wasserstand für alle Knotenpunkte. Die Diskretisierung erfolgt mittels unregelmäßiger Dreiecks- und Viereckselemente. Das Modell ermöglicht sowohl stationäre als auch instationäre Berechnungen bei Berücksichtigung von unterschiedlichen Sonderbauwerken (u. a. Brücken, Wehre, Durchlässe).

7.2 Modellaufbau

7.2.1 Aufbau 2D-Modell

Für die hydraulischen Berechnungen wurde ein Gesamtmodell für die Gewässerabschnitte erstellt.

Es erstreckt sich wie folgt:

- Peterbach, Beginn ab der Stadtgrenze stromoberhalb von Rohda (km 6+500)
- Pfingstbach, Beginn ab der Suhlequelle (km 3+500)
- Urbach, Beginn unterhalb Urbicher Kreuz (km 10+330)
  (Hinweis: Die Kilometrierung des Urbachs erfolgte weiterführend vom Linderbach)
- Stadtgrenze oberhalb von Kleinmölsen (km 0+920)

Das Modellgebiet wird in der Abbildung 7-1 dargestellt. Die Umgrenzung des Modells (grüngelbe Linie) wurde so gewählt, dass auch die Abflussverhältnisse eines extremen Hochwasserereignisses sicher berücksichtigt werden.

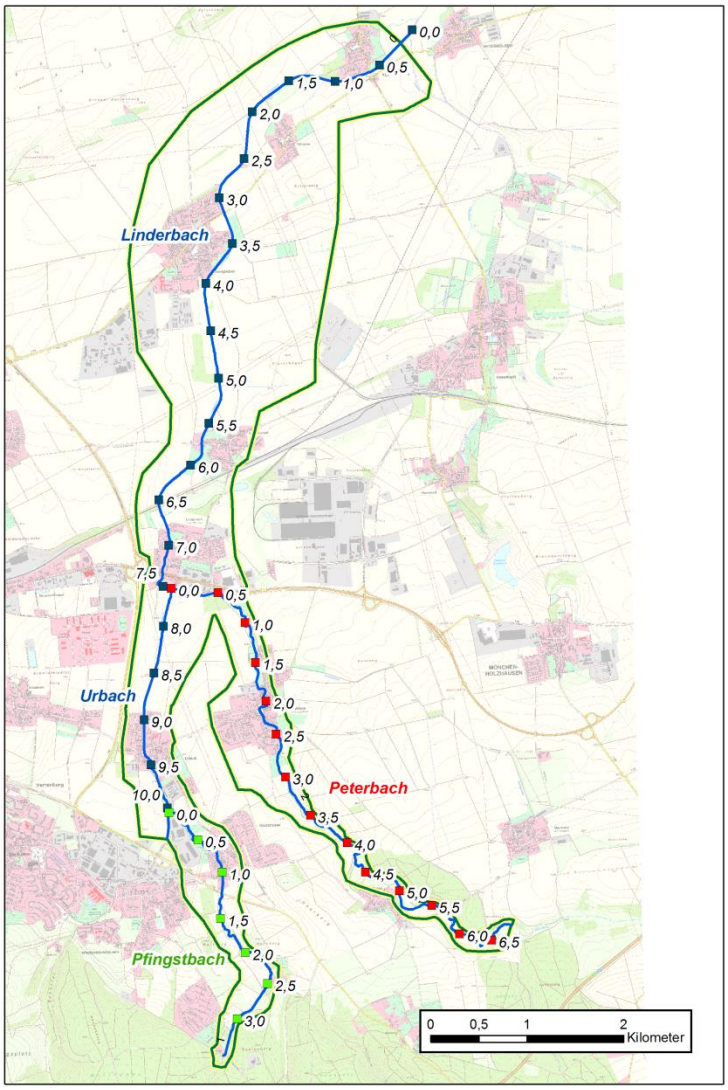


Abbildung 7-1 Grenze des Modellgebiets

Grundlage des Modellaufbaus und der dafür notwendigen Diskretisierung bilden die im qualifizierten DGM enthaltenen Bruchkanten und Höhendaten der Vorländer, welche die Topographie beschreiben. Zusätzlich wurden Nutzungsgrenzen aus aktuellen Luftbildern digitalisiert.

Alle für das DGM erstellten Bruchkanten sind Eingangsgrößen für das hydraulische Modell, so dass hier ebenfalls die aus der Vermessung stammenden Höhendaten direkt übernommen werden konnten.

Das Flussschlauchmodell für die Hydraulik wurde zunächst überwiegend manuell im GIS aufbereitet. Die Verwendung eines automatischen Flussschlauchgenerators liefert für kleine Gewässer mit ungleichmäßigen Gewässerstrukturen oft keine hinreichend genauen Ergebnisse.

Für die Erstellung des Vorlandnetzes wurde das Programm LASER_AS-2D genutzt. Grundlage der Netzerstellung bildete das vorhandene DGM mit 1 m Rasterweite, Bruchkanten der Vermessung und die digitalisierten Nutzungsgrenzen. Das Programm LASER_AS-2D generiert aus diesen Daten ein qualitativ hochwertiges Vorlandnetz, das direkt für den weiteren Modellaufbau verwendet werden kann.

Abschließend wurden das Vorlandnetz und das Flussschlauchmodell zusammengefügt und Rauheitswerte entsprechend den digitalisierten Flächennutzungen zugeordnet.

Alle Brücken und Sonderbauwerke wurden gemäß den Vermessungsdaten in das hydraulische Modell eingearbeitet. Für Brücken und Durchlässe im Vorland, für die keine Vermessungsdaten verfügbar waren, die aber ggf. für den Hochwasserabfluss und die Ausbildung des Überschwemmungsgebiets von Bedeutung sind, wurden Annahmen getroffen. Zur Berücksichtigung der ggf. möglichen Durchgängigkeit wurden dazu die Erkenntnisse aus der Gewässerbegehung und Fotoaufnahmen genutzt.

Im rechten Vorland gibt es zwischen dem Linderbach und der Kirchstraße im Bahndamm einen kleinen Rohrdurchlass, der eine Entwässerung der Fläche zwischen dem GVZ und dem Linderbach in Richtung Norden ermöglicht. Nach aktueller Recherche gibt es Planungen, südlich des Bahndamms einen Damm zu errichten, der den Abfluss aus dem Retentionsraum in Richtung Azmannsdorf unterbinden wird. Daher wurde der Durchlass gemäß Abstimmungen mit dem AG im Modell nicht berücksichtigt.

Als Berechnungsgitter wurde wegen seiner Flexibilität zur Einbindung von Sonderbauwerken (Brücken und Wehre) und der optimalen Differenzierung der Parameterverteilung ein unregelmäßiges Gitter, bestehend aus Dreieck- und Viereckzellen, gewählt. Die Netzwerkabmessungen orientieren sich an der Topographie und der Lage von Sonderbauwerken. Ein enger Knotenabstand liegt somit in den Bereichen mit hohem Gefällegradienten und bei komplizierten Strukturen wie Sonderbauwerken vor.

In den Modellen wurden in den Gewässerbereichen mittlere Elementgrößen von ca. 0,5 m - 2 m erreicht. An komplizierten Strukturen wie Brücken, Wehren, Ufermauern usw. können deutlich kleinere Elemente auftreten. In den Vorlandbereichen wurden mittlere Elementgrößen von ca. 3 m - 5 m realisiert.

Für das Modellgebiet Linderbach und seine Nebengewässer ergab sich ein Berechnungsnetz mit ca. 1,1 Mio. Elementen und 700.000 Knotenpunkten. Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus dem Modellnetz.

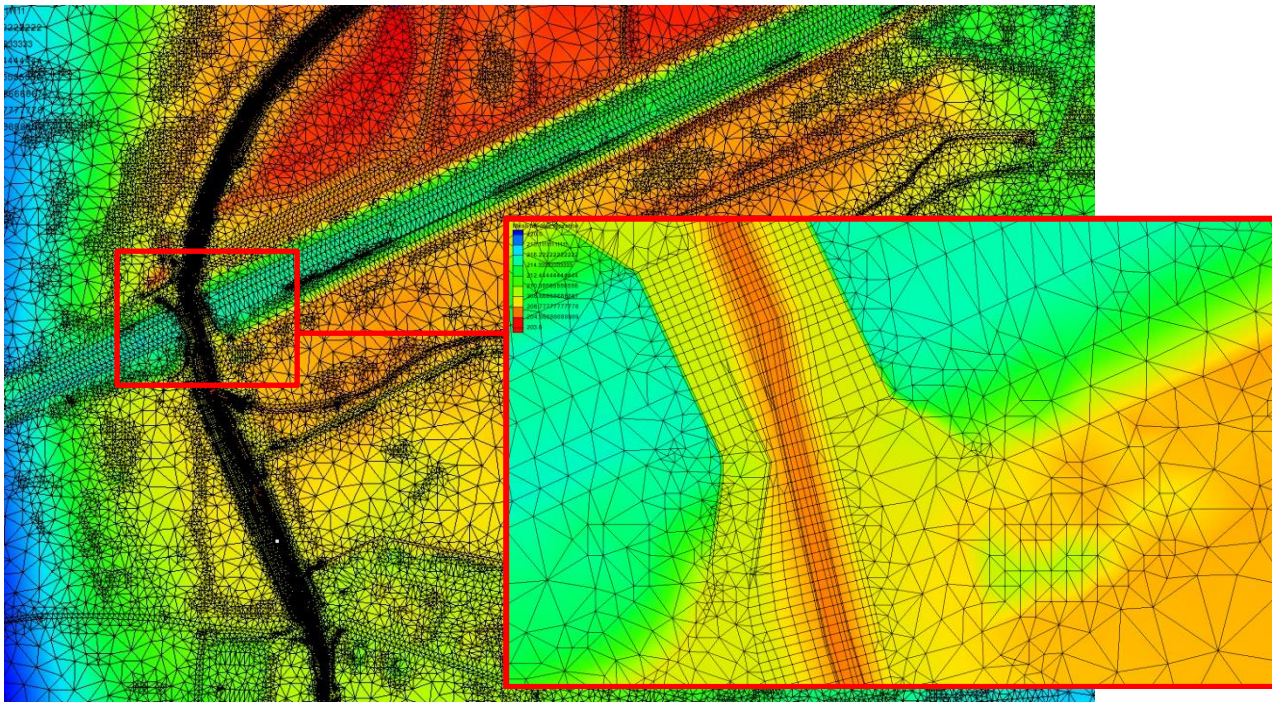


Abbildung 7-2 Ausschnitt aus dem 2D-Modellnetz (Querung Linderbach – Bahnstrecke)

Basierend auf der Stadtgrundkarte wurden auch Gebäudeumrisse in das Modellnetz übernommen. Um die Größe des Modells und die daraus resultierenden Rechenlaufzeiten im Rahmen zu halten, wurden Gebäude mit einer Flächengröße kleiner 30 m² nicht berücksichtigt.

7.2.2 Gerinne- und Vorlandrauheiten

Neben der Geländegeometrie war als weiterer flächenhafter Wert der Rauheitsbeiwert nach Manning-Strickler zu berücksichtigen. Die Rauigkeit wird im Wesentlichen bei den Fließgewässern durch die Sohl- und Uferstruktur und in den Vorländern von der Flächennutzung bestimmt. Die Ermittlung der Nutzungen erfolgte im Rahmen der Gebietsbegehung sowie auf der Grundlage von aktuellen Luftbildaufnahmen.

Die Tabelle 7-1 enthält eine Übersicht der für das Bearbeitungsgebiet festgelegten Nutzungen und Bewuchsklassifizierungen mit den zugeordneten Rauheitswerten k_{St} in [$m^{1/3}/s$]. Die darauf folgende Abbildung 7-3 zeigt einen Ausschnitt aus dem 2D-Modell mit den zugewiesenen Rauheitsbereichen.

Tabelle 7-1 Rauheitswerte im 2D-Modell nach MANNING-STRICKLER

Flächennutzung	k_{St} [$m^{1/3}/s$]		Flächennutzung	k_{St} [$m^{1/3}/s$]
Bebaute Bereiche			***Gewässer***	
Bebauung dicht	10		Graben Gerinne	22
Bebauung leicht	15		Linderbach Böschung	15-18
Gebäude einzeln	1		Linderbach Gerinne	20-25

Flächennutzung	k_{St} [$m^{1/3}/s$]		Flächennutzung	k_{St} [$m^{1/3}/s$]
Industriegebiet	20		Nebengewässer Gerinne	22
			Nebengewässer Böschung	17
Verkehrswege			Peterbach Böschung	16-18
Bahnlinie	20		Peterbach Gerinne	22-27
Fußwege	25		Pfingstbach Böschung	15-19
Wege befestigt (Straßen)	30		Pfingstbach Gerinne	21-27
Waldwege	15			
			Details	
Landnutzungen/Außenbereiche			Mauern/Pfeiler	40
Ackerland (mit Fruchtstand)	12		Beton	45
Grünland	22			
Seeflächen, stehende Gewässer	33			
Sportfläche	15			
Wald (im Allgemeinen dichter Wald)	12			
Teich	33			

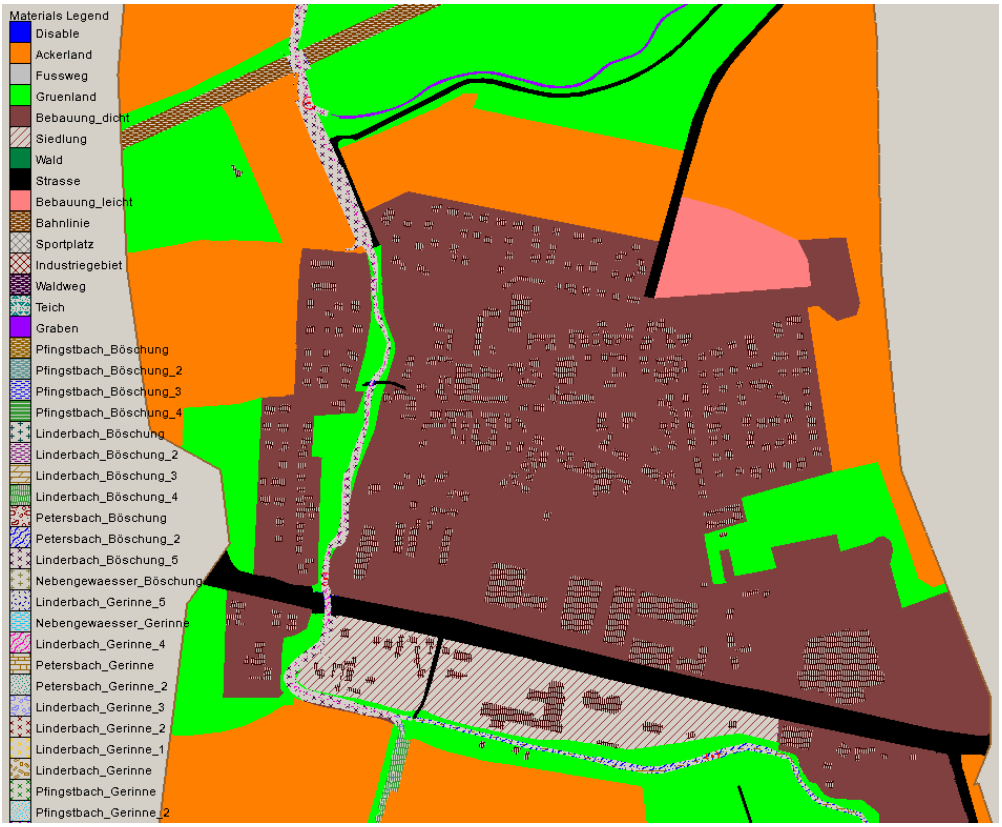


Abbildung 7-3 Rauheitsbelegung des 2D-Modells

7.2.3 Randbedingungen

Im Rahmen der Bearbeitung wurden die Berechnungen mit dem hydraulischen Modell instationär durchgeführt. Bei der instationären Berechnung wird das Volumen der ablaufenden Hochwasserwelle berücksichtigt. Dies hat den Vorteil, dass sich vor allem für die Planzustände (mit Hochwasserschutzmaßnahmen) Auswirkungen von Retentionsraumveränderungen oder Rückhalten rechnerisch nachweisen lassen.

Als Randbedingungen wurden dem Modell Zuflussganglinien an verschiedenen Stellen im Gewässernetz vorgegeben. Die Ganglinien resultierten aus der hydrologischen Modellierung mit NASIM. Für die Zuflussrandbedingungen wurden im Modell entsprechend der hydraulischen Relevanz 16 Knotenpunkte definiert.

Als Auslaufrandbedingung wurde an der Stadtgrenze oberhalb von Kleinmölsen ein Energieliniengefälle im Gerinne des Linderbachs und dem angrenzenden Vorland vorgegeben.

7.3 Modellkalibrierung

Durch eine Prüfung und Bewertung der Berechnungsergebnisse können Aussagen zur Korrektheit der Berechnungsergebnisse vorgenommen werden.

Um eine Modellkalibrierung des hydraulischen Modells durchzuführen, sollte an einem Gewässerabschnitt an mehreren Stationen die Durchfluss-Wasserstands-Beziehung für ein ca. bordvolles Ereignis und wenn möglich für ein extremeres Hochwasserereignis bekannt sein. Diese Informationen lagen für den Linderbach nicht vor. Jedoch standen durch die Aufzeichnungen der Hochwasserereignisse aus den Jahren 2013 und 2014 verschiedene Hochwassermarken und Skizzen zu beobachteten Ausdehnungen zur Verfügung. Weiterhin konnten durch den AG für das Starkregenereignis 2014 RADOLAN-Niederschlagsdaten übergeben werden. Diese zeigen stündliche Niederschlagssummen mit einer Rasterauflösung von 1 x 1 km über dem Einzugsgebiet.

Die folgende Abbildung 7-4 zeigt die registrierten Niederschlagssummen für das Starkregenereignis vom 19.09.2014. Die Niederschlagsdaten lagen in einer stündlichen Auflösung vor. Die maximale Niederschlagssumme wurde mit 70,1 mm südlich von Klettbach registriert.

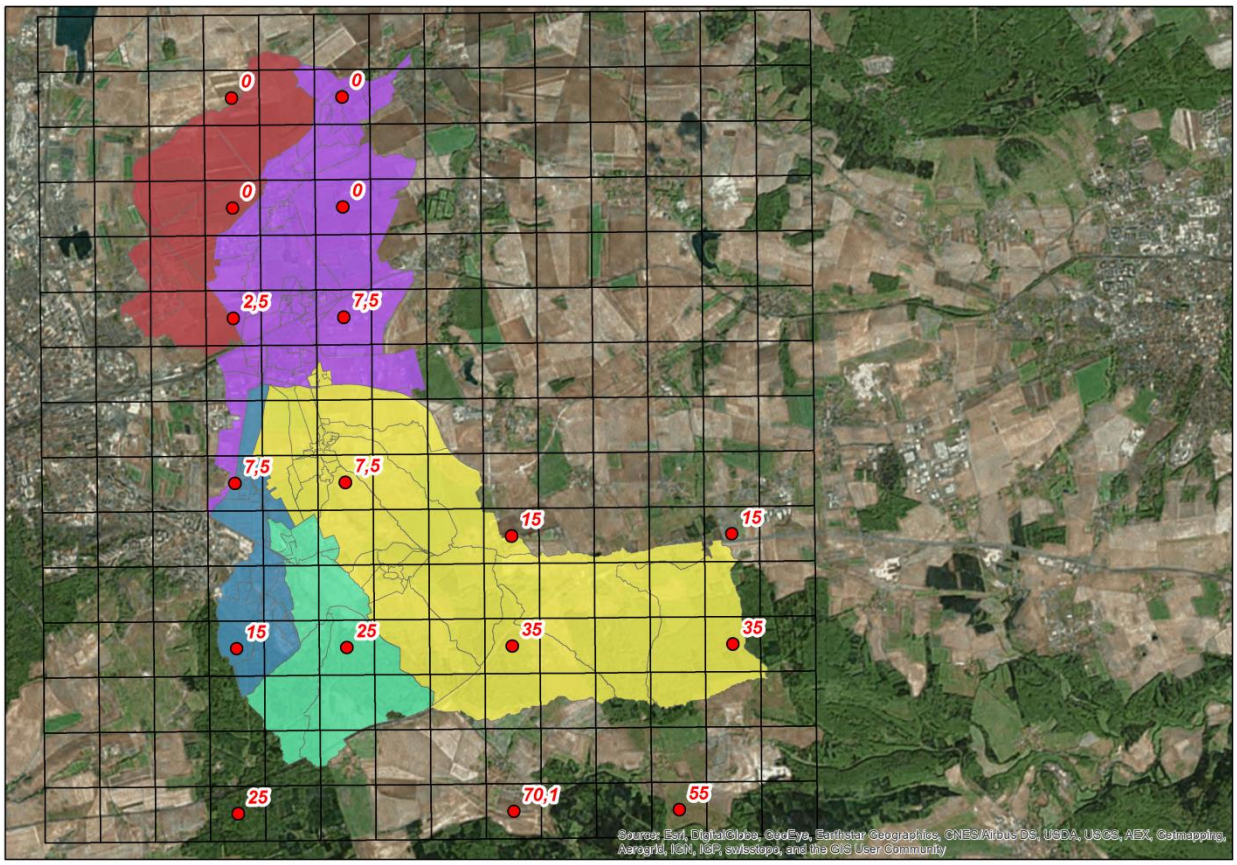


Abbildung 7-4 RADOLAN-Niederschlagssummen vom 20.09.2014

Für den Nachweis der Plausibilität der Modellergebnisse standen für das genannte Ereignis beobachtete und dokumentierte Flächenausbreitungen zur Verfügung. Außerdem gab es drei eingemessene private Hochwassermarken:

Tabelle 7-2 Private Hochwassermarken 2014

Bezeichnung	Wasserspiegellage HW 2014 [m NHN]	Datum
OL Büßleben, Petrikirche	238,00	19.09.2014
OL Büßleben, Am Peterbach/Bachgasse	234,35	19.09.2014
OL Linderbach, Weimarische Straße 122	212,82	19.09.2014

Aufgrund der vorliegenden Datenlage konnte keine eigenständige Kalibrierung des hydrologischen und hydraulischen Modells vorgenommen werden. Die Kalibrierung konnte nur iterativ nach Berechnung der Abflussscheitelwerte mit dem hydrologischen Modell und sich daran anschließender Ermittlung der Überflutungsausbreitung mit dem hydraulischen Modell erfolgen. Für die Berechnung der Abflusswerte mit dem N-A-Modell wurden die punktuell gemessenen Niederschlagswerte entsprechend Abbildung 7-4 den Teileinzugsgebieten räumlich zugeordnet. Nach ersten Berechnungen zeigte sich, dass es zum Erreichen

des tatsächlich beobachteten Abflussereignisses am Peterbach erforderlich war, die registrierten Niederschlagsmengen südlich des Einzugsgebietes den oberen Teilgebieten des Peterbachs zuzuweisen (nach Abbildung 7-4 traten die großen Niederschlagsmengen von 70,1 mm außerhalb des Einzugsgebietes auf). Weiterhin mussten nach den ersten Berechnungen verschiedene Parameter im hydrologischen Modell angepasst werden (Versiegelungsgrad der Nutzungsarten, Infiltration und hydraulisches Leitfähigkeit Boden). Im hydraulischen Modell wurden lokal Rauheitsverteilungen angepasst und optimiert. Im Zusammenspiel beider Modelle wurden außerdem im Rahmen der Modellkalibrierung Informationen über die Wellentransformation und die Verzögerung der Wellenlaufzeit aus den hydraulischen Modellberechnungen in das hydrologische Modell übernommen.

Nach Abstimmung mit dem AG wurden weiterhin folgende Parameter variiert:

- zeitliche Niederschlagsverteilung (kürzere und intensivere Niederschläge) – Radardaten zeigen nur stündliche Auflösung
- Anfangsbedingung: Erhöhung der Bodenfeuchte (entspricht Schilderungen zu dem Ereignis)
- Einarbeitung von aufgetretenen Verklausungen an den Brücken „Zur Trolle“, „Am Ziegelgarten“ und der „Furtbrücke Linderbach“

Trotz Veränderung der genannten Parameter konnten auch in weiteren Berechnungen die beobachteten Wasserspiegellagen und Flächenausbreitungen nicht rechnerisch erreicht werden. Durch die hydrologische Berechnung wurden zu geringe Abflussmengen ermittelt. Für die Modellierung wurden bereits ungünstige Bedingungen für eine große Oberflächenabflussbildung angenommen (hohe Bodenfeuchte und zeitliche Niederschlagsverteilung). Da eine weitere Korrektur von Modellparametern nicht mehr möglich war, konnten die Abweichungen nur auf die Eingangsdaten der Niederschlagswerte zurückgeführt werden. Da die RADOLAN-Daten nur eine räumliche Auflösung von 1 km aufweisen, kann das lokale Starkregenereignis zum Teil auch höherer Niederschlagsmengen zum oberflächlichen Abfluss im Peterbach gebracht haben. Daher erfolgte eine schrittweise prozentuale Erhöhung der Niederschlagsmengen. Im Ergebnis der iterativen Annäherung wurde festgestellt, dass eine Anhebung der Niederschlagsmengen um +30 % zu einer guten Übereinstimmung der beobachteten und berechneten Wasserspiegellagen führte.

Nach Konkretisierung der hydrologischen Kennwerte und der anschließenden Simulation mit dem hydraulischen Modell zeigte der Vergleich der eingemessenen Hochwassermarken in Büßleben und Linderbach folgendes Ergebnis:

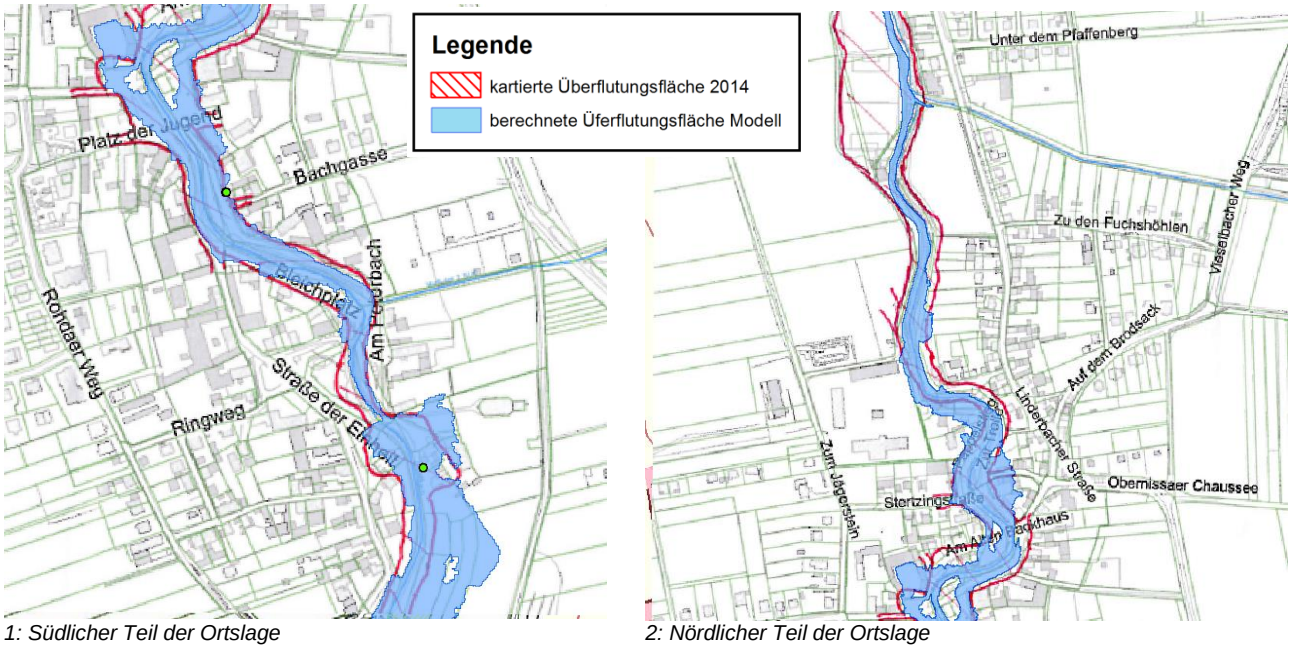
Tabelle 7-3 Vergleich gemessene und berechnete Wasserspiegellagen (HW-Marken 2014)

Bezeichnung	WSPL HW 2014 gemessen [m NHN]	rechnerische WSPL Modell [m NHN]	Differenz [cm]
OL Büßleben, Petrikirche	238,00	237,69	-31
OL Büßleben, Am Peterbach/Bachgasse	234,35	234,24	-11
OL Linderbach, Weimarische Straße 122	212,82	212,86	+4

Nach Aussagen des Garten- und Friedhofsamtes kam es bei dem Hochwasserereignis nahe der Petrikirche im Bach zur Ablagerung von Schotter (bis zu 1 m Höhe). Die Abweichung der HW-Marke in Büßleben, Petrikirche lässt sich daher auf eine lokal begrenzte Abflussbehinderung zurückführen, die im Modell nicht erfasst werden konnte. An den beiden anderen HW-Marken konnte mit Abweichungen von 4 cm und 11 cm eine gute Übereinstimmung erzielt werden.

Die Anlage 4 zeigt die mit Hilfe des hydraulischen Modells berechnete Flächenausbreitung für das Hochwasser vom September 2014. Dabei ist zu beachten, dass diese Darstellung die maximale Ausdehnung des Hochwassers beim Durchlaufen des Hochwasserscheitels zeigt. In der Realität tritt diese maximale Ausdehnung entlang des Gewässerverlaufs zu unterschiedlichen Zeiten auf.

Um die erfolgreiche Kalibrierung des Simulationsmodells zu dokumentieren, zeigen die nachfolgenden Abbildungen Kartenausschnitte der Ortslagen für den Vergleich der beobachteten Überschwemmungs-ausbreitungen mit den berechneten Überschwemmungsflächen.



1: Südlicher Teil der Ortslage

2: Nördlicher Teil der Ortslage

Abbildung 7-5 Büßleben, Hochwasser 2014 – Vergleich Kalibrierungsergebnis

In der Ortslage von Büßleben war im September 2014 der Peterbach in beiden Vorländern weit über die Ufer getreten. Die in Abbildung 7-5 dargestellte rote Linie zeigt die beobachtete Ausdehnung der Überschwemmungen. Die blaue Fläche zeigt die berechneten Überschwemmungsflächen. Besonders gut ist die Übereinstimmung beider Flächen zwischen dem Bleichplatz und dem Platz der Jugend zu sehen. Auch am „Alten Backhaus“ sowie im Bereich der „Stertzingstraße“ und weiter bis „Zur Trolle“ und dem „Pappelstieg“ entspricht das berechnete Überschwemmungsgebiet der beobachteten Fläche.

Am nördlichen Ortsausgang (Abbildung 7-5, rechts) wurde die Flächenausbreitung des Hochwassers bis zum Sportplatz dokumentiert. Dies konnte mit dem Modell nicht nachgebildet werden. Aus Schilderungen der Anwohner von Büßleben kam es hier zu Verklausungen und dem Festsetzen von Treibgut an den vorhandenen Bäumen im Böschungsbereich. Diese ereignisbezogene Situation konnte im Modell nicht berücksichtigt werden, wodurch sich die dargestellten Abweichungen ergeben.

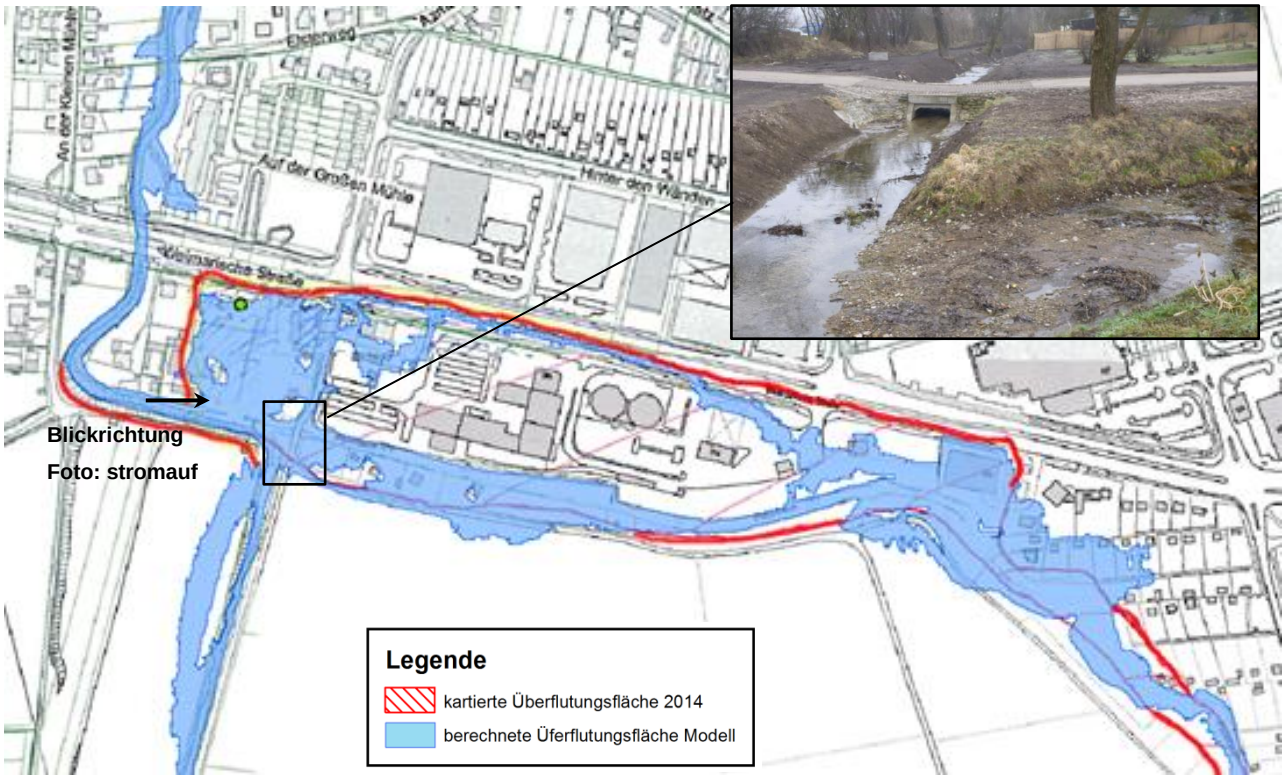


Abbildung 7-6 Linderbach Weimarische Straße, Hochwasser 2014 – Vergleich Kalibrierungsergebnis

Die Abbildung 7-6 zeigt den Vergleich von beobachteten und berechneten Überschwemmungen für den südlich der Weimarischen Straße gelegenen Ortsteil von Linderbach. Die Modellberechnung bildet hier die beobachteten Verhältnisse gut ab. Die Abweichung an der Hochwassermarke im Bereich des Hauses Nummer 122 beträgt nur 4 cm zur gemessenen Wasserspiegelhöhe. Auch wenn die Ausbreitung über das rechte Vorland zur Weimarischen Straße etwas vom beobachteten Überschwemmungsgebiet abweicht, wurde mit dem nachgebildeten Fließweg über die Weimarische Straße das dokumentierte Abflussverhalten erfasst. Es wird deutlich, dass durch den Zustrom von links aus dem Urbach der Abfluss im Unterwasser der Furtbrücke behindert wird, so dass nach stromauf im Peterbach ein Rückstau erzeugt wird. Da der

Durchflussquerschnitt der Brücke nicht für die bei Hochwasser ankommende Abflussmenge ausgelegt ist, erfolgt eine Ausuferung in die Vorländer und besonders in den Bereich Weimarische Straße 120 – 122.

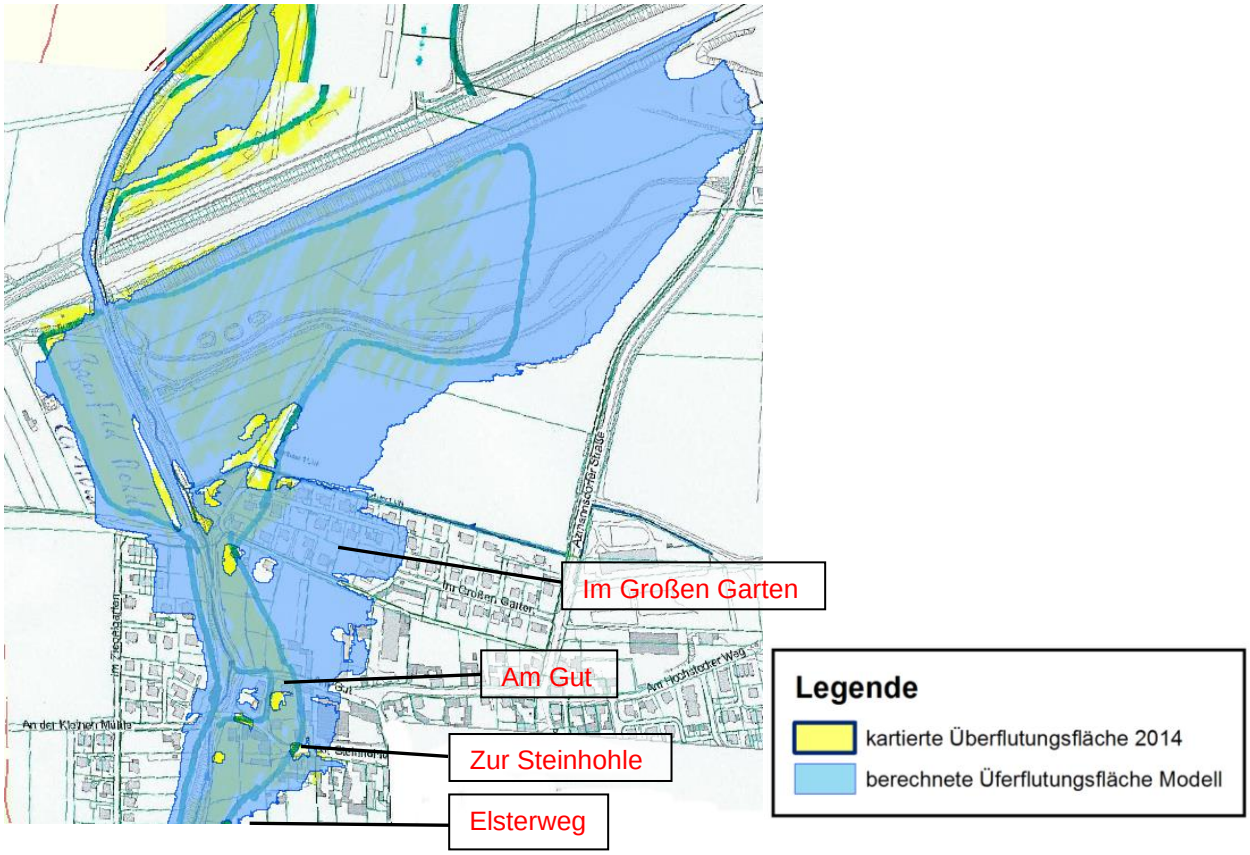


Abbildung 7-7 Linderbach, Ortsteil bis Bahnlinie, Hochwasser 2014 – Vergleich Kalibrierungsergebnis

In Abbildung 7-7 sind die Überschwemmungsflächen im nördlichen Teil der Ortslage Linderbach bis zum Bahndamm dargestellt. Wie alle bisher beobachteten Hochwasserereignisse zeigt auch das vom September 2014, dass der Linderbach stromunterhalb des Elsterweges hauptsächlich in das rechte Vorland ausufert. Hier decken sich die berechneten und die beobachteten Ausbreitungsflächen. Auch die beobachteten Ausuferungen im linken Vorland werden durch das Modell gut abgebildet. Im Bereich zwischen der „Steinhohle“ und „Am Gut“ konnte ebenfalls eine gute Übereinstimmung erreicht werden.

Weiter stromab kommt es an der Bahntrasse nach Überschreiten der Leistungsfähigkeit des Gerinnes zu einer großräumigen Ausuferung in das rechte Vorland Richtung GVZ. Gemäß den Ergebnissen der hydraulischen Modellierung bietet dieser Bereich einen sehr großen Retentionsraum, der eine starke Verzögerung der Abflussganglinie zur Folge hat (Verzögerung der Wellenlaufzeit beim Szenario 2014 um ca. 4 h). Hier weist das berechnete Überschwemmungsgebiet eine größere Ausdehnung als das beobachtete Überschwemmungsgebiet auf. Unter Umständen wurde im freien Gelände nicht die maximale Ausdehnung der Überflutungen dokumentiert. Weiterhin ist im hydraulischen Modell der Durchlass in der Bahntrasse nicht enthalten, da der Bau eines Damms südlich der Bahnanlagen in Planung ist und das Modell für diesen

Zustand (insbesondere in Hinblick auf die Simulation der HQ_T-Szenarien) aufgebaut wurde. Die hydraulische Entlastung Richtung Norden erfolgt daher modellseitig nur über den Linderbach. Die Ausspiegellung in Richtung GVZ fällt aus den genannten Gründen vermutlich größer als beobachtet aus.

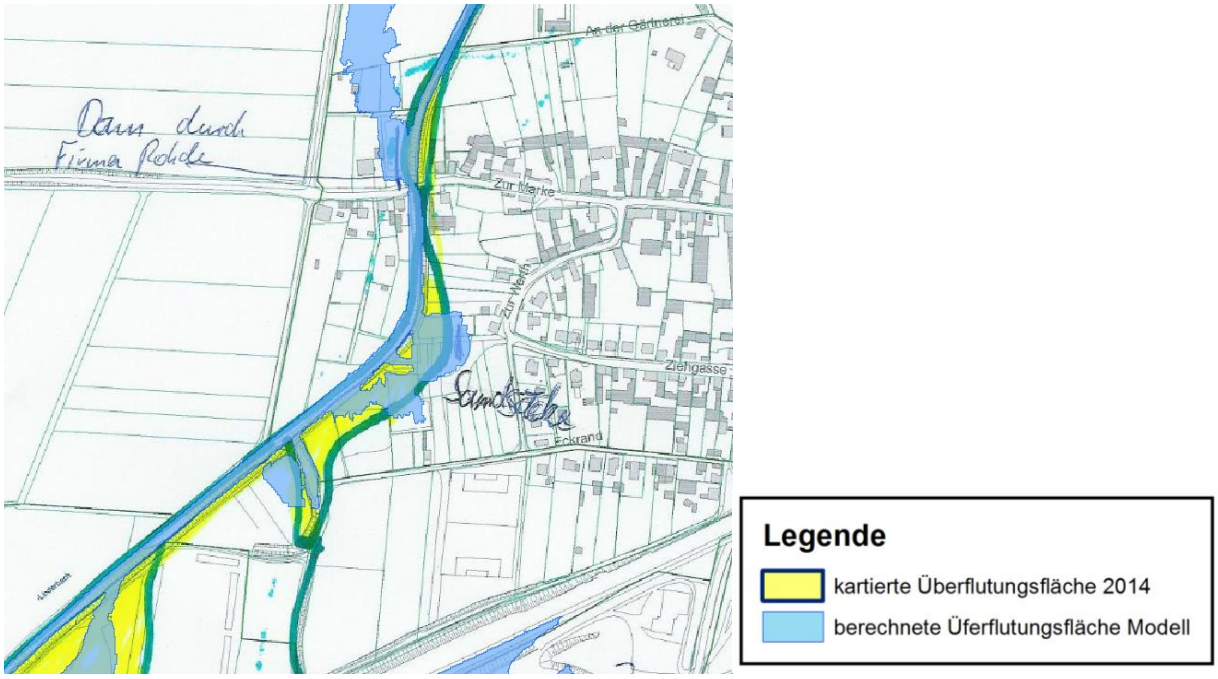


Abbildung 7-8 Azmannsdorf, Hochwasser 2014 – Vergleich Kalibrierungsergebnis

Die Abbildung 7-8 zeigt die beobachteten und berechneten Überschwemmungsflächen am Ortsrand von Azmannsdorf. Die übergebenen Randnotizen der dokumentierten Überflutungsausbreitung bestätigen die Berechnungsergebnisse. Im rechten Vorland wurde durch Sandsäcke ein weiteres Ausufern verhindert. Im linken Vorland wurde ein Ausströmen des Wassers durch eine Erdaufschüttung verhindert. Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen die eigentliche Ausbreitung ohne den Einsatz von Hochwasserrückhaltemaßnahmen.

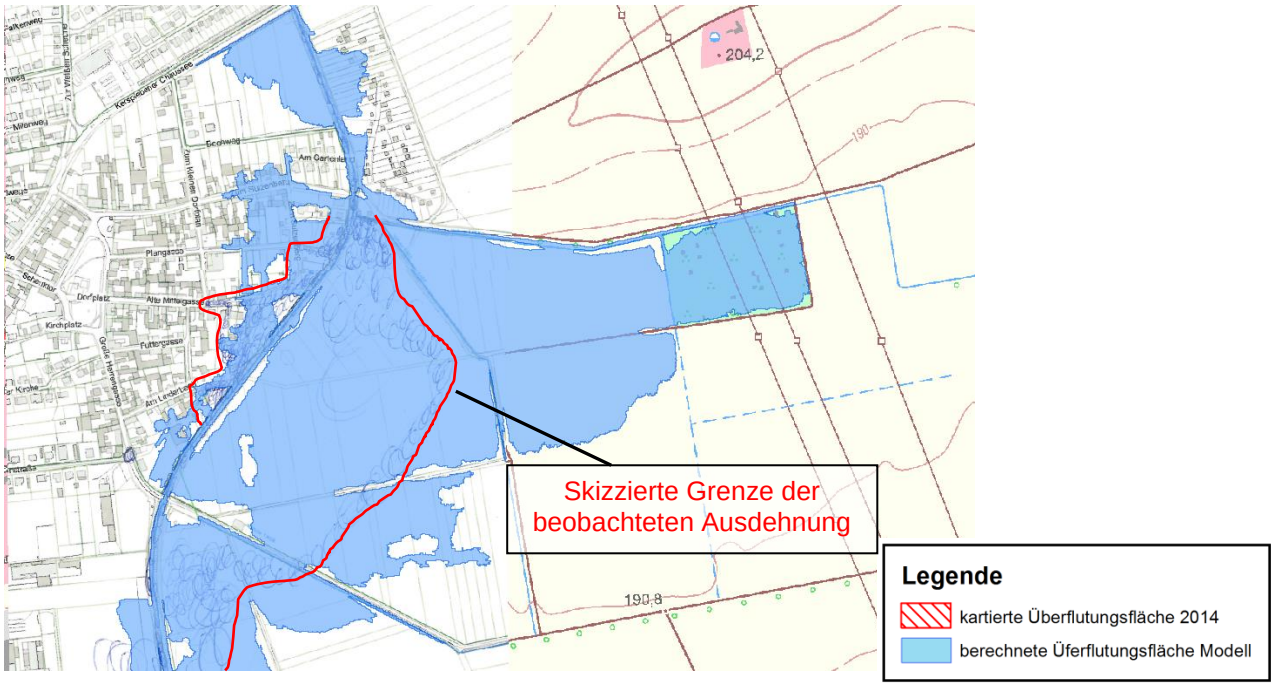
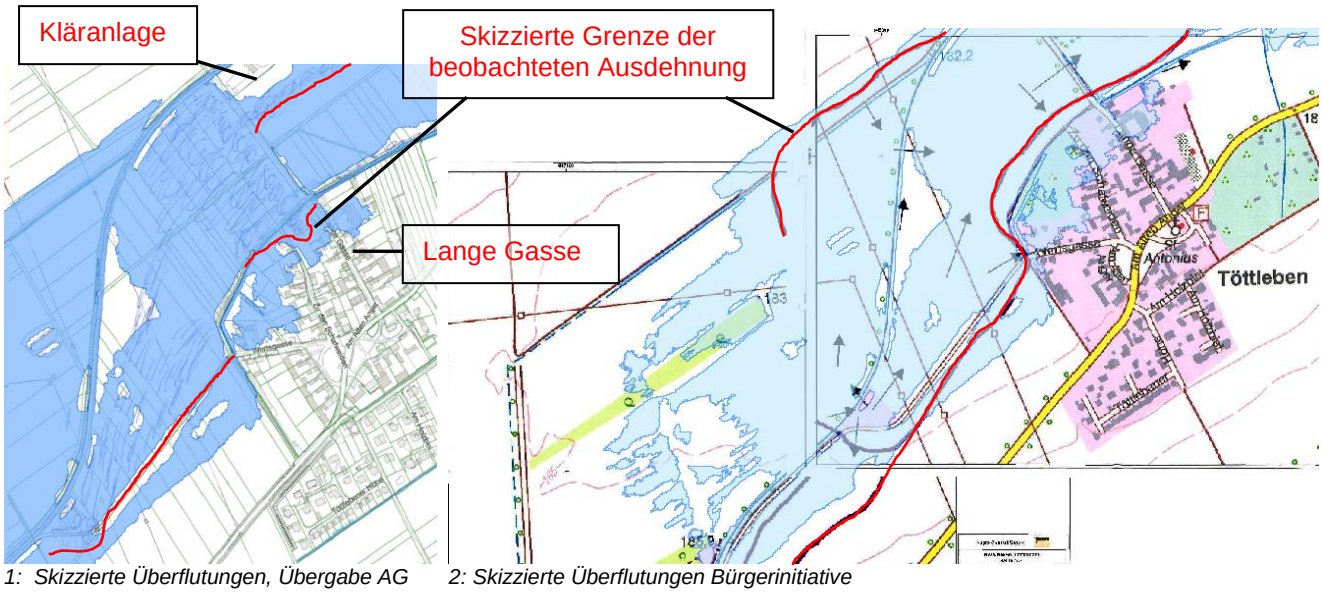


Abbildung 7-9 Kerspleben, Hochwasser 2014 – Vergleich Kalibrierungsergebnis

Im Bereich der Ortslage Kerspleben zeigen die aus Beobachtungen kartierten Überflutungsbereiche eine etwas geringere Ausbreitung als die berechneten Überschwemmungsgebietsflächen (Abbildung 7-9, rote Linie). Gegebenenfalls wurde hier nicht die maximale Ausdehnung beim Scheiteldurchgang der Welle durch die Beobachter erfasst. Im linken Vorland, im Bereich der Straßen „Am Linderbach“, „Alte Mittelgasse“ und „Zum Sulzenberg“ ist eine gute Übereinstimmung der beobachteten und berechneten Flächenausbreitungen zu erkennen.



1: Skizzierte Überflutungen, Übergabe AG *2: Skizzierte Überflutungen Bürgerinitiative*

Abbildung 7-10 Töttleben, Hochwasser 2014 – Vergleich Kalibrierungsergebnis

(Markierung überfluteter Flächen durch verschiedene Beobachter; berechnete Ausbreitung – blaue Fläche)

In der Ortslage Töttleben wurden nur geringe Überflutungen beobachtet, da der Linderbach z.B. im Bereich der „Langen Gasse“ ca. 240 m vom Ortsrand entfernt nordwestlich von Töttleben vorbei fließt. Jedoch kommt es, wie die Beobachtungen und die Berechnungen zeigen, im Bereich zwischen Linderbach und dem Ortsrand zu großflächigen Überflutungen von Wiesen und Ackerflächen. Durch den Aufstau am Weg „Lange Gasse“ fließt das Wasser auch in den bebauten Bereich der Ortslage.

Die Kläranlage bei Töttleben, im rechten Uferbereich des Linderbaches, war bei dem Hochwasser vom September 2014 nicht von Überflutungen betroffen. Wie die Darstellung in Abbildung 7-10 zeigt, konnte auch im betrachteten Gewässerabschnitt des Linderbaches bei Töttleben eine gute Übereinstimmung der berechneten Überflutungsflächen mit der Kartierung erreicht werden.

Die Kalibrierung anhand des HW 2014 kann als gut bewertet werden. Das Modell ist demnach zur Simulation für die HQ_T-Ereignisse geeignet.

7.4 Berechnung der Überschwemmungsflächen

Zur Ermittlung der Wasserspiegellagen und der Überschwemmungsgebiete des Istzustands wurde eine instationäre hydraulische Berechnung für die Abflussereignisse HQ_{20}, HQ_{50}, HQ_{100} und HQ_{200} durchgeführt. Die in Ansatz gebrachten Abflussscheitelwerte der instationären Ganglinien wurden im Kapitel 6.3 beschrieben und in der Tabelle 6-8 zusammengefasst. Im Rahmen der instationären Berechnung wird das Volumen der Hochwasserwellen berücksichtigt, wodurch sich Retentionsraumveränderungen durch die Maßnahmenplanung oder auch die Wirkung von Rückhalten auf die Abflussganglinie rechnerisch nachweisen lassen.

Im Rahmen der hydrologischen Berechnung wurden verschiedene Niederschlagsdauerstufen betrachtet, die den maximalen Scheitelwert in den Gewässerabschnitten verursachen. Dabei führen kürzere Ereignisse vor allem im Urbach und Peterbach zu den höchsten Abflüssen. Für den unteren Teil des Einzugsgebietes (Linderbach im Bereich unterhalb der Bahntrasse) sind eher längere Ereignisse maßgeblich. Um die maximalen Überschwemmungen für jedes HQ_T-Ereignis im gesamten Modellgebiet zu ermitteln, wurden die hydraulischen Berechnungen für verschiedene maßgebliche Niederschlagsdauern durchgeführt (Bsp.: HQ_{100}: 60 min, 2 h, 3 h, 4 h). Aus der Überlagerung der hydraulisch berechneten Wasserspiegellagen ergab sich somit die maximale Überflutungsausbreitung für jedes HQ_T-Ereignis im gesamten Gewässersystem.

Alle Ergebnisse der 2D-Berechnung wurden in ein ESRI-Punktshapefile überführt und somit für das GIS-System verfügbar gemacht. Die Punktanzahl und Verteilung im Ergebnisshapefile entspricht den Berechnungsknoten des 2D-Modells. An die Datentabelle des Punktshapes sind die Berechnungsergebnisse des jeweiligen Abflusszustandes bzw. der Variante angefügt. Die Punkte enthalten Informationen zur Lage des Knotens (Rechtswert und Hochwert), Geländehöhe, maximale Wasserspiegellage, Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit und Strömungsgeschwindigkeit in x- und y-Richtung.

Aus dem Punktshape wurde für alle HQ_T-Varianten für das gesamte Modellgebiet ein Wasserspiegellagenraster mit einer Auflösung von 1 x 1 m erstellt. Anschließend erfolgte ein Verschnitt mit dem „qualifizierten“ DGM, wodurch Wassertiefen erzeugt wurden.

In der Anlage 3 (Blatt 1 bis 11) werden die berechneten Überflutungsausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200} und Wassertiefen HQ_{100} auf Grundlage der DTK10 im Maßstab 1 : 5.000 dargestellt.

Für die Überflutungsausbreitungen zu den berechneten Wiederkehrintervallen HQ_T können folgende Ergebnisse für das Bearbeitungsgebiet bzw. speziell für die Ortslagen zusammengefasst werden:

Peterbach:

Der Peterbach tritt zwischen den Ortslagen schon bei HQ_{20} an einigen Gewässerabschnitten über seine Ufer. Bis HQ_{100} weisen die Ausuferungen über weite Strecken identische Flächenausbreitungen bzw. nur geringe Unterscheide auf. Bei Hochwasserereignissen mit HQ_{200} - Abfluss werden besonders im Oberlauf größere Flächen in den Vorländern überströmt, so z.B. zwischen km 6+200 und km 6+600 (oberhalb Rohda) sowie zwischen km 5+000 und km 5+300 (bei Rohda) und auch zwischen km 3+400 und km 3+600 (zwischen Rohda und Büßleben).

Peterbach, Rohda:

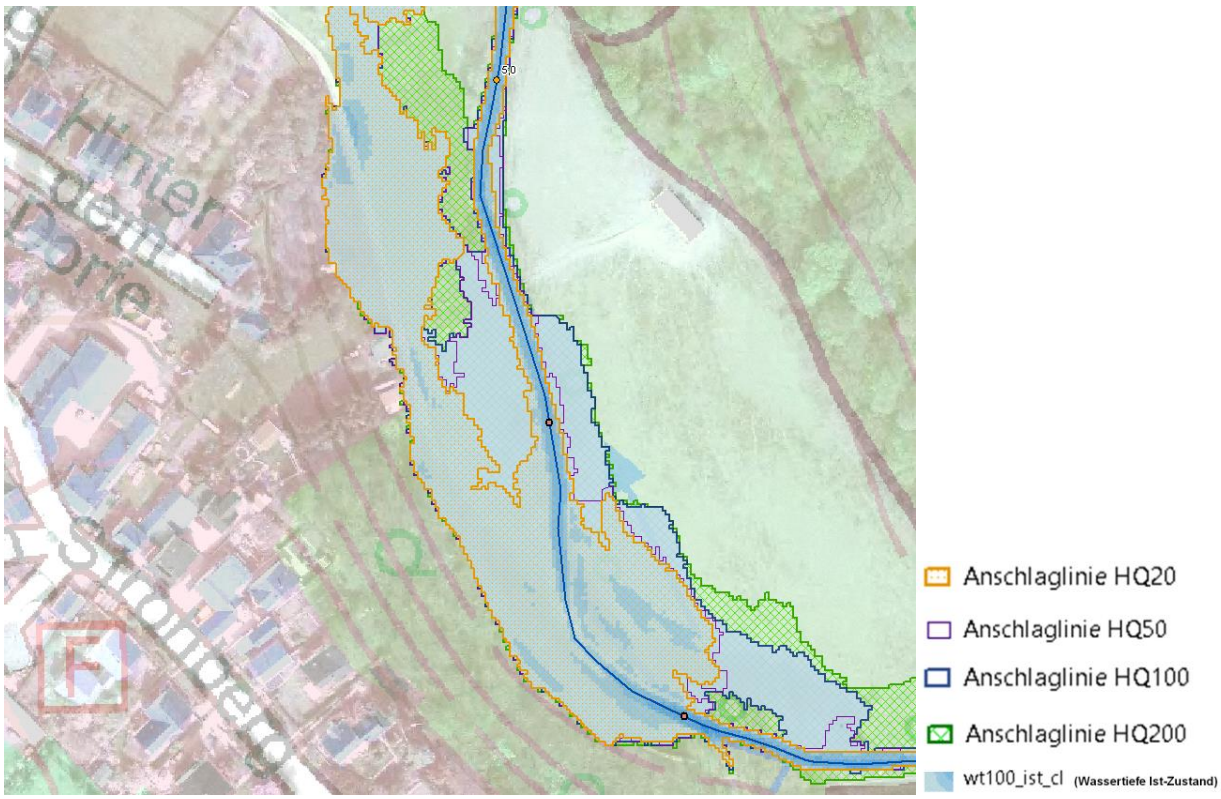


Abbildung 7-11 Ortslage Rohda – Gewässer Peterbach, Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200}

Südwestlich von Rohda, zwischen km 5+200 und 5+300, beginnt der Peterbach in beide Vorländer auszuufern. Im linken Vorland fließt das Wasser in Richtung NNW über Wiesen, einen Feldweg und entlang einer Gartenanlage. Die Anschlaglinien von HQ_{20} bis HQ_{200} verlaufen hier aufgrund der Geländestruktur deckungsgleich. Bei HQ_{100} erreichen die Wassertiefen im Bereich am Feldweg im Durchschnitt ca. 0,10 - 0,15 m (vgl. Abbildung 7-11). An einigen Stellen mit Geländevertiefungen links und rechts des Feldweges erreichen die Wassertiefen ca. 0,50 – 0,55 m.

Die Bereiche mit Wohnbebauung bleiben in Rohda auch bei HQ_{200} hochwasserfrei.

Peterbach, Büßleben:

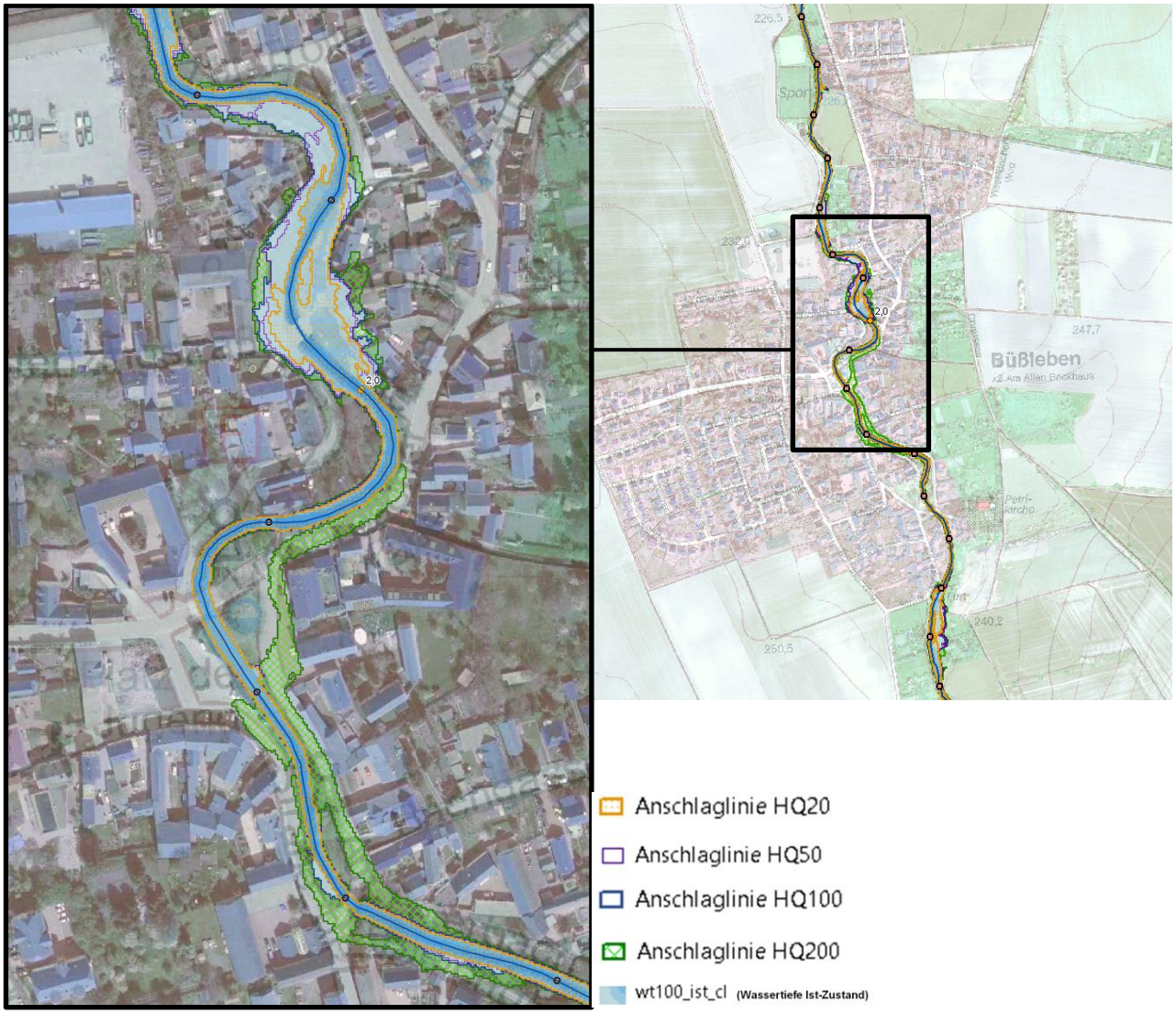


Abbildung 7-12 Ortslage Büßleben – Gewässer Peterbach, Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200}

Am südlichen Ortseingang, stromoberhalb der Furt nahe der Straße der Einheit, ufert der Peterbach schon ab HQ_{20} ins rechte Vorland aus. Die Ausuferungen erreichen bei HQ_{50} bis HQ_{200} eine Breite von ca. 30 m. Bei HQ_{100} liegen die Wassertiefen in diesem Bereich bei ca. 0,2 - 0,3 m. Direkt an der Furt sind es im ufernahen Bereich ca. 0,3 -0,6 m. Weiter stromab bleibt der Peterbach auch bei größeren Hochwasserereignissen bis HQ_{100} weitestgehend in seinem Bachbett. Bei einem HQ_{200} – Hochwasserereignis beginnt er ab Gewässer-km 2+400 in beide Vorländer auszuufern und über die parallel zum Bach verlaufenden Straßen abzufließen. Dabei strömt das Wasser im linken Vorland vom Bleichplatz entlang der Straße der Einheit bis zum Platz der Jugend. Im rechten Vorland fließt das Wasser von der Straße „Am Peterbach“ bis in die Linderbacher Straße und weiter bis „Zur Trolle“.

Im Bereich „Zur Trolle“, Gewässer-km 1+800 – 2+000, beginnen die Ausuferungen schon bei einem HQ_{20} - Hochwasserereignis. Bei HQ_{100} und HQ_{200} reichen die Überschwemmungen im linken Vorland bis an die

Wohnbebauung im „Pappelstieg“ heran. Im rechten Vorland wird der Weg „Zur Trolle“ überflutet und für angrenzende Wohnbebauung besteht ebenfalls die Gefahr des Eindringens von Wasser. Die Wassertiefen in den überfluteten Vorländern erreichen bei HQ_{100} ca. 0,10 – 0,35 m. Ca. bei Gewässer-km 1+700 gelangt das Wasser aus beiden Vorländern wieder in das Bachbett zurück.

Der Abschnitt Peterbach in der Ortslage Linderbach wird im Text weiter unten beschrieben.

Pfingstbach:

Als nächstes erfolgen die Betrachtungen der Auswirkungen von Hochwasserereignissen am Pfingstbach und der Ortslage von Niedernissa.

Entlang der unbebauten Abschnitte, im Bereich von Wiesen- und bewaldeten Abschnitten, weisen die dokumentierten Ausuferungen darauf hin, dass die Durchlassgeometrien der querenden Wege und Straßen nicht ausreichend dimensioniert sind und es dadurch schon bei Hochwasserereignissen ab HQ_{20} zu Ausuferungen in die Vorländer kommt. So zu beobachten ca. bei Gewässer-km 3+400 - oberhalb der Schellrodaer Straße, auch bei Gewässer-km 2+900, wo ein querender Weg im linken Vorland überströmt wird. Bei Gewässer-km 2+050 wird ebenfalls eine Wegebrücke überströmt, bevor der Pfingstbach wieder in sein Bachbett zurückkehrt.

Auch oberhalb der Straßenbrücke „Am Herrenberg“ (L1052) werden schon ab einem HQ_{20} – Ereignis in beiden Vorländern, mit Schwerpunkt im rechten Vorland, angrenzende Wiesen und mit Büschen bewachsenes Gelände überflutet (vgl. Abbildung 7-13). Die Ausuferungen resultieren aus einer zu geringen hydraulischen Leistungsfähigkeit des Gerinnes oberhalb der Straßenbrücke. Der Straßendurchlass weist einen ausreichend großen Querschnitt zum schadlosen Abfluss eines HQ_{200}–Ereignisses auf.

Pfingstbach, Niedernissa:

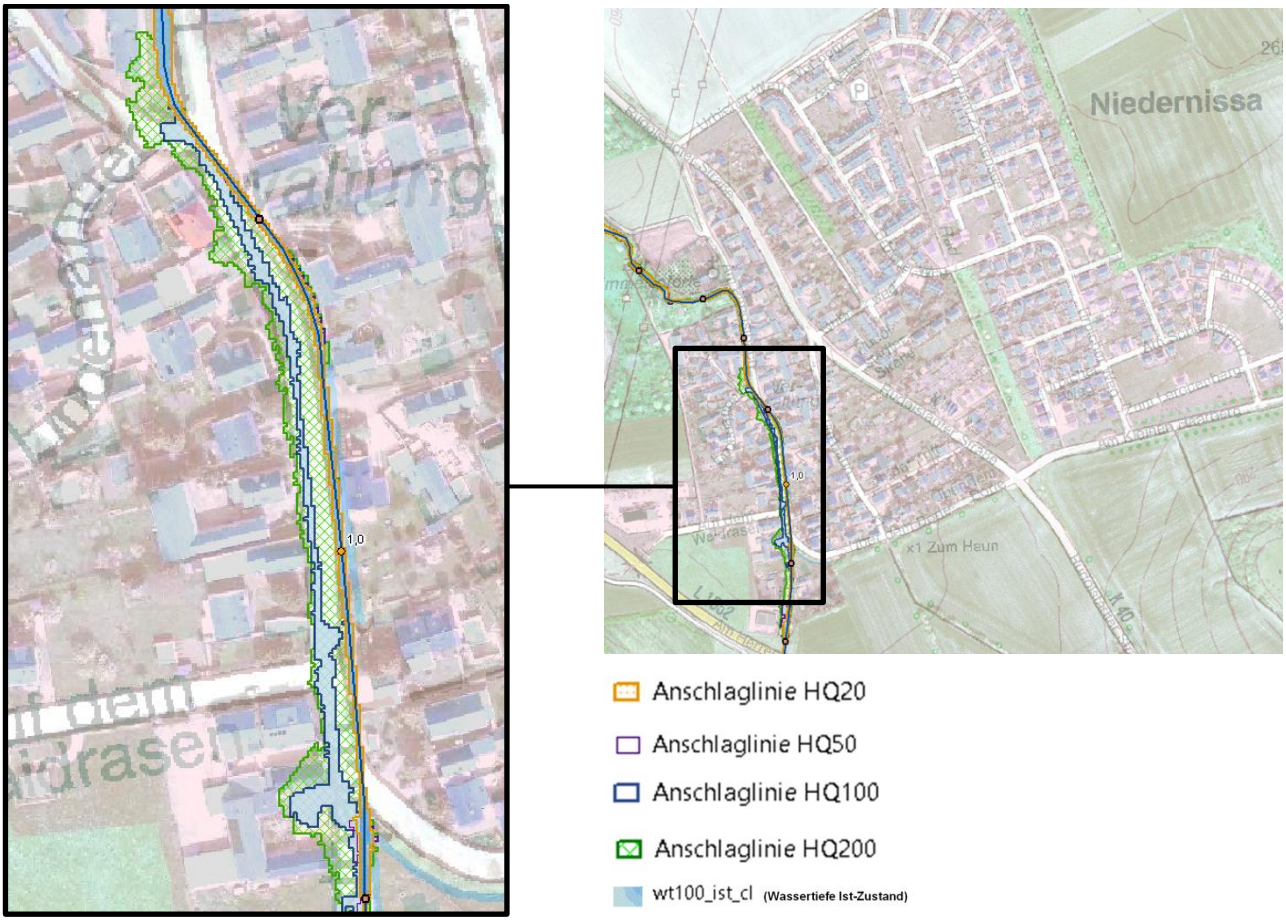


Abbildung 7-13 Ortslage Niedernissa – Gewässer Pfingstbach, Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200}

Bei HQ_{20} verbleibt der Pfingstbach in der Ortslage von Niedernissa in seinem Bachbett. Ausuferungen beginnen erst ab HQ_{50} und dort zwischen Gewässer-km 0+800 und 1+200 hauptsächlich im linken Vorland. Das Wasser fließt entlang der Straße „Am Pfingstbach“. Dabei ist bei HQ_{200} – Hochwasserereignissen damit zu rechnen, dass auch die angrenzenden Wohngebäude stark von den Ausuferungen betroffen sind.

Urbach:

Nach der Einmündung des Pfingstbaches in den Urbach tritt der Urbach stromoberhalb der Rudolstädter Straße schon bei HQ_{20} über seine Ufer, füllt dabei jedoch hauptsächlich den unmittelbaren Talbereich, wobei die angrenzenden mit Büschen und Bäumen bewachsenen Hänge überflutet werden.

Urbach, Urbich:

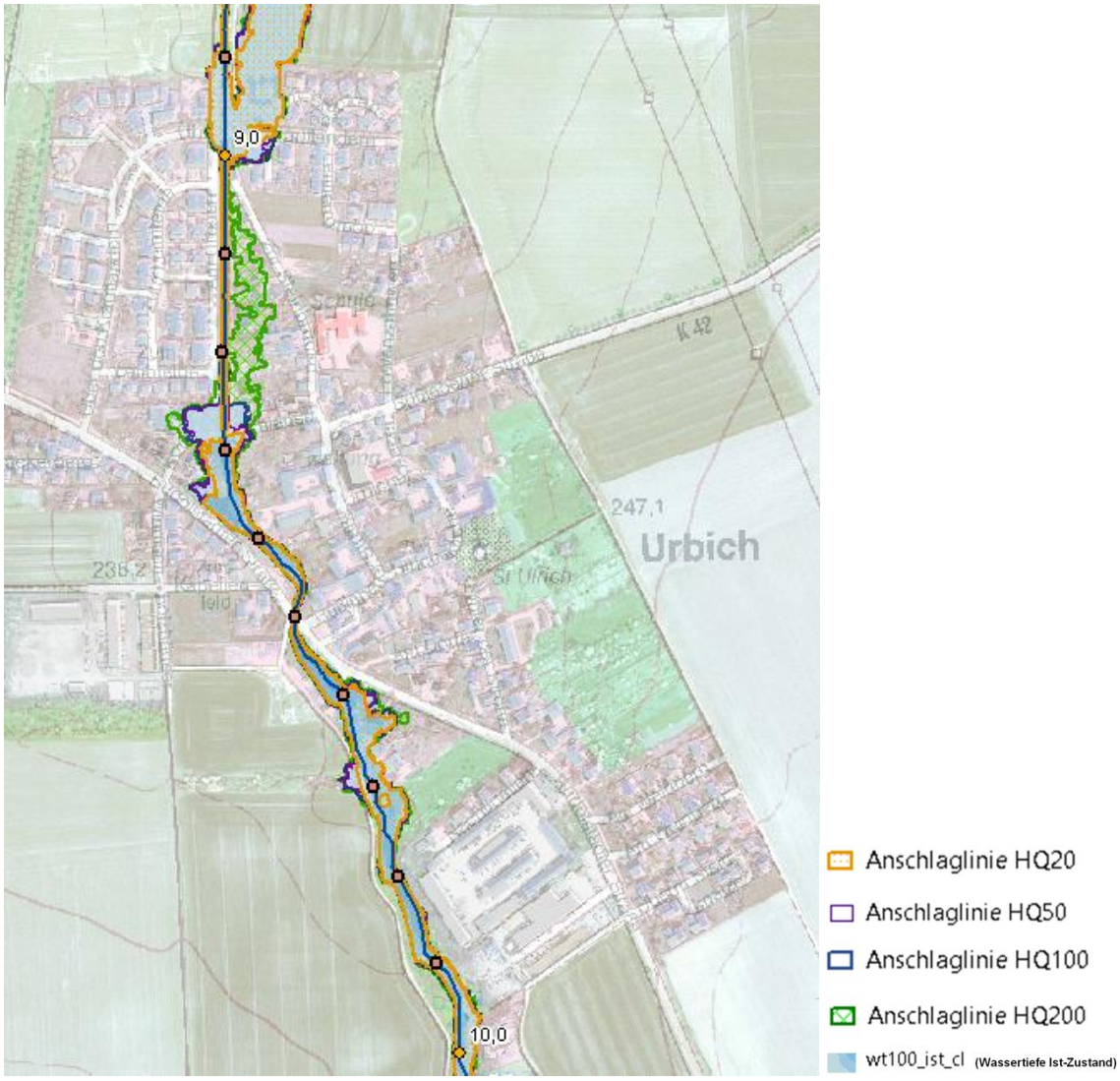


Abbildung 7-14 Ortslage Urbich – Gewässer Urbach, Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200}

Kritisch werden die Ausuferungen bei Gewässer-km 9+600 bis 9+800, zwischen dem Nachtigallenweg und der Rudolstädter Straße. Schon bei HQ_{20} – Hochwasserereignissen werden hier in beiden Vorländern bebaute Vorlandbereiche überflutet, wobei im rechten Vorland die Ausuferungen bis ca. 50 m in das Gelände hinein reichen (bei HQ_{200} ca. 55 m). Die Wassertiefen erreichen bei HQ_{100} im überfluteten Gelände ca. 0,4 – 0,6 m.

In Abbildung 7-14 ist ebenfalls der überschwemmte Bereich stromunterhalb der Rudolstädter Straße (nördlich der Straße) zu sehen. Beim Hochwasserereignis HQ_{20} erfolgt der Rückstrom in das Bachbett an der Brücke „Zur Kochschule“/ „Zur Schleuse“ (Gewässer-km 9+300). Direkt im Oberwasser der Brücke befinden sich jedoch auch Gebäude im überfluteten Bereich. Ab Ereignissen größer HQ_{20} erfolgt ein Überströmen der Brücke. Ufernahe Gebäude sind in beiden Vorländern durch die Ausuferungen betroffen.

Bei HQ_{200} – Hochwasserereignissen strömt ein Teil des Abflusses des Urbaches weiter im rechten Vorland bis Gewässer-km 9+050, wobei Gärten und Wohnbebauung von Überflutungen betroffen sind.

An der Brücke „Über den Krautländern“ (Gewässer-km 9+000) reicht die hydraulische Leistungsfähigkeit des Gewässerbettes und des Durchlasses nicht aus, um die bei Hochwasser anströmenden Wassermengen abzuführen, so dass ab hier bis zur Einmündung des Urbaches in den Linderbach ein großer Teil des Abflusses im rechten Vorland erfolgt (östlich des Weges nach Linderbach, parallel zu Bachbett und zum Weg - siehe dazu Anlage 3, Blatt 6 und 7). Der Durchlass wird bereits bei einem HQ_{20} – Hochwasserereignis eingestaut und stellt dadurch im Hochwasserfall ein starkes Abflusshindernis dar.

Am nördlichen Ortsausgang von Urbich im Bereich von „Am Brückenborn“ und „Über den Krautländern“ befindet sich Wohnbebauung im überfluteten Bereich. Die Wassertiefen erreichen hier bei HQ_{100} ca. 0,1 – 0,35 m.

Bei Gewässer-km 8+400 beginnen ab HQ_{50} dann Ausuferungen auch in das linke Vorland, wo der Abfluss dann ebenfalls parallel zum eigentlichen Bachbett erfolgt. Bei HQ_{200} beginnen die Ausuferungen in das linke Vorland schon bei Gewässer-km 8+600.

Insgesamt erreichen die Ausuferungen in beide Vorländer eine Breite von ca. 90 – 100 m. Unmittelbar vor Einmündung in den Linderbach weitet sich der Abstrom im linken Vorland noch einmal aus, so dass die Breite der überfluteten Fläche am Urbach dann ca. 200 – 220 m erreicht.

Linderbach

Am Linderbach treten sowohl in den Ortslagen als auch zwischen den Ortslagen schon ab HQ_{20} – Hochwasserereignissen Überschwemmungen in den Vorländern auf.

Linderbach, Ortslage Linderbach:

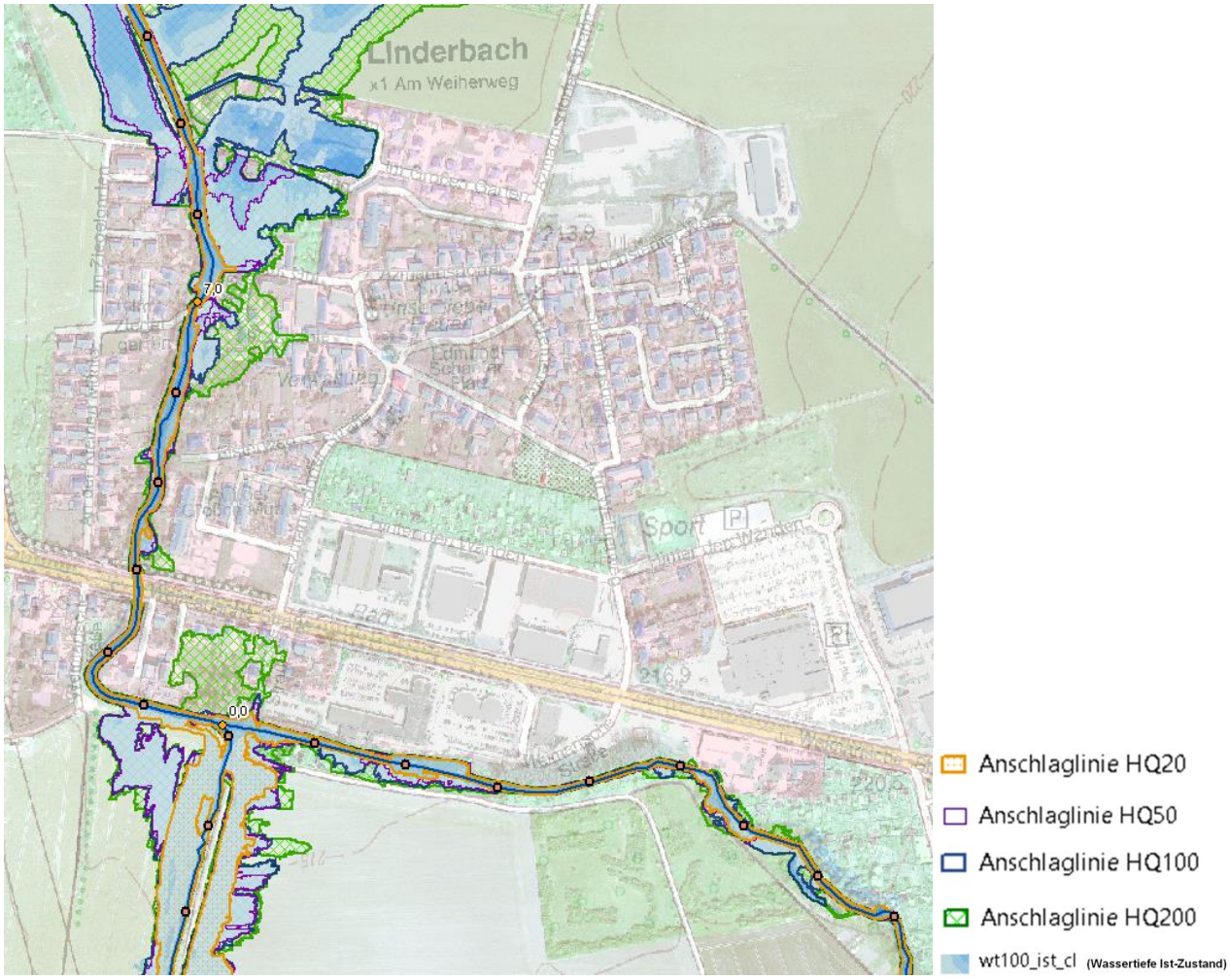


Abbildung 7-15 Ortslage Linderbach – Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200}

Am südlichen Ortsrand von Linderbach (südlich der Weimarer Straße) fließt der Peterbach von Süden her in die Ortslage und verläuft auf seinen letzten ca. 800 m vor Einmündung in den Linderbach fast parallel zur Weimarischen Straße. Zwischen Gewässer-km 0+500 und 0+700 ufert der Peterbach bei Hochwasser hauptsächlich in das linke Vorland aus. Bei HQ_{100} ufert das Wasser ca. 30 m auf die Straße an der Furtbrücke Weimarische Straße in Fließrichtung nach rechts aus, jedoch sind dadurch keine bebauten Bereiche betroffen. Am Zusammenfluss des Urbachs mit dem Peterbach ändert der Urbach seine Fließrichtung um einen Winkel von ca. 90 °. Dies begünstigt die Situation, dass bei HQ_{200} auch bebaute Bereiche im rechten Vorland überströmt werden (siehe Abbildung 7-15 und Anlage 3, Blatt 7).

Auch auf Freiflächen im Bereich des Geländes „Autohaus Gitter“ werden geringfügige Ausuferungen ausgewiesen. In dem Abschnitt 300 m vor der Einmündung beginnt der Peterbach noch einmal auf einer Breite von ca. 25 – 30 m auszuufern.

Stromunterhalb direkt im Unterwasser der Brücke „Weimarer Straße“ ufert der Linderbach auf einer Länge von ca. 40 m in das rechte Vorland aus. Bis HQ_{100} ist dabei freies und bewachsenes Gelände betroffen. Bei HQ_{200} befinden sich Parkplätze des Ramada-Hotels und ein kleines Nutzgebäude im überfluteten Bereich.

Bis Gewässer-km 7+100 ist bei Hochwasserereignissen bis einschließlich HQ_{200} das gesamte Gerinne auf einer Breite von 15 – 20 m gefüllt. Von km 7+100 nach stromab beginnt der Linderbach ab HQ_{100} in das rechte Vorland auszuufern. Weiter stromab, bei km 7+000, tritt das Wasser aufgrund des Rückstaus an der Brücke „Zur Steinhohle“ schon bei HQ_{50} in das rechte Vorland aus. Betroffen von den Überflutungen sind Gärten und kleine Nutzgebäude. Bei HQ_{200} befinden sich auch Wohngebäude im Überflutungsgebiet. Der Abstrom im rechten Vorland erzeugt eine Überflutung, die ca. 60 – 80 m in den Weg „Zur Steinhohle“ hineinreicht. Anliegergebäude sind ebenfalls von den Überschwemmungen betroffen (siehe Abbildung 7-15 und Anlage 3, Blatt 7).

Die Wassertiefen bei HQ_{100} erreichen in diesem Abschnitt wenige Zentimeter bis ca. 0,35 m.

Im Gewässerabschnitt zwischen den Straßen „Am Gut“ und „Im Großen Garten“ überflutet der Linderbach im rechten Vorland Gärten und Wohnbebauung. Die quer zur Fließrichtung verlaufende Straße „Im Großen Garten“ stellt dabei ein Fließhindernis dar, wodurch die überfluteten Bereiche ab HQ_{100} bis zu 175 m in das rechte Vorland hineinreichen (vgl. Abbildung 7-15 und Anlage 3, Blatt 8). Die Wassertiefen bei HQ_{100} belaufen sich auf 0,1 – 0,7 m nördlich der Straße „Am Gut“ und auf 0,1 – 1,2 m im Bereich des Geländes „Im Großen Garten“.

Die Berechnungen des Istzustands zeigen für die HQ_{100}-Flächenausbreitung, dass aus dem Bereich des „Großen Garten“ im Geländetiefsten weiterhin der Abfluss im rechten Vorland erfolgt und stromoberhalb der Bahnlinie das Wiesen-und Ackergelände großflächig überflutet wird. Im ansteigenden Gelände reicht die Ausbreitungsgrenze bei HQ_{20} und HQ_{50} ca. 90 – 100 m an die Kirchstraße Richtung Azmannsdorf heran. Bei HQ_{100} sind es ca. 80 m und bei HQ_{200} nur noch ca. 50 – 70 m bis zur Straße (Anlage 3, Blatt 8).

Ab Gewässer-km 6+900 treten ab HQ_{50} – Hochwasserereignissen auch linksseitig Ausuferungen in das Vorland auf. Unmittelbar im Oberwasser des Bahndammes der Bahnlinie beginnen die Ausuferungen schon ab HQ_{20}. Die Überströmungen der linken Uferkante resultieren dabei aus einer zu geringen hydraulischen Leistungsfähigkeit des Gerinnes und sind nicht auf einen Rückstau der Bahnbrücke zurückzuführen. Der Brückendurchlass weist bis einschließlich HQ_{200} einen ausreichend dimensionierten Abflussquerschnitt auf. Von den Überflutungen sind Ackerflächen und Wiesen betroffen. Die Breite der Ausuferungen erreicht hier 50 – 70 m. Ab HQ_{100} erfolgt direkt oberhalb der Bahnlinie ein Rückstrom in das Bachbett.

Die für HQ_{100} ermittelten Wassertiefen erreichen im linken Vorland ca. 0,1 – 0,8 m, im rechten Vorland ca. 0,1 – 1,6 m, an einigen Stellen auch ca. 2,0 m über Gelände.

Linderbach, Azmannsdorf:

Abbildung 7-16 Ortslage Azmannsdorf, Gewässer Linderbach – Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200}

In der Ortslage von Azmannsdorf treten entsprechend den Berechnungsergebnissen Überschwemmungen erst ab einem Hochwasserereignis HQ_{200} auf. Im linken Vorland sind davon bei Gewässer-km 5+800 Gartengelände und Wohnbebauung betroffen. Im rechten Vorland beginnen die Ausuferungen schon bei Gewässer-km 5+950. Auch hier befinden sich neben Gartenanlagen Wohnhäuser im Überschwemmungsgebiet. Teilweise reichen die Überflutungen bis über die Straße „Zur Werth“. Betroffen sind östlich der Straße „Zur Werth“ freie Flächen mit und ohne Bewuchs, die Überflutungen reichen jedoch z.T. bis an Gebäude heran.

Die Straße „Zur Marke“ wird ebenfalls auf einer Breite von ca. 50 – 60 m überströmt. Weiter stromab erfolgt der Abfluss zwischen Wohngebäuden und Gartenanlagen auf einer Breite von ca. 10 – 45 m. Nach Überqueren des Weges „ An der Gärtnerei“ strömt der Vorlandabfluss zwischen dem Gärtnereigelände und dem Linderbach über eine Ackerfläche und bei Gewässer-km 5+600 wieder zurück in das Bachbett.

Weiter stromab beginnt der Linderbach ab HQ_{50} direkt unterhalb der Straßenbrücke „Zur Marke“ auch in das linke Vorland auszuufern. Bis HQ_{50} ist unmittelbar im Vorlandbereich Wiesen- und Weideland von Überflutung betroffen. Ab HQ_{100} strömt ein Teil des Abflusses im Vorland parallel zum Linderbach im linken Vorland weiter, um erst bei Gewässer-km 4+600 in das Bachbett zurückzufließen.

Linderbach, Kerspleben:

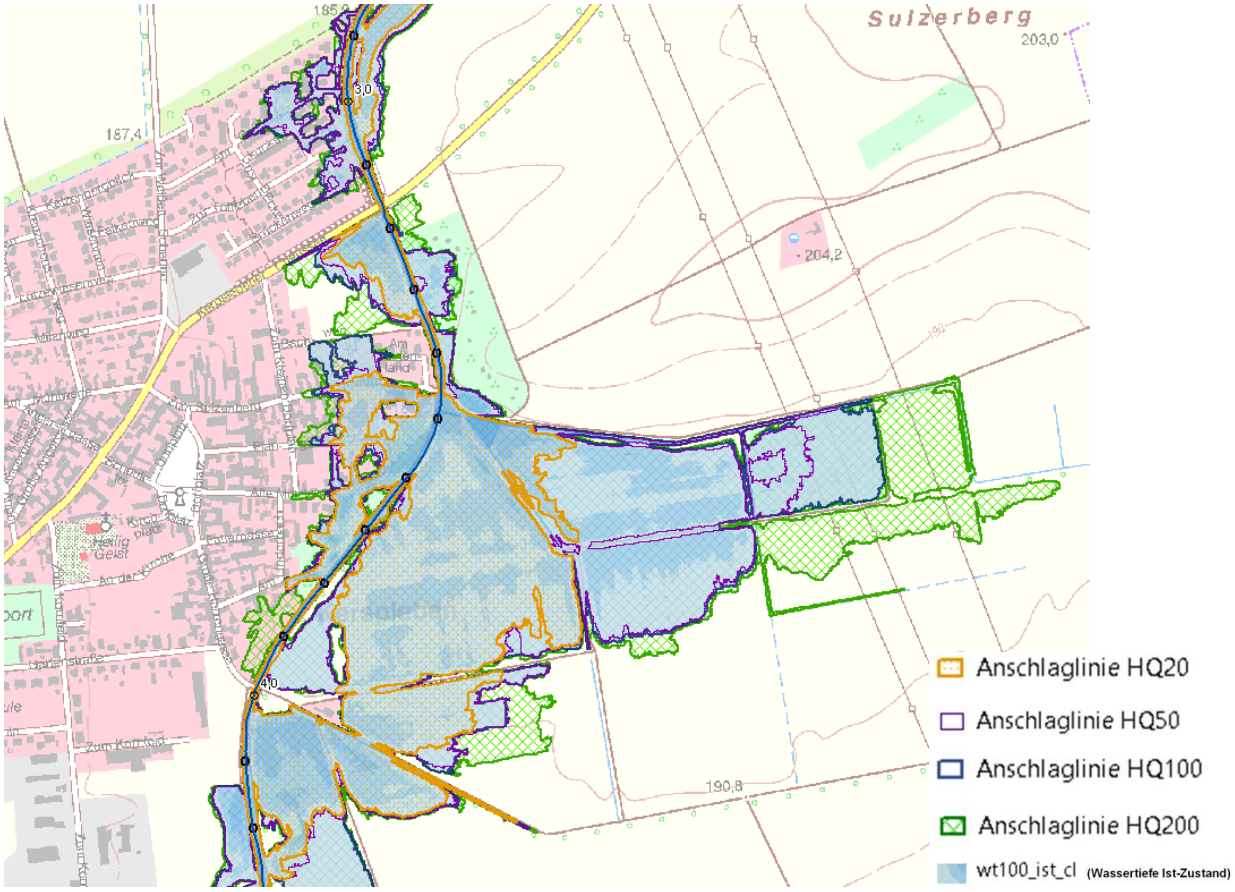


Abbildung 7-17 Ortslage Kerspleben, Gewässer Linderbach – Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200}

Die Ortslage Kerspleben ist bereits ab HQ_{20} – Hochwasserereignissen von Überflutungen betroffen. Bei Gewässer-km 3+800 beginnt der Linderbach in das linke Vorland auszuufern. Bei HQ_{200} beginnen die Ausuferungen in das linke Vorland schon im Unterwasser der Straßenbrücke „Große Herrengasse“ am Ortseingang bei Gewässer-km 4+000.

Zwischen den Straßen „Am Linderbach“ und „Zum Sulzenberg“ fließt das Wasser nicht nur die Straßen und Wege entlang. Auf einer Breite von ca. 120 – 200 m werden im linken Vorland Gärten und Wiesenflächen überflutet. Auch Wohngebäude befinden sich im Überschwemmungsgebiet.

Ein Teil des Vorlandabflusses (linkes Vorland) fließt im Anstrom der Straße „Zum Sulzenberg“ in den Linderbach zurück (bei HQ_{20} der gesamte Abfluss). Bei HQ_{100} fließt das Wasser weiter bis zum „Bachweg“, der bei HQ_{200} noch überströmt wird und das Wasser dann oberhalb der Kersplebener Chaussee bei Gewässer-km 3+100 bis 3+200 wieder in den Linderbach zurückströmt.

Im bebauten Bereich wurden bei HQ_{100} Wassertiefen von ca. 0,1 – 0,6 m ermittelt. Die höheren Werte treten dabei in Bachnähe bzw. im Anstrom querender Wege auf.

Im linken Vorland stromunterhalb (nördlich) der Kersplebener Chaussee ufert der Linderbach ab HQ_{50} ebenfalls in bebautes Gebiet aus. Bei Gewässer-km 3+100 strömt das Wasser bis in den „Brückenweg“. Von dort fließt es zwischen den Wohnhäusern durch die Gärten, ein Stück auch den „Kuckucksgrund“ entlang, um dann auch in der Straße „Am Goldacker“ fast den ganzen Straßenzug zu fluten und danach in das Bachbett zurückzufließen.

Auf den Wegen und Straßen erreichen die Wassertiefen bei HQ_{100} ca. 0,1 – 0,2 m, im Bereich der Wohnbebauung / Gärten werden auch ca. 0,3 - 0,4 m erreicht.

Im rechten Vorland ufert der Linderbach ebenfalls stromoberhalb und stromunterhalb der Kersplebener Chaussee aus. Dabei sind jedoch hauptsächlich Ackerflächen sowie Wiesen und Weideflächen von den Überflutungen betroffen. Zwischen Gewässer-km 3+200 und 3+400 wird auch Gartengelände mit kleinen Nutzgebäuden überflutet. Bei HQ_{100} steht das Wasser ca. 0,15 – 0,4 m über dem Gelände.

Stromunterhalb (nördlich) der Ortslage von Kerspleben werden durch den Linderbach schon ab HQ_{20} in beiden Vorländern weite Flächen, hauptsächlich Acker- und Wiesenflächen, überflutet.

Linderbach, Töttleben:

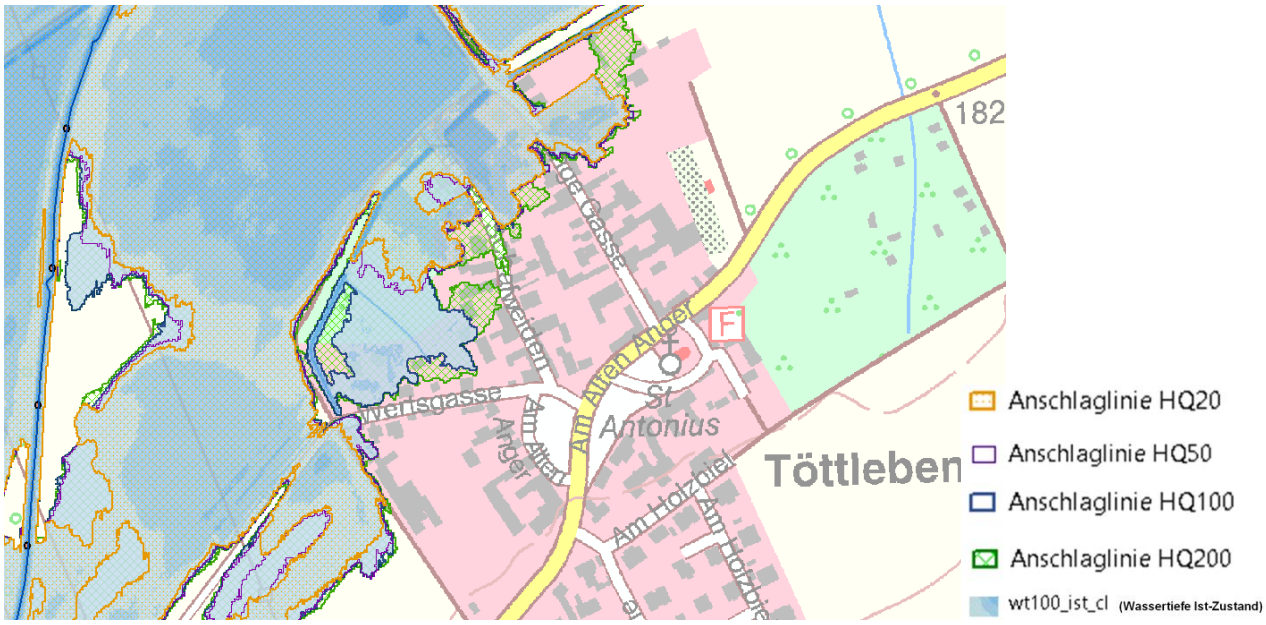


Abbildung 7-18 Ortslage Töttleben, Gewässer Linderbach – Flächenausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200}

Der Westrand von Töttleben wird bei Hochwasser, ab Ereignissen HQ_{20}, z.T. schon vom aus südwestlicher Richtung anströmenden Vorlandabfluss des Linderbaches überflutet. Betroffen sind dabei die Wiesenflächen zwischen der „Wertsgasse“ und der „Langen Gasse“. Ab HQ_{50} und HQ_{100} befinden sich auch einzelne Wohngebäude im Überschwemmungsgebiet.

Bei HQ_{200} reichen die Überflutungen ca. 120 m in die Gasse „Zu den Schafweiden“ hinein. Die Ableitung des Vorlandabflusses erfolgt über einen parallel zum Linderbach verlaufenden Entwässerungsgraben am Ortsrand von Töttleben. Der Graben mündet anschließend bei Gewässer-km 1+100 in den Linderbach. Die Wiesen und Ackerflächen zwischen Töttleben, dem Entwässerungsgraben und dem Linderbach stehen schon ab HQ_{20} – Hochwasserereignissen großflächig unter Wasser.

Die bei HQ_{100} ermittelten Wassertiefen betragen am überfluteten Ortsrand von Töttleben ca. 0,1 – 0,75 m (zwischen der Gasse „Zu den Schafweiden“ und der „Langen Gasse“).

Auf den Wiesen und Ackerflächen erreichen die Wassertiefen bei HQ_{100} Werte zwischen 0,1 – 1,1 m.

7.5 Hydrologische Ergebnisbewertung

Statistische Einordnung des Hochwassers 2014

Mit Hilfe des hydrologischen Modells erfolgte die Kalibrierung anhand des Hochwasserereignisses 2014 auf der Basis von RADOLAN-Rasterdaten. Anhand der Niederschlagsmengen konnten die Abflüsse an verschiedenen Querschnitten im Gewässer berechnet werden. Weiterhin wurden auf Basis der KOSTRA-Daten HQ_T-Werte für die Gewässer ermittelt. Anhand einer statistischen Auswertung lassen sich die Abflussmengen des Hochwassers 2014 an drei ausgewählten Querschnitten wie folgt statistisch einordnen:

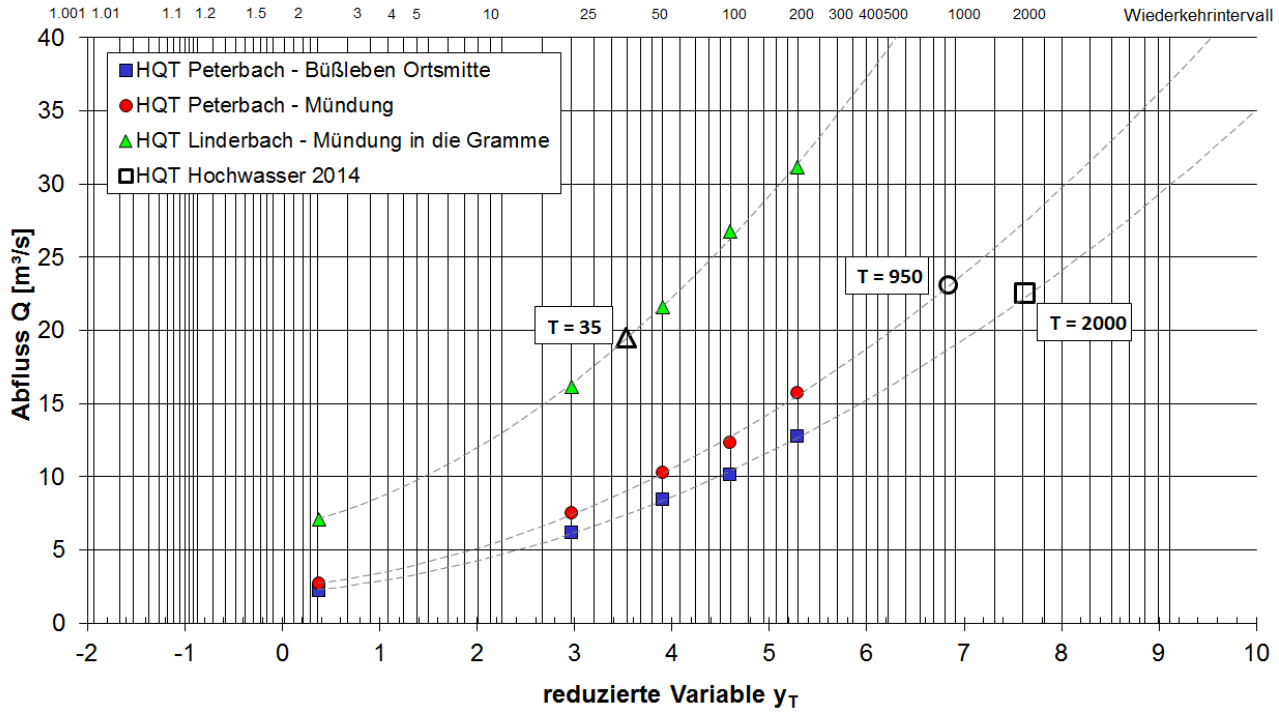


Abbildung 7-19 Wahrscheinlichkeit HQ_T-Ereignisse an ausgewählten Querschnitten (Gumbelverteilung)

Bei dem Ereignis 2014 handelte es sich um ein lokales Starkregenereignis im oberen Abschnitt des Teileinzugsgebiets des Peterbachs. Es ist zu erkennen, dass die Abflussmengen in der Ortsmitte von Büßleben dabei mit ca. 23 m³/s statistisch einem HQ_{2000} zugeordnet werden können. In den restlichen Bereichen des Einzugsgebietes gab es nur geringe bis keine Niederschläge, wodurch sich das Hochwasser durch die Wellenlaufzeit nach Unterstrom abflachte.

An der Mündung des Peterbachs in der Ortslage Linderbach entsprach das Hochwasserereignis 2014 in etwa einem HQ_{950}. Weiter stromunterhalb, an der Mündung des Linderbachs in die Gramme, kann das Ereignis nur noch etwa einem HQ_{35} zugeordnet werden.

Wellenlaufzeiten der Abflussganglinie Hochwasser 2014

Die folgende Abbildung 7-20 zeigt die berechneten Abflussganglinien für das Hochwasser 2014 aus dem hydraulischen Strömungsmodell für vier verschiedene Gewässerquerschnitte.

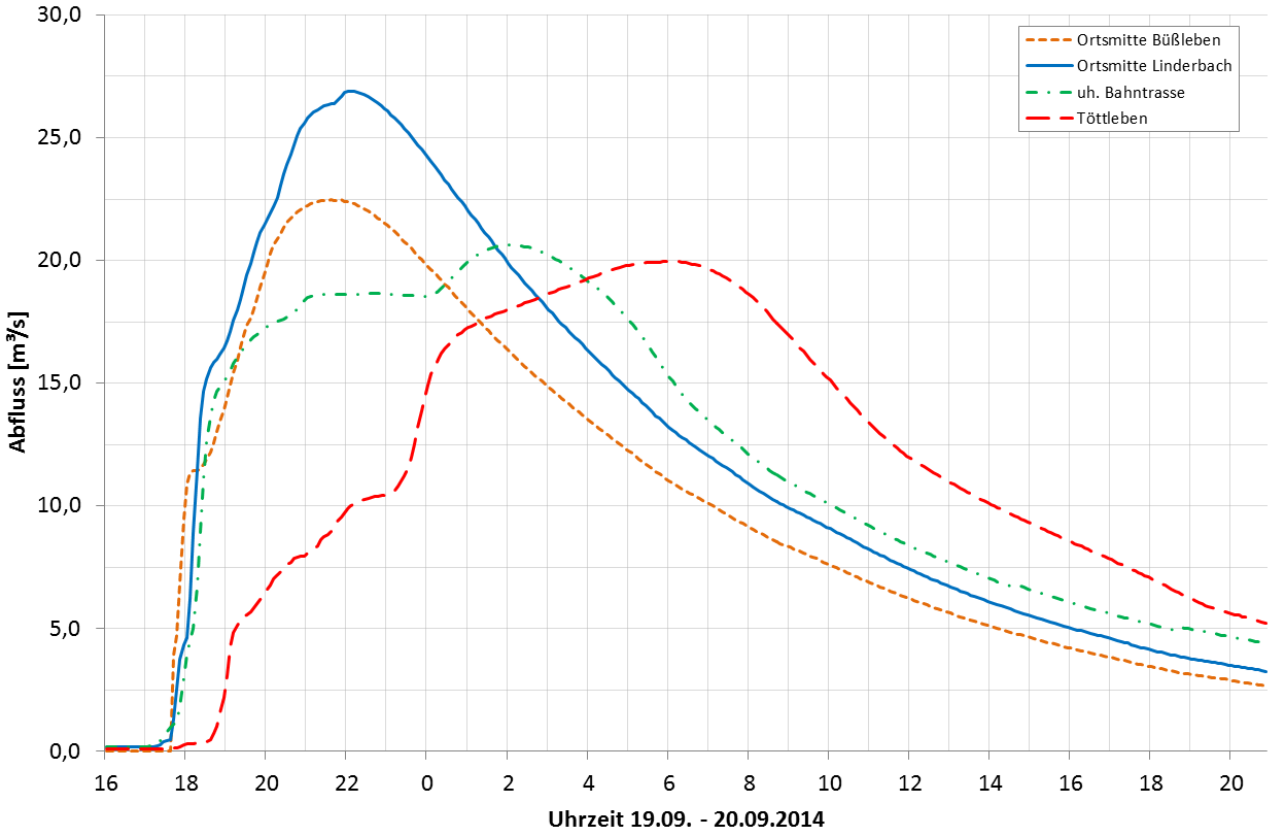


Abbildung 7-20 Hochwasserganglinie 2014 an verschiedenen Querschnitten im Einzugsgebiet

Das Niederschlagsereignis begann am 19.09.2014 zwischen 16 und 17 Uhr im Oberlauf des Peterbachs. Die Nachrechnung mit dem hydraulischen Modell zeigt, dass daraufhin ein rascher Anstieg der Abflussganglinie in den Ortsteilen Büßleben und Linderbach erfolgte. Um 18 Uhr erreichte der Abfluss in

Büßleben bereits einen Wert, der statistisch einem HQ_{100} zugeordnet werden kann. Daraufhin erfolgte ein weniger steiler Anstieg, wobei der Abflussscheitel mit ca. 22,5 m³/s um 21 Uhr die Ortslage passierte.

In der Ortslage Linderbach verlief die Abflussganglinie ähnlich. Der Abflussscheitel durchfloss den Ort aufgrund der Wellenlaufzeit ca. 1 Stunde später als Büßleben (gegen 22 Uhr). Durch die Zuflüsse aus weiteren Teilgebieten betrug der Scheitel hier ca. 26,7 m³/s. Durch die Anwohner wurde geschildert, dass das Hochwasserereignis am nächsten Morgen in diesen Ortsteilen wieder abgeflossen war, was auch die hydraulische Berechnung zeigt.

Die Abflussganglinien unterhalb der Bahntrasse und bei Töttleben verlaufen durch die Wellenverformung weniger steil und ausgedehnter. In diesem Bereich kamen 2014 auch keine weiteren Zuflüsse hinzu, da das Niederschlagsereignis lokal auf den oberen Teil begrenzt war. Entsprechend der Strömungsmodellierung durchfloss der Abflussscheitel die Stadtgrenze bei Töttleben am 20.09.2014 gegen 6 Uhr. Der Scheitel passierte diesen Bereich somit ca. 13 Stunden nach Beginn des Niederschlagsereignisses im Oberlauf des Peterbachs.

Einfluss der geplanten Gewerbeflächen

Das erarbeitete N-A-Modell enthält die Gewerbegebiete Urbich (URB638), die Erweiterung des GVZ (LIA284) sowie die Planung „Am Tonberg“ (LIN587). Die Nutzung der Gewerbegebiete wurde auf Basis des letzten übergebenen Bebauungsplans digitalisiert und entsprechend im Modell berücksichtigt.

Zur Bewertung des Einflusses der Einleitungsmengen aus den Gewerbegebieten auf die Hochwasserscheitelwerte im Vorfluter zeigt die folgende Tabelle die Ergebnisse aus der hydrologischen Berechnung.

Tabelle 7-4 Einleitungsmengen der hydrologischen Berechnung - „Am Tonberg“ und Urbich

Ortsbereich	HQ_{20}	HQ_{50}	HQ_{100}	HQ_{200}
Am Tonberg (LIN587)				
Abfluss Hauptgewässer [m³/s]	11,7	15,8	19,4	25,0
Einleitung [m³/s]	0,03	0,03	0,03	0,03
prozentualer Anteil [%]	*0,26*	*0,19*	*0,15*	*0,12*
Urbich (URB638)				
Abfluss Hauptgewässer [m³/s]	5,7	6,8	7,6	9,8
Einleitung [m³/s]	0,065	0,065	0,065	0,065
prozentualer Anteil [%]	*1,14*	*0,96*	*0,86*	*0,66*

Das Gewerbegebiet „Am Tonberg“ beläuft sich auf eine Fläche von 9,125 ha und befindet sich ca. 450 m westlich des Linderbachs zwischen der B7 und der Bahntrasse. Die Grundflächenzahl, die angibt welcher

Anteil der Grundfläche bebaut werden darf, beträgt 0,8. Für die hydrologische Berechnung wurde durch den AG vorgegeben, dass durch das angeschlossene Gebiet maximal 3,5 l/(s*ha) in den Linderbach eingeleitet werden. Die Einleitung in das Hauptgewässer ist daher konstant und beträgt bei einem Niederschlagsereignis für alle Berechnungsläufe maximal 0,03 m³/s. Entsprechend Tabelle 7-4 beläuft sich der prozentuale Anteil der Einleitungsmenge auf weniger als 1 % vom Abfluss des Linderbachs an der Einleitungsstelle. Aus diesem Grund ist der Einfluss der Einleitung auf die Abflussmengen im Linderbach als untergeordnet einzuschätzen.

Gemäß Erschließungskonzept beläuft sich die Fläche des Gewerbegebietes Urbich auf einen Geltungsbereich von 48 ha, wovon 41 ha erschlossene Flächen darstellen und 32,1 ha undurchlässige Flächen sind. Durch den AG wurden Planungsinformationen zur Verfügung gestellt, die für das Gebiet einen Drosselabfluss von 65 l/s vorsehen. Diese wurde als Randbedingung für die Entwässerung im hydrologischen Modell verwendet. Als maßgebliches Niederschlagsereignis konnte mit Hilfe des N-A-Modells für das Teilgebiet des Gewerbegebiets der 60-minütige Niederschlag ermittelt werden. Entsprechend Tabelle 7-4 beläuft sich der prozentuale Anteil der Einleitungsmenge je nach Ereignis auf 0,6 bis 1 % vom Abfluss des Urbachs an der Einleitungsstelle. Aus diesem Grund ist der Einfluss der Einleitung auf die Abflussmengen im Urbach als untergeordnet einzuschätzen.

Neben den genannten Gewerbegebieten ist auch eine Erweiterung des GVZ um 10,5 ha geplant, die modellseitig mit der entsprechenden Nutzungsbelegung (und Versiegelung) berücksichtigt wurde. Die berechnete Abflussmenge aus dem Teilgebiet bildet den Zustand mit der GVZ-Erweiterung ab, was demzufolge auch in der Maßnahmenfestlegung Berücksichtigung findet. Um den Einfluss einer Veränderung der versiegelten Flächen im GVZ genau bewerten zu können, muss eine Modellsimulation für den Bestands- und Planzustand durchgeführt werden, was jedoch nicht im Rahmen des HWSK durchgeführt wurde.

Für die neu anzuschließende Fläche ist eine gedrosselte Einleitung über das bestehende Regenrückhaltebecken oder grundstücksbezogene Rückhaltungen geplant. Die genaue zukünftige Erschließung konnte mit der Übergabe durch die zuständige Behörde mit dem gegenwärtigen Stand noch nicht angegeben werden, daher wurde als „Worst Case“-Betrachtung von der Einleitung in den Linderbach ausgegangen. Da der Flächenanteil der Erweiterung ca. 5 % der Gesamtfläche des GVZ (ca. 218 ha) beträgt, wird der Einfluss der Flächenveränderung auf die Abflussmengen im Linderbach jedoch eher als gering eingeschätzt.

7.6 Hydraulische Leistungsfähigkeit der Bauwerke und des Gewässers

Die hydraulische Leistungsfähigkeit der Bauwerke wurde durch einen Vergleich der sich ergebenden Wasserspiegellagen der verschiedenen HQ_T-Szenarien mit den vorhandenen Brückenunterkanten ermittelt. Rechnerisch ergab sich somit an jeder Brücke ein positiver Wert, wenn in der Brücke ein entsprechender Freibord vorhanden ist. Negative Werte weisen darauf hin, dass mit dem Wasserstand der Brückenüberbau erreicht wird bzw. der Wasserspiegel höher steht, so dass ein Bauwerk als eingestaut bewertet werden kann.

Um das Verklausungsrisiko zu minimieren, wird bei Brückenbauwerken im Allgemeinen ein Freibord von 0,5 m empfohlen (i.d.R. für HQ_{100}). Für die Ermittlung des Freibords wurde bei Rohrdurchlässen die Scheitelhöhe des Rohres verwendet. Bei Bogenbrücken wurde die Höhe der Unterkante des Widerlagers angesetzt.

In der nachstehenden Tabelle sind die Verhältnisse an den Bauwerken für die Hochwasserereignisse HQ_{20}, HQ_{50}, HQ_{100} und HQ_{200} erfasst. Anlage 5 zeigt dazu die Lage der verschiedenen Bauwerke (bezogen auf die ID-Nummer der ersten Spalte der Tabelle 7-5).

Tabelle 7-5 Brückenstatus HQ_T-Berechnungen (rote Markierung (neg. Werte) = eingestaut)

ID		Bezeichung	km	vorh. Freibord [m]			
				HQ_{20}	HQ_{50}	HQ_{100}	HQ_{200}
1	Linderbach	Straßenbrücke zwischen Kerspleben und Kleinmölsen	1,820	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03
2		Füßgängerbrücke Kerspleben	2,970	0,22	0,17	0,14	0,12
3		Straßenbrücke Kerspleben, Kersplebener Chaussee L1055	3,170	0,16	-0,02	-0,12	-0,27
4		Straßenbrücke Kerspleben, Zum Sulzenberg	3,460	-0,21	-0,35	-0,42	-0,54
5		Straßenbrücke Große Herrengasse	3,990	0,35	0,31	0,30	0,26
6		Straßenbrücke Azmannsdorf, Zur Marke	5,730	0,72	0,44	0,38	0,25
7		Eisenbahnbrücke zwischen Linderbach und Azmannsdorf	6,570	hydraulisch nicht relevant			
8		Straßenbrücke Linderbach, Im Ziegelgarten	7,020	-0,03	-0,21	-0,36	-0,56
9		Straßenbrücke B7 Linderbach	7,340	2,48	2,28	2,10	1,84
10	Urbach	Brücke zwischen Urbich und Linderbach	8,370	-0,08	-0,13	-0,15	-0,18
11		Rohrdurchlass Urbich, über den Krautländern	8,980	-1,02	-1,06	-1,09	-1,14
12		Fußgängerbrücke Urbich, Am Urbach	9,150	0,56	0,43	0,35	0,18
13		Straßenbrücke Urbich, Zur Schleuse	9,280	-0,24	-0,33	-0,37	-0,44
14		Straßenbrücke Urbich, Rudolstädter Straße (K40)	9,510	0,20	-0,01	-0,15	-0,51
15		Brücke (Zufahrt) Urbich, Rudolstädter Straße (K40)	9,620	0,04	-0,05	-0,12	-0,33
16		Brücke (Zufahrt, kaputter Steg Urbich, Straße Am Bach)	9,690	-0,29	-0,36	-0,40	-0,49
17	Peterbach	Furtbrücke Linderbach, Weimarische Straße	0,030	-1,30	-1,43	-1,54	-1,72
18		Steg Büßleben nähe Sportplatz	1,540	1,06	0,90	0,76	0,55
19		Straßenbrücke Büßleben, Zur Trolle	1,970	-0,69	-0,79	-0,86	-0,94
20		Fußgängerbrücke Büßleben, Linderbacher Str. (K42)	2,090	0,48	0,35	0,26	0,12
21		Straßenbrücke Büßleben K42	2,160	1,54	1,37	1,24	1,06
22		Straßenbrücke Büßleben	2,308	0,76	0,56	0,39	0,16
23		Straßenbrücke Büßleben	2,540	1,23	1,06	0,92	0,73
24		Fußgängerbrücke Büßleben, Str.der Einheit	2,690	0,91	0,76	0,65	0,51
25		Steg bei Rohda, Am Peterbach	4,910	1,01	0,81	0,68	0,52

ID		Bezeichung	km	vorh. Freibord [m]			
				HQ_{20}	HQ_{50}	HQ_{100}	HQ_{200}
26		Durchlass Straße K41	5,680	-0,19	-0,32	-0,42	-0,55
27	Pfingstbach	Wegebrücke Niedernissa nähe Kirche "Zur Himmelspforte"	0,580	-0,21	-0,32	-0,39	-0,66
28		Brücke(Zufahrt) Niedernissa, Straße Am Pfingstbach	0,770	0,20	0,13	0,07	-0,09
29		Brücke(Zufahrt) Niedernissa, Straße Am Pfingstbach	0,800	0,15	0,11	0,04	-0,11
30		Brücke (Zufahrt) Niedernissa, Straße Am Pfingstbach	0,820	0,18	0,14	0,06	-0,07
31		Verdolung Niedernissa, Straße Am Pfingstbach	0,870	0,09	0,01	-0,09	-0,24
32		Straßenbrücke Niedernissa, Straße Am Pfingstbach	0,960	0,07	0,02	0,00	-0,04
33		Verdolung Niedernissa, Kreuzung Am Pfingstbach/Über dem Dorfe	1,020	-0,16	-0,16	-0,27	-0,39
34		Brücke Niedernissa, Straße Am Pfingstbach	1,105	-0,37	-0,45	-0,53	-0,62
35		Steg Niedernissa, Straße Am Pfingsbach	1,130	0,28	0,19	0,05	-0,16
36		Brücke Niedernissa, Straße Am Pfingstbach	1,150	0,18	0,02	-0,08	-0,22
37		Straßenbrücke Niedernissa L1052	1,230	0,73	0,64	0,57	0,46
38		Verdolung Niedernissa nähe L1052	1,290	0,36	0,23	0,13	-0,05
39		Rohrdurchlass Suhlequelle und Niedernissa	2,590	0,40	0,27	0,19	0,03
40		Straßenbrücke nähe Suhlequelle Schellrodaer Straße	3,400	1,48	1,41	1,36	1,26

Entsprechend der dargestellten Freibordverhältnisse gibt es im Bearbeitungsgebiet mehrere Bauwerke, die bereits ab einem HQ_{20} Abfluss eingestaut werden. Am Peterbach stellen die Durchlässe der Straße K41 (oberhalb von Rohda), die Brücke „Zur Trolle“ Büßleben und die Furtbrücke in Linderbach im Hochwasserfall besondere Abflusshindernisse dar. Alle weiteren Brücken besitzen auch beim HQ_{200}-Berechnungsszenario einen ausreichenden Freibord.

Am Pfingstbach wird der Durchlass an der Brücke Niedernissa nah der Kirche "Zur Himmelspforte“ (ID 27) sowie eine Verdolung und eine Brücke in Niedernissa (ID 33 und 34) bereits ab HQ_{20} eingestaut. Für den Berechnungszustand HQ_{100} weisen die meisten Brücken in Niedernissa nur noch einen geringen Freibord (< 10 cm) auf oder sind eingestaut.

Am Urbach sind ebenso die meisten Durchlässe und Brücken ab HQ_{20} eingestaut. Besondere Hindernisse stellen dabei die Durchlässe „Über den Krautländern“ (ID 11) und Zur Schleuse (ID 13) dar, die durch die Lage im Siedlungsbereich von Urbich durch die Abflussbehinderung große Schäden verursachen können. Bei HQ_{100} werden am Urbach bis auf die Fußgängerbrücke Urbich alle Bauwerke eingestaut.

Am Linderbach weisen die Straßenbrücke „Im Ziegelgarten“ (ID 8) und Straßenbrücke „Zum Sulzenberg“ (ID 4) bereits ab HQ_{20} keinen Freibord mehr auf. Bei der Straßenbrücke zwischen Kerspleben und Kleinmölsen fällt auf, dass sich die Wasserspiegellagen der Szenarien HQ_{20} bis HQ_{200} lediglich um 2 cm unterscheiden. Hier kommt es stromoberhalb der Brücke zu einer starken Überströmung in das rechte Vorland, wodurch die größeren Abflussmengen der seltenen Ereignisse über den Vorlandbereich abfließen,

da die hydraulische Leistungsfähigkeit des Gerinnes bereits überschritten wird. Die Wasserspiegeldifferenzen sind dabei im Vorlandbereich zu erkennen, wobei diese aufgrund der breitflächigen Ausbreitungen auch nur um wenige Zentimeter differieren.

Die Leistungsfähigkeit des Gerinnes kann anhand der Berechnung der verschiedenen HQ_T-Szenarien bewertet werden. Sie wurde so bewertet, dass ein Abfluss der Mengen über das Gerinne ohne Ausuferungen in die Vorlandbereiche stattfindet. Insbesondere im Oberlauf des Peter- und Pfingstbaches war diese Bewertung schwierig, da hier zum Teil kein richtiges Gerinne ausgeprägt ist. Die folgende Tabelle 7-6 zeigt die Ergebnisse für die einzelnen Gewässerabschnitte.

Tabelle 7-6 Hydraulische Leistungsfähigkeit der Gewässerabschnitte

	von km	**bis km**	**Beschreibung Gewässerabschnitt**	**hydraulische Leistungsfähigkeit [m³/s]**	
				m³/s	**HQ_T**
Linderbach	0+900	2+000	Stadtgrenze bis Töttleben	< 15,9	< HQ_{20}
	2+000	3+000	Töttleben bis Kerspleben Nord	< 13,7	< HQ_{20}
	3+000	4+000	Ortslage Kerspleben	< 13,4	< HQ_{20}
	4+000	5+000	Kerspleben Süd bis Azmannsdorf Nord	< 12,4	< HQ_{20}
	5+000	6+000	Ortslage Azmannsdorf	12,4	HQ_{20}
	6+000	7+000	Azmannsdorf bis Linderbach	11,8	HQ_{20}
	7+000	7+600	Ortslage Linderbach	15,9	HQ_{50}
Urbach	7+600	8+000	Ortslage Linderbach, stromauf Richtung Urbich	< 6,6	< HQ_{20}
	8+000	9+000	Ackerflächen zwischen Linderbach und Urbich	6,6	HQ_{20}
	9+000	10+000	Ortslage Urbich	< 5,9	< HQ_{20}
	10+000	10+400	Ortslage Urbich bis Urbicher Kreuz	5,3	HQ_{200}
Peterbach	0+000	1+000	Ortslage Linderbach bis unterhalb Sportplatz Büßleben	9,7	HQ_{50}
	1+000	2+000	Büßleben Nord	8,5	HQ_{50}
	2+000	3+000	Büßleben Süd	10,2	HQ_{100}
	3+000	4+000	Abschnitt zwischen Büßleben und Rohda	12,6	HQ_{200}
	4+000	5+000	Rohda	11,4	HQ_{200}
	5+000	6+000	Abschnitt östlich Rohda	< 5,2	< HQ_{20}
	6+000	6+900	Am Strohberg	8,7	HQ_{200}
Pfingst-bach	0+000	1+000	Ortslage Niedernissa	3,4	HQ_{50}
	1+000	2+000	Niedernissa bis Hahnberg	3,1	HQ_{50}
	2+000	3+500	Hahnberg bis Suhlequelle	3,0	HQ_{50}

Anhand der Tabelle lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen: Die hydraulische Leistungsfähigkeit des Pfingstbaches entspricht auf der gesamten Gewässerstrecke ca. einem HQ_{50}-Abfluss. Ab HQ_{100} kommt es lokal zu einem Übertritt des Wassers über die Uferkanten. Am Pfingstbach ist dies besonders für den Ort Niedernissa von Bedeutung.

Der Peterbach besitzt im Oberlauf oberhalb von Rohda eine sehr hohe Leistungsfähigkeit. Hier ist teilweise kein richtiges Gerinne erkennbar, jedoch gibt es weit eingeschnittene Bereiche, in denen das Wasser schadlos abfließen kann. Für den Abschnitt östlich von Rohda wurde der schadlose Abfluss < HQ_{20} bewertet, da das Wasser lokal über eine Uferseite austritt. Allerdings hat dies keine schadhafte Wirkung auf Siedlungsbereiche oder ähnliches zur Folge. In Büßleben ist ein schadloser Abfluss bis HQ_{50} möglich. Ab HQ_{100} tritt das Wasser im nördlichen Teil der Ortslage über die Uferkante, wodurch teilweise Gebäude randseitig betroffen sind.

In Urbich beläuft sich die hydraulische Leistungsfähigkeit des Gerinnes auf Abflussereignisse kleiner HQ_{20}. Hier besitzt insbesondere der Bachlauf oberhalb der Rudolstädter Straße „Am Bach“ ein zu kleines Gerinne, um große Abflussmengen ohne Ausuferungen abfließen zu lassen. Im Bereich der Ackerflächen oberhalb der Ortslage Linderbach tritt das Wasser bereits ab HQ_{20} über die linke Uferkante und überflutet die angrenzenden Bereiche.

Im südlichen Teil der Ortslage Linderbach (Bereich vom Zusammenfluss des Peter- und Urbachs) bis zur Querung der Brücke Weimarische Straße kommt es erst ab HQ_{200} zu einem Übertritt des Wassers über die Uferkante. Unterhalb der Weimarischen Straße (km 7+300) weist das Gerinne jedoch eine geringere hydraulische Leistungsfähigkeit auf (HQ_{50}). In Bereich der Ortslage Linderbach beeinflusst insbesondere die vorhandene Einengung an der Furt „Im Großen Garten“ (ca. km 6+900) den Abfluss signifikant, wodurch hier das Wasser bereits bei Ereignissen größer HQ_{20} über die Uferkante tritt. Stromunterhalb kann der Linderbach ein HQ_{20}-Ereignis nicht schadlos abführen. Hier wurden auch in der Vergangenheit häufig große Ausdehnungen der Überflutungen in die flachen Vorländer beobachtet.

7.7 Interaktion zur Gramme (Gewässer II. Ordnung)

Gemäß der Einteilung der Oberflächengewässer im Thüringer Wassergesetz (ThürWG) entsprechend ihrer wasserwirtschaftlichen Bedeutung wird der Linderbach mit seinen Nebengewässern Pfingstbach, Peterbach und Urbach zu den Gewässern II. Ordnung zugeordnet. Etwa 0,95 km unterhalb von der Stadtgrenze bei Kleinmölsen mündet der Linderbach in die Gramme, die ebenfalls ein Gewässer II. Ordnung darstellt. Nach einer weiteren Fließstrecke von ca. 22,7 km mündet diese in die Unstrut (Gewässer I. Ordnung).

Für die Ermittlung der Randbedingung am unteren Modellrand mussten eventuelle Rückstaueffekte aus der Gramme auf die Abflussverhältnisse im Linderbach näher betrachtet werden. Für die Gramme gibt es ein festgesetztes Überschwemmungsgebiet. Die folgende Abbildung 7-21 zeigt einen Ausschnitt des Überschwemmungsgebietes der Gramme für den Mündungsbereich des Linderbachs.

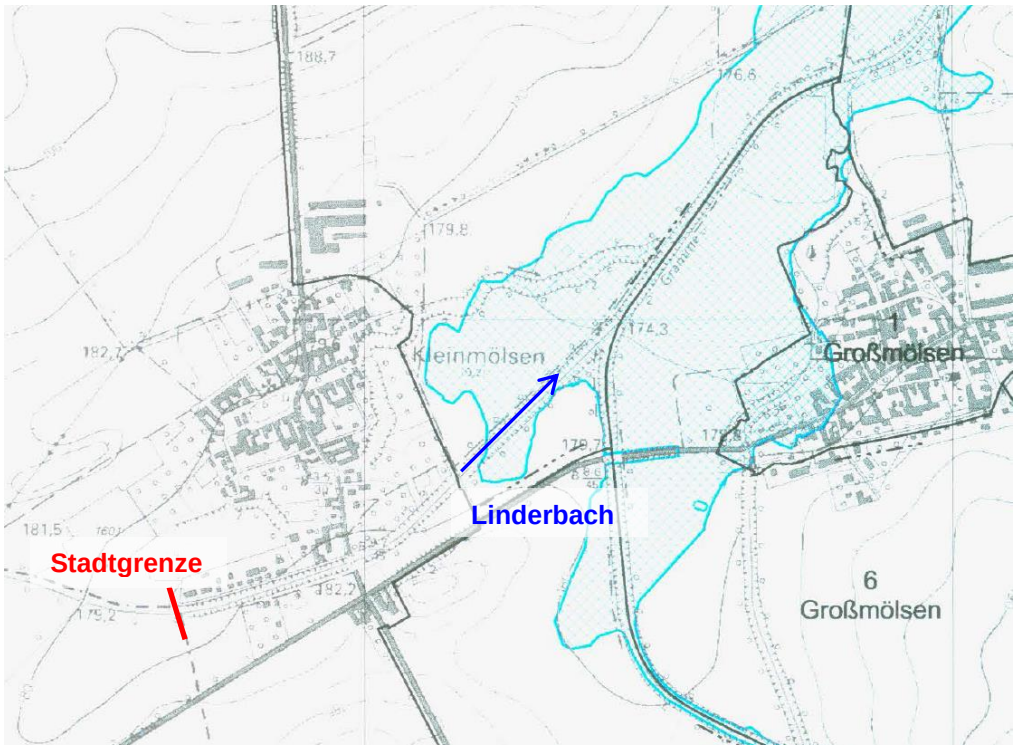


Abbildung 7-21 Festgesetztes Überschwemmungsgebiet Gramme HQ_{100} [27]

Die Darstellung zeigt, dass die Überschwemmungsgebietsgrenze HQ_{100} der Gramme östlich von Kleinmölsen verläuft. Die aktuelle Bearbeitungsstrecke des Linderbachs endet an der Stadtgrenze oberhalb von Kleinmölsen (siehe rote Grenze). Aufgrund der Entfernung zum Überschwemmungsgebiet der Gramme konnte bei der vorliegenden Bearbeitung davon ausgegangen werden, dass die Wasserspiegellagen im Linderbach bis zur Stadtgrenze nicht durch ein Rückstau aus der Gramme beeinflusst werden. Für die HQ_T-Berechnungen wurde daher ein Energieliniengefälle als untere Randbedingung an der Stadtgrenze angenommen.

7.8 Bewertung von Prozessen beim Hochwasserabfluss

Anhand der übergebenen Unterlagen, von Informationen der Anwohner und der hydraulischen Modellierung lässt sich für die Prozesse beim Hochwasserabfluss im Einzugsgebiet Folgendes zusammenfassen: Aufgrund der steilen Hänge und des hohen Sohlgefälles im Oberlauf der Teileinzugsgebiete des Peter- und Pfingstbachs kommt es zu einer schnellen Abflusskonzentration des Niederschlagswassers. Hier ergeben sich im Gerinne durchschnittliche Fließgeschwindigkeiten von 1 bis 2 m/s. Lokal sind auch Fließgeschwindigkeiten von bis zu 3 m/s möglich. Der Oberlauf der Gewässer ist überwiegend natürlich bewachsen. Der Peter- und Pfingstbach weisen dabei zum Teil keine eindeutig erkennbare Gerinnestruktur auf, wodurch sich bei erhöhter Wasserführung eine große Flächenausbreitung in die Vorlandbereiche ergibt. Da es in diesen Gewässerabschnitten einen starken Ufer- und Vorlandbewuchs gibt, können sich bei erhöhter Wasserführung Äste lösen und mitgeführt werden (Abbildung 7-22, Foto 1). Aus diesem Grund ist

für die Brücken und Durchlässe am Peterbach eine hohe Gefahr für Verklausungen durch angespülte Äste oder größere Gehölzstücke gegeben. Auch zwischen Büßleben und der Ortslage Linderbach gibt es stark bewachsene Böschungsbereiche, wodurch das Risiko für Verklausungen auch für die Brücken in Linderbach gilt.

1: Gehölz oberhalb von Büßleben

2: Böschungserosion

Abbildung 7-22 Peterbach, Oberlauf

Aus den abgelaufenen Hochwasserereignissen und der Freibordauswertung ergibt sich für folgende Bauwerke im Bearbeitungsgebiet eine starke Verklausungsgefahr:

- Brücke „Zur Trolle“ (zu kleiner Abflussquerschnitt)
- Brücke „Am Ziegelgarten“ (ungünstiger Anstromwinkel, Gerinneknick)
- Furtbrücke Linderbach (zu kleiner Abflussquerschnitt)

Die Gewässersohle im Bearbeitungsgebiet ist überwiegend von lehmigen Sedimenten gekennzeichnet. Abschnittsweise gibt es auch gröbere Steine und Geröll im Gerinne. Aufgrund der hohen Fließgeschwindigkeiten und überwiegend kleinen Korngrößen der Sohlmaterialien kann es vor allem im Oberlauf beim Durchgang von Hochwasserereignissen zu einer erhöhten Sohlenerosion und in Bereichen mit höheren Fließgeschwindigkeiten zu einem Geschiebetransport kommen. Darauf weisen auch einzelne Beobachtungen aus der Gebietsbegehung hin. An mehreren Flussabschnitten konnten Erosionen und Ausspülungen der Böschungsbereiche erkannt werden (siehe Abbildung 7-22, Foto 2). Für den Fall einer erhöhten Wasserführung sind daher auch Uferabbrüche möglich.

7.9 Gefährdungs- und Schadenspotential

Das Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Schadenspotentiale wurde in Anlehnung an das Verfahren gewählt, welches von der IKSR im Rahmen des Rheinatlas 2001 definiert und durch die Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen auf die Verhältnisse in Sachsen (Hochwasserschutzkonzept Elbe) angepasst wurde. Die gleiche Vorgehensweise wird ebenfalls durch den Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt für die Erstellung von Hochwasserschutzplänen angewandt und ist in der „Richtlinie zur Erarbeitung von Hochwasserschutzplänen“ [22] dokumentiert. In Thüringen wurden die Schadensfunktionen bereits bei verschiedenen HWSK sowie für das HWSK Weiße Elster [23] angewendet.

Die Ermittlung der Schadenspotentiale erfolgt auf Grundlage von Nutzungen und vorgegebenen spezifischen Vermögenswerten. Durch Einbeziehung der Wassertiefen je Nutzungsfläche kann mit Hilfe von Schadensfunktionen der Schaden in Abhängigkeit der Überflutungshöhe bestimmt werden.

Die Richtlinie berücksichtigt 8 verschiedene Nutzungsklassen. Die Objektarten des vorliegenden Landnutzungsshapes wurden entsprechend ihrer Objektart zu den Nutzungsklassen der nachstehenden Tabelle zugeordnet. Die Tabelle zeigt die spezifischen Vermögenswerte, die bei der Berechnung der Schadenspotentiale in Ansatz gebracht wurden.

Tabelle 7-7 Spezifische Vermögenswerte der Nutzungsklassen in EURO/m² (nach LfUG*) [22]

Nr.	Nutzungsklassen	IMMOBIL	MOBIL	PKW
1	Siedlungsflächen	259	42	13,6
2	Industrie- und Gewerbeflächen	207	72	
3	Verkehrsflächen	200	2	
4	Grün-, Sport- und Freizeitflächen (GSF)	0	0,2	
5	Acker-, Garten-, Weinbau	0	0,4	
6	Grünland	0	0,2	
7	Wald- und Forstflächen	0	1	
8	Sonstige	0	0	

* *Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2005): Hochwasser in Sachsen - Gefahrenhinweiskarten. Dresden.*

Die Flächennutzungen wurden als Polygone erfasst. Für das betrachtete Hochwasserereignis erfolgte die Zuweisung einer mittleren Wassertiefe für jede betroffene Fläche bzw. Teilfläche. Anschließend wurde mit einer nutzungsspezifischen Schadensfunktion für jede Teilfläche ein Schadenspotential ermittelt.

Mit den Schadensfunktionen werden die Schadenspotentiale in €/m² berechnet, abhängig von der Nutzung der Teilfläche, der mittleren Wassertiefe, der Flächengröße und den spezifischen Vermögenswerten. Der verwendete Ansatz zur Schadenspotentialermittlung bezieht sich ausschließlich auf die Wassertiefe und berücksichtigt nicht die dabei auftretenden Fließgeschwindigkeiten. Folgende Schadensfunktionen wurden gemäß der Richtlinie in Ansatz gebracht:

Tabelle 7-8 Schadensfunktionen mit Berücksichtigung der Überflutungshöhen

Schadensfunktionstyp (SF)	Schadensfunktion (SF)		
	immobil	**mobil**	**PKW**
SF Siedlungsflächen	Y = 2*x²+2x; max Y = 100	Y = 11,4*x+12,625	Y = 16x-4; für x < 0,25 m: Y=0 für x >1,5 m: Y = 20
SF Industrie- und Gewerbeflächen	Y = 2*x²+2x; max Y = 100	Y = 7*x+5	Y = 0
SF Verkehrsflächen	Y = 10x; ab 1: Y = 10	Y = 10x; für x > 1: Y = 10	Y = 0
SF Acker-, Garten- und Weinbau	Y = 0	Y = 50	Y = 0
SF Grünland	Y = 0	Y = 10	Y = 0
SF Wald- und Forstflächen	Y = 0	Y = 5x; für x > 1 : Y = 5	Y = 0
SF GSF	Y = 0	Y = 10	Y = 0
Sonstige	Y = 0	Y = 0	Y = 0

Dabei sind x = Überflutungshöhe (mittlere Wassertiefe [m]) und Y = Schädigungsgrad in [%].

Das Schadenspotential S in € errechnet sich:

$$S = \frac{Y}{100} \cdot A \cdot V$$

mit den Parametern:

S ... Schadenspotential [€]

Y ... Schädigungsgrad [%]

A ... Teilfläche einer Nutzung im ÜG [m²]

V ... Nutzungsspezifischer Vermögenswert in [€/m^2]

Als Resultat einer GIS-basierenden Berechnung werden auf Basis der Nutzungsklasse und Wassertiefe in der Attributtabelle für jedes Objekt (vom Hochwasser betroffene Nutzungsfläche) die immobilen, mobilen und PKW- Schäden sowie Summen der Vermögens- und Schadenswerte wiedergegeben.

In der Anlage 6 sind die Ergebnisse der Schadenspotentialermittlung dokumentiert. Die Farblegende zeigt das Schadenspotential nach dem Vermögensschaden bei dem entsprechenden Hochwasser in Euro pro Quadratmeter, wobei die Schäden der Gewerbe- und Siedlungsflächen je nach Schadenshöhe pro Quadratmeter abgestuft dargestellt werden. Für Land- und Forstwirtschaft und sonstige Flächen werden die

Schadenspotentiale in der Darstellung nicht unterschieden. Die Legende wurde entsprechend der Layoutbeschreibung der Gefahrenhinweiskarten für das Land Sachsen gewählt [24].

Es wird darauf hingewiesen, dass die erstellten Schadenspotentiale sehr stark von der Qualität, Genauigkeit und Aktualität der Eingangsdaten abhängen. Hierbei sollte für jede Fläche eine Objektart angegeben sein, die eine korrekte Zuordnung zu den Nutzungsklassen ermöglicht. Weiterhin erhöht eine starke Differenzierung der Landnutzung die Genauigkeit der Ergebnisse. Da die Landnutzungen im Rahmen der vorliegenden Bearbeitung anhand von Luftbildaufnahmen digitalisiert wurden, liegt eine gute Genauigkeit vor.

Durch die Überlagerung der betroffenen Flächen mit den Schadensgraden ergeben sich die Schadenssummen, die sich für die Bemessungsdurchflüsse HQ_{20}, HQ_{50}, HQ_{100} und HQ_{200} wie folgt auswerten lassen.

Tabelle 7-9 Potentielle Schäden nach Landnutzungsklasse

Nutzungsklasse	**Monetäre Bewertung [€]**			
	HQ_{20}	**HQ_{50}**	**HQ_{100}**	**HQ_{200}**
Ackerland	114.062	144.965	173.965	198.979
Siedlung	318.162	615.318	1.031.091	1.627.351
Industrie	787	1.002	1.235	1.602
Verkehrswege	1.054	1.646	2.832	25.002
Grünland	3.032	3.527	4.281	5.207
Wald	47	76	124	199
Summe:	**437.144**	**766.534**	**1.213.528**	**1.858.340**

Tabelle 7-10 Potentielle Schäden nach Ortsbereichen

Ortsbereich	**Monetäre Bewertung [€]**			
	HQ_{20}	**HQ_{50}**	**HQ_{100}**	**HQ_{200}**
Azmannsdorf	-	877	2.828	137.923
Büßleben	8.400	17.202	23.537	51.119
Kerspleben	138.993	335.643	524.993	663.577
Linderbach	14.732	53.104	241.916	425.173
Niedernissa	185	1.019	5.869	19.580
Töttleben	54.274	62.202	68.078	92.450
Urbich	78.075	102.805	116.471	176.562
außerhalb direkter Ortsbereiche	142.485	193.682	229.836	291.956
Summe:	**437.144**	**766.534**	**1.213.528**	**1.858.340**

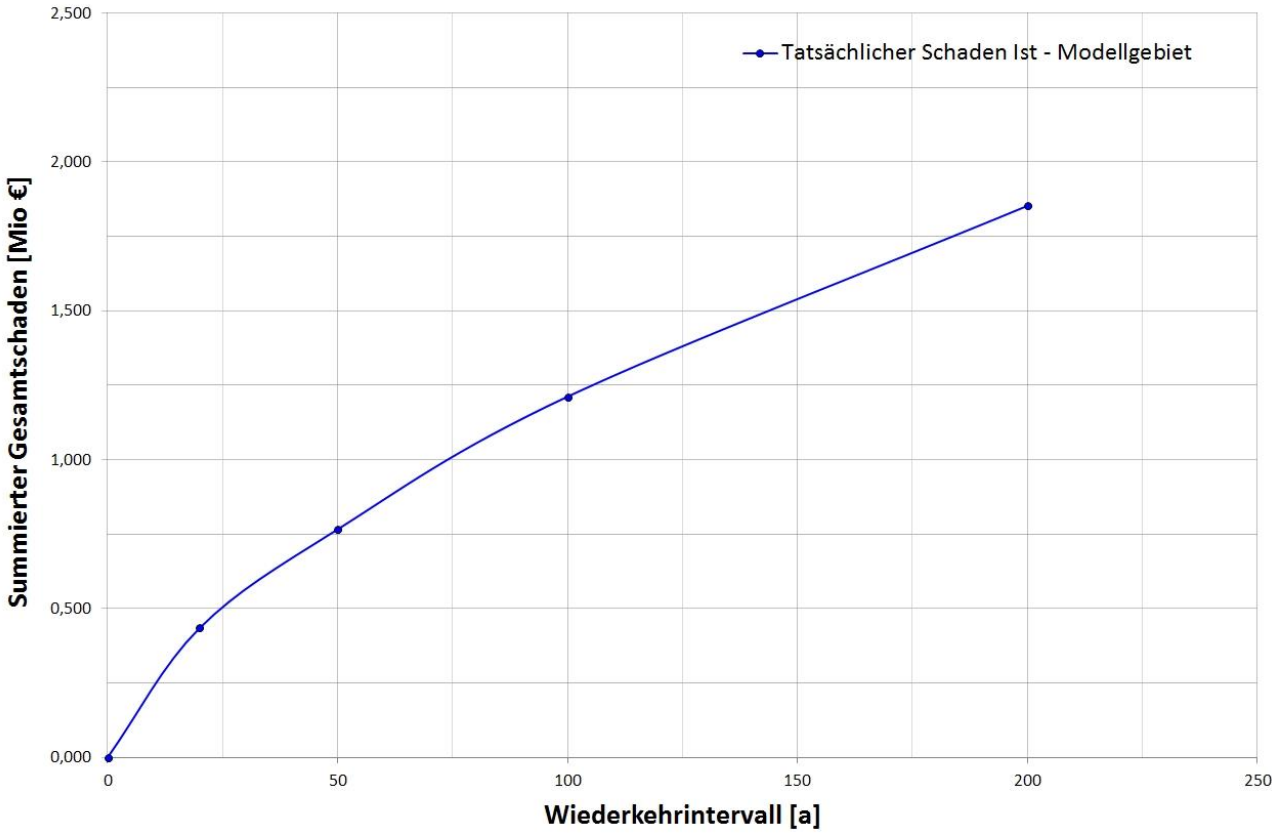


Abbildung 7-23 Schadensentwicklung in Abhängigkeit des Wiederkehrintervalls HQ_T

Bei einem häufigen Hochwasserereignis mit einem Wiederkehrintervall von 20 Jahren sind für das gesamte Bearbeitungsgebiet potentielle Schäden von rund 438.000 Euro zu erwarten. Beim HQ_{100} beträgt der Schaden insgesamt bis zu 1,25 Mio. Euro. Beim Extremereignis (HQ_{200}) steigt der berechnete Gesamtschaden auf bis zu 1,9 Mio. Euro an.

Die höchsten Schadenspotentiale werden bei Siedlungs- und Ackerflächen erreicht. Den größten prozentualen Anteil am Gesamtschaden weisen dabei Siedlungsflächen auf (HQ_{20}: 73 %, HQ_{200}: 88%).

Potentiell betroffene Einwohner:

Die Ermittlung potentiell betroffener Personen erfolgte über eine Verschneidung der Überschwemmungsflächen mit den im betrachteten Gebiet lebenden/gemeldeten Personen (über die Einwohnerdichte, verortet auf die Wohnbaufläche), so dass die Anzahl der Personen berechnet werden konnte. Bei dem verwendeten Verfahren wurde entsprechend der Vorgehensweise nach LAWA [25] von einer Gleichverteilung der Einwohner der Gemeinde auf die Siedlungsfläche ausgegangen. Für die Ermittlung wurde die Einwohnerstatistik der Stadt Erfurt mit Stand vom 31.12.2014 verwendet.

Für das Gebiet ergeben sich für jede Gemeinde die in Tabelle 7-11 zusammengefassten maximal potentiell betroffenen Einwohner. Die angegebenen potentiell betroffenen Einwohner (PBE) wurden auf die nächste

Zehnerstelle aufgerundet, wodurch es rechnerisch zu mehr PBE als tatsächlichen Einwohnern kommen kann.

Tabelle 7-11 Potentiell betroffene Einwohner

Ortsbereich	Potentiell betroffene Einwohner (PBE)			
	HQ_{20}	HQ_{50}	HQ_{100}	HQ_{200}
Azmannsdorf	0	0	0	10
Büßleben	0	5	5	10
Kerspleben	5	10	10	10
Linderbach	0	5	10	20
Niedernissa	0	0	5	5
Töttleben	5	5	5	10
Urbich	10	10	10	20

Das höchste Risikopotential, bezogen auf die Gesamtbevölkerungszahl, besteht für die Ortslage Linderbach. Insbesondere in Azmannsdorf sind bis einschließlich HQ_{100} keine Einwohner betroffen. Insgesamt ist deutlich zu sehen, dass die Risikopotentiale bei einem seltener werdenden Ereignis in den meisten Ortslagen nur gering ansteigen.

Allerdings ist an dieser Stelle darauf zu verweisen, dass diese Auswertung nur bedingt die tatsächliche Hochwasserbetroffenheit dokumentieren kann. Die angewandte Methodik zur Errechnung der betroffenen Einwohner kann unter anderem folgende Aspekte nicht ausreichend würdigen, die aber letztendlich in nicht unerheblichem Maße auf die tatsächlichen Auswirkungen auf die Bevölkerung Einfluss haben:

- keine Differenzierung der Wohnbebauung (Einfamilien- oder Mehrfamilien, ein- oder mehrstöckig etc.)
- keine Berücksichtigung indirekter Betroffenheit (z.B. Arbeitsplatzverlust oder Verlust der Einkommensgrundlage durch Folgen der Hochwasserereignisse bei wirtschaftlicher Tätigkeit)
- schnelllebige Änderung der Verhältnisse (Erhebungsstand der Einwohner, Bestand der Nutzungsinformationen ebenfalls veränderlich durch teilweise intensive Neubautätigkeit an den Gewässern trotz ausgewiesener Überschwemmungsgebiete etc.)
- keine Berücksichtigung, ob die Bewohner tatsächlich beim / nach dem Hochwasser anwesend sind

Neben der direkten Gefahr für Leib und Leben sowie Krankheiten durch den Kontakt mit stark verunreinigtem Wasser können auch Stress durch die Evakuierung oder die Sorge um finanzielle Aspekte als Ursache für Folgeerkrankungen wie beispielsweise Herzinfarkte, Frühgeburten oder lang anhaltende Depressionen auftreten. Dies wird dann jedoch bereits nicht mehr ursächlich mit dem Hochwasser in

Verbindung gebracht und auch Anwohner betreffen, die nicht innerhalb der ermittelten Überschwemmungsbereiche leben, d.h. die Auswirkungen können theoretisch deutlich größer ausfallen.

7.10 Festlegung des Schutzgrades

Maßgebend für den anzustrebenden Schutzgrad der jeweiligen betroffenen Nutzungsart und dem damit verbundenen Schadenspotential ist das statistische Wiederkehrintervall.

Nach der DIN 19712 [26] werden folgende in der Tabelle 7-12 zusammengestellte allgemeine Kriterien empfohlen:

Tabelle 7-12 Zuordnung von Objektkategorien zum Schutzgrad (nach [26])

Objektkategorie	Schadenspotential	Schutzgrad (maßgebendes mittleres statistisches Wiederkehrintervall)
Geschlossene Siedlungen	hoch	HQ_{100} ggf. auch höher
Industrieanlagen	hoch	HQ_{100} ggf. auch höher
Überregionale Infrastrukturanlagen	hoch	etwa HQ_{50} bis HQ_{100}
Einzelgebäude	mittel	etwa HQ_{25}
Regionale Infrastrukturanlagen	mittel	etwa HQ_{25}
Landwirtschaftlich genutzte Flächen	gering	bis HQ_5
Naturlandschaften	gering	kein

Ein Schutzgrad von mindestens HQ_{100} ist vor allem in den Gewässerabschnitten notwendig, die an oder durch bebaute Gebiete verlaufen. Für Wiesen-, Weide- und Waldflächen ist kein Schutzgrad erforderlich.

7.11 Ableitung differenzierter Schutzziele

Entlang des Linderbachs und seiner Nebengewässer ergeben sich bei der Berechnungsvariante HQ_{100} Überschwemmungen mit einem deutlichen Gefährdungspotential für die verschiedenen Ortslagen. Gemeinsam mit dem AG wurde daher im ersten Schritt als Schutzziel für die betroffenen Siedlungsbereiche im Bearbeitungsgebiet das allgemein gültige Bemessungshochwasser HQ_{100} in Ansatz gebracht.

Insbesondere am Peterbach ergibt sich die spezielle Situation, dass beim Hochwasserereignis 2014 eine deutlich größere Ausbreitung beobachtet wurde, als die HQ_{100}-Anschlaglinie abbildet. Dadurch ergibt sich für das übliche Schutzziel HQ_{100} (und auch HQ_{200}) in den Ortslagen Büßleben und Linderbach nur ein geringer Handlungsbedarf, da kaum Gebäude vom Hochwasser betroffen sind. Wie das Hochwasserereignis aus dem Jahr 2013 zeigt, wird eine ähnliche Gefährdung durch Starkniederschlagsereignisse auch für das Teileinzugsgebiet des Pfingstbachs und damit für die Ortslage Niedernissa abgeschätzt.

Um am Pfingstbach und Peterbach einen ausreichenden Hochwasserschutz zu entwickeln wurde daher in Abstimmung mit dem AG zusätzlich für beide Gewässerabschnitte das Schutzziel „Schutz vor Starkniederschlägen“ definiert.

Um eine Verhältnismäßigkeit der Maßnahmenentwicklung aus fachlicher Sicht zu gewährleisten, erfolgte die Maßnahmenplanung für das Bearbeitungsgebiet in 2 Teilschritten. Dabei ergaben sich für Maßnahmenplanung des Hochwasserschutzkonzeptes folgende Ziele:

1. Ermittlung von Maßnahmen und einer Vorzugsvariante für HQ_{100}

- Schutz besiedelter Bereiche vor HQ_{100} (allgemein gültig)
- Schaffung von Retentionsmöglichkeiten zum Wasserrückhalt in der Fläche
- Beachtung der Zielstellung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) – keine Verschlechterung des ökologischen Zustands
- Fokus der Maßnahmenentwicklung nicht nur auf technische Maßnahmen, sondern auch auf Vorsorgemaßnahmen

2. Untersuchung der Maßnahmen zum Schutz vor Starkniederschlägen

- aufbauend auf die Vorzugsvariante für HQ_{100}
- Untersuchung der Möglichkeit eines Rückhalts des Hochwasserereignisses im oberen Teil des Einzugsgebietes (Analyse vorhandener Volumina und potentieller Wirkung auf die Hochwasserganglinie)

Im ersten Schritt wurde die Vorzugsvariante für das grundsätzlich gültige Schutzziel HQ_{100} ermittelt. Im zweiten Schritt wurde die Vorzugsvariante zusätzlich mit Maßnahmen gegen Starkniederschlagsereignisse ergänzt. Für den Schutz vor Starkniederschlägen am Peterbach und Pfingstbach war damit zusätzlich zur Maßnahmenentwicklung für HQ_{100} die Dimensionierung von Hochwasserrückhalten im Oberlauf der Gewässer vorgesehen. Da die Dimensionierung der Rückhalte im Schritt 2 auf den entwickelten Maßnahmen zum Schutz vor HQ_{100} aufbaut, werden **die im ersten Schritt ermittelten Maßnahmen auch ohne Umsetzung der Maßnahmen zum Schutz vor Starkniederschlagsereignissen wirksam.**

Für den Hochwasserabfluss unterhalb des Zusammenflusses des Peterbachs und Urbachs sind die lokal begrenzten konvektiven Starkniederschläge im oberen Teil des Einzugsgebietes dem HQ_{100} unterzuordnen. Hier kann das allgemein übliche HQ_{100}-Ereignis für die Maßnahmenplanung angesetzt werden, da es eine größere Flächenausbreitung aufweist.

Im Ergebnis der Auswertungen lassen sich die in Tabelle 7-13 aufgelisteten Hochwasserbrennpunkte aus dem Flusshochwasser identifizieren. In der Tabelle wird neben dem rechnerisch ermittelten Schutzgrad für den gegenwärtigen Istzustand auch das anzustrebende Schutzziel angeben.

Tabelle 7-13 Identifizierter vorhandener Schutzgrad für den Istzustand

Brennpunkt	vorhandener Schutzgrad	Schutzziel
Büßleben – Zur Trolle	< HQ_{20}	HQ_{100} und Schutz vor Starkniederschlägen
Büßleben – Pappelstieg	HQ_{50}	HQ_{100} und Schutz vor Starkniederschlägen
Büßleben – weitere Teile der Ortslage	HQ_{100}	Schutz vor Starkniederschlägen
Niedernissa – Am Pfingstbach	HQ_{50}	HQ_{100} und Schutz vor Starkniederschlägen
Urbich – Am Bach	< HQ_{20}	HQ_{100}
Urbich – An der Kochschule	< HQ_{20}	HQ_{100}
Urbich – Über den Krautländern	< HQ_{20}	HQ_{100}
Linderbach – Weimarische Straße (mit Furtbrücke)	HQ_{100}	Schutz vor Starkniederschlägen
Linderbach – Zur Steinhohle, Am Bach, Im Großen Garten	HQ_{50}	HQ_{100}
Kerspleben – Alte Mittelgasse, Zum Sulzenberg	< HQ_{20}	HQ_{100}
Kerspleben – Brückenweg bis Am Goldacker	HQ_{20}	HQ_{100}
Töttleben – Wertsgasse bis Lange Gasse	< HQ_{20}	HQ_{100}

Neben den genannten Brennpunkten zeigte die hydraulische Berechnung, dass die Furtbrücke in Linderbach eine besondere Engstelle darstellt, an der die Gefährdung für Verklausungen sehr hoch ist. Aufgrund der angrenzenden bebauten Bereiche ergibt sich im Fall der Verklausung ein hohes potentielles Risiko für schadhafte Ausuferungen, daher wurde dieser Bereich zusätzlich als Brennpunkt in die Maßnahmenplanung aufgenommen.

Weiterhin wurde durch die Anwohner angegeben, dass die Ortslage Rohda aus Richtung Süden (Haarberg) bei starken Niederschlagsereignissen von extremen Hangzuflüssen betroffen ist. Der vorhandene Kirchgraben ist dabei nicht in der Lage, die anfallenden Niederschlagsmengen schadlos Richtung Peterbach abzutransportieren, wodurch es zu Überflutungen des Ortsteiles kommt. Dieser Brennpunkt ergibt sich nicht durch Simulation des Flusshochwassers, wurde jedoch zusätzlich in die Maßnahmenplanung aufgenommen.

8 Maßnahmenplanung

8.1 Übergeordnete Maßnahmen zum Hochwasserschutz

8.1.1 Grundlage

Das zentrale Ziel des Hochwasserrisikomanagements besteht darin, potentielle hochwasserbedingte nachteilige Folgen für die vier Schutzgüter menschliche Gesundheit, Umwelt, Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeit zu verringern. Entsprechend der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) lässt sich ein nachhaltiges Hochwasserrisikomanagement in einem Kreislauf beschreiben (Abbildung 8-1) [30].

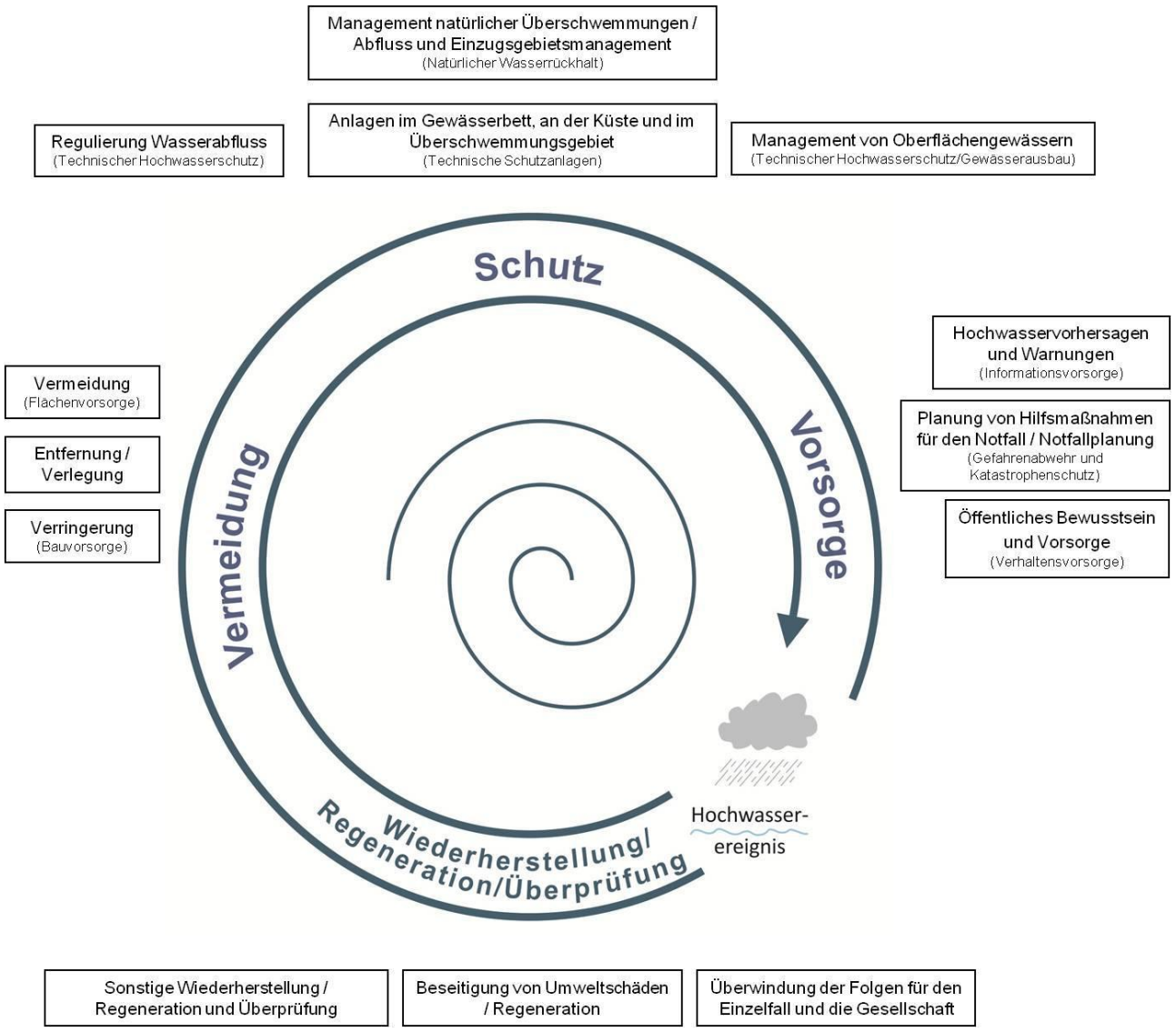


Abbildung 8-1 Hochwasserrisikomanagement-Kreislauf nach LAWA [30]

Der dargestellte Zyklus umfasst verschiedene Phasen - vor, während und nach dem Hochwasserereignis. Der Schwerpunkt des Hochwasserrisikomanagements sollte bei der Vermeidung und Verringerung der

Hochwassergefahr liegen. Weiterhin ist der Schutz z.B. durch einen natürlichen Wasserrückhalt oder technische Maßnahmen vorzunehmen. Die dritte Teilphase beschreibt verschiedene Vorsorgemaßnahmen wie z.B. Informations-, Verhaltensvorsorge- oder Katastrophenschutzmaßnahmen. Der Kreislauf schließt sich nach dem Auftreten eines Hochwasserereignisses über die Regenerationsphase. Diese beinhaltet eine Nachsorge und Auswertung der abgelaufenen Ereignisse, so dass die Erkenntnisse zur Optimierung der drei Hauptphasen herangezogen werden können.

Im Thüringer Landesprogramm Hochwasserschutz [20] werden verschiedene Hinweise, Zielstellungen und anzustrebende Lösungen im Rahmen des integralen Ansatzes genannt, die für die Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten in Thüringen berücksichtigt werden sollten. Dabei sind Maßnahmen der folgenden Handlungsbereiche zu beachten:

- Flächenvorsorge
- Bauvorsorge
- Informations- und Verhaltensvorsorge
- Gefahrenabwehr und Katastrophenschutz
- natürlicher Wasserrückhalt
- technischer Hochwasserschutz

Das Hochwasserschutzkonzept stellt für das Gewässer das grundlegende und zentrale Element zur Verbesserung des zielgerichteten Hochwasserschutzes dar. Der Fokus der Maßnahmenentwicklung sollte entsprechend dem Landesprogramm jedoch nicht nur auf den technischen Maßnahmen, sondern insbesondere auch auf den Vorsagemaßnahmen liegen.

Im Folgenden werden die Inhalte der Vorsorgemaßnahmen der verschiedenen Handlungsbereiche näher erläutert. Sie gelten für das gesamte Bearbeitungsgebiet und sind daher für alle betrachteten Gewässerabschnitte zu beachten.

Die technischen Maßnahmen sowie der natürliche Wasserrückhalt können konkret lokalisierbaren Maßnahmen zugeordnet werden. Auf sie wird bei der Maßnahmenplanung in Kapitel 8.2 näher eingegangen.

8.1.2 Flächenvorsorge

Der Handlungsbereich Flächenvorsorge beinhaltet regionalplanerische und bauleitplanerische Maßnahmen, Festsetzungen von Überschwemmungsgebieten, sowie Sicherung angepasster Nutzungen in den überschwemmungsgefährdeten Bereichen [30]. Sie stellt damit den wichtigsten Bestandteil des vorbeugenden Hochwasserschutzes dar, da sie vor allem kostengünstig dazu beiträgt, das Hochwasserrisiko zu verringern [20].

Für das Bearbeitungsgebiet gibt es beginnend ab der Ortslage Linderbach (Weimarische Straße B7) bis zur Mündung in die Gramme ein vorläufig gesichertes Überschwemmungsgebiet. Entsprechend der rechtlichen Vorgehensweise werden die vorläufig gesicherten Überschwemmungsgebiete in den kommenden Jahren per Rechtsverordnung durch das Thüringer Landesverwaltungsamt festgesetzt. Die weiteren Gewässerabschnitte des Bearbeitungsgebiets wurden nicht als Risikogebiete gemeldet, wodurch eine Festsetzung von Überschwemmungsgebieten für diese Bereiche nicht vorgesehen ist.

Im vorläufig gesicherten Überschwemmungsgebiet des Linderbachs werden für die Ortslage Linderbach für das HQ_{100}-Ereignis keine schadhaften Überströmungen ausgewiesen. Für weiter stromab gelegene Bereiche bei Kerspleben und Töttleben werden ähnliche (zum Teil größere) Ausdehnungen der Überflutungsflächen dargestellt, als sie in der vorliegenden Bearbeitung ermittelt wurden. Es wird empfohlen, das vorläufig gesicherte Überschwemmungsgebiet für den Risikobereich anhand der aktuellen, hydraulisch berechneten Überschwemmungsgebiete zu aktualisieren.

Zukünftig sollten die festgesetzten Überschwemmungsgebiete in den Regionalplänen gekennzeichnet sowie bei der Erstellung von Bauleitplänen etc. beachtet werden. In den Landes- und Regionalplänen sollten Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für den Hochwasserschutz bzw. das Hochwasserrisiko integriert bzw. gemäß dem Thüringer Landesprogramm Hochwasserschutz [20] auch geplante Standorte für Hochwasserrückhaltebecken übernommen werden. Damit ist es möglich, im Sinne der Hochwasservorsorge Gebote, Verbote und Nutzungsbeschränkungen für die Überschwemmungsgebiete zu definieren.

Die ermittelten Überflutungsflächen sollten zukünftig weitgehend von weiterer Bebauung freigehalten werden. Unterliegen diese Flächen einer landwirtschaftlichen Nutzung, so sind sie derart zu bewirtschaften, dass die oberen Bodenschichten durch Bewuchs gebunden sind. Bei Überflutungen können somit keine Abtragungen auftreten, da durch den Bewuchs Abflusswiderstände vorhanden sind, die den Hochwasserabfluss verzögern und eine Retentionswirkung erzwingen.

8.1.3 Bauvorsorge

Der Handlungsbereich Bauvorsorge umfasst Maßnahmen mit dem Ziel mittels angepasster Gebäudenutzung, -ausstattung und -abdichtung, hochwasserbedingte Schäden an Menschen und deren Güter zu minimieren.

Dabei wird empfohlen, in Risikobereichen auf eine angepasste Bauweise und auf Hochwasser ausgerichtete Anlagenausrüstungen zu achten. In gefährdeten Keller- und Wohnräumen sollte die Nutzung entsprechend dem bekannten Risiko für Überflutungen erfolgen. 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. Um hochwasserbedingte Schäden an der Bausubstanz zu minimieren, sollten ebenerdige Räume angepasst genutzt werden, Fußböden und Wände unempfindlich gegenüber eindringendem Wasser sein. Auf höher gelegte Eingänge sollte geachtet werden. Der Bau einer Schwelle reicht unter Umständen schon aus, um das Eindringen von Wasser zu verhindern.

Außerdem hat die Bauvorsorge das Ziel, die Kontaminierung der Umwelt durch wassergefährdende Stoffe im Hochwasserfall zu verringern.

Die „Hochwasserschutzfibel“ des Bundesministeriums für Verkehrs-, Bau- und Wohnungswesen [31] gibt dazu verschiedene Ratschläge und Arbeitsanleitungen, um bei zukünftigen Hochwasserereignissen Schäden zu vermindern oder zu vermeiden.

Entsprechende Information, Aufklärung und Beratung durch Bau- und Genehmigungsbehörden bietet die Möglichkeit Eigentümer von Grundstücken, Architekten, Ingenieure und Handwerker für hochwasserangepasstes Planen und Bauen zu sensibilisieren.

Wichtige Mindestanforderungen und Auflagen sollten seitens der Behörden für Gebäude, die im hochwassergefährdeten Gebiet stehen, aufgestellt werden.

Gewässeranlieger sollten besonders sensibilisiert werden. Um einen möglichst ungehinderten Hochwasserabfluss zu gewährleisten, müssen die Anlieger die Gewässerrandstreifen frei halten und Fließhindernisse im Gewässer vermeiden.

Die ortsnahe Bekanntmachung von Hinweisen und Möglichkeiten zur Schadensminimierung durch hochwasserangepasste Bauweise wäre für die betroffenen Bürger von Vorteil.

Als eine weitere Maßnahme im Bereich der Bauvorsorge ist die Kontrolle und Prüfung wichtiger im Hochwasserfall betroffener infrastruktureller Einrichtungen (Trinkwasser, Abwasser, Telekommunikation, Energie) zu nennen. Für einen Ausfall der wichtigen Anlagen im Hochwasserfall sind durch die Betreiber Notfallpläne bzw. Ersatzlösungen zu erarbeiten.

8.1.4 Informationsvorsorge

Unter dem Handlungsbereich Informationsvorsorge werden verschiedene Strukturen zusammengefasst, die für die Warnung vor Hochwasserereignissen im Bearbeitungsgebiet vorhanden sind.

Aufgrund der geringen Größe des Einzugsgebiets gibt es derzeit am Linderbach keine Hochwassermeldepegel oder andere Warnsysteme (z.B. anhand von Niederschlägen), die für die Warnung der Betroffenen im Hochwasserfall genutzt werden können. Im Teilbereich Hochwasserinformation und Vorhersage gibt es daher einen dringenden Handlungsbedarf.

Je nach Niederschlagsverteilung kommen im Einzugsgebiet vor allem die Starkniederschläge am Peter- und Pfingstbach sehr schnell zum Abfluss. Für die Modellsimulation des Hochwassers 2014 ergibt sich, dass der Hochwasserscheitel in Büßleben und Linderbach ca. 4 bis 5 Stunden nach dem Niederschlagsereignis auftritt. Erste schadhafte Ausuferungen entstehen bereits ca. 2 Stunden nach Eintritt der Starkniederschläge. An der unteren Modellgrenze wird der Hochwasserscheitelwert ca. 13 Stunden nach Beginn des Niederschlagsereignisses registriert.

Anhand der instationären hydraulischen Simulation des HQ_{100} ist zu erkennen, dass es in Büßleben "Zur Trolle" bereits 2 Stunden nach Beginn eines 60-minütigen Niederschlagsereignisses zu schadhaften

Ausuferungen kommt. Bei längeren Niederschlagsdauerstufen erreicht der Abflussscheitel den Ort Büßleben zwischen 2,5 und 4 Stunden nach Beginn des Regens. Dies zeigt, dass die Vorwarnzeit für das Einzugsgebiet nur sehr kurz ist.

Die Einrichtung von Pegeln in den oberen Bereichen der Teileinzugsgebiete zur Warnung der Betroffenen bietet aufgrund der kurzen Vorwarnzeit keine sinnvolle Möglichkeit. Wegen der Anfälligkeit auf Starkniederschlagsereignisse und den kurzen Wellenanstiegszeiten ist für das kleine Einzugsgebiet vielmehr eine Warnung auf Basis von aktuellen Niederschlagsvorhersagen zu empfehlen (mehr dazu im Kapitel 9). In der Hochwasserzentrale des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) werden z.B. mit Hilfe aktueller Niederschlagsvorhersagen für kleine Einzugsgebiete bis 200 km² Frühwarnungen in Form von landkreisbezogenen Hochwasser-Warnklassen für die kommenden 24 Stunden dargestellt. Eine Umsetzung dieser Methodik ist jedoch mit der Schaffung der organisatorischen und technischen Voraussetzungen verbunden. Der Internet-Auftritt der Hochwassernachrichtenzentrale der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie ist ein gutes Instrument zur Informationsvorsorge, jedoch werden hier thüringenweit derzeit nur Warnungen für verschiedene Gewässerpegel veröffentlicht. Eine Warnung für kleine Einzugsgebiete ohne Pegel anhand der Abflussbereitschaft wird nicht durchgeführt, daher bietet sich das Hinzufügen von Vorhersagemöglichkeiten für unbeobachtete Flüsse als Möglichkeit zur Verbesserung der Informationsdichte an.

Diese Informationen können an betroffene Landkreise, Städte und Gemeinden sowie die Medien und die Polizei weitergegeben werden. Die Bürger können bei bestehenden Warnungen durch die Gemeinden, Städte und Landkreise informiert werden. Als Informationsmedien können dabei für das Bearbeitungsgebiet vor allem das Internet, Mobilfunk (SMS, Apps) und das Radio genutzt werden.

Wichtig ist die Bekanntmachung der Informationsmöglichkeiten in der Öffentlichkeit, um eine weitere Sensibilisierung der breiten Bevölkerung zu erreichen.

Informationen und Warnungen für den Hochwasserfall sollten in den Gemeinden rechtzeitig und deutlich bekanntgegeben werden. Informationen über die Warnwege können über Aushänge der betroffenen Bevölkerung zugänglich gemacht werden (auch im Rahmen der Verhaltensvorsorge).

Eine Pflege, laufende Aktualisierung und Weiterentwicklung des Hochwassermeldedienstes ist empfehlenswert.

8.1.5 Verhaltensvorsorge

Im Rahmen der Verhaltensvorsorge geht es um die Sensibilisierung der Bevölkerung hinsichtlich Hochwasserrisiken und die Information über Vorbereitungsmaßnahmen. Betroffene Bevölkerungsgruppen sollen für den Hochwasserfall vorbereitet werden, indem ihnen Verhaltensoptionen und -regeln bekanntgegeben werden. Die Zielgruppe der Helfenden kann im Rahmen der Verhaltensvorsorge durch Einsatzpläne und Katastrophenschutzübungen auf Ernstfälle vorbereitet werden.

Die betroffene Bevölkerung sollte darüber informiert werden, wo sie sich über geeignete Verhaltensmuster im Rahmen eines Hochwasserfalls beraten lassen kann. Eine mögliche Informationsart sind Hochwasserflyer, wie sie an großen hochwassergefährdeten Flüssen bereits üblich sind. Diese Flyer informieren zum einen über die von den Flüssen ausgehenden Gefahren im Hochwasserfall und zum anderen über regional mögliche Vorsorgehandlungen sowie Empfehlungen zur akuten Hochwasserabwehr. Diese Flyer könnten ebenso für Hochwasser an kleinen Gewässern erstellt werden [23].

Auch die Information, dass es Gefahren- /Risikokarten für das Gewässer gibt und wo diese einzusehen sind (möglichst ortsnah), ist für die betroffene Bevölkerung wichtig. Eine Kurzfassung in allgemeinverständlicher Form mit kurzer Beschreibung der Brennpunkte, Gefahrenbereiche und Maßnahmenvorschläge (und Stand der Umsetzung) für die Öffentlichkeit wäre empfehlenswert.

In Vorbereitung eines Hochwasserfalls sollten die Bürger über das Verhalten im Hochwasserfall ausreichend informiert werden. Dazu sind eine Vielzahl von Möglichkeiten verfügbar. Beachtet werden sollte dabei, dass vor allem ältere Bürger nicht immer einen Internetanschluss besitzen.

Präventiv sollen betroffene Bürger über folgende Sachverhalte für den Hochwasserfall informiert werden:

- Wo befinden sich Sammelstellen / Anlauf- und Informationsstellen
- Aufklärung über angepasste Kleidung und Schuhwerk bei Hochwasser, der Gefahr durch die Strömung des Hochwassers und der Schadstoffbelastung des Hochwassers

8.1.6 Gefahrenabwehr und Katastrophenschutz

Im Vorfeld eines Hochwasserereignisses müssen folgende Sachverhalte (im Rahmen der Aufstellung von Einsatz-, Katastrophenschutz- und Evakuierungsplänen) geklärt und organisiert werden:

- Sammelstellen, Zufahrtsmöglichkeiten zu diesen Sammelstellen
- Fluchtwege, Ver- und Entsorgung der Sammelstellen
- Auflistung evakuierungsbedürftiger Gebäude und Einrichtungen
- Sicherstellung der Versorgung Betroffener / Evakuierter im Hochwasserfall
- in den Karten und Plänen sollten Sammelstellen, Fluchtwege, Ver- und Entsorgungswege, evakuierungsbedürftige Gebäude und Einrichtungen gekennzeichnet werden

Die unter Beteiligung aller Verantwortlichen und Zuständigen erstellten Einsatz- und Katastrophenschutzpläne sowie die Organisationskette / Meldewege und die Zuständigkeiten sollten regelmäßig getestet bzw. überprüft werden. Weiterhin sollte die Ausbildung und Schulung von Verantwortlichen und Einsatzkräften sichergestellt werden. Übungen sowie die Prüfung von Material und Ausrüstung sollten regelmäßig stattfinden. Die Einbeziehung betroffener und interessierter Bürger in die Hochwasserschutzübungen ist vorteilhaft.

Eine finanzielle Förderung von Ausbildungen / Schulungen und Übungen ist weiterhin sicherzustellen und zu verstärken.

Eine regelmäßige Gewässerschau und die entsprechende Auswertung können vorbeugende Maßnahmen zum Hochwasserschutz als Ergebnis liefern.

8.2 Maßnahmenplanung für das Schutzziel HQ_{100}

8.2.1 Entwicklung von Hochwasserschutzmaßnahmen

In Auswertung der hydraulischen Berechnungen für den Istzustand sowie aus den Erfahrungen abgelaufener Hochwasserereignisse konnten für die festgelegten Schutzbereiche zum Teil verschiedene Möglichkeiten für die Erzielung des Hochwasserschutzes in Betracht gezogen werden.

Aus hydraulischer Sicht ergeben sich für die Entwicklung konkreter lokaler Maßnahmen folgende grundsätzliche Möglichkeiten:

- Maßnahmen zum Hochwasserrückhalt außerhalb der Ortslagen und in unbebauten Bereichen zur Reduzierung der Scheitelwerte
- Maßnahmen zur Verbesserung des Hochwasserabflusses auf Höhe der Schutzbereiche und im stromunterhalb gelegenen Abschnitt zur Beseitigung von Engstellen und Rückstaubeeinflussungen, um die Wasserspiegellagen abzusenken
- Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes (z.B. Deiche und Mauern), die ein Einströmen des Hochwassers in den Schutzbereich verhindern

Eine Verbesserung des Hochwasserabflusses ist dann möglich, wenn eine lokale Überschwemmung in Folge eines Aufstaus an einem Abflusshindernis (z.B. querender Straßendamm mit zu kleinem Durchlass) auftritt. Ein genereller Ausbau oder eine Begradigung des Gewässers zur Erhöhung der Abflussleistung ist aus ökologischen Gründen nicht zu befürworten. Sie führt in den meisten Fällen zu einer Verlagerung der Hochwasserproblematik in den stromunterhalb gelegenen Gewässerabschnitt (negative Auswirkung). Anlandungen und Ablagerungen sollten hingegen im Sinne der Gewässerunterhaltung regelmäßig beräumt werden, um die hydraulische Leistungsfähigkeit der Gewässerbereiche zu erhalten.

Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken (HRB) zum Rückhalt der Abflüsse im oberen Teil des Einzugsgebietes sind immer sehr kostenintensive Maßnahmen, sowohl bei der Errichtung als auch bei ihrer Unterhaltung.

Die Auswahl der Maßnahmen sollte folgenden Grundprinzipien, aus der WRRL-Zielstellung, in nachfolgender prioritärer Reihenfolge entsprechen:

1.Grundprinzip: Schaffung von zusätzlichen Retentionsräumen im Oberlauf, um die Höhe des Wasserspiegelscheitels zu kappen.

2. Grundprinzip: Ökologisch verträglichen Hochwasserschutzmaßnahmen wird rein technischen Hochwasserschutzmaßnahmen der Vorrang gegeben.

3. Grundprinzip: Beschränkung mobiler Hochwasserschutzanlagen auf ein Minimum, da diese Einrichtungen erst wirksam werden, wenn diese aufgebaut sind. Das mit dem rechtzeitigen und fachgerechten Aufbau verbundene Risiko soll mit der Reduzierung der Anzahl der mobilen Anlagen auf ein notwendiges Minimum begrenzt werden.

Die Planung der Hochwasserschutzmaßnahmen erfolgte generell unter Berücksichtigung der Ziele der WRRL, Natura2000 bzw. entsprechend allgemeiner Umweltziele.

Während der Erarbeitung von Hochwasserschutzmaßnahmen wurde festgestellt, dass ein Wasserrückhalt im oberen Teil des Einzugsgebietes am Pfingstbach und Peterbach keine hinreichende Wirkung für Unterlieger aufweist, wenn das Schutzziel für die besiedelten Bereiche HQ_{100} beträgt. Die infolge lokaler Starkniederschlagsereignisse verursachten Schäden, wie sie in 2013 und 2014 auftraten, können damit nicht beseitigt werden. Das fachliche Arbeitskonzept wurde dahingehend angepasst, dass im ersten Schritt die Ermittlung der Vorzugsvariante für das grundsätzlich gültige Schutzziel HQ_{100} erfolgt und im zweiten Schritt die Vorzugsvariante mit Maßnahmen gegen Starkniederschlagsereignisse im oberen Einzugsgebiet ergänzt wird (vgl. Kapitel 8.3). Die Planung wird dabei so durchgeführt, dass die zum Schutz vor einem HQ_{100} identifizierten Maßnahmen auch ohne Umsetzung der Maßnahmen zum Schutz vor Starkniederschlagsereignissen ihre Gültigkeit behalten.

Entsprechend dem definierten Schutzziel HQ_{100} wurden für die Brennpunkte im Bearbeitungsgebiet Maßnahmenvorschläge erarbeitet.

In der folgenden Tabelle 8-1 werden die identifizierten Hochwasserschutzmaßnahmen gewässerweise aufgeführt und kurz beschrieben. Eine ausführliche Erläuterung der einzelnen Maßnahmen ist den Maßnahmenblättern in Anlage 7 zu entnehmen.

Tabelle 8-1 Maßnahmenpool

Maßnahmen-nummer		Name	Beschreibung	Hinweis
Pfingstbach	**M004-a**	Hochwasserrückhaltebecken oberhalb Niedernissa (Schutzziel HQ_{100})	Rückhaltebecken zum Schutz der Ortslage Niedernissa	Alternative zu M022
	M022	Objektschutz einzelner Gebäude Niedernissa	Objektschutz (3 Gebäude)	Alternative zu M004-a
Urbach	**M005**	Objektschutz einzelner Gebäude "Am Bach" Urbich	Objektschutz (6 Gebäude)	Alternative zu M006
	M006	Umgestaltung Gerinne "Am Bach" Urbich	Verbesserung des Hochwasserabflusses, naturnahe Umgestaltung	Alternative zu M005
	M007	Hydraulische Optimierung Durchlass "An der Kochschule" Urbich	Beseitigung der Engstelle durch Umbau des Durchlass-querschnittes, Verhinderung Rückstau	Alternative zu M008+M009
	M008	Hochwasserschutzmauer "An der Kochschule" Urbich	fester Linienschutz "An der Kochschule" linksseitig des Urbachs	nur in Kombination mit M009 auf gegenüberliegender Bachseite
	M009	Objektschutz Gebäude "Zur Schleuse" Urbich	Objektschutz (1 Gebäude)	nur in Kombination mit M008
	M010	Hydraulische Optimierung Durchlass "Über den Krautländern" Urbich	Beseitigung der Engstelle durch Umbau des Durchlass-querschnittes, Verhinderung Rückstau	Alternative zu M011
	M011	Mobiler Linienschutz Weg "Über den Krautländern"	mobile Maßnahme entlang des Weges "Über den Krautländern"	Alternative zu M010
	M025	Absenkung Uferbereich zwischen Urbich und Linderbach	Absenkung Uferkante zur Flutung der linksseitigen Flächen ab häufigen HW-Ereignissen zwischen Urbich und Linderbach (Wasserrückhalt in der Fläche, Schaffung Retentionsraum)	keine Alternative
Peterbach	**M012-a**	Hydraulische Optimierung Brücke "Zur Trolle" Büßleben	Erhalt der Brücke, Umbau des Durchlasses	Alternative zu M012-b
	M012-b	Rückbau Brücke "Zur Trolle" Büßleben zur Wiederherstellung des Abflussprofils	Beseitigung der Brücke	Alternative zu M012-a
	M023	Objektschutz einzelner Gebäude Büßleben	Objektschutz (2 Gebäude)	keine Alternative
	M024	Ausbau Ableitung am Kirchgraben Rohda	Ausbau Ableitung Kirchgraben und Anpassung der vorhandenen Durchlässe zur schadlosen Ableitung von extremen Hangzuflüssen in Richtung Peterbach	keine Alternative

	M029	Rückbau Furtbrücke "Weimarische Straße“, Wiederherstellung des Abflussprofils	Beseitigung der Verklausungsgefahr, Umgestaltung des Rad- und Landwirtschaftsweges zu einer langen Furt	keine Alternative
Linderbach	**M013**	Hydraulische Optimierung Brücke "Im Ziegelgarten" Linderbach	Hydraulische Optimierung zur Verbesserung der Abflussverhältnisse BR "Im Ziegelgarten" (Beseitigung schräger Anstrom und Anpassung Gerinne ober- und unterhalb der Brücke), Umgestaltung Gerinne (Planung aus dem Jahr 2014)	nur in Kombination mit M014, Alternative zu M015
	M014	Beseitigung der Gerinneeinengung an der Furt "Im Großen Garten" Linderbach	Beseitigung der Engstelle durch Umgestaltung des Gerinnes	nur in Kombination mit M013, Alternative zu M015
	M015	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) rechtsseitig Linderbach "Im Großen Garten"	Errichtung eines festen Linienschutzes	Alternative zu M013+M014
	M016	Absenkung Uferbereiche zwischen Azmannsdorf und Kerspleben (rechts)	Absenkung Weg/Uferkante zur Flutung der rechtsseitigen Flächen ab häufigen HW-Ereignissen zwischen Azmannsdorf und Kerspleben (Wasserrückhalt in der Fläche, Schaffung Retentionsraum)	keine Alternative
	M017	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) Kerspleben	abschnittsweise Ufererhöhung Kerspleben	Alternative zu M018
	M018	Hydraulische Optimierung Brücke "Zum Sulzenberg" Linderbach	Hydraulische Optimierung zur Verbesserung der Abflussverhältnisse BR "Zum Sulzenberg" (Umbau Brücke), Ausbau für größere Abflussmengen	Alternative zu M017
	M019	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) / Wegerhöhung zwischen Kersplebener Chaussee und Ortsausgang Kerspleben	Erhöhung des Weges Kerspleben, zwischen Kersplebener Chaussee und Ortsausgang	wird eventuell zur möglichen Optimierung der Maßnahme M020 erforderlich
	M020	Absenkung Uferbereich Kerspleben	stärkere rechtsseitige Überströmung zur Flutung der Flächen ab häufigen HW-Ereignissen (Wasserrückhalt in der Fläche, Schaffung Retentionsraum)	keine Alternative
	M021	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) Töttleben	Errichtung eines festen Linienschutzes	keine Alternative

	M026	Aktivierung der linksseitigen Fläche oberhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum	Anbindung der linksseitigen Fläche oberhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum mit Einlauf- und Auslaufschwelle, Überströmung des linken Vorlands bereits bei geringeren Abflüssen und Entlastung des Gerinnes (Wasserrückhalt in der Fläche, Schaffung Retentionsraum)	keine Alternative
	M027	Aktivierung der rechtsseitigen Fläche unterhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum	Anbindung der rechtsseitigen Fläche unterhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum mit Einlauf- und Auslaufschwelle, Anbindung an die vorhandenen Altarme (Wasserrückhalt in der Fläche, Schaffung Retentionsraum)	keine Alternative
	M028	Absenkung Uferbereiche zwischen Azmannsdorf und Kerspleben (links)	Absenkung Uferkante zur Flutung der linksseitigen Flächen ab häufigen HW-Ereignissen zwischen Azmannsdorf und Kerspleben Flutung der Flächen zum Schutz der Unterlieger (Wasserrückhalt in der Fläche, Schaffung Retentionsraum)	keine Alternative

Für Bereiche, bei denen nur vereinzelte Gebäude betroffen sind, geringe Wassertiefen auftreten oder aufgrund der lokalen Gegebenheiten keine alternativen Maßnahmen möglich sind, werden Objektschutzmaßnahmen vorgeschlagen. Dabei können zum Schutz der Gebäude z.B. Dammbalkensysteme zum Verschluss von Gebäudeöffnungen installiert werden. Objektschutzmaßnahmen zum Schutz der betroffenen Grundstücke und Gebäude sind von den Grundstücksbesitzern selbst vorzunehmen.

Die folgende Abbildung zeigt Beispiele für Objektschutzmaßnahmen aus der „Hochwasserschutzfibel“ des Bundesministeriums für Verkehrs-, Bau- und Wohnungswesen [31].

1: Objektschutz an Gebäudeöffnungen

2: Objektschutz an Fensteröffnungen

3: Sandsackwall

Abbildung 8-2 Beispiele für Objektschutzmaßnahmen [31]

8.2.2 Varianten

Aus der Kombination der verschiedenen Maßnahmen wurden Varianten gebildet. Das Ziel ist es, mit allen Varianten den Schutz der Brennpunkte zu erreichen. Eine identische Wirksamkeit zwischen den Varianten muss folglich gewährleistet sein.

Entsprechend der Auflistung in der Tabelle 8-1 wurden für verschiedene Bereiche des Bearbeitungsgebietes Maßnahmen identifiziert, für die es keine Alternative gibt. **Diese Maßnahmen sind in jeder Variante enthalten.** Es handelt sich dabei um die folgenden Maßnahmen:

- **M016** Absenkung Uferbereiche zwischen Azmannsdorf und Kerspleben (rechts)
- **M019** Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau)/ Wegerhöhung zwischen Kersplebener Chaussee und Ortsausgang Kerspleben (wird eventuell zur Optimierung der Maßnahme M020 erforderlich, Aussage über Erfordernis nach hydraulischer Simulation der Vorzugsvariante möglich)
- **M020** Absenkung Uferbereich Kerspleben
- **M021** Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) Töttleben

- **M023** Objektschutz einzelner Gebäude Büßleben
- **M024** Ausbau Ableitung am Kirchgraben Rohda
- **M025** Absenkung Uferbereich zwischen Urbich und Linderbach
- **M026** Aktivierung der linksseitigen Fläche oberhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum
- **M027** Aktivierung der rechtsseitigen Fläche unterhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum
- **M028** Absenkung Uferbereiche zwischen Azmannsdorf und Kerspleben (links)
- **M029** Rückbau Furtbrücke "Weimarische Straße“, Wiederherstellung des Abflussprofils

Die Varianten unterscheiden sich in verschiedenen Kombinationen der weiteren vorgeschlagenen Maßnahmen. Dabei gibt es für die zu schützenden Bereiche folgende Alternativen:

Tabelle 8-2 Gegenüberstellung der Alternativen mit identischer Wirksamkeit

Maßnahme bzw. Kombination 1			**Maßnahme bzw. Kombination 2**	
M004-a	Hochwasserrückhaltebecken oberhalb Niedernissa (Schutzziel HQ_{100})	vs.	**M022**	Objektschutz einzelner Gebäude Niedernissa
M005	Objektschutz einzelner Gebäude "Am Bach" Urbich	vs.	**M006**	Umgestaltung Gerinne "Am Bach" Urbich
M007	Hydraulische Optimierung Durchlass "An der Kochschule" Urbich	vs.	**M008 mit M009**	Hochwasserschutzmauer "An der Kochschule" Urbich und Objektschutz Gebäude "Zur Schleuse" Urbich
M010	Hydraulische Optimierung Durchlass "Über den Krautländern" Urbich	vs.	**M011**	Mobiler Linienschutz Weg "Über den Krautländern"
M012-a	Hydraulische Optimierung Brücke "Zur Trolle" Büßleben	vs.	**M012-b**	Rückbau Brücke "Zur Trolle" Büßleben zur Wiederherstellung des Abflussprofils
M013 mit M014	Hydraulische Optimierung Brücke "Im Ziegelgarten" Linderbach Beseitigung der Gerinneeinengung an der Furt "Im Großen Garten" Linderbach	vs.	**M015**	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) rechtsseitig Linderbach „Im Großen Garten“
M017	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) Kerspleben	vs.	**M018**	Hydraulische Optimierung Brücke "Zum Sulzenberg" Linderbach

Aus den Maßnahmenkombinationen wurden für das Bearbeitungsgebiet 5 verschiedene Varianten erarbeitet. Die Auswahl der darin enthaltenen Maßnahmen erfolgte unter den folgenden Gesichtspunkten:

Variante 1: Synergie mit WRRL (Erreichen eines guten ökologischen Potentials, Durchgängigkeit)

Variante 2: Technische Hochwasserschutzmaßnahmen

Variante 3: Wasserrückhalt in der Fläche (Retentionsraumgewinn und –reaktivierung)

Variante 4: Geringe Versagenswahrscheinlichkeit

Variante 5: Mobile Hochwasserschutzmaßnahmen, Objektschutz

Die Zusammensetzung der Varianten wird nachstehend näher beschrieben.

Variante 1 – Synergie mit WRRL (Erreichen eines guten ökologischen Potentials, Durchgängigkeit)

Die Auswahl der Maßnahmen der ersten Variante erfolgte unter dem Ziel, eine Synergie mit der WRRL zu erreichen. Aus den Alternativen der Tabelle 8-2 wurde daher folgende Maßnahmen ausgewählt:

- **M022** Objektschutz einzelner Gebäude Niedernissa
- **M006** Umgestaltung Gerinne "Am Bach" Urbich
- **M007** Hydraulische Optimierung Durchlass "An der Kochschule" Urbich
- **M010** Hydraulische Optimierung Durchlass "Über den Krautländern" Urbich
- **M012-b** Rückbau Brücke "Zur Trolle" Büßleben zur Wiederherstellung des Abflussprofils
- **M013** Hydraulische Optimierung Brücke "Im Ziegelgarten" Linderbach
- **M014** Beseitigung der Gerinneeinengung an der Furt "Im Großen Garten" Linderbach
- **M018** Hydraulische Optimierung Brücke "Zum Sulzenberg" Linderbach

Diese Variante enthält darüber hinaus 11 Maßnahmen, für die es keine Alternativen gibt und die zu Beginn des vorliegenden Kapitels aufgelistet wurden (M016, M019, M020, M021, M023, M024, M025, M026, M027, M028 und M029).

Anlage 8.1 zeigt die Maßnahmenkarte zur Variante 1. Darin werden alle in der Variante enthaltenen punktuellen, linienhaften und flächenhaften Maßnahmen dargestellt.

Diese Maßnahmenkombinationen wurden so gewählt, dass möglichst eine Synergie mit der WRRL zu erwarten ist. Dies ist vor allem möglich, wenn eine naturnahe Umgestaltung der Gewässerabschnitte realisiert und durch die Umgestaltung des Gerinnes (z.B. mit Niedrigwasserrinnen) die Eigendynamik des

Wassers gefördert wird. Durch die fließende Retention, die Zunahme der Fließweglänge und die Gestaltung flacher Ausuferungsbereiche kann ebenso eine Abflachung der Hochwasserganglinie bewirkt werden.

In dieser Variante wurde die Beseitigung der Gerinneeinengung an der Furt "Im Großen Garten" und Umgestaltung des Gerinnes aufgrund der genannten Gesichtspunkte der Konstruktion eines Deiches in Linderbach vorgezogen. Die Veränderungen der Durchlässe im Bearbeitungsgebiet bewirken eine bessere Durchgängigkeit und stehen ebenso in Synergie mit der WRRL.

Vorteile: • hohe Nutzungsdauer

• Förderung des ökologischen Potentials und der Durchgängigkeit

Nachteile: • hohe Kosten durch die Umbaumaßnahmen der Durchlässe (Planungs- und Baukosten)

Variante 2 – Technische Hochwasserschutzmaßnahmen

Die Zusammenstellung der Maßnahmen für die zweite Variante erfolgte dahingehend, dass technischen Hochwasserschutzmaßnahmen gegenüber den alternativen Maßnahmen der Vorzug gegeben wird. Entsprechend Tabelle 8-2 sind in dieser Variante folgende Maßnahmen enthalten:

- **M004-a** Hochwasserrückhaltebecken oberhalb Niedernissa (Schutzziel HQ_{100})
- **M006** Umgestaltung Gerinne "Am Bach" Urbich
- **M008** Hochwasserschutzmauer "An der Kochschule" Urbich
- **M009** Objektschutz Gebäude "Zur Schleuse" Urbich
- **M011** Mobiler Linienschutz Weg "Über den Krautländern"
- **M012-a** Hydraulische Optimierung Brücke "Zur Trolle" Büßleben
- **M015** Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) rechtsseitig Linderbach „Im Großen Garten“
- **M017** Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) Kerspleben

Diese Variante enthält darüber hinaus 11 Maßnahmen, für die es keine Alternativen gibt und die zu Beginn des vorliegenden Kapitels aufgelistet wurden (M016, M019, M020, M021, M023, M024, M025, M026, M027, M028 und M029).

Anlage 8.2 zeigt die Maßnahmenkarte zur Variante 2. Darin werden alle in der Variante enthaltenen punktuellen, linienhaften und flächenhaften Maßnahmen dargestellt.

Diese Variante beinhaltet gegenüber Variante 1 (bis auf M006) alle alternativen Maßnahmen die zum Schutz der Brennpunkte vorgeschlagen wurden. Für die Kombination der Maßnahmen wurden technische

Hochwasserschutzmaßnahmen bevorzugt, daher beinhaltet diese Variante alle Deichneubauten, die Konstruktion des Rückhaltebeckens oberhalb Niedernissa sowie die Hochwasserschutzmauer an der Kochschule.

Vorteile:
- hohe Sicherheit bei Maßnahmenumsetzung zu erwarten
- hohe Nutzungsdauer für Deiche (80 Jahre)

Nachteile:
- sehr hohe Kosten – vermutlich teuerste Variante
- durch die Vielzahl der technischen Maßnahmen sind negative Veränderungen des Abflussgeschehens möglich (negative Wirkung für Unterlieger)
- starker Eingriff in Flora und Fauna, Landschaftsbild und Boden durch Deich- und Dammkonstruktion

Variante 3 – Wasserrückhalt in der Fläche (Retentionsraumgewinn und –reaktivierung)

Die Maßnahmenkombination für Variante 3 wurde unter dem Gesichtspunkt gewählt, dass vorzugsweise alle Maßnahmen enthalten sind, die einen Wasserrückhalt in der Fläche bewirken. Entsprechend Tabelle 8-2 sind in dieser Variante folgende Maßnahmen enthalten:

- **M004-a** Hochwasserrückhaltebecken oberhalb Niedernissa (Schutzziel HQ_{100})
- **M005** Objektschutz einzelner Gebäude "Am Bach" Urbich
- **M008** Hochwasserschutzmauer "An der Kochschule" Urbich
- **M009** Objektschutz Gebäude "Zur Schleuse" Urbich
- **M010** Hydraulische Optimierung Durchlass "Über den Krautländern" Urbich
- **M012-a** Hydraulische Optimierung Brücke "Zur Trolle" Büßleben
- **M013** Hydraulische Optimierung Brücke "Im Ziegelgarten" Linderbach
- **M014** Beseitigung der Gerinneeinengung an der Furt "Im Großen Garten" Linderbach
- **M018** Hydraulische Optimierung Brücke "Zum Sulzenberg" Linderbach

Diese Variante enthält darüber hinaus 11 Maßnahmen, für die es keine Alternativen gibt und die zu Beginn des vorliegenden Kapitels aufgelistet wurden (M016, M019, M020, M021, M023, M024, M025, M026, M027, M028 und M029).

Anlage 8.3 zeigt die Maßnahmenkarte zur Variante 3. Darin werden alle in der Variante enthaltenen punktuellen, linienhaften und flächenhaften Maßnahmen dargestellt.

In dieser Variante ist das Rückhaltebecken Niedernissa enthalten, da dies zum Rückhalt der Abflussganglinie und Kappung der Scheitelwerte aus dem Pfingstbach beiträgt. Weiterhin ist der Objektschutz „Am Bach“ ein Bestandteil dieser Variante, wodurch die weiträumigen Überflutungen in der Fläche oberhalb der Rudolstädter Straße Urbich nicht durch eine Maßnahme verändert werden. Durch die in allen Varianten enthaltene Maßnahme M016 werden größere Abflussmengen über das rechte Vorland abgeschlagen, wodurch die Wasserstände des Linderbachs in Kerspleben reduziert werden. Aufgrund der Geländeverhältnisse strömt das Wasser anschließend in Richtung Brücke "Zum Sulzenberg". Um die Überströmungen in Kerspleben zu verhindern, wird in dieser Variante der Ausbau der Brücke vorgeschlagen.

Vorteile:
- Verzögerung der Abflussganglinie und Reduzierung der Abflussscheitelwerte

Nachteile:
- sehr hohe Kosten – vermutlich teuerste Variante
- Objektschutz in Eigenvorsorge vorzunehmen – geringe Akzeptanz der Öffentlichkeit zu erwarten

Variante 4 – Geringe Versagenswahrscheinlichkeit

Die Auswahl der Maßnahmen für die Variante 4 erfolgte dahingehend, dass für das gesamte Bearbeitungsgebiet durch die Umsetzung von einer geringen Versagenswahrscheinlichkeit ausgegangen werden kann. Entsprechend Tabelle 8-2 wurden für diese Variante folgende Maßnahmen gewählt:

- **M022** Objektschutz einzelner Gebäude Niedernissa
- **M006** Umgestaltung Gerinne "Am Bach" Urbich
- **M007** Hydraulische Optimierung Durchlass "An der Kochschule" Urbich
- **M010** Hydraulische Optimierung Durchlass "Über den Krautländern" Urbich
- **M012-b** Rückbau Brücke "Zur Trolle" Büßleben zur Wiederherstellung des Abflussprofils
- **M013** Hydraulische Optimierung Brücke "Im Ziegelgarten" Linderbach
- **M014** Beseitigung der Gerinneeinengung an der Furt "Im Großen Garten" Linderbach
- **M017** Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) Kerspleben

Diese Variante enthält darüber hinaus 11 Maßnahmen, für die es keine Alternativen gibt und die zu Beginn des vorliegenden Kapitels aufgelistet wurden (M016, M019, M020, M021, M023, M024, M025, M026, M027, M028 und M029).

Anlage 8.4 zeigt die Maßnahmenkarte zur Variante 4. Darin werden alle in der Variante enthaltenen punktuellen, linienhaften und flächenhaften Maßnahmen dargestellt.

Diese Variante unterscheidet sich gegenüber Variante 1 nur in Maßnahme M017 (Deichneubau Kerspleben). Die Brücke am Sulzenberg wird nicht verändert. In dieser Variante sind die Maßnahmen mit Umgestaltungen der Durchlässe enthalten, da bei Umgestaltung von einer geringen Versagenswahrscheinlichkeit auszugehen ist.

Vorteile:
- Förderung des ökologischen Potentials und der Durchgängigkeit
- geringe Versagenswahrscheinlichkeit

Nachteile:
- hohe Kosten durch die Umbaumaßnahmen der Durchlässe sowie Deichbau Kerspleben (Planungs- und Baukosten)

Variante 5 - Mobile Hochwasserschutzmaßnahmen und Objektschutz

In dieser Variante wurden Maßnahmen aus dem Bereich Objektschutz sowie mobilen Hochwasserschutz miteinander kombiniert. Entsprechend Tabelle 8-2 enthält diese Variante folgende Maßnahmen:

- **M022** Objektschutz einzelner Gebäude Niedernissa
- **M005** Objektschutz einzelner Gebäude "Am Bach" Urbich
- **M008** Hochwasserschutzmauer "An der Kochschule" Urbich
- **M009** Objektschutz Gebäude "Zur Schleuse" Urbich
- **M011** Mobiler Linienschutz Weg "Über den Krautländern"
- **M012-a** Hydraulische Optimierung Brücke "Zur Trolle" Büßleben
- **M015** Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) rechtsseitig Linderbach „Im Großen Garten“
- **M018** Hydraulische Optimierung Brücke "Zum Sulzenberg" Linderbach

Diese Variante enthält darüber hinaus 11 Maßnahmen, für die es keine Alternativen gibt und die zu Beginn des vorliegenden Kapitels aufgelistet wurden (M016, M019, M020, M021, M023, M024, M025, M026, M027, M028 und M029).

Anlage 8.5 zeigt die Maßnahmenkarte zur Variante 5. Darin werden alle in der Variante enthaltenen punktuellen, linienhaften und flächenhaften Maßnahmen dargestellt.

Die Objektschutzmaßnahmen in Niedernissa, „Am Bach“ Urbich und „Zur Schleuse“ Urbich sind in Eigenvorsorge vorzunehmen. Sie wurden zum Schutz der Gebäude vorgeschlagen, da nur einzelne Gebäude direkt betroffen sind und es sich um ein geringes Risiko mit geringen Wassertiefen handelt. Für den Objektschutz können z.B. Dammbalkensysteme an Gebäudeöffnungen eingesetzt werden. Weiterhin ist

es sinnvoll bei tief liegenden Kellerfenstern Abdichtungen vorzunehmen. Eine gute Übersicht über Maßnahmenmöglichkeiten bietet die „Hochwasserschutzfibel“ des Bundesministeriums für Verkehrs-, Bau- und Wohnungswesen [31].

Weiterhin wird in dieser Variante der mobile Hochwasserschutz „Über den Krautländern“ zum Schutz der linksseitigen Bebauung am Ortsausgang von Urbich vorgenommen.

Vorteile: • vermutlich kostengünstigste Variante

Nachteile: • geringe Akzeptanz durch Bevölkerung zu erwarten, da Eigenvorsorge

• Objektschutz hat eine Nutzungsdauer von 20 Jahren, danach Reinvestition erforderlich

8.2.3 Ermittlung der Vorzugsvariante - Bewertungsmethodik

Das Ziel der Bewertung der verschiedenen dargestellten Varianten besteht in der Schaffung einer Diskussionsvorlage und Entscheidungshilfe für die Identifizierung einer Vorzugsvariante anhand objektiver Kriterien. Die Vorzugsvariante sollte dabei die bestehenden Anforderungen an das Schutzziel für das Einzugsgebiet erfüllen. Außerdem soll die Vorzugsvariante im Hinblick auf die zu erwartenden Kosten für die Errichtung und Unterhaltung des Gewässers und des Bauwerkes dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit entsprechen.

Im Folgenden wird die grundsätzliche Bewertungsmethodik beschrieben. Mit Hilfe der Methodik werden die Varianten bewertet, die sich aus unterschiedlichen Kombinationen der verortbaren Maßnahmen ergeben. Das Ergebnis der Bewertungsmethodik ergibt die Vorzugsvariante für das Bearbeitungsgebiet, die anhand einer Rangfolge ermittelt wird.

Unter Berücksichtigung der Zielstellung für das vorliegende Bearbeitungsgebiet wurden die folgenden Bewertungskriterien ermittelt, die für den Vergleich der vorliegenden Varianten und die abschließende Identifikation einer Vorzugsvariante relevant sind.

Erläuterung der Hauptkriterien und ihrer Unterkriterien

Die Bewertungsmatrix unterscheidet im Wesentlichen zwischen folgenden Hauptkriterien:

- 1. Zielerreichungsgrad
- 2. Umsetzbarkeit
- 3. Kosten

Die Hauptkriterien setzen sich aus einer Anzahl an Unterkriterien zusammen. Im Folgenden werden die Hauptkriterien und ihre Unterkriterien kurz erläutert.

1. Zielerreichungsgrad

Der Zielerreichungsgrad wird über die kombinierende Wirkung der Maßnahmen innerhalb der Variante definiert. Er setzt sich aus den folgenden drei Unterkriterien zusammen:

a) Zielerreichungsgrad der Maßnahmenplanung

Hier erfolgt die vergleichende Bewertung der Varianten bzgl. der festgelegten Ziele für das Bearbeitungsgebiet. Es sollen weiterhin auch Sicherheiten bezüglich der vollständigen Wirksamkeit zum Zeitpunkt, zu dem das HW abfließt, berücksichtigt werden.

b) Synergie mit WRRL / Nachhaltigkeit im Sinne der HWRM-RL (Verhältnis zwischen Nutzungsdauer, Aufwand und Langzeitsicherheit bei Klimawandel, städtebaul. Planungen/Bevölkerungswachstum)

Die Beachtung der Ziele der WRRL ist eine wichtige Randbedingung der HWRM-RL. Die Nachhaltigkeit im Sinne der eigentlichen Intention sollte ebenfalls als Kriterium enthalten sein. Hierbei sollen grundsätzlich die natürlichen Abläufe im Fluss berücksichtigt werden. Des Weiteren sollte dem Fluss mehr Raum geben werden, da dieses den natürlichen Verhältnisse weitgehend entspricht und um eine hinreichende Langzeitsicherheit zu geben, die auch vorliegt, wenn sich klimatische Bedingungen etwas verschieben sowie gesellschaftliche Randbedingungen ändern.

c) Versagenswahrscheinlichkeit

Diese Bewertung berücksichtigt die Versagenswahrscheinlichkeit der Variante während eines Hochwasserabflusses, die von Variante zu Variante unterschiedlich sein kann. So sind die Versagenswahrscheinlichkeiten für mobile Schutzeinrichtungen höher als für stationäre Maßnahmen, wie Deiche oder Mauern. Ferner spielt die Versagenswahrscheinlichkeit im Fall „Überströmens der HWS-Anlage“ bei höheren Abflüssen eine mit zu beachtende Rolle.

2. Umsetzbarkeit

Die Bewertung der Umsetzbarkeit setzt sich aus den folgenden drei Unterkriterien zusammen.

a) Genehmigungsfähigkeit hinsichtlich Umweltwirkung (Auswirkung auf UVP-Schutzgüter)

In diesem Kriterium werden summarische Auswirkungen auf verschiedene UVP-Schutzgüter bei Realisierung aller Maßnahmen der Variante erfasst und eventuell auftretende Probleme hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit identifiziert. Dabei werden folgende Unterkriterien unterschieden:

I) Grundwasser und Oberflächenwasser

Es erfolgt die Bewertung der Auswirkungen auf das Schutzgut Wasser, d.h. auf Oberflächenwasser und Grundwasser. Angesichts der Verflechtung mit den anderen Schutzgütern (Boden) stehen das Verschlechterungsverbot von Grundwasserkörpern und der Erhalt natürlicher Gewässer im Vordergrund. So ist ein weitreichender GW-Anstieg ggf. negativ zu bewerten, wenn damit Gebäude oder Nutzungen relevant negativ beeinträchtigt werden können. Ebenso ist eine Variante mit einem entstehenden Retentionsraumverlust gegenüber einer Variante mit der Schaffung von Retentionsräumen schlechter einzustufen.

II) Flora, Fauna, biologische Vielfalt

In diesem Unterkriterium werden mögliche Konflikte hinsichtlich der Flora, Fauna und der biologischen Vielfalt bewertet. Außerdem erfolgt die summarische Bewertung der Auswirkungen auf Erhaltungsziele und Schutzzweck von Gebieten mit gemeinschaftlicher Bedeutung (z.B. FFH-Gebiete).

III) Boden

Die Bewertung der Auswirkung auf den Boden erfolgt dahingehend, ob infolge der Umsetzung und Betriebes der Anlagen der Variante die Funktion des Bodens zerstört oder negativ beeinträchtigt wird. Da der Boden nicht vermehrbar ist, erhebliche Schädigungen des Bodens irreversibel sind und zudem ein enger Zusammenhang zu den übrigen abiotischen Schutzgütern besteht, muss in die Prüfung der Auswirkungen der mögliche Vermeidungs- und Verminderungsaspekt berücksichtigt werden. Hierbei geht es insbesondere um eine Begrenzung des Flächenverbrauchs; Wiedernutzung bereits baulich genutzter Flächen; Schutz des Bodens und seiner Funktionen vor schädlichen Stoffeinträgen und/oder Verdichtung.

IV) Landschaftsbild

Die Auswirkung der Variante auf das Landschaftsbild wird in diesem Unterkriterium bewertet. Bestimmte Biotoptypen prägen auch bestimmte Landschaftsbildräume. Der Begriff der Landschaft ist synonym zum Begriff Landschaftsbild zu sehen und beschreibt damit einen sinnlich wahrnehmbaren Landschaftsausschnitt. Beurteilt werden unter anderem die Auswirkungen auf Vielfalt, Schönheit, Eigenart und Seltenheit der bestehenden Landschaft.

V) Sachgüter und Kulturgüter

Bei der Bewertung der Auswirkungen auf Sachgüter werden auch Nutzungen von Grundstücken sowie Übertragungen von Eigentümerrechten berücksichtigt. Ebenso gehören Gebäude und Infrastruktureinrichtungen zu Sachgütern.

b) Zeitaufwand bis zur Umsetzung / Wirksamkeit der Variante

Hierbei wird die voraussichtliche Zeitdauer von Planungsbeginn bis zur erfolgten Realisierung, d. h. bis zur vollständigen Wirkung der HWS-Maßnahmen vergleichend betrachtet. Die Dauer der Genehmigung wird hier jedoch nicht berücksichtigt, da dies indirekt im Unterkriterium a) enthalten ist. Die Variante, die am schnellsten umgesetzt werden kann, sollte hier die höchste Punktzahl erhalten.

c) Akzeptanz (öffentlich)

In diesem Kriterium erfolgt die Einschätzung der Akzeptanz der vorgeschlagenen Varianten in der Öffentlichkeit. Die Anzahl der Widersprüche in der öffentlichen Akzeptanz ist nicht das Entscheidungskriterium für den Vergleich, sondern die Relevanz in Bezug auf die Genehmigungsfähigkeit.

3. Kosten

Im letzten Hauptkriterium werden die Kosten mit folgenden zwei Unterkriterien bewertet.

a) Investitionskosten

Dieses Unterkriterium bewertet die summarischen Investitionskosten (Planungs-, Bau- und sonstige Investitionskosten (Grundstückserwerb)) aus der Maßnahmenentwicklung aller Einzelmaßnahmen der Variante.

b) Laufende Kosten

Ein weiterhin wesentliches Kriterium der Bewertung sind anfallende laufende Kosten bei Umsetzung der geplanten Maßnahmen. Die laufenden Kosten ergeben sich aus der Summe der Instandhaltungs- und Unterhaltungskosten. Im Fall einer theoretischen Nutzungsdauer von 80 (100) Jahren können die laufenden Kosten gravierende Folgekosten darstellen.

Die Bewertung aller Kriterien erfolgt über den Vergleich untereinander und die Vergabe einer maximal möglichen Punktzahl, d.h. die beste Bewertung erhält bei 5 Varianten die Punktzahl 5 und die schlechteste

die Punktzahl 1. Wenn *m* Varianten gleich bewertet werden, dann erhalten sie die gleiche Punktzahl, wobei die nächst besser bewertete Variante dann *m* Ränge höher folgt.

Bsp.: 5 Varianten und es gibt zwei zweitbeste Varianten (*2 = m*). Dann ergibt sich folgende Punktevergabe: 5, 3, 3, 2, 1.

Auswahl der Wichtungsfaktoren

Die aufgestellten Bewertungskriterien bilden die Grundlage für die Identifikation der Vorzugsvariante. Bei der Bewertung ist jedoch zu berücksichtigen, dass die genannten Bewertungskriterien eine unterschiedliche Relevanz im Hinblick auf die Auswahl der Vorzugsvariante besitzen. Aus diesem Grund ist für eine zielführende und belastbare Bewertung der Varianten eine Wichtung der Bewertungskriterien entsprechend ihrer Relevanz erforderlich. Die Wichtung erfolgt durch die Einführung von spezifischen, qualitativ ermittelten Wichtungsfaktoren.

Für die Ermittlung der Wichtungsfaktoren wurde folgender grundlegender Ansatz verwendet:

- Die Vorzugsvariante kann nur unter Berücksichtigung der Gesamtheit der genannten Bewertungskriterien ermittelt werden. Demzufolge wird die Summe der betrachteten Bewertungskriterien als Gesamtbewertungsgrundlage gleich 100 % gesetzt.
- Das Bewertungskriterium „Zielerreichungsgrad“ betrifft die Hauptzielstellung der Variante und geht daher mit der höchsten Wichtung (40 %) ein.
- Die Bewertungskriterien „Umsetzbarkeit“ und „Kosten“ werden zu gleichen Anteilen mit jeweils 30 % gewichtet.
- Für die Unterkriterien des „Zielerreichungsgrades“ erfolgte eine Zuweisung der Wichtungen dahingehend, dass der Bewertung des „Zielerreichungsgrades der Maßnahmenplanung“ mit 60 % die größte Bedeutung zukommt. Die Synergie mit WRRL / Nachhaltigkeit im Sinne der HWRM-RL geht mit 30 % ein. Das Versagensrisiko spielt bei den erstellten Varianten eher eine untergeordnete Rolle, da die Wirkung der vorgeschlagenen Maßnahmen kaum vom menschlichen Handeln abhängt. Daher geht dieses Kriterium nur mit 10 % ein.
- Für die Unterkriterien der „Genehmigungsfähigkeit“ erfolgt ebenfalls eine Abstufung. Die Bewertung der Auswirkungen auf UVP-Schutzgüter ist für die Genehmigungsfähigkeit entscheidend. Hierbei werden nur die UVP-Schutzgüter betrachtet, die einen hinreichenden Unterschied im Ergebnis der Bewertung der Auswirkungen erwarten lassen. In der Summe erhalten diese somit eine Wichtung von 40% in Bezug auf das Hauptkriterium. Alle weiteren Unterkriterien werden entsprechend ihrer Bedeutung für den Vergleich geringer aber gleich gewichtet.
- Das 3. Hauptkriterium „Kosten“ wird in „Bau- und Investitionskosten“ zu 70 % und in „Laufende Kosten“ (Summe aus Instandhaltungs- und Unterhaltungskosten) zu 30% gewichtet. In der Regel

weisen die Bau- und Investitionskosten die höhere Priorität von den Kostenarten auf, was sich in der Wichtung widerspiegelt.

- Den jeweiligen Wichtungsfaktor für die verschiedenen Bewertungskriterien erhält man durch die Normierung des vorangehend ermittelten prozentualen Anteils auf den Wert 1, welcher der Gesamtbewertungsgrundlage von 100 % entspricht: Faktor 1 ≙ Gesamtbewertungsgrundlage 100 %. Die Wichtungsfaktoren liegen somit im Wertebereich zwischen 0 und 1.

Basierend auf dem beschriebenen Ansatz ergeben sich zusammenfassend folgende Wichtungen für die verschiedenen Kriterien:

Tabelle 8-3 Bewertungskriterien

Hauptkriterien		**Unterkriterien I**		**Unterkriterien II**	
	Wichtung		**Wichtung**		**Wichtung**
1. Zielerreichungsgrad (in kombinierender Wirkung der Maßnahmen innerhalb einer Variante)	**40%**	a) Zielerreichungsgrad der Maßnahmenplanung	60%		
		b) Synergie mit WRRL / Nachhaltigkeit im Sinne der HWRM-RL (Verhältnis zwischen Nutzungsdauer, Aufwand und Langzeitsicherheit bei Klimawandel, städtebaul. Planungen/Bevölkerungswachstum)	30%		
		c) Versagensrisiko	10%		
2. Umsetzbarkeit	**30%**	a) Genehmigungsfähigkeit hinsichtlich Umweltwirkung (Auswirkung auf UVP-Schutzgüter)	40%	I) Grundwasser / Oberflächenwasser	30%
				II) Flora, Fauna, biol. Vielfalt	40%
				III) Boden	10%
				IV) Landschaftsbild	10%
				V) Sachgüter	10%
		b) Zeitaufwand bis zur Umsetzung/Wirksamkeit der Variante	30%		
		c) Akzeptanz (öffentlich)	30%		
3. Kosten	**30%**	a) Investitionskosten	70%		
		b) Laufende Kosten	30%		
	100%				

Auswahl der Vorzugsvariante über den höchsten Zahlenwert

Das Endergebnis wird aus den Zwischensummen der Hauptkriterien automatisch bestimmt. Daraus wird eine Rangfolge abgeleitet.

Nach der Anwendung der Bewertungsmethodik ergibt sich als Endergebnis eine Rangfolge der Varianten. Die Vorzugsvariante erhält den Rang 1. Es folgen die anderen Varianten entsprechend ihrer Bewertung. Die Vorzugsvariante wird zusammengefasst und dabei kurz und nachvollziehbar begründet. Die zu erwartenden, relevanten Genehmigungshindernisse werden benannt.

Die Wirkung der identifizierten Vorzugsvariante wird modelltechnisch geprüft. Im Ergebnis des Wirkungsnachweises werden, wenn erforderlich, die Dimensionierungen der Maßnahmen angepasst. Die zu erwartenden Kosten für die Realisierung werden berechnet. Die Nutzen-Kosten-Analyse der Vorzugsvariante wird danach umgesetzt.

Der „Nutzenbarwert“ der Vorzugsvariante kann nur ermittelt werden, wenn die Schadensminderung für das Bearbeitungsgebiet rechnerisch nachgewiesen wird. Hierfür erfolgt die Berechnung der Schadenspotentiale für verschiedene HQ_T-Szenarien.

8.2.4 Kostenschätzung der vorgeschlagenen Maßnahmen

Für die Kostenermittlung wurden die Investitionskosten und die laufenden Kosten abgeschätzt.

Im Rahmen der Investitionskosten wurden neben den Baukosten auch folgende Kostenbestandteile abgeschätzt, sofern sie für die einzelnen Maßnahmen erforderlich sind:

- Planungskosten (HOAI, Tragwerksplanung, Vermessung, Baugrund, Naturschutzfachliche Planungen)
- Grunderwerbskosten für Neubaumaßnahmen
- Sicherheitszuschlag für Baumaßnahmen im innerörtlichen Bereich (bspw. durch notwendige Leitungsverlegungen),

Die Investitionskosten enthalten damit auch vergleichsneutrale Kostenbestandteile, deren Berücksichtigung keine Änderung in der Bewertung erwarten lässt.

Zum gegenwärtigen Planungsstand nicht berücksichtigt wurden evtl. Entschädigungs-/Ausgleichszahlungen.

Für jede Maßnahme erfolgte eine Abschätzung der Kosten anhand der lokalen Gegebenheiten. Beim Umbau von Brücken wurde je nach Situation von einem Teilrückbau bzw. vollständigem Rückbau ausgegangen.

Die folgende Tabelle 8-4 zeigt in einer Zusammenfassung die investiven und die jährlichen Kosten für die einzelnen Maßnahmen im Bearbeitungsgebiet (Netto-Preise). Darin werden die Investitionskosten unter

Berücksichtigung der Baukosten und Zuschläge unabhängig von der Nutzungsdauer dargestellt. In der Tabelle 8-4 werden gerundete Kosten aufgeführt. Eine detaillierte Aufschlüsselung der einzelnen Kostenbestandteile kann Anlage 11 entnommen werden.

Für den Kostenvergleich der Varianten wurden die Barwerte der abgeschätzten Investitionskosten für einen Betrachtungszeitraum von 80 a (Empfehlung der KVR-Leitlinien) ermittelt, so dass für Maßnahmen mit einer kürzeren Nutzungsdauer die in diesem Zeitraum erforderlichen Ersatzinvestitionen (diskontiert) berücksichtigt wurden.

Die laufenden Kosten wurden auf der Basis der Einheitskosten pro Jahr verglichen. Auf die Ermittlung des Barwertes der Jahreskosten konnte verzichtet werden, da dieser keine Änderung in der vergleichenden Bewertung bewirkt.

Tabelle 8-4 Zusammenfassung Kostenschätzung geplante Maßnahmen (Schutzziel HQ_{100})

Name		**Dimensionierung**	**Investitionskosten (Baukosten und Zuschläge unabh. von Nutzungsdauer) (Netto, gerundet) [€]**	**Laufende Kosten (Netto, gerundet) [€/a]**	**Nutzungsdauer (Quelle KVR 2012) [a]**
M004-a	Hochwasserrückhalte-becken oberhalb Niedernissa (Schutzziel HQ_{100})	• Dammhöhe h = 4,0 m (Einstauhöhe 3,5 m, Freibord 0,5 m) • Beckenvolumen V = 24.000 m³ • Dammlänge l = 270 m • Gestaltung einfaches Auslassbauwerk	1.910.000 €	31.000 €	80
M005	Objektschutz einzelner Gebäude "Am Bach" Urbich	• Installation für 6 Gebäude • Wassertiefe 30 bis 50 cm • Dammbalkensysteme für Türen und tieferliegende Öffnungen der Gebäude • spez. Baukostenansatz: Stck. 10.000 €	70.000 €	6.000 €	20
M006	Umgestaltung Gerinne "Am Bach" Urbich	• Gerinneumgestaltung auf einer Strecke von ca. 200 m (lfdm 400 €) • Errichtung eines rechtsseitigen Deiches von 0,5 m Höhe (lfdm 550 €) • Ersatzneubau Grundstückszufahrt entsprechend hydraulischer Verhältnisse (Stck. 10.000 €) • Beseitigung 2 baufällige Stege (Stck. 5.000 €)	275.000 €	7.000 €	50

Name		Dimensionierung	Investitionskosten (Baukosten und Zuschläge unabh. von Nutzungsdauer) (Netto, gerundet) [€]	Laufende Kosten (Netto, gerundet) [€/a]	Nutzungsdauer (Quelle KVR 2012) [a]
M007	Hydraulische Optimierung Durchlass "An der Kochschule" Urbich	• Umbau vorhandene kleine Straßenbrücke 10 m Länge, 8,5 m Fahrbahnbreite (Stck. 200.000 €) • Errichtung Linienschutz oberhalb der Brücke linksseitig Urbach mit 0,5 m Höhe auf einer Strecke von 50 m (lfdm 550 €)	305.000 €	9.000 €	90
M008	Hochwasserschutzmauer "An der Kochschule" Urbich	• Bau einer Hochwasserschutzmauer auf 120 m Länge, 1 m Höhe (lfdm 1.220 €)	215.000 €	5.000 €	80
M009	Objektschutz Gebäude "Zur Schleuse" Urbich	• Installation für 1 Gebäude • Wassertiefe ca. 30 cm • Dammbalkensysteme für Türen und tieferliegende Öffnungen der Gebäude • spez. Baukostenansatz: Stck. 10.000 €	15.000 €	1.000 €	20
M010	Hydraulische Optimierung Durchlass "Über den Krautländern" Urbich	• Umbau vorhandene Straßenüberquerung mit Rohrdurchlass für 10 m Straßenlänge, 18 m Fahrbahnbreite (Rohrlänge) • spez. Baukostenansatz: Umbau der Brücke nach Abschätzung vorliegender Situation	200.000 €	7.000 €	90
M011	Mobiler Linienschutz Weg "Über den Krautländern"	• mobile Hochwasserschutzwand für 90 m Länge, Höhe 50 cm (lfdm 950 €)	110.000 €	5.000 €	50
M012-a	Hydraulische Optimierung Brücke "Zur Trolle" Büßleben	• Umbau vorhandene Straßenbrücke, 12 m Länge, 10 m Fahrbahnbreite • spez. Baukostenansatz: Umbau der Brücke nach Abschätzung vorliegender Situation	170.000 €	6.000 €	90
M012-b	Rückbau Brücke "Zur Trolle" Büßleben zur Wiederherstellung des Abflussprofils	• Abriss des Brückenbauwerkes und Wiederherstellung der Durchgängigkeit des Gerinnes auf einer Strecke von 10 m • spez. Baukostenansatz: Entsorgung und Gerinnegestaltung anhand Abschätzung vorliegender Situation	55.000 €	2.000 €	40
M013	Hydraulische Optimierung Brücke "Im Ziegelgarten" Linderbach	• Umgestaltung und Verbreiterung des Gerinnes auf einer Strecke von ca. 80 m Länge (lfdm 875 €)	105.000 €	3.000 €	50
M014	Beseitigung der Gerinneeinengung an der Furt "Im Großen Garten" Linderbach	• Geländeabtrag auf einer Strecke von 45 m, Volumenabtrag ca. 200 m³ (m³ 53 €) • Gestaltung neues Gerinne auf einer Strecke von 50 m Länge (lfdm 875 €)	75.000 €	3.000 €	50

Name		Dimensionierung	Investitionskosten (Baukosten und Zuschläge unabh. von Nutzungsdauer) (Netto, gerundet) [€]	Laufende Kosten (Netto, gerundet) [€/a]	Nutzungsdauer (Quelle KVR 2012) [a]
M015	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) rechtsseitig Linderbach "Im Großen Garten"	• Konstruktion Deich entlang rechter Uferseite auf einer Strecke von 260 m Länge, 0,5 bis 1 m Höhe (lfdm 550 €)	210.000 €	5.000 €	80
M016	Absenkung Uferbereiche zwischen Azmannsdorf und Kerspleben (rechts)	• Absenkung der rechten Uferkante in mehreren Abschnitten auf insg. 600 m Länge, 4 m Breite und 0,5 m Höhe (Volumenabtrag 1200 m³) (m³ 53 €)	85.000 €	-	50
M017	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) Kerspleben	• Deichneubau auf einer Strecke von 350 m Länge, Höhe bis zu 1,2 m (lfdm 550 € bis 770 €)	325.000 €	6.000 €	80
M018	Hydraulische Optimierung Brücke "Zum Sulzenberg" Linderbach	• Umbau vorhandene Straßenbrücke, 14 m Länge, 10 m Fahrbahnbreite • spez. Baukostenansatz: Umbau der Brücke nach Abschätzung vorliegender Situation	145.000 €	5.000 €	90
M019	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau)/ Wegerhöhung zwischen Kersplebener Chaussee und Ortsausgang Kerspleben	• Deichneubau auf einer Strecke von 140 m Länge, Höhe 1 m (lfdm 700 €)	145.000 €	3.000 €	80
M020	Absenkung Uferbereich Kerspleben	• Absenkung der rechten Uferkante auf 200 m Länge, 10 m Breite und 0,5 m Höhe (Volumenabtrag 1000 m³) (m³ 53 €)	70.000 €	-	50
M021	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) Töttleben	• Deichneubau auf einer Strecke von 260 m Länge, Höhe bis zu 1,2 m (lfdm 550 € bis 770 €)	245.000 €	5.000 €	80
M022	Objektschutz einzelner Gebäude Niedernissa	• Installation für 3 Gebäude • Wassertiefe ca. 20 cm • Dammbalkensysteme für Türen und tieferliegende Öffnungen der Gebäude • spez. Baukostenansatz: Stck. 10.000 €	35.000 €	3.000 €	20
M023	Objektschutz einzelner Gebäude Büßleben	• Installation für 2 Gebäude • Wassertiefe ca. 20 cm • Dammbalkensysteme für Türen und tieferliegende Öffnungen der Gebäude • spez. Baukostenansatz: Stck. 10.000 €	25.000 €	2.000 €	20

Name		Dimensionierung	Investitionskosten (Baukosten und Zuschläge unabh. von Nutzungsdauer) (Netto, gerundet) [€]	Laufende Kosten (Netto, gerundet) [€/a]	Nutzungsdauer (Quelle KVR 2012) [a]
M024	Ausbau Ableitung am Kirchgraben Rohda	• Ausbau des Gerinnes am Kirchgraben auf einer Strecke von 325 m Länge (lfdm 125 €) • Anpassung von 2 Durchlässen (Stck. 20.000 €)	115.000 €	14.000 €	50
M025	Absenkung Uferbereich zwischen Urbich und Linderbach	• Absenkung der linken Uferkante in mehreren Abschnitten auf insg. 150 m Länge, 10 m Breite und 0,5 m Höhe (Volumenabtrag 750 m³) (m³ 53 €)	55.000 €	-	50
M026	Aktivierung der linksseitigen Fläche oberhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum	• Gestaltung Ein- und Auslaufschwelle (je 20 m x 10 m) (m³ 135 €) • 14.000 m³ Boden lösen und entfernen (m³ 8 €) • 20.000 m² Oberboden abschieben und wieder aufbringen (m³ 5 €) • Rasenansaat 20.000m² (m² 0,05 €) • weitere Kosten: Rodung, Auslaufrohr mit Rückstauklappe zur Entwässerung durch Beurteilung der vorliegenden Situation • Rasen mähen und Geräte vorhalten (Berücksichtigung bei den laufenden Kosten)	470.000 €	2.000 €	80
M027	Aktivierung der rechtsseitigen Fläche unterhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum	• Gestaltung Ein- und Auslaufschwelle (je 20 m x 10 m) (m³ 135 €) • 11.000 m³ Boden lösen und entfernen (m³ 8 €) • 20.200 m² Oberboden abschieben und wieder aufbringen (m³ 5 €) • Rasenansaat 20.200m² (m² 0,05 €) • weitere Kosten: Rodung, Auslaufrohr mit Rückstauklappe zur Entwässerung durch Beurteilung der vorliegenden Situation • Rasen mähen und Geräte vorhalten (Berücksichtigung bei den laufenden Kosten)	330.000 €	1.000 €	80
M028	Absenkung Uferbereiche zwischen Azmannsdorf und Kerspleben (links)	• Absenkung der linken Uferkante in auf insg. 70 m Länge, 10 m Breite und 0,4 m Höhe und Abtrag von Gelände zur Leitung des weiträumigen Abstroms (Volumenabtrag 2000 m³) (m³ 53 €)	140.000 €	-	50
M029	Rückbau Furtbrücke "Weimarische Straße“, Wiederherstellung des Abflussprofils	• Abriss des Brückenbauwerkes und Gestaltung einer Furt • spez. Baukostenansatz: Entsorgung und Gerinnegestaltung anhand Abschätzung vorliegender Situation	25.000 €	-	40

Die laufenden Kosten der Tabelle 8-4 rangieren im oberen Bereich vergleichbarer Kostenspannen. Dies resultiert im Wesentlichen aus folgenden Ursachen bzw. Annahmen:

- Für die Höhe der laufenden Kosten wurden auch die Kosten berücksichtigt, die derzeit bereits als „Sowieso-Kosten“ anfallen und sich durch die Umsetzung der Maßnahmen nicht bzw. nicht relevant ändern, z.B. Pflegearbeiten an Ufern, die vor und nach Umsetzung der Maßnahme zur Aufweitung des Gewässerquerschnittes erforderlich sind.
- Für bestimmte Maßnahmen ist mit dem derzeitigen Planungsstand noch keine Aussage zur konkreten Umsetzung (z.B. linienhafter Hochwasserschutz) getroffen, so dass die laufenden Kosten auch hier einen maximalen Kostenaufwand widerspiegeln.
- Optimierungsfaktoren, z.B. Kontrollbegehungen an mehreren Brücken am Gewässer an einem Tag, bleiben im Rahmen der Kostenermittlung unberücksichtigt.
- Nicht berücksichtigt wurde ebenfalls, dass ausgewählte Pflege-/Wartungsarbeiten z.B. durch Gewässerunterhaltungsverbände (Uferrandstreifen) bzw. Privatpersonen (Objektschutz) ausgeführt werden, so dass die späteren Kosten nicht unmittelbar beim Träger der Umsetzung der Maßnahmen anfallen.

8.2.5 Identifikation der Vorzugsvariante

Die identifizierten Varianten zum Hochwasserschutz im Betrachtungsgebiet wurden mit Hilfe der beschriebenen Bewertungsmethodik in Kapitel 8.2.3 verglichen. Die durchgeführte Bewertung mit Punktevergabe ist dem Bericht in der Tabelle der Anlage 9 beigefügt.

Die Anlage 10 zeigt die vorhandenen Schutzgebiete im Bereich des Bearbeitungsgebietes, die für die Beurteilung der Varianten hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit relevant sein können.

Die folgende Tabelle 8-5 dient zur Erläuterung der durchgeführten Bewertung anhand des Vergleichs der verschiedenen Varianten.

Tabelle 8-5 Variantenvergleich für die Bewertungskriterien

Kriterium	Beschreibung der Variantenbewertung
1. Zielerreichungsgrad	
a) Zielerreichungsgrad der Maßnahmenplanung	V4 > V1 = V2 = V3 > V5 Die Varianten wurden unter dem Gesichtspunkt erstellt, mit allen Maßnahmenkombinationen den Schutz der identifizierten Brennpunkte und den Schutz des menschlichen Lebens zu erreichen. Generelle Zielsetzung für das Bearbeitungsgebiet sollte es dabei sein, möglichst Retentionsraum zu schaffen und keine Verschärfung der Hochwassersituation für die Ober- und Unterlieger zu bewirken. Im Vergleich des Zielerreichungsgrades ist Variante 2 (technische Maßnahmen) hinsichtlich des Kriteriums als schlechteste Variante einzustufen. Die Umsetzung von hauptsächlich technischen Maßnahmen bedeutet in der Regel einen entscheidenden Eingriff in die Überflutungssituation, wodurch für Unterlieger auch die Verschärfung der Hochwassersituation möglich ist. Die Variante 5 (überwiegend Objektschutz) erfüllt den Hochwasserschutz im Sinne der angestrebten Ziele. Auch die Varianten 1 (Synergie mit WRRL) und 3 (Wasserrückhalt) sind gegenüber Variante 2 besser zu bewerten, wobei zwischen den Varianten keine nennenswerten Unterschiede hinsichtlich des Zielerreichungsgrads zu erkennen sind. Daher erhalten die Varianten 1, 2 und 3 die gleiche Punktzahl. Variante 4 (geringe Versagenswahrscheinlichkeit) erhält für dieses Kriterium die beste Bewertung, da für sie die höchste Wirksamkeit und somit der höchste Zielerreichungsgrad eingeschätzt wird. Im Gegensatz zu Variante 1 enthält diese Variante den Deich Kerspleben, der gegenüber dem Umbau der Brücke „Zum Sulzenberg“ eine wirksamere Alternative darstellt (für den Umbau der Brücke besteht weiterhin eine Verklausungsgefahr, die Überströmungen von der Bebauung in Kerspleben können dadurch nicht sicher ausgeschlossen werden).
b) Synergie mit WRRL / Nachhaltigkeit im Sinne der HWRM-RL (Verhältnis zwischen Nutzungsdauer, Aufwand und Langzeitsicherheit bei Klimawandel, städtebaul. Planungen/Bevölkerungswachstum)	V1 = V4 > V5 > V2 = V3 Im Sinne der HWRM-RL und WRRL sollte dem Fluss bereits bei kleinen Hochwasserereignissen mehr Raum gegeben werden. Varianten, die dem Gewässer Retentionsraum nehmen, werden daher schlechter bewertet. Im Sinne der Ziele für das Bearbeitungsgebiet sollte generell bei Flussbaumaßnahmen darauf geachtet werden, dass geplante Gerinneumgestaltungen naturnah durchgeführt werden. Die Retention sollte gefördert, das Gefälle verringert und die Fließlänge erhöht werden (Gestaltung von Mäandrierungen). Für Maßnahmen, die eine Umgestaltung der Gewässer im Gebiet vorsehen kann von einer positiven Wirkung ausgegangen werden (mehr Raum für das Gewässer). Auch für den Rückbau von Brücken und Durchlässen kann eine positive Wirkung hinsichtlich der Nachhaltigkeit im Sinne der HWRM-RL erfolgen, indem Abflusshindernisse beseitigt werden. Variante 1 erhält für dieses Kriterium die beste Bewertung, da die Maßnahmenkombination unter dem Gesichtspunkt der bestmöglichen Synergie mit der WRRL gewählt wurde. Variante 4 schließt sich in der Bewertung an diese Variante an. Da keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich dieses Kriteriums für beide Varianten identifiziert werden können, erhalten beiden punktgleich die beste Bewertung. Die Varianten 2 und 3 erhalten eine identische Bewertung. Hinsichtlich der WRRL und HWRM-RL sind darin zum Teil für einige Maßnahmen auch Konflikte möglich (z.B. könnte der Bau eines Hochwasserrückhaltebeckens problematisch für die Durchgängigkeit sein). Die Variante 5 (mobile und Objektschutzmaßnahmen) hat eine neutrale Wirkung und erhält daher eine höhere Punktzahl als die Varianten 2

Kriterium		Beschreibung der Variantenbewertung
		und 3.
c) Versagensrisiko		V4 = V1 > V3 > V2 >V5 Variante 5 (mobile und Objektschutzmaßnahmen) erhält die geringste Punktzahl, da Türen und ggf. tief liegende Fenster (Kellerfenster) im Hochwasserfall erst gesichert oder verschlossen werden müssen. Aufgrund der Kombination aller vorgeschlagenen Objektschutzmaßnahmen und der mobilen HWS-Maßnahme ist das Versagensrisiko für diese Variante als hoch einzustufen. Variante 2 enthält die mobile Linienschutzmaßnahme in Urbich sowie einen Objektschutz „Zur Schleuse“, daher erhält sie die zweitschlechteste Punktzahl. Variante 3 enthält keinen mobilen Linienschutz, jedoch zwei Objektschutzmaßnahmen. Deren Versagensrisiko wird geringer als bei Variante 2 eingeschätzt, daher wird diese Variante besser bewertet. Für die Varianten 1 und 4 wird das Versagensrisiko am geringsten eingeschätzt, da diese nur stationäre Anlagen enthalten, die in jedem Fall bei Hochwasser wirksam werden. Beide Varianten erhalten die höchste Punktzahl.
2. Umsetzbarkeit		
a) Genehmigungsfähigkeit hinsichtlich Umweltwirkung (Auswirkung auf UVP-Schutzgüter)	I) Grundwasser / Oberflächenwasser	V1 = V5 > V4 > V3 > V2 In diesem Kriterium werden zu erwartende Veränderungen der hydraulischen Verhältnisse sowie Auswirkungen der Varianten auf die Grundwasserverhältnisse betrachtet. Vor allem durch Deichbau oder einen dauerhaften Einstau von Oberflächenwasser in neu angebundenen Retentionsräumen sind dabei potentielle Genehmigungshindernisse möglich. Für die Variante 1 werden keine negativen Auswirkungen auf das Oberflächen- und Grundwasser erwartet. Auch Variante 5 kann mit den enthaltenen Maßnahmen als neutral bewertet werden. Objektschutzmaßnahmen und ein mobiler Linienschutz stellen keinen direkten Eingriff dar. Variante 4 kann aufgrund des Deichneubaus Kerspleben gegebenenfalls negative Auswirkungen auf die Grundwasserstände der Ortslage zur Folge haben. Diese sind im Wesentlichen jedoch zeitlich auf den Hochwasserfall begrenzt, können jedoch Kellervernässungen zur Folge haben. Diese Variante wird daher hinter den Varianten 1 und 5 eingestuft. Die Varianten 2 und 3 enthalten vor allem Deichneubau-Maßnahmen sowie die Errichtung des Hochwasserrückhaltebeckens Niedernissa. Das HRB kann im Hochwasserfall durch den Einstau einen Anstieg der Grundwasserstände bewirken, daher sind Umsetzungsschwierigkeiten hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit wahrscheinlich. Variante 2 wurde dabei aufgrund der summarischen Bewertung der einzelnen Maßnahmen mit der geringsten Punktzahl eingestuft.
	II) Flora, Fauna, biol. Vielfalt	V5 > V1 = V3 = V4 > V2 Für die Variante 5 können keine relevanten Konflikte hinsichtlich der Flora, Fauna und der biologischen Vielfalt identifiziert werden. Für diese Variante befindet sich keine Maßnahme innerhalb eines Gebietes mit gemeinschaftlicher Bedeutung (FFH-Gebiete, Naturschutzgebiete oder Landschaftsschutzgebieten). Außerdem ist in dieser Variante mit dem Bau einer Hochwasserschutzmauer und eines Deiches im Vergleich zu den anderen Varianten kein starker Konflikt mit der vorhandenen Flora und Fauna zu erwarten. Das Hochwasserrückhaltebecken oberhalb Niedernissa befindet sich innerhalb eines Bereiches von einem geschützten Biotop (in Varianten 2 und 3 enthalten). Weiterhin befindet sich auch die Umgestaltung des Gerinnes am Bach innerhalb eines geschützten Biotops (Variante 1, 2 und 4). Durch die Umsetzung der Maßnahmen ist mit erheblichen Umweltwirkungen und damit verbundenen Genehmigungsschwierigkeiten zu rechnen. Aufgrund der summarischen Bewertung ergibt sich daher für die Varianten 1, 3 und 4 eine identische Punktzahl.

Kriterium		Beschreibung der Variantenbewertung
		Variante 2 erhält die schlechteste Bewertung, da diese das HRB Niedernissa und die Umgestaltung des Gerinnes am Bach enthält. Für diese Variante ist hinsichtlich der biologischen Vielfalt mit den stärksten Konflikten zu rechnen.
	III) Boden	V5 = V1 > V3 = V4 > V2 Für Variante 2 ergibt sich aufgrund der Vielzahl der technischen Maßnahmen der stärkste Eingriff in das Schutzgut Boden. Durch Deichneubau sowie durch die Dammkonstruktion des HRB Niedernissa sind Veränderungen der natürlich vorliegenden Böden möglich. Die Varianten 3 und 4 enthalten in gleichem Maße Deichbaumaßnahmen, die mit einer Verdichtung des Bodens und Veränderung der natürlichen Böden einhergehen. Da sich zwischen beiden Varianten keine signifikanten Unterschiede ergeben, wurden beide gleich bewertet. Im Vergleich zu Variante 2 enthalten beide Varianten jedoch summarisch weniger Deich- oder Dammbaumaßnahmen, daher erhalten sie eine bessere Bewertung. Die Variante 5 sieht Objektschutz und mobilen Hochwasserschutz vor, wodurch kein nennenswerter Eingriff in das Schutzgut Boden stattfindet. Auch Variante 1 bewirkt wenig Eingriff, daher wurden beide Varianten gleichrangig bewertet.
	IV) Landschaftsbild	V1 > V4 > V5 > V2 = V3 Eine Aufwertung des Landschaftsbildes ist vor allem durch Renaturierungen und Umgestaltungen des Gerinnes möglich. Dabei sollte eine naturnahe Gestaltung (z.B. Umgestaltung des Gerinnes am Bach in Urbich) erfolgen. Auch der Rückbau der Brücke „Zur Trolle“ kann hinsichtlich des Landschaftsbildes besser bewertet werden als ein Umbau des Bauwerkes. Die Hochwasserschutzmauer in Urbich bewirkt dabei auch ein schlechteres Landschaftsbild als die Alternative - der Umbau des Durchlasses „An der Kochschule“. Variante 1 erhält in Summation der enthaltenen Maßnahmen die beste Bewertung, da darin überwiegend positive oder neutral bewertete Maßnahmen enthalten sind. Das Landschaftsbild wird dabei aufgewertet. Variante 4 beinhaltet einen Deichneubau bei Kerpsleben, der einen Eingriff in das Landschaftsbild verursacht und daher als zweitbeste Variante eingeordnet wurde. Variante 5 bewirkt keine nennenswerte Veränderung des vorhandenen Landschaftsbildes. In der Summation ergibt sich daher eine neutrale Bewertung, die schlechter als eine Aufwertung des Landschaftsbildes bewertet wird. Die Varianten 2 und 3 enthalten u.a. mit dem Bau der Hochwasserschutzmauer in Urbich mehrere Maßnahmen, die sich negativ auf das Landschaftsbild auswirken, daher wurden beide gleichrangig mit der geringsten Punktzahl bewertet.
	V) Sachgüter	V1 > V4 = V5 > V3 > V2 Dieses Kriterium berücksichtigt Umsetzungsschwierigkeiten, die sich durch die Übertragung von Eigentümerrechten oder die Nutzung von Grundstücken im Zusammenhang mit der Umsetzung der Maßnahmen ergeben können. Insbesondere bei der Errichtung von Deichen oder Hochwasserschutzmauern ist dabei von einem Eingriff in Sachgüter möglich. Summarisch ergibt sich, dass Variante 2 die schlechteste Bewertung erhält, da in dieser die Errichtung des HRB Niedernissa, der Hochwasserschutzmauer an der Kochschule sowie von Deichen in Linderbach und Kerspleben vorgesehen ist. Für die Konstruktionen werden Flächen in Anspruch genommen, die sich nach ersten Einschätzungen in Privatbesitz befinden können, daher ist mit Genehmigungshindernissen zu rechnen. Variante 3 beinhaltet keinen Deichbau in Kerspleben, daher reiht sich diese über Variante 2 ein. Die Varianten 4 und 5 können summarisch gleich bewertet werden und beinhalten jeweils eine Maßnahme, bei denen ein Eingriff in Sachgüter zu erwarten ist.

Kriterium	Beschreibung der Variantenbewertung
	Variante 1 erhält die beste Bewertung, da in dieser keine Konflikte zu erwarten sind.
b) Zeitaufwand bis zur Umsetzung/Wirksamkeit der Variante	V5 > V1 = V4 > V2 = V3 Die beste Bewertung hinsichtlich des Zeitaufwands bis zur Umsetzung erhält Variante 5. Hier sind weitestgehend Objektschutzmaßnahmen vorgesehen. Im Gegensatz zu den anderen Varianten sind hier weniger Genehmigungsverfahren, Planungen und Gutachten für die Umsetzung der Hochwasserschutzmaßnahmen erforderlich. Für die Varianten 1 und 4 wurde dabei ein ähnlicher Zeitaufwand eingeschätzt. Der längste Zeitaufwand ist für die Umsetzung des HRB Niedernissa zu erwarten. Hier sind umfangreiche Planungen erforderlich. Weiterhin ist aufgrund der Konflikte mit dem Naturschutz mit einer längerfristigen Realisierung zu rechnen. Die Varianten 2 und 3 wurden daher am schlechtesten bewertet.
c) Akzeptanz (öffentlich)	V4 > V1 > V2 =V3 > V5 Für Variante 5 ist mit den Objektschutzmaßnahmen die geringste Akzeptanz bei der Bevölkerung zu erwarten, da diese in Eigenvorsorge zu treffen sind. In den Varianten 1 und 4 sind nur stationäre Hochwasserschutzmaßnahmen enthalten, daher ist für sie mit der höchsten öffentlichen Akzeptanz zu rechnen. In Variante 4 ist für Kerspleben ein Deichbau vorgesehen, was bei der Bevölkerung gegenüber Variante 1 (Umbau der Brücke „Am Sulzenberg“) ein größeres Sicherheitsgefühl vermittelt. Daher wird für diese Variante die höchste Akzeptanz erwartet. Die Varianten 2 und 3 enthalten in ähnlichem Maße auch Eigenvorsorgemaßnahmen. Ein nennenswerter Unterschied der Varianten ist nicht erkennbar, daher wurden beide zwischen Variante 5 und Variante 1 gleichrangig eingeordnet.
3. Kosten	
a) Investitionskosten	V1 = V4 = V5 > V2 = V3 Basierend auf der Maßnahmenplanung wurden die Investitionskosten in € für die einzelnen Maßnahmen abgeschätzt. Für den Kostenvergleich wurden die Barwerte der abgeschätzten Investitionskosten für einen Betrachtungszeitraum von 80 a (Empfehlung der KVR-Leitlinien) ermittelt, so dass für Maßnahmen mit einer kürzeren Nutzungsdauer die in diesem Zeitraum erforderlichen Ersatzinvestitionen (diskontiert) berücksichtigt wurden. Daraus ergeben sich in der Summe für die Varianten folgende Projektkostenbarwerte (Einzelkosten siehe Anlage 11): Variante 1: 3.190.000 € Variante 2: 5.165.000 € Variante 3: 4.865.000 € Variante 4: 3.370.000 € Variante 5: 2.960.000 € Bezogen auf die Investitionskosten erhalten die Varianten 1, 4 und 5 als kostengünstigste Varianten die höchste Punktzahl. Da sich die Summen nur gering voneinander unterscheiden, wurde eine gleiche Punktzahl vergeben. Die Varianten 2 und 3 ergeben in der Summe die höchsten Kosten. Aufgrund des geringen Unterschieds in den Kosten erhalten beide die gleiche Punktzahl.
b) Laufende Kosten	V1 = V4 = V5 > V2 = V3

Kriterium	Beschreibung der Variantenbewertung
	Basierend auf der Maßnahmenplanung wurden die laufenden Kosten auf der Basis der Einheitskosten pro Jahr verglichen. Auf die Ermittlung des Barwertes der Jahreskosten konnte verzichtet werden, da dieser keine Änderung in der vergleichenden Bewertung bewirkt. In der Summe ergeben sich für die Varianten folgende laufenden Kosten (Einzelkosten siehe Anlage 11): Variante 1: 66.000 € Variante 2: 93.000 € Variante 3: 94.000 € Variante 4: 67.000 € Variante 5: 63.000 € Für den Vergleich der laufenden Kosten stellen die Varianten 1, 4 und 5 die kostengünstigsten Varianten dar. Als teuerste Varianten ergeben sich die Varianten 2 und 3.

In der Tabelle 8-6 sind die Endergebnisse der Bewertungsmethodik für die Ableitung der Vorzugsvariante aufgeführt. Der größte Zahlenwert ergibt die Vorzugsvariante für das Bearbeitungsgebiet.

Tabelle 8-6 Ergebnis der Bewertungsmethodik

Reihung Variantenvergleich	Variante		Punktzahl
1	V4	Geringe Versagenswahrscheinlichkeit	377,2
2	V1	Synergie mit WRRL (Erreichen eines guten ökologischen Potentials, Durchgängigkeit)	305,8
3	V5	Mobile Hochwasserschutzmaßnahmen und Objektschutz	258,4
4	V3	Wasserrückhalt in der Fläche (Retentionsraumgewinn und -reaktivierung)	151,8
5	V2	Technische Hochwasserschutzmaßnahmen	137,0

Entsprechend der Variantenbewertung erreicht Variante 4 „Geringe Versagenswahrscheinlichkeit“ mit 377 Punkten die höchste Punktzahl und in der Rangfolge den ersten Platz. Demnach kann sie anhand der bewerteten Kriterien als Vorzugsvariante für das Bearbeitungsgebiet identifiziert werden.

Die zweitbeste Variante stellt Variante 1 „Synergie mit der Wasserrahmenrichtlinie“ mit 306 Punkten dar.

Die geringste Punktzahl wird mit 137 Punkten für die Variante 2 „Technische Hochwasserschutz-maßnahmen“ erreicht. Dabei ist eine deutliche Differenz der Punktzahl zur Vorzugsvariante zu erkennen.

Zusammenfassend kann für diese Variante von einer hohen öffentlichen Akzeptanz ausgegangen werden. Hinsichtlich der UVP-Schutzgüter können durch den Deichneubau Kerspleben gegebenenfalls negative Auswirkungen auf die Grundwasserstände der Ortslage entstehen, die im Wesentlichen jedoch zeitlich auf den Hochwasserfall begrenzt sind. Durch die Umsetzung der Maßnahmen sind auch Umweltwirkungen auf Flora, Fauna und biologische Vielfalt möglich, wodurch damit verbundenen Genehmigungsschwierigkeiten auftreten können.

8.2.6 Hydraulischer Nachweis der Vorzugsvariante

Es folgt die Beschreibung der Auswirkungen der Maßnahmen der Vorzugsvariante (Variante 4) auf die HQ_{100}-Überschwemmungsgebiete der betrachteten Gewässer im Untersuchungsgebiet. Bei signifikanten Auswirkungen auf die Flächenausbreitungen des HQ_{200} werden auch diese mit dargestellt.

Die Beschreibung in Fließrichtung stromab beginnt bei Rohda am Peterbach und endet an der Stadtgrenze bei Töttleben am Linderbach.

In der Anlage 12 (Blatt 1 bis 11) werden die berechneten Überflutungsausbreitungen HQ_{20} bis HQ_{200} und Wassertiefen HQ_{100} für die Vorzugsvariante auf Grundlage der DTK10 im Maßstab 1 : 5.000 dargestellt. Anlage 13 zeigt den Differenzenplan zwischen dem Plan- und Istzustand, so dass sich mögliche Auswirkungen durch die Veränderungen quantifizieren lassen.

Peterbach:

Peterbach, Ortslage Rohda (M024)

Der Vorschlag zum Ausbau der Ableitung am Kirchgraben südöstlich von Rohda und der Anpassung der am Graben vorhandenen Durchlässe (M024) dient der schadlosen Ableitung von extremen Hangzuflüssen in Richtung Peterbach, so dass Überflutungen der Ortslage aus den Hangzuflüssen verhindert werden. Konkrete Veränderungen können für diese Maßnahme nicht rechnerisch mit Hilfe des vorliegenden Modells nachgewiesen werden, da diese Überflutungen nicht aus dem Flusshochwasser entstehen.

Aus der Erfahrung bei der Bewältigung von Hangabflüssen kann davon ausgegangen werden, dass die Maßnahme eine positive Wirkung besitzt. Der Peterbach kann in diesem Bereich das durch die Umgestaltung des Kirchgrabens schneller zuströmende Wasser ohne Probleme ableiten, da das Abflussprofil eine ausreichende Leistungsfähigkeit besitzt.

Peterbach, Ortslage Büßleben (M012-b, M023)

In Büßleben ist der Schutz von Gebäuden im Gewässerabschnitt von km 1+800 bis km 1+900 (Bereich „Zur Trolle“) vorgesehen. Hier kommt es ohne Schutzmaßnahmen bei HQ_{100} zu Überströmungen der nah zum Gewässer liegenden Bebauung mit Wassertiefen bis zu 0,35 m. Oberhalb der Brücke „Zur Trolle“

(km 1+960) kommt es bereits ab HQ_{20} zu Rückstau und Überströmungen der angrenzenden Vorlandbereiche.

Die Berechnungen für diesen Gewässerabschnitt basieren auf dem Rückbau der Brücke und der Wiederherstellung des Abflussprofils sowie dem Schutz von zwei gewässernah stehenden Gebäuden durch Objektschutzmaßnahmen (M012-b, M023).

Direkt im Oberwasser der Brücke können bei HQ_{100} durch den Rückbau der Brücke Absenkungen bis 0,23 m gegenüber dem Istzustand erreicht werden. Eine deutliche Entlastung mit bis zu 0,15 m lässt sich noch ca. 50 m stromoberhalb des Brückenprofils durch die Berechnungen nachweisen. Im Unterwasser der Brücke ergeben sich im Planzustand auf einer Strecke ca. 30 m stromab maximal 0,06 m höhere Wasserspiegellagen, welche sich jedoch auf den Bereich des Gerinnes beschränkt und keine Auswirkung auf angrenzende Bebauung hat. Der Straßenbereich am Pappelstieg ist bereits im Istzustand von Überflutungen betroffen.

Insgesamt wird durch die geplanten Maßnahmen eine Entlastung in der Ortslage von Büßleben erreicht. Im Bereich „Zur Trolle“, zwischen km 1+940 und km 2+000, ergeben sich im Planzustand auch Überströmungen der parallel zum Peterbach verlaufenden Straße. Die Überströmungen im rechten Vorland verlaufen auf der Straße mit Wassertiefen von bis zu 20 cm. Die angrenzenden Gebäude befinden sich außerhalb der Überflutungen. Die beiden in Abbildung 8-3 gekennzeichneten Gebäude müssen zur Schadensminderung durch geeigneten Objektschutz vor dem Eindringen von Wasser in Keller und Erdgeschoss geschützt werden.

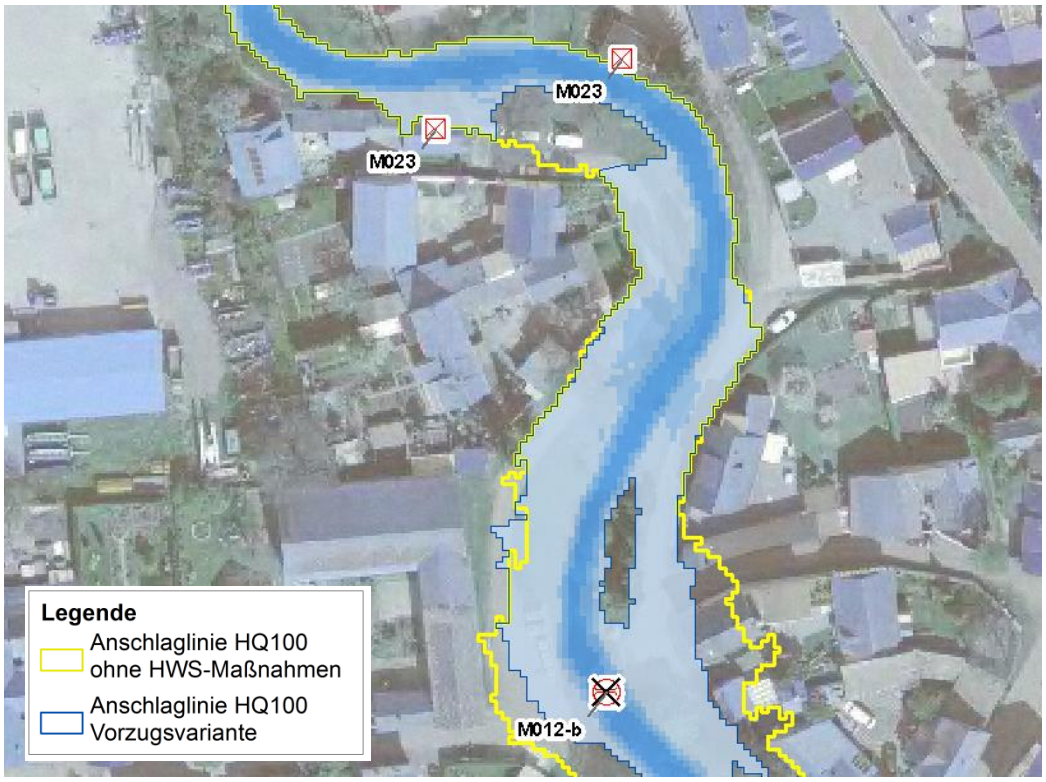


Abbildung 8-3 Ortslage Büßleben, Lage geplante Maßnahmen M012-b und M023

Im Bereich des Hauses im linken Vorland ergeben sich bei der HQ_{100}-Berechnung Wassertiefen von bis zu 0,10 m und bei HQ_{200} bis zu 0,20 m. Auf der Prallhangseite im rechten Vorland muss im Bereich des gekennzeichneten Gebäudes mit Wassertiefen von bis zu 0,80 m bei HQ_{100} (bis 1,20 m bei HQ_{200}) gerechnet werden.

Stromoberhalb und stromunterhalb von Büßleben lassen sich durch die geplanten innerörtlichen Maßnahmen keine negativen Auswirkungen auf das Abflussgeschehen nachweisen.

Pfingstbach:

Pfingstbach, Ortslage Niedernissa (M022)

In Niedernissa ufert der Pfingstbach zwischen km 0+800 bis 1+200 hauptsächlich in das linke Vorland aus. Dabei wird die Straße „Am Pfingstbach“ mit Wassertiefen bis zu 0,10 m (HQ_{100}) überflutet.

Da keine starken Auswirkungen und hohen Schäden für das Bemessungshochwasser HQ_{100} zu erwarten sind, werden an den drei in Abbildung 8-4 gekennzeichneten Gebäuden Objektschutzmaßnahmen zur Schadensminderung vorgeschlagen.

Abbildung 8-4 Niedernissa, Objektschutz für die gekennzeichneten Gebäude

Urbach, Ortslage Urbich (M006, M007, M010)

In Urbich sollen durch die Umgestaltung des Bachlaufes auf einer Strecke von 200 m oberhalb der Rudolstädter Straße und der Optimierung von zwei Brückendurchlässen ("An der Kochschule" und "Über den Krautländern") die Bebauung in den unmittelbar an den Bach angrenzenden Vorländern geschützt bzw. eine Schadensminderung für einzelne Gebäude erreicht werden.

Mit der Umgestaltung des Gerinnes (M006) und der Errichtung eines rechtsseitigen Deichs von 0,5 m Höhe kann nordwestlich des Weges „Am Bach“ zwischen km 9+600 und km 9+800 bei HQ_{100} das Ausufern des Urbaches verhindert und so der Schutz dort vorhandener Gebäude gewährleistet werden. Um die hydraulische Leistungsfähigkeit des Gerinnes in diesem Bereich zu verbessern, muss ein Ersatzneubau der Grundstückszufahrt entsprechend der hydraulischen Verhältnisse erfolgen, sowie die zwei baufälligen Stege beseitigt werden.

Die Maßnahme bewirkt entsprechend den Ergebnissen der Berechnungen für HQ_{100} eine Veränderung der Wasserspiegellagen von km 9+400 (stromunterhalb der Rudolstädter Straße) bis km 9+900 (Gewerbegelände am Nachtigallenweg). Im Bereich der Bebauung am Bach ergeben sich gegenüber dem Istzustand Absenkungen der Wasserspiegel bis 0,4 m. Direkt oberhalb der Brücke „Rudolstädter Straße“ ergibt sich eine Erhöhung der Wasserspiegel, da der Brückendurchlass eine Querschnittseinengung darstellt und an dieser Stelle die Rückstaueffekte ausschlaggebend sind. Durch den verbesserten Abfluss im Bereich „Am Bach“ kommt es zu einem höheren Aufstau, wodurch sich ein Anstieg von maximal 0,14 m ergibt. Dieser hat jedoch keine negativen Auswirkungen auf den Hochwasserschutz zwischen der Rudolstädter Straße und dem Nachtigallenweg.

Die hydraulische Optimierung (Aufweitung) des Durchlasses "An der Kochschule" in Kombination mit dem Anlegen eines 0,5 m hohen linienhaften Hochwasserschutzes neben dem Gerinne im linken Uferbereich (M007) trägt zum Schutz der Bebauung im Vorland bei (Abbildung 8-5).

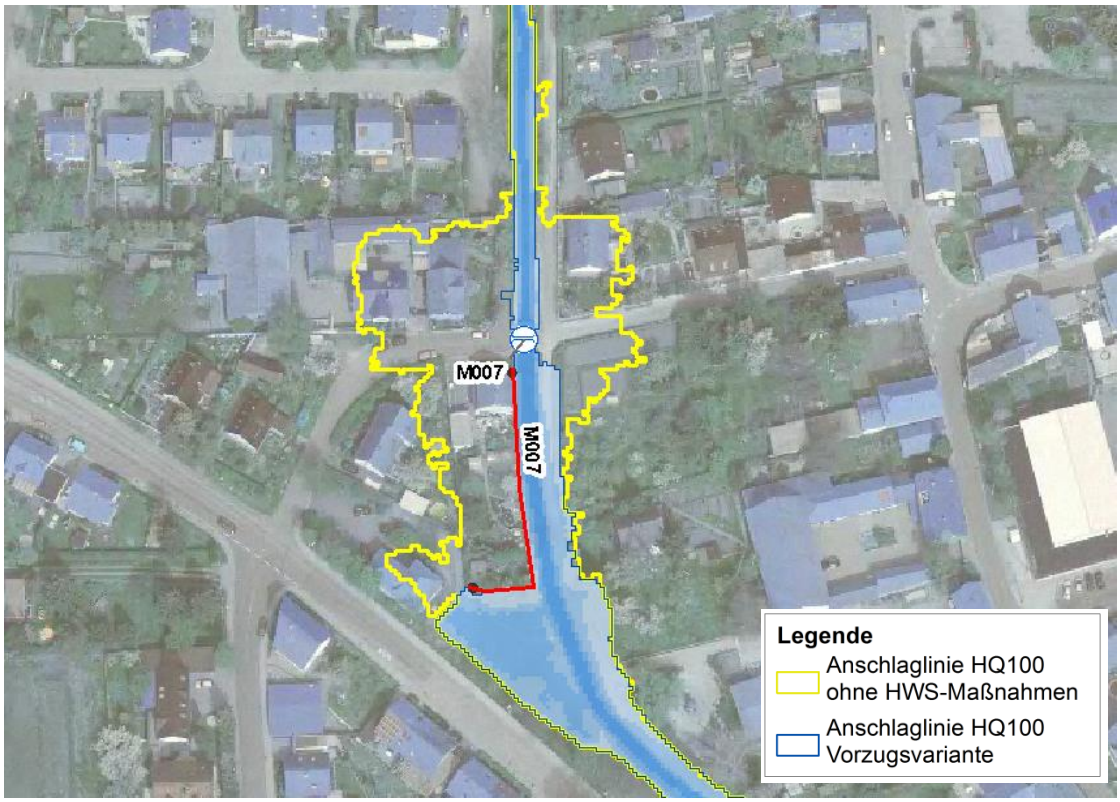


Abbildung 8-5 Auswirkungen der Maßnahme M007 in Urbich

Gegenüber dem Istzustand treten durch die Umsetzung der Maßnahme bei HQ_{100} keine Ausuferungen mehr in die Vorländer auf. Entsprechend der hydraulischen Berechnung ergibt sich für diesen Abschnitt eine Absenkung des Wasserspiegels um bis zu 0,32 m.

Auch bei HQ_{200} ist eine deutliche Reduzierung der Ausuferungen zu erkennen. Es findet zwischen „Zur Steinbrücke“ und „Zur Schleuse“ kein Abfluss mehr im rechten Vorland statt (siehe Anlage 12).

Durch die Verbesserung der Abflussverhältnisse ergibt sich unmittelbar stromunterhalb des Durchlasses ein geringer Anstieg des Wasserspiegels um maximal 0,05 m, der jedoch ca. 235 m stromab ausläuft.

Bei entsprechender hydraulischer Optimierung (Aufweitung) des Durchlasses "Über den Krautländern" (M010) kann am nördlichen Ortsrand von Urbich das Ausufern in das rechte Vorland verhindert werden (bei HQ_{100} und auch bei HQ_{200}), so dass die im rechten Vorland vorhandenen Gebäude vor Überflutungen geschützt werden. Bei HQ_{100} wird der Wasserspiegel durch Umsetzung der Maßnahme im Oberwasser des Durchlasses um ca. 0,6 m abgesenkt. Die 0,18 m Anstieg des Wasserspiegels im Unterwasser des Durchlasses haben keine negativen Auswirkungen auf das Abflussgeschehen. Der Urbach bleibt hier dann auch bei HQ_{200} im Gerinne.

Urbach, zwischen den Ortslagen von Urbich und Linderbach (M025)

Durch die Absenkung der linken Uferkante des Urbaches zwischen km 7+900 und 8+500 soll ein Abströmen größerer Abflussmengen über das Vorland bewirkt werden, was eine Retention der Abflussganglinie zur Folge hat. Die Berechnungen weisen im Abflussbereich im linken Vorland bei HQ_{100} einen Anstieg des Wasserspiegels um maximal 0,18 m aus.

Die Verringerung der Abflussscheitelwerte dient dem Schutz der Unterlieger.

Linderbach, Ortslage Linderbach (M013, M014, M029)

Im Istzustand kommt es oberhalb der Furtbrücke „Weimarische Straße“ (noch Peterbach-km 0+025, kurz vor Einmündung in den Linderbach) bereits ab HQ_{20} zum Einstau der Brücke. Außerdem besteht bei Hochwasserabfluss eine große Gefahr der Verklausung des Durchlasses, was die Probleme des Ausuferns noch verstärken kann.

Zum Schutz der Bebauung in diesem Bereich werden ein Rückbau der Brücke und die Wiederherstellung als Abflussprofil vorgeschlagen (M029), so dass ein schadloser Wasserabfluss gewährleistet wird. Der über die Brücke führende Rad- und Landwirtschaftsweg wird zu einer langen Furt ausgebaut.

Bei Realisierung der im Modell umgesetzten Maßnahme kann bei einem HQ_{100}-Abfluss eine Absenkung des Wasserspiegels im Oberwasser des Brückenprofils um ca. 0,10 m erreicht werden. Bei HQ_{200} verringert sich die von Überflutungen betroffene Fläche im rechten Vorland des Linderbaches (siehe Anlage 12 und 13).

Weiter stromab an der Brücke „Im Ziegelgarten“ (km 7+000) kommt es im Istzustand ebenfalls bereits ab HQ_{20} zum Einstau des Bauwerkes und zu Überströmungen der angrenzenden Vorlandbereiche.

Zur Verbesserung der Abflussverhältnisse wird hier eine Verbreiterung des Gerinnes ober- und unterhalb des vorhandenen Brückenbauwerks vorgeschlagen (M013), damit ein schadloser Wasserabfluss erreicht werden kann. Geplant ist diese Maßnahme zum Schutz der angrenzenden Bebauung im rechten Vorlandbereich bis zum „Großen Garten“.

Wie die Berechnungsergebnisse zeigen, kann durch Umsetzung dieser Maßnahme im Oberwasser des Brückenprofils eine Absenkung des Wasserspiegels um bis zu 0,24 m erreicht werden. Die Absenkungen klingen stromauf nach ca. 225 m aus.

Nach stromab kommt es zur Synergie mit der im Bereich „Im Großen Garten“ geplanten Beseitigung der Gerinneeinengungen im linken Vorland direkt oberhalb der Furt bei km 6+850 (M014). Bei größeren Abflussmengen kommt es hier bisher zu einem Rückstau an der vorhandenen Furt. Dies bewirkt Ausuferungen in die Siedlung „Im Großen Garten“ im rechten Vorland (Abbildung 8-6).

Im Ergebnis der Berechnungen kann nachgewiesen werden, dass die Beseitigung der vorhandenen Engstelle zu einem schadlosen Abfluss führt, d.h. bei HQ_{100} entstehen keine Ausuferungen mehr in die Vorlandbereiche. Im Oberwasser der Furt wird eine Absenkung des Wasserspiegels um bis zu 0,25 m erreicht. Die Senkung des Wasserspiegels reicht stromauf bis zum Unterwasser der Brücke „Im

Ziegelgarten“ (M013). Der unmittelbar im Bereich der Furt ausgewiesene Anstieg des Wasserspiegels um maximal 0,17 m resultiert aus einer Veränderung der Fließgeschwindigkeiten durch Aufweitung des Gerinnes und beschränkt sich auf ca. 8-10 m Gewässerstrecke. Diese Veränderung hat keine negativen Auswirkungen auf das Abflussgeschehen.

Bei HQ_{200}-Abflussereignissen kommt es jedoch weiterhin noch zu Ausuferungen in die bebauten Bereiche im rechten Vorland (siehe Anlage 12).

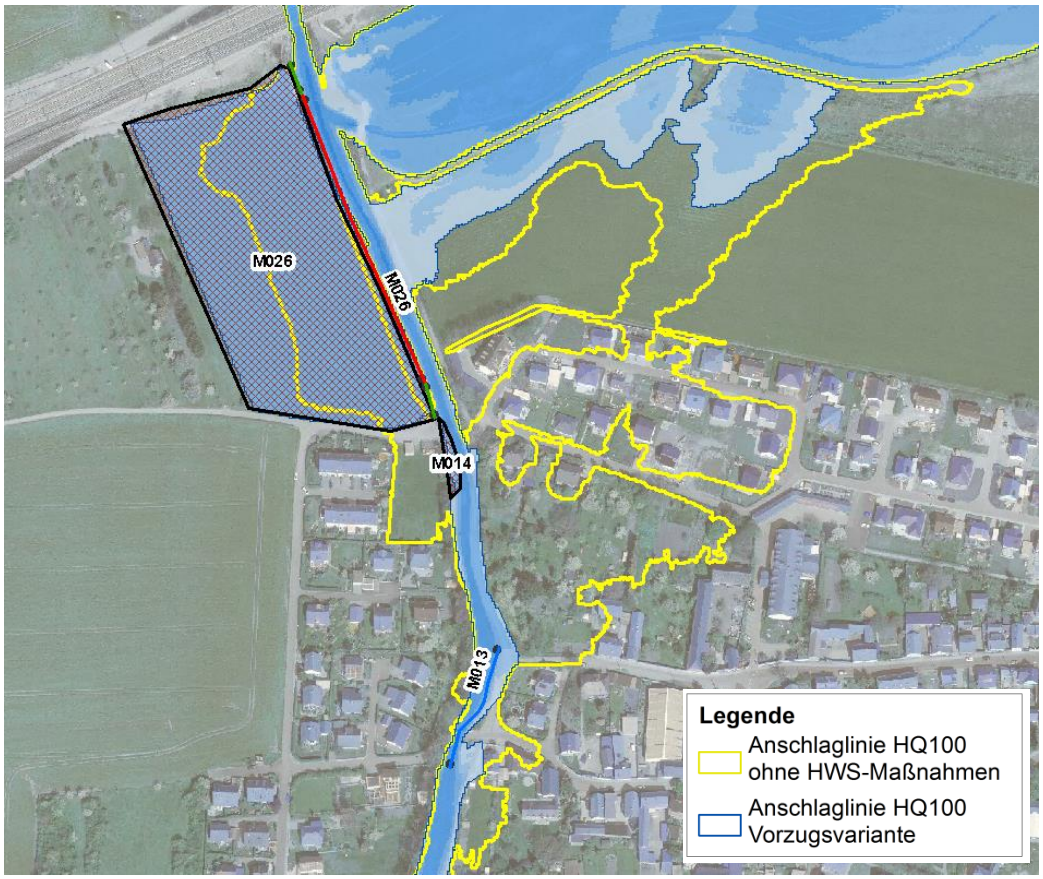


Abbildung 8-6 Ortslage Linderbach - Auswirkungen der Maßnahmen M013, M014 und M026

Linderbach, zwischen Ortslage Linderbach und dem Bahndamm (M026)

Unmittelbar im Anschluss an die Maßnahme M014 ist zwischen km 6,6 und km 6,8 die Aktivierung der linksseitigen Fläche oberhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum (M026) geplant. Bereits bei geringeren Abflüssen kommt es hier zur Überströmung der Uferkanten.

Zur Entlastung des Gerinneabflusses ist vorgesehen, in diesem Bereich einen künstlichen Rückhalt durch Abgrabungen im linken Vorland zu schaffen. Außerdem soll eine Einlauf- und Auslaufschwelle gestaltet werden, damit ein Einströmen und Ausströmen aus dem Polder gewährleistet werden kann. Angedacht ist auch die Erhöhung des zwischenliegenden Uferbereichs zur Abgrenzung des Polders.

Durch die Anbindung der linksseitigen Fläche soll eine Retention der Abflussganglinie erfolgen, so dass die Maßnahme eine positive Wirkung für die Unterlieger hat. Die Berechnungen zeigen, dass bei Umsetzung der Maßnahme unmittelbar im Gerinne Wasserspiegelabsenkungen bis 0,05 m erreicht werden (auch durch Überlagerung mit den Aufhöhungen von Maßnahme (M014). Im rechten Vorland verkleinert sich die überflutete Fläche südlich des Zulaufgrabens vom Rückhaltebecken (östlich der Straße K45) (siehe Abbildung 8-6). In diesem Bereich ergibt sich im Vergleich zum Istzustand eine Differenz der Wasserspiegel bis zu -0,44 m.

Zwischen dem Zulaufgraben vom Rückhaltebecken und dem Bahndamm kommt es im Planzustand im rechten Vorland zu einem Anstieg des Wasserspiegels von maximal 0,08 m, was jedoch keine negativen Auswirkungen zur Folge hat.

Linderbach, Unterwasserbereich der Bahntrasse bis Ortslage Azmannsdorf (M027)

Zwischen km 6+000 bis km 6+200 soll durch Geländeabtragung zur Anbindung von Retentionsraum im rechten Vorland sowie durch die Gestaltung einer Einlaufschwelle und der Anbindung des Auslaufs an den Linderbach eine Aktivierung der rechtsseitigen Fläche im Vorland unterhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum erreicht werden (M027).

Da schon bei geringen Abflüssen eine Entlastung des Gerinnes in das rechte Vorland einsetzt, ist zum Schutz der Unterlieger die Verringerung der Abflussscheitelwerte durch die Vergrößerung des Rückhaltevolumens geplant.

Wie die Ergebnisse der Berechnungen belegen, kann bei einem HQ_{100}-Abfluss zwischen km 6+100 und km 6+400 eine Absenkung des Wasserspiegels um ca. 0,10 m im Gerinne und bis zu 0,14 m im rechten Vorland erreicht werden.

Es ist zu prüfen, inwiefern die Maßnahme mit dem Anschluss an den Altarm des Linderbaches bei km 6+000 Auswirkungen zur Folge hat, da der geplante Ausströmbereich in Richtung Linderbach zu einem geschützten Biotop gehört. Die Berechnungsergebnisse weisen in diesem Bereich einen Wasserspiegelanstieg von bis zu 0,22 m aus.

Linderbach, zwischen den Ortslagen Azmannsdorf und Kerspleben (M016, M028)

Durch Absenkung von Uferbereichen des Linderbaches zum linken Vorland zwischen Azmannsdorf und Kerspleben (km 5+250 bis km 5+450) kann aufgrund der Aktivierung der Vorlandüberströmung im Gerinne selbst eine Verringerung der Abflussscheitelwerte erreicht werden (M028).

In Kerspleben kommt es bei Hochwasserereignissen immer wieder zu schadhaften Ausuferungen in der Ortslage. Die geplante Maßnahme dient dem Gewinn von Retentionsraum (Wasserrückhalt in der Fläche) im linken Vorland und dem Hochwasserschutz der Ortslage Kerspleben und weiterer Unterlieger.

Wie die Berechnungen zeigen, kann durch die Umsetzung der Maßnahme unterhalb km 5+400 der Wasserspiegel im Linderbach um bis zu 0,18 m abgesenkt werden.

Die Vergrößerung des Vorlandabflusses im linken Vorland betrifft hauptsächlich Wiesen- und Ackerflächen.

In Verbindung mit der oben beschriebenen Maßnahme kann die Absenkung weiterer Uferbereiche des Linderbaches zwischen km 4+000 bis 4+200 und km 4+500 bis 4+700 (M016) eine zusätzliche Entlastung des Gerinnes bewirken. Es wird stromoberhalb von Kerspleben auf zwei Teilabschnitten eine Absenkung der rechten Uferkante vorgeschlagen, die das Abströmen größerer Abflussmengen über das Vorland bewirkt und dadurch geringere Wasserspiegellagen im Linderbach im Bereich von Kerspleben erzielt.

Die Maßnahme dient dem Gewinn von Retentionsraum (Wasserrückhalt in der Fläche) im rechten Vorland des Linderbaches und bewirkt eine Absenkung des Wasserspiegels im Gerinne zwischen km 4+000 und 4+700 um bis zu 0,26 m. Im linken Vorland wird zwischen km 4+150 und km 4+300 Ackerland überflutet. Hier steigt der Wasserspiegel um maximal 0,2 m. Im rechten Vorland steigt der Wasserspiegel durchschnittlich um 0,05 – 0,1 m, an vereinzelten Stellen auch bis 0,14 m. Betroffen sind Acker- und Wiesenflächen.

Linderbach, Ortslage Kerspleben (M017, M019, M020)

In Kerspleben kommt es bei HQ_{100} linksseitig zu weitflächigen Ausuferungen in Richtung „Alte Mittelgasse“ und bis „Zum Sulzenberg“. Um hier Entlastung zu schaffen, wird entlang des Gewässerlaufs als Hochwasserschutzmaßnahme zwischen km 3+450 und km 4+000 auf einer Länge von 350 m die Errichtung eines maximal 1,2 m hohen Deiches im linken Uferbereich vorgeschlagen (M017). Die Maßnahme soll dem Schutz der angrenzenden linksseitigen Bebauung dienen, d.h. der Deich wird so angelegt, dass bei einem HQ_{100}-Abfluss keine Ausuferungen mehr in diesem Bereich auftreten (Abbildung 8-7). Dabei sollte beachtet werden, dass u.a. zur Gewährleistung eines ausreichenden Zugangs zum Gewässer rechtsseitig ein Uferrandstreifen angelegt werden sollte.

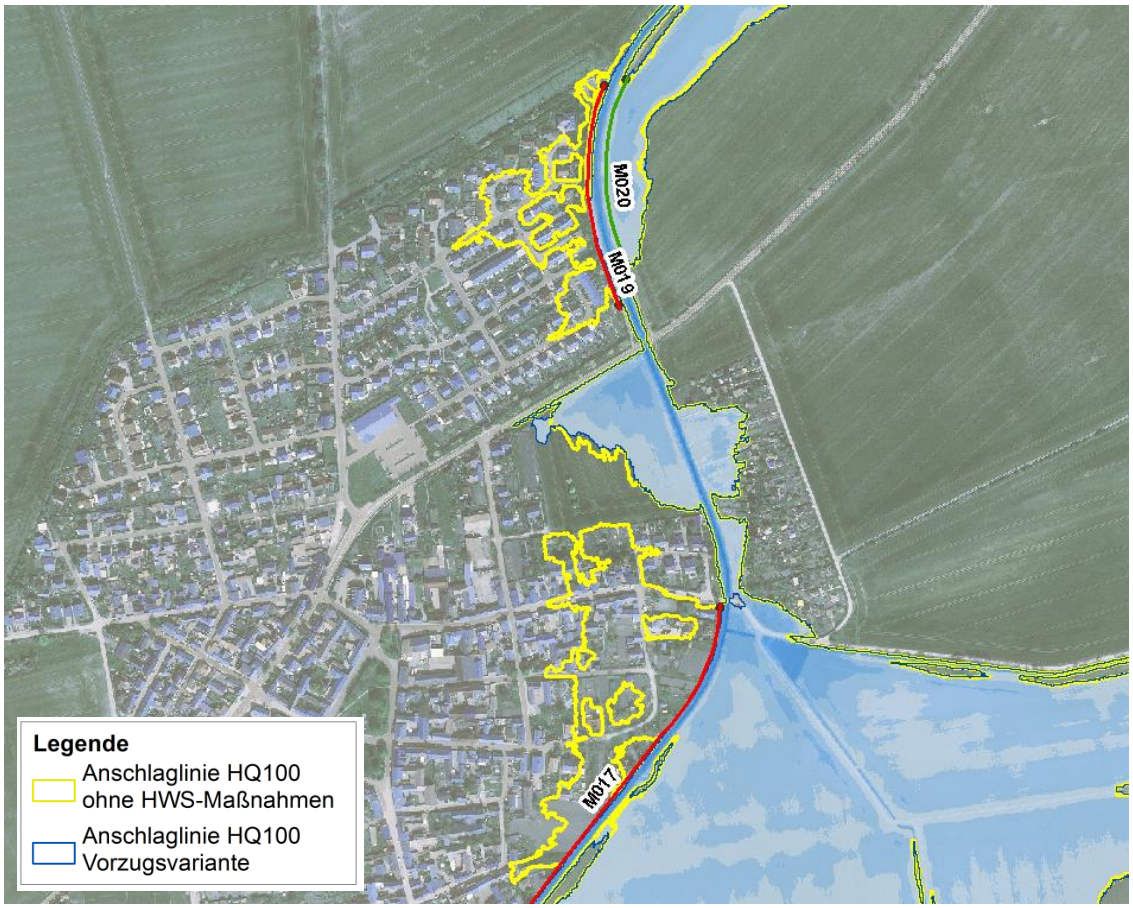


Abbildung 8-7 Ortslage Kerspleben - Auswirkungen der Maßnahmen M016, M017, M019 und M020

Weiter stromab, zwischen km 2+900 und km 3+1500, ist ein weiterer Deichneubau vorgesehen, wodurch die Siedlung im linken Vorland des Linderbaches nördlich der Kersplebener Chaussee vor Überflutungen geschützt werden soll (M019). Die Bebauung im Bereich zwischen „Am Goldacker“ und dem „Kuckucksgrund“ ist entsprechend den Ergebnissen der Berechnungen aufgrund der Freibordberücksichtigung bei der Dimensionierung auch bei Hochwasserereignissen bis HQ_{200} geschützt (nur geringer Unterschied der Wasserspiegellagen zwischen HQ_{100} und HQ_{200}, vgl. Anlage 12).

Weiterhin ist geplant, den rechten Uferbereich zwischen km 2+900 und km 3+150 abzusenken, so dass hier das Abströmen größerer Abflussmengen über das Vorland bewirkt und eine Retention gefördert wird (M020). Durch die Überströmung konnten mit Hilfe der Berechnung im Anströmbereich von Töttleben gegenüber dem Istzustand bei HQ_{100} ca. 3 cm höherer Wasserspiegellagen ermittelt werden. Somit hat diese Maßnahme keine negativen Auswirkungen auf die Ortslage zur Folge. Für die landwirtschaftlichen Flächen zwischen Töttleben und dem Linderbach ist es im Rahmen der Maßnahmenumsetzung und weiterführenden Planungen jedoch erforderlich, die Binnenentwässerung sicherzustellen, damit die Flächen möglichst zeitnah wieder bewirtschaftet werden können.

Durch die Aktivierung der Vorlandüberströmung wird im rechten Vorland ein Anstieg des Wasserspiegels um ca. 0,1 m erzeugt. Überströmt werden Acker- und Wiesenflächen. Die Kombination der Maßnahmen M019

und M020 bewirkt im Gerinne des Linderbaches im betrachteten Bereich (nördlicher Ortsrand Kerspleben) eine Absenkung des Wasserspiegels von bis zu 0,12 m.

Linderbach, Ortslage Töttleben (M021)

Um die Ortslage von Töttleben und besonders den Bereich zwischen der „Wertsgasse“ und der „Langen Gasse“ vor Überflutungen zu schützen, wird im rechten Uferbereich eines parallel zum Linderbach verlaufenden Grabens das Anlegen eines Deiches auf einer Länge von ca. 260 m vorgeschlagen (M021) (Abbildung 8-8).

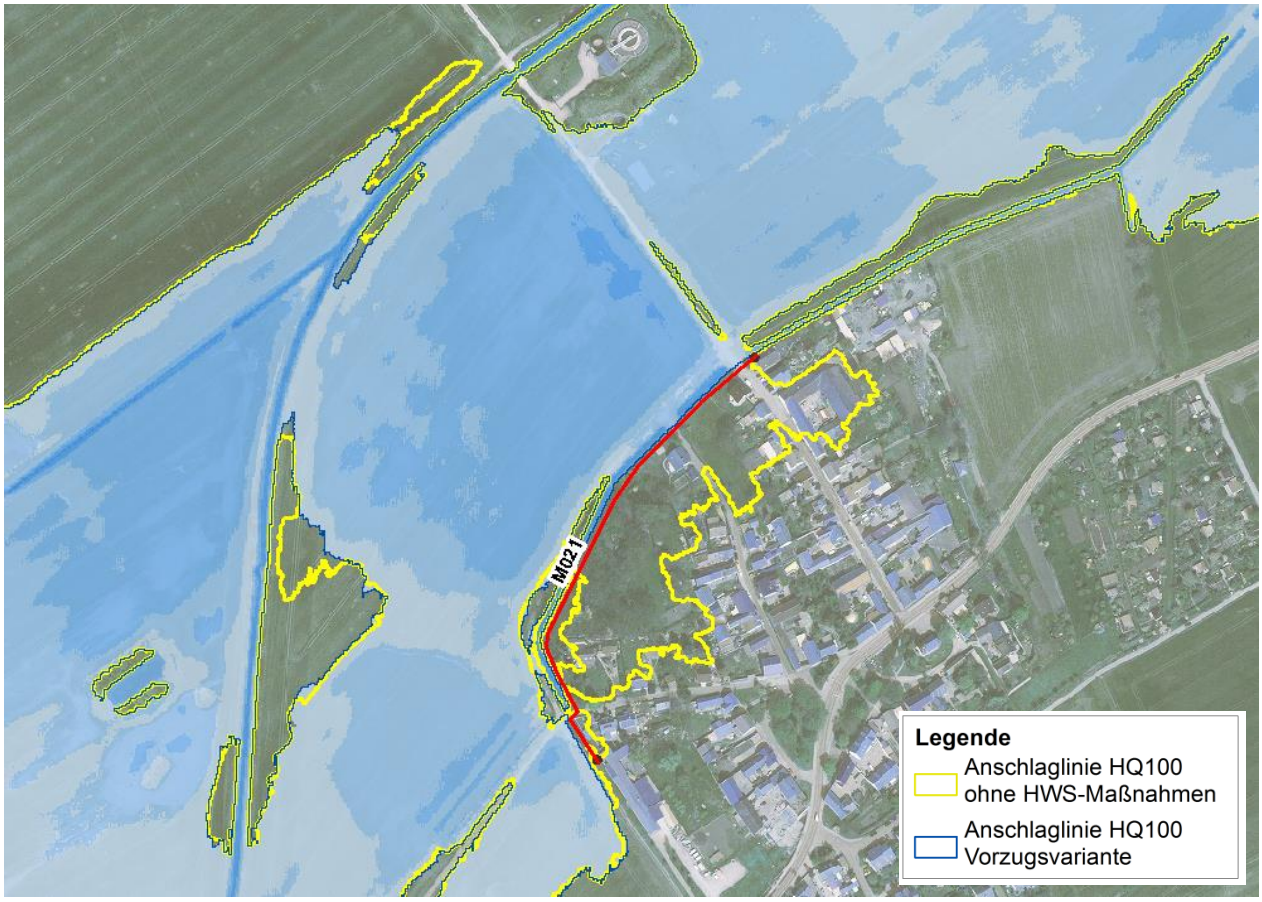


Abbildung 8-8 Ortslage Töttleben - Auswirkungen der Maßnahmen M016, M017, M019 und M020

Die geplante Deichhöhe von 1,2 m verhindert das Einströmen des Wassers aus Richtung Linderbach und dient dem Schutz der Bebauung im Nordwesten der Ortslage Töttleben. Bei der Umsetzung des Deichneubaus mit einem entsprechenden Freibord ist auch ein Schutz bis einschließlich HQ_{200} gegeben, da sich die Wasserspiegellagen aufgrund der breiten Ausdehnung des Überschwemmungsgebietes über die Vorländer nur um maximal 5 cm voneinander unterscheiden.

Durch die Uferabsenkung der Maßnahme M020 bei Kerspleben kommt es im Anströmbereich des Deiches zu höheren Wasserspiegellagen. Die Differenz beträgt im Vergleich zum Istzustand maximal 0,04 m, was jedoch aufgrund der gering höheren Wasserspiegellagen keine wesentliche Verschlechterung zur Folge hat.

Die Wirkung der Maßnahmen mit der Anbindung von Retentionsräumen lässt sich nur die Betrachtung einer Veränderung der Abflussganglinie im Gewässer quantifizieren. Die einzelnen Maßnahmen haben dabei meist nur lokal eine Wirkung, da diese keine großen zusätzlichen Räume anschließen. Am unteren Modellrand bewirkt die Anbindung der Retentionsräume insgesamt eine Verzögerung der Abflussganglinie um ca. 15 Minuten. Der Abflussscheitelwert am Modellauslauf verändert sich im HQ_{100}-Planzustand gegenüber dem Istzustand nicht.

8.2.7 Zusammenfassende Bewertung der Auswirkungen auf Ober- und Unterlieger

Anhand eines Vergleichs der Wasserspiegellagen des Ist- und Planzustandes lassen sich die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Ober- und Unterlieger quantifizieren. Dabei steht im Vordergrund, durch die Maßnahmenplanung keine Verschlechterung der Überschwemmungsgebietssituation für die Ober- und Unterlieger zu verursachen.

Auf der Basis der hydraulischen Strömungsmodellierung lassen sich zusammenfassend für die verschiedenen Gewässerabschnitte folgende Aussagen treffen:

Peterbach:

Die Maßnahmen M024 bei Rohda und die Maßnahmen M012-b sowie M023 in der Ortslage von Büßleben wirken lokal begrenzt und haben nach stromauf bzw. stromab keine negativen Auswirkungen auf weitere Anlieger am Peterbach.

Pfingstbach:

Die vorgeschlagenen einzelnen Objektschutzmaßnahmen in Niedernissa (M022) haben keine Auswirkungen auf Ober- und Unterlieger.

Urbach:

Durch die in Urbich vorgeschlagenen Maßnahmen M006, M007 und M010 wird eine Absenkung des Wasserspiegels bewirkt. Dies hat zur Folge, dass sich die Überflutungsausdehnung verringert und somit die schadhaften Ausuferungen für bebaute Bereiche verhindert werden. Die Berechnungen zeigen, dass sich bei Umsetzung der Maßnahmen keine negativen Auswirkungen für Ober- und Unterlieger ergeben.

Die Maßnahme M025 (Absenkung der linken Uferkante des Urbaches zwischen km 7+900 und 8+500) dient der gezielten Vorlandüberströmung, um durch eine Retention in der Fläche die Abflusssituation für die Unterlieger zu verbessern. Durch die Maßnahme werden die Wasserspiegellagen im Urbach bis zum Zusammenfluss von Urbach und Peterbach gesenkt, daher hat diese Maßnahme eine positive Wirkung.

Linderbach:

Bei Realisierung der Maßnahme M029 (Rückbau der Wege-Brücke „Weimarische Straße“, Anlegen einer Furt am Peterbach, kurz vor Einmündung in den Linderbach) kann im Oberwasserbereich eine Absenkung des Wasserspiegels erreicht werden, was wiederum zu weniger Ausuferungen in die Vorländer führt. Entsprechend den Ergebnissen der Berechnungen entstehen durch die Umsetzung der Maßnahme keine negativen Auswirkungen auf Ober- und Unterlieger.

Die Maßnahmen M013 (Hydraulische Optimierung des Gerinnes "Im Ziegelgarten") und M014 (Beseitigung der Gerinneeinengungen im linken Vorland direkt oberhalb der Furt im Bereich „Im Großen Garten“) bewirken einen Schutz vor Überflutungen in den Siedlungsbereichen zwischen Elsterweg und „Im Großen Garten“. Die Umsetzung der Maßnahmen hat keine negativen Auswirkungen auf Ober- und Unterlieger.

Maßnahme M026 bewirkt eine Vergrößerung des Retentionsraumes im linken Vorland stromoberhalb der Bahntrasse. Hier ergeben sich keine negativen Veränderungen.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen oberhalb der Bahntrasse ändert sich die Form der Abflussganglinie. Durch Rückhalt in der Fläche wird der Abflussscheitel ggf. reduziert, jedoch die Ganglinie im zeitlichen Verlauf gestreckt. Außerdem kommt es oberhalb der Bahn wieder zum Einströmen des Wassers aus dem Polder der Maßnahme M026. Dies hat zur Folge, dass sich lokal die Fließgeschwindigkeiten verringern und der Bereich im rechten Vorland direkt oberhalb des Bahndamms durch ein Einströmen aus dem Linderbach stärker eingestaut wird. Im Vergleich zum Istzustand werden hier maximal 0,08 m höherer Wasserspiegellagen erreicht.

Zum Schutz der Ortslage von Azmannsdorf wirken die Maßnahmen M027 (Aktivierung der rechtsseitigen Fläche im Vorland unterhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum) und die Maßnahmen M028 (Absenkung von Uferbereichen des Linderbaches zum linken Vorland zwischen Azmannsdorf und Kerspleben) und M016 (Absenkung weiterer Uferbereiche des Linderbaches zwischen km 4+000 und 4+200 und km 4+500 und 4+700 im rechten Uferbereich). Diese Maßnahmen bewirken eine Absenkung der Wasserspiegellagen und haben keine negativen Wirkungen für Ober- und Unterlieger zur Folge.

Zum Hochwasserschutz der Ortslage Kerspleben ist eine Kombination von Maßnahmen (M016, M017, M19 und M020) geplant. Die Absenkungen des Wasserspiegels im Gerinne des Linderbaches wirken sich positiv auf Ober- und Unterlieger aus. Geringe lokale Wasserspiegelanstiege in den Vorländern haben keine negativen Auswirkungen.

Die Maßnahme M021 (Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau)) am südwestlichen Ortsrand von Töttleben hat keine negativen Auswirkungen auf Ober- und Unterlieger.

An der Stadtgrenze ergibt sich zwischen dem Ist- und Planzustand keine Differenz der Wasserspiegellagen, so dass für die Maßnahmenplanung der Vorzugsvariante eine Verschlechterung für die Unterlieger des Stadtgebietes ausgeschlossen werden kann.

8.2.8 Schadenspotentiale Vorzugsvariante

Durch die Überlagerung der betroffenen Flächen mit den Schadensgraden ergeben sich für den Planzustand entsprechende Schadenssummen. Die zu erwartenden Schäden des Planzustandes wurden flächenhaft analog zur Beschreibung in Kapitel 0 berechnet. Die geschützten Bereiche durch Objektschutzmaßnahmen in Büßleben und Niedernissa wurden durch Reduktion des Schadenswertes um die tatsächlich betroffene Grundstücksfläche berücksichtigt.

Die Hochwasserschutzdeiche wurden modellseitig so eingearbeitet, dass deren Höhe auf den Wasserspiegel HQ_{100} Istzustand zuzüglich einem erforderlichen Freibord bemessen wurde. Aufgrund der geringen Differenz der Wasserspiegellagen zwischen HQ_{100} und HQ_{200} ergab sich an den betroffenen Deichabschnitten bei der hydraulischen Berechnung auch eine Wirksamkeit der Hochwasserschutzanlage für HQ_{200}.

Die folgende Tabelle 8-7 zeigt die Schäden der Vorzugsvariante nach der Nutzungsklasse. Zum besseren Vergleich enthält die Tabelle die Schadenssumme des Istzustands (siehe Kapitel 0). Abbildung 8-9 zeigt dazu die Schadensentwicklung in Abhängigkeit vom Wiederkehrintervall.

Tabelle 8-7 Potentielle Schäden nach Landnutzungsklasse Vorzugsvariante

Nutzungs-klasse	**Monetäre Bewertung [€]**							
	HQ_{20}		**HQ_{50}**		**HQ_{100}**		**HQ_{200}**	
	Ist	**Plan**	**Ist**	**Plan**	**Ist**	**Plan**	**Ist**	**Plan**
Ackerland	114.062	139.565	144.965	156.470	173.965	171.102	198.979	206.744
Siedlung	318.162	63.119	615.318	210.323	1.031.091	370.550	1.627.351	889.093
Industrie	787	0	1.002	58	1.235	113	1.602	874
Verkehrswege	1.054	1.074	1.646	1.596	2.832	3.158	25.002	23.250
Grünland	3.032	4.083	3.527	4.543	4.281	4.988	5.207	5.942
Wald	47	117	76	213	124	290	199	417
Summe:	**437.144**	**207.958**	**766.534**	**373.203**	**1.213.528**	**550.201**	**1.858.340**	**1.126.320**

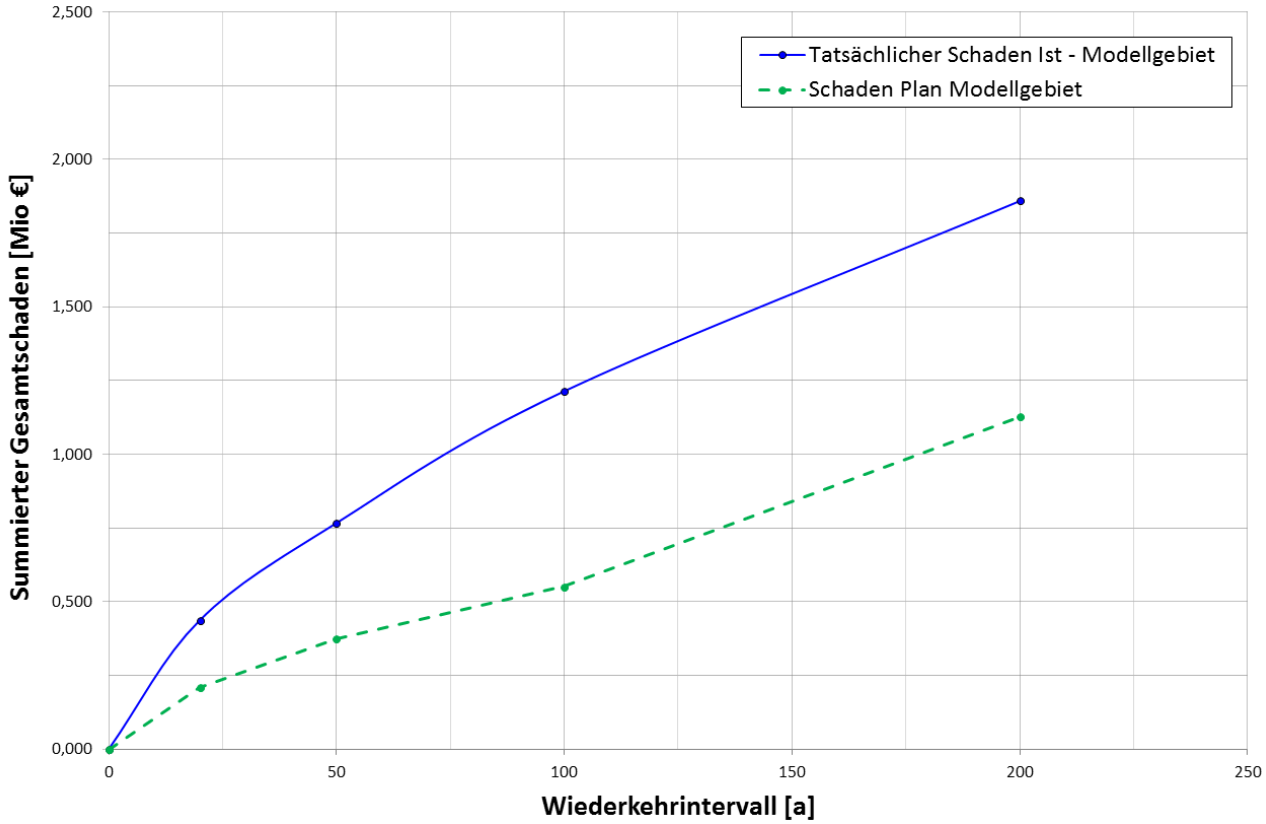


Abbildung 8-9 Schadensentwicklung in Abhängigkeit des Wiederkehrintervalls HQ_T Planzustand

Anhand der Ergebnisse ist zu erkennen, dass sich durch Umsetzung der Vorzugsvariante die Schäden bis einschließlich HQ_{100} mehr als halbieren. Im HQ_{100}-Hochwasserfall ist dabei für den Planzustand ein Schaden von ca. 550.000 Euro zu erwarten. Insbesondere wird gegenüber dem Istzustand eine starke Reduktion der Schadenswerte in den Siedlungsbereichen erreicht. Im HQ_{100} Fall beträgt die Differenz 660.000 Euro.

Beim Extremereignis (HQ_{200}) steigt der berechnete Gesamtschaden im Planzustand auf bis zu 1,2 Mio. Euro. Er beträgt damit 730.000 Euro weniger als im Istzstand.

Die höchsten Schadenspotentiale im Planzustand ergeben sich für Siedlungs- und Ackerflächen. Den größten prozentualen Anteil am Gesamtschaden weisen bei einem HQ_{20} Ackerflächen auf. Für diese Nutzungsklasse ist für das HQ_{20} und HQ_{50} der Schaden größer als im Istzustand. Dies resultiert daher, dass viele Maßnahmen der Vorzugsvariante eine Überströmung der Vorlandbereiche bewirken, die derzeit als landwirtschaftliche Fläche genutzt werden. Um den Schaden bei Überflutung der landwirtschaftlich genutzten Flächen gering zu halten, sollte dabei auf eine hochwasserangepasste landwirtschaftliche Nutzung geachtet werden.

Die Tabelle 8-8 zeigt die Schadenspotentiale aufgeschlüsselt nach den betroffenen Stadtteilen.

Tabelle 8-8 Potentielle Schäden nach Ortsbereichen Vorzugsvariante

Ortsbereich	Monetäre Bewertung [€]							
	HQ_{20}		HQ_{50}		HQ_{100}		HQ_{200}	
	Ist	Plan	Ist	Plan	Ist	Plan	Ist	Plan
Azmannsdorf	-	-	877	849	2.828	2.828	137.923	97.904
Büßleben	8.400	2.254	17.202	10.680	23.537	16.175	51.119	44.554
Kerspleben	138.993	5.298	335.643	123.035	524.993	256.210	663.577	311.171
Linderbach	14.732	9.562	53.104	15.941	241.916	24.352	425.173	325.258
Niedernissa	185	185	1.019	1.019	5.869	4.416	19.580	19.266
Töttleben	54.274	414	62.202	599	68.078	698	92.450	801
Urbich	78.075	22.164	102.805	28.818	116.471	33.159	176.562	46.686
außerhalb direkter Ortsbereiche	142.485	168.081	193.682	192.262	229.836	212.363	291.956	280.680
Summe:	**437.144**	**207.958**	**766.534**	**373.203**	**1.213.528**	**550.201**	**1.858.340**	**1.126.320**

Bis einschließlich HQ_{100} ergibt sich vor allem für die Ortslagen Linderbach und Kerspleben die größte Reduktion des Schadenswertes. Auch für die anderen Ortsteile sind im Planzustand bedeutend geringere Schadenswerte zu erwarten. Insbesondere in Töttleben kann durch den Deichneubau der zu erwartende Schaden stark vermindert werden.

8.3 Maßnahmenplanung für Starkniederschlagsereignisse

8.3.1 Grundlage

Da für das Einzugsgebiet aus der Vergangenheit eine große Gefahr durch Starkniederschläge bekannt ist, sollen zum Schutz vor Extremereignissen aus lokalen Starkniederschlägen zusätzliche Rückhaltemaßnahmen im Oberlauf des Peter- und Pfingstbachs geplant werden. Die im ersten Schritt ermittelte Vorzugsvariante für das grundsätzlich gültige Schutzziel HQ_{100} soll durch die Entwicklung dieser Rückhaltemaßnahmen im oberen Einzugsgebiet ergänzt werden, um Schäden, wie sie in den Jahren 2013 und 2014 auftraten, entgegenzuwirken. **Dabei wird die Planung der Rückhalte so durchgeführt, dass die zum Schutz vor einem HQ_{100} identifizierten Maßnahmen auch ohne Umsetzung der Maßnahmen zum Schutz vor Starkniederschlagsereignissen ihre Gültigkeit behalten.**

Der Betrieb von Hochwasserrückhaltebecken (HRB) im Einzugsgebiet bewirkt eine Wellenabflachung und Spitzenreduktion und verlängert die Laufzeit der Welle, indem das im Speicher gesammelte Wasser zeitlich versetzt abgegeben wird. Die Fülle der Hochwasserwelle wird durch den Rückhalt nicht verändert.

Die folgende Abbildung 8-10 stellt die Wirkung eines Rückhaltebeckens auf die Abflussganglinie dar.

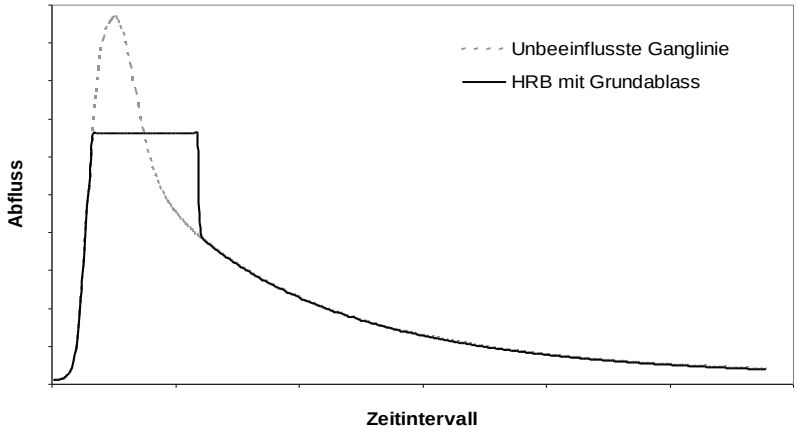


Abbildung 8-10 Wirkung eines HRB mit konstanter Abgabe über Grundablass (vereinfacht)

Die Steuerstrategie des Beckens beeinflusst das Abflussregime. Wird der Regelabfluss erreicht, beginnt die Füllung des Speichers. Es gibt dabei zwei grundlegende Steuerstrategien – ein ungesteuerter oder gesteuerter Grundablass. Der Betrieb eines gesteuerten Ablasses kann zwar im Hochwasserfall effektiver sein, weil eine bessere Anpassungen an das jeweilige Ereignis und optimale Ausnutzung des Speicherinhalts und Beeinflussung der Abflusswelle möglich ist, jedoch erfordert eine solche Anlage für den Betrieb eine gute Organisation und geschultes Bedienpersonal. Darüber hinaus nimmt der Bau sehr hohe Kosten für die technische Ausstattung in Anspruch. Als günstige Alternative kann ein ungesteuerter Ablass verwendet werden. Dabei wird der technische Rückhalt für ein Hochwasser einer bestimmten Jährlichkeit bemessen und die effektive Menge des Grundablasses berechnet.

Im Rahmen des vorliegenden HWSK wurde für die Ermittlung und Untersuchung der Wirksamkeit von Rückhaltemaßnahmen im oberen Teil des Einzugsgebietes von einem ungesteuerten Abflussorgan ausgegangen.

In Absprache mit dem AG wurde für die Dimensionierung der Rückhalte das Niederschlagsereignis vom Hochwasser 2014 herangezogen, für das bereits Abflussganglinien aus der Kalibrierung vorlagen.

8.3.2 Standorte Hochwasserrückhalt

Im ersten Schritt mussten für das Einzugsgebiet potentielle Standorte für einen Hochwasserrückhalt identifiziert werden. Die Abschätzung der Standorte erfolgte auf Basis des digitalen Geländemodells, der topografischen Karte und Luftbildaufnahmen. Zusätzlich wurden Erkenntnisse aus der Gebietsbefahrung genutzt, um die örtlichen Gegebenheiten abschätzen zu können.

Das Ziel war es, Standorte zu identifizieren, die bei einer geringen Einstauhöhe ein hohes Einstauvolumen ermöglichen. Weiterhin sollten sich die Standorte außerhalb von Ortslagen in den Teileinzugsgebieten des Peter- und Pfingstbachs oberhalb von Büßleben bzw. Niedernissa befinden, für die auch keine

offensichtlichen Flächenkonflikte erkennbar waren. Es wurde überprüft, ob vorhandene querende Wege und Durchlässe als Dammstandort geeignet sind.

Mit Hilfe der Analyse wurden 4 potentielle Hochwasserrückhaltestandorte im Einzugsgebiet identifiziert. Der HRB-Standort M004-a für ein Hochwasserrückhaltebecken oberhalb Niedernissa wurde bereits im Rahmen der Maßnahmenplanung für HQ_{100} vorgeschlagen. Das HRB ist jedoch nicht Bestandteil der Vorzugsvariante und wird hier gesondert zum Schutz vor Starkniederschlagsereignissen betrachtet. Da der Standort identisch ist, wurde daher zum Schutz vor Starkniederschlägen die Maßnahmennummer M004-b definiert.

Die folgende Abbildung 8-11 zeigt die möglichen Rückhaltestandorte am Peter- und Pfingstbach. Nähere Angaben können den Maßnahmenblättern der Anlage 7 entnommen werden.

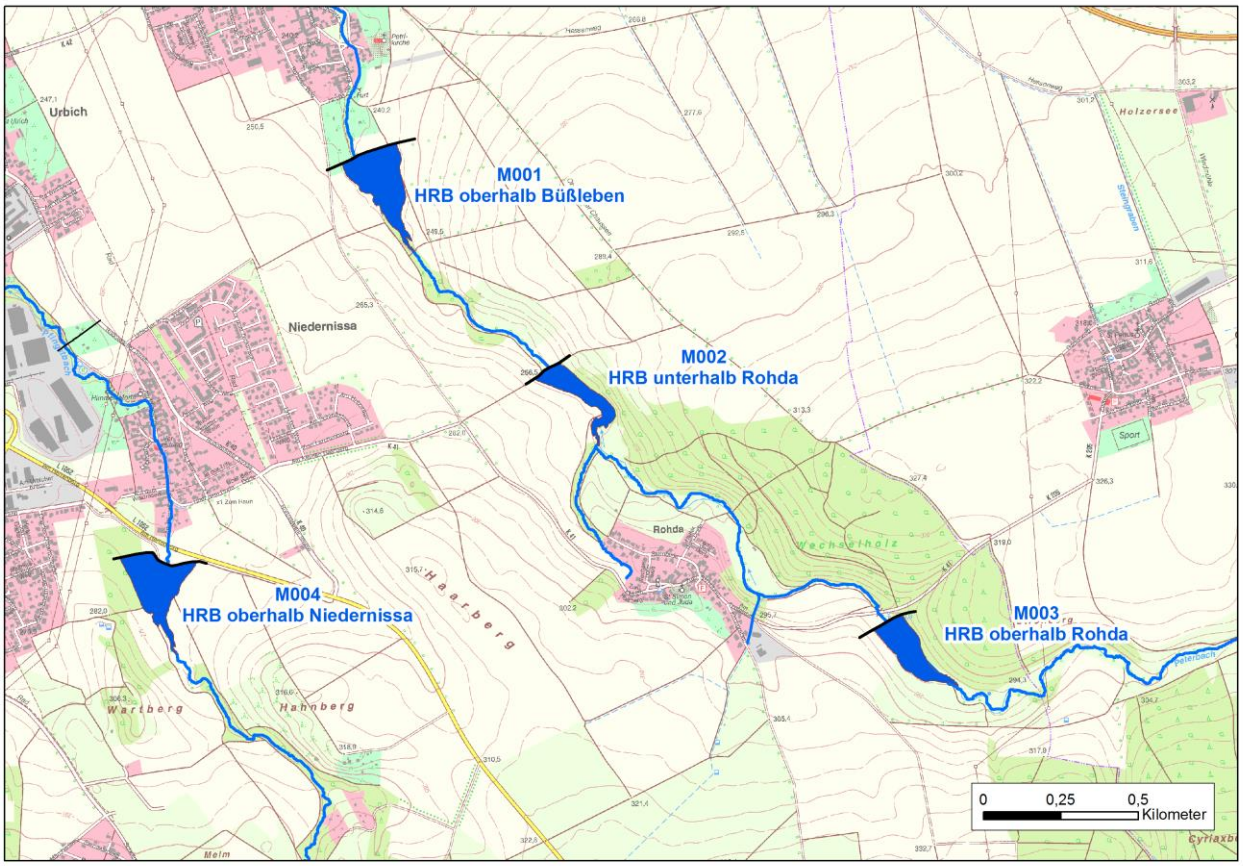


Abbildung 8-11 Potentielle Standorte für Hochwasserrückhalt im Einzugsgebiet

Mit Hilfe des digitalen Geländemodells wurde für die Standorte ein Einstauhöhe-Volumen-Verhältnis aufgestellt. Die folgende Tabelle zeigt die verfügbaren Beckenvolumina und Einstauhöhen für die untersuchten Rückhaltestandorte.

Tabelle 8-9 Verfügbare Rückhaltevolumina an den Standorten

Maßnahme	**M001** oberhalb Büßleben (TSK 3 und 4)	**M002** unterhalb Rohda (TSK 4)	**M003** oberhalb Niedernissa (TSK 4)	**M004** oberhalb Niedernissa (TSK 4)
Einstauhöhe [m]	**Volumen [m³]**			
1,0	276	947	484	159
2,0	1.904	3.705	2.591	3.639
3,0	9.625	8.674	9.727	14.233
4,0	26.536	16.674	22.139	32.356
5,0	53.906	30.045	39.971	58.046
6,0	92.865	51.041	64.128	93.273
7,0	144.603	79.761	95.117	138.928
8,0	209.100	116.620	133.075	196.531
9,0	285.021	162.392	178.479	268.254
10,0	371.989	219.934	231.501	356.072

Am Peterbach wurden drei Rückhaltestandorte identifiziert. Aufgrund der steilen Hänge liegen an den Standorten M002 und M003 im Vergleich zum Standort M001 geringe Volumina vor. Durch die flacheren Geländeverhältnisse im Mittellauf des Peterbachs ergibt sich oberhalb von Büßleben aufgrund der Geländeeigenschaften das größte Rückhaltevolumen.

Am Pfingstbach konnte mit M004 nur ein Standort für ein Hochwasserrückhaltebecken identifiziert werden, für den bei 5 m Einstau ein Rückhalt von 58.235 m³ möglich ist. Aufgrund der Geländeverhältnisse und Lage der Teileinzugsgebiete zueinander konnten keine weiteren Standorte zum Schutz der Unterlieger identifiziert werden, die eine starke Kappung der Hochwasserganglinie erwarten lassen.

Hochwasserrückhaltebecken werden in Abhängigkeit von der Stauhöhe und dem Stauraum in sehr kleine, kleine, mittlere und große Becken eingeteilt. Nähere Angaben über die entsprechenden Volumina und Dammhöhen können der Thüringer Technischen Anleitung Stauanlagen – ThürTA-Stau:2005-06 entnommen werden [33]. In Absprache mit dem AG wurde für diese Untersuchung keine Begrenzung in der Dimensionierung hinsichtlich der Talsperrenklasse vorgenommen. Als Randbedingung galt es daher, den Grundablass der Becken auf HQ_{100} zu begrenzen, um die entsprechende Dammhöhe daraus ableiten zu können.

8.3.3 Analyse der hydrologischen Wirksamkeit

Um die Wirkung der Rückhaltebecken auf die Abflussganglinien eines Starkniederschlagsereignisses bewerten zu können, wurde die mit Hilfe des hydrologischen Modells berechnete Hochwasserganglinie des Ereignisses vom September 2014 herangezogen. Zu diesem Zweck erfolgte die Einarbeitung der

potentiellen Rückhaltestandorte mit ihren entsprechenden Einstauhöhe-Rückhaltevolumen-Beziehungen in das hydrologische Modell.

Gemäß Absprachen mit dem AG sollte es sich technisch um selbsttätige Hochwasserrückhaltebecken handeln, die mit einem Absperrbauwerk quer zum Flusslauf errichtet werden. Für die vorliegende Betrachtung wurde vereinfachend von einem ungesteuerten Ablauf über einen Rohrdurchlass ausgegangen. Durch Variation des Grundablasses konnte die Ermittlung der erforderlichen Beckenhöhe erfolgen, um das Ziel eines HQ_{100}-Abflusses bei Vollstau in Niedernissa bzw. Büßleben zu erreichen.

Für die Dimensionierung der Rückhaltebecken zum Schutz vor Starkniederschlägen wurden verschiedene Varianten betrachtet:

- Variante 1: Wirkung eines Hochwasserrückhaltebeckens im Peterbach oberhalb von Büßleben
- Variante 2: Wirkung von drei Hochwasserrückhaltebecken im Peterbach
- Variante 3: Wirkung eines Hochwasserrückhaltebeckens im Pfingstbach

Im Rahmen der Analyse der hydrologischen Wirksamkeit wurden für den Peterbach zwei Varianten überprüft, um den Schutz vor Starkniederschlägen zu erreichen. Die erste Variante beinhaltet einen Rückhalt durch ein großes Hochwasserrückhaltebecken oberhalb von Büßleben. Als zweite Variante wurde die Dimensionierung von drei gemeinsam wirkenden Hochwasserrückhalten durchgeführt.

Für den Pfingstbach gab es nur einen Rückhaltestandort, der ebenfalls für Starkniederschlagsereignisse dimensioniert werden sollte. Da für dieses Teilgebiet nicht das Ereignis 2014 herangezogen werden konnte (es war lokal auf den Peterbach begrenzt), wurde die Niederschlagsmengen aus dem Ereignis 2014 auf das Einzugsgebiet des HRB Pfingstbach übertragen, um die Fülle für die Dimensionierung überschlägig abzuschätzen und daraus die erforderliche Dammhöhe für diese Maßnahme zu ermitteln.

Variante 1 – Ein Hochwasserrückhaltebecken im Peterbach (M001-a)

Um einen effektiven Rückhalt des Abflusses des Teileinzugsgebietes zu erreichen, sollte sich der Standort eines Rückhaltebeckens nicht zu weit im oberen Teil des Einzugsgebietes sondern unmittelbar oberhalb des zu schützenden Bereiches befinden. Da der Hochwasserrückhalt M001-a oberhalb von Büßleben dieses Kriterium erfüllt und das verhältnismäßig größte Rückhaltevolumen am Peterbach bereitstellt, wurde eine Dimensionierung für diesen Standort anhand des Hochwassers 2014 durchgeführt.

Randbedingung: • *Abfluss Büßleben HQ_{100} = 10,17 m³/s*

Mit Hilfe des N-A-Modells wurde die Dimensionierung des Grundablasses iterativ angepasst, um einen HQ_{100}-Abfluss in Büßleben zu erreichen. Die folgende Abbildung 8-12 zeigt die Zufluss- und Abflussganglinie zum Hochwasserrückhaltebecken M001-a sowie den Verlauf der Speicherinhaltslinie.

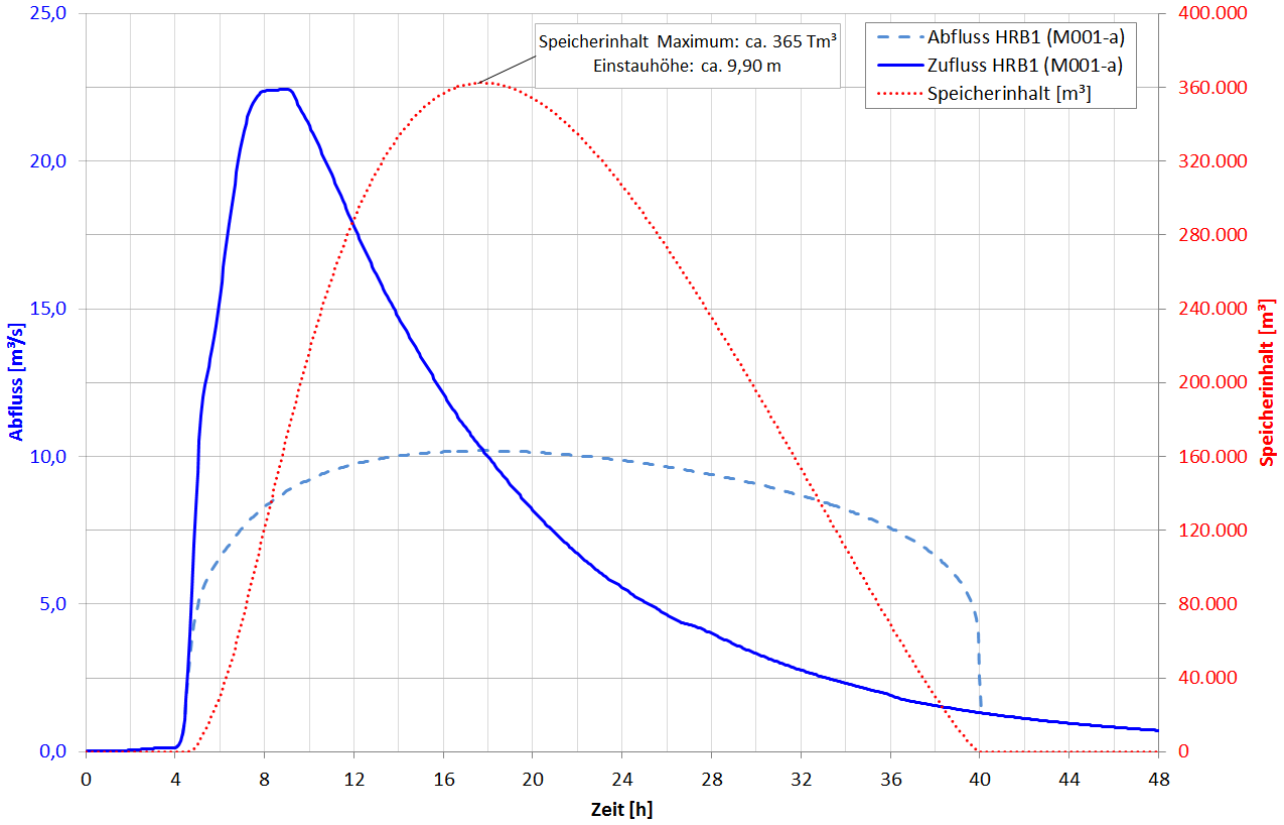


Abbildung 8-12 Variante 1: Ganglinien der Speichersimulation

Für den Berechnungslauf ergeben sich folgende Ergebnisse:

Ergebnis:

- *Drossel: mittlere Rauheit, Rohrlänge 15 m, Rohrdurchmesser 0,55 m*
- *max. Abfluss HRB1: 10,19 m³/s*
- *max. Einstauhöhe HRB1: 9,90 m*
- *max. Einstauvolumen HRB1: 365.000 m³*
- *Einstaufläche HRB1: 9,1 ha*

Die Berechnung zeigt, dass eine Drosselung des Abflusses für ein Starkniederschlagsereignis analog dem Hochwasser 2014 durch die Errichtung eines Rückhaltebeckens möglich ist. Für das Rückhaltebecken ist eine Einstauhöhe von 9,90 m und einem Volumen von 365.000 m³ oberhalb von Büßleben erforderlich. Damit kann das Becken entsprechend ThürTA-Stau:2005-06 als mittleres Hochwasserrückhaltebecken (TSK 2) klassifiziert werden [33].

Variante 2 – Drei Hochwasserrückhaltebecken im Peterbach (M001-b, M002, M003)

Anhand der Standortanalyse wurden drei potentielle Bereiche zur Errichtung von Hochwasserrückhaltebecken am Peterbach identifiziert – M001-b oberhalb von Büßleben, M002 unterhalb von Rohda sowie M003 oberhalb von Rohda. In einer zweiten Variante wurde als Alternative zu Variante 1 die Wirksamkeit mehrerer hintereinander liegender kleiner Rückhalte am Gewässerlauf des Peterbachs betrachtet. Dabei galt folgende Randbedingung:

Randbedingung: • *Abfluss Büßleben HQ_{100} = 10,17 m³/s*

Mit Hilfe des N-A-Modells wurde die Dimensionierung der Grundabläufe aus den drei Becken iterativ angepasst, um einen HQ_{100}-Abfluss in Büßleben zu erreichen. Dabei wurden die beiden oberen Becken in der Höhe so dimensioniert, dass der Rückhalt ca. 145.000 m³ beträgt. Die folgenden Abbildungen zeigen die Zufluss- und Abflussganglinien der Hochwasserrückhaltebecken sowie den Verlauf der Speicherinhaltslinien beginnend ab dem Oberlauf in Richtung Büßleben.

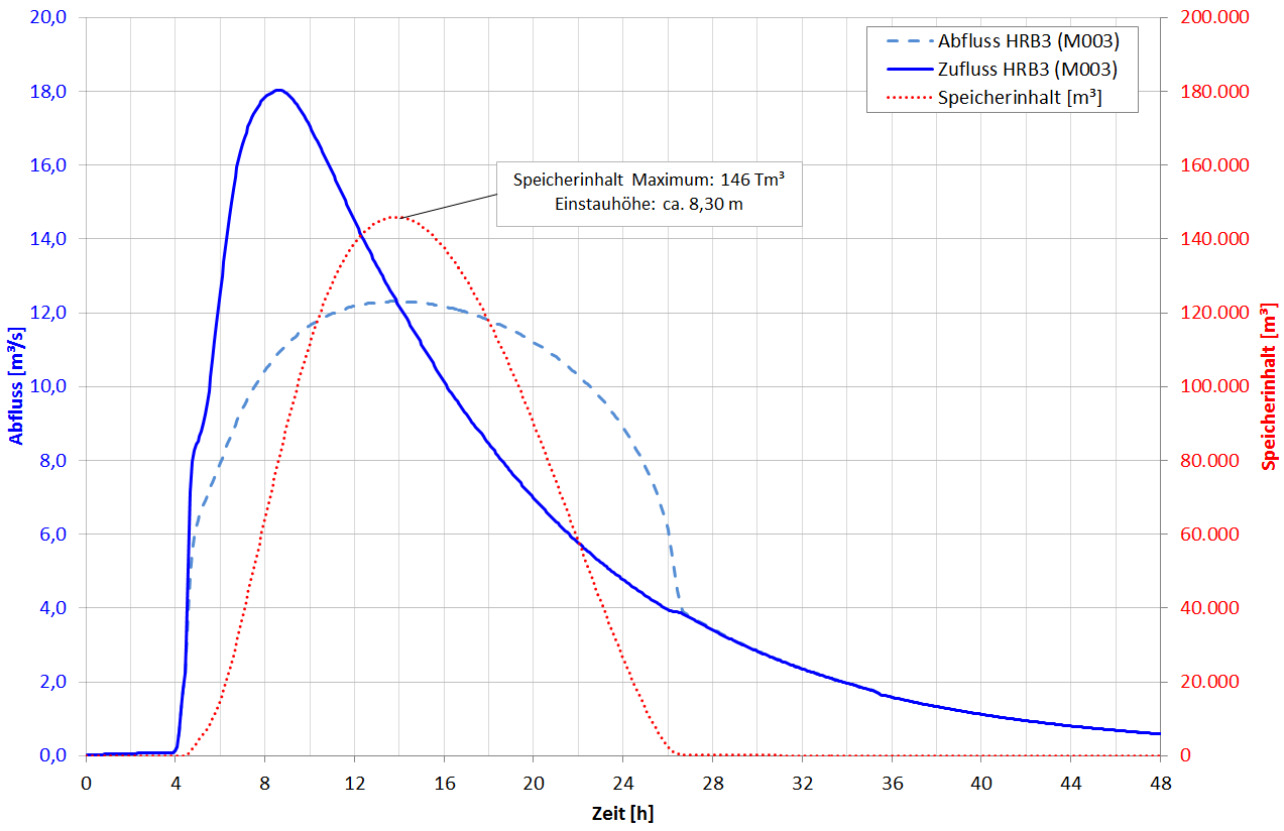


Abbildung 8-13 Variante 2: Ganglinien der Speichersimulation M003 – Becken oh. Rohda

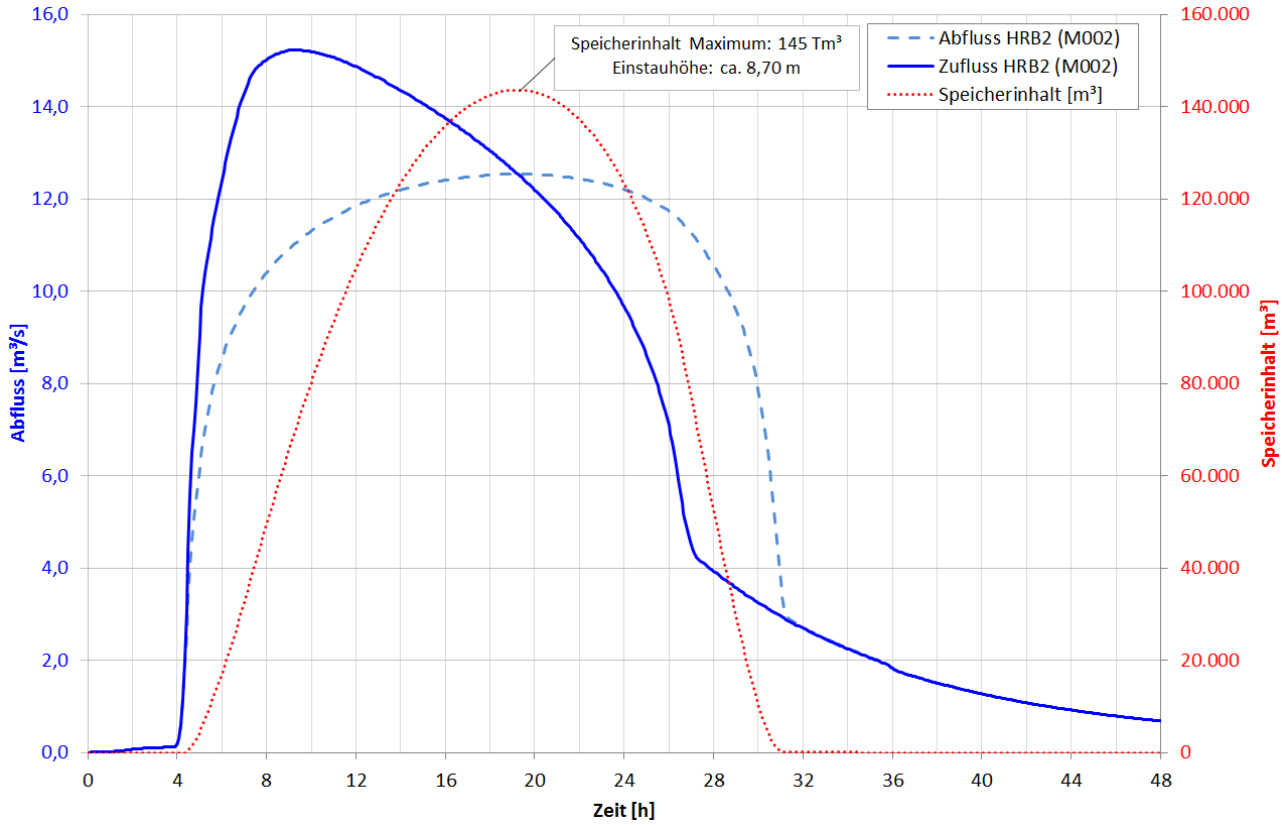


Abbildung 8-14 Variante 2: Ganglinien der Speichersimulation M002 – Becken uh. Rohda

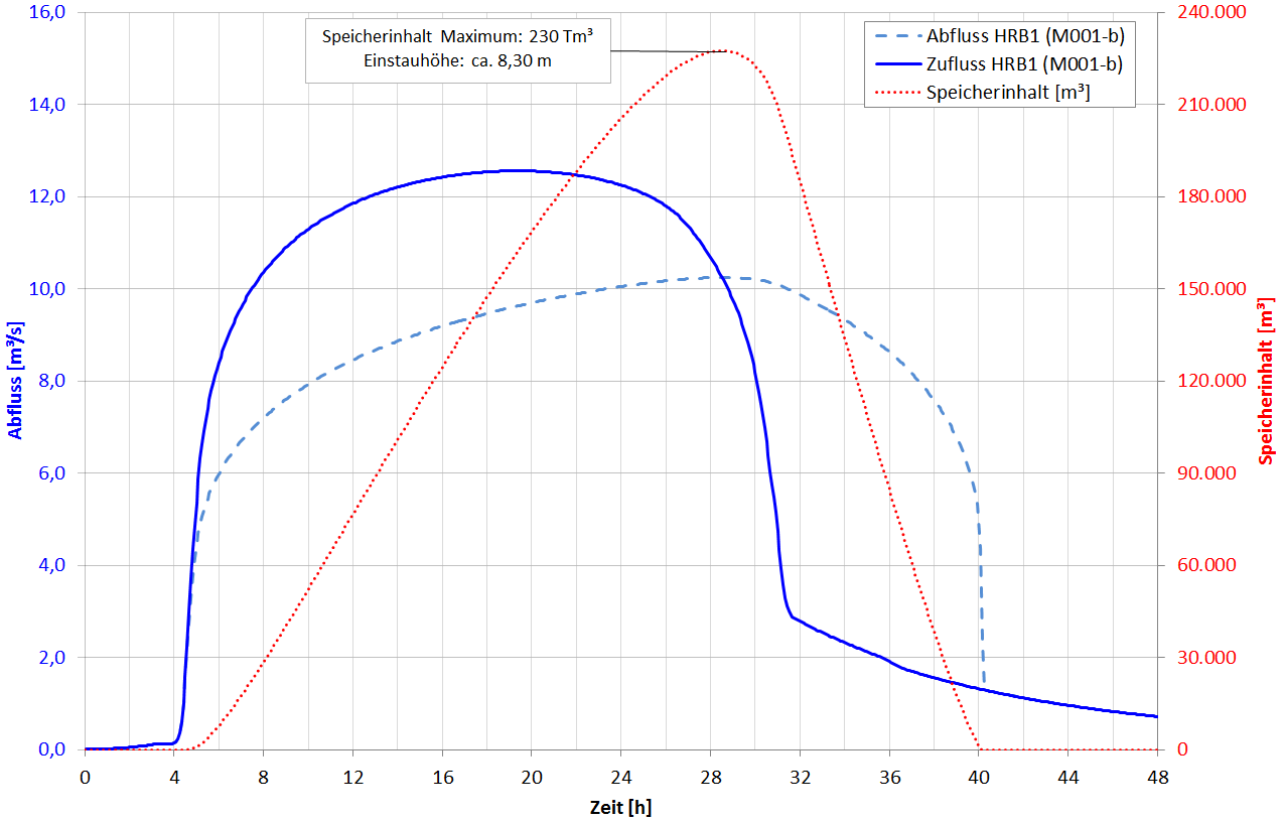


Abbildung 8-15 Variante 2: Ganglinien der Speichersimulation M001-b – Becken oh. Büßleben

Für den Berechnungslauf ergeben sich folgende Resultate:

Ergebnis:

M003 oberhalb Rohda:

- *Drossel: mittlere Rauheit, Rohrlänge 15 m, Rohrdurchmesser 0,6 m*
- *max. Abfluss HRB3: 12,3 m³/s*
- *max. Einstauhöhe HRB3: 8,30 m*
- *max. Einstauvolumen HRB3: 146.000 m³*
- *Einstaufläche HRB3: 4,4 ha*

M002 unterhalb Rohda:

- *Drossel: mittlere Rauheit, Rohrlänge 15 m, Rohrdurchmesser 0,6 m*
- *max. Abfluss HRB2: 12,5 m³/s*
- *max. Einstauhöhe HRB2: 8,70 m*
- *max. Einstauvolumen HRB2: 145.000 m³*
- *Einstaufläche HRB2: 4,7 ha*

M001-b oberhalb Büßleben:

- *Drossel: mittlere Rauheit, Rohrlänge 15 m, Rohrdurchmesser 0,55 m*
- *max. Abfluss HRB1: 10,2 m³/s*
- *max. Einstauhöhe HRB1: 8,30 m*
- *max. Einstauvolumen HRB1: 230.000 m³*
- *Einstaufläche HRB1: 7,4 ha*

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass die Dimensionierung von drei Hochwasserrückhalten anhand des Starkniederschlagsereignisses 2014 die Errichtung von drei Dammbauwerken mit ca. 8,50 m Einstauhöhe erfordern würde. Entsprechend ThürTA-Stau:2005-06 können alle drei Becken als kleine Hochwasserrückhaltebecken (TSK 3) klassifiziert werden [33].

In der Summe aller drei Rückhaltestandorte müsste ein Rückhaltevolumen von 521.000 m³ geschaffen werden, um den Abflussscheitel am Becken Büßleben auf ein HQ_{100} zu drosseln. In der Variante 1 ergibt sich bei einem Rückhaltebecken ein erforderliches Volumen von 365.000 m³. Dies zeigt, dass ein Rückhalt in den Becken bei Rohda hinsichtlich des betrachteten Niederschlagsereignisses 2014 keine bedeutende Wirkung auf den effektiven Schutz der Ortslage Büßleben und Unterlieger aufweist. Dies lässt sich daraus begründen, dass die Reaktion des Einzugsgebietes auf Starkniederschlagsereignisse einen steilen Anstieg

der Hochwasserwelle zur Folge hat. In Variante 1 trifft diese steil ansteigende Ganglinie unbeeinflusst auf das Dammbauwerk bei Büßleben. Der Abfluss wird ab dem Beginn durch den Grundablass gedrosselt und das Rückhaltevolumen in Anspruch genommen.

In Variante 2 wird durch die verzögerte Abgabe der Becken M003 und M002 im Oberlauf die Abflussganglinie zeitlich gestreckt. Der Einstau des Rückhaltebeckens bei Büßleben verläuft dadurch mit einem langsameren Anstieg der Hochwasserwelle, wobei theoretisch im ansteigenden Ast bis ca. 10 m³/s der Abfluss frei durch das Becken geleitet werden könnte. Somit bewirkt die Drosselung durch den ungesteuerten Grundablass bereits frühzeitig einen Einstau, wodurch in der Summe aller Rückhalte ein größeres Volumen bereitgestellt werden muss. Durch den Einsatz eines gesteuerten Systems wäre hier eine Optimierung möglich, jedoch wurde dies im Rahmen der Bearbeitung nicht betrachtet. Die zurückgehaltenen Mengen der oberen zwei Becken tragen nicht zu 100 % der Scheitelabsenkung für Büßleben und die weiteren Unterlieger bei.

Es wird darauf hingewiesen, dass die vorliegenden Ergebnisse für den Ablauf und die Niederschlagsverteilung des Ereignisses vom September 2014 gelten. Generell kann die Errichtung mehrerer Hochwasserrückhaltebecken entlang des Gewässersystems zu einer höheren Sicherheit vor Hochwasserereignissen beitragen, da diese flexibler wirken können. Bei der Betrachtung einer anderen Niederschlagsverteilung in den Teileinzugsgebieten wären daher andere Ergebnisse möglich.

Variante 3 – Ein Hochwasserrückhaltebecken im Pfingstbach (M004-b)

Die Dimensionierung eines Hochwasserrückhaltebeckens zum Schutz vor Starkniederschlagsereignissen konnte für den Pfingstbach nicht anhand der Simulation des Hochwassers 2014 durchgeführt werden, da das Ereignis auf das Teileinzugsgebiet des Peterbachs lokal begrenzt war. Im oberen Teil des Pfingstbachs fielen am 19. September 2014 gemäß den RADOLAN-Aufzeichnungen 25 mm in 2 Stunden. Der daraus resultierende Abfluss im Pfingstbach betrug oberhalb Niedernissa 3,23 m³/s, was statistisch zwischen einem HQ_{50} und HQ_{100} einzuordnen ist (vgl. Kapitel 6.3, Tabelle 6-8).

Wie das Hochwasserereignis vom Juni 2013 zeigt, besteht für den Pfingstbach ebenso eine starke Gefährdung für Starkniederschlagsereignisse, die zu Abflüssen über HQ_{100} in den Ortslagen Niedernissa und Urbich führen können. Da für dieses Ereignis keine Niederschlagsdaten und Abflussganglinien zur Verfügung standen, wurde in Abstimmung mit dem AG festgelegt, dass eine Dimensionierung des Hochwasserrückhaltes oberhalb von Niedernissa durch Übertragung des Ereignisses aus dem September 2014 erfolgen sollte.

Zur Ermittlung der Zuflussganglinie aus Starkniederschlägen am Standort des Rückhaltebeckens M004 oberhalb Niedernissa wurde mit Hilfe des N-A-Modells eine Simulation durchgeführt. Die maximale Niederschlagsmenge des Ereignisses 2014 betrug 70,1 mm in 2 Stunden, die auf das Einzugsgebiet übertragen wurde. Dabei konnte oberhalb Niedernissa ein Abflussscheitelwert von 7,06 m³/s ermittelt werden, der bei der Übertragung der Niederschlagsmengen ungehindert zum Abfluss kommen würde.

Anschließend wurde eine Ermittlung des erforderlichen Beckenvolumens zum Schutz vor Starkniederschlägen durchgeführt.

Randbedingung: • *Abfluss Niedernissa HQ_{100} = 3,69 m³/s*

Mit Hilfe des N-A-Modells wurde die Dimensionierung des Grundablasses iterativ angepasst, um einen HQ_{100}-Abfluss in Niedernissa zu erreichen. Die folgende Abbildung 8-16 zeigt die Zufluss- und Abflussganglinie zum Hochwasserrückhaltebecken M004-b sowie den Verlauf der Speicherinhaltslinie.

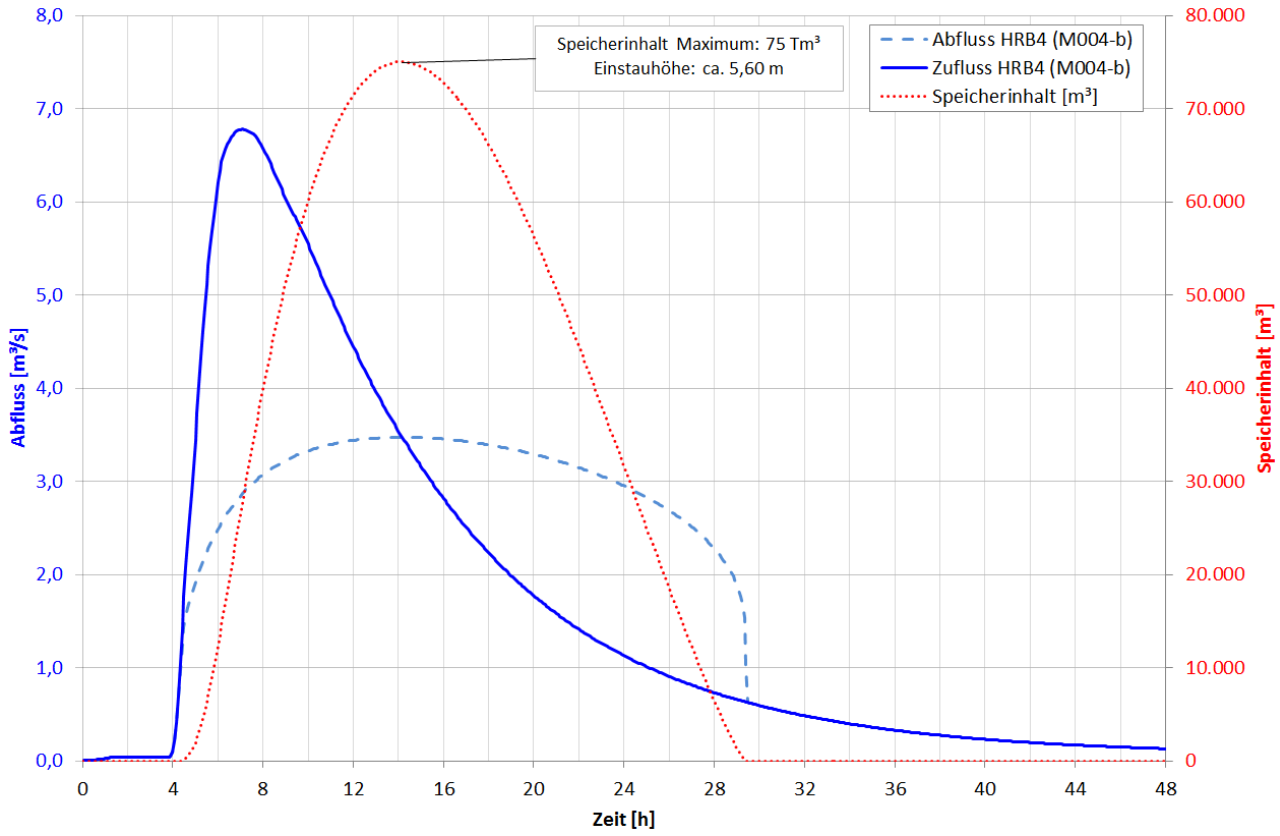


Abbildung 8-16 Variante 3: Ganglinien der Speichersimulation

Für den Berechnungslauf ergeben sich folgende Resultate:

Ergebnis:

- *Drossel: mittlere Rauheit, Rohrlänge 15 m, Rohrdurchmesser 0,4 m*
- *max. Abfluss HRB4: 3,48 m³/s*
- *max. Einstauhöhe HRB4: 5,60 m*
- *max. Einstauvolumen HRB4: 75.000 m³*
- *Einstaufläche HRB4: 3,6 ha*

Die Berechnung zeigt, dass eine Drosselung des Abflusses für ein Starkniederschlagsereignis analog dem Hochwasser 2014 durch die Errichtung eines Rückhaltebeckens am Pfingstbach möglich ist. Für das Rückhaltebecken ist eine Einstauhöhe von 5,60 m und einem Volumen von 75.000 m³ oberhalb von Niedernissa erforderlich. Damit kann das Becken entsprechend ThürTA-Stau:2005-06 als kleines Hochwasserrückhaltebecken (TSK 3) klassifiziert werden [33].

Für die Dimensionierung wurde vereinfachend davon ausgegangen, dass das Niederschlagsereignis aus dem September 2014 auf das Teileinzugsgebiet des Pfingstbachs übertragen werden kann. Es wird darauf hingewiesen, dass eine andere Niederschlagsintensität oder –verteilung oder die Annahme anderer Randbedingungen (insbesondere die Vorfeuchte) im Einzugsgebiet zu einer anderen Dimensionierung des Rückhaltebeckens führen würde.

8.3.4 Definition einer Vorzugslösung

Anhand der ermittelten Beckengrößen wurde für die Rückhalte eine Kostenschätzung durchgeführt. Eine detaillierte Aufschlüsselung der einzelnen Kostenbestandteile kann Anlage 14 entnommen werden.

Tabelle 8-10 Zusammenfassung Kostenschätzung geplante Maßnahmen (Starkniederschläge)

Name		Dimensionierung	Investitionskosten (Baukosten und Zuschläge unabh. von Nutzungsdauer) (Netto, gerundet) [€]	Laufende Kosten (Netto, gerundet) [€/a]	Nutzungsdauer (Quelle KVR 2012) [a]
M001-a	Hochwasserrückhaltebecken oberhalb Büßleben (Schutz Stufe 2, Variante 1 - 1 HRB Peterbach)	• Dammhöhe h = 10,90 m (Einstauhöhe 9,90 m, Freibord 1,0 m) • Beckenvolumen V = 365.000 m³ • Einstaufläche A = 9,1 ha • Dammlänge l = 320 m • Gestaltung einfaches Auslassbauwerk (Stck. 20.000 €) • spez. Baukostenansatz: Berücksichtigung Dammlänge und Dammaufstandsfläche sowie vorliegender Bewuchs im Einstaubereich (Rodung u.ä.)	12.095.000 €	92.000 €	80

Name		Dimensionierung	Investitionskosten (Baukosten und Zuschläge unabh. von Nutzungsdauer) (Netto, gerundet) [€]	Laufende Kosten (Netto, gerundet) [€/a]	Nutzungsdauer (Quelle KVR 2012) [a]
M001-b	Hochwasserrückhaltebecken oberhalb Büßleben (Schutz Stufe 2, Variante 2 - Kombination von 3 HRB Peterbach)	• Dammhöhe h = 9,30 m (Einstauhöhe 8,30 m, Freibord 1,0 m) • Beckenvolumen V = 230.000 m³ • Einstaufläche A = 7,4 ha • Dammlänge l = 280 m • Gestaltung einfaches Auslassbauwerk (Stck. 20.000 €) • spez. Baukostenansatz: Berücksichtigung Dammlänge und Dammaufstandsfläche sowie vorliegender Bewuchs im Einstaubereich (Rodung u.ä.)	7.830.000 €	60.000 €	80
M002	Hochwasserrückhaltebecken unterhalb Rohda (Schutz Stufe 2, Variante 2 - Kombination von 3 HRB Peterbach)	• Dammhöhe h = 9,70 m (Einstauhöhe 8,70 m, Freibord 1,0 m) • Beckenvolumen V = 145.000 m³ • Einstaufläche A = 4,7 ha • Dammlänge l = 160 m • Gestaltung einfaches Auslassbauwerk (Stck. 20.000 €) • spez. Baukostenansatz: Berücksichtigung Dammlänge und Dammaufstandsfläche sowie vorliegender Bewuchs im Einstaubereich (Rodung u.ä.)	4.860.000 €	37.000 €	80
M003	Hochwasserrückhaltebecken oberhalb Rohda (Schutz Stufe 2, Variante 2 - Kombination von 3 HRB Peterbach)	• Dammhöhe h = 9,30 m (Einstauhöhe 8,30 m, Freibord 1,0 m) • Beckenvolumen V = 146.000 m³ • Einstaufläche A = 4,4 ha • Dammlänge l = 150 m • Gestaltung einfaches Auslassbauwerk (Stck. 20.000 €) • spez. Baukostenansatz: Berücksichtigung Dammlänge und Dammaufstandsfläche sowie vorliegender Bewuchs im Einstaubereich (Rodung u.ä.)	4.210.000 €	32.000 €	80
M004-b	Hochwasserrückhaltebecken oberhalb Niedernissa (Schutz Stufe 2, Variante 3 - 1 HRB Pfingstbach)	• Dammhöhe h = 6,60 m (Einstauhöhe 5,60 m, Freibord 1,0 m) • Beckenvolumen V = 75.000 m³ • Einstaufläche A = 3,6 ha • Dammlänge l = 320 m • Gestaltung einfaches Auslassbauwerk (Stck. 20.000 €) • spez. Baukostenansatz: Berücksichtigung Dammlänge und Dammaufstandsfläche sowie vorliegender Bewuchs im Einstaubereich (Rodung u.ä.)	4.700.000 €	36.000 €	80

Die Analyse zeigt, dass ein Schutz der Ortslagen am Peter- und Pfingstbach vor Starkniederschlagsereignissen aus dem oberen Einzugsgebiet durch die Errichtung von Hochwasserrückhaltebecken möglich ist.

Aufgrund eines Vergleichs der Varianten 1 und 2 ist zu erkennen, dass die Konstruktion eines Hochwasserrückhaltebeckens oberhalb von Büßleben gegenüber der Schaffung von drei Rückhaltebecken für das Teilgebiet des Peterbachs sowohl bei den Investitions- als auch bei den laufenden Kosten die günstigere Variante darstellt. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Genehmigungs- und planerische Aufwand für Variante 2 mit drei Rückhaltebecken deutlich höher ausfallen würde, da ein Eingriff entlang des Peterbachs in mehreren Abschnitten von geschützten Biotopen stattfindet.

Als Vorzugslösung zum Schutz vor Starkniederschlägen wurde für das Bearbeitungsgebiet die Kombination eines Rückhaltebeckens im Pfingstbachs und eines im Peterbach gewählt. Anhand der Dimensionierung muss das HRB im Peterbach oberhalb Büßleben eine Einstauhöhe von ca. 9,90 m und ein Einstauvolumen von 365.000 m³ besitzen, um in Büßleben einen Abfluss von HQ_{100} abfließen zu lassen und den Schutz durch die vorgeschlagenen Maßnahmen gemäß Kapitel 8.2 zu ergänzen.

Für den Pfingstbach ist zum Schutz vor Starkniederschlägen eine Errichtung eines Beckens von 5,6 m Einstauhöhe und der Rückhalt von ca. 75.000 m³ Wasser erforderlich, um in Niedernissa einen Abfluss von HQ_{100} zu gewährleisten.

8.3.5 Hydraulischer Nachweis der Wirksamkeit

Um die Wirksamkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen nachzuweisen, wurde eine hydraulische Berechnung mit den Abflussganglinien des Hochwassers 2014 durchgeführt, in der alle vorgeschlagenen Hochwasserschutzmaßnahmen aus der ersten Stufe (Schutz vor HQ_{100}) und aus der zweiten Stufe (Schutz vor Starkniederschlägen) berücksichtigt wurden. Die in Ansatz gebrachten Abflussscheitelwerte der instationären Ganglinien wurden dem hydrologischen Modell entnommen.

In der Anlage 15 werden die berechneten Überflutungsausbreitungen und Wassertiefen für die Prognoseberechnung des Hochwassers 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen dargestellt. Die Differenzenpläne in Anlage 16 zeigen die Unterschiede im Vergleich zur Simulation des Hochwassers 2014 ohne Hochwasserschutzmaßnahmen.

Hinsichtlich der Überflutungsausbreitung können folgende Ergebnisse für das Bearbeitungsgebiet bzw. speziell für die Ortslagen zusammengefasst werden:

Peterbach:

Peterbach, bis zum Hochwasserrückhaltebecken oberhalb von Büßleben (M001-a, M024):

Die Überflutungsausbreitung am Peterbach oberhalb von Büßleben entspricht der Berechnung des Hochwassers 2014 ohne Hochwasserschutzanlagen. Die folgende Abbildung 8-17 zeigt die Ausbreitung der Simulation mit Hochwasserschutzmaßnahmen (blau) im Vergleich zur Simulation des abgelaufenen Ereignisses 2014 ohne Hochwasserschutzmaßnahmen (gelbe Anschlaglinie).

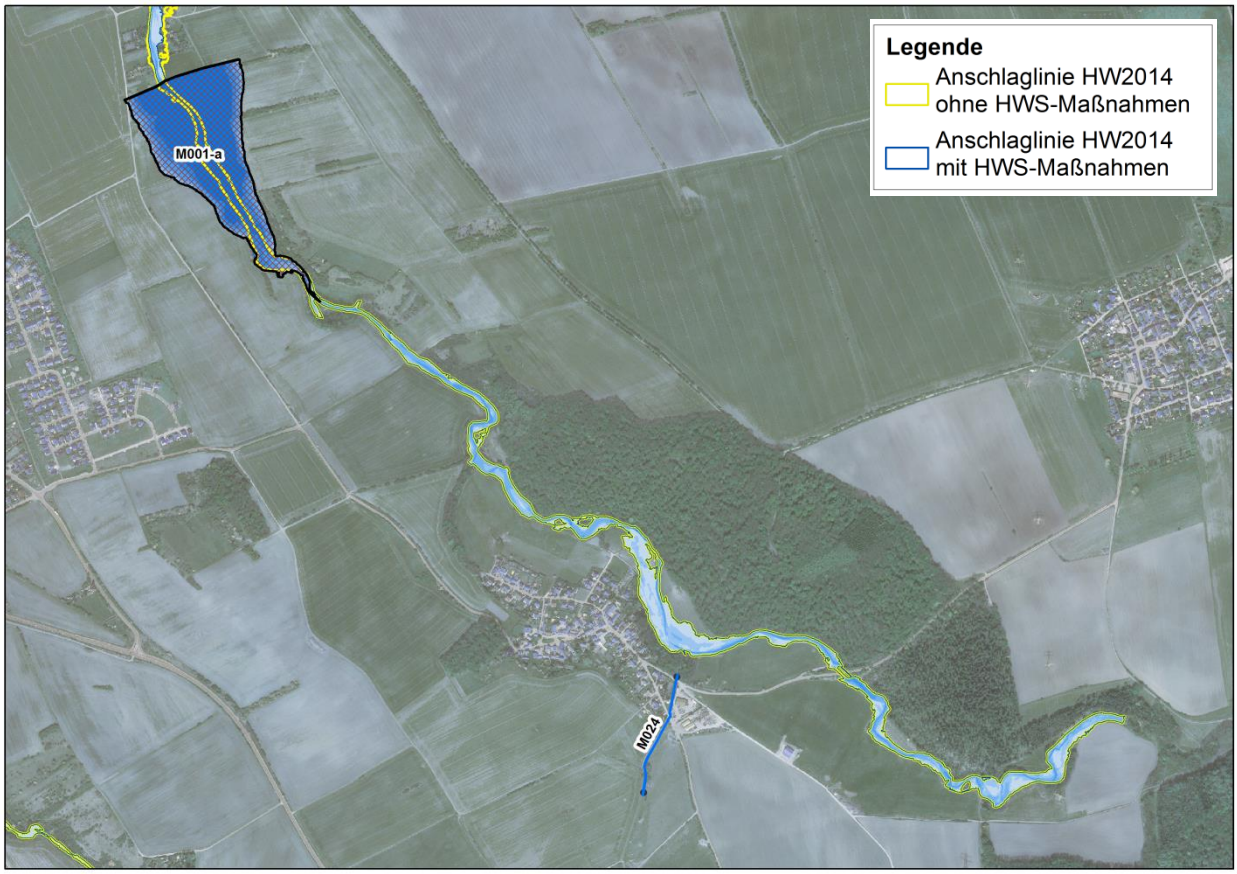


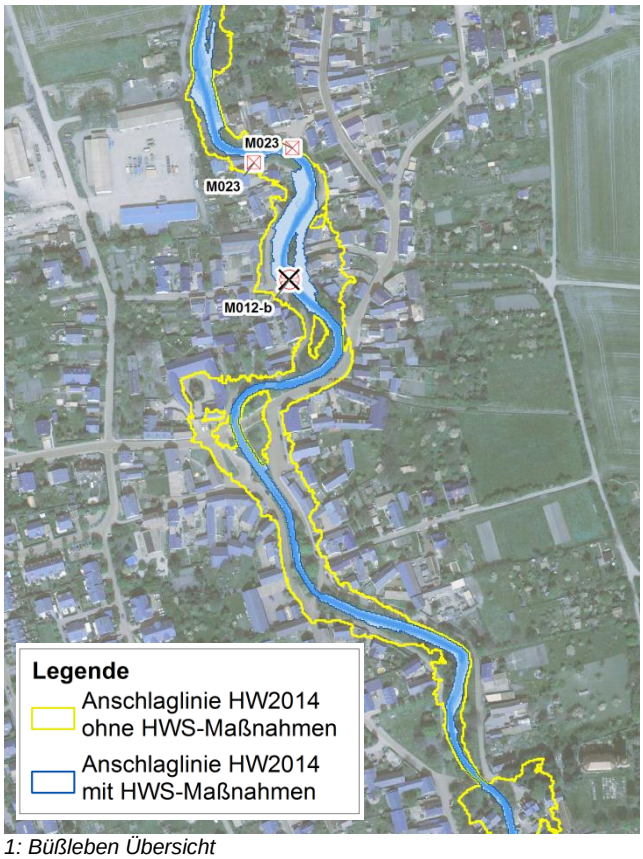
Abbildung 8-17 HW 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen, oberhalb Büßleben

Die Maßnahme in Rohda, die einen Ausbau der Ableitung am Kirchgraben (M024) vorsieht, führt zu keiner Veränderung. Die Wirkung der Maßnahme dient dem Schutz vor Hangzuflüssen südlich der Ortslage, was durch die Simulation des Flusshochwassers aus dem Peterbach nicht nachgewiesen werden kann.

Oberhalb der Ortslage Büßleben kommt es zum Einstau am geplanten Hochwasserrückhaltebecken. Die Einstauhöhe beläuft sich auf maximal 9,90 m über dem Gelände und spiegelt sich somit auf maximal 249,30 m NHN aus. Der Drosselabfluss des Querbauwerkes verzögert die Ganglinie, wodurch maximal 10,19 m³/s abgegeben werden und Richtung Büßleben weiterfließen.

Peterbach, Ortslage Büßleben (M012-b, M023):

In der Ortslage Büßleben werden bei der Berechnung des Zustands mit geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen die Wasserspiegellagen stark reduziert. Die folgende Abbildung zeigt die Überflutungsausbreitung.



1: Büßleben Übersicht

2: Büßleben, Bereich der geplanten Maßnahmen in der Ortslage

Abbildung 8-18 HW 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen, Büßleben

Die folgende Abbildung zeigt die Wirkung des Drosselabflusses auf die Abflussganglinie in der Ortslage.

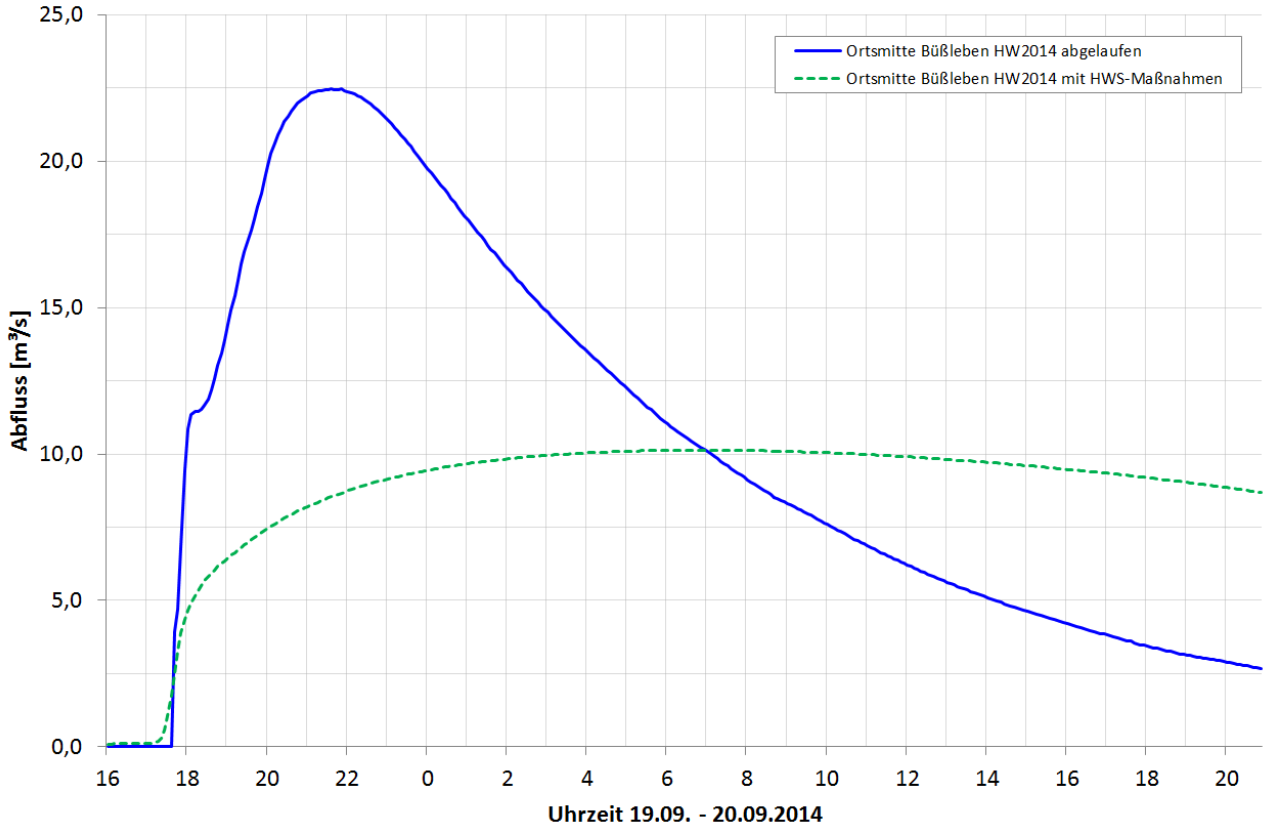


Abbildung 8-19 HW 2014 Abflussganglinie Büßleben - abgelaufen und prognostiziert

Der Drosselabfluss aus dem Rückhaltebecken bewirkt eine starke Reduktion der Abflüsse im Gerinne. Da sich die Fülle verschiebt, verläuft die Ganglinie im Planzustand flach und zeitlich langgezogen. Erst ca. 14 Stunden nach Beginn des Niederschlagsereignisses wird im Ort der Abflussscheitel von 10,2 m³/s erreicht. Anschließend fällt die Ganglinie langsam wieder ab.

Durch die Reduktion der Abflüsse können die Wasserspiegellagen in Büßleben im Bereich der Petrikirche / Straße der Einheit bis zu 90 cm gesenkt werden. In der Ortsmitte am Platz der Jugend wurden für die Planberechnung 50 bis 60 tiefere Wasserspiegellagen ermittelt. Durch die Beseitigung des Abflusshindernisses der Brücke „Zur Trolle“ kann der Abfluss auch für dieses Szenario verbessert werden, dennoch kommt es zum Übertritt des Wassers über die rechte Uferkante und zum Abfluss über die Straße mit bis zu 10 cm Wassertiefe. Da es sich nur um geringe Wassertiefen handelt, sind die angrenzenden Gebäude ggf. randseitig betroffen. Die Möglichkeit des Eindringens des Wassers von der Straße in die Grundstücke sollte geprüft und ggf. durch entsprechende Vorsorgemaßnahmen verhindert werden.

Im Bereich der Objektschutzmaßnahmen M023 ergibt sich für die Berechnung eine Absenkung der Wasserspiegellagen um ca. 50 cm. Der vorgeschlagene Objektschutz (Abbildung 8-18, Bild 2) ist auch für diese Berechnung wirksam.

Peterbach, stromunterhalb Büßleben :

Für diesen Gewässerabschnitt wird durch die Wirkung des Rückhaltebeckens oberhalb Büßleben eine Absenkung der Wasserspiegellagen um 30 bis 65 cm erreicht. Aufgrund des Einschnittes des Gewässers in das Gelände ergibt sich bis zum Ortseingang Linderbach (km 0+700) keine entscheidende Veränderung der Überflutungsausbreitung.

Ab Fluss-km 0+600 bis zum Zusammenfluss mit dem Urbach ergibt sich im Vergleich der Simulation ohne Hochwasserschutzmaßnahmen durch die Wirkung des Hochwasserrückhaltebeckens eine Absenkung der Wasserspiegellage um 30 bis 40 cm. Aufgrund der geringeren Wasserspiegellagen tritt der Peterbach am Autohaus Gitter nicht mehr über die rechte Uferseite. Das Wasser kann durch die hydraulische Leistungsfähigkeit des Gerinnes schadlos abgeführt werden (vgl. Abbildung 8-20).

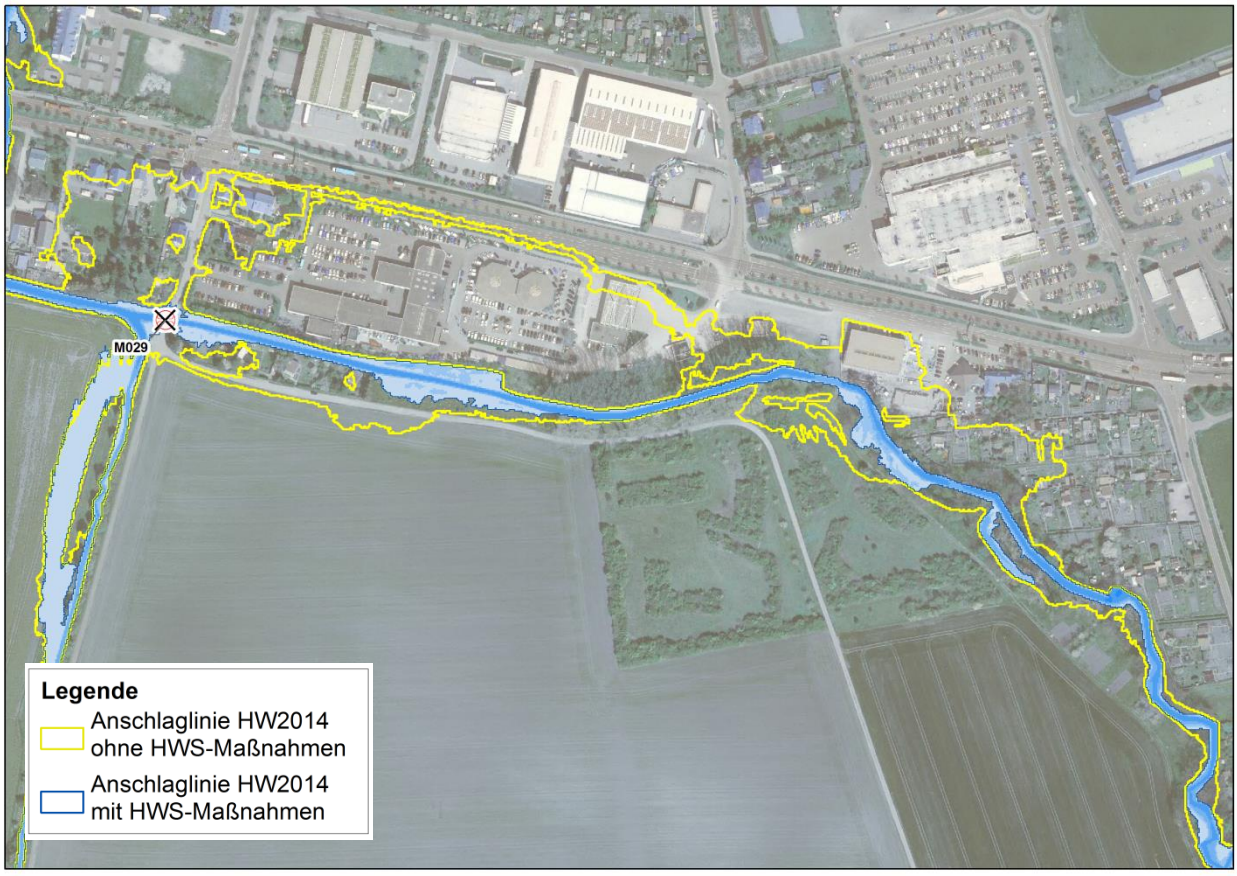


Abbildung 8-20 HW 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen, Linderbach Weimarische Straße

Die Beseitigung der Furtbrücke Weimarische Straße bewirkt eine Verbesserung der Abflussverhältnisse, wodurch ein Rückstau und der Übertritt des Wassers auf den angrenzenden Weg verhindert werden. Direkt oberhalb des Bauwerkes ergibt sich lokal im Vergleich zum Istzustand eine Absenkung der Wasserspiegellagen von 60 cm.

Pfingstbach:

Pfingstbach, bis zum Hochwasserrückhaltebecken oberhalb von Niedernissa (M004-b):

Entsprechend der definierten Vorzugslösung zum Schutz vor Starkniederschlagsereignissen für das Bearbeitungsgebiet wurden Hochwasserrückhaltebecken am Pfingst- und Peterbach vorgeschlagen. Die Beckengeometrien mit ihren Drosselabflüssen wurden in das hydraulische Modell eingearbeitet.

Die Überflutungsausbreitung am Pfingstbach oberhalb von dem geplanten Hochwasserrückhaltebecken entspricht der Berechnung des Hochwassers 2014 ohne Hochwasserschutzanlagen.

Die Ermittlung der Beckengröße für den Pfingstbach wurde durch Übertragung der Niederschlagsmengen vom Extremereignis 2014 durchgeführt. Dabei wurde eine erforderliche Höhe von 5,60 m dimensioniert. Für das Ereignis 2014 wurden im Teilgebiet des Pfingstbachs jedoch geringere Niederschlagsmengen registriert, wodurch das dimensionierte Becken für das berechnete Szenario nicht bis zur maximalen Höhe, sondern nur bis 2,60 m eingestaut wird. Die maximale Wasserspiegellage im Becken beläuft sich auf 268,30 m NHN.

Durch den Querriegel wirkt der Drosselabfluss des Beckens bereits bei geringeren Abflussmengen, wodurch für das simulierte Szenario eine Wirkung für die Unterlieger erkennbar ist.

Pfingstbach, Ortslage Niedernissa (M022):

Die Drosselung des Abflusses durch das ungesteuerte Hochwasserrückhaltebecken bewirkt eine Verringerung der Abflussmengen für die Unterlieger. Durch das Rückhaltebecken werden im Scheitel 2,6 m³/s abgegeben. Damit wird gegenüber der Berechnung des Istzustands eine Reduzierung des Abflusses um 0,6 m³/s in der Ortslage Niedernissa erreicht. Die folgende Abbildung zeigt die Überflutungsausbreitung in Niedernissa für den Ist- und Prognosezustand.

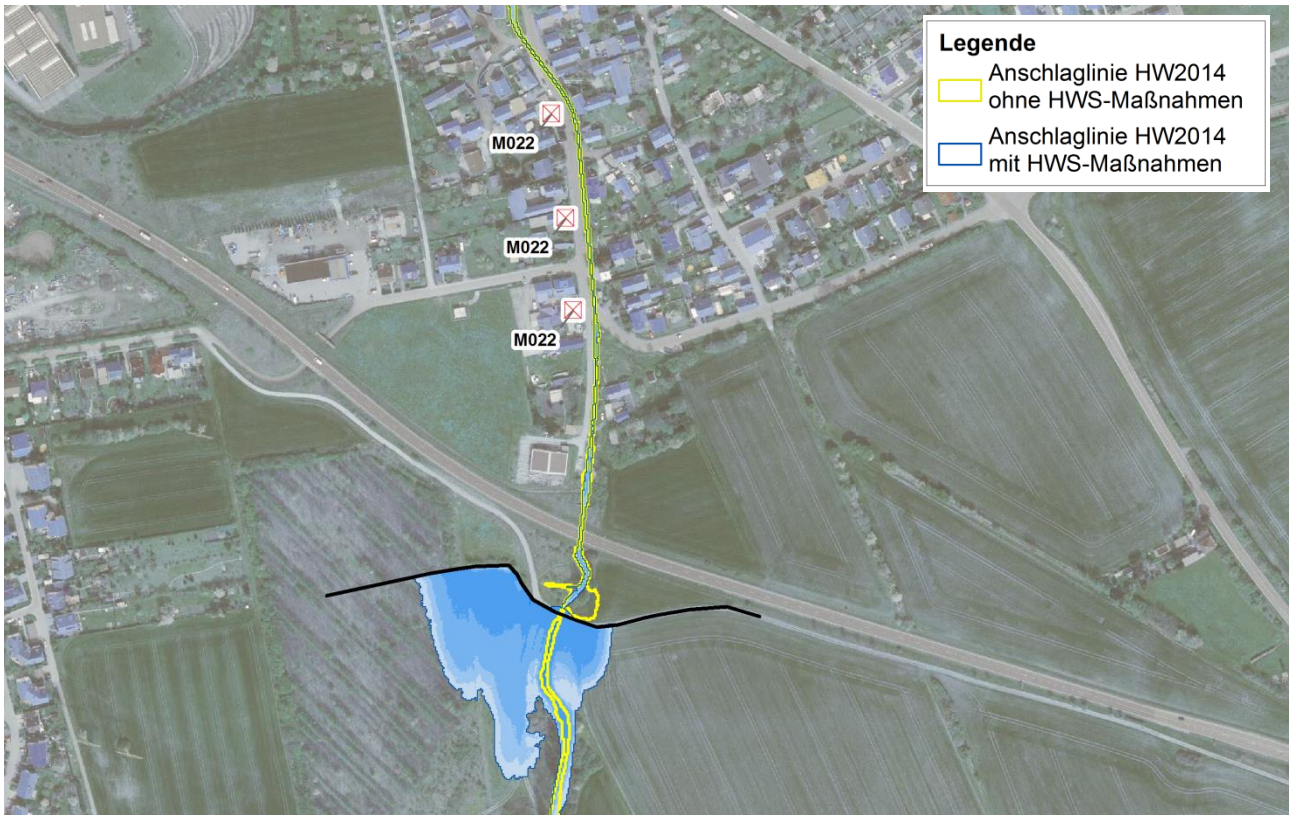


Abbildung 8-21 HW 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen, Niedernissa

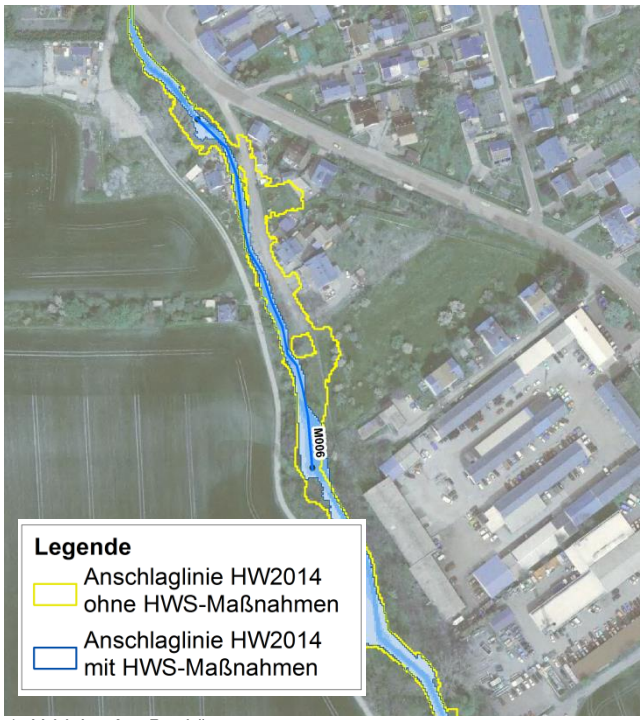
Bereits im Istzustand wurden in der Ortslage Niedernissa keine schadhaften Ausuferungen ermittelt. Im Prognosezustand kann daher keine Verringerung der Überflutungsflächen erkannt werden. Das Wasser fließt schadlos über das vorhandene Gerinne der Ortslage ab. Dabei wird der Wasserspiegel im Ort durch die Wirkung des Rückhaltebeckens um ca. 10 bis 20 cm abgesenkt.

Da das Wasser im Ist- sowie im Prognosezustand nicht über die Uferkante tritt, ist der Objektschutz einzelner Gebäude Niedernissa (M022) für diese Berechnung nicht wirksam.

Urbach:

Urbach, Ortslage Urbich (M006, M007, M010, M025):

Im Bereich der Ortslage Urbich sind Hochwasserschutzmaßnahmen in Form der Umgestaltung des Gerinnes "Am Bach", der hydraulischen Optimierung Durchlass "An der Kochschule" sowie der hydraulischen Optimierung des Durchlasses "Über den Krautländern" vorgesehen. Die folgende Abbildung zeigt die Wirkung der Maßnahmen auf die Berechnung des Hochwassers 2014.



1: Urbich, „Am Bach“

2: Urbich, „An der Kochschule“ und „Über den Krautländern“

Abbildung 8-22 HW 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen, Urbich

Es ist zu erkennen, dass durch die Abflussreduzierung durch das Hochwasserrückhaltebecken im Pfingstbach und die Umgestaltung des Gerinnes „Am Bach“ die schadhaften Ausuferungen verhindert werden können (Abbildung 8-22, Bild 1). Die Wasserspiegeldifferenz zwischen dem Ist- und Prognosezustand beläuft sich dabei auf bis zu 60 cm. Direkt oberhalb der Querung der Rudolstädter Straße beträgt die Differenz nur 10 cm, was sich auf den Einfluss des Rückstaus des Brückendurchlasses zurückführen lässt.

Unterhalb der Rudolstädter Straße bewirken die Umbaumaßnahmen der beiden Durchlässe, dass keine Überflutung der angrenzenden Bebauung mehr auftritt. Die Wasserspiegellagen können in der Ortslage durch das Zusammenwirken der Abflussreduktion durch das Becken mit den Hochwasserschutzmaßnahmen im Ort um ca. 10 m abgesenkt werden. Direkt oberhalb der Durchlässe ergeben sich durch die Verhinderung der Rückstaueffekte Differenzen von bis zu 20 cm (Durchlass „An der Kochschule“) bzw. bis zu 90 cm (Durchlass „Über den Krautländern“).

Die Maßnahme M025 sieht die Absenkung verschiedener Uferbereiche zwischen den Ortslagen Urbich und Linderbach vor. Bereits im Istzustand der Nachrechnung des Hochwasser 2014 trat der Urbach aufgrund der geringen Abflussmengen und Wasserspiegellagen an dieser Stelle nicht über die Uferkante. Durch die zusätzliche Reduzierung der Wasserspiegellagen um 5 cm mit Hilfe des Rückhalts im Oberlauf des Pfingstbachs wird die Maßnahme M025 im Prognosezustand daher nicht wirksam.

Linderbach:

Linderbach, Ortslage Linderbach bis zum Bahndamm (M013, M014, M026)

In der Ortslage Linderbach kann vor allem durch den Hochwasserrückhalt oberhalb Büßleben der Abflussscheitelwert stark reduziert werden. Auch die Maßnahmen der Gerinneveränderung oberhalb und unterhalb der Brücke „Im Ziegelgarten“ (M013) sowie die Beseitigung der Gerinneeinengung an der Furt (M014) bewirken eine Absenkung der Wasserspiegellagen. Für den Prognosezustand können im Zusammenwirken aller Hochwasserschutzmaßnahmen die Wasserspiegellagen um 65 bis 80 cm gesenkt werden. Die Abbildung 8-23 zeigt die berechneten Überflutungsausbreitungen.

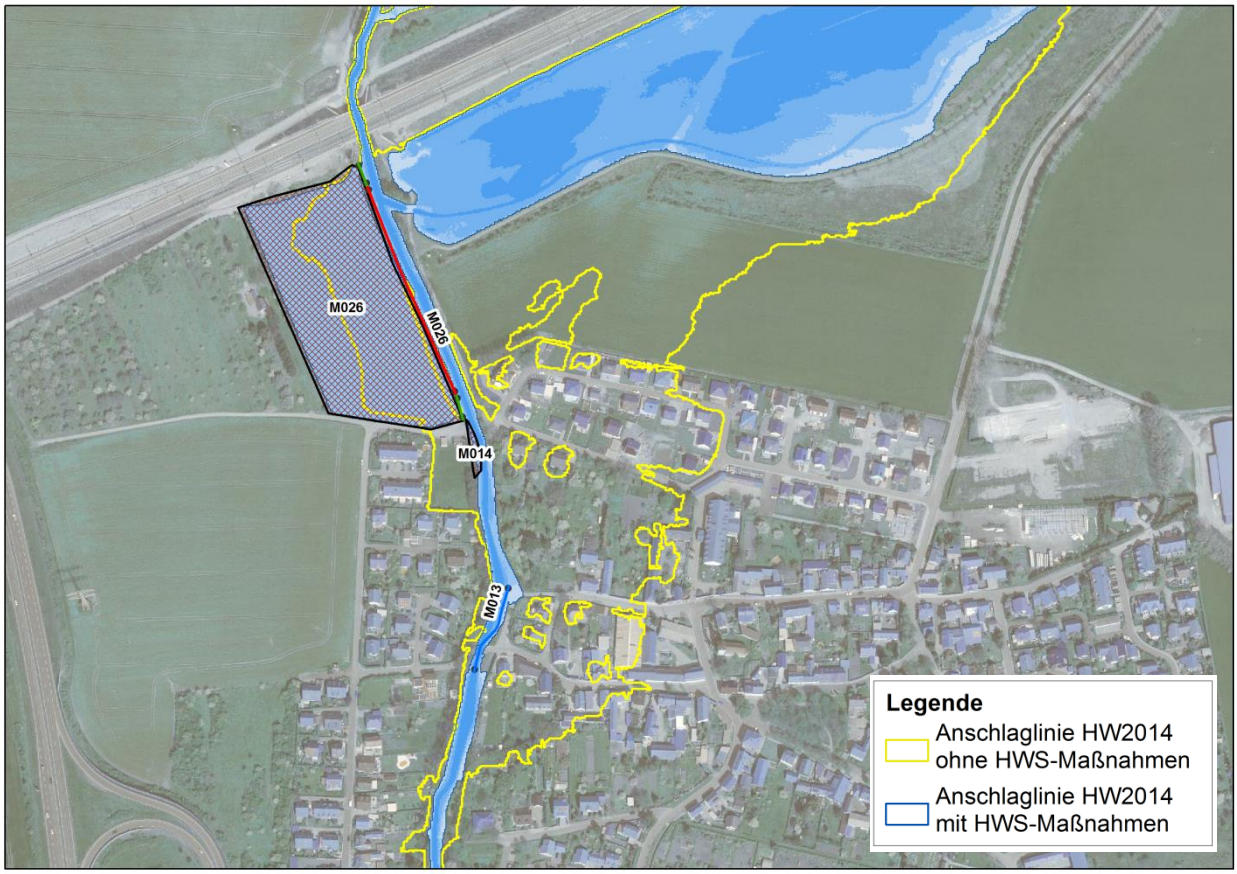


Abbildung 8-23 HW 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen, Ortslage Linderbach

Die Maßnahme M026 zur Aktivierung der linksseitigen Fläche oberhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum wird auch bei der Prognoserechnung des Hochwassers 2014 wirksam.

Der Bereich stromoberhalb der Bahntrasse zwischen dem Linderbach und GVZ wird auch beim Prognosezustand großräumig eingestaut. Maßgeblich für die Einstaufläche ist ein Rückstau aus dem Linderbach an der Einmündung des Zuflusses aus dem GVZ. Für den Prognosezustand beträgt die Differenz der Wasserspiegellagen für diesen Bereich -63 cm.

Linderbach, Ortslage Azmannsdorf bis Kerspleben (M016, M027, M028)

Stromunterhalb der Bahntrasse und westlich von Azmannsdorf wird durch Maßnahme M027 die rechtsseitige Fläche als Rückhalteraum angebunden. Diese Maßnahme wird auch bei der Berechnung des Prognosezustands wirksam. Bei Azmannsdorf können die Wasserspiegellagen im Linderbach durch das Zusammenwirken der verschiedenen Hochwasserschutzmaßnahmen in diesem Bereich um ca. 40 cm verringert werden.

Auch die Absenkung der Ufer zwischen Azmannsdorf und Kerspleben links und rechts (M028 und M016) werden bei der Prognoseberechnung wirksam und bewirken ein Überströmen über die Vorlandbereiche. Im Gerinne des Linderbachs ergibt sich zwischen Azmannsdorf und Kerspleben für den Prognosezustand eine Absenkung der Wasserspiegellagen um ca. 40 cm.

Linderbach, Ortslage Kerspleben (M017, M019, M020)

In Kerspleben sind mit den Maßnahmen M017 und M019 Deichneubauten zwischen der Straße „Große Herrengasse“ und „Zum Sulzenberg“ sowie zwischen der „Kersplebener Chaussee“ und dem Ortsausgang Kerspleben geplant. Auf der rechten Uferseite erfolgt mit M020 die Absenkung der Uferkante, um eine größere Vorlandüberströmung zu bewirken.

Im Gewässerabschnitt unterhalb „Zum Sulzenberg“ zeigt die Prognoseberechnung mit Hochwasserschutzmaßnahmen eine Absenkung der Wasserspiegellagen um 20 bis 30 cm. Die geplanten Deiche sind bei diesem Berechnungsszenario wirksam. Die Flächenausbreitung im Vorlandbereich fällt im Prognosezustand deutlich kleiner aus als dies im Istzustand der Fall ist (siehe Abbildung 8-24). Dies ist insbesondere auf die Wirkung des Rückhaltebeckens am Peterbach zurückzuführen. Zusätzlich bewirken jedoch auch die Anbindungen der Vorlandbereiche durch Uferabsenkungen eine zusätzliche Reduktion des Abflussscheitels.

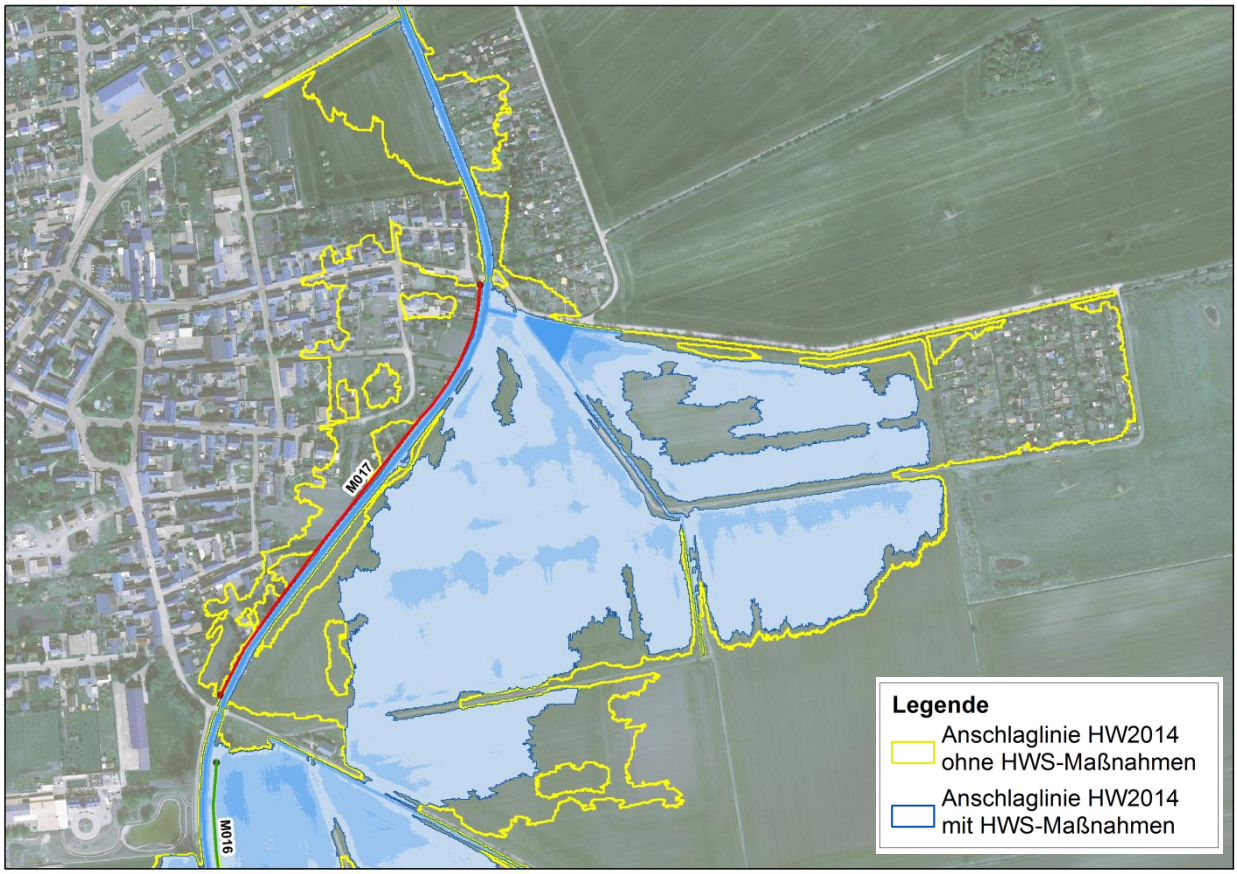


Abbildung 8-24 HW 2014 mit Hochwasserschutzmaßnahmen, Kerspleben

Linderbach Ortslage Töttleben (M021)

Die Maßnahme des linienhaften Hochwasserschutzes von Töttleben (M021) verhindert im Prognosezustand ein Einströmen in den Ort. Dabei liegen die Wasserspiegellagen im Vorlandbereich ca. 10 bis 15 cm tiefer als im Istzustand. Die Überflutungsausbreitung ist geringer.

Die folgende Abbildung zeigt die Wirkung der Hochwasserschutzmaßnahmen auf die Abflussganglinie im Bereich von Töttleben.

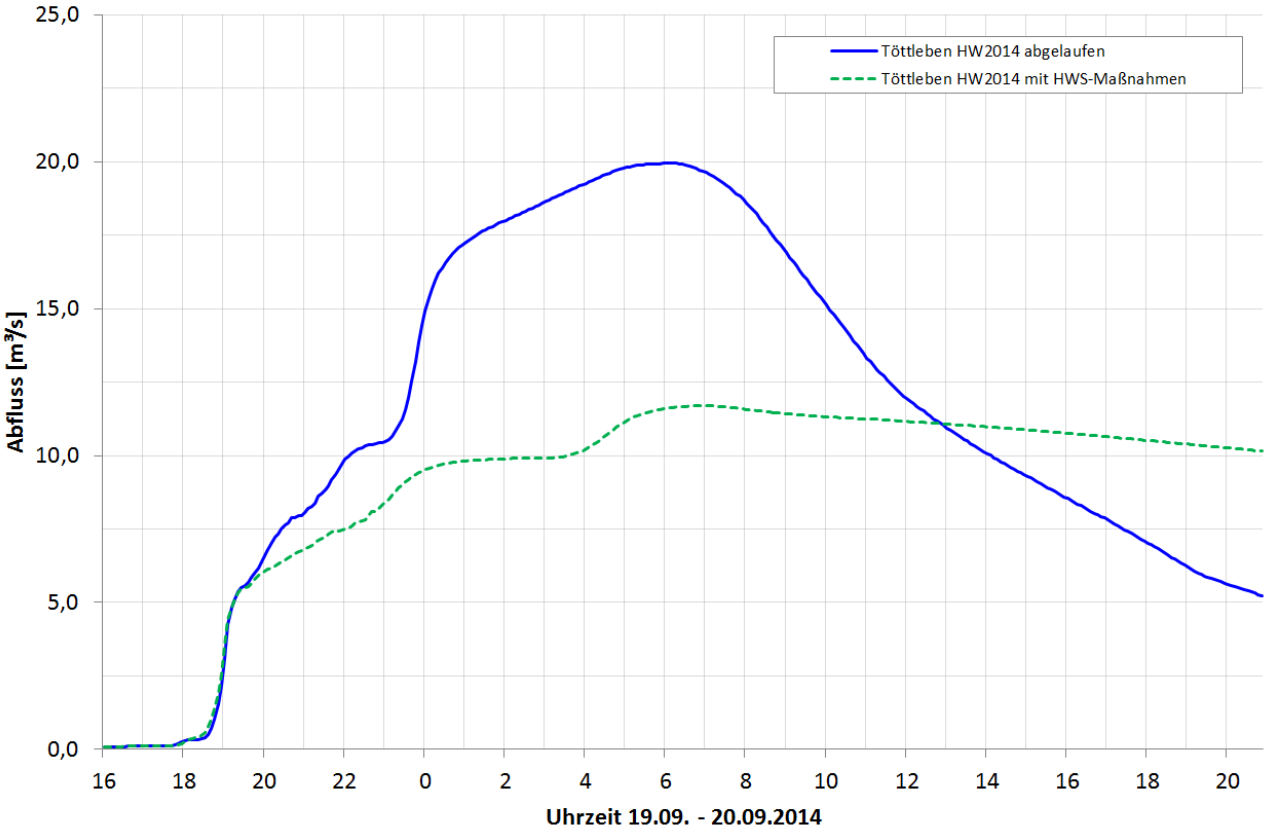


Abbildung 8-25 HW 2014 Abflussganglinie Töttleben - abgelaufen und prognostiziert

Es ist zu sehen, dass der Abflussscheitelwert im Bereich von Töttleben mit einem Wert von 11,7 m³/s auch deutlich im Vergleich zum Istzustand reduziert werden kann. Die Wirkung der Hochwasserrückhaltebecken, insbesondere des Beckens am Peterbach für dieses Ereignis, kann auch am unteren Modellrand nachgewiesen werden. Die Abflussganglinie wird stark abgeflacht und verläuft aufgrund des gedrosselten Grundablasses aus dem Becken ausgedehnter. Daher ist damit zu rechnen, dass die Vorlandbereiche für einen längeren Zeitraum unter Wasser stehen, als dies im Istzustand der Fall ist.

Schadenspotentiale:

Zum Vergleich der Wirkung der Gesamtheit aller Maßnahmen wurden die Schadenssummen des abgelaufenen Hochwassers 2014 und der vorgestellten Prognosevariante mit Hochwasserschutz-maßnahmen anhand des beschriebenen Verfahrens in Kapitel 0 ermittelt. Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse.

Tabelle 8-11 Potentielle Schäden nach Landnutzungsklasse Hochwasser 2014

Nutzungs-klasse	Monetäre Bewertung [€]	
	HW2014	
	Ist	Prognose
Ackerland	164.515	134.444
Siedlung	1.482.177	55.128
Industrie	62	0
Verkehrswege	20.954	2.285
Grünland	5.284	4.712
Wald	286	329
Summe:	**1.673.278**	**196.898**

Tabelle 8-12 Potentielle Schäden nach Ortsbereichen Vorzugsvariante

Ortsbereich	Monetäre Bewertung [€]	
	HW2014	
	Ist	Prognose
Azmannsdorf	8.980	0
Büßleben	157.263	13.357
Kerspleben	513.794	3.483
Linderbach	594.904	9.527
Niedernissa	58	0
Töttleben	60.618	304
Urbich	20.523	2.006
außerhalb direkter Ortsbereiche	317.138	168.221
Summe:	**1.673.278**	**196.898**

Es ist zu erkennen, dass sich durch die Umsetzung der Maßnahmen zum Schutz vor HQ_{100} und zum Schutz vor Starkniederschlagsereignissen eine deutlich geringere Schadenssumme durch das abgelaufene Hochwasser ergibt (Voraussetzung: Eintritt eines Ereignisses, das analog zum Hochwasser 2014 verläuft). Die Schadenssumme für das Bearbeitungsgebiet kann dabei durch die Maßnahmen um fast 1,5 Mio. Euro reduziert werden. Insbesondere in den Ortslagen Büßleben, Linderbach und Kerspleben ist dadurch eine Verringerung der Schadenswerte zwischen 92 und 99 % möglich.

Die höchsten Schäden ergeben sich im Prognosezustand für Ackerflächen. Um den tatsächlich dabei auftretenden Schaden gering zu halten, sollte für die überflutungsgefährdeten Flächen auf eine hochwasserangepasste landwirtschaftliche Nutzung geachtet werden.

9 Installation von Frühwarnsystemen im Einzugsgebiet

9.1 Grundlage

Die abgelaufenen Hochwasserereignisse der letzten Jahre haben gezeigt, dass für das Einzugsgebiet des Linderbaches eine große Gefährdung für schadhafte Ausuferungen durch kurz anhaltende und intensive Starkniederschläge besteht. Im Sinne der Informationsvorsorge können daraus resultierende potentielle Schäden an Sachgütern und Personen prinzipiell am sinnvollsten durch die Installation eines Frühwarnsystems vermindert werden.

Aufgrund der Einzugsgebietseigenschaften kann davon ausgegangen werden, dass insbesondere für die gefährdeten Ortslagen im oberen Bereich des Einzugsgebietes (Ortslagen Büßleben, Linderbach, Niedernissa und Urbich) durch die Installation eines Frühwarnsystems lediglich eine geringe Vorwarnzeit möglich ist. Für das Bearbeitungsgebiet kann daher die Vermeidung von Schäden durch ein Frühwarnsystem nicht erwartet werden, jedoch ist durch die rechtzeitige Warnung eine Verminderung potentiell erreichbar.

Derzeit gibt es im Einzugsgebiet keine Hochwassermeldepegel oder andere Warnsysteme, die für die Warnung der Betroffenen im Hochwasserfall genutzt werden können.

Die folgende Analyse soll Möglichkeiten der Frühwarnung für das Einzugsgebiet anhand hydrometrischer und meteorologischer Methoden aufführen und deren Anwendbarkeit auf das Einzugsgebiet des Linderbaches bewerten.

9.2 Hochwasservorhersage und -information durch Pegel im Einzugsgebiet

Grundsätzlich kann eine zuverlässige Warnung vor Hochwasserereignissen in größeren Einzugsgebieten anhand von Messpegeln im Oberlauf erfolgen. Mit dieser Methode werden die Unterlieger durch die Einrichtung von verschiedenen Alarm- und Meldestufen an Pegeln im Oberlauf vor möglichen Hochwassergefahren und drohenden Ausuferungen des Gewässers gewarnt. Da das Einzugsgebiet des Linderbaches bis zur Mündung jedoch nur eine Größe von ca. 60 km² aufweist und die schadhaften Ausuferungen sehr schnell nach Beginn des Niederschlagsereignisses (innerhalb von 2 Stunden) vor allem in den oberen Teileinzugsgebieten auftreten, ist eine hinreichende Vorwarnung über Pegel **im Oberlauf** des Einzugsgebietes (am Peter- und Pfingstbach) nicht möglich.

Um Auswirkungen der Abflussprozesse im Einzugsgebiet jedoch zukünftig besser analysieren und bewerten zu können, erscheint aus hydrologischer Sicht die Installation eines Messpegels **im Unterlauf** des Einzugsgebietes sinnvoll. Neben der Aufzeichnung der Abflusswerte im Linderbach für zukünftige statistische Auswertungen könnte der Pegel im Unterlauf dazu genutzt werden, um die Ortslagen Kerspleben und Töttleben (und auch Kleinmölsen unterhalb der Stadtgrenze) anhand von Meldestufen zu warnen.

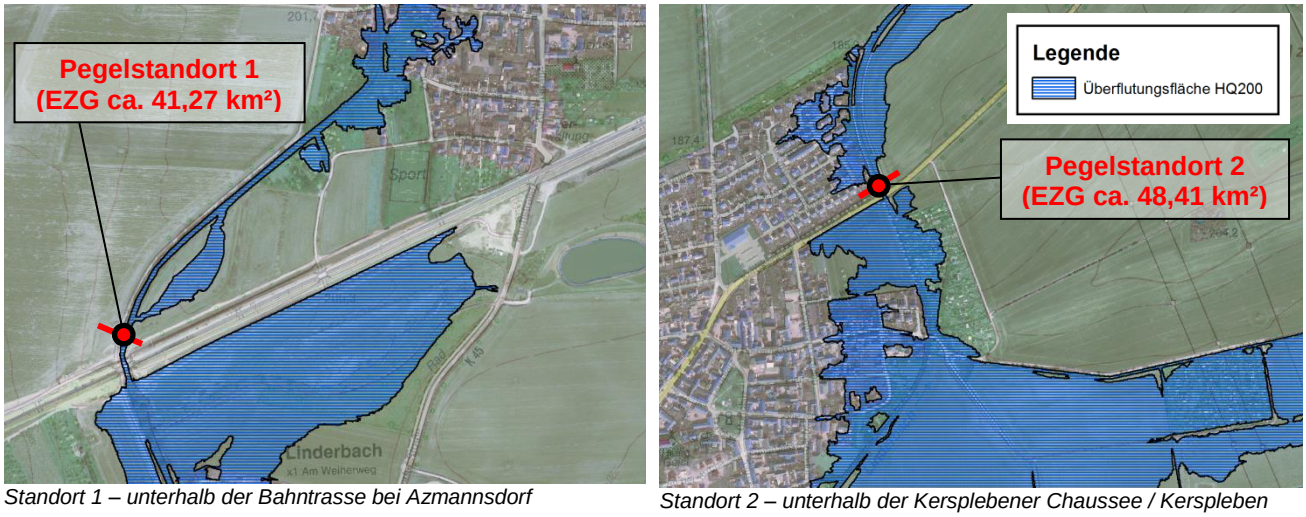
Die Installation eines Pegels sollte an Querschnitten erfolgen, an denen keine Vorlandausuferungen auftreten. Da das Einzugsgebiet eine schnelle Reaktion auf die Starkniederschläge zeigt und die Hochwasserganglinie innerhalb weniger Stunden abfließt, müssen Wasserstände und Durchflüsse zeitlich hoch aufgelöst erfasst werden. Für das Einzugsgebiet werden Wasserstandsaufzeichnungen durch einen Schreibpegel empfohlen, der automatisch die Wasserstände aufzeichnet und somit eine hohe Genauigkeit, gute zeitliche Auflösung sowie eine unabhängige Aufzeichnung ermöglicht. Aus hydrologischer Sicht ist neben der Messung der Wasserstände auch eine Messung der zugehörigen Abflussmengen im Gewässer erforderlich. Dies kann durch eine Berechnung der Abflussganglinie Q(t) aus der Wasserstandsganglinie W(t) über eine für den Querschnitt geltende Eichkurve erfolgen. Dabei ist die Schaffung eines befestigten Querschnittes im Bereich des Pegels notwendig, um eine zuverlässige Wasserstand-Abfluss-Beziehung herstellen zu können.

Für die Installation eines Schwimmerschreibpegels sind folgende Arbeiten erforderlich:

- Herrichtung eines Querschnittes im Bereich des Pegels und Befestigung der Böschung und Sohle mit Wasserbausteinen auf einer Strecke von ca. 10 bis 20 m
- Bau des Pegels und Installation der erforderlichen Technik (Gebereinrichtung zur Wasserstandsmessung, Datensammler, Übertragungstechnik, Stromversorgung etc.)
- Schutzgebäude oder Schrank für Pegelausrüstung
- Installation eines Lattenpegels zur Justierung des Schreibpegels

Die Investitionskosten für die Installation eines Pegels belaufen sich auf ca. 5.000 bis 15.000 €.

Die folgende Abbildung zeigt Vorschläge für potentielle Standorte zur Installation eines Pegels am Linderbach.



Standort 1 – unterhalb der Bahntrasse bei Azmannsdorf

Standort 2 – unterhalb der Kersplebener Chaussee / Kerspleben

Abbildung 9-1 Vorschläge für einen Pegelstandort am Linderbach

Als Standorte für die Installation eines Pegels am Linderbach wurden zwei Bereiche ermittelt (Abbildung 9-1). Der erste Standort befindet sich unterhalb der Querung des Linderbachs mit der Bahntrasse zwischen den Ortslagen Azmannsdorf und Linderbach. Hier ist die hydraulische Leistungsfähigkeit des Gerinnes ausreichend, um die gesamte Abflussmenge bei HQ_{200} ohne Ausuferungen abführen zu können. Der zweite potentielle Standort befindet sich unterhalb der Brücke Kersplebener Chaussee in Kerspleben. Hier sollte darauf geachtet werden, dass der Pegel nicht unmittelbar im Unterwasser der Brücke installiert wird, um unbeeinflusste Aufzeichnungen vorzunehmen. Für beide Standorte ist eine gute Erreichbarkeit durch Wartungspersonal gegeben.

Um die tatsächlich anfallenden Abflussmengen aus dem Einzugsgebiet des Linderbachs als Zufluss zur Gramme bewerten zu können, wäre eine Pegelmessung in der Nähe des Gebietsauslasses (Mündung) zu empfehlen. Bis zur Stadtgrenze treten jedoch bereits bei häufigen Hochwasserereignissen großräumige Ausuferungen in die Vorlandbereiche auf, die Pegelmessungen mit Wassserstands-Durchfluss-Beziehung bis zu hohen Abflussmengen nicht möglich machen. Daher konnte für die Installation eines Pegels in diesem Gewässerabschnitt aus hydrologischer Sicht kein weiterer geeigneter Standort identifiziert werden.

Generell wäre zur Verdichtung des Messnetzes eine zusätzliche Installation von Pegeln in den Teilgebieten des Peter- und Pfingstbaches zwischen Büßleben und Rohda und oberhalb von Niedernissa zu empfehlen, jedoch könnten Messungen der Abflüsse in diesen Querschnitten auch nicht zur Hochwasserwarnung sondern lediglich zur Bewertung der Abflussreaktion und zur Quantifizierung der abgelaufenen Abflussmengen der Teileinzugsgebiete genutzt werden.

9.3 Frühwarnung anhand von Niederschlägen

Eine weitere Möglichkeit der Warnung vor einem Hochwasserereignis besteht in der Frühwarnung anhand des aktuell ablaufenden Niederschlagsereignisses. Aufgrund der in Kapitel 9.2 beschriebenen Charakteristik des Einzugsgebietes kann davon ausgegangen werden, dass auch mit dieser Methode nur geringe Vorwarnzeiten erreicht werden können. Da eine Vorwarnung mittels Pegel im oberen Teileinzugsgebiet des Peter- und Pfingstbaches nicht möglich ist, stellt diese Methode die einzige Alternative für eine Frühwarnung für das Einzugsgebiet dar.

Generell ist eine Warnung anhand von Radarinformationen die beste Möglichkeit, um sich rechtzeitig auf Starkniederschlagsereignisse vorzubereiten. Die Gefährdung für Hochwasser am Linderbach und seiner Nebengewässer geht jedoch vor allem von extremen Starkniederschlägen im südlichen Teil des Einzugsgebietes aus. Diese Niederschläge sind lokal begrenzt und mit Hilfe von Radardaten nur schwer vorherzusagen. Eine Lokalisierung und konkrete langfristige Vorhersage für das Einzugsgebiet ist aufgrund der grobmaschigen Datenlage der Radardaten nicht möglich.

Für das Bearbeitungsgebiet bietet es sich daher an, die Bevölkerung mit Beginn bzw. im Verlauf des Niederschlagsereignisses vor einer Hochwassergefahr zu warnen. Dies ist durch die Verteilung mehrerer Ombrometerstationen im Einzugsgebiet realisierbar. An den Stationen werden Niederschläge in Echtzeit gemessen und mit Hilfe einer Datenübertragung an einen zentralen Server gesendet, gesammelt und

ausgewertet. Durch das Überschreiten eines definierten Schwellenwertes werden bei extremen Niederschlagsereignissen anschließend Sirenen in den Ortsteilen aktiviert, die mit einem eigenständigen Alarmton die Anwohner warnen. Zusätzlich sollte eine digitale Benachrichtigung per SMS möglich sein, um im Ernstfall eine Warnung von Entscheidungsträgern sicherzustellen.

Für die Standortwahl der Ombrometer sind folgende Randbedingungen einzuhalten:

- Wahl eines Standortes, dessen Teilgebiet maßgeblich an der extremen Abflussbildung im Gewässer beteiligt ist
- keine Lage an Hangrändern, Steilhängen
- Vermeidung windexponierter Standorte
- Wahl eines freien Standortes im Gelände – Entfernung zu benachbarten Hindernissen, um Abschirmungen oder Staueffekte zu vermeiden (z.B. durch Häuser, Bäume u.ä.)
- keine Aufstellung auf Dachflächen

Die folgende Abbildung 9-2 zeigt identifizierte Bereiche, in denen die Gefährdung für die Bildung von Hochwasserabflüssen aus Starkniederschlägen als sehr hoch eingeschätzt wird.

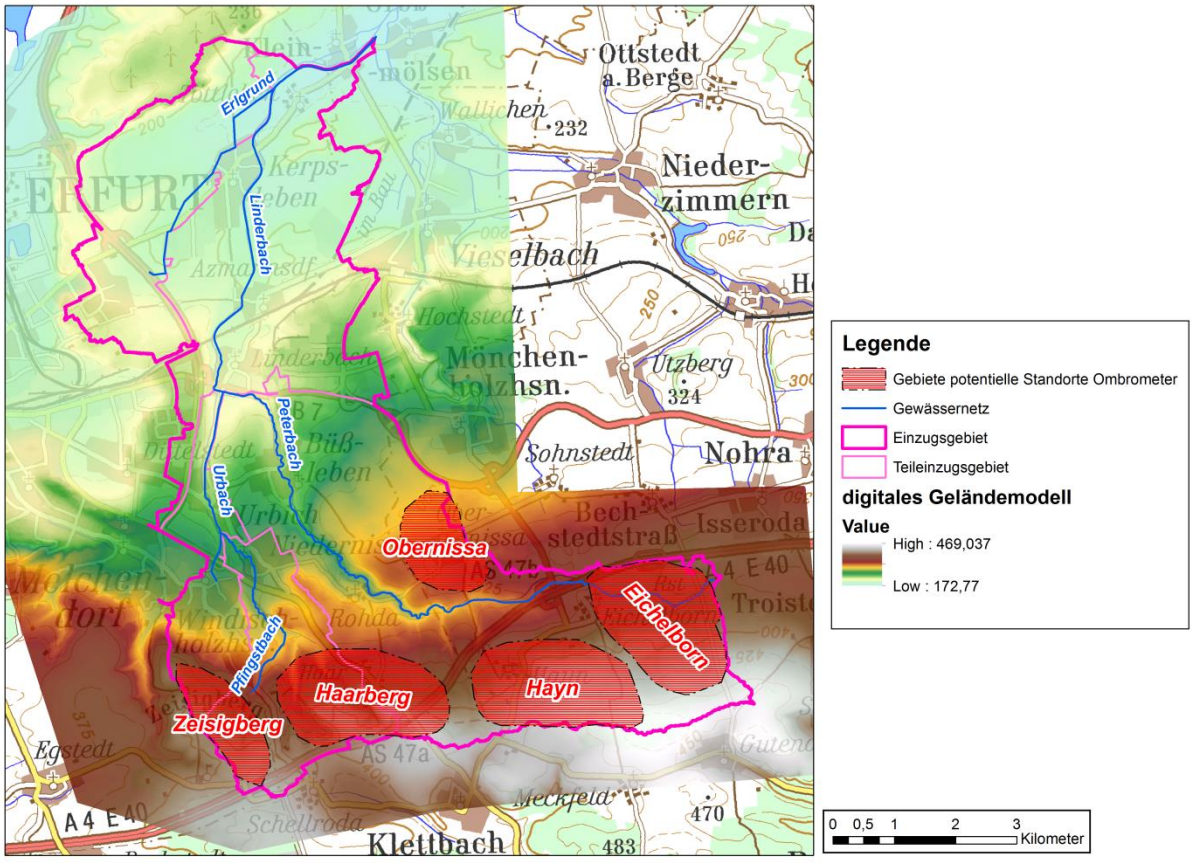


Abbildung 9-2 Identifizierte Bereiche für Ombrometerstationen zur Frühwarnung

Abgelaufene Hochwasserereignisse zeigen, dass vor allem konvektive Niederschläge nahe der Ortslagen Hayn und Eichelborn sowie am Haarberg zur Bildung extremer Abflüsse im Peter- und Pfingstbach führen können. Die Teilgebiete besitzen aufgrund des hohen Gefälles und der kurzen Fließweglänge sehr kurze Konzentrationszeiten. Durch die Geländemorphologie kommen die Niederschlagsmengen im südlichen Teil des Einzugsgebietes daher schnell zum Abfluss. Für eine umfassende Messung wird empfohlen, jeweils ein Ombrometer im Bereich Haarberg, Hayn und Eichelborn zu installieren (Vgl. Abbildung 9-2).

Weiterhin kann aufgrund der Teileinzugsgebietsstruktur und der Konzentrationszeiten auch ein starker Einfluss von Niederschlägen auf die Abflüsse im Urbach im Bereich des Zeisigberges und auf die Abflüsse des Peterbachs im Bereich von Obernissa nicht ausgeschlossen werden (Vgl. Abbildung 9-2). Auch hier sollte die Installation von jeweils einem Ombrometer in Erwägung gezogen werden.

Der Mittel- und Unterlauf des Einzugsgebietes weist ein geringes Gefälle sowie weniger steile Hänge auf. Für diese Bereiche wird die Gefährdung für die Bildung von Hochwasserabflüssen im Gewässer aus Starkniederschlägen als gering eingeschätzt.

Eine konkrete Aussage über den anzuwendenden Schwellenwert zur Warnung anhand der Niederschlagsmengen ist anhand der gegenwärtigen Datenlage nicht möglich. Die Reaktion des Einzugsgebietes auf die Niederschläge hängt von der Niederschlagsintensität, der Niederschlagsmenge und der räumlichen Verteilung ab. Da für die Frühwarnung im Bearbeitungsgebiet ca. 4 bis 5 Ombrometerstationen eingesetzt werden sollten, muss zur Bewertung kritischer Niederschlagsmengen und der Lage der Standorte eine Optimierung durch die Simulation von verschiedenen Szenarien und Verteilungen mit dem N-A-Modell erfolgen. Dies ermöglicht eine konkrete Ableitung kritischer Niederschlagsmengen in verschiedenen Bereichen des Einzugsgebietes, die eine Hochwassergefahr für die einzelnen Gewässerabschnitte zur Folge haben.

Die Stadt Erfurt plant bereits die Umsetzung eines solchen Frühwarnsystems für das Einzugsgebiet. Eine Warnung soll durch die Reaktivierung der vorhandenen Sirenen in den Ortsteilen erfolgen.

9.4 Zusammenfassende Empfehlung

Für das Bearbeitungsgebiet lässt sich festhalten, dass eine Frühwarnung mittels Abflusspegeln im Oberlauf der Gewässer nicht möglich ist.

Die Installation eines Pegels im Unterlauf erscheint sinnvoll. Hierbei könnten die weiter unterstrom liegenden Ortslagen durch verschiedene Meldestufen gewarnt werden, jedoch ist auch dabei nur von einer sehr geringen Vorwarnzeit auszugehen. Vielmehr sollte der Pegel im Unterlauf dazu dienen, kontinuierliche Abflussaufzeichnungen durchzuführen und somit für zukünftige Untersuchungen belastbare Messwerte für das Gewässer zu erhalten. Für die Kalibrierung des Niederschlag-Abfluss-Modells standen bisher keine Abflussmessungen zur Verfügung. Weiterhin lagen auch aus benachbarten Einzugsgebieten mit ähnlichen Gebietseigenschaften keine Abflussmessungen vor, so dass die Modellanpassung nur durch gemessene Wasserspiegellagen im Einzugsgebiet erfolgen konnte. Eine Kalibrierung der Scheitelwerte, Form und Fülle

der Abflussganglinie, als Reaktion auf die Gebietsniederschläge, war nicht möglich. Um die Abflussprozesse im Gebiet zukünftig zuverlässiger bewerten zu können, werden Pegelmessungen empfohlen.

Die sinnvollste Möglichkeit zur Frühwarnung für das Einzugsgebiet stellt die Niederschlagsmessung mit Hilfe von Ombrometern mit Datenübertragung dar. Die Berechnungsergebnisse für die Simulation des Hochwassers 2014 haben jedoch deutlich gezeigt, dass bereits 2 Stunden nach Beginn des Ereignisses in Büßleben schadhafte Ausuferungen zu beobachten waren. Damit ist auch mit diesem Frühwarnsystem nur eine sehr kurze Vorwarnzeit realisierbar. Weiterhin gilt es zu beachten, dass nach gegenwärtigem Stand die Messgeräte so ausgelegt werden, dass ein Datenlogger aller 10 Minuten die Niederschlagsintensitäten mit einem Schwellenwert vergleicht, um ggf. einen Alarm auszulösen. Demnach kann frühestens 10 Minuten nach Beginn des Ereignisses ein Alarm ausgelöst werden.

Die Wahl des Schwellenwertes kann dabei an die Vorwarnzeit angepasst werden. Das bedeutet, je höher die Vorwarnzeit sein sollte, umso tiefer muss der Schwellenwert der kritischen Niederschlagsmenge zum Auslösen des Alarms festgelegt werden. Damit ist jedoch ggf. eine zu häufige Warnung und Alarmierung der Bevölkerung verbunden, die im Ernstfall zu einer Ignoranz des tatsächlich auftretenden kritischen Ereignisses führen kann.

Es wird darauf hingewiesen, dass sich die mit Hilfe des Frühwarnsystems anhand von Niederschlägen gewonnene Vorwarnzeit trotzdem nur auf einen kurzen Zeitraum beschränkt. Vor allem in den Teilgebieten des Peterbachs und Pfingstbachs sind dafür kaum umfangreiche Aufbauten von mobilen Systemen oder Sandsackwällen möglich.

Für die Optimierung der Lage der Ombrometer und die Einrichtung des Alarmsystems sind weitere hydrologische Untersuchungen mit dem Niederschlag-Abfluss-Modell erforderlich.

Hinweis: Werden die in Kapitel 8.3 beschriebenen Maßnahmen zum Schutz vor Starkniederschlagsereignissen umgesetzt, wäre zumindest nach Errichtung der Hochwasserrückhaltebecken eine Frühwarnung mittels Ombrometer entbehrlich.

10 Nutzen-Kosten-Analyse

10.1 Ermittlung des Nutzens

Die Höhe des Schadenspotentials wird jeweils konkret für den entsprechenden Bemessungsfall HQ_T berechnet. Diese Bemessungshochwässer treten im Betrachtungszeitraum jedoch mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit bzw. Häufigkeit ein, so dass für ein objektives Ergebnis der zu erwartenden Schäden die Wahrscheinlichkeit des Eintrittsfalles des Schadensereignisses mit berücksichtigt werden muss.

Aus der Höhe des Schadenspotentials wird daher der Schadenserwartungswert generiert. Für die Ermittlung des Schadenserwartungswertes werden die berechneten Schadenspotentiale der Zeitperioden zwischen den betrachteten Jährlichkeiten mit deren Eintrittswahrscheinlichkeit multipliziert.

Für die berechneten Szenarien ergibt sich der folgende jährliche Schadenserwartungswert für den Istzustand:

Tabelle 10-1 Jährlicher mittlerer Schadenserwartungswert für die Vorzugsvariante im Istzustand

Stütz-stelle	**T [a]**	**ereignisbezog. Wahrschein-lichkeit P_i [1/a]**	**mittlere Wahrschein-lichkeit dP [1/a]**	**ereignisbezog. Schaden S_i [€]**	**mittlerer Schaden $1/2(S_i+S_{i+1})$ [€]**	**mittlerer ereignisbezog. SEW [€/a]**
1	20	0,05		437.144		
			0,03		601.839	18.055
2	50	0,02		766.534		
			0,01		990.031	9.900
3	100	0,01		1.213.528		
			0,005		1.535.934	7.680
4	200	0,005		1.858.340		
				Jährlicher mittlerer Schadenserwartungswert Istzustand		**35.635 €**

Für den Planzustand ergibt sich folgender jährlicher Schadenserwartungswert für das Bearbeitungsgebiet.

Tabelle 10-2 Jährlicher mittlerer Schadenserwartungswert für die Vorzugsvariante im Planzustand

Stütz-stelle	**T [a]**	**ereignisbezog. Wahrschein-lichkeit P_i [1/a]**	**mittlere Wahrschein-lichkeit dP [1/a]**	**ereignisbezog. Schaden S_i [€]**	**mittlerer Schaden $1/2(S_i+S_{i+1})$ [€]**	**mittlerer ereignisbezog. SEW [€/a]**
1	20	0,05		207.958		
			0,03		290.581	8.717
2	50	0,02		373.203		
			0,01		461.702	4.617
3	100	0,01		550.201		
			0,005		838.261	4.191
4	200	0,005		1.126.320		
			Jährlicher mittlerer Schadenserwartungswert Planzustand			**17.526 €**

Der Projektnutzen wird durch die Höhe der Minderung der Schadenserwartungswerte (jährlich vermeidbare Schadenssummen) vom Ist-Zustand zum Planzustand bestimmt.

Für die Vorzugsvariante ergibt sich folgender Nutzen:

Jährlicher Nutzen = mittlerer jährlicher $SEW_{(Istzustend)}$ – mittlerer jährlicher $SEW_{(Planzustand)}$

Jährlicher Nutzen = 35.635 €/a – 17.526 €/a

Jährlicher Nutzen = 18.109 €/a

10.2 Kostenermittlung

Die Kosten im Rahmen der Errichtung und des späteren Betriebs von Anlagen zum Hochwasserschutz fallen zu unterschiedlichen Zeitpunkten an. Die Invest- und laufenden Kosten werden für die weiteren Berechnungen daher mit Hilfe finanzmathematischer Methoden in Form von Jahreskosten vergleichbar gemacht. Grundlage dieser Berechnungen bilden die Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien) [35].

Für die Kostenermittlung wurden folgende theoretische Annahmen getroffen:

- Es wurde vereinfachend angenommen, dass die Planung/Realisierung der Hochwasserschutzmaßnahmen innerhalb eines Jahres erfolgt, so dass keine Akkumulation einzelner Kostenbestandteile auf einen abweichenden Bezugszeitpunkt erforderlich war.
- Betrachtungszeitraum wurde gemäß der Empfehlungen der KVR-Leitlinie mit 80 a angesetzt.
- Bauwerke mit kürzerer Nutzungsdauer wurden durch entsprechende Re-Investitionen berücksichtigt.
- Für die Nutzungsdauer der einzelnen Bauwerke wurden die Tabellen aus [35] zu Grunde gelegt.
- Auf eine Unterteilung der Bauwerke in einzelne Bestandteile und die Berücksichtigung deren abweichender Nutzungsdauer wurde im Rahmen der Berechnung verzichtet.
- Es wurde von einem mittleren Zinssatz von 3% ausgegangen.

Für die Ermittlung der Barwerte für die Re-Investitionskosten und für die Berechnung der jährlichen Aufwendungen (Jahreskosten) wurden die folgenden finanzmathematischen Umrechnungsfaktoren herangezogen:

Tabelle 10-3 Verwendete finanzmathematische Umrechnungsfaktoren (aus [35])

	Faktor	**Bezeichnung**	**Beschreibung**
Re-Investitionskosten	**DFAKE**(i,n) = $\frac{1}{(1+i)^n}$	**D**iskontierungs**FAK**tor für eine **E**inmalige Kosten	Abzinsung von einmaligen Zahlungen unter Berücksichtigung von Zins und Zinseszins auf einen nach n Jahren fälligen Betrag X
Jahreskosten	**KFAKR(i,n) =** $\frac{i*(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	**K**apitalwiedergewinnungs-**FAK**t**oR**	Umrechnung eines im Betrachtungszeitraum ermittelten Barwertes unter Berücksichtigung von Zins und Zinseszins in Jahreskosten

i… *Zinssatz*
n *Zinszeitraum in Jahren, hier Betrachtungszeitraum*

Die ermittelten Jahreskosten für die Vorzugsvariante sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 10-4 Jahreskosten Vorzugsvariante (Preise in Netto)

Maßn.-Nr.	Kurzbezeichnung	Baukosten [€]	Investitionskosten gesamt (inkl. Planung, Zuschläge) [€]	PKBW Investitionskosten, inkl. Re-Investition [€]	Umrechnung PKBW in Jahreskosten [€/a]	Summe laufende Kosten gesamt [€/a]	Jahreskosten gesamt [€/a]
M006	Umgestaltung Gerinne "Am Bach" Urbich	210.000 €	273.000 €	340.000 €	11.257 €	7.000 €	18.257 €
M007	Hydraulische Optimierung Durchlass "An der Kochschule" Urbich	227.500 €	313.950 €	315.000 €	10.430 €	9.000 €	19.430 €
M010	Hydraulische Optimierung Durchlass "Über den Krautländern" Urbich	150.000 €	207.000 €	210.000 €	6.953 €	7.000 €	13.953 €
M012-b	Rückbau Brücke "Zur Trolle" Büßleben	40.000 €	54.000 €	75.000 €	2.483 €	2.000 €	4.483 €
M013	Hydraulische Optimierung Brücke "Im Ziegelgarten" Linderbach	70.000 €	104.300 €	130.000 €	4.304 €	3.000 €	7.304 €
M014	Beseitigung der Gerinne-einengung an der Furt "Im Großen Garten" Linderbach	54.350 €	73.373 €	95.000 €	3.145 €	3.000 €	6.145 €
M016	Absenkung Uferbereiche zwischen Azmannsdorf und Kerspleben (rechts)	63.600 €	82.680 €	105.000 €	3.477 €	0 €	3.477 €
M017	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) Kerspleben	225.050 €	335.325 €	340.000 €	11.257 €	6.000 €	17.257 €
M019	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau)/ Wegerhöhung zwischen Chaussee und Ortsausgang Kerspleben	98.000 €	146.020 €	150.000 €	4.967 €	3.000 €	7.967 €
M020	Absenkung Uferbereich Kerspleben	53.000 €	68.900 €	85.000 €	2.814 €	0 €	2.814 €
M021	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) Töttleben	167.180 €	249.098 €	250.000 €	8.278 €	5.000 €	13.278 €
M022	Objektschutz einzelner Gebäude Niedernissa	30.000 €	34.500 €	75.000 €	2.483 €	3.000 €	5.483 €
M023	Objektschutz einzelner Gebäude Büßleben	20.000 €	24.500 €	55.000 €	1.821 €	2.000 €	3.821 €
M024	Ausbau Ableitung am Kirchgraben Rohda	80.625 €	117.713 €	145.000 €	4.801 €	14.000 €	18.801 €
M025	Absenkung Uferbereich zwischen Urbich und Linderbach	39.750 €	51.675 €	65.000 €	2.152 €	0 €	2.152 €

Maßn.-Nr.	Kurzbezeichnung	Baukosten [€]	Investitionskosten gesamt (inkl. Planung, Zuschläge) [€]	PKBW Investitionskosten, inkl. Re-Investition [€]	Umrechnung PKBW in Jahreskosten [€/a]	Summe laufende Kosten gesamt [€/a]	Jahreskosten gesamt [€/a]
M026	Aktivierung der linksseitigen Fläche oberhalb der Bahntrasse	363.400 €	472.420 €	475.000 €	15.727 €	2.000 €	17.727 €
M027	Aktivierung der rechtsseitigen Fläche unterhalb der Bahntrasse	254.010 €	330.213 €	335.000 €	11.092 €	1.000 €	12.092 €
M028	Absenkung Uferbereiche zwischen Azmannsdorf und Kerspleben (links)	106.000 €	137.800 €	170.000 €	5.629 €	0 €	5.629 €
M029	Rückbau Furtbrücke "Weimarische Straße“	15.000 €	21.375 €	30.000 €	993 €	0 €	993 €
						Summe Jahreskosten	**181.064 €**

10.3 Nutzen-Kosten-Analyse

Für die geplante Vorzugsvariante soll mittels einer Nutzen-Kosten-Analyse der Wirtschaftlichkeitsfaktor berechnet werden:

Die in den vorausgehenden Kapiteln ermittelten Daten dienen als Eingangsdaten für diese Berechnung.

Das Nutzen-Kosten-Verhältnis wird über den Wirtschaftlichkeitsfaktor ausgedrückt und berechnet sich wie folgt:

$$NKV = \frac{(j\ddot{a}hrlicher\ )Nutzen}{(j\ddot{a}hrliche)\ Kosten}$$

$$NKV = \frac{18.109\ €/a}{181.064\ €/a}$$

$$\underline{NKV\ =\ 0{,}100}$$

Bei o.g. Berechnung werden nur monetär bewertbare Wirkungen berücksichtigt.

Eine Maßnahme wird als wirtschaftlich eingestuft, wenn der Nutzen die Kosten übersteigt und der Wirtschaftlichkeitsfaktor > 1 beträgt. Das Nutzen-Kosten-Verhältnis der Vorzugsvariante liegt unter diesem Grenzwert und kann daher zunächst als nicht wirtschaftlich eingestuft werden.

Die durchgeführte Nutzen-Kosten-Betrachtung wurde unter Berücksichtigung aller Maßnahmen der Vorzugsvariante für das Bearbeitungsgebiet ohne Schutz vor Starkniederschlägen durchgeführt. Dabei

wurden in Abstimmung mit dem AG in die Vorzugsvariante des Konzeptes zunächst alle Maßnahmen aufgenommen, die sich sowohl aus den identifizierten Brennpunkten, den definierten Zielen (Gewinn von Retentionsraum) als auch aus Erfahrungen abgelaufener Hochwasserereignisse ergaben. Folgende Faktoren beeinflussen dabei das Nutzen-Kosten-Verhältnis negativ:

Maßnahmen zum Retentionsraumgewinn

Die Vorzugsvariante enthält u.a. diverse Maßnahmen, die einem Retentionsraumgewinn durch erhöhte Vorlandüberströmung dienen. Es ist davon auszugehen, dass durch diese zwar eine Reduktion der Abflussscheitelwerte möglich ist, aber aufgrund der breitflächigen Überströmungen keine unmittelbare Wirkung auf die betroffenen Siedlungsbereiche des Bearbeitungsgebietes eintritt. Somit bewirken diese Maßnahmen vermutlich keine signifikante Reduktion der Schadenspotentiale.

Maßnahmen ohne direkte Wirkung im hydraulischen Modell

Weiterhin enthält die Vorzugsvariante mit der M024 „Ausbau Ableitung am Kirchgraben Rohda“ eine Maßnahme, die gegen anfallende Hangabflüsse bei Starkregenereignissen entwickelt wurde. Sie wurde nach Rücksprache mit dem AG in das Konzept aufgenommen, da in der Vergangenheit in diesem Bereich häufig Ausuferungen auftraten. Eine direkte Schadensreduktion im Planzustand kann modellseitig nicht abgebildet werden, da die Überflutungen nicht aus dem Flusshochwasser resultieren.

Maßnahmen zur Beseitigung der Verklausungsgefahr

Mit dem Rückbau der Furtbrücke Linderbach „Weimarische Straße“ (M029) und „Zur Trolle“ (M012-b) sind in der Vorzugsvariante Maßnahmen enthalten, die der Beseitigung der vorhandenen Verklausungsgefahr dienen. Die Verklausung der Bauwerke wurde bei der Berechnung der Bemessungshochwasser modellseitig nicht abgebildet (Annahme: freier Brückendurchlass). Entsprechend den Erfahrungen aus abgelaufenen Hochwasserereignissen ist jedoch davon auszugehen, dass im Fall des Versatzes großräumige Ausuferungen auftreten und die angrenzende Bebauung betroffen ist. Es ist daher mit einem größeren Nutzen zu rechnen, der sich derzeit nicht im NKV widerspiegelt.

Hinsichtlich der Bewertung und Durchführung der Nutzen-Kosten-Analyse werden daher weitergehende Betrachtungen empfohlen, die jedoch im Rahmen der vorliegenden Konzeption nicht durchgeführt werden konnten. Dabei sollte im nächsten Schritt eine Optimierung der Vorzugsvariante vorgenommen werden. Im Wesentlichen ist dabei weiterführend z.B. eine maßnahmenbezogene Nutzen-Kosten-Betrachtung möglich, indem für jede Maßnahme der Vorzugsvariante eine einzelne Betrachtung der Wirksamkeit erfolgt. Anhand der Ergebnisse lässt sich durch die Bewertung eine Priorisierung der Maßnahmen ableiten.

Ferner kann möglicherweise eine Verbesserung der NKV durch eine Überprüfung und Präzisierung der Unterhaltungs- und Instandsetzungskosten für alle Maßnahmen der Vorzugsvariante erreicht werden. Dabei sollte eine Präzisierung dieser Kosten unter dem Gesichtspunkt durchgeführt werden, dass wenn am Standort der künftigen Maßnahme bereits gegenwärtig Unterhaltungs- und Instandsetzungskosten anfallen, diese dem Planzustand gleichzusetzen sind.

Außerdem sollte im Rahmen einer weiterführenden Bearbeitung geprüft werden, ob z.B. die Berechnung der Schadenspotentiale nach einem mesoskaligen Ansatz oder die Berechnung mit Hilfe von spezifischen Abflüssen das Nutzen-Kosten-Verhältnis verbessern können.

10.4 Sonstige Bewertungskriterien

Eine Vielzahl derzeit nicht monetär bewertbarer Wirkungen bleibt ohne Auswirkungen auf den Wirtschaftlichkeitsfaktor im Ergebnis der Nutzen-Kosten-Analyse, so dass im Ergebnis der Untersuchung durchaus auch Maßnahmen mit einem kleineren NKV als wirtschaftlich eingeschätzt werden, wenn sich mit der Umsetzung der Maßnahme weitere nutzbringende Wirkungen erzielen lassen.

Solche weitergehenden Wirkungen von Hochwasserschutzmaßnahmen sind beispielsweise:

- ***Schutz von Gesundheit / Menschenleben***

Durch eine Umsetzung der geplanten Maßnahmen ist eine Absenkung der Wasserspiegellagen im Überschwemmungsfall nachweisbar, die zu einer Reduzierung der Gefährdung der Bevölkerung führt. Dadurch kann auch die Zahl der potenziell Betroffenen Einwohner vermindert werden (grün gekennzeichnete Werte in Tabelle 10-5).

Tabelle 10-5 Potentiell betroffene Einwohner im Planzustand

Ortsbereich	Potentiell betroffene Einwohner (PBE)							
	HQ_{20}		HQ_{50}		HQ_{100}		HQ_{200}	
	Ist	Plan	Ist	Plan	Ist	Plan	Ist	Plan
Azmannsdorf	0	0	0	0	0	0	10	**5**
Büßleben	0	0	5	**0**	5	**0**	10	**5**
Kerspleben	5	**0**	10	**0**	10	**0**	10	**0**
Linderbach	0	0	5	**0**	10	**0**	20	**10**
Niedernissa	0	0	0	0	5	**0**	5	5
Töttleben	5	**0**	5	**0**	5	**0**	10	**0**
Urbich	10	**0**	10	**0**	10	**0**	20	**5**

Gegenüber dem Istzustand (Vgl. Kap. 7.9, Tabelle 7-11) kann die Anzahl betroffener Einwohner für alle Ortsbereiche deutlich reduziert werden. In Kerspleben und Töttleben sind im Planzustand bis einschließlich dem HQ_{200}-Hochwasserereignis keine Einwohner betroffen.

• Verminderung / Verhinderung von Wertschöpfungsverlusten,

Eine Reduzierung der im Hochwasserfall betroffenen Fläche vermindert gegenüber dem derzeitigen Ist-Zustand nicht nur direkte Schäden sondern auch indirekte Schäden wie bspw. Produktionsausfall.

Wertschöpfungsverluste entstehen durch direkte aber auch indirekte Schäden im Überschwemmungsfall.

Direkte Schäden können durch Befragungen, Befahrungen etc. unmittelbar bei den Betroffenen recherchiert werden.

Als indirekte Schäden werden solche bezeichnet, die nicht durch unmittelbaren Kontakt mit dem Hochwasser entstehen oder nicht während der Überflutungsdauer auftreten, bspw. Betriebs- und Versorgungsunterbrechungen außerhalb des Überschwemmungsgebietes bspw. durch Stromausfall, versperrte Zufahrten, Lieferausfälle durch von Hochwasser betroffene Zulieferer etc. Indirekte Schäden sind in der Regel nicht direkt messbar. In [36] werden zur Höhe indirekter Schäden folgende Angaben gemacht:

Tabelle 10-6 Verhältnis direkte/indirekte Schäden

Direkte Schadenskategorie	**Indirekter Schaden vom direkten Schaden [%]**
Landwirtschaft	5 - 10
Industrie	15 - 20
Infrastruktur	15 - 25

Im Rhein-Atlas der IKSR (2001) wird u.a. angeführt, dass die wirtschaftlichen Verluste im Bereich Handel und Dienstleistung, Gewerbe und Industrie durch Produktionsunterbrechung und Betriebsausfall zwischen dem 1- und 4-fachen des direkten Schadens dieser Betriebssparte betragen können.

• Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der Infrastruktur

Von der Benutzbarkeit der Infrastruktur im Hochwasserfall sind neben der Sicherstellung der Versorgung auch die Zufahrten für Rettungsdienste, Katastrophenschutz und Feuerwehr von Bedeutung.

Eine Sperrung von Ortsverbindungsstraßen bedingt i.d.R. die Umleitung des Verkehrs, was zu erheblichen Einschränkungen führen kann.

Im Betrachtungsgebiet sind die Hauptverkehrswege (Straßenkreuzung B7 bei Linderbach, Eisenbahnlinie Erfurt-Weimar, Güterverkehrszentrum sowie wichtige Ortsverbindungsstraßen) im Ist-Zustand (HQ_{200}) nicht

von einer Überschwemmung im Hochwasserfall betroffen, so dass diesem Kriterium eine eher geringe Bedeutung zukommt.

• Verhinderung des Ausfall der Versorgungsinfrastruktur (Wasser / Strom / Gas / Fernwärme / Telekommunikation)

Für eine Bewertung der Wirkung ist unter anderem relevant, inwieweit die folgenden Objektarten von einem Hochwasser betroffen sind:

- Wasserwerke,
- Kraftwerke,
- Umspannstationen,
- Raffinerien,
- Heizwerke,
- Klärwerke.

Im Betrachtungsgebiet sind o.g. Objektarten nicht vorhanden bzw. nicht vom Hochwasserfall betroffen. so dass diesem Kriterium eine eher geringe Bedeutung zukommt.

• Bewahrung der Kulturgüter vor Schadwirkungen/Verlust

Im Betrachtungsgebiet befinden sich -u.a. in den Ortslagen Linderbach, Büßleben und Kerspleben- eine Reihe denkmalgeschützter Gebäude bzw. Gebäudeteile [37], [38], [39], die derzeit teilweise von einem Hochwasserereignis (HQ_{200}) betroffen sind und bei Umsetzung der geplanten Vorzugsvariante vor gleichartigen Hochwasserereignissen bewahrt werden.

• Schutz der Umweltgüter

Sowohl im Oberlauf des Peterbaches als auch des Pfingstbaches existieren geschützte Biotope /geschützte Landschaftsbestandteil nach § 29 NSG (Auen), die durch eine temporäre Überflutung keinen unmittelbaren Schaden nehmen.

Weitere betroffene Schutzgebiete sind nicht bekannt.

• Vermeidung von Prosperitätsschäden

Der Begriff der Prosperität wird wirtschaftswissenschaftlich als Synonym für eine Wachstumsphase der Gesellschaft verwendet. Er verdeutlicht das Gedeihen und die positive Entwicklung einer Region, was i.d.R. mit einer Konjunktur und steigendem Wohlstand der Gesellschaft verbunden ist.

Durch Hochwasserereignisse hoher Jährlichkeit (> HQ_{50}) können der Gesellschaft und der Produktion der betroffenen Region vorübergehend erhebliche Schäden zugefügt werden.

Insgesamt ist jedoch davon auszugehen, dass Hochwasserereignisse in diesem Gebiet nicht oder nur in geringem Umfang die Region und deren Entwicklung beeinträchtigen.

Es wird daher eingeschätzt, dass durch die Hochwasserschäden keine nachhaltigen Prosperitätsschäden im Betrachtungsgebiet zu erwarten sind, sondern die Schadwirkungen in einer relativ kurzen Zeit kompensiert werden können.

11 Erstellung einer Prioritätenliste und Hinweise zur Umsetzung

Zusammenfassend ergeben sich für die Vorzugsvariante (Variante 4) 19 lokalisierbare Hochwasserschutzmaßnahmen, die im Einzugsgebiet zum Schutz vor einem HQ_{100}-Hochwasserereignis umgesetzt werden sollten. Der zusätzliche Schutz vor Starkniederschlagsereignissen beinhaltet zwei weitere Maßnahmen. Der hydraulische Nachweis der Wirksamkeit wurde in einem Berechnungsmodell für die Vorzugsvariante durchgeführt, in der alle Hochwasserschutzmaßnahmen enthalten sind. Da sich die Maßnahmen gegenseitig hydraulisch beeinflussen, ist keine einzelne Nutzen-Kosten-Betrachtung möglich. Daher konnte anhand der Nutzen-Kosten-Betrachtung für die Umsetzung der einzelnen Maßnahmen keine Rangfolge im Sinne eines durchnummerierten Rankings gebildet werden.

Um eine Rangfolge in der Umsetzung der verortbaren Hochwasserschutzmaßnahmen für das Bearbeitungsgebiet zu erstellen, wurde eine vereinfachte analytische Betrachtung in Form einer Kosten-Wirksamkeits-Abschätzung durchgeführt. Um einen Vergleich zwischen den einzelnen Maßnahmen zu ermöglichen, wurden für den Kostenvergleich die Barwerte der abgeschätzten Investitionskosten für einen Betrachtungszeitraum von 80 a (Empfehlung der KVR-Leitlinien) verwendet, so dass für Maßnahmen mit einer kürzeren Nutzungsdauer die in diesem Zeitraum erforderlichen Ersatzinvestitionen (diskontiert) berücksichtigt wurden (Vgl. Anlage 11 und Anlage 14).

In Anlehnung an die „Methodik Maßnahmenbewertung - Untersetzung der Hochwasserrisikomanagementplanung im Land Brandenburg“ [34] wurden die Kosten der Maßnahmen in drei Kategorien eingeteilt:

- gering (< 100.000 €)
- mittel (100.000 € bis 200.000 €)
- hoch (> 200.000 €)

Die Wirksamkeit jeder Maßnahme wurde ebenfalls in drei Kategorien eingestuft:

- gering (keine direkte Reduzierung betroffener Flächen)
- mittel (betroffene Fläche wird reduziert, jedoch keine vollständige Vermeidung der schadhaften Ausuferung)
- hoch (direkte Reduzierung der betroffenen Fläche gilt als sicher / wurde nachgewiesen)

Aus dem Verhältnis der Kosten und Wirksamkeit ergab sich entsprechend der folgenden Matrix die Prioritätsstufe für die Umsetzung (nach [34]).

Tabelle 11-1 Ableitung der Prioritätsstufe aus der Kosten-Wirksamkeits-Abschätzung [34]

Kosten-Wirksamkeit		Kosten		
		gering < 100.000 €	**mittel 100.000 – 200.000 €**	**hoch > 200.000 €**
Wirksamkeit	**hoch**	hoch (1)	hoch (1)	mittel (2)
	mittel	hoch (1)	mittel (2)	gering (3)
	gering	mittel (2)	gering (3)	gering (3)

Alle übergeordneten Maßnahmen zum Hochwasserschutz für das Bearbeitungsgebiet, die in Kapitel 8.1 beschrieben wurden, sind generell mit einer Priorität „hoch“ einzustufen.

Die folgende Tabelle zeigt die ermittelten Prioritätsstufen für die lokalisierbaren Hochwasserschutz-maßnahmen im Bearbeitungsgebiet Linderbach.

Tabelle 11-2 Ermittlung der Prioritätsstufe für die Hochwasserschutzmaßnahmen Linderbach

Maßnahmen-nummer	**Name**	**Projektkostenbarwert Investitionskosten, gerundet (Baukosten und Zuschläge für einen Betrachtungszeitraum von 80a) [€]**	**Beschreibung der Wirksamkeit**	**Bewertung**		
				Kosten	**Wirksamkeit**	**Prioritätsstufe**
Schutzziel HQ_{100}						
M006	Umgestaltung Gerinne "Am Bach" Urbich	405.000 €	direkte Reduzierung der betroffenen Fläche (Siedlungsbereich)	3	1	2
M007	Hydraulische Optimierung Durchlass "An der Kochschule" Urbich	320.000 €	direkte Reduzierung der betroffenen Fläche (Siedlungsbereich)	3	1	2
M010	Hydraulische Optimierung Durchlass "Über den Krautländern" Urbich	200.000 €	direkte Reduzierung der betroffenen Fläche (Siedlungsbereich)	2	1	1

M012-b	Rückbau Brücke "Zur Trolle" Büßleben zur Wiederherstellung des Abflussprofils	75.000 €	Reduzierung der betroffenen Fläche (Siedlungsbereich), jedoch keine vollständige Verhinderung der Ausuferungen	1	2	1
M013 mit M014	Hydraulische Optimierung Brücke "Im Ziegelgarten" Linderbach und Beseitigung der Gerinneeinengung an der Furt "Im Großen Garten" Linderbach	215.000 €	direkte Reduzierung der betroffenen Fläche (Siedlungsbereich)	3	1	2
M016	Absenkung Uferbereiche zwischen Azmannsdorf und Kerspleben (rechts)	105.000 €	Maßnahme bewirkt Gewinn von Retentionsraum und Verzögerung der Abflussganglinie, keine direkte Reduzierung betroffener Fläche	2	3	3
M017	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) Kerspleben	325.000 €	direkte Reduzierung der betroffenen Fläche (Siedlungsbereich)	3	1	2
M019 mit M020	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau)/ Wegerhöhung zwischen Kersplebener Chaussee und Ortsausgang Kerspleben und Absenkung Uferbereich Kerspleben	195.000 €	direkte Reduzierung der betroffenen Fläche (Siedlungsbereich)	2	1	1
M021	Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) Töttleben	245.000 €	direkte Reduzierung der betroffenen Fläche (Siedlungsbereich)	3	1	2
M022	Objektschutz einzelner Gebäude Niedernissa	75.000 €	direkte Reduzierung der betroffenen Fläche (betroffene Häuser)	1	1	1
M023	Objektschutz einzelner Gebäude Büßleben	55.000 €	direkte Reduzierung der betroffenen Fläche (betroffene Häuser)	1	1	1
M024	Ausbau Ableitung am Kirchgraben Rohda	140.000 €	Reduzierung der betroffenen Fläche (Siedlungsbereich) aus Hangzuflüssen wird angenommen (konnte im Rahmen der vorliegenden Bearbeitung hydraulisch nicht nachgewiesen werden, da die Probleme nicht aus dem Flusshochwasser entstehen)	2	2	2
M025	Absenkung Uferbereich zwischen Urbich und Linderbach	65.000 €	Maßnahme bewirkt Gewinn von Retentionsraum und Verzögerung der Abflussganglinie, keine direkte Reduzierung betroffener Fläche	1	3	2

M026	Aktivierung der linksseitigen Fläche oberhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum	470.000 €	Maßnahme bewirkt Gewinn von Retentionsraum und Verzögerung der Abflussganglinie, keine direkte Reduzierung betroffener Fläche	3	3	3
M027	Aktivierung der rechtsseitigen Fläche unterhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum	330.000 €	Maßnahme bewirkt Gewinn von Retentionsraum und Verzögerung der Abflussganglinie, keine direkte Reduzierung betroffener Fläche	3	3	3
M028	Absenkung Uferbereiche zwischen Azmannsdorf und Kerspleben (links)	170.000 €	Maßnahme bewirkt Gewinn von Retentionsraum und Verzögerung der Abflussganglinie, keine direkte Reduzierung betroffener Fläche	2	3	3
M029	Rückbau Furtbrücke "Weimarische Straße“, Wiederherstellung des Abflussprofils	30.000 €	Beseitigung des Abflusshindernisses bewirkt Reduzierung der Verklausungsgefahr und Reduzierung der Gefahr für Überströmung der angrenzenden Bebauung	1	2	1
Schutzziel Starkniederschlagsereignisse am Peterbach und Pfingstbach						
M001-a	Hochwasserrückhalte-becken oberhalb Büßleben (Einstauhöhe 9,90 m, Einstauvolumen 365.000 m³)	11.865.000 €	starke Reduzierung der Überflutungsflächen für die Unterlieger, Wirkung kann bis zur Stadtgrenze bei Kleinmölsen nachgewiesen werden	3	1	2
M004-b	Hochwasserrückhalte-becken oberhalb Niedernissa (Einstauhöhe 5,60 m, Einstauvolumen 75.000 m³)	4.610.000 €	Reduzierung der Überflutungsflächen für die Unterlieger	3	1	2

Für die Umsetzung der Maßnahmen lassen sich folgende Prioritäten zusammenfassen:

Prioritätsstufe 1 – kurzfristige Umsetzung

Hierbei handelt es sich um Maßnahmen, die kurzfristig umgesetzt werden sollten und in der Priorität den höchsten Rang einnehmen. Für die Einordnung wurden die Wirksamkeit und finanzielle Faktoren berücksichtigt.

Nicht nur die verortbaren Maßnahmen aus den Bereichen des technischen Hochwasserschutzes und des Wasserrückhalts in der Fläche sondern auch die übergeordneten und für das gesamte Bearbeitungsgebiet gültigen Maßnahmen sollten kurzfristig umgesetzt werden.

In der Prioritätsstufe 1 sind im Ergebnis folgende Maßnahmen enthalten:

- **Maßnahmen zur Flächenvorsorge**
  - Festsetzungen oder vorläufige Sicherung von Überschwemmungsgebieten
  - Ausweisung aller für den vorbeugenden Hochwasserschutz erforderlicher Flächen als Vorrang- oder Vorbehaltsgebiet
  - Sicherung angepasster Nutzungen in den überschwemmungsgefährdeten Bereichen
- **Maßnahmen zur Bauvorsorge**
  - angepasste Gebäudenutzung, -ausstattung und –abdichtung
  - Nutzungsverlagerung in Gebäuden und Anlagen
  - hochwassersichere Installation von Heizungsanlagen u./o. elektrischen Anlagen
  - Wahl wasserunempfindlicher Baustoffe
  - Abdichtung tiefliegender Öffnungen inkl. Wanddurchlässe
  - hochwasserangepasstes Planen, Bauen und Sanieren
- **Maßnahmen zur Informationsvorsorge**
  - Schaffung organisatorischer und technischer Voraussetzungen für Hochwasserwarnung
  - rechtzeitige Warnung und Alarmierung
  - Information über Internet, Mobilfunk, Radio, Hochwasserflyer
- **Maßnahmen zur Verhaltensvorsorge**
  - Aufklärung der betroffenen Bevölkerung über die Hochwassergefahren und –risiken
  - Sensibilisierung der Bevölkerung über geeignete Verhaltensmuster im Hochwasserfall
  - Schulung von Einsatzkräften
- **Maßnahmen zur Gefahrenabwehr und zum Katastrophenschutz**
  - Organisation von Sammelstellen, Fluchtwegen
  - Sicherstellung der Versorgung Betroffener
- **M010** Hydraulische Optimierung Durchlass "Über den Krautländern" Urbich
- **M012-b** Rückbau Brücke "Zur Trolle" Büßleben zur Wiederherstellung des Abflussprofils
- **M019 mit M020** Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau)/ Wegerhöhung zwischen Kersplebener Chaussee und Ortsausgang Kerspleben und Absenkung Uferbereich Kerspleben

- **M022** Objektschutz einzelner Gebäude Niedernissa
- **M023** Objektschutz einzelner Gebäude Büßleben
- **M029** Rückbau Furtbrücke "Weimarische Straße“, Wiederherstellung des Abflussprofils

Aus hydraulischer Sicht wird darauf hingewiesen, dass die Maßnahme M019 gemeinsam mit Maßnahme M020 umgesetzt werden sollte, um im nördlichen Bereich von Kerspleben einen umfassenden Hochwasserschutz zu erreichen.

Prioritätsstufe 2 – mittelfristige Umsetzung

Bei der Priorität 2 handelt es sich um Maßnahmen, die aufgrund ihrer hohen Kosten oder direkten geringen Wirksamkeit mittelfristig umgesetzt werden sollten.

In diese Gruppe werden folgende Maßnahmen eingeordnet:

- **M006** Umgestaltung Gerinne "Am Bach" Urbich
- **M007** Hydraulische Optimierung Durchlass "An der Kochschule" Urbich
- **M013 mit M014** Hydraulische Optimierung Brücke "Im Ziegelgarten" Linderbach und Beseitigung der Gerinneeinengung an der Furt "Im Großen Garten" Linderbach
- **M017** Kerspleben
- **M021** Linienhafter Hochwasserschutz (z.B. Deichneubau) Töttleben
- **M024** Ausbau Ableitung am Kirchgraben Rohda
- **M025** Absenkung Uferbereich zwischen Urbich und Linderbach
- ***M001-a*** *Hochwasserrückhaltebecken oberhalb Büßleben*
- ***M004-b*** *Hochwasserrückhaltebecken oberhalb Niedernissa*

Die im Rahmen der Maßnahmenplanung zum Schutz vor Starkniederschlagsereignissen dimensionierten Rückhaltebecken M001-a und M004-b wurden in diese Gruppe eingeordnet, da die Wirksamkeit hinsichtlich des Schutzziels „Schutz vor Starkniederschlägen“ anhand des Hochwassers 2014 mit 1 bewertet werden kann. Bei der Bewertung der Beckenwirkung in Bezug auf das Hochwasser HQ_{100} müsste die Wirksamkeit mit 2 oder 3 angegeben werden, da die Becken für das HQ_{100} kaum eine Wirkung für die Unterlieger haben. Daraus würden beide Maßnahmen in die Prioritätsstufe 3 fallen.

Aus hydraulischer Sicht wird darauf hingewiesen, dass die Maßnahme M013 gemeinsam mit Maßnahme M014 umgesetzt werden sollte, um in der Ortslage Linderbach einen umfassenden Hochwasserschutz zu erreichen.

Prioritätsstufe 3 – langfristige Umsetzung

Die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen können aufgrund ihrer geringen Wirksamkeit oder hohen Kosten für die langfristige Umsetzung vorgesehen werden:

- **M016** Absenkung Uferbereiche zwischen Azmannsdorf und Kerspleben (rechts)
- **M026** Aktivierung der linksseitigen Fläche oberhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum
- **M027** Aktivierung der rechtsseitigen Fläche unterhalb der Bahntrasse als Rückhalteraum
- **M028** Absenkung Uferbereiche zwischen Azmannsdorf und Kerspleben (links)

12 Zusammenfassung

Im Auftrag der Stadtverwaltung der Landeshauptstadt Erfurt, Abteilung Gewässerunterhaltung des Garten- und Friedhofamtes, wurde für die Gewässer II. Ordnung im Einzugsgebiet des Linderbaches und seiner Nebengewässer ein ganzheitliches Konzept zum Hochwasserschutz der angrenzenden Ortslagen entwickelt.

Im Rahmen der Bearbeitung wurde eine Recherche zu abgelaufenen Hochwasserereignissen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden zusammengestellt und hochwassergefährdete Gebiete sowie Problemstellen im Einzugsgebiet identifiziert.

Um eine hydrologische Grundlage für die Berechnung der Wasserspiegellagen und Überflutungsflächen zu schaffen, wurde für das Einzugsgebiet des Gewässers bis zur Mündung in die Gramme ein flächendifferenziertes Niederschlag-Abfluss-Modell erstellt. Zur Ermittlung von Überflutungsbereichen wurde ein zweidimensionales hydraulisches Strömungsmodell aufgebaut, das den Linderbach und seine Nebengewässer Peterbach, Pfingstbach und Urbach auf einer Strecke von 19,2 km Länge abbildet. Dabei wurde von einer aktuellen Datenbasis durch neuvermessene Gerinne- und Bauwerksdaten und Vorlandgeländehöhen aus einem aktuellen Laserscan-Geländemodell ausgegangen. Beide Modelle wurden anhand des Starkniederschlagsereignisses vom September 2014 kalibriert.

Mit Hilfe des hydraulischen Modells und auf Basis der neu ermittelten Hydrologie wurde eine aktuelle Berechnung der Überflutungsflächen, Wasserspiegellagen, Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten für statistische Hochwasserereignisse mit den Wiederkehrintervallen von einmal in 20, 50, 100 und 200 Jahren für das Stadtgebiet von Erfurt durchgeführt.

Durch den Verschnitt der Wasserspiegelhöhen mit dem digitalen Geländemodell (DGM) wurden die Wassertiefen auf den überfluteten Flächen und die Überflutungsgrenzen für die jeweiligen Abflusszustände ermittelt und auf der topographischen Grundlage dargestellt. In den Ortslagen Büßleben, Linderbach, Niedernissa, Urbach, Azmannsdorf, Kerspleben und Töttleben konnten Überschwemmungen von Bebauungen nachgewiesen werden. Es konnte festgestellt werden, dass Rohda nicht durch das Flusshochwasser des Peterbachs gefährdet wird, sondern bei Starkniederschlägen durch Hangzuflüsse betroffen ist.

Für die überfluteten Gebiete wurden potentiell betroffene Einwohner und Schadenspotentiale berechnet. Dabei ergab sich für das Einzugsgebiet ein Gesamtschadenspotential für HQ_{100} von ca. 1,2 Mio. €.

Auf Basis der Ergebnisse wurden für das allgemein übliche Schutzziel HQ_{100} verschiedene Brennpunkte im Einzugsgebiet identifiziert und verschiedene Hochwasserschutzmaßnahmen erarbeitet. Dabei wurde zum Schutz eines Brennpunktes nach alternativen Maßnahmen gesucht, um anschließend verschiedene Varianten zum Hochwasserschutz des Bearbeitungsgebietes bilden zu können. Für alle vorgeschlagenen Maßnahmen wurde eine Kostenschätzung für die Investitionskosten und laufenden Kosten durchgeführt.

Durch Kombination der Maßnahmen wurden 5 Varianten zum Hochwasserschutz für das Einzugsgebiet gebildet. Mit Hilfe einer analytischen Bewertung wurden die Varianten anhand verschiedener Kriterien

untereinander verglichen und eine Vorzugsvariante identifiziert. Durch den hydraulischen Nachweis der Vorzugsvariante konnte aufgezeigt werden, dass die Maßnahmen, außer lokal kleinräumigen Veränderungen, keine negativen Auswirkungen auf Ober- und Unterlieger haben.

Dabei sollte für die weiterführende Planung der Maßnahmen beachtet werden, dass bei der verstärkten Inanspruchnahme der landwirtschaftlichen Flächen im Sinne des Hochwasserschutzes die Binnenentwässerung sicherzustellen ist, um die Flächen möglichst zeitnah wieder bewirtschaften zu können. Außerdem sollte zur Gewährleistung eines ausreichenden Zugangs zum Gewässer bei Deichbaumaßnahmen das Anlegen eines Uferrandstreifens in die Planung aufgenommen werden.

Ein Vergleich der Abflussmengen und der Überflutungsausbreitung der HQ_T-Ereignisse mit dem abgelaufenen Hochwasser vom September 2014 ergab, dass das Schutzziel HQ_{100} aus fachlicher Sicht für den Peterbach und Pfingstbach nicht ausreichend erscheint. Aus der Erfahrung der letzten Jahre zeigte sich, dass beide Teileinzugsgebiete extrem auf Starkniederschlagsereignisse im Oberlauf reagieren. Daher wurden zusätzlich zu den HQ_{100}-Maßnahmen am Peterbach und Pfingstbach Hochwasserrückhaltebecken dimensioniert. Dabei wurde die Planung so durchgeführt, dass die zum Schutz vor einem HQ_{100} identifizierten Maßnahmen auch ohne Umsetzung der Maßnahmen zum Schutz vor Starkniederschlagsereignissen ihre Gültigkeit behalten.

Auf Grundlage der ermittelten Schadenspotentiale und der Kostenschätzung erfolgte eine Nutzen-Kosten-Analyse für die Vorzugsvariante. Eine Prioritätenliste mit Hinweisen für die Umsetzung der Maßnahmen wurde auf Basis einer Kosten-Wirksamkeits-Abschätzung erstellt.

Im Rahmen einer Auswertung wurden Hinweise zu Möglichkeiten der Installation von Frühwarnsystemen im Einzugsgebiet gegeben.

Die erstellten Modelle des Linderbachs können jederzeit für weiterführende modelltechnische Berechnungen herangezogen werden.

.....
Dipl.-Hydrol. Nancy Krätzschmar
Projektleiterin

13 Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Thüringer Allgemeine: Bürgerinitiative für besseren Hochwasserschutz in Erfurt. Artikel vom 12.11.2014. Online, Zugriff am 06.02.2015.

(http://www.thueringer-allgemeine.de/web/zgt/suche/detail/-/specific/Buergerinitiative-fuer-besseren-Hochwasserschutz-in-Erfurt-1010785700)

[2] Gewässerkundlicher Landesdienst Thüringen: Anforderungen an Hydrologische Gutachten. Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG). Fassung: Februar 2014. 2014.

[3] Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH: NASIM Benutzerdokumentation Version 4.4.0. Aachen. 2014.

[4] D. Rau, H. Schramm und J. Wunderlich: Die Leitbodenformen Thüringens. Geowissenschaftliche Mitteilungen von Thüringen. Hrsg.: Thüringer Landesanstalt für Geologie. Beiheft 3. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Weimar, 2000.

[5] Klimadiagramme weltweit: Klimadiagramm Erfurt-Bindersleben (basierend auf Werten von 1961 – 1990, DWD). Online, Zugriff am 09.04.2015.

(http://www.klimadiagramme.de/Deutschland/erfurt.html)

[6] Hrsg. Landeshauptstadt Erfurt Stadtverwaltung: Erfurter Statistik Halbjahresbericht 1/2011. Erfurt, 2011. Online, Zugriff am 09.04.2015.

(http://www.erfurt.de/mam/ef/service/mediathek/publikationen/2011/halbjahresbericht_2011_1.pdf)

[7] Statistische Auswertung der Niederschläge für Deutschland. Online, Zugriff am 09.04.2015.

(http://http://imk-tornado.physik.uni-karlsruhe.de/~muehr/precip_meanant_d.html)

[8] Hrsg. Umwelt- und Naturschutzamt der Stadt Erfurt: Bewertung der Hochwasser- und Starkregenereignisse im Mai und Juni 2013 in Erfurt. Drucksache 1301/13. Erfurt, 2013.

[9] Thüringer Ministerium für Bau und Verkehr, Abteilung Städte- und Wohnungsbau, Raumordnung und Landesplanung: Landesentwicklungsplan Thüringen 2004.

[10] Hrsg. Landeshauptstadt Erfurt Stadtverwaltung: Rahmenkonzept zur Fortschreibung des Landschaftsplanes der Landeshauptstadt Erfurt – Masterplan Grün Erfurt. Erfurt, 2011.

[11] Seite „Thüringer Sintflut“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 1. Dezember 2014. Online, Zugriff am 30.03.2015.

(http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Th%C3%BCringer_Sintflut&oldid=136351910)

[12] Internetseite des Ortes Linderbach in Verantwortung des Bürgervereins Linderbach e.V.. Online, Zugriff am 30.03.2015.

(http://www.linderbach.de/index6c65.html?site=index.html&dir=linderbach&nav=14)

[13] Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung: Abwägung zum Bebauungsplan LIN641 „Azmannsdorfer Straße“, Prüfung der im Verfahren abgegebenen Stellungnahmen. Erfurt, 26.02.2011.

[14] Zusammengestelltes Datenmaterial der „Bürgerinitiative der Ortsteile im Osten von Erfurt zum Hochwasserschutz“. Antworten zum Fragenkatalog, Hochwasserfotos, Karten der beobachteten Überflutungsausbreitungen 2013 und 2014. Datenübergabe: 16.03.2015.

[15] Thüringer Allgemeine: Nach dem Hochwasser in Büßleben. Artikel vom 20.09.2014. Online, Zugriff am 31.03.2014

(http://erfurt.thueringer-allgemeine.de/web/lokal/leben/detail/-/specific/Nach-dem-Hochwasser-in-Buessleben-und-Linderbach-1242732760)

[16] Michael Panse, Stadtrat für Erfurt: Stadtratssitzung mit den Themen „Masterplan gegen Hochwasser“ und „Neubau der Südeinfahrt“. Blog vom 02.10.2014. Online, Zugriff am 31.03.2015.

(http://www.michaelpanse.de/2014/21590/stadtratssitzung-mit-den-themen-masterplan-gegen-hochwasser-und-neubau-der-sudeinfahrt/)

[17] Stadtverwaltung Erfurt: Skizzierte Überflutungsflächen für das HW 2014.

[18] Stadtverwaltung Erfurt: Hochwasserschutz am Linderbach – Ortslage Kerspleben. Brief betroffener Bürger an der Mittelgasse in Kerspleben an die Stadtverwaltung. Erfurt, 30.06.2013.

[19] Dipl.-Biol. Matthias Peise: Zustandsbewertung 2013 der Thüringer Oberflächenwasserkörper. Grundlagen für die Fortschreibung der Maßnahmenprogramme. TLUG, Ref. Flussgebietsmanagement. 2014.

(https://www.thueringen.de/mam/th8/tlug/content/wasser/12_ulf_top_2_zustandsbewertung.pdf)

[20] Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz: Thüringer Landesprogramm Hochwasserschutz – Textteil (Entwurf). Ref. 44, Wasserbau, Gewässerschutz, Flussgebietsmanagement. Erfurt, Januar 2015.

(http://www.thueringen.de/mam/th8/tlug/content/wasser/aktion_fluss/lp_gws/tlp_gws_teil_1_text_webversion_e.pdf)

[21] Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie: Internetportal Umwelt Regional.

(http://www.tlug-jena.de/uw_raum/umweltregional/ef/maps/51182_13.jpg)

[22] Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt: Richtlinie zur Erarbeitung von Hochwasserschutzplänen. Magdeburg, 2009. Unveröffentlicht.

[23] Fugro Consult GmbH: Hochwasserschutzkonzept Weiße Elster im Einzugsgebiet Thüringen. FUGRO-HGN GmbH. Nordhausen, 2011.

[24] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie: Layoutbeschreibung Gefahrenhinweiskarten Land Sachsen. Online, Zugriff am 08.05.2015.

(http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/8845.htm)

[25] LAWA Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser: Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten. Beschlossen auf der 139. LAWA-VV am 25./26. März 2010 in Dresden. Dresden, 2010.

[26] DIN 19712 (E): Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern, Entwurf. 2011.

[27] Staatliches Umweltamt Erfurt: Überschwemmungsgebiet der Gramme, Abschnitt Wallichen-Udestedt. Maßstab 1:10.000. Bestandteil der Rechtsverordnung zur Feststellung des Überschwemmungsgebietes der Gramme vom 10. Dezember 2003. Online, Zugriff am 04.06.2015.

(http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tlvwa2/440/rvouesg/1496.pdf)

[28] Dr. Gabriele Malitz: Starkniederschlag im Klimawandel – Ergebnisse der Untersuchungen zu KOSTRA-DWD 2010. Vortrag Abteilung Hydrometeorologie zur 8. Klimatagung des DWD am 25.09.2014 in Offenbach.

[29] Bund / Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser LAWA: Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags in Deutschland. PEN-LAWA 2010, Version 1.1.1. Hannover, 2010.

[30] LAWA Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser: Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen. Beschlossen auf der 146. LAWA-VV am 26./27. September 2013 in Tangermünde. Tangermünde, 2013.

[31] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Hochwasserschutzfibel – Objektschutz und bauliche Vorsorge. Stand Juli 2013.

[32] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG): Abfluss- und Wasserstandsvorhersage aus dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM. Online, Zugriff am 17.06.2015.

(http://hochwasservorhersage.hlug.de/)

[33] Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt: Thüringer Technische Anleitung Stauanlagen (ThürTA-Stau:2005-06) (berichtigte und ergänzte Fassung 2007-05). Erfurt, 2005.

[34] Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV Brandenburg): Untersetzung der Hochwasserrisikomanagementplanung im Land Brandenburg – Maßnahmenplanung. Methodik Maßnahmenbewertung. Stand: 27.06.2014. Unveröffentlicht.

[35] DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall: Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). 8. Auflage. Juli, 2012.

[36] Flussraumagenda, Risikoanalyse des bestehenden Hochwasserschutzes Stadt Gleistal und Umgebung. Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW). Wien, 2005.

[37] Landeshauptstadt Erfurt, Stadtplanungsamt: Ortslage Linderbach, Rahmenkonzept zur Ortentwicklung, PAD Weimar, Baum Freytag-Leesch Architekten. September 2001. Online, Zugriff am 13.08.2015.

(http://www.erfurt.de/mam/ef/leben/stadtplanung/dorf/lia484_neu.pdf)

[38] Deutsche Stiftung Denkmalschutz: Homepage. Online, Zugriff am 13.08.2015.

(http://www.denkmalschutz.de/denkmale/denkmal-liste.html?o=1958&cHash=4c60ced5ab2cc60f0b56108ea260d757)

[39] Stadtverwaltung Erfurt, Stadtplanungsamt: Dorfenwicklungsplan Büßleben. Kurzfassung. Entwurf Architektengemeinschaft Hugk und Sellengk. Weimar, 2004. Online, Zugriff am 13.08.2015.

(http://www.erfurt.de/mam/ef/leben/stadtplanung/dorf/bue515_buessleben.pdf)

[40] Homepage Büßleben. Online, Zugriff am 03.12.2015.

(http://buess-leben.de/startseite/diesdas/hws/hws-bilder/index.html)