



# Flussgebietsuntersuchung für die Einzugsgebiete Harmersbach und Entersbacher Dorfbach

- Zell am Harmersbach / Oberharmersbach -

## Erläuterungsbericht

Juli 2018

WALD + CORBE Consulting GmbH

Hauptsitz Hügelsheim

Am Hecklehamm 18

Tel. +49 7229 1876-00

76549 Hügelsheim

Fax +49 7229 1876-777

[www.wald-corbe.de](http://www.wald-corbe.de)

■ Hügelsheim   ■ Stuttgart   ■ Haslach   ■ Speyer







# Flussgebietsuntersuchung für die Einzugsgebiete Harmersbach und Entersbacher Dorfbach

- Zell am Harmersbach / Oberharmersbach -

## Erläuterungsbericht

Hügelsheim, im Juli 2018

Projektnummer 101.14.099 und 101.15.084  
Projektbearbeitung Dr.-Ing. H. Göppert  
Dr. rer. nat. M. Beinhorn  
Dipl.-Ing. J. Höfer

Bericht z:\FGU\_Harmersbach\A04\_Berichte\Erlaeuterungsbericht.docx

WALD + CORBE Consulting GmbH





## Inhaltsverzeichnis

---

1. Einführung	1
2. Datengrundlagen	7
2.1 Hochwassergefahrenkarten des Landes (HWGK, 2016)	7
2.2 Gewässervermessung und digitale Geländemodelle	14
2.3 Ortsentwässerungsdaten	15
2.4 Pegelmessnetz / Niederschlagsstationen	15
2.5 HW-Dokumentationen	16
2.6 Ergänzende Untersuchungen parallel zur FGU (WALD+CORBE)	16
3. Flussgebietsuntersuchung - Ablauf und Grundlagen	19
3.1 Untersuchungsablauf	19
3.2 Untersuchungsbereiche	22
3.3 Vorarbeiten (Vermessungsarbeiten, HWGK-Untersuchung)	26
3.4 Hydrologisches Flussgebietsmodell	26
3.4.1 Hydrologische Berechnungen mit dem „FGM-Harmersbach“	26
3.4.2 Theoretische Grundlagen zum Flussgebietsmodell FGM	27
3.5 Hydraulische Modellrechnungen	28
3.5.1 Theoretische Grundlagen zum Programmsystem HEC-RAS (1D/2D)	28
3.5.2 Theoretische Grundlagen zum 2D-Strömungsmodell HYDRO_AS-2D	29
3.5.3 Theoretische Grundlagen zum Programmsystem SWMM (Kanalnetzberechnung)	30
3.6 Modellanpassung	32
3.7 Nachrechnung von synthetischen (statistischen) Starkregenereignissen	32
3.7.1 Nachgerechnete statistische Niederschlagsereignisse $N(T, T_D)$	33
3.7.2 Niederschlagsstatistik (KOSTRA-Niederschläge des DWD)	33
3.8 Lastfall Klimaänderung (T= 100 Jahre)	38
3.8.1 Allgemeines	38
3.8.2 FGM-Nachrechnung des Lastfalls Klimaänderung (T = 100 Jahre)	43
3.9 Ausarbeitung von Vorschlägen zur Verbesserung des HW-Schutzes in Zell, Unterentersbach und Oberharmersbach (HW-Schutzkonzeption)	43
3.9.1 Grundsätze für die Entwicklung einer HW-Schutzkonzeption	44
3.10 Grobe Kostenschätzung (Kostenannahmen) der Maßnahmen (Kostenrahmen)	47
3.11 Nutzen-Kosten-Untersuchung (NKU)	47

3.12	Dokumentation der Untersuchungsergebnisse	48
4.	Hydrologisches Flussgebietsmodell für das Einzugsgebiet Harmersbach / Entersbacher Dorfbach	51
4.1	Einführung in die Flussgebietsmodellierung	51
4.2	Analyse des N-A-Verhaltens und Anpassung von Regionalisierungsmodellen (Abflussbildung, Abflusskonzentration)	51
4.2.1	Auswahl an HW-Ereignissen, hydrologisches Messnetz	52
4.2.2	Allgemeine Grundlagen zur Analyse und Regionalisierungsmodelladaptation	52
4.2.3	Abflussbildung (mittlerer Abflussbeiwert, Gebietsrückhalt)	53
4.2.4	Abflusskonzentration (Einheitsganglinie)	55
4.3	Aufbau und Anpassung des „Flussgebietsmodells-Harmersbach“	56
4.3.1	Räumliche Gliederung (Einzugsgebietsgrenzen der Landflächen)	56
4.3.2	Ermittlung von Gebietskenngrößen der Landflächen	73
4.3.3	Verwendete Regionalisierungsmodelle (Abflussbildung, Abflusskonzentration) und Ereigniskenngrößen	74
4.3.4	Gliederung des Untersuchungsgebietes in Bereiche unterschiedlicher Geologieklassen	76
4.3.5	Ortsentwässerung (Oberharmersbach, Zell und Unterentersbach)	80
4.3.6	Wellenverformung entlang der Gewässer (Flood-Routing)	83
4.3.7	Rückhaltungen (Allgemeines)	83
4.3.8	Rückhaltungen (Bestand)	84
4.3.9	Erkundung möglicher neuer Beckenstandorte (HRB)	85
4.3.10	Gewässerverzweigungen (Abschlag, Überleitung)	98
4.3.11	Nachgerechnete statistische Niederschlagsereignisse $N(T, T_D)$	98
4.3.12	Nachrechnung des Lastfalls Klimaänderung ( $T = 100$ Jahre)	99
4.3.13	Nachrechnung abgelaufener Hochwasserereignisse	101
4.4	Untersuchte FGM-Berechnungsvarianten	102
4.5	FGM-Berechnungsergebnisse der Grundvariante „U0“ (ohne Beb.)	105
4.6	FGM-Berechnungsergebnisse für den derzeitigen Zustand „I0“	108
4.7	Einfluss der Bebauung auf den HW-Abfluss	115
4.8	FGM-Plausibilitätskontrolle	118
4.8.1	HQT-Regionalisierung	118
4.8.2	HW-Statistik für den Pegel Zell/Harmersbach	126
4.8.3	Einordnung in abgelaufene HW-Ereignisse	126

4.9	FGM-Berechnungsergebnisse mit Berücksichtigung eines Hochwasserrückhaltebeckens („P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P12, P13“)	127
4.9.1	FGM-Berechnungsergebnisse mit Berücksichtigung eines Beckens HRB-493 (Harmersbach oh. Lindenbach) zum Schutz von Oberharmersbach („P1, P2“)	127
4.9.2	FGM-Berechnungsergebnisse mit Berücksichtigung eines Beckens HRB-1167 (Waldhäuserbach) zum Schutz von Oberharmersbach („P3, P4, P5“)	130
4.9.3	FGM-Berechnungsergebnisse mit Berücksichtigung eines Beckens HRB-90 (Entersbacher Dorfbach) zum Schutz von Unterentersbach („P6, P7, P8, P9, P10“)	133
4.9.4	FGM-Berechnungsergebnisse mit Berücksichtigung eines (fiktiven) Beckens HRB-1350 bzw. HRB-1576 (Harmersbach oh. Ortslage Zell) zum Schutz von Zell („P12, P13“)	137
4.10	FGM-Berechnungsergebnisse für den Zustand nach Umsetzung der HW-Schutzmaßnahmen in der Ortslage von Zell a.H. „P0“	142
4.11	FGM-Berechnungsergebnisse für den Zustand nach Einleitung der Fläche 1523 in den Hinterhambach (derzeitiger Bebauungszustand) „P11“	146
5.	Hydraulische Berechnungen - Bestandsanalyse und Ausarbeitung einer HW-Schutzkonzeption	147
5.1	Ortslagenhefte (Oberharmersbach, Zell a.H.)	147
5.2	Einordnung abgelaufener Hochwasserereignisse	147
6.	Ergänzende Hochwasserschutzmaßnahmen	149
6.1	Das Untersuchungsgebiet betreffende Verbesserungsmöglichkeiten	149
6.2	Grundsätzliche Möglichkeiten den HW-Schutz zu verbessern	151
7.	Zusammenfassung	163
	Quellenverzeichnis	167

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Übersichtskarte für die FGU Harmersbach	5
Abbildung 2-1:	HWGK-Ergebnisse (2016): Legende für die nachfolgenden Abbildungen	8
Abbildung 2-2:	HWGK-Ergebnisse (2016) im Bereich Oberharmersbach (Teil 1)	9
Abbildung 2-3:	HWGK-Ergebnisse (2016) im Bereich Oberharmersbach (Teil 2)	10
Abbildung 2-4:	HWGK-Ergebnisse (2016) im Bereich Oberharmersbach (Teil 3)	11
Abbildung 2-5:	HWGK-Ergebnisse (2016) im Bereich Zell (Teil 1)	12
Abbildung 2-6:	HWGK-Ergebnisse (2016) im Bereich Zell (Teil 2)	13
Abbildung 2-7:	HWGK-Ergebnisse (2016) im Bereich Unterentersbach	14
Abbildung 3-1:	Allgemeines Ablaufschema einer Flussgebietsuntersuchung (FGU)	21
Abbildung 3-2:	Übersichtskarte des FGM-Harmersbach mit räumlicher Gliederung	23
Abbildung 3-3:	Zell: Vermessung und hydraulisch untersuchte Gewässerabschnitte	25
Abbildung 3-4:	Oberharmersbach: Vermessung und hydraulisch untersuchte Gewässerabschnitte	25
Abbildung 3-5:	Schematische Darstellung ein- und zweidimensionaler hydraulischer Modellierung	30
Abbildung 3-6:	Schematische Darstellung bei Kanalnetzrechnungen (lange Bachverdolungen)	31
Abbildung 3-7:	KOSTRA-Rasterelemente im Bereich Harmersbach / Entersbacher Dorfbach	36
Abbildung 3-8:	Vergleich KOSTRA, KOSTRA-2000 (Sommer, Winter) nach DWD (2005)	38
Abbildung 3-9:	Vergleich von FGM-Berechnungen (fiktives Testgebiet) aus KOSTRA (DWD, 1997), KOSTRA-2000 (DWD, 2005/2009) und LF Klimaänderung	41
Abbildung 3-10:	Regionen mit unterschiedlichen Klimaänderungsfaktoren (LfU/LUBW, 2005)	41
Abbildung 3-11:	Schutzgradempfehlung nach LfU/LUBW (2005)	45
Abbildung 4-1:	Analyse des N-A-Verhaltens – Beispiel Pegel Zell/Harmersbach, HW vom 12.01.2011	54
Abbildung 4-2:	Koaxialdiagramm der Region Harmersbach	55
Abbildung 4-3:	Übersichtskarte des FGM-Harmersbach	59
Abbildung 4-4:	FGM-Harmersbach – Systemskizze Bereich Ortslage Oberharmersbach (Teil 1)	61
Abbildung 4-5:	FGM -Harmersbach – Systemskizze Bereich Ortslage Oberharmersbach (Teil 2)	63
Abbildung 4-6:	FGM-Harmersbach – Systemskizze Bereich Ortslage Zell (Teil 1)	65
Abbildung 4-7:	FGM-Harmersbach – Systemskizze Bereich Ortslage Zell (Teil 2)	67



Abbildung 4-8:	FGM-Harmersbach – Systemskizze Bereich Ortslage Zell (Teil 3)	69
Abbildung 4-9:	FGM-Harmersbach – Systemskizze Bereich Ortslage Unterentersbach	71
Abbildung 4-10:	Übersichtskarte Harmersbach / Entersbacher Dorfbach - Geologie	78
Abbildung 4-11:	Übersichtskarte Harmersbach / Entersbacher Dorfbach - Landschaftsfaktoren LF nach LUBW/KIT	79
Abbildung 4-12:	Einleitstellen der Ortsentwässerung – Übersichtskarte	81
Abbildung 4-13:	Abgabearten von Hochwasserrückhaltebecken (nach Ihringer, 2005)	84
Abbildung 4-14:	Übersichtskarte der drei näher untersuchten möglichen Beckenstandorte (HRB-493, HRB-1167 und HRB-90) sowie der (fiktiven) Standorte HRB-1350 / 1576	87
Abbildung 4-15:	Mögliches HRB-493 – Höhenlinienkarte	89
Abbildung 4-16:	Mögliches HRB-493 – Beckeninhaltslinie	90
Abbildung 4-17:	Mögliches HRB-1167/ Waldhäuserbach – Höhenlinienkarte	92
Abbildung 4-18:	Mögliches HRB-1167/ Waldhäuserbach – Beckeninhaltslinie	93
Abbildung 4-19:	Mögliches HRB-90/ Entersbacher Dorfbach – Höhenlinienkarte	95
Abbildung 4-20:	Mögliches HRB-90 (unterer Standort)/ Entersbacher Dorfbach – Beckeninhaltslinie	96
Abbildung 4-21:	Mögliches HRB-90 (oberer Standort)/ Entersbacher Dorfbach – Beckeninhaltslinie	96
Abbildung 4-22:	Hochwasserlängsschnitt des Harmersbachs für den derzeitigen Zustand „I0“	109
Abbildung 4-23:	Abflussganglinien (T=100a, FGM-Var. „I0“) am Harmersbach oberhalb Waldhäuserbach (FGM-Kn. 1209) für ausgewählte Regendauern $T_D$	112
Abbildung 4-24:	Abflussganglinien (T=100a, FGM-Var. „I0“) am Harmersbach oh. Waldhäuserbach (FGM-Kn. 1209) der maßgebenden Regendauer $T_D = 6$ h für unterschiedliche Jährlichkeiten	112
Abbildung 4-25:	Abflussganglinien (T=100a, FGM-Var. „I0“) am Harmersbach oberhalb Nordrach (FGM-Kn. 2659) für ausgewählte Regendauern $T_D$	113
Abbildung 4-26:	Abflussganglinien (T=100a, FGM-Var. „I0“) am Harmersbach oh. Nordrach (FGM-Kn. 2659) der maßgebenden Regendauer $T_D = 6$ h für unterschiedliche Jährlichkeiten	113
Abbildung 4-27:	Abflussganglinien (T=100a, FGM-Var. „I0“) am Entersbacher Dorfbach (FGM-Kn. 160) für ausgewählte Regendauern $T_D$	114
Abbildung 4-28:	Abflussganglinien (T=100a, FGM-Var. „I0“) am Entersbacher Dorfbach (FGM-Kn. 160) der maßgebenden Regendauer $T_D = 1$ h für unterschiedliche Jährlichkeiten	114

Abbildung 4-29: Vergleich zwischen den HQ <sub>T</sub> -Regionalisierungswerten (schwarz) u. FGM-Berechnungsergebnissen (rot; FGM-Var. „I0“) für den Harmersbach oh. Holdersbach (FGM-Kn. 673)	122
Abbildung 4-30: Vergleich zwischen den HQ <sub>T</sub> -Regionalisierungswerten (schwarz) u. FGM-Berechnungsergebnissen (rot; FGM-Var. „I0“) für den Harmersbach oh. Waldhäuserbach (FGM-Kn. 1107)	122
Abbildung 4-31: Vergleich zwischen den HQ <sub>T</sub> -Regionalisierungswerten (schwarz) u. FGM-Berechnungsergebnissen (rot; FGM-Var. „I0“) für den Harmersbach oh. Hippersbach (FGM-Kn. 1363)	123
Abbildung 4-32: Vergleich zwischen den HQ <sub>T</sub> -Regionalisierungswerten (schwarz) u. FGM-Berechnungsergebnissen (rot; FGM-Var. „I0“) für den Harmersbach oh. Nordrach (FGM-Kn. 2654)	123
Abbildung 4-33: Vergleich zwischen den HQ <sub>T</sub> -Regionalisierungswerten (schwarz) u. FGM-Berechnungsergebnissen (rot; FGM-Var. „I0“) für den Waldhäuserbach Mündung (FGM-Kn. 1203)	124
Abbildung 4-34: Vergleich zwischen den HQ <sub>T</sub> -Regionalisierungswerten (schwarz) u. FGM-Berechnungsergebnissen (rot; FGM-Var. „I0“) für den Hippersbach Mündung (FGM-Kn. 1402)	124
Abbildung 4-35: Vergleich zwischen den HQ <sub>T</sub> -Regionalisierungswerten (schwarz) u. FGM-Berechnungsergebnissen (rot; FGM-Var. „I0“) für den Entersbacher Dorfbach oh. Ortslage Unterentersbach (FGM-Kn. 92)	125
Abbildung 4-36: Extremwertstatistische Auswertung für den Pegel Zell/Harmersbach mit HQ <sub>T</sub> -Regionalisierungswerten und HQ <sub>T</sub> -Werten aus FGM-Berechnungen (FGM-Var. „I0“)	126
Abbildung 4-37: Hochwasserlängsschnitt des Harmersbachs für den Ist-Zustand („I0“) und die (fiktiven) HRB-Lösungen mit einem HRB-1350 bzw. HRB-1576 am Harmersbach vor Zell a.H. („P12, P13“)	139
Abbildung 4-38: Fiktives HRB oberhalb der Ortslage Zell - Höhenlinienkarte	140
Abbildung 4-39: Fiktives HRB oberhalb der Ortslage Zell - Beckeninhaltslinie	141
Abbildung 4-40: Hochwasserlängsschnitt des Harmersbachs für den Ist-Zustand („I0“) und die FGM-Var. „P0“ (Berechnung mit verminderter Retentionswirkung infolge Wegfall von Überflutungsflächen)	145
Abbildung 6-1: Hochwasserschutzstrategie des Landes Baden-Württemberg (WBW, 2016)	151

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Niederschlagsstationen	16
Tabelle 3.1	N-Abminderung als Funktion der Regendauer für unterschiedliche Flächenklassen	35
Tabelle 3.2	KOSTRA-DWD-2000-Niederschläge des Rasterelementes 19/89	37
Tabelle 3.3	KOSTRA-DWD-2010R-Niederschläge des Rasterelementes 19/89	37
Tabelle 3.4:	Klimaänderungsfaktoren (LfU/LUBW, 2005)	42
Tabelle 4.1:	Koaxialdiagrammparameter für die Region Harmersbach	54
Tabelle 4.2	Parameter des modifizierten Lutz-Ansatzes	56
Tabelle 4.3:	Im Einzugsgebiet Harmersbach anstehende Geologieklassen und zugehörige Referenzgebiete mit angepassten Regionalisierungsmodellen (Abflussbildung, Abflusskonzentration)	77
Tabelle 4.4:	Kenngößen für ein mögliches HRB-493	88
Tabelle 4.5:	Mögliches HRB-493 – Rückhaltewirkungslinie	90
Tabelle 4.6:	Kenngößen für ein mögliches HRB-1167/ Waldhäuserbach	91
Tabelle 4.7:	Mögliches HRB-1167/ Waldhäuserbach – Rückhaltewirkungslinie	93
Tabelle 4.8:	Kenngößen für ein mögliches HRB-90/ Entersbacher Dorfbach	94
Tabelle 4.9:	Mögliches HRB-90/ Entersbacher Dorfbach – Rückhaltewirkungslinie	97
Tabelle 4.10:	Untersuchte FGM-Berechnungsvarianten	103
Tabelle 4.11:	HW-Abflüsse ausgew. Gewässerstellen – FGM-Grundvariante „U0“ (ohne Bebauung)	106
Tabelle 4.12:	HW-Abflüsse ausgew. Gewässerstellen – FGM-Grundvariante „I0“ (mit Bebauung)	110
Tabelle 4.13:	Einfluss der Bebauung auf den HW-Abfluss – Vergleich der FGM-Berechnungsergebnisse der FGM-Varianten „U0“ (ohne Bebauung) und „I0“ (in etwa derzeitige Bebauung)	116
Tabelle 4.14:	Vergleich der FGM HW-Abflüsse (FGM-Var. „I0“) mit HQ <sub>T</sub> -Regionalisierungswerten (Ist-Zustand)	120
Tabelle 4.15:	FGM-Berechnungsergebnisse (T= 50 a, 100 a, 100aKlima) am Harmersbach oberhalb Waldhäuserbach (FGM-Kn. 1111) – optimierte Wirkung eines HRB-493 (FGM-Var. „I0“, „P1“, „P2“)	129
Tabelle 4.16:	FGM-Berechnungsergebnisse (T= 50 a, 100 a, 100 aKlima) an der Mündung des Waldhäuserbachs (FGM-Kn. 1208) – optimierte Wirkung eines HRB-1167 (FGM-Var. „I0“, „P3“, „P4“, „P5“)	132

---

Tabelle 4.17:	Benötigtes Rückhaltevolumen ( $S_{100}$ ) am HRB-90 für verschiedene Zielwerte max. Abfluss $Q_{\max}$ in Unterentersbach (FGM-Kn. 160) (FGM-Var. „P6“, „P10“, „P7“)	135
Tabelle 4.18:	FGM-Berechnungsergebnisse am Harmersbach oberhalb der Nordrach – FGM-Var. „I0“, „P12“, „P13“)	138
Tabelle 4.19:	FGM-Berechnungsergebnisse am Harmersbach oberhalb der Nordrach (T= 10 a, 20 a, 50 a, 100 a) –volle / verminderte Retentionswirkung FGM-Var. „I0“, „P0“)	144
Tabelle 4.20:	FGM-Berechnungsergebnisse (T= 50 a, 100 a, 100 aKlima) an der Mündung des Hinterhambachs (FGM-Kn. 1574) – ohne (FGM-Var. „I0“) und mit Einleitung der Fläche 1523 (FGM-Var. „P11“) in den Hinterhambach	146

## Anlagenverzeichnis

---

Anlage A	Hydrologische Berechnungen
Anlage A.1	Übersichtslagepläne
A.1.1	FGM-Übersichtskarte
A.1.2	FGM-Systemskizze
Anlage A.2	FGM-Modellstruktur
A.2.1	Modellparameter und Regionalisierungsverfahren
A.2.2	Teilgebietskenngrößen
A.2.3	Ortsentwässerungskenngrößen
A.2.4	Flood-Routing der Gewässer (Translation, Retention)
A.2.5	Übersichtskarte Geologie
A.2.6	Übersichtskarte Landschaftsfaktoren
A.2.7	Übersichtskarte Bodennutzung
Anlage A.3	KOSTRA-2000 Bemessungsniederschlag
A.3.1	Übersichtskarte KOSTRA-Raster
A.3.2	DIH-Diagramm des KOSTRA-Rasterelements 18/89
A.3.3	DIH-Diagramm des KOSTRA-Rasterelements 18/90
A.3.4	DIH-Diagramm des KOSTRA-Rasterelements 19/88
A.3.5	DIH-Diagramm des KOSTRA-Rasterelements 19/89
A.3.6	DIH-Diagramm des KOSTRA-Rasterelements 19/90
Anlage A.4	FGM-Berechnungsergebnisse
A.4.1	FGM-Berechnungsvarianten
A.4.2	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante U0
A.4.3	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante I0
A.4.4	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante P0
A.4.5	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante P1
A.4.6	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante P2

A.4.7	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante P3
A.4.8	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante P4
A.4.9	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante P5
A.4.10	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante P6
A.4.11	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante P7
A.4.12	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante P8
A.4.13	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante P9
A.4.14	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante P10
A.4.15	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante P11
A.4.16	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante P12
A.4.17	FGM-Berechnungsergebnisse (HQ <sub>T</sub> ) der Variante P13

Anlage B-1           Hydraulische Berechnungen Zell a.H.

Anlage B-2           Hydraulische Berechnungen Oberharmersbach

Anlage C             Daten-CD

## 1. Einführung

Am 22.07.2014 und am 28.07.2014 traten im Gemarkungsbereich der Stadt Zell am Harmersbach Starkregen auf, die zu massiven Überflutungen führten. Bei den Ereignissen kam es nicht nur an den großen Hauptgewässern zu Problemen, sondern auch entlang der kleineren Bäche und Entwässerungsgräben. Schäden entstanden dabei durch Ausuferungen der Gewässer, aber auch durch abseits der Gewässer auftretendes Hangwasser („wild abfließendes Wasser“).

Hochwasserprobleme traten im Einzugsgebiet des Harmersbachs bereits bei früheren Ereignissen auf. So führte das Hochwasser vom 22.12.1991 zu massiven Überflutungen in der Gemeinde Oberharmersbach und der Stadt Zell. Der Harmersbach trat bei diesem etwa 50- bis 100-jährlichen HW bereits am Ortseingang von Oberharmersbach und Zell am Harmersbach über die Ufer und floss breitflächig in der Bebauung ab.

Entsprechend zeigen auch die aktuellen Hochwassergefahrenkarten (HWGK) des Landes, dass in Oberharmersbach und Zell am Harmersbach bereits bei unter 50-jährlichen Hochwassern Überflutungen durch Ausuferungen des Harmersbachs auftreten können. Die Hochwassergefahrenkarten zeigen entsprechende Gefährdungen auch für den Entersbacher Dorfbach im Zeller Ortsteil Unterentersbach.

Zahlreiche Ortsbereiche der Stadt Zell am Harmersbach und der Gemeinde Oberharmersbach sind damit weit von dem in Baden-Württemberg i.d.R. angestrebten (50- bis) 100-jährlichen HW-Schutz entfernt. Eine Verbesserung des Hochwasserschutzes der gefährdeten Innerortsbereiche ist entsprechend anzustreben. Die Stadt Harmersbach und die Gemeinde Oberharmersbach haben sich daher entschlossen gemeinsam eine Flussgebietsuntersuchung (FGU) für das Einzugsgebiet des Harmersbachs (einschließlich Entersbacher Dorfbach) durchführen zu lassen. In einem ersten Schritt soll dabei eine Bestandsanalyse (HW-Schutzgradermittlung) für die HWGK-Hauptgewässer und die wichtigsten Seitengewässer erfolgen. Für Gewässerabschnitte mit unzureichendem HW-Schutz sind darauf aufbauend Lösungskonzepte zur Verbesserung des HW-Schutzes zu entwickeln.

Eine Verbesserung des HW-Schutzes ist dabei grundsätzlich über Rückhaltmaßnahmen, lokale HW-Schutzmaßnahmen am Gewässer oder Objektschutzmaßnahmen an den gefährdeten Gebäuden möglich. Um die Wirkung von Rückhaltmaßnahmen untersuchen zu können, wird ein flächendetailliertes hydrologisches Flussgebietsmodell (FGM) benötigt. In diesem sind neben den Zuflüssen aus den natürlichen Einzugsgebieten auch die Zuflüsse aus den Ortsentwässerungen (Zell am Harmersbach, Oberharmersbach, Unterentersbach, ...) zu erfassen. Durch das Vorliegen eines langjährig beobachteten Pegels bei Zell war eine Anpassung des hydrologischen Modells durch Nachrechnung und Analyse am Pegel gemessener Hochwasser möglich. Außerdem konnte eine Plausibilisierung der FGM-Berechnungsergebnisse durch einen Vergleich mit der Pegelstatistik erfolgen. Beim hydrologischen Flussgebietsmodell wird im Rahmen der FGU das gesamte Einzugsgebiet des Harmersbachs bzw. Entersbacher Dorfbachs bis zu deren Einmündung in die Kinzig flächendetailliert nachgebildet.

Für die Untersuchung lokaler HW-Schutzmaßnahmen werden hydraulische Modelle benötigt. Hier kann auf den aktuellen HWGK-Untersuchungen (Gewässervermessungen, Modellanpassungen) aufgebaut werden. Für den Harmersbach und den Entersbacher Dorfbach liegen angepasste Modelle und Modellrechnungen aus der HWGK-Untersuchung vor. Für die Seitengewässer (Holdersbach, Riersbach, Jauschbach, Waldhäuserbach, Herrenholzbächle, Knopfholzbächle, ...) fehlen jedoch HWGK-Vermessungen und hydraulische Modelle. Für diese Seitengewässer sind Gewässerneuermessungen mit einem anschließenden Aufbau hydraulischer Modelle erforderlich.

Aus früheren hydraulischen Untersuchungen am Ortsrand von Zell am Harmersbach (WALD+CORBE, 2012) ist bekannt, dass bei Ausbordungen des Harmersbachs in der Tallage komplexe Abflussverhältnisse mit Abflussaufteilungen und Abflüssen über das Wegenetz auftreten können. Die Abbildung solcher Abflussverhältnisse und adäquate Darstellung von Überflutungsflächen und Tiefen ist nur mit einem 2D-Strömungsmodell möglich. Entsprechend fand eine Nachbildung der Hauptgewässer Harmersbach und Entersbacher Dorfbach über 2D-Strömungsmodelle statt. Die in den 2D-Modellen erfassten Bereiche umfassen dabei die bebauten innerörtlichen Bereiche.

Gleichzeitig wurden für alle betrachteten Gewässer, also auch für die von den 2D-Strömungsmodellen abgedeckten Abschnitte, eindimensionale Modelle mit dem Programmsystem HEC-RAS aufgebaut. Diese haben den Vorteil, dass Sonderbauwerke wie Brücken sehr exakt abgebildet und alle Bauwerke mit dem gesamten maßgebenden Hochwasserabfluss (ohne weitläufige Umströmung außerhalb des Gewässerbettes) beaufschlagt werden. Zur Beurteilung ob ein Bauwerk od. Gewässerabschnitt überlastet ist wurden daher neben den Kartendarstellungen aus den 2-D Berechnungen auch die Ergebnisse der 1-D Berechnungen herangezogen.

In den hydraulisch nachzubildenden Seitengewässern liegen i.d.R. deutlich steilere Gefälleverhältnisse als in den HWGK-Hauptgewässern vor. Außerdem kommt es bei den vorherrschenden Kerbtälern bei Ausbordungen zu Abflüssen in der Taltiefenlinie. Die Nachbildung der Abflussverhältnisse in den Seitengewässern fand daher über 1D-Fließgewässermodelle statt.

Im Rahmen der Flussgebietsuntersuchung, die sowohl hydrologische als auch hydraulische Berechnungen umfasst, fand für die Gemarkungsbereiche der Stadt Zell am Harmersbach und der Gemeinde Oberharmersbach zunächst eine Bestandsanalyse (derzeit vorliegender HW-Schutz) statt. In die Bestandsanalyse flossen dabei auch die bei abgelaufenen HW-Ereignissen (22.12.1991, 22.7.2014, 28.07.2014, ...) gemachten Erfahrungen und Beobachtungen ein. Die Bestandsanalyse zeigt Defizite im Hochwasserschutz auf und liefert Angaben zum derzeit vorhandenen HW-Schutzgrad in Form von Überflutungskarten unterschiedlicher Jährlichkeiten.

Darauf aufbauend wurden im Rahmen der FGU anschließend mögliche Abhilfemaßnahmen Zur Verbesserung des Hochwasserschutzes untersucht und einander gegenübergestellt. Aus den erstellten Maßnahmenvarianten wurde dann ein optimierter Lösungsvorschlag ausgearbeitet, in den auch ökonomische Aspekte (Wirtschaftlichkeit) einbezogen werden. Hierzu waren Kostenabschätzungen für die Einzelmaßnahmen so-



wie für mögliche Gesamtkonzeptionen zu erstellen. Dadurch können ggf. wirtschaftlich nicht sinnvolle Lösungen (Nutzen-Kosten-Verhältnis  $\ll 1$ ) bereits im Vorfeld ausgeschlossen werden. Als Ergebnis der Flussgebietsuntersuchung liegt eine mit der Stadt Zell am Harmersbach und der Gemeinde Oberharmersbach abgestimmte HW-Schutzkonzeption vor.

Die Ergebnisse der FGU-Harmersbach werden im vorliegenden Erläuterungsbericht mit Anlagen sehr ausführlich und umfangreich dokumentiert. Damit ist sichergestellt, dass die Untersuchungsergebnisse langfristig für wasserwirtschaftliche Aufgaben genutzt werden können.



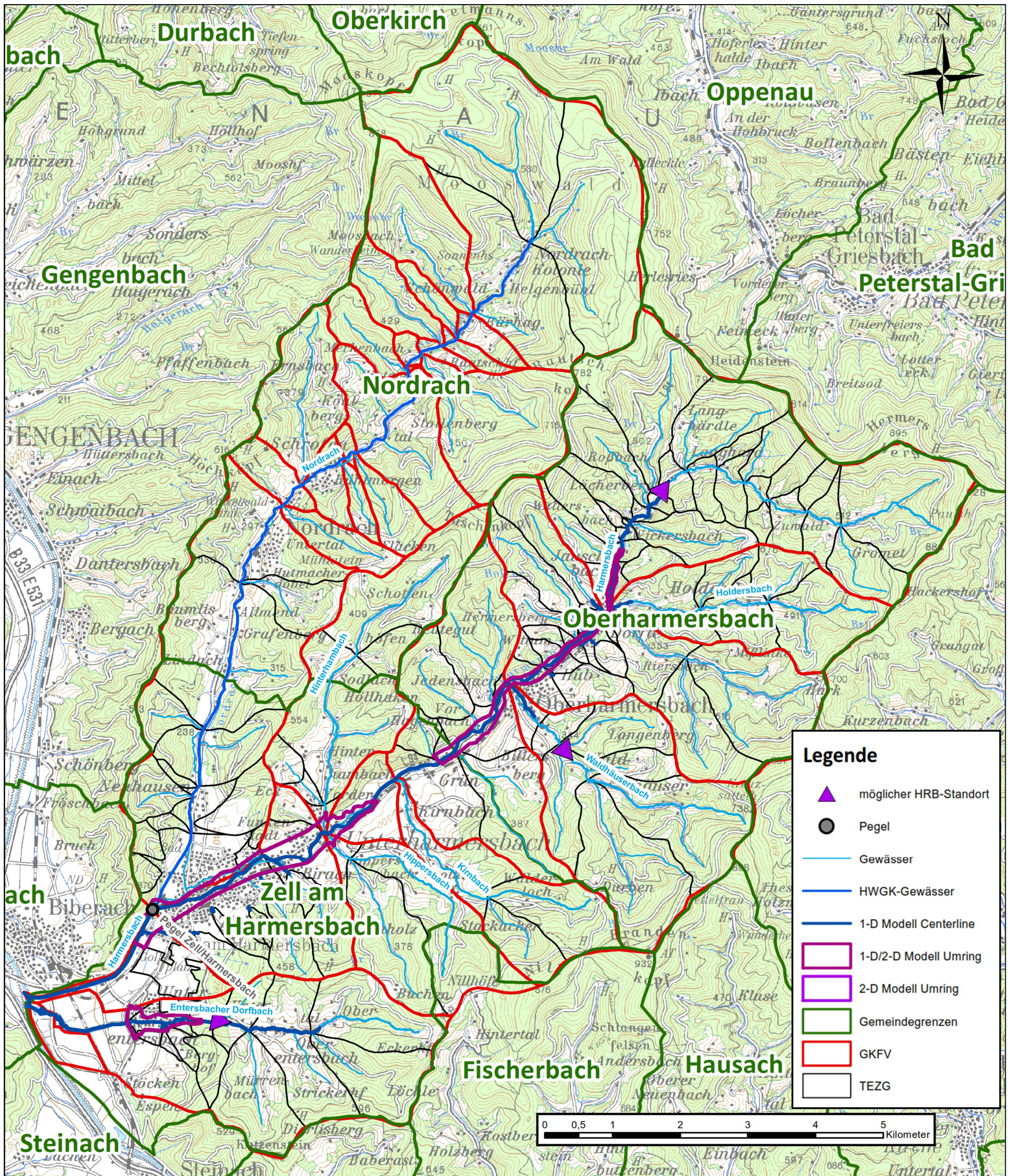


Abbildung 1-1: Übersichtskarte für die FGU Harmersbach



## 2. Datengrundlagen

Für die Untersuchung standen u.a. folgende Datengrundlagen zur Verfügung:

- Im Rahmen von Ortsbegehungen (z.T. mit der Stadt / Gemeinde) erhobene Daten: Fotos, Überflutungen bei abgelaufenen HW, Wasserscheiden, potenzielle HRB-Standorte, Geländeauffüllungen, Erkundung möglicher HWS-Maßnahmen, Befragung von Anliegern, ...
- Digitale Kartengrundlagen: ALK, Bodennutzung, Geologie, Orthofotos, topographische Karten
- Digitales Geländemodell aus einer Laserscanner-Befliegung des Landes (1m-Raster)
- Ortsentwässerungsdaten
- Frühere Untersuchungen:
  - Bauvorhaben Gabriel Lehmann – Erweiterung einer bestehenden Werkstatt, Auffüllung und Abgrabung von Gelände (WALD+CORBE, 2012)
  - Erneuerung Holdersbachdurchlass – Durchlassbauwerk – (IB Zink, 2014)
  - Bestehende Verdolung des Hubbächleins – Antragsunterlagen zur Erteilung der nachträglichen wasserrechtlichen Genehmigung (IB Zink, 2015)
- KOSTRA-2000 Bemessungsniederschläge des DWD, 2005
- Klimaänderungsfaktoren LfU/LUBW, 2005
- HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungsverfahren des Landes, 2007 und 2015
- HWGK-Erläuterungsbericht „Erarbeitung der Grundlagen für die Erstellung von Hochwassergefahrenkarten im Einzugsgebiet Kinzig und Seitengewässern (TBG 321-1)“ (IB Winkler und Partner, 2016)
- HWGK-Vermessungsdaten TBG 321 für die zu untersuchenden Gewässer Harmersbach und Entersbacher Dorfbach
- Neuvermessungen der Gewässer im Rahmen der FGU-Harmersbach

### 2.1 Hochwassergefahrenkarten des Landes (HWGK, 2016)

Im Auftrag des Landes wurden vom Ingenieurbüro Winkler und Partner Hochwassergefahrenkarten (HWGK: TBG 321) am Harmersbach (Erlenbach) (Gew.-ID 10940); Nordrach (Gew.-Id. 03376) und Entersbacher Dorfbach (Gew.-Id. 03393) erstellt. Sowohl die Vermessung, der Erläuterungsbericht als auch die Ergebnisse der Hochwassergefahrenkarten standen für die Flussgebietsuntersuchung zur Verfügung. Die hydraulischen Berechnungen fanden für die HWGK mittels eines 1D Fließgewässermodells statt. Die Abflüsse wurden dem für Baden-Württemberg gültigen HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungsverfahren (LUBW, 2007) entnommen.



Abbildung 2-1: HWGK-Ergebnisse (2016): Legende für die nachfolgenden Abbildungen

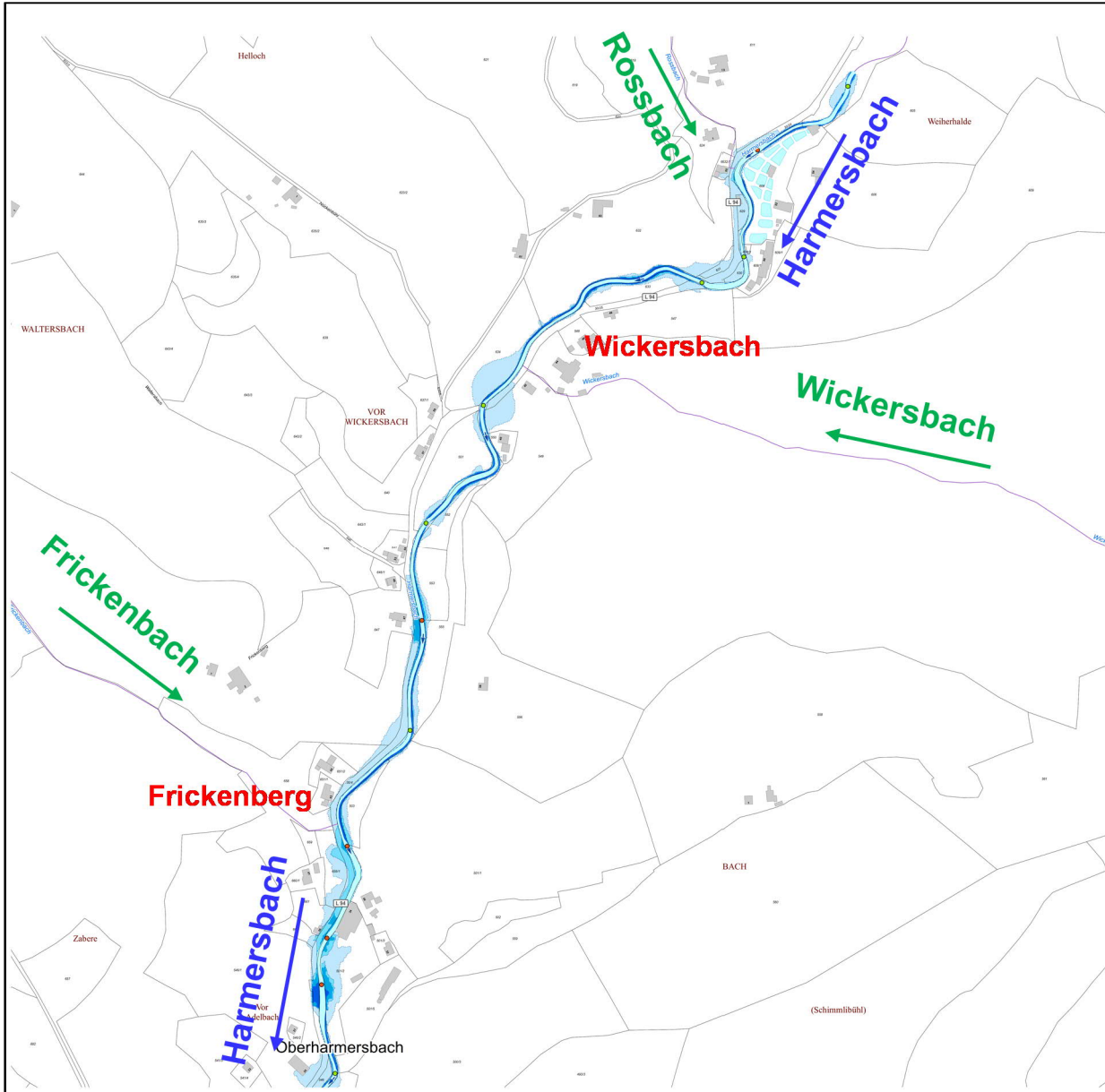


Abbildung 2-2: HWGK-Ergebnisse (2016) im Bereich Oberharmersbach (Teil 1)

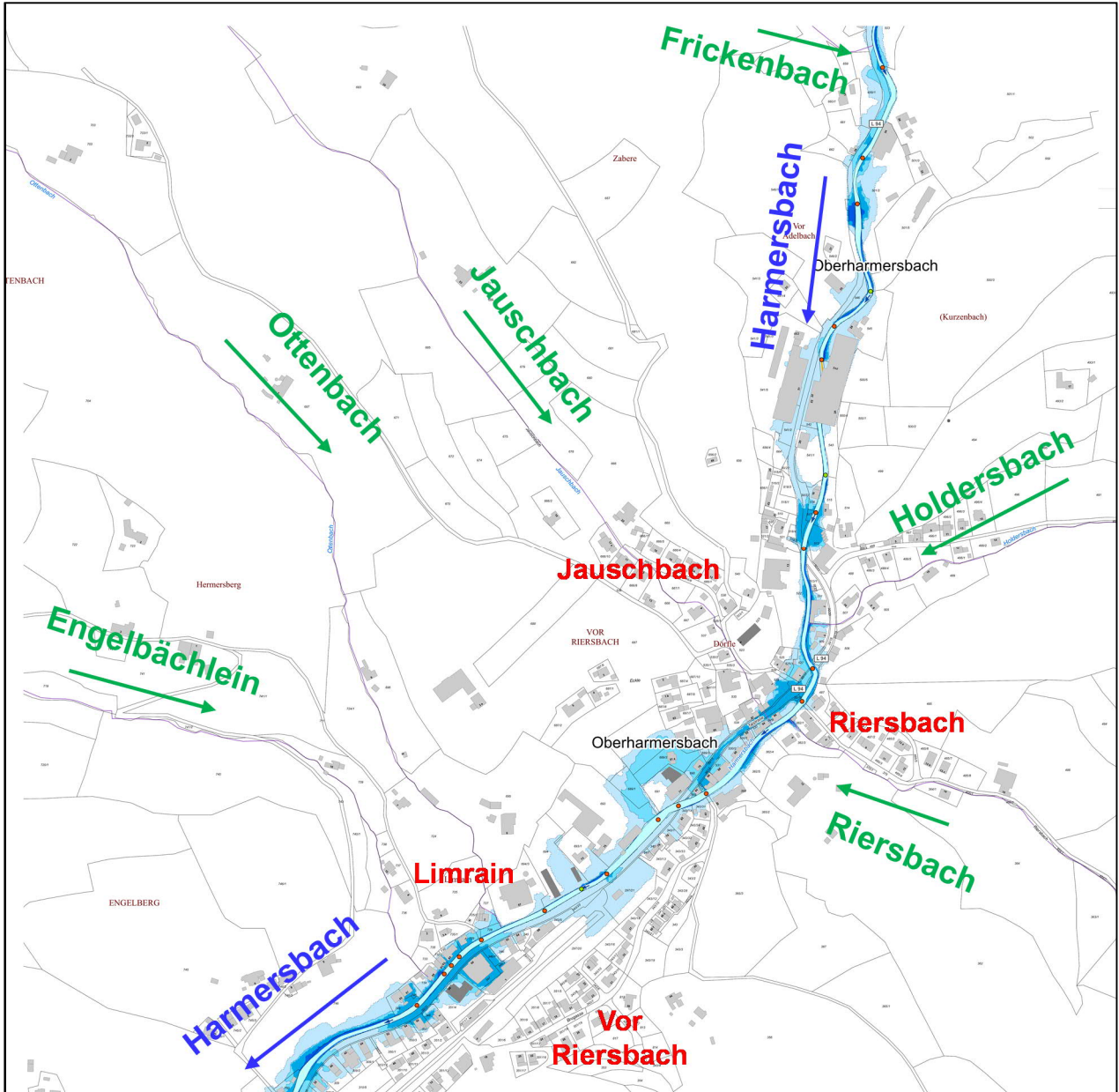


Abbildung 2-3: HWGK-Ergebnisse (2016) im Bereich Oberharmersbach (Teil 2)



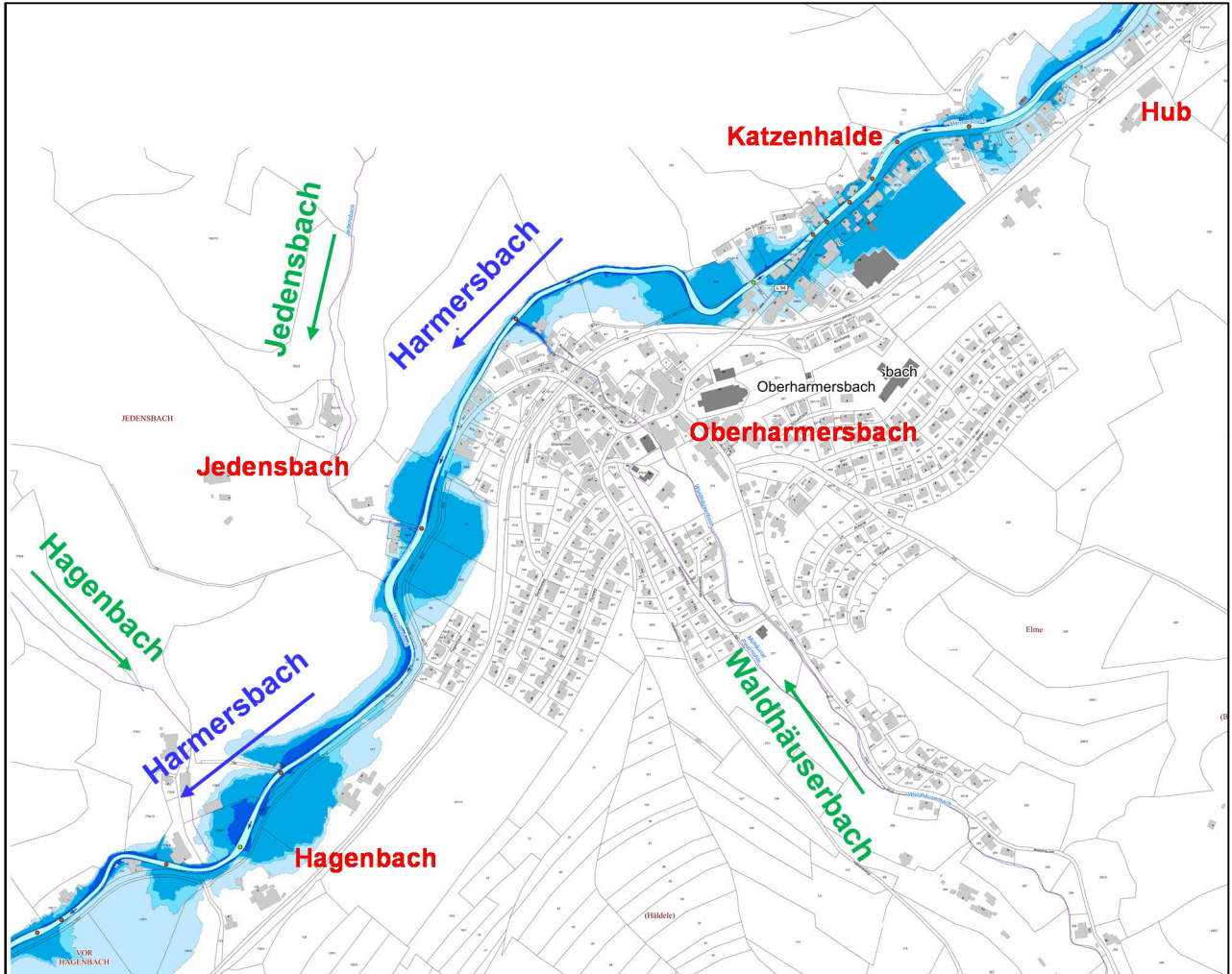


Abbildung 2-4: HWGK-Ergebnisse (2016) im Bereich Oberharmersbach (Teil 3)

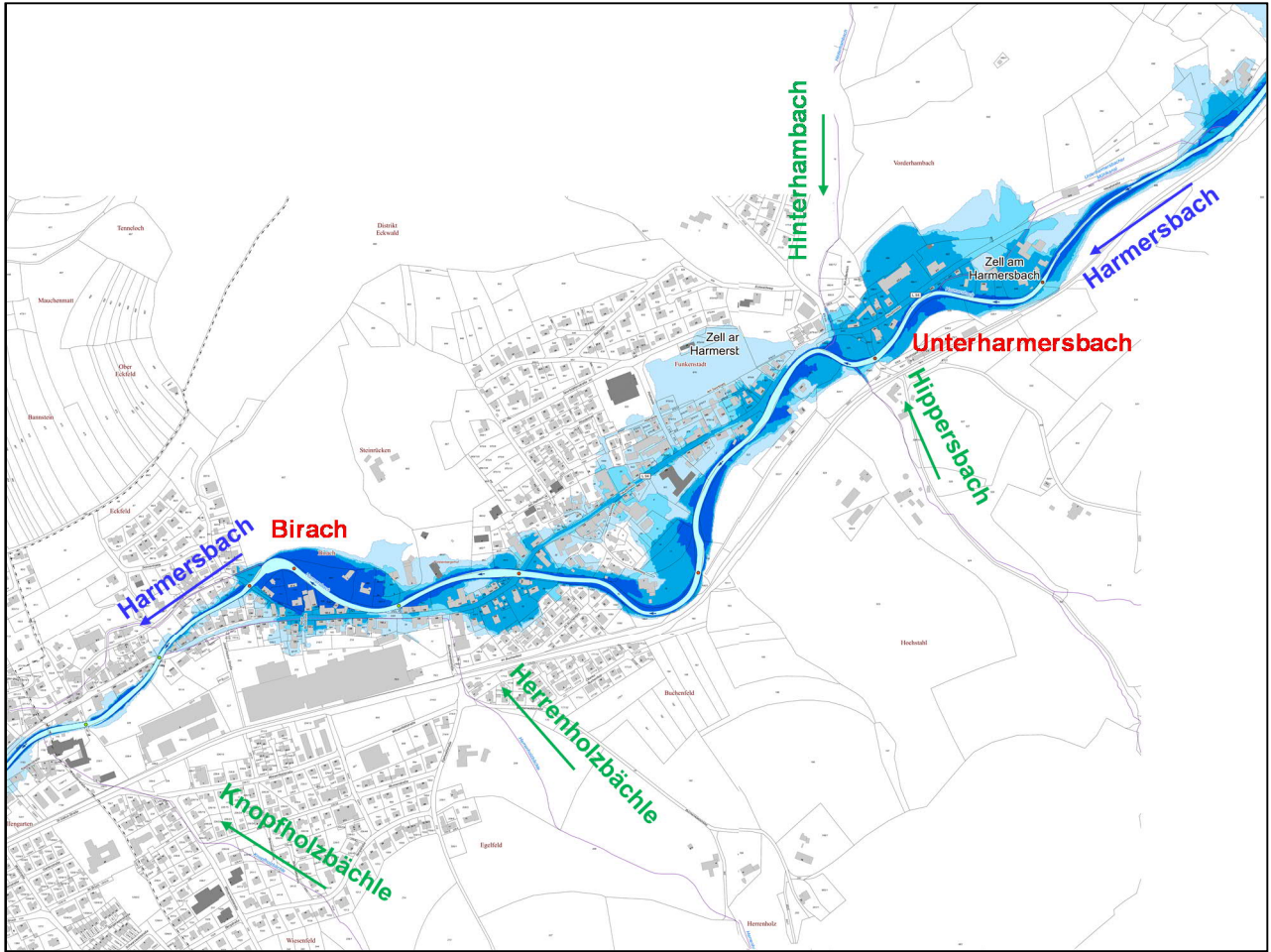


Abbildung 2-5: HWGK-Ergebnisse (2016) im Bereich Zell (Teil 1)

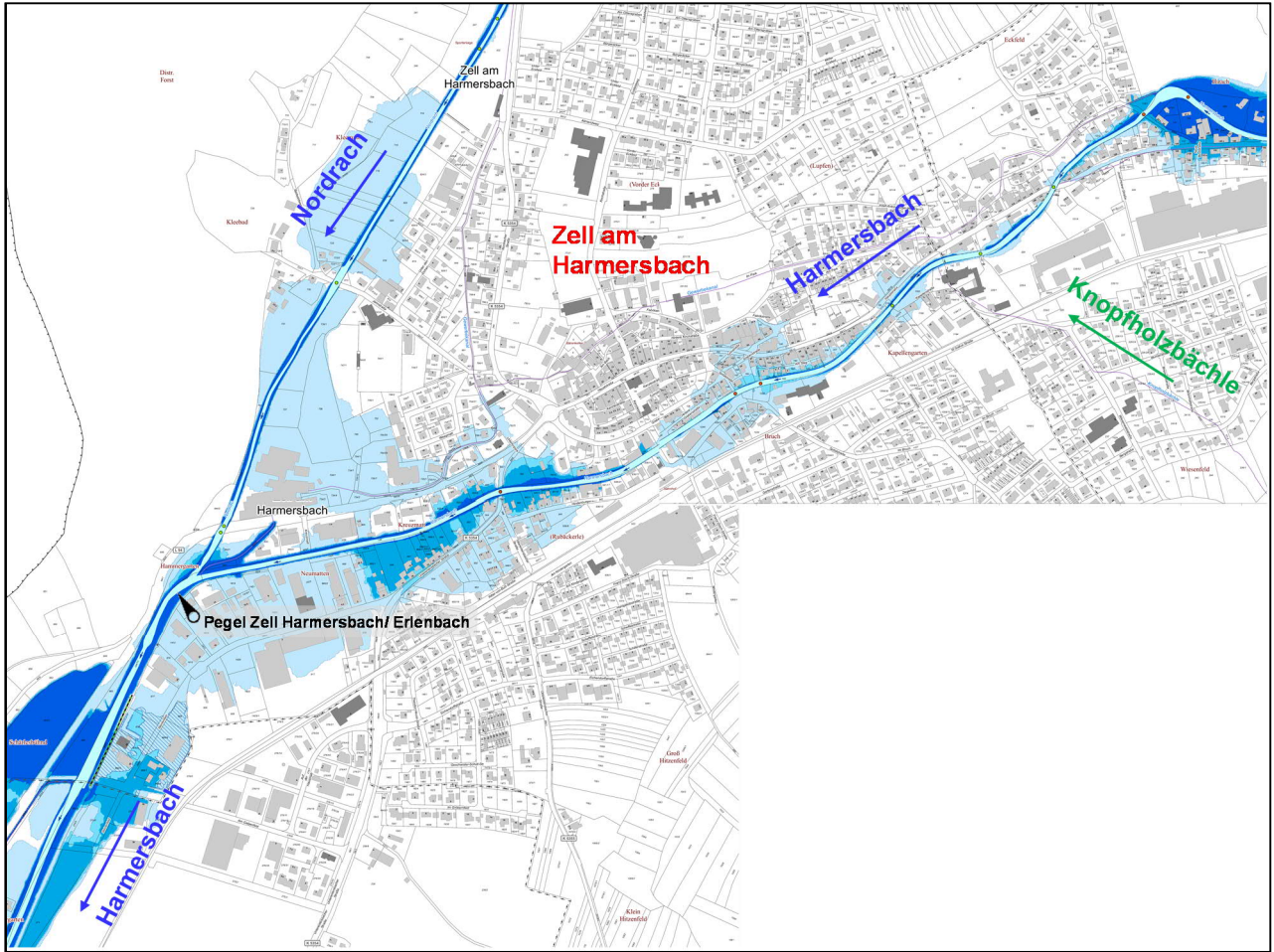


Abbildung 2-6: HWGK-Ergebnisse (2016) im Bereich Zell (Teil 2)

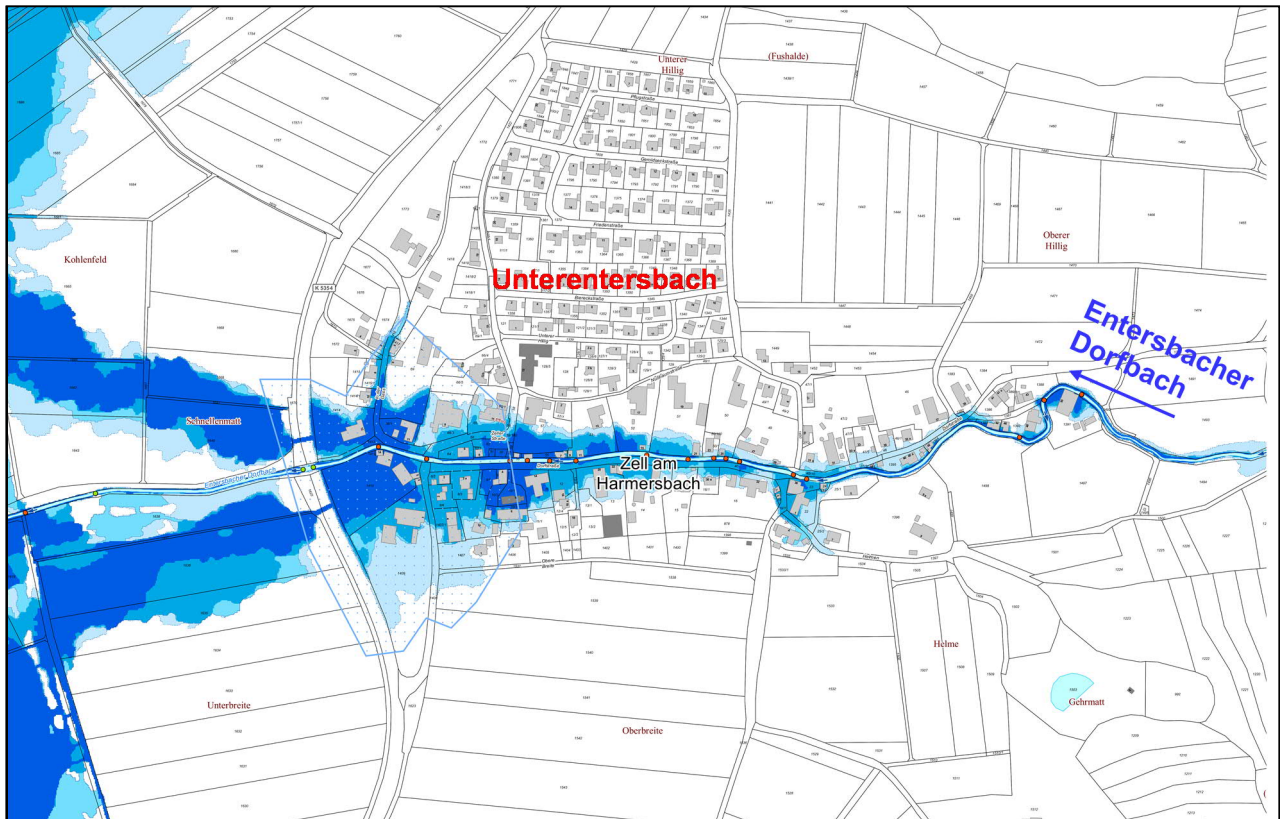


Abbildung 2-7: HWGK-Ergebnisse (2016) im Bereich Unterentersbach

## 2.2 Gewässervermessung und digitale Geländemodelle

Als Grundlage für das hydrologische und die hydraulischen Modelle lagen sowohl Gewässervermessungen als auch ein digitales Geländemodell vor. Das Digitale Geländemodell stammt aus der Laserscanner-Befliegung des Landes und liefert Höhenwerte im 1x1 m-Raster. Es stammt aus dem Jahr 2002 (Laserscanbefliegung), was vor allem in neu bebauten Bereichen berücksichtigt werden musste, da sich hier die Gelände-verhältnisse inzwischen geändert haben können.

Für die hydraulischen Modelle werden neben den Geländehöhen aus dem DGM vor allem Gewässervermessungen in Form von Querprofilen benötigt. Sowohl reine Querprofile im Gewässer, als auch die Vermessung von Brücken, Durchlässen, Schützen, etc. sind für den Modellaufbau notwendig. Für die HWGK-Gewässer Harmersbach und Entersbacher Dorfbach liegen Vermessungen aus der Hochwassergefahrenkartenuntersuchung vor (2006). Zusätzlich fanden im Rahmen der Flussgebietsuntersuchung Vermessungen an den hydraulisch untersuchten Seitengewässern (Holdersbach, Riersbach, Jauschbach, Waldhäuserbach, Herrenholzbächle, Knopfholzbächle,...) statt.

Die Lage der Vermessungsprofile aus HWGK und FGU Vermessung ist in den Übersichtskarten und Lageplänen der Ortslagenhefte Zell und Oberharmersbach dargestellt.

## 2.3 Ortsentwässerungsdaten

Für die Ortslagen Oberharmersbach, Zell und Unterentersbach standen Ortsentwässerungsdaten für die Einleitungen in das Gewässersystem Harmersbach bzw. Entersbacher Dorfbach zur Verfügung. Die Entwässerung erfolgt in diesen Ortslagen fast ausschließlich über Trennsysteme. Die Daten wurden von der Stadt Zell (für die Ortslagen von Zell und Unterentersbach) bzw. der Gemeinde Oberharmersbach zur Verfügung gestellt. Da die Daten teilweise unvollständig bzw. nicht mehr aktuell waren (Daten aus den 1960er und 1970er Jahren) mussten teilweise Annahmen getroffen werden, um den in etwa derzeitigen Ausbauzustand im hydrologischen Modell nachbilden zu können.

Für die Gemeinde Nordrach lagen keine Ortsentwässerungsdaten vor, so dass hier entsprechende Annahmen zur Nachbildung der Ortsentwässerung getroffen wurden.

## 2.4 Pegelmessnetz / Niederschlagsstationen

Im Untersuchungsgebiet existiert der Pegel Zell am Harmersbach. Für den Zeitraum Nov. 1949 bis März 2015 lagen für diesen Pegel Messwerte (Abflussscheitelwerte, Abflusstageswerte, Abflusstundenwerte ab Nov. 1967) vor. Aus dem Beobachtungszeitraum ab November 1967 für den Stundenwerte vorlagen, wurden 95 Hochwasserereignisse zur Kalibrierung des hydrologischen Modells ausgewählt.

Das Niederschlagsmessnetz im Bereich des Harmersbach-Einzugsgebiets kann der Abbildung 2-8 entnommen werden. Die Thiessen-Polygone zeigen, dass das Einzugsgebiet des Pegels Zell/Harmersbach fast vollständig von der Niederschlagsstation Oberharmersbach abgedeckt wird.

Die für die jeweiligen Niederschlagsstationen verfügbaren Daten können der Tabelle 2.1 entnommen werden.

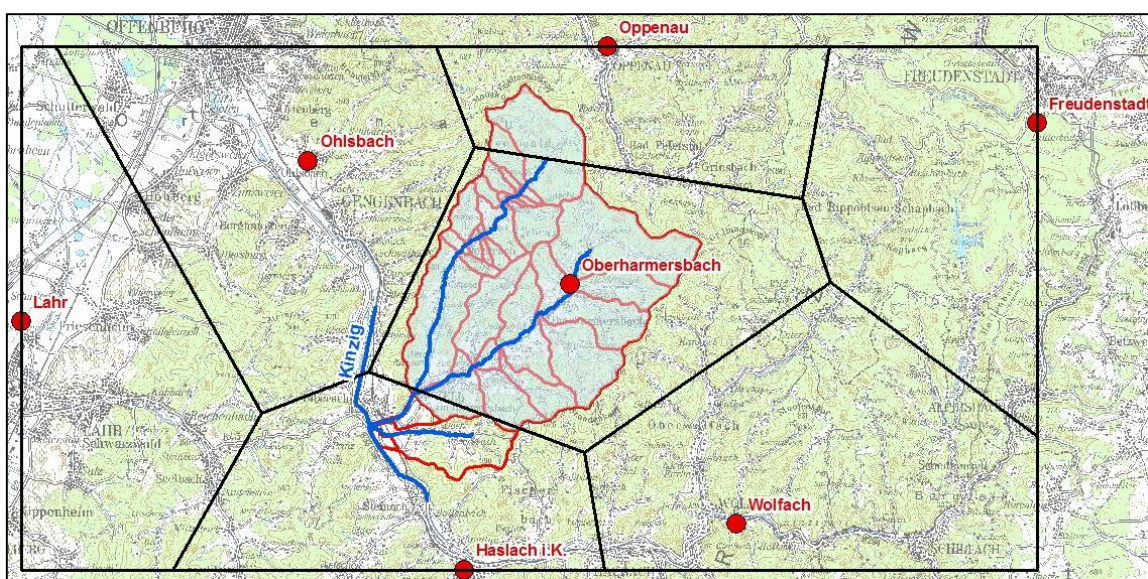


Abbildung 2-8: Niederschlagsstationen im Bereich des Harmersbach-EZG

Tabelle 2.1 Niederschlagsstationen

Station	Tageswerte	Stundenwerte
Haslach	01.01.1941 – 31.12.2015	01.10.2006 – 31.12.2015
Oberharmersbach*		28.10.2004 – 17.01.2016
Ohlsbach	01.01.1970 – 31.12.2015	01.07.2004 – 31.12.2015
Oppenau	01.01.1941 – 31.12.2015	10.10.2006 – 31.12.2015
Wolfach	01.01.1958 – 31.12.2015	01.07.2004 – 31.12.2015
Lahr	01.01.1950 – 31.12.2015	27.03.1996 – 31.12.2015
Freudenstadt	01.01.1949 – 31.12.2015	01.09.1995 – 31.12.2015

\* LUBW-Station

## 2.5 HW-Dokumentationen

Seit Beginn der Abflussaufzeichnungen am Pegel Zell/Harmersbach im November 1949 sind am Harmersbach mehrere große Hochwasser abgelaufen (Mai 1978, Mai 1983 und Dezember 1991; vgl. Kapitel 4.8.2). Für die beiden Ereignisse vom Mai 1978 und Mai 1983 (jeweils ca. 20-jährliches HW) waren kaum Unterlagen verfügbar. Dagegen liegen für das HW 1991 (ca. 50-100-jährliches HW) umfangreiche Dokumentationen nicht nur für den Harmersbach, sondern auch für Seitengewässer vor. Diese wurden größtenteils von der Stadt Zell a.H. und der Gemeinde Oberharmersbach zur Verfügung gestellt. Insbesondere wurden wir von der Gemeinde Oberharmersbach auf eine ausführliche Hochwasserdokumentation auf YouTube aufmerksam gemacht. Eine Sammlung von Bildern insbesondere aus den YouTube Filmen ist in den Anlagen B-1 bzw. B-2 der beiden Ortslagenhefte zusammengestellt.

In den letzten Jahren sind außerdem mehrere lokale Starkregenereignisse aufgetreten (Juli 2014, 7.6.2016). Es kam zu lokalen Problemen in kleineren Seitengewässern, Hangflächen,... . Hierzu wurden ebenfalls von der Stadt Zell a.H. Unterlagen bereitgestellt.

## 2.6 Ergänzende Untersuchungen parallel zur FGU (WALD+CORBE)

WALD+CORBE (2016a): Sanierung der L94 - Hydraulische Untersuchung zur Brücke B520 (Rösslebrücke), RP Freiburg

WALD+CORBE (2016b): Kleinwasserkraftwerk am Geisteichwehr in Zell am Harmersbach - Erläuterungen zu den hydraulischen Berechnungen, BEG Mittelbaden

WALD+CORBE (2016c): Umbau des Anwesens Talstraße 67 zu einem Feuerwehrgerätehaus - Hydraulische Untersuchung, Gemeinde Oberharmersbach

WALD+CORBE (2016d): Sanierung der L94 - Hydraulische Untersuchung zur Brücke B519 (Kaffeebrücke), RP Freiburg

WALD+CORBE (2018): Sanierung der L94 - Hydraulische Untersuchung zur Brücke B520 (Rösslebrücke) - Ermittlung des Bemessungsstaudrucks für den Nachweis der Stand- und Betriebssicherheit des Bauwerks bei HQextrem, RP Freiburg

WALD+CORBE (aktuell): Generalentwässerungsplan (GEP) - Hydraulische Überrechnung Kanalnetz, Qualitativer Nachweis der RW-Behandlung im Mischsystem, Qualitativer Nachweis der RW-Behandlung im Trennsystem, Qualitativer Nachweis an den Einleitstellen und Zusammenstellen der Antragsunterlagen, Stadt Zell am Harmersbach

WALD+CORBE (aktuell): Vertiefte Überprüfung des HRB Mittleres Kinzigtal nach DIN 19700 – Hydrologisch-hydraulische Betrachtung der Stöckener Leitung, Regierungspräsidium Freiburg





## 3. Flussgebietsuntersuchung - Ablauf und Grundlagen

### 3.1 Untersuchungsablauf

Ein allgemeines Ablaufschema einer Flussgebietsuntersuchung (FGU) zeigt die Abbildung 3-1. Die hier dargestellte Vorgehensweise hat sich bei zahlreichen Flussgebietsuntersuchungen (z.B. Elsenz, Kraichbach, Saalbach, Leintal, Aid, Altdorf, Ehningen, Nufringen, Renningen, Grafenau, Pfinz, Böllinger Bach, Seckach, Schefflenz, Glatt, Malsch, Murg, Schutter, Haslach, Niederschopfheim, Steinach, Schallstadt, Ehebach, Klemmbach, etc.) bewährt, so dass auch die vorliegende Untersuchung weitestgehend entsprechend dieses Ablaufschemas durchgeführt wurde.

Der Schwerpunkt einer hydrologisch-hydraulischen Untersuchung besteht im Aufbau, der Anpassung („Eichung“) und der Anwendung mathematischer Modelle (Computermodelle), mit denen der Niederschlag-Abfluss-Prozess im gesamten Einzugsgebiet und die Abflussvorgänge in den Gewässern bzw. Verdolungen möglichst genau nachgebildet werden können. Hierzu sind sowohl hydrologische, als auch hydraulische Berechnungsmodelle notwendig. Durch Simulationsrechnungen können mit diesen Modellen dann die Auswirkungen von Veränderungen im Einzugsgebiet (Klimaänderung, Neubau von Rückhaltungen bzw. Überleitungen, Neubebauungen, etc.) sowie die Wirkungen von lokalen HW-Schutzmaßnahmen (Mauern, Schutzdämme, Flutmulden, Bypass, Aufdimensionierungen, Aufweitungen, Offenlegungen, etc.) auf die Abflüsse und die Wasserstände in den Gewässern aufgezeigt und analysiert werden.

In einem ersten Bearbeitungsschritt der FGU-Harmersbach wurde ein hydrologisches Flussgebietsmodell für das Gesamteinzugsgebiet des Harmersbachs einschl. des Entersbacher Dorfbachs aufgebaut. Der Aufbau und die Anpassung hydraulischer Detailmodelle erfolgten für die Gewässer Harmersbach im Bereich der Ortslagen Oberharmersbach und Zell sowie für den Entersbacher Dorfbach im Bereich der Ortslage Unterentersbach. Außerdem wurden im Bereich der Ortslagen mehrere Zuflüsse zum Harmersbach und Entersbacher Dorfbach hydraulisch untersucht (Oberharmersbach: Holdersbach, Riersbach, Jauschbach, Waldhäuserbach, Außenbereich Brugasse und Außenbereich Hubbächlein; Zell am Harmersbach: Herrenholzbächle, Knopfholzbächle, Gewässer 90902, Außenbereich 90905 und Außenbereich Wintergarten; Unterentersbach: Gewässer 90920 und 90921). Hydrologisch-hydraulische Nachrechnungen von HW-Ereignissen unterschiedlicher Jährlichkeiten ermöglichten eine Bestandsanalyse – d.h. die Ermittlung des entlang der einzelnen Gewässer vorliegenden HW-Schutzgrads bzw. der im HW-Fall gefährdeten Bereiche (Überflutungskarten).

Für Ortsbereiche (Gewässerabschnitte) mit unzureichendem HW-Schutz wurden Lösungen zur Verbesserung des HW-Schutzes entwickelt. Abschließend fanden, um die unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten optimalste Lösungsvariante zu ermitteln, Kostenschätzungen für alle Einzelmaßnahmen statt. Die Kostenschätzungen dienen der Festlegung ökonomisch optimaler Lösungen bzw. als Grundlage für Nutzen-Kosten-Berechnungen. Auf deren Grundlage kann dann ermittelt werden, welche HW-Schutzkonzeption und welcher Schutzgrad aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll ist. Es handelt sich dabei um grobe Kostenschätzungen (Kostenannahme) im Rahmen einer Flussgebietsuntersuchung (Gesamtkosten Brutto, ohne Grunderwerb,

etc.). Genaue Kostenermittlungen sind erst im Rahmen der Planung auf der Grundlage ergänzender Daten (Vermessung, Leitungserkundung, Bodengutachten, etc.) möglich.

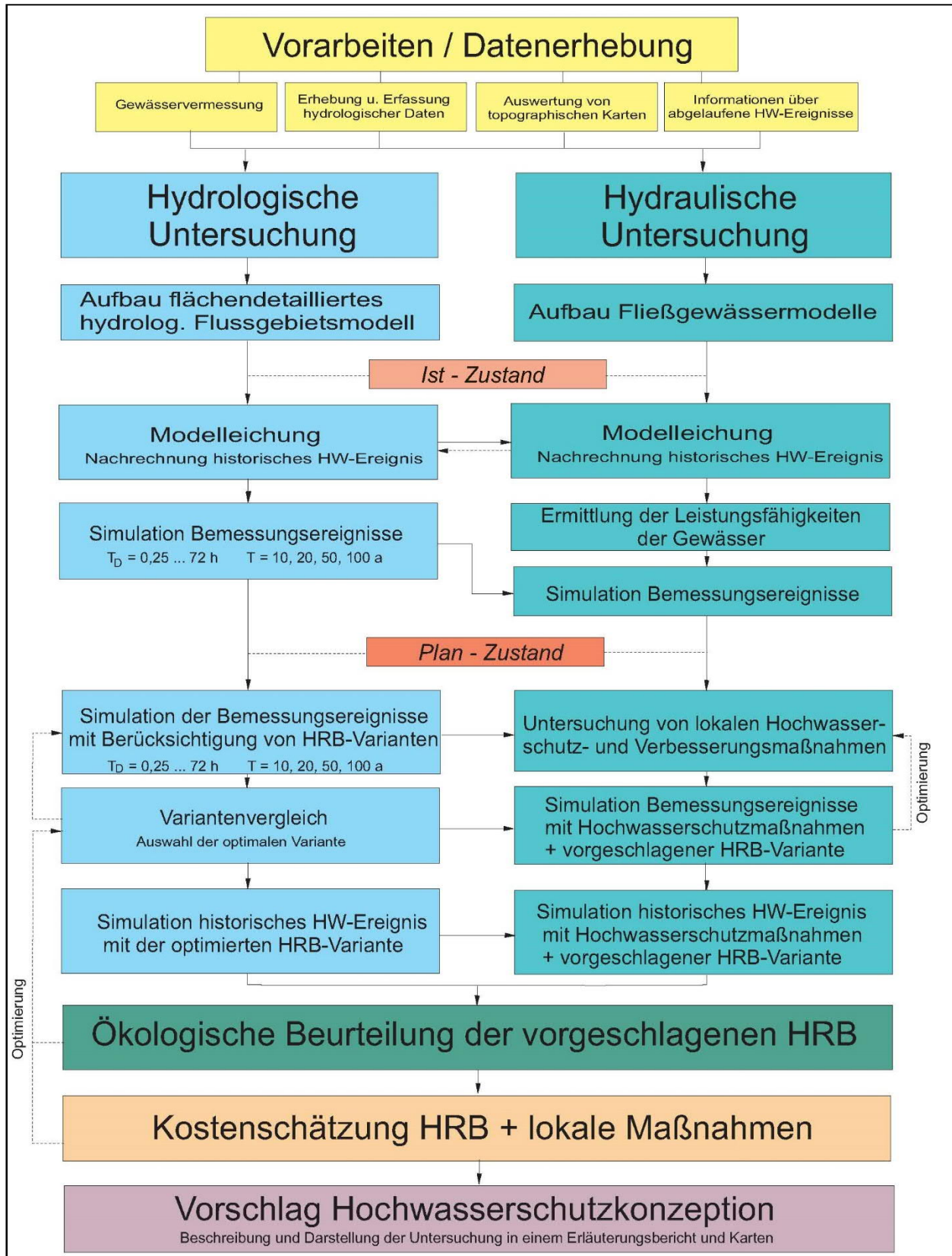


Abbildung 3-1: Allgemeines Ablaufschema einer Flussgebietsuntersuchung (FGU)

### 3.2 Untersuchungsbereiche

Der hydrologische Untersuchungsraum (Modellgebiet) umfasst das bis zur Einmündung in die Kinzig ca.  $A_E = 105 \text{ km}^2$  große Gesamteinzugsgebiet des Harmersbachs sowie das bis zur Einmündung in die Kinzig ca.  $A_E = 10 \text{ km}^2$  große Gesamteinzugsgebiet des Entersbacher Dorfbachs. Hierfür wurde ein hydrologisches Flussgebietsmodell aufgebaut, in dem das Niederschlag-Abfluss-Verhalten flächendetailliert nachgebildet wird. Die Zuflüsse aus den Ortsentwässerungen werden in diesem Modell getrennt erfasst und berechnet. Somit wird bei der Modellierung den unterschiedlichen zeitlichen und quantitativen Abflussbeiträgen entlang der Gewässer bei der Entstehung von Hochwasser Rechnung getragen. Mit dem hydrologischen Flussgebietsmodell können für das gesamte erfasste Einzugsgebiet Hochwasserabflüsse ( $HQ_T$ -Werte, T-jährliche HW-Ganglinien) entlang der Gewässer an den festgelegten Berechnungsknoten ermittelt werden.

Ausgehend von den HWGK-Vermessungen sowie im Rahmen der vorliegenden FGU erfolgter Neuvermessungen sowie weiterer Informationen (Planunterlagen, AKP, DGM, Ortsbegehungen, HW-Fotos, ...) wurden hydraulische Berechnungsmodelle für den Harmersbach und den Entersbacher Dorfbach aufgebaut und angepasst. Außerdem wurden aufbauend auf Neuvermessungen hydraulische Modelle für mehrere Zuflüsse zum Harmersbach (Holdersbach, Riersbach, Jauschbach, Waldhäuserbach, Außenbereich Brugasse, Außenbereich Hubbächlein, Herrenholzbächle, Knopfholzbächle, Gewässer 90902, Außenbereich 90905 und Außenbereich Wintergarten) und Entersbacher Dorfbach (Gewässer 90920 und 90921) erstellt. Berechnungen mit den hydraulischen Modellen liefern die Grundlagen für Bestandsanalysen (derzeitiger HW-Schutzgrad).

Die Festlegung der zu untersuchenden Gewässerabschnitte erfolgte gemeinsam mit der Stadt Zell und der Gemeinde Oberharmersbach. Auf die HWGK-Hauptgewässer Harmersbach und Entersbacher Dorfbach fließen im Untersuchungsraum zahlreiche weitere Gewässer und Gräben zu. Außerdem kann es grundsätzlich auch durch wild abfließendes Wasser abseits der Bäche zu Schäden in der Ortslage kommen (vgl. HW 2014). Eine Untersuchung (Vermessung) aller Zuflüsse im Rahmen einer FGU ist dabei kaum machbar. Im hydrologischen Flussgebietsmodell wurde jedoch eine Vielzahl an Seitengewässern erfasst, so dass als Ergebnis der FGU-Harmersbach Bemessungsabflüsse für zukünftige Untersuchungen bereitgestellt werden können.

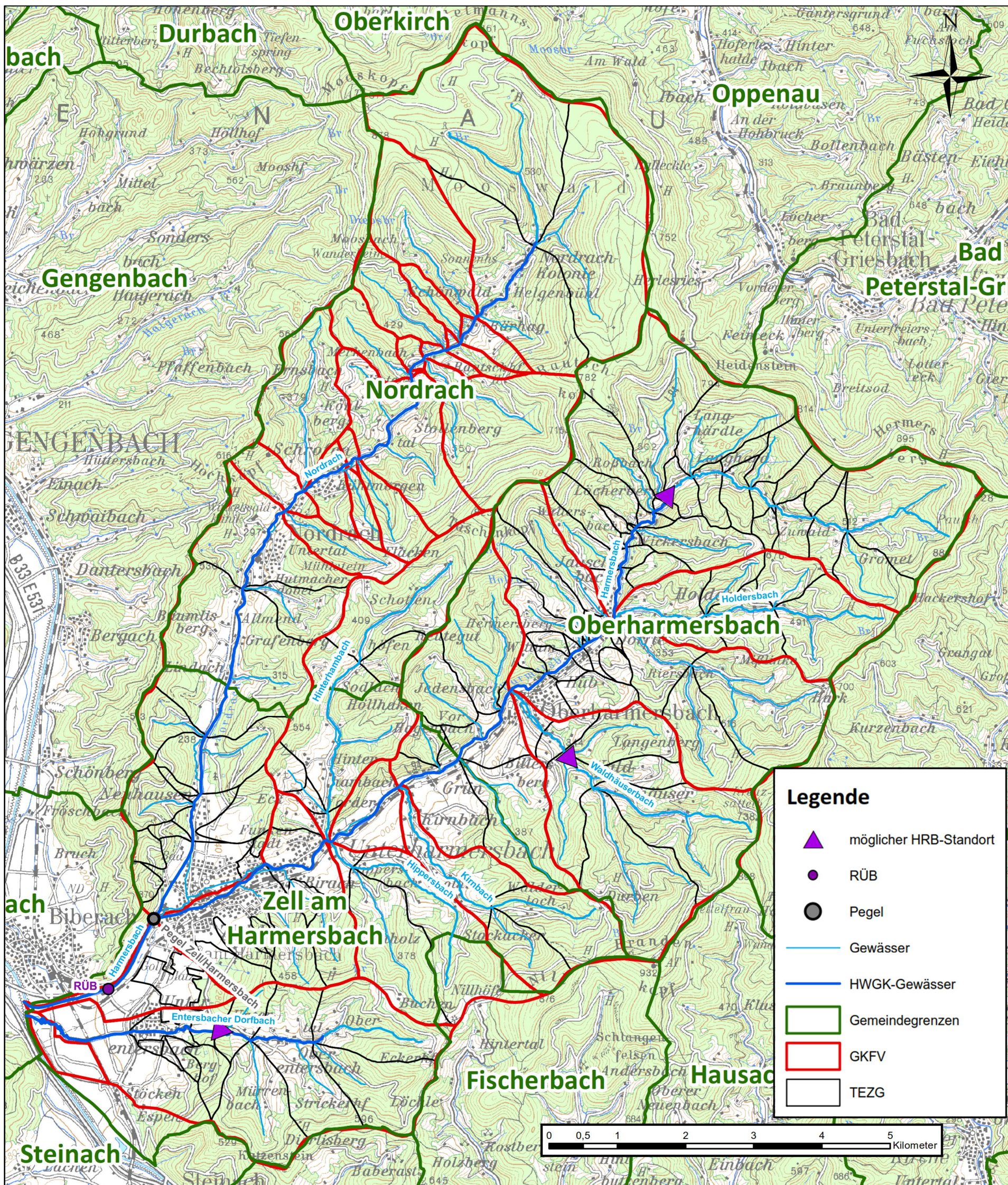


Abbildung 3-2: Übersichtskarte des FGM-Harmersbach mit räumlicher Gliederung



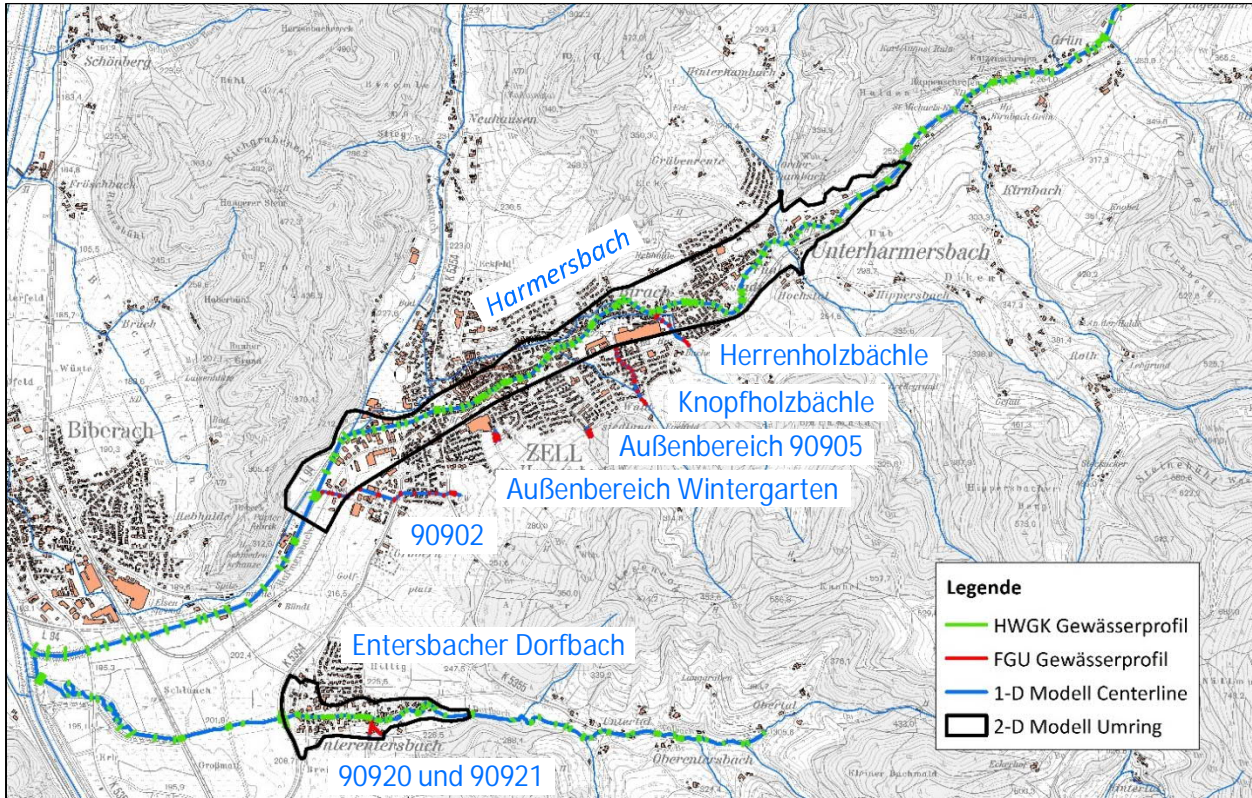


Abbildung 3-3: Zell: Vermessung und hydraulisch untersuchte Gewässerabschnitte

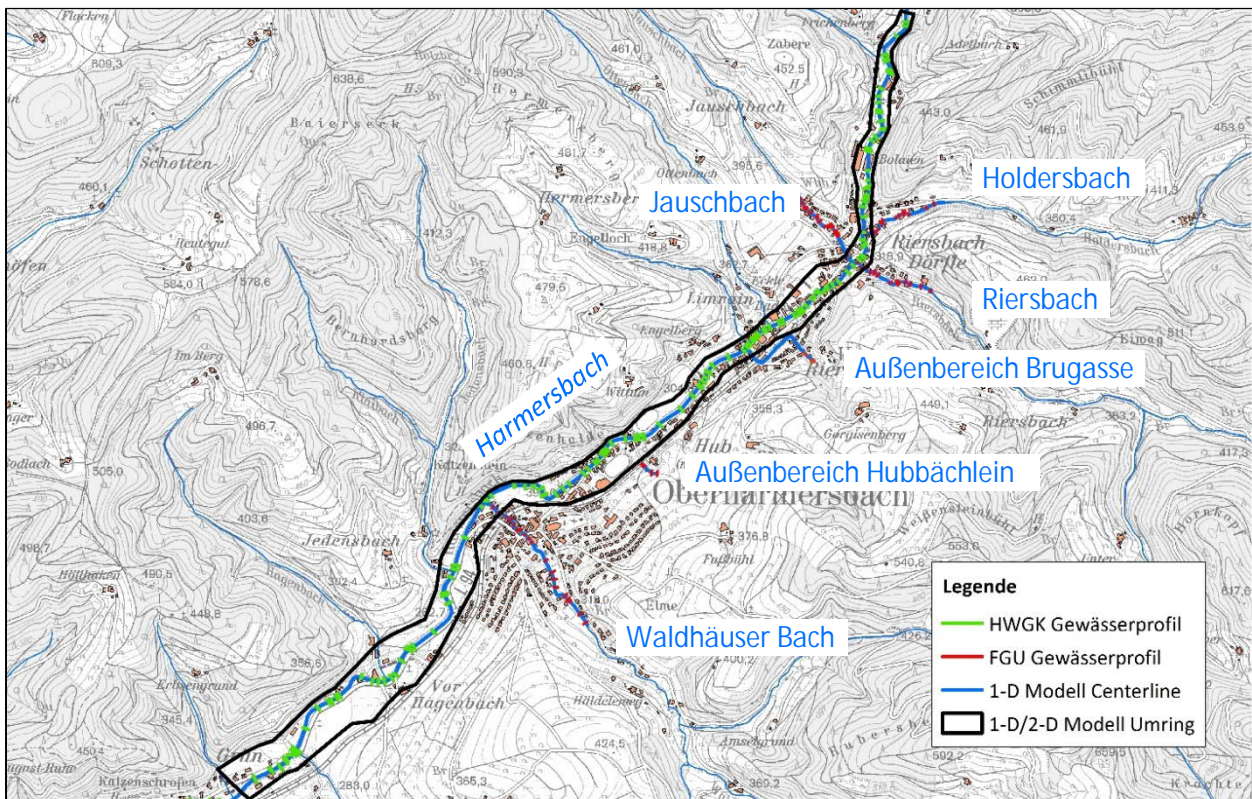


Abbildung 3-4: Oberharmersbach: Vermessung und hydraulisch untersuchte Gewässerabschnitte

### 3.3 Vorarbeiten (Vermessungsarbeiten, HWGK-Untersuchung)

Es wurden Vorarbeiten und begleitenden Arbeiten durchgeführt, die den Einsatz dieser hydrologischen und hydraulischen Modelle erst ermöglichen. Neben der Auswertung von Karten, Planunterlagen und hydrologischen Daten, handelt es sich dabei in erster Linie um die Erfassung der Gewässer durch Vermessungsarbeiten.

Dabei konnte auf die HWGK-Vermessungsdaten zurückgegriffen werden. Die HWGK-Gewässer Harmersbach und Entersbacher Dorfbach wurden im Rahmen der HWGK-Erstellung im TBG 321 im Jahr 2006 vermessen und hydraulisch vom Ingenieurbüro Winkler und Partner untersucht. Zusätzlich zu den HWGK-Vermessungen fanden im Rahmen der FGU Neuvermessungen an mehreren Zuflüssen von Harmersbach (Holdersbach, Riersbach, Jauschbach, Waldhäuserbach, Außenbereich Brugasse und Außenbereich Hubbächlein, Herrenholzbächle, Knopfholzbächle, Gewässer 90902, Außenbereich 90905 und Außenbereich Wintergarten) und Entersbacher Dorfbach (Gewässer 90920 und 90921) statt. Ergänzt wurden die Vermessungsarbeiten um im Rahmen von Ortsbegehungen erhobenen Daten. Außerdem standen flächendeckend Höheninformationen aus dem digitalen Geländemodell des Landes (1m-Raster) sowie Informationen aus Planunterlagen (AKP, lokale Vermessungen der Städte, ...) zur Verfügung.

### 3.4 Hydrologisches Flussgebietsmodell

#### 3.4.1 Hydrologische Berechnungen mit dem „FGM-Harmersbach“

Die Berechnung der bei Hochwasser in den Gewässern abfließenden Wassermengen ist aufgrund der komplexen Verhältnisse (Geologie, Ortseinleitungen, Retentionsräume, ...) nur mit einem flächendetaillierten hydrologischen Flussgebietsmodell (FGM) möglich. Für das bis zur Einmündung in die Kinzig ca.  $A_E = 105 \text{ km}^2$  große Gesamteinzugsgebiet des Harmersbachs sowie das bis zur Einmündung in die Kinzig ca.  $A_E = 10 \text{ km}^2$  große Gesamteinzugsgebiet des Entersbacher Dorfbachs wurde ein hydrologisches Flussgebietsmodell aufgebaut und angepasst. Das Einzugsgebiet wurde im Flussgebietsmodell in einem sehr hohen Detaillierungsgrad nachgebildet. Dies war notwendig, um mit dem Modell die bestehenden und möglichen Rückhalte- und Retentionsräume berücksichtigen und untersuchen zu können. Gleichzeitig war damit aber auch die Möglichkeit gegeben, die gebietscharakteristischen Eigenschaften, wie z.B. die Topographie, die jeweilige Landnutzung, die Geologie, das Gewässernetz und die Ortsentwässerung sehr detailliert entsprechend den örtlichen Gegebenheiten zu erfassen. Das Modell liefert damit sehr fein gegliedert Angaben zu den entlang der Gewässer auftretenden Hochwasserabflüssen.

Im Einzugsgebiet des Harmersbachs ist seit November 1949 der Pegel Zell/Harmersbach in Betrieb. Durch die Analyse am Pegel abgelaufener, gemessener HW-Ereignisse konnten hydrologische Regionalisierungsmodelle (Abflussbildung, Abflusskonzentration) an den Untersuchungsraum angepasst werden. Ausgewählt wurden hierfür ca. 95 Hochwasserereignisse des Zeitraumes November 1967 bis März 2015. Für die dominierenden Gesteine (Mittlerer Buntsandstein bis Broeckelschiefer, Mittlerer und Unterer Buntsandstein,



Paläozonische Magmatite, Rotliegendes und Metamorphe Gesteine) mit relativ einheitlichem Abflussverhalten (LF-Wert) konnten so Regionalisierungsmodelle (Abflussbildung, Abflusskonzentration) angepasst werden. Für die restlichen Gesteine (Löß / Lößlehm und Junge Talfüllungen) konnten angepasste Regionalisierungsmodelle (Abflussbildung, Abflusskonzentration) aus geologisch (hydrologisch) vergleichbaren Gebieten mit Pegelmessungen auf den Untersuchungsraum übertragen werden. Der langjährig beobachtete Pegel Zell/Harmersbach ermöglichte außerdem eine Plausibilisierung der FGM-Berechnungsergebnisse ( $HQ_T$ -Werte) durch Vergleich mit der Pegelstatistik.

Im hydrologischen Flussgebietsmodell „FGM-Harmersbach“ wird das Niederschlag-Abfluss-Verhalten unter Berücksichtigung der gebietscharakteristischen Eigenschaften flächendetailliert modelliert. Da alle Teilgebiete im Flussgebietsmodell über das ebenfalls erfasste Gewässersystem miteinander verknüpft sind und der Ablauf der Hochwasserwellen in den Gewässerstrecken unter Berücksichtigung der Zuflüsse aus den Teilgebieten mit hydrologischen Verfahren nachgebildet werden, kann somit der Ablauf eines Hochwasserereignisses im Gesamteinzugsgebiet räumlich detailliert simuliert werden. Im Flussgebietsmodell werden dabei die Zuflüsse aus der Ortsentwässerung der Ortslagen (Oberharmersbach, Nordrach, Zell, Unterentersbach) getrennt nachgebildet.

Die FGM-Berechnungen wurden mit dem Flussgebietsmodell „FGM“ der Universität Karlsruhe/KIT (Ihringer, 2005) durchgeführt. Die FGM-Berechnungsergebnisse (Abflussganglinien,  $HQ_T$ -Werte) dienen als Eingangsgröße für Berechnungen mit hydraulischen Modellen. Neben der Ermittlung der entlang der Gewässer auftretenden HW-Abflüsse wurde das Flussgebietsmodell auch für die Optimierung von HW-Schutzlösungen (HRB) eingesetzt.

### 3.4.2 Theoretische Grundlagen zum Flussgebietsmodell FGM

Mit dem eingesetzten Programm FGM (FGM-Version V7.1) des KIT ist eine flächendetaillierte Niederschlag-Abfluss-Modellierung für komplexe Flussgebiete möglich. Der Einsatz dieses Programms erfordert die Gliederung des betrachteten Gesamtsystems mit Hilfe von sogenannten Gewässerknoten („FGM-Knoten“) in Teileinzugsgebiete und Gewässerabschnitte. Mittels mathematischer Modellansätze wird für jedes Teileinzugsgebiet, das an den Knoten angeschlossen ist, der Niederschlag-Abfluss-Prozess nachgebildet.

Der Abfluss an einem „Knoten“ ergibt sich in den Modellrechnungen durch Überlagerung der Zuflussganglinie des am Knoten angeschlossenen Einzugsgebietes mit den Zuflussganglinien eventuell oberstromiger Knoten. Zwischen zwei Gewässerknoten können die Verformung der Abflussganglinie entlang der Gewässerstrecke (Flood-Routing), eine Gewässerverzweigung (Abschlag) und der Einfluss eines Rückhalteraumes (HRB, RRB, Polder, Retentionsraum, Weiher, etc.) modelliert werden.

### 3.5 Hydraulische Modellrechnungen

Aussagen zu den sich entlang der Gewässer einstellenden Wasserständen, zur Leistungsfähigkeit der Gewässer sowie zur Wirkung von Eingriffen und Maßnahmen an den vorhandenen Gewässersystemen sind mit einem hydrologischen Flussgebietsmodell nicht möglich. Dies lässt sich nur mit einem hydraulischen Modell (1D-Fließgewässermodell/Kanalnetzmodell, 2D-Strömungsmodell, gekoppeltes Modell 1D/2D) aufzeigen, mit dem die Abflussvorgänge unter Berücksichtigung sämtlicher Bauwerke und der vorhandenen Abflussquerschnitte simuliert werden können.

Die in der Abbildung 3-3 und der Abbildung 3-4 dargestellten Gewässerabschnitte des Untersuchungsgebietes wurden hydraulisch nachgebildet. In den hydraulischen Berechnungen wurden die entlang der Gewässer auftretenden Hochwasser-Abflüsse ( $HQ_T$ -Werte, T-jährliche HW-Ganglinien) den Berechnungen mit dem hydrologischen Flussgebietsmodell entnommen.

Für den Harmersbach und den Entersbacher Dorfbach fanden Berechnungen mit einem 2D-Strömungsmodell statt (Hydro\_AS-2D, HEC-Ras gekoppelt). Für die weitgehend offenen Gewässerabschnitte der Seitengewässer wurde das Programmsystem „HEC-RAS“ (1D-Fließgewässermodell) verwendet. Für längere verdolte Abschnitte (Mündungsbereiche einiger Seitengewässer) wurde das Programmsystem „SWMM“ eingesetzt. Grundlage der stationären hydraulischen Berechnungen bildeten die FGM-Berechnungsergebnisse ( $HQ_T$ -Werte).

Hydraulische Berechnungen erfolgten zunächst im Rahmen der Bestandsanalyse für den derzeitigen Zustand (Ist-Zustand). Den Berechnungen lagen der derzeitige Ausbauzustand der Gewässer (ohne neue HWS-Maßnahmen) sowie die derzeitigen Hochwasserabflüsse (ohne neue/optimierte Rückhaltungen, ohne Neubebauungen) zugrunde. In den Bereichen mit 1D-Berechnungen wurden durch eine Verschneidung der Hochwasserlängsschnitte mit dem DGM Überflutungskarten (Wassertiefenkarten) erstellt. In den Bereichen mit 2D-Modellrechnungen liegen die Überflutungskarten direkt als Berechnungsergebnisse vor. Aus den T-jährlichen (10a, 20a, 50a, 100a, 100aKlima) Überflutungskarten konnte direkt auf die Überflutungsgefährdung geschlossen werden (Bestandsanalyse). D.h. die Karten zeigen welche Ortsbereiche (Gebäude) im Hochwasserfall gefährdet sind.

Im Anschluss an die Bestandsanalyse wurden die hydraulischen Modelle zur Optimierung von Hochwasserschutz-Lösungen eingesetzt. Hierzu wurden mögliche lokale Hochwasserschutzmaßnahmen in das Modell eingebaut. Die Berechnungsergebnisse wurden für das maßgebende BHO (T=100a bzw. T=100aKlima) abschließend ebenfalls in Form von Hochwasserlängsschnitten und Überflutungskarten dokumentiert.

#### 3.5.1 Theoretische Grundlagen zum Programmsystem HEC-RAS (1D/2D)

Die hydraulische Modellierung wurde mit dem Fließgewässermodell HEC-RAS (US Army Corps of Engineers) durchgeführt. HEC-RAS unterscheidet sich von vielen anderen Programmsystemen insbesondere dadurch, dass lokale Fließwechsel berücksichtigt und Sonderbauwerke wie Brücken, Durchlässe und dergleichen im

Modell äußerst exakt nachgebildet und simuliert werden können. Komplexe Fließsituationen, wie Übergänge von strömenden auf schießenden Abfluss oder die Ausbildung von Druckabfluss in Brückendurchlässen lassen sich mit Hilfe von HEC-RAS sehr genau erfassen. Aufgrund der besonderen Möglichkeiten des Programmsystems eignet sich HEC-RAS damit sehr gut für die Simulation der Abflussverhältnisse im Untersuchungsgebiet.

Die Geometrie des Gewässers wird im eindimensionalen hydraulischen Modell durch einzelne Gewässerquerprofile erfasst, die numerisch betrachtet jeweils einen Berechnungsknoten darstellen. Um die hydraulische Wirkung von Sonderbauwerken erfassen zu können, ist es erforderlich, den Standardgewässerquerprofilen im Bereich von Brücken oder Verdolungen zusätzlich spezielle Bauwerksparameter zuzuordnen. Die Summe aller Berechnungsknoten mit Querschnitts- und Bauwerksparametern, ergänzt um die Angabe von Fließlängen und Rauheitsparametern, bildet das Gesamtmodellsystem für die hydraulische Simulation.

Die Version 5.0.3 ermöglicht grundsätzlich sowohl die Durchführung eindimensionaler Berechnungen, als auch die Kopplung des 1D-Modells mit einem 2D-Strömungsmodell. Der 2D-Bereich wird dabei über Elemente abgebildet, deren Kanten mit den Höhen des digitalen Raster DGMs in der Auflösung des vorliegenden Rasters (1x1) belegt werden. Damit werden auch feine Strukturen modelltechnisch berücksichtigt. Diese noch relativ neue Möglichkeit der Modellkopplung wurde für den Harmersbach im Bereich Oberharmersbach verwendet (vgl. Abbildung 3-4).

### 3.5.2 Theoretische Grundlagen zum 2D-Strömungsmodell HYDRO\_AS-2D

Komplexe Abflussverhältnisse lassen sich mit eindimensionalen Fließgewässermodellen oftmals nicht mehr oder nur stark vereinfacht nachbilden. Dies gilt insbesondere für Bereiche, in denen das Wasser breitflächig über das Gelände abfließt, sich hinter Querriegeln wie Straßendämmen aufstaut, diese überströmt, sich innerorts aufteilt und den Gefälleverhältnissen folgend über das Straßen- und Wegenetz abfließt. Solch komplexe Abflussverhältnisse lassen sich nur mit zweidimensionalen Strömungsmodellen realistisch erfassen. Mit den Neuvermessungsdaten und dem digitalen Geländemodell des Landes stehen für das Untersuchungsgebiet ausreichende Datengrundlagen für den Aufbau eines zweidimensionalen Strömungsmodells zur Verfügung. Eingesetzt wird im Büro WALD + CORBE das zweidimensionale Strömungsmodell HYDRO\_AS-2D, für das langjährige Erfahrungen vorliegen. Dieses 2D-Modell wurde für den Harmersbach im Bereich der Ortslage Zell verwendet (vgl. Abbildung 3-3). Eine schematische Darstellung von ein- und zweidimensionalen Modellierungen zeigt die Abbildung 3-5.

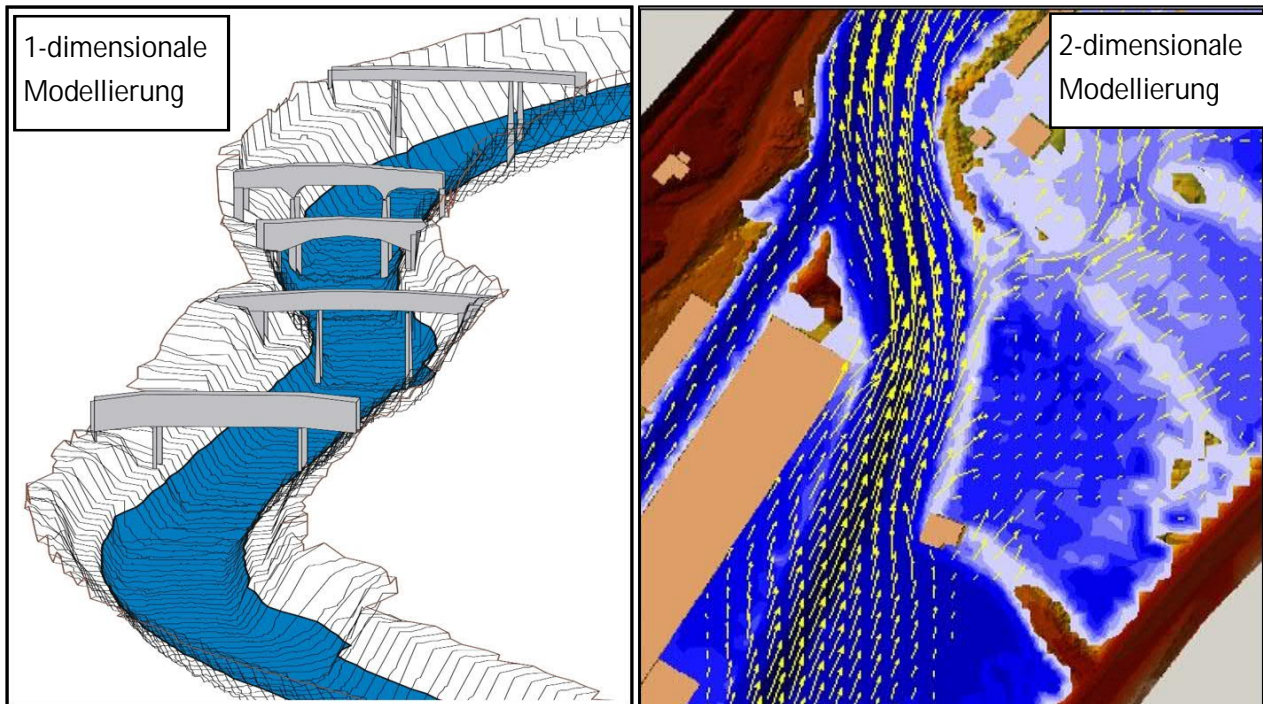


Abbildung 3-5: Schematische Darstellung ein- und zweidimensionaler hydraulischer Modellierung

### 3.5.3 Theoretische Grundlagen zum Programmsystem SWMM (Kanalnetzberechnung)

SWMM steht für Storm Water Management Model und wurde von der US-amerikanischen Umweltbehörde EPA entwickelt und herausgegeben. SWMM ist ein umfassendes dynamisches Niederschlag-Abfluss-Simulationsmodell, mit dem Einzelereignisse oder lang andauernde (kontinuierliche) Simulationen der Abflussmengen von überwiegend besiedelten Gebieten berechnet werden können. SWMM ist weltweit verbreitet und wird von vielen Institutionen zur Planung, Analyse und Bemessung von Kanalnetzen verwendet.

Für diese Untersuchung wurde das Kanalnetzmodul von SWMM zur Ermittlung der Verdolungsleistungsfähigkeiten verwendet. Es wurden stationäre Berechnungen durchgeführt, die Druckhöhen in den Haltungen berechnet und in jedem Schacht mit den vorliegenden Geländehöhen in Bezug gesetzt. Daraus konnten die Leistungsfähigkeiten in jedem Schacht abgeleitet werden. Zur Bestimmung des maximalen Abflusses in einer Haltung wurde davon ausgegangen, dass stets die gesamte Abflussmenge in der Verdolung abgeführt werden kann.

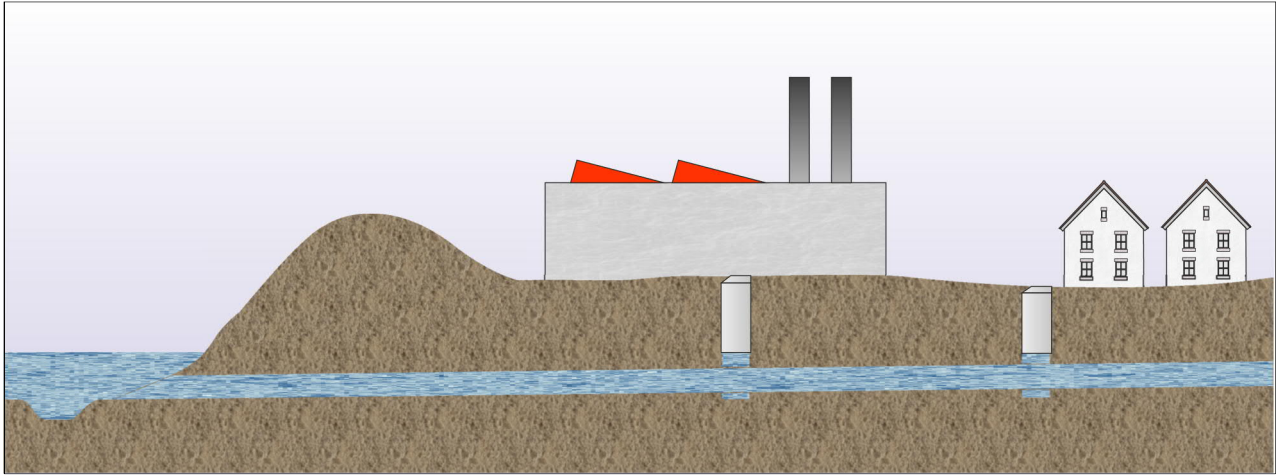


Abbildung 3-6: Schematische Darstellung bei Kanalnetzberechnungen (lange Bachverdolungen)

### 3.6 Modellanpassung

Sowohl das eingesetzte hydrologische Flussgebietsmodell als auch die hydraulischen Modelle (Gewässer, Verdolung, 2D-Strömungsmodell) müssen angepasst werden. D.h. die Modellparameter müssen so gewählt werden, dass die Modelle die realen Abflussprozesse im Einzugsgebiet und in den Gewässern möglichst gut nachbilden.

Für die Anpassung des hydrologischen Flussgebietsmodells konnte auf den Pegel Zell/Harmersbach (Nr. 44013) (Nov. 1949 – Okt. 2013) zurückgegriffen werden. Dieser ermöglichte durch eine Analyse abgelaufener historischer Hochwasserereignisse eine sehr gute Anpassung des Flussgebietsmodells. Die umfangreiche Analyse des N-A-Verhaltens über den Pegel Zell/Harmersbach ermöglichte eine Beschreibung des N-A-Verhaltens (Abflussbildung, Abflusskonzentration) der im Untersuchungsraum dominierenden Gesteine (Metamorphe Gesteine, Rotliegendes, Paläozonische Magmatite, Mittlerer Buntsandstein bis Broeckelschiefer, Mittlerer Buntsandstein und Unterer Buntsandstein). Für die im Untersuchungsraum zusätzlich anstehenden Gesteine (Löß, Lößlehm, Junge Talfüllungen) wurden Modellparameter zur Beschreibung des N-A-Verhaltens aus hydrologisch (geologisch) vergleichbaren Nachbargebieten mit langjährigen Pegelmessungen übertragen.

Die Modellparameter der hydraulischen Modelle (Gewässerrauigkeiten) wurden entsprechend den Erfahrungswerten in vergleichbaren Gewässern festgelegt. Für die untersuchten Gewässer standen außerdem Informationen aus der HWGK-Erstellung zur Verfügung.

Die Plausibilisierung der FGM-Berechnungsergebnisse war über den Pegel Zell durch Einordnung der FGM-Berechnungsergebnisse in eine Pegelstatistik möglich. Ergänzend ermöglichten  $HQ_T$ -Regionalisierungswerte Vergleiche der FGM-Werte an weiteren Gewässerstellen von Harmersbach und Entersbacher Dorfbach sowie der (größeren) Seitengewässer.

Durch Einordnung beobachteter Hochwasserabflüsse (Wasserstände) und der Häufigkeit aufgetretener Überflutungen waren qualitative Aussagen zur Plausibilität der ermittelten  $HQ_T$ -Werte und Überflutungsflächen möglich. Außerdem konnten anhand der Beobachtungen (Fotos) eine Überprüfung der hydraulischen Modelle und eine Abstimmung der Rauigkeitsparameter erfolgen.

### 3.7 Nachrechnung von synthetischen (statistischen) Starkregenereignissen

Mit hydrologischen Flussgebietsmodellen können grundsätzlich real abgelaufene Niederschlagsereignisse sowie statistische Niederschlagsereignisse nachgerechnet werden.

Zu berücksichtigen ist dabei, dass jedes historische HW-Ereignis ein Einzelfall darstellt (räumlich-zeitliche Überregnung, Vorfeuchte, ...), der so nicht wieder eintreten wird. Die Bestandsanalyse (Bestimmung des Gefährungsgrads) und die Auslegung von HW-Schutzmaßnahmen erfolgt daher in der Praxis über statistische Niederschlagsereignisse ausgewählter Wiederkehrzeiten (Jährlichkeiten). Mit dem hydrologischen

Flussgebietsmodell und den hydraulischen Modellen sollen Aussagen zur Hochwassersituation bei Ereignissen ausgewählter Wiederkehrzeiten ( $T=...$ , 10a, 20a, 50a, 100a, 100aKlima, ...) getroffen werden. Hierzu fanden Berechnungen für Einzelereignisse unterschiedlicher Wiederkehrzeiten (Jährlichkeiten) statt.

Bei den Nachrechnungen von synthetischen Einzelereignissen mit dem hydrologischen Flussgebietsmodell wird davon ausgegangen, dass ein statistisches (T-jährliches) Niederschlagsereignis bei geeigneter Wahl der Randbedingungen (Vorfeuchte, Jahreszeit, ...) ein HW-Ereignis analoger Jährlichkeit auslöst. Da im Voraus nicht feststeht welche Regendauer zu den ungünstigsten Verhältnissen führt, erfolgen je Jährlichkeit Berechnungen für unterschiedliche Regendauern.

Auf die Nachrechnung realer HW-Ereignisse mit dem hydrologischen Flussgebietsmodell wurde verzichtet. Interessant wäre die Nachrechnung des Hochwassers vom Dezember 1991 gewesen., da damit HW-Schutzmaßnahmen an einem realen Ereignis (50-100-jährliches HW) hätten getestet werden können und außerdem flächendeckend Informationen zu den aufgetretenen HW-Abflüssen vorgelegen hätten (Jährlichkeit, Anpassung der Hydraulikmodelle, ...). Aufgrund des Fehlens von Niederschlagsdaten (für dieses Ereignis waren nur Tageswerte verfügbar) und der damit nur unsicheren Modellkalibrierung musste jedoch auf eine entsprechende FGM-Nachrechnung verzichtet werden.

### 3.7.1 Nachgerechnete statistische Niederschlagsereignisse $N(T, T_D)$

Im Rahmen der FGU-Harmersbach wurden statistische Niederschlagsereignisse ausgewählter Regendauern  $T_D$  und Wiederkehrzeiten (Jährlichkeiten  $T$ ) nachgerechnet. FGM-Modellrechnungen wurden für 13 Jährlichkeiten ( $T=1a, 2a, 3a, 5a, 10a, 20a, 50a, 100a, 200a, 500a, 1.000a, 5.000a, 10.000a$ ) und jeweils 12 Niederschlagsdauern ( $T_D = 0,25h, 0,5h, 1h, 2h, 4h, 6h, 12h, 24h, 48h, 72h, 96h, 120h$ ) durchgeführt. Außerdem für 100-jährliche Niederschläge des Lastfalls-Klimaänderung ( $T = 100aKlima$ ). Bei 14 Jährlichkeiten und 12 Niederschlagsdauern waren damit insgesamt 168 unterschiedliche HW-Ereignisse zu untersuchen.

### 3.7.2 Niederschlagsstatistik (KOSTRA-Niederschläge des DWD)

Die KOSTRA-2000 Niederschlagsdaten  $N(T, T_D)$  liegen als Ganzjahres-, Sommer- und Winterniederschläge vor. Gewählt wurde das jeweilige Maximum aus Gesamtjahr, Sommer- und Winterhalbjahr (Jahresmaximum). Bei den KOSTRA-Daten wurden dabei die Klassenmittelwerte verwendet. Das im Flussgebietsmodell erfasste Einzugsgebiet liegt dabei in fünf verschiedenen KOSTRA-Rasterelementen (Abbildung 3-7, Anlage A.3.1). Es handelt sich dabei um die KOSTRA-Rasterelemente 18/89, 18/90, 19/88, 19/89 und 19/90. Das Rasterelement 18/88 hat einen so geringen Anteil, dass es für die Untersuchung nicht berücksichtigt wurde.

Die Original KOSTRA-Daten stehen nur für ausgewählte Regendauern  $T_D$  und Jährlichkeiten  $T$  zur Verfügung. Die KOSTRA-Werte wurden zunächst auf Plausibilität geprüft und ggf. korrigiert. Eine Interpolation bzw. Extrapolation auf die untersuchten 13 Jährlichkeiten (ohne  $T = 100aKlima$ ) und 12 Niederschlagsdauern erfolgte mit entsprechenden Programmen.

Die Bemessungsniederschläge können in Form eines Dauer-Intensitäts-Häufigkeits-Diagramm (DIH-Diagramm) der Anlagentabelle A.3 entnommen werden. Exemplarisch zeigt Tabelle 3.2 die Niederschläge ausgewählter Ereignisse für das zentrale KOSTRA-Rasterelement 19/89. Dieses Rasterelement ist für den Oberlauf des Harmersbachs maßgebend. Verwendet wurden die aktuellsten zum Zeitpunkt der Erstellung des Flussgebietsmodells verfügbaren KOSTRA-2000 Niederschläge des DWD (2005/2009).

Anmerkung: Vom DWD wurden 2016 mit KOSTRA-2010 (DWD, 2015) neue statistische Niederschläge bereitgestellt. Hierzu wurden die Beobachtungszeitreihen der einbezogenen Niederschlagsdaten bis zum Jahr 2010 verlängert und die Niederschlagsstatistiken neu erstellt. Das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung am Karlsruher Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) hat im Auftrag der LUBW eine flächendeckende Auswertung der Veränderungen von KOSTRA-DWD-2010 in Baden-Württemberg im Vergleich zu KOSTRA-DWD-2000 durchgeführt und deren Auswirkungen auf die wasserwirtschaftliche Bemessungspraxis ermittelt (KIT/IWG, 2016). Aufgrund der Untersuchung des IWG wurde eine verbindliche Einführung von KOSTRA-DWD-2010 in Baden-Württemberg aufgrund von Unstimmigkeiten, insbesondere für die Niederschlag-Abfluss-Modellierung im Rahmen wasserwirtschaftlicher Bemessungsfragen, zunächst zurückgestellt. Als Interimslösung empfahl das Umweltministerium die Weiterverwendung von KOSTRA-DWD-2000 (Umweltministerium, 2017a). Entsprechend der Empfehlung des Ministeriums fanden daher für den Aufbau des hydrologischen Modells die Niederschlagsstatistiken gemäß KOSTRA-DWD-2000 Verwendung.

Nach Aufbau und Anpassung des Flussgebietsmodells Harmersbach-Entersbacher Dorfbach erfolgte die Veröffentlichung von KOSTRA-DWD-2010R. Die vom DWD überarbeiteten Niederschlagsstatistiken KOSTRA-DWD-2010R wurden erneut vom IWG im Auftrag der LUBW untersucht (KIT/IWG, 2017). Aufgrund dieser erneuten Untersuchung des IWG erfolgte vom Umweltministerium die Empfehlung, dass die revidierten Statistiken KOSTRA-DWD-2010R in Baden-Württemberg für die Ermittlung von Hochwasserbemessungswerten eingesetzt werden können (Umweltministerium, 2017b). Ein Vergleich der im Rahmen der vorliegenden FGU-Harmersbach verwendeten KOSTRA-2000 Werte mit den Werten aus KOSTRA-DWD-2010R zeigt, dass die im Rahmen der FGU verwendeten KOSTRA-2000 Niederschlagswerte nur geringfügig von den neuen KOSTRA-2010R-Werten abweichen. So betragen die Abweichungen zumeist weniger als 5 % und sind damit deutlich geringer als der vom DWD angegebene Toleranzbetrag. Exemplarisch zeigt Tabelle 3.3 für das zentrale KOSTRA-Rasterelement 19/89, das für einen großen Teil des Harmersbach-Einzugsgebiets maßgebend ist, die Niederschläge ausgewählter Ereignisse. Auf eine Korrektur der Niederschläge (ersetze KOSTRA-2000 durch KOSTRA-2010R) konnte daher verzichtet werden.

Zu berücksichtigen ist dabei auch, dass in die Berechnungen mit hydrologischen Modelle neben der zentralen Eingangsgröße Niederschlag auch weitere Ereigniskenngößen wie Jahreszeit und Vorfeuchte einfließen. Dass die gewählten Modelleingangsgrößen die derzeitigen Abflussverhältnisse sehr gut nachbilden zeigen die im Rahmen der Plausibilisierung erfolgten Vergleiche mit Pegelstatistiken bzw. den HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungswerten.

Bei den KOSTRA-Bemessungsniederschlägen handelt es sich um sogenannte „Punktniederschläge“. Insbesondere bei Ereignissen kurzer Regendauer treten diese Niederschläge nicht flächendeckend auf. Es gibt deshalb in der Praxis Niederschlags-Abminderungsfaktoren (Verworn, 2008), über welche diese punktuellen



Niederschläge, abhängig von der Einzugsgebietsfläche und der Niederschlagsdauer, in Gebietsniederschläge umgerechnet werden können. Das  $A_E = 105 \text{ km}^2$  großen FGM-Einzugsgebiet des Harmersbachs wurde in fünf Teilbereiche mit unterschiedlichen N-Abminderungsfaktoren unterteilt, um so die Niederschlagsverhältnisse plausibel nachbilden zu können. Die gewählten N-Abminderungen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt. Die Zuordnung der einzelnen FGM-Gewässerstellen (Knoten) zu den Flächenklassen kann der Tabelle 3.1 bzw. der Systemskizze (Abbildung 4-4 bis Abbildung 4-9 bzw. Anlage A.1.2) entnommen werden.

Tabelle 3.1 N-Abminderung als Funktion der Regendauer für unterschiedliche Flächenklassen

N-Dauer [h] \ Gebietsgröße [km <sup>2</sup> ]	N-Dauer [h]											
	0,25	0,5	1	2	4	6	12	24	48	72	96	120
Gebietsgröße 0 – 2,5 km <sup>2</sup> (N-Abminderungsstufe ERHÖHUNG) F	1,070	1,070	1,070	1,070	1,030	1,030	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Gebietsgröße 2,5 - 11 km <sup>2</sup> (N-Abminderungsstufe OHNE) G	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Gebietsgröße 11 - 17 km <sup>2</sup> (N-Abminderungsstufe GERING) H	0,886	0,909	0,928	0,937	0,954	0,971	0,980	0,987	0,990	0,994	0,997	1,000
Gebietsgröße 17 - 100 km <sup>2</sup> (N-Abminderungsstufe MITTEL) I	0,765	0,807	0,844	0,861	0,896	0,930	0,951	0,965	0,973	0,981	0,990	0,998
Gebietsgröße 100 - 300 km <sup>2</sup> (N-Abminderungsstufe HOCH) J	0,604	0,658	0,723	0,751	0,807	0,864	0,899	0,926	0,940	0,955	0,970	0,984

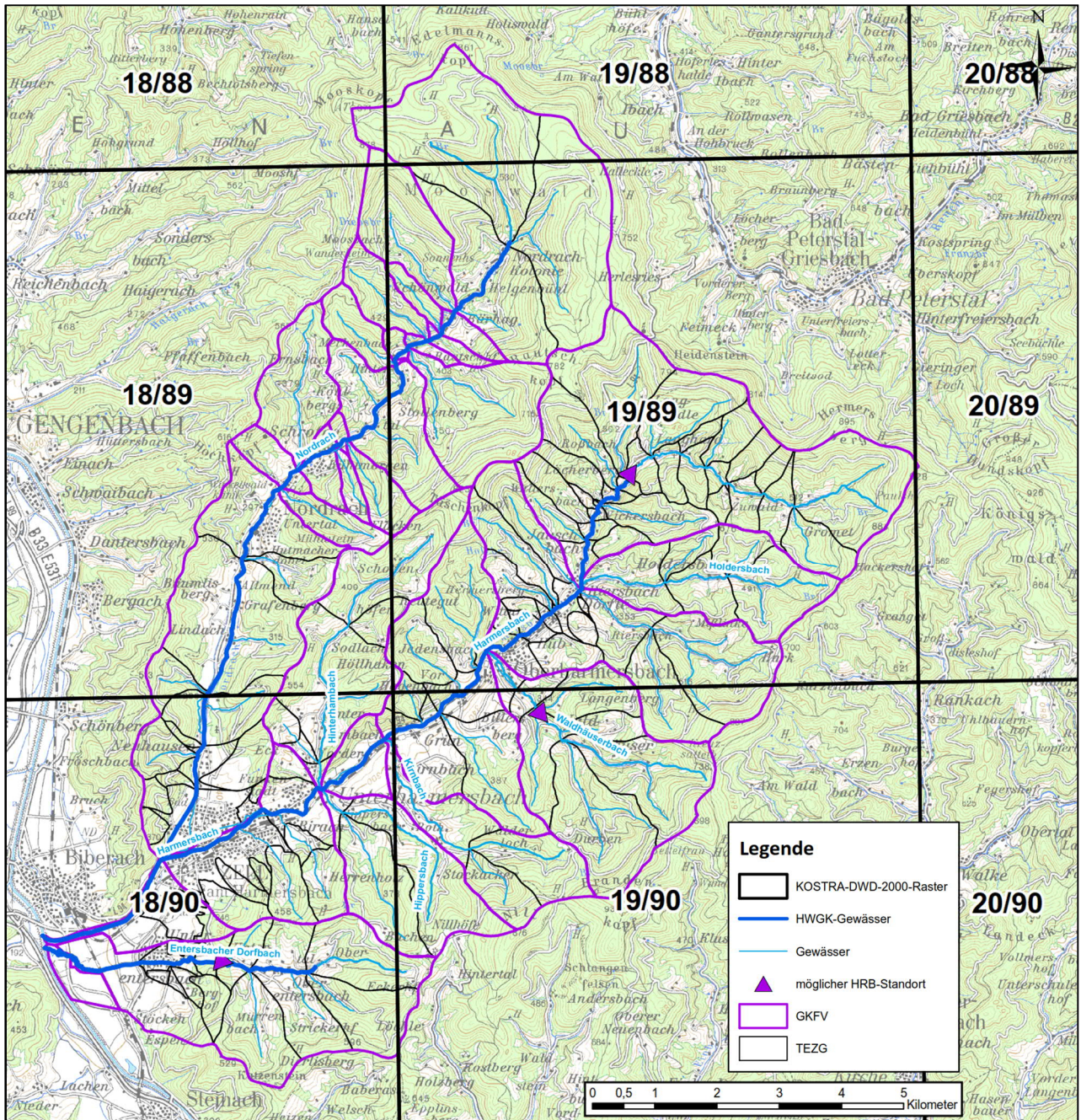


Abbildung 3-7: KOSTRA-Rasterelemente im Bereich Harmersbach / Entersbacher Dorfbach

Tabelle 3.2 KOSTRA-DWD-2000-Niederschläge des Rasterelementes 19/89

T <sub>D</sub> [h]	N [mm]			
	T = 10a	T = 20a	T = 50a	T = 100a
0,25	25,3	29,1	34,2	38,0
0,50	33,3	38,3	45,0	50,1
1	41,8	48,4	57,3	64,0
2	49,3	56,8	66,7	74,1
4	58,4	66,8	77,8	86,1
6	64,6	73,5	85,3	94,2
12	77,0	86,9	100,1	110,0
24	92,5	103,8	118,7	130,0
48	122,5	135,3	152,2	165,0
72	137,5	151,8	170,7	185,0
96	148,1	163,5	183,8	199,2
120	156,4	172,6	194,0	210,2

Tabelle 3.3 KOSTRA-DWD-2010R-Niederschläge des Rasterelementes 19/89

T <sub>D</sub> [h]	N [mm]			
	T = 10a	T = 20a	T = 50a	T = 100a
0,25	25,0	28,7	33,7	37,5
0,50	33,4	38,5	45,2	50,3
1	42,6	49,4	58,5	65,3
2	50,0	57,5	67,4	74,9
4	59,0	67,2	78,1	86,3
6	65,1	73,8	85,3	94,0
12	77,4	87,0	99,5	109,1
24	92,5	102,9	116,8	127,2
48	120,2	134,1	152,5	166,4
72	138,5	154,4	175,4	191,3
96	152,5	169,8	192,7	210,1
120	164,0	182,5	206,9	225,3

### 3.8 Lastfall Klimaänderung (T= 100 Jahre)

#### 3.8.1 Allgemeines

Vergleich zwischen KOSTRA (DWD, 1997) und KOSTRA-2000 (DWD, 2005/2006)

In welchem Maße die Folgen der Klimaänderung zu der in Baden-Württemberg in den letzten Jahren beobachteten Häufung von Hochwasserereignissen beigetragen hat, kann derzeit nicht sicher beantwortet werden. Dass die Klimaänderung bereits zu höheren Niederschlägen geführt hat und auch zukünftig mit einer weiteren Erhöhung der Niederschläge und damit auch der Hochwasserabflüsse zu rechnen ist, zeigen allerdings Untersuchungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2005) bzw. des Landes Baden-Württemberg (LfU/LUBW, 2005). Vergleiche der aktuellen KOSTRA-2000 Niederschläge (DWD, 2005/2009) mit den zuvor gültigen KOSTRA-Werten (DWD, 1997) zeigen, dass in Baden-Württemberg bei den Langzeitregen (z.B. 24-Stundenregen) jetzt tendenziell höhere Werte vorliegen (Abbildung 3-8). Ursache hierfür ist die Verlängerung des Messzeitraumes des vom DWD für statistische Auswertungen verwendeten Bezugszeitraumes von bisher 1951-1981 (KOSTRA) auf jetzt 1951-2000 (KOSTRA-2000). Durch die Einbeziehung jüngerer Beobachtungen (1981-2000) werden in den Zeitreihen bereits Jahre mit Veränderungen im Niederschlagsgeschehen (Klimawandel) berücksichtigt.

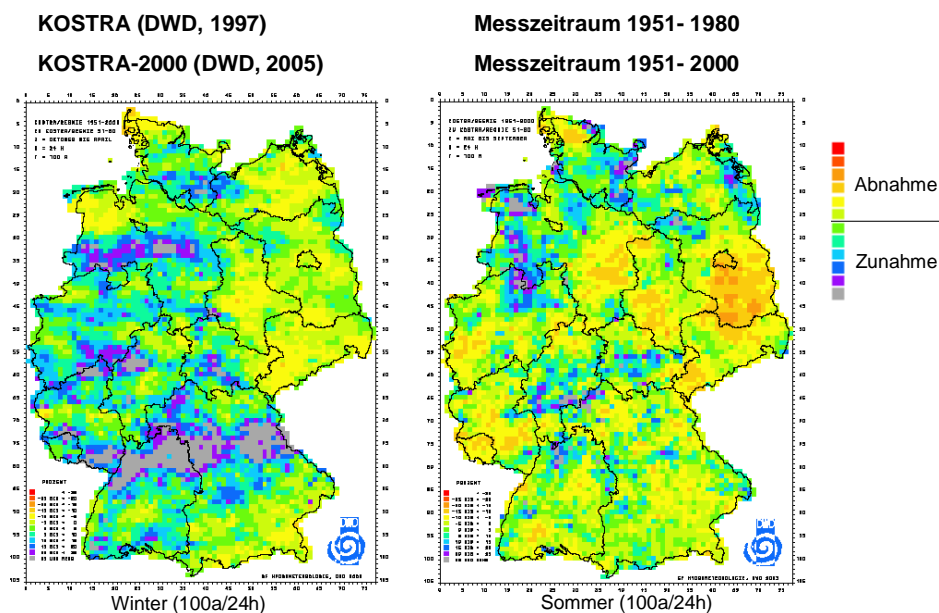


Abbildung 3-8: Vergleich KOSTRA, KOSTRA-2000 (Sommer, Winter) nach DWD (2005)

Die für die meisten Regionen Baden-Württembergs im maßgebenden Winterhalbjahr festgestellte deutliche Erhöhung der Niederschläge durch die neueren KOSTRA-2000 Werte (DWD, 2005/2009) konnte vom DWD zunächst nur für längere Regendauern (z.B. Tageswerte) nachgewiesen werden. Die Ursache hierfür liegt vermutlich in der unterschiedlichen Messnetzdichte (Regenschreiber, Regenmesser) sowie unterschiedlichen meteorologischen Einflussgrößen (Langzeitereignisse, Kurzzeitereignisse). Standen für ca. 3.000 Stationen Tageswerte zur Verfügung, so konnte vom DWD zur Analyse der kurzen Dauerstufen auf nur wenige

Stationen zurückgegriffen werden. Dass vom DWD für die kürzeren Regendauern keine Erhöhungen infolge des Klimawandels nachgewiesen werden konnte, liegt damit wahrscheinlich nur an der unzureichenden Datengrundlage.

Aus der Tatsache, dass vom DWD für die kürzeren Dauerstufen keine Erhöhung der Niederschläge infolge der Klimaänderung festgestellt werden konnte, darf nicht geschlossen werden, dass für diese Ereignisse keine Veränderungen vorliegen. Bei einem Messnetz mit nur sehr wenigen Schreiberstationen treten nur selten Starkregenereignisse auf, bei denen das Zentrum der Gewitterzelle über dem Schreiber liegt. Vom DWD (2005) wird darauf hingewiesen, dass eine abgesicherte extremwertstatistische Auswertung der Kurzzeitniederschläge dem zukünftigen Einsatz radargestützter Bodenniederschlagsverteilungen vorbehalten sein wird (RADOLAN-Projekt).

Anmerkung: Allein aufgrund von physikalischen Überlegungen ist damit zu rechnen, dass die infolge der Klimaänderung stattfindende Temperaturerhöhung auch zu höheren Kurzzeitniederschlägen führen wird (bzw. bereits geführt hat). Dies zeigen in Baden-Württemberg auch Erfahrungen bei der Anpassung hydrologischer Flussgebietsmodelle (KIT, WALD+CORBE). Außerdem traten in den letzten Jahren in vielen Bereichen Baden-Württembergs Niederschlagsereignisse von 1h bis 2h Dauer mit Regenhöhen zwischen 80 mm und 140 mm auf, die sich nicht mehr sinnvoll in die KOSTRA-Tabellen einordnen lassen. Von der LUBW, dem KIT und dem Büro WALD+CORBE wurde eine Aktualisierung der KOSTRA-Regen kurzer Dauerstufen beim DWD angestoßen. Allerdings zeigen auch die neuen KOSTRA-2010R Niederschläge im Einzugsgebiet des Harmersbachs tendenziell keine signifikante Erhöhung der Kurzzeitregen. Es wird daher insbesondere für Bereiche mit maßgebenden Kurzzeitereignissen (kleinere Einzugsgebiete) empfohlen, HW-Schutzmaßnahmen auf einen möglichst hohen Schutzgrad auszulegen.

#### Klimaänderungsfaktoren (LfU/LUBW, 2005)

Untersuchungen im Rahmen des Gemeinschaftsvorhabens der Länder Baden-Württemberg und Bayern, sowie dem Deutschen Wetterdienst „Klimaänderungen und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (KLIWA)“ haben gezeigt, dass Hochwasserereignisse in den letzten 30 Jahren häufiger auftraten und zukünftig aufgrund der Klimaänderung mit einer weiteren Erhöhung der Hochwasserabflüsse zu rechnen ist.

Im Rahmen der KLIWA-Studie durchgeführte Untersuchungen des Büros WALD+CORBE (2004) zeigen, dass bei HW-Schutzkonzepten die Berücksichtigung eines Lastfalls Klimaänderung in den meisten Fällen zu relativ moderaten Kostenerhöhungen führt, wenn dieser Lastfall bereits bei der Planung der Hochwasserschutzmaßnahme berücksichtigt wird. Spätere Anpassungen sind dagegen, insbesondere bei Rückhaltungen, Durchlässen, Brücken oder Verdolungen mit sehr hohen Kosten verbunden.

Im Leitfaden Bemessungshochwasser (LfU/LUBW, 2005) wird daher vorgeschlagen, den Lastfall Klimaänderung im Rahmen der Maßnahmenplanung mit zu untersuchen. Auf der Basis detaillierter Kostenschätzungen ist unter Nutzen-Kosten-Gesichtspunkten abzuwägen, ob eine Auslegung der Maßnahme auf den Lastfall Klimaänderung erfolgen soll. Neben ökonomischen Gesichtspunkten sind dabei immer die Interessen

der Anlieger (Mauerhöhe, etc.), des Naturschutzes sowie Aspekte wie Ortsbild, Landschaftsbild, Machbarkeit usw. bei der Lösungsfindung zu berücksichtigen.

Sind Maßnahmen bzw. Maßnahmengruppen voneinander unabhängig, so kann im Einzelfall über eine Auslegung auf den Lastfall Klimaänderung entschieden werden. Denkbar sind auch Lösungen, bei denen eine Auslegung auf z.B. derzeit 100-jährliche Hochwasserabflüsse erfolgt ( $HQ_{100}$  aus FGM-Berechnung), die Planung eine nachträgliche Anpassung auf den Lastfall Klimaänderung aber zulässt.

Aufgrund von derzeit noch bestehenden großen Unsicherheiten in den Klimamodellen kann die Zunahme der Hochwasserabflüsse allerdings nicht ausreichend sicher quantifiziert werden. Vom Institut für Wasser und Gewässerentwicklung der Universität Karlsruhe (inzwischen KIT) konnten, in Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU/LUBW, 2005), dennoch regionale Klimaänderungsfaktoren abgeschätzt werden (siehe Abbildung 3-10 und Tabelle 3.4). Die derzeitigen Klimaänderungsfaktoren gehen davon aus, dass sich die 100-jährlichen Hochwasserabflüsse im Bereich des Harmersbachs und des Entersbacher Dorfbachs bis zum Jahre 2050 um den Faktor 1,15 erhöhen werden.

Werden HRB-Lösungen an den Lastfall Klimaänderung angepasst, so kann eine Erhöhung des  $HQ_{100}$ -Wertes um 15 % bei gleicher Beckenabgabe zu einem wesentlich höheren Volumen (Vollstau) führen. Insbesondere im Falle von HRB-Lösungen bei denen lediglich der Scheitelbereich der 100-jährlichen Ganglinie zurückgehalten werden soll, führt eine Auslegung auf den Lastfall Klimaänderung (100 Jahre) häufig zu Volumenerhöhungen von weit über 15 %. Abbildung 3-9 zeigt in einem fiktiven Testgebiet exemplarisch für ein 100-jährliches 24-Stundenereignis, dass eine Erhöhung des Scheitels um ca. 15 % zu einer wesentlich größeren Erhöhung der Fülle und damit der benötigten Beckenvolumen führen kann.

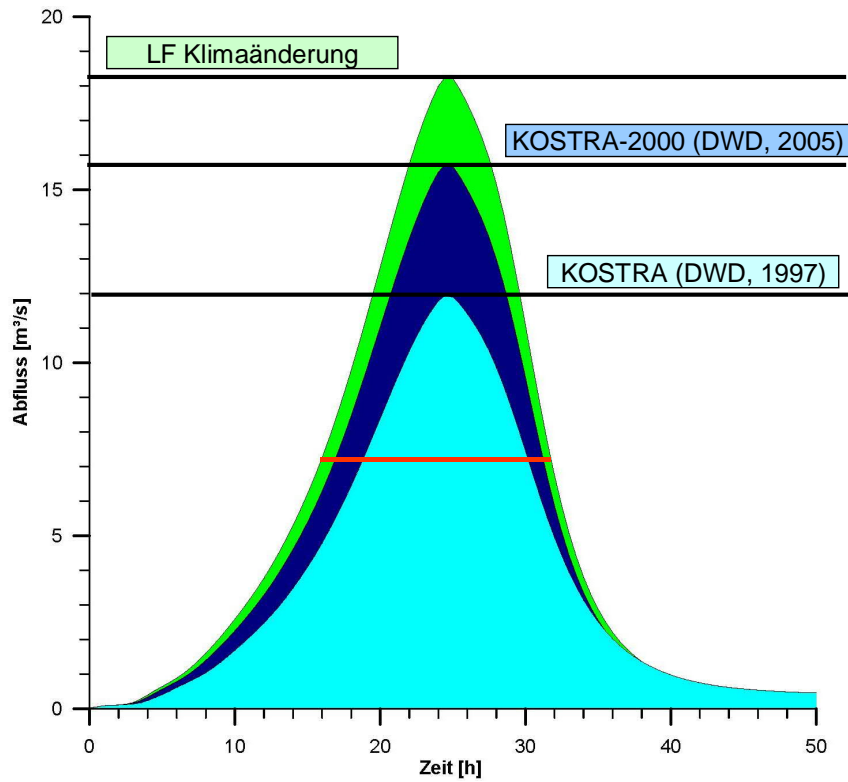


Abbildung 3-9: Vergleich von FGM-Berechnungen (fiktives Testgebiet) aus KOSTRA (DWD, 1997), KOSTRA-2000 (DWD, 2005/2009) und LF Klimaänderung

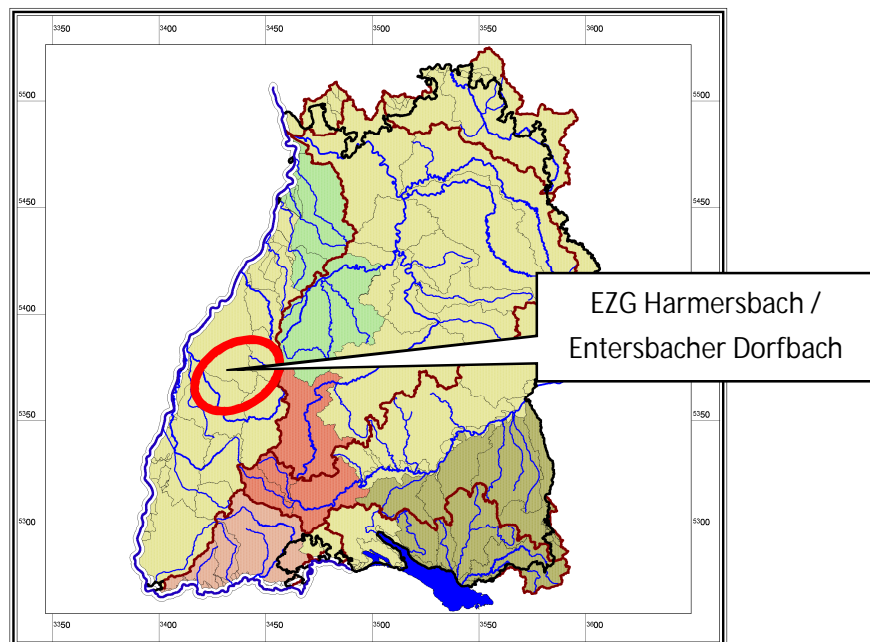


Abbildung 3-10: Regionen mit unterschiedlichen Klimaänderungsfaktoren (LfU/LUBW, 2005)

Tabelle 3.4: Klimaänderungsfaktoren (LfU/LUBW, 2005)

T [Jahre]	Klimafaktoren				
	1	2	3	4	5
2	1,25	1,50	1,75	1,50	1,75
5	1,24	1,45	1,65	1,45	1,67
10	1,23	1,40	1,55	1,43	1,60
20	1,21	1,33	1,42	1,40	1,50
50	1,18	1,23	1,25	1,31	1,35
100	1,15	1,15	1,15	1,25	1,25
200	1,12	1,08	1,07	1,18	1,15
500	1,06	1,03	1,00	1,08	1,05
1000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Bemerkung: für Jährlichkeiten T > 1000 a ist der Faktor gleich 1,0



### 3.8.2 FGM-Nachrechnung des Lastfalls Klimaänderung (T = 100 Jahre)

Da Nachrechnungen des Lastfalls Klimaänderung primär im Hinblick auf die Bemessung von Hochwasserschutzmaßnahmen von Interesse sind, fanden FGM-Berechnungen für den Lastfall Klimaänderung ausschließlich für 100-jährliche Hochwasser statt. Im Untersuchungsraum kann nach LfU/LUBW (2005) davon ausgegangen werden, dass sich der 100-jährliche Hochwasserabfluss bis zum Jahre 2050 um ca. 15 % erhöhen wird. Die 100-jährlichen KOSTRA-2000 Niederschläge wurden in Anlehnung an die im Leitfaden Bemessungshochwasser (LfU/LUBW, 2005) beschriebene Vorgehensweise über einen, für alle Regendauern einheitlichen, N-Faktor so angepasst, dass sich an maßgebenden Gewässerstellen der 100-jährliche HW-Abfluss ( $HQ_{100}$ ) um 15% erhöht ( $HQ_{100Klima}$ ).

Die Anpassung des  $N_{Klima}$ -Faktors (Niederschlagsabminderungsklasse „F“:  $f=1,081$ ; Niederschlagsabminderungsklasse „G“:  $f=1,080$ ; Niederschlagsabminderungsklasse „H“:  $f=1,092$ ; Niederschlagsabminderungsklasse „I“:  $f=1,090$ ; Niederschlagsabminderungsklasse „J“:  $f=1,108$ ) erfolgte iterativ über Testrechnungen mit dem FGM. Als Referenzgewässerstellen wurden für die sehr kleinen Einzugsgebiete (N-Abminderungsklasse „F“) 24 maßgebende Gewässerstellen ausgewählt (FGM-Kn. 335, 736, 811, 818, 865, 935, 978, 1144, 1151, 1233, 1251, 1278, 1323, 1330, 1331, 1381, 1388, 1455, 2112, 2164, 2229, 2263, 2349, 2394), für die kleinen Einzugsgebiete (N-Abminderungsklasse „G“) wurden 16 Gewässerstellen (FGM-Kn. 90, 259, 323, 496, 748, 782, 819, 842, 1203, 1344, 1402, 1569, 2078, 2090, 2104, 2193), für die mittleren Einzugsgebiete (N-Abminderungsklasse „H“) wurden zwei Gewässerstellen (FGM-Kn. 673, 2181), für die großen Einzugsgebiete (N-Abminderungsklasse „I“) wurden sechs Gewässerstellen (FGM-Kn. 788, 1107, 1683, 2218, 2606, 2654) und für die sehr großen Einzugsgebiete (N-Abminderungsklasse „J“) wurde eine Gewässerstelle (FGM-Kn. 2718) betrachtet. Der Anpassung des  $N_{Klima}$ -Faktors lag die FGM-Variante „I0“ (derzeitiger Bebauungszustand; Ist-Zustand) zugrunde. Der so ermittelte Niederschlag (100a Klima) wurde für alle FGM-Varianten verwendet.

## 3.9 Ausarbeitung von Vorschlägen zur Verbesserung des HW-Schutzes in Zell, Unterentersbach und Oberharmersbach (HW-Schutzkonzeption)

Ergibt die Bestandsanalyse, dass in einem (innerörtlichen) Gewässerabschnitt ein unzureichender HW-Schutz vorliegt, so sind im Rahmen einer FGU Vorschläge zur Verbesserung des HW-Schutzes zu entwickeln. Eine Verbesserung des Hochwasserschutzes kann grundsätzlich durch Rückhaltemaßnahmen (HRB, RRB, Retentionsraum), Überleitungen (Abschlag), Gewässerausbaumaßnahmen (Mauern, Schutzdämme, Flutmulden, Bypass, Überleitung, Aufdimensionierung, Aufweitungen, Offenlegungen, Sohltieferlegungen, Objektschutzmaßnahmen, etc.) oder eine Kombination aus Rückhaltung/Ausleitung und Gewässerausbaumaßnahmen/Objektschutzmaßnahmen erfolgen. Zusätzlich können Vorsorgemaßnahmen (HW-Alarm- und Einsatzpläne, Einrichtung von Alarmpegeln, ...) zur Reduzierung von Hochwasserschäden beitragen.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung fand zunächst eine Bestandsanalyse und darauf aufbauend die Ausarbeitung von Vorschlägen zur Verbesserung des HW-Schutzes entlang der der Gewässer mit hydraulischen Berechnungen (Harmersbach, Entersbacher Dorfbach, Holdersbach, Riersbach, Jauschbach, Waldhäuserbach, Außenbereich Brugasse, Außenbereich Hubbächlein, Herrenholzbächle, Knopfholzbächle, Gewässer 90902, Außenbereich 90905, Außenbereich Wintergarten, Gewässer 90920 und 90921) statt. Die Ergebnisse (Hochwasserschutzkonzeptionen) können für die Gewässer der Gemarkung der Stadt Zell und der Gemeinde Oberharmersbach dem jeweiligen Ortslagenheft entnommen werden.

### 3.9.1 Grundsätze für die Entwicklung einer HW-Schutzkonzeption

Hydrologische Berechnungen erlauben zunächst noch keine Aussagen über die sich entlang des Gewässers einstellenden Wasserstände. Dies ist nur durch Berechnungen mit hydraulischen Modellen möglich (siehe Ortslagenheft Oberharmersbach bzw. Zell a.H.). Für die beiden Hauptgewässer Harmersbach (inkl. der Zuflüsse Holdersbach, Riersbach, Jauschbach, Waldhäuserbach, Außenbereich Brugasse, Außenbereich Hubbächlein, Herrenholzbächle, Knopfholzbächle, Gewässer 90902, Außenbereich 90905 und Außenbereich Wintergarten) und Entersbacher Dorfbach (inkl. der Zuflüsse Gewässer 90920 und 90921) wurden Überflutungskarten für Ereignisse unterschiedlicher Jährlichkeiten erstellt. Hydraulische Berechnungen und die Erstellung von Überflutungskarten fanden zunächst für den derzeitigen Ausbauzustand (ohne neue lokale HWS-Maßnahmen, ohne neue Hochwasserrückhaltebecken, ohne evtl. geplante Neubebauungen) statt. Im Rahmen einer Bestandsanalyse wurden entlang der Gewässer die Gewässerleistungsfähigkeiten ermittelt und lokale Schwachstellen identifiziert. Durch die Überflutungskarten verschiedener Jährlichkeiten konnte der derzeitige Hochwasserschutzgrad bestimmt und graphisch anschaulich aufgezeigt werden.

Bei den hydraulischen Berechnungen wird i.d.R. von der vollen Leistungsfähigkeit der Gewässer (ohne Verlegungen, gezogene Schütze, ...) ausgegangen. Insbesondere an den Ortsrändern kann es im Hochwasserfall durch mitgeführtes Treibgut und Geschwemmsel zu Verlegungen kommen. Besonders stark gefährdet sind dabei die Ortsränder (Brücken, Durchlässe,...).

Hochwasserschutzmaßnahmen werden für einen bestimmten Hochwasserschutzgrad bemessen (z.B. 100-jährliches Hochwasser). Bei der Festlegung des maßgebenden Bemessungsereignisses (Schutzgrad) sind Aspekte wie die Kosten der Hochwasserschutzmaßnahmen, das Nutzen-Kosten-Verhältnis, die Machbarkeit (max. Dammhöhe, Mauerhöhe, etc.), das Ortsbild, das Landschaftsbild, die Eigentumsverhältnisse, die Ökologie etc. zu beachten. Hierzu sind Variantenrechnungen mit einer Auslegung der Maßnahmen für verschiedene Jährlichkeiten (z.B. 100-jährliche Hochwasser, 100-jährliche Hochwasser des Lastfalls Klimaänderung) durchzuführen.

Bei Berechnungen mit hydrologischen Flussgebietsmodellen wird davon ausgegangen, dass bei Verwendung geeigneter Randbedingungen (Vorfeuchte, Jahreszeit, etc.) räumlich verteilte Niederschläge einer bestimmten Jährlichkeit, die auf das Einzugsgebiet niedergehen, in den Gewässern Abflüsse bzw. Wasserstände der gleichen Jährlichkeit hervorrufen. Die in einem Gebiet anzusetzenden Bemessungsniederschläge

können z.B. aus dem KOSTRA-2000 Atlas (KOSTRA = Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertung) des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2005/2009) abgeleitet werden. Da es für eine Jährlichkeit (Wiederkehrzeit) in Abhängigkeit von der Niederschlagsdauer aber unterschiedliche Niederschlagshöhen bzw. Niederschlagsintensitäten gibt, müssen je Jährlichkeit immer mehrere Niederschlagsdauern mit dem hydrologischen Flussgebietsmodell untersucht werden, um so die maßgebende Niederschlagsdauer (maximale Abflüsse, maximale Überflutungen, maximale Beckenfüllung) festlegen zu können. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden deshalb 12 Niederschlagsdauern von 0,25 Stunden bis 120 Stunden für die Wiederkehrzeiten von 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1.000, 5.000 und 10.000 Jahren untersucht.

Die Auslegung der HW-Schutzmaßnahmen erfolgte für unterschiedliche Schutzgrade. Schutzgradempfehlungen für innerörtliche Bereiche können dem Leitfaden Bemessungshochwasser (LfU/LUBW, 2005) entnommen werden. Danach ist für die betrachteten innerörtlichen Bereiche ein 50- bis 100-jährlicher Hochwasserschutz anzustreben (Abbildung 3-11). Die endgültige Festlegung des Schutzgrades von Hochwasserschutzmaßnahmen sollte nach LfU/LUBW (2005) allerdings auf der Basis von Nutzen-Kosten Berechnungen erfolgen. Außerdem sollten bei der Schutzgradfestlegung die aus dem neuen WG/WHG (Bauen im Überschwemmungsgebiet) resultierenden Konsequenzen beachtet werden.

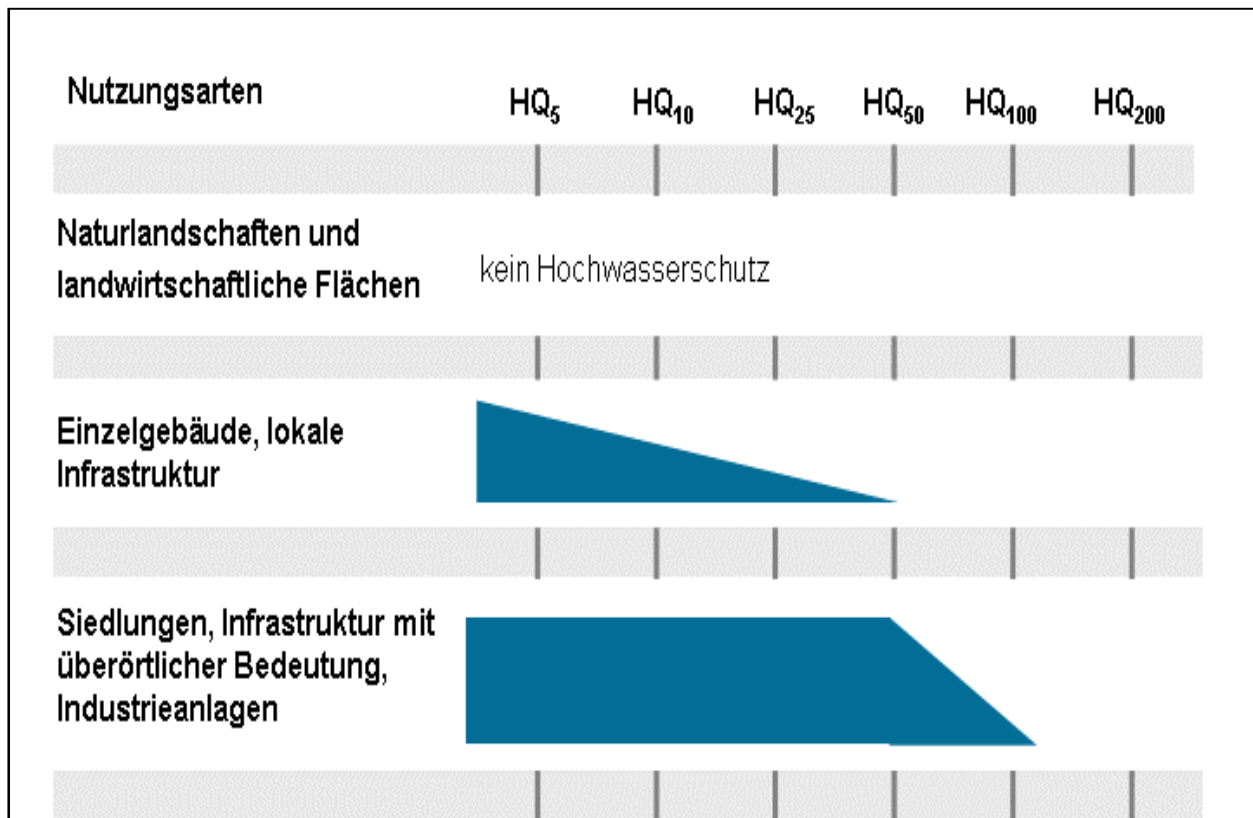


Abbildung 3-11: Schutzgradempfehlung nach LfU/LUBW (2005)

Im Leitfaden Bemessungshochwasser (LfU/LUBW, 2005) wird außerdem empfohlen, bei der Erstellung von Hochwasserschutzkonzeptionen die möglichen wasserwirtschaftlichen Konsequenzen des Klimawandels mit zu untersuchen. Hochwasserschutzmaßnahmen (insbesondere Verdolungen, Durchlässe, Bypasslösungen, Brücken und Rückhaltungen) lassen sich nachträglich oftmals nicht mehr oder nur mit einem sehr hohen finanziellen Aufwand an die infolge der Klimaänderung zu erwartenden, höheren Hochwasserscheitel und Füllen anpassen. Es ist daher zu prüfen, ob die Maßnahmen auf 100-jährliche Hochwasser mit Berücksichtigung eines Klimaänderungsfaktors ausgelegt werden können und eine entsprechende Auslegung ökonomisch sinnvoll ist.

Die Auslegung der entwickelten Hochwasserschutzkonzeptionen erfolgte für unterschiedliche Schutzgrade (Jährlichkeiten). Im Rahmen der Optimierung der Hochwasserschutzkonzeption waren neben den wasserwirtschaftlichen (hydrologischen) Gesichtspunkten auch ökologische, ökonomische und städteplanerische (Ortsbild, Machbarkeit, ...) Aspekte zu berücksichtigen.

Die letztendliche Festlegung des Hochwasserschutzgrades (Berücksichtigung der Folgen der Klimaänderung) kann oftmals erst im Rahmen der Planung erfolgen. Grundsätzlich können dabei auch innerhalb einer Ortslage unterschiedliche Schutzgrade gewählt werden, wenn die Maßnahmen sich nicht gegenseitig beeinflussen.

Im Hinblick auf die noch zu erwartenden Folgen der Klimaänderung wird die Wahl eines möglichst hohen Schutzgrades empfohlen. Zu berücksichtigen ist außerdem, dass mit abnehmender Gebietsgröße die hydrologischen Unsicherheiten (maßgebend sind Sommergewitter, Änderung der Bodennutzungen, anthropogene Eingriffe, ...) ebenso wie die Verlegungsgefährdungen (kleine Durchlässe) immer mehr zunehmen.

Mit dem Vorliegen der Hochwassergefahrenkarten sind nicht nur die gefährdeten Bereiche bekannt. Nach dem neuen Landeswassergesetz (§65 WG) sind die ermittelten 100-jährlichen Überflutungsflächen (HWGK-Karten) Überschwemmungsgebiete. In Überschwemmungsgebieten ist nach WHG §78 die Ausweisung neuer Baugebiete bzw. die Errichtung und Erweiterung baulicher Anlagen untersagt. Dies hat große Konsequenzen für die Städte und Gemeinden bzw. die betroffenen Grundstückseigentümer. Nach §78 WHG sind Maßnahmen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes in Überschwemmungsgebieten allerdings zulässig. Es ist jedoch nachzuweisen (§78 WHG), dass diese Maßnahmen zu keiner Verschlechterung für die Allgemeinheit (Ober- und Unterlieger) führen. Damit ist die Verbesserung des HW-Schutzes nicht nur aufgrund eines unzureichenden Schutzgrades, sondern auch aus städtebaulicher Sicht anzustreben.

Aufgrund der großen Gemarkungsflächen und Vielzahl an Gewässern wird eine zeitnahe Umsetzung aller ausgearbeiteten Maßnahmen für die Kommunen kaum machbar sein. Außerdem können im Rahmen einer FGU nicht alle Gewässer untersucht werden. Vorgesehen ist daher eine Umsetzung über einen Prioritätenliste. Berücksichtigt werden dabei u.a. das Schadenspotenzial oder der Schutzgrad. Aber auch Aspekte wie anstehende Sanierungen (Straßen, Brücken, Gewässer, ...), Renaturierungen, städtebauliche Aspekte, der Einfluss der Maßnahmen auf die Unterlieger, mögliche Förderungen oder abgelaufene Schadensereignisse sind in der Umsetzungsreihenfolge einzubinden. Aufgrund der hohen Schadenspotenziale (s. HW 1991) sollten Maßnahmen an den Hautgewässern eine hohe Priorität erhalten.

In die vorliegende FGU (HW-Schutzkonzepte) sind dabei immer wieder neu gewonnene Erkenntnisse einzupflegen. So ist die Erstellung von Starkregengefahrenkarten nach dem Landesleitfaden anzustreben und die Erfahrungen aus abgelaufenen HW-Ereignissen bzw. Detailuntersuchungen in die Konzepte zu integrieren.

### 3.10 Grobe Kostenschätzung (Kostenannahmen) der Maßnahmen (Kostenrahmen)

Mit dem hydrologischen Flussgebietsmodell kann die Wirkung von Rückhaltemaßnahmen untersucht, über hydraulische Modellrechnungen kann die Wirkung von Gewässerausbaumaßnahmen oder Überleitungen aufgezeigt werden. Zur Festlegung einer optimierten Hochwasserschutzkonzeption wurden unterschiedliche Maßnahmenkombinationen miteinander verglichen. Bei der Entwicklung einer optimierten Hochwasserschutzlösung sind neben wasserwirtschaftlichen auch ökologische und ökonomische Aspekte zu berücksichtigen. Aber auch städtebauliche Gesichtspunkte (Ortsbild, etc.), aktuelle Planungen (Brückensanierungen, etc.) und die vorliegenden Eigentumsverhältnisse müssen mit einbezogen werden.

Um die unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten optimale Lösungsvariante zu ermitteln, sind Kostenschätzungen (Kostenannahmen) für alle Einzelmaßnahmen erforderlich. Für alle im Rahmen der Untersuchung vorgeschlagenen Einzelmaßnahmen sowie für zahlreiche Alternativlösungen fanden grobe Abschätzungen der Maßnahmenkosten (Bruttogesamtkosten) statt. Dabei handelt es sich um grobe Kostenschätzungen im Rahmen einer Konzeptionsentwicklung (Kostenrahmen), die immer mit Unsicherheiten behaftet sein können. Genauere Kostenangaben sind erst im Rahmen der Planung auf der Grundlage ergänzender Informationen (Vermessung, Geotechnik, Leitungserkundung, Abstimmung der Maßnahmen mit der Stadt/Gemeinde, dem LRA und den Anliegern, etc.) möglich.

### 3.11 Nutzen-Kosten-Untersuchung (NKU)

Das Land Baden-Württemberg fördert Hochwasserschutzmaßnahmen nach den Förderrichtlinien Wasserwirtschaft (FrWw). Eine wesentliche Voraussetzung für eine Förderung ist der Nachweis der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen. Dies muss im Rahmen einer Nutzen-Kosten-Untersuchung nachgewiesen werden.

Um die Wirtschaftlichkeit der entwickelten Hochwasserschutzmaßnahmen aufzeigen zu können, muss der Nutzen der Maßnahmen ermittelt und den Kosten der Maßnahmen gegenübergestellt werden. Grundlage für eine kostenmäßige Abschätzung des Nutzens der geplanten Hochwasserschutzkonzeption sind Abschätzungen der durch die Maßnahmen verhinderten Schäden. Um diese angeben zu können, müssen zunächst aus den Wassertiefenkarten, die an den Einzelgebäuden auftretenden Überflutungswasserstände für den derzeitigen Zustand ohne Maßnahmen für unterschiedliche Wiederkehrzeiten ( $T = 10, 20, 50, 100, 200$  Jahre) erhoben werden. Bei der für solche Untersuchungen i.d.R. gewählten mikroskaligen Vorgehensweisen wird für jedes potenziell gefährdete Gebäude unter Berücksichtigung der unterschiedlichen gebäude-

spezifischen Merkmale eine Wasserstands-Schadens-Funktion (W-S-Funktion) auf der Grundlage der HO-WAS-Datenbank der LAWA ermittelt. Dabei werden ggf. auch die Erfahrungen (bekannte Schäden) bei abgelaufenen Hochwassern berücksichtigt. Aus den je Gebäude vorliegenden Wasserständen  $HW_T$  und der W-S-Funktion kann der bei einem T-jährlichen Hochwasser ( $T = 10, 20, 50, 100, 200$  Jahre) an den Einzelgebäuden auftretende Schaden bestimmt werden. Aufsummiert über alle Einzelgebäude liegt der bei einem T-jährlichen Hochwasser auftretende Gesamtschaden vor. Für Nutzen-Kosten-Betrachtungen werden Angaben zum mittleren jährlichen Schaden benötigt. Dieser kann aus den Schäden  $T = 10$ -,  $20$ -,  $50$ -,  $100$ - und  $200$ -jähriger Hochwasserereignisse abgeleitet werden. Der mittlere Schaden pro Jahr (Schadenserwartungswert) wird durch Integration der Schäden und ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit berechnet.

Der Nutzen der Hochwasserschutzmaßnahmen entspricht den verhinderten Schäden. Zukünftig können durch die Maßnahmen alle Hochwasser die „kleiner oder gleich“ dem Bemessungshochwasser (z.B. 100-jährliches Hochwasser LF-Klima) sind weitgehend schadlos abgeleitet werden. Der Nutzen der Maßnahme (= verhinderte Schäden) kann aus den Schadensberechnungen abgeleitet werden.

Dem Nutzen sind die Kosten für die vorgeschlagene Hochwasserschutzkonzeption (Investitionskosten und Kosten für Unterhaltung und Betrieb) gegenüberzustellen. Hierzu ist eine finanzmathematische Aufbereitung der anfallenden Maßnahmenkosten bezogen auf eine Nutzungsdauer von ca. 80 Jahren (Vorgabe nach den KVR-Leitlinien der LAWA) erforderlich. Man erhält damit den Kostenbarwert bzw. die mittleren jährlichen Kosten, bezogen auf einen festgelegten Untersuchungszeitraum, der sich an den Nutzungsdauern der Anlagen orientiert. In der Regel werden für solche Wasserbaumaßnahmen Untersuchungszeiträume von 80 bis 100 Jahren gewählt. Aus Nutzenbarwert und Projektkostenbarwert (Nutzen-Kosten-Verhältnis) kann auf die Wirtschaftlichkeit der Hochwasserschutzkonzeption geschlossen werden.

Die Durchführung einer Nutzen-Kosten-Untersuchung ist nur dann sinnvoll, wenn von den Kommunen eine Umsetzung von HW-Schutzmaßnahmen angestrebt wird und die Aussicht auf eine Förderung grundsätzlich besteht. Nutzen-Kosten-Untersuchungen sind daher i.d.R. lediglich optional im Angebot der Flussgebietsuntersuchung enthalten (Bedarfsposition). Angedacht ist seitens der Kommunen eine stufenweise Umsetzung der Maßnahmen. Nutzen-Kosten-Untersuchungen für die im Rahmen der FGU Harmersbach ausgearbeiteten Maßnahmen sollen im Rahmen der Maßnahmenplanungen durchgeführt werden.

Anmerkung: die oben beschriebenen mikroskaligen Nutzen-Kosten-Untersuchungen auf der Basis von HO-WAS-Daten wurde von WALD+CORBE in den letzten Jahren vielfach erfolgreich durchgeführt. Vom Land wird zur Vereinheitlichung der Vorgehensweise bei Nutzen-Kosten-Untersuchung derzeit ein Leitfaden erstellt. Dieser steht derzeit allerdings noch nicht verfügbar, so dass NKU ggf. noch mit der oben beschriebenen Methodik erfolgen.

### 3.12 Dokumentation der Untersuchungsergebnisse

Die Gesamtuntersuchung „FGU-Harmersbach“ umfasst für die Stadt Zell a.H. bzw. die Gemeinde Oberharmersbach das gesamte Einzugsgebiet des Harmersbachs sowie des Entersbacher Dorfbachs jeweils bis zur

Einmündung in die Kinzig. Die Dokumentation der Ergebnisse der Flussgebietsuntersuchung erfolgt in Form einer umfangreichen Berichtsmappe mit zahlreichen Anlagen. In den Tabellen, Karten und Grafiken der Anlagen werden die Untersuchungsergebnisse detailliert beschrieben. Die Untersuchungsergebnisse wurden so aufbereitet, dass sie langfristig für Planungszwecke oder weiterführende Untersuchungen genutzt werden können.

Die das Gesamteinzugsgebiet betreffenden Ergebnisse (hydrologische Grundlagen, allgemeines Vorgehen, ...) wurden in einem gemeinsamen Erläuterungsbericht mit zahlreichen Anlagen dokumentiert. Die Ergebnisse der Bestandsanalyse und der daraus resultierenden HWS-Konzeption wurden getrennt für die Stadt Zell a.H. und die Gemeinde Oberharmersbach) in jeweils einem separaten Ortslagenheft dokumentiert.





## 4. Hydrologisches Flussgebietsmodell für das Einzugsgebiet Harmersbach / Entersbacher Dorfbach

### 4.1 Einführung in die Flussgebietsmodellierung

Für die hydrologischen Berechnungen wurde das Softwarepaket des Instituts für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) der Universität Karlsruhe/KIT verwendet (Ihringer, 2005). Eingesetzt wurde das Programm FGM, mit dem eine flächendetaillierte Niederschlag-Abfluss-Modellierung für komplexe Flussgebiete möglich ist. Verwendet wird die FGM-Version V7.1.

Der Einsatz dieses Programms erfordert die Gliederung des betrachteten Gesamtsystems mit Hilfe von sogenannten Gewässerknoten („FGM-Knoten“) in Teileinzugsgebiete und Gewässerabschnitte. Mittels mathematischer Modellansätze wird dann für jedes Teileinzugsgebiet, das an den Knoten angeschlossen ist, der Niederschlag-Abfluss-Prozess nachgebildet. Der Abfluss an einem „Knoten“ ergibt sich in den Modellrechnungen durch Überlagerung der Zuflussganglinie des am Knoten angeschlossenen Einzugsgebietes mit den Zuflussganglinien eventuell oberstromiger Knoten. Zwischen zwei Gewässerknoten kann die Verformung der Abflussganglinie entlang der Gewässerstrecke (Flood-Routing), eine Gewässerverzweigung (Abschlag) und der Einfluss eines Rückhalteraaumes (HRB, Polder, Retentionsraum, etc.) modelliert werden. Mit dem hydrologischen Flussgebietsmodell „FGM-Harmersbach“ sollten u. a. folgende Aussagen getroffen bzw. Punkte bearbeitet werden:

- Simulation von statistischen Hochwasserereignissen der Jährlichkeiten  $T = 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1.000, 5.000, 10.000$  Jahre für 12 verschiedene Niederschlagsdauern  $T_D = 15$  Minuten bis 120 Stunden
- Simulation von 100-jährlichen Hochwasserereignissen des LF-Klimaänderung für 12 verschiedene Niederschlagsdauern  $T_D = 15$  Minuten bis 120 Stunden
- Ermittlung von Abflussscheitelwerten  $HQ_T$
- Ermittlung von  $HQ_T$ -Werten (Modellinput) für die hydraulischen Modelle
- FGM-Prognoserechnungen mit Berücksichtigung möglicher Hochwasserrückhaltebecken. Optimierung von HRB-Lösungen (Volumen, Abgabe, Jährlichkeit des Bemessungsereignisses)

### 4.2 Analyse des N-A-Verhaltens und Anpassung von Regionalisierungsmodellen (Abflussbildung, Abflusskonzentration)

Für die Nachbildung des Niederschlag-Abfluss-Verhaltens in Flussgebietsmodellen sind Regionalisierungsmodelle (Abflussbildung, Abflusskonzentration) an den Untersuchungsraum anzupassen. Die Parameter der Modelle sind dabei so zu wählen, dass das N-A-Verhalten möglichst gut nachgebildet wird.

Um eine möglichst gute Anpassung des Flussgebietsmodells an die regionsspezifischen Eigenschaften des Untersuchungsgebiets zu erreichen, wurde eine Regionalisierung der hydrologischen Parameter (Abflussbildung, Abflusskonzentration) durchgeführt. Als erster Schritt erfolgte eine Analyse ausgewählter Hochwasserereignisse für das Einzugsgebiet des Pegels Zell/Harmersbach. Dabei wurden die Abflussbeiwerte und Einheitsganglinien von abgelaufenen Einzelereignissen bestimmt. Darauf aufbauend wurden Regionalisierungsmodelle zur Ermittlung von Abflussbeiwert (Koaxialdiagramm) und Einheitsganglinie (modifizierter Lutz-Ansatz) an die Abflussverhältnisse des Untersuchungsraumes (dominierende Gesteine) angepasst.

#### 4.2.1 Auswahl an HW-Ereignissen, hydrologisches Messnetz

Ausgewählt wurden zur Anpassung und Verifikation des hydrologischen Modells aus den kontinuierlichen Aufzeichnungen des Pegels Zell/Harmersbach zunächst 95 Hochwasserereignisse aus dem Zeitraum der Jahre November 1967 bis März 2015 für den Abflusswerte in einer zeitlichen Diskretisierung von einer Stunde vorlagen. Für diesen Zeitraum standen an den Niederschlagsstationen im Bereich des Harmersbach-Einzugsgebiets zumindest Niederschlagstageswerte zur Verfügung. Ab 28.10.2004 liefert die Niederschlagsstation Oberharmersbach Stundenwerte des Niederschlags (vgl. Kapitel 2.4), so dass für 31 HW-Ereignisse Stundenwerte des Niederschlags vorlagen. Für jedes dieser Ereignisse wurde aus den Regenschreiber- bzw. Regenmesseraufzeichnungen der Gebietsniederschlag (zeitlicher Verlauf) des Pegel-einzugsgebietes ermittelt.

Da bei der Einheitsganglinienanalyse gegenüber der Abflussbeiwertanalyse wesentlich schärfere Anforderungen an die Anpassungsgüte (zeitlicher N-Verlauf) gestellt werden, unterscheidet sich die Anzahl verwendeter Ereignisse. Zu berücksichtigen ist dabei, dass in den eingesetzten Regionalisierungsverfahren (Abflussbildung, Abflusskonzentration) eine unterschiedliche Anzahl an Modellparametern anzupassen sind. Sind beim modifizierten Lutz-Ansatz (Abflusskonzentration) zwei Parameter anzupassen, so sind es bei Koaxialdiagrammen (Abflussbildung) fünf. Für eine gute Anpassung von Koaxialdiagrammen werden daher wesentlich mehr Ereignisse benötigt.

#### 4.2.2 Allgemeine Grundlagen zur Analyse und Regionalisierungsmodell-anpassung

Als erster Schritt erfolgte eine Analyse der ausgewählten 95 historischen Hochwasserereignisse. Dabei wurden die Abflussbeiwerte (Gebietsrückhalt) und Einheitsganglinien der Einzelereignisse bestimmt. Anschließend wurden Regionalisierungsmodelle zur Ermittlung von Abflussbeiwert (Koaxialdiagramm) und Einheitsganglinie (modifizierter Lutz-Ansatz) an die Abflussverhältnisse der Region angepasst. Die Analyse des N-A-Verhaltens (Abflussbildung, Abflusskonzentration) erfolgte nicht mit dem flächendetaillierten Flussgebietsmodell, sondern für das ganze Pegel-einzugsgebiet. Dies hat den Vorteil, dass eventuelle Unsicherheiten z.B. des FGM-Bausteins Flood-Routing die Analyseergebnisse (Abflussbildung, Abflusskonzentration) nicht beeinflussen.

#### 4.2.3 Abflussbildung (mittlerer Abflussbeiwert, Gebietsrückhalt)

Der mittlere Abflussbeiwert eines abgelaufenen Hochwassers kann aus der am Pegel „gemessenen“ Abflussganglinie und dem Gebietsniederschlag des Pegel Einzugsgebiets abgeleitet werden. Der mittlere Abflussbeiwert entspricht dabei dem Verhältnis von Direktabflussvolumen zur gefallenem Niederschlagsmenge. Die Analyse eines Einzelereignisses mit Abtrennung des Basisabflusses und ermitteltem Effektivniederschlagsverlauf zeigt exemplarisch die Abbildung 4-1.

Aus der Analyse abgelaufener Hochwasser lassen sich Ereigniskenngößen ermitteln, über die das Abflussbildungsverhalten beschrieben werden kann. Die koaxialgraphische Darstellung stellt dabei eine nichtlineare Beziehung zwischen dem Gebietsrückhalt und den ereignisabhängigen Größen Vorfeuchte (Basisabfluss), Jahreszeit (Monat), Niederschlagsdauer und Niederschlagshöhe dar. Für die Anpassung der Modellparameter von Koaxialdiagrammen werden sehr viele Einzelereignisse benötigt. Oftmals werden in der Praxis daher Pegel geologisch vergleichbarer Regionen zusammengefasst und ihr Verhalten über ein mittleres Koaxialdiagramm einer Region beschrieben. Die Berücksichtigung räumlich unterschiedlicher Bodennutzungsverhältnisse oder geologischer Unterschiede einzelner FGM-Teileinzugsgebiete kann nach Göppert (1995) über den Endabflussbeiwert  $c$  ( $c_{EG}/c_{KOAX}$ ) erfolgen.

Zur Berechnung des Abflussbeiwertes (Gebietsrückhaltes) und der im Koaxialdiagramm berücksichtigten Ereigniskenngößen wurde das Programm UHSP (Ihringer, 2005) eingesetzt.

Für den Pegel Zell/Harmersbach liegen kontinuierliche Abflusszeitreihen als Stundenwerte seit November 1967 vor (Anmerkung: für den Zeitraum vor November 1967 liegen lediglich Abfluss-Tageswerte vor). Für den Zeitraum 1967 bis heute wurden für die Analyse des Abflussverhaltens der Region 95 Hochwasserereignisse ausgewählt. In einer ersten Plausibilisierungsphase wurden 15 dieser Ereignisse verworfen (insbesondere schneebeeinflusste Ereignisse mit Abflussbeiwert  $\Psi > 1,0$ ), so dass für die weitere Analyse 80 Ereignisse zur Verfügung standen.

Ergänzend zu den Ereignissen am Pegel Zell/Harmersbach standen aus anderen Untersuchungen ca. 470 Ereignisse in den geologisch vergleichbaren Regionen Dreisam, Elz und Schutter zur Verfügung. Somit konnte auf der Basis von über 500 Einzelereignissen ein Koaxialdiagramm zur Ermittlung des Gebietsrückhaltes angepasst werden. In der Tabelle 5.4 sind die für die „Region Harmersbach“ optimierten Koaxialdiagrammparameter zusammengestellt.

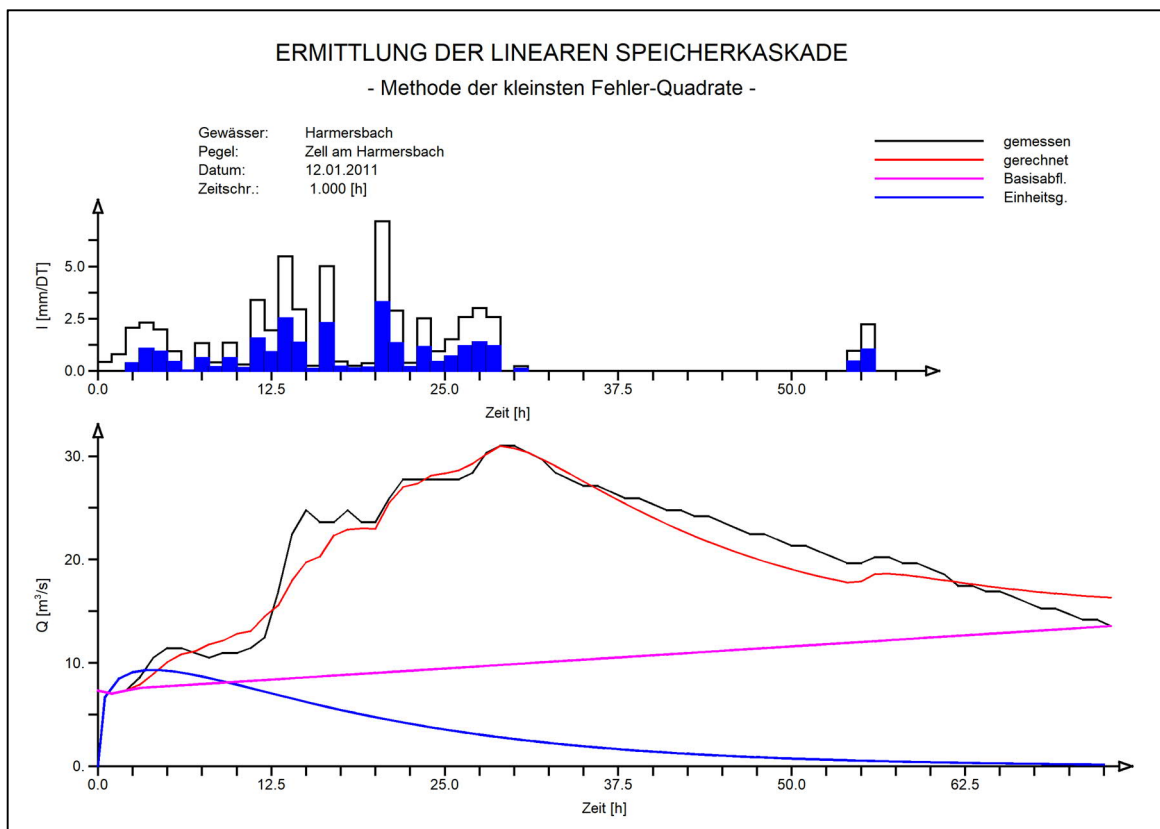


Abbildung 4-1: Analyse des N-A-Verhaltens – Beispiel Pegel Zell/Harmersbach, HW vom 12.01.2011

Tabelle 4.1: Koaxialdiagrammparameter für die Region Harmersbach

$a_k$ [-]	$b_k$ [-]	$c_k$ [-]	$d_k$ [-]	$e_k$ [-]
124,9	21,64	-0,00642	0,0000	-0,00566

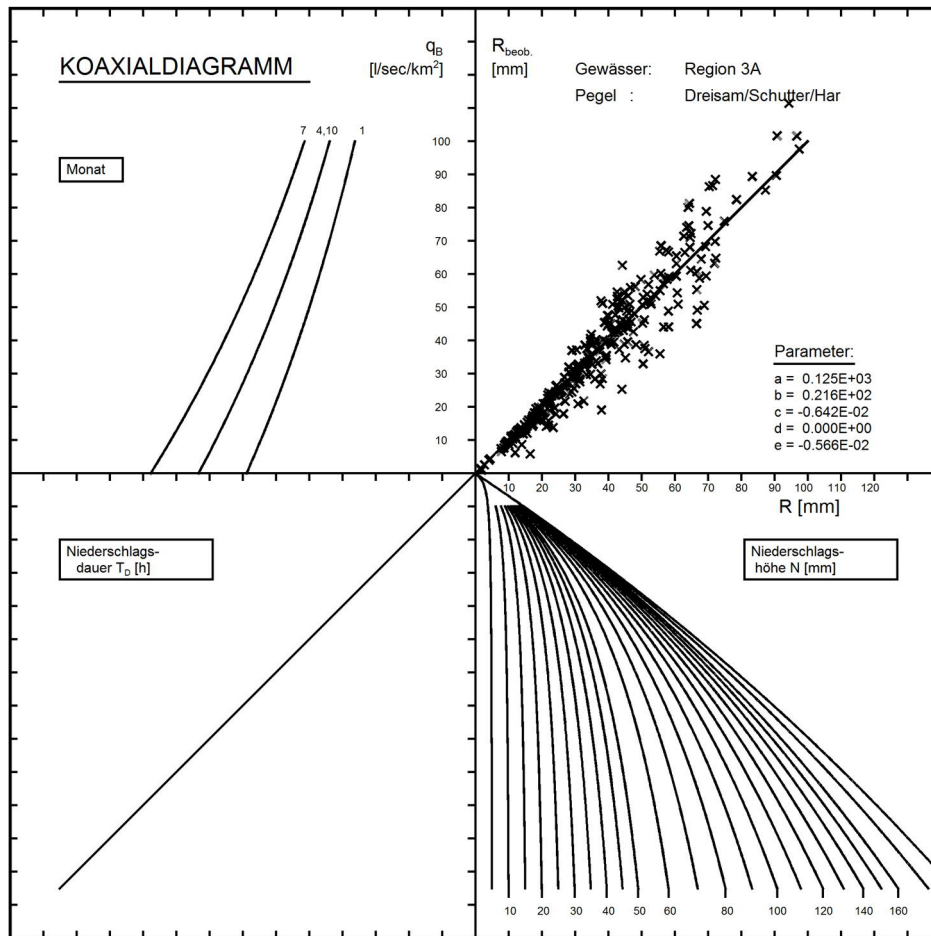


Abbildung 4-2: Koaxialdiagramm der Region Harmersbach

#### 4.2.4 Abflusskonzentration (Einheitsganglinie)

Zur Analyse des Abflusskonzentrationsverhaltens der Landflächen wurden für 31 Einzelereignisse, für die Stundenwerte des Niederschlags vorlagen, Einheitsganglinien über das Kleinste-Fehler-Quadrate-Verfahren angepasst. Als Form der Einheitsganglinien wurden Lineare Speicherkaskaden gewählt. Damit liegen je Ereignis die Einheitsganglinienkenngrößen Scheitelanstiegszeit  $t_A$  und Scheitelmaximum  $u_{max}$  vor.

Zur Beschreibung des Abflusskonzentrationsverhaltens wurde der modifizierte Lutz-Ansatz (Lutz, 1984; Göppert, 1995) verwendet. Aus den Analyseergebnissen (Scheitelanstiegszeit  $t_A$ , Scheitelmaximum  $u_{max}$ ) können die Parameter des modifizierten Lutz-Ansatzes P1 und  $u_{kor}$  ermittelt werden.

Die Einheitsganglinienanpassungen reagieren empfindlich auf Unsicherheiten (Fehler) in der räumlich-zeitlichen Niederschlagserfassung. Mit dem verfügbaren Messnetz (nur 1 Regenschreiber im 103,2 km<sup>2</sup> Einzugs-

gebiet des Pegels Zell/Harmersbach) können insbesondere bei lokalen Sommergewittern die Niederschlagsverhältnisse bei der Betrachtung ganzer Pegelzugsgebiete nur stark vereinfacht beschrieben werden. Auch die vorliegende Diskretisierung der Niederschläge und Abflüsse in Form von Stundenwerten kann bei Einzelereignissen zu Fehleinschätzungen führen. Allerdings sind im verwendeten modifizierten Regionalisierungsansatz nach Lutz (Abflusskonzentration) nur zwei Parameter ( $P1$ ,  $u_{kor}$ ) anzupassen, so dass bereits wenige Ereignisse mit guter Erfassung (plausible Scheitelanstiegszeit  $t_A$  und Scheitelwert  $u_{max}$ ) für eine Modellanpassung ausreichen.

Teilweise ergaben sich bei der Analyse jedoch unplausibel kleine Scheitelanstiegszeiten, so dass für die endgültige Ableitung der Einheitsganglinienkenngößen letztendlich nur neun Ereignisse berücksichtigt wurden. Die Ursache der sich z.T. ergebenden kleinen Scheitelanstiegszeiten wird in der Lage des Niederschlagschreibers im Oberlauf des Harmersbachs sowie der Fließrichtung des Harmersbachs entgegen der Hauptwindrichtung vermutet. Daher fand über FGM-Nachrechnungen eine abschließende Feinabstimmung des  $u_{kor}$  und  $P1$ -Wertes statt. Für die Region Harmersbach ergaben sich folgende Parameter des modifizierten Lutz-Ansatzes:

Tabelle 4.2 Parameter des modifizierten Lutz-Ansatzes

Geologie	P1	$u_{kor}$
Metamorphe Gesteine	0,14	0,70
Buntsandstein	0,18	0,60

### 4.3 Aufbau und Anpassung des „Flussgebietsmodells-Harmersbach“

Mit dem hydrologischen Flussgebietsmodell (FGM) sollen HW-Abflüsse ( $HQ_T$ -Werte) bzw. HW-Ganglinien von Ereignissen ausgewählter Jährlichkeiten ( $T$ ) und Regendauern ( $T_D$ ) für die weiterführenden hydraulischen Berechnungen an maßgebenden Gewässerstellen bereitgestellt werden. Außerdem dient das Flussgebietsmodell der Optimierung von Rückhaltelösungen (mögliche HRB-Standorte). Aufgebaut und angepasst wurde für das bis zur Einmündung in die Kinzig ca.  $A_E = 105 \text{ km}^2$  große Gesamteinzugsgebiet des Harmersbachs sowie das bis zur Einmündung in die Kinzig ca.  $A_E = 10 \text{ km}^2$  große Gesamteinzugsgebiet des Entersbacher Dorfbachs ein flächendetailliertes hydrologisches Flussgebietsmodell (FGM-Harmersbach), mit dem all diese Fragen beantwortet werden können.

#### 4.3.1 Räumliche Gliederung (Einzugsgebietsgrenzen der Landflächen)

Im hydrologischen Flussgebietsmodell Harmersbach wird das Niederschlag-Abfluss-Verhalten einer Vielzahl von Teileinzugsgebieten und Gewässerabschnitten getrennt nachgebildet. Im hydrologischen

Flussgebietsmodell können so die einzelnen HW-Abflüsse ( $HQ_T$ -Werte) bzw. T-jährlichen HW-Ganglinien für die darauf aufbauenden hydraulischen 1D- bzw. 2D-Modelle detailliert erfasst und ausgegeben werden. Detailliert nachzubilden waren insbesondere die hydraulisch untersuchten Hauptgewässer Harmersbach und Entersbacher Dorfbach sowie die hydraulisch untersuchten Seitengewässer des Harmersbach und Entersbacher Dorfbachs (Harmersbach: Holdersbach, Riersbach, Jauschbach, Waldhäuserbach, Außenbereich Brugasse und Außenbereich Hubbächlein, Herrenholzbächle, Knopfholzbächle, Gewässer 90902, Außenbereich 90905 und Außenbereich Wintergarten; Entersbacher Dorfbach: Gewässer 90920 und 90921). Neben diesen Seitengewässern wurden im hydrologischen Modell noch zahlreiche weitere Seitengewässer (Lindebach, Rossbach, Wickersbach, Frickenbach, Ottenbach, Engelbächlein, Jedensbach, Hagenbach, Kolbenlochbach, Erbsengrundbächlein, Kirnbach, Hippersbach, Hinterhambach, ...) getrennt berücksichtigt. Erfasst werden im Flussgebietsmodell außerdem die Gewässerstellen der erkundeten möglichen Beckenstandorte.

Das im Flussgebietsmodell nachgebildete Gesamteinzugsgebiet des Harmersbachs umfasst bis zur Mündung in die Kinzig eine Fläche von ca.  $A_E = 105 \text{ km}^2$ , das Einzugsgebiet des Entersbacher Dorfbachs umfasst bis zur Mündung in die Kinzig eine Fläche von ca.  $A_E = 10 \text{ km}^2$ . Das Einzugsgebiet wurde über die Wasserscheiden (Einzugsgebietsgrenzen) auf der Grundlage eines digitalen Geländemodells in Teileinzugsgebiete unterteilt. Verwendet wurde hierzu das hochaufgelöste, auf einer Laserscannerbefliegung basierende DGM des Landes (1 m x 1 m Raster).

Bei sehr kleinen Einzugsgebieten (z.B. Außengebiete der Ortsentwässerung) kann das Abflussgeschehen stark von anthropogenen Eingriffen beeinflusst sein (Straßengräben, Entwässerungsräben, Durchlässe, Wegenetz, Verwallungen, Verdolungen, Straßenquerneigung, etc.). Solch kleinräumige Strukturen werden vom DGM oftmals nicht erfasst. Es fanden daher im Rahmen der Untersuchung Ortsbegehungen zur Festlegung der Wasserscheiden, Abflussverzweigungen und Fließwege statt. Ergänzt werden diese um die Ergebnisse der hydraulischen Modellrechnungen.

Die im Flussgebietsmodell erfassten Teileinzugsgebiete und deren Einzugsgebietsgrenzen zeigt die Übersichtskarte (Abbildung 4-3; Anlage A.1.1). Die FGM-Struktur kann der Systemskizze entnommen werden (Bereich Ortslage Oberharmersbach: Abbildung 4-4 und Abbildung 4-5; Bereich Ortslage Zell: Abbildung 4-6 bis Abbildung 4-8; Bereich Ortslage Unterentersbach: Abbildung 4-9; Die komplette Systemskizze befindet sich in Anlage A.1.2).

Im Untersuchungsgebiet stehen unterschiedliche Gesteine (Metamorphe Gesteine, Rotliegendes, Magmatite, Mittlerer und Unterer Buntsandstein, Mittlerer Buntsandstein bis Broeckelschiefer, Junge Talfüllungen und Löß(lehm)) an. Frühere Untersuchungen in hydrologisch (geologisch) vergleichbaren Gebieten haben gezeigt, dass das Abflussverhalten im Untersuchungsraum dadurch stark von den unterschiedlichen geologischen Verhältnissen beeinflusst wird. Dies bestätigen auch die im Untersuchungsraum für die anstehenden Geologieklassen von LUBW/KIT ermittelten Landschaftsfaktoren LF des  $HQ_T$ -Regionalisierungsverfahrens. Die Landschaftsfaktoren sind dabei ein Maß für die Abflussbereitschaft eines Gebietes. Stehen in einem FGM-Einzugsgebiet (Landfläche) unterschiedliche Gesteine an (Metamorphe Gesteine, Rotliegendes,

Magmatite, Mittlerer und Unterer Buntsandstein, Mittlerer Buntsandstein bis Broeckelschiefer, Junge Talfüllungen und Löß(lehm)), so findet im Flussgebietsmodell FGM-Harmersbach eine getrennte (flächenproportionale) Nachbildung des N-A-Verhaltens der einzelnen Geologieteilflächen über getrennte FGM-Knoten statt. Der Gesamtabfluss aus einem Einzugsgebiet (Landfläche) ergibt sich durch Überlagerung der Teilganglinien der im Gebiet vorkommenden (anstehenden) Geologieklassen.

Im Einzugsgebiet des Harmersbachs liegen mit den Ortslagen von Oberharmersbach, Zell und Nordrach sowie im Einzugsgebiet des Entersbacher Dorfbachs mit der Ortslage von Unterentersbach größere bebaute Flächen mit einer getrennten Entwässerung über das Kanalnetz. Soweit Daten für die Ortsentwässerung zur Verfügung standen, fand je Einleitung eine getrennte Nachbildung im hydrologischen Modell statt. Für die Ortslagen von Oberharmersbach, Zell und Unterentersbach lagen Ortsentwässerungsdaten vor, die jedoch teilweise veraltet oder lückenhaft waren. Für die Ortslage von Nordrach standen keine Ortsentwässerungsdaten zur Verfügung. Für die Bereiche, für die keine Daten zur Verfügung standen, fand eine vereinfachte FGM-Nachbildung statt. Die bebauten Bereiche wurden jeweils über eigene FGM-Knoten im Modell erfasst. Die Kenngrößen (bebaute Fläche, Einleitstelle) wurden hierzu auf der Basis von Kartengrundlagen abgeschätzt. Die für eine vereinfachte FGM-Nachbildung noch fehlenden Kennwerte wie Versiegelungsgrade und Fließzeiten, ... wurden über Erfahrungswerte abgeschätzt.

Der Einfluss der im Untersuchungsraum ansonsten vorkommenden versiegelten Flächen der Landeinzugsgebiete (Wegenetz, Parkflächen, Einzelgebäude, ...) wurde in den verwendeten Regionalisierungsansätzen (Abflussbildung, Abflusskonzentration) pauschal über den Bebauungsgrad berücksichtigt.



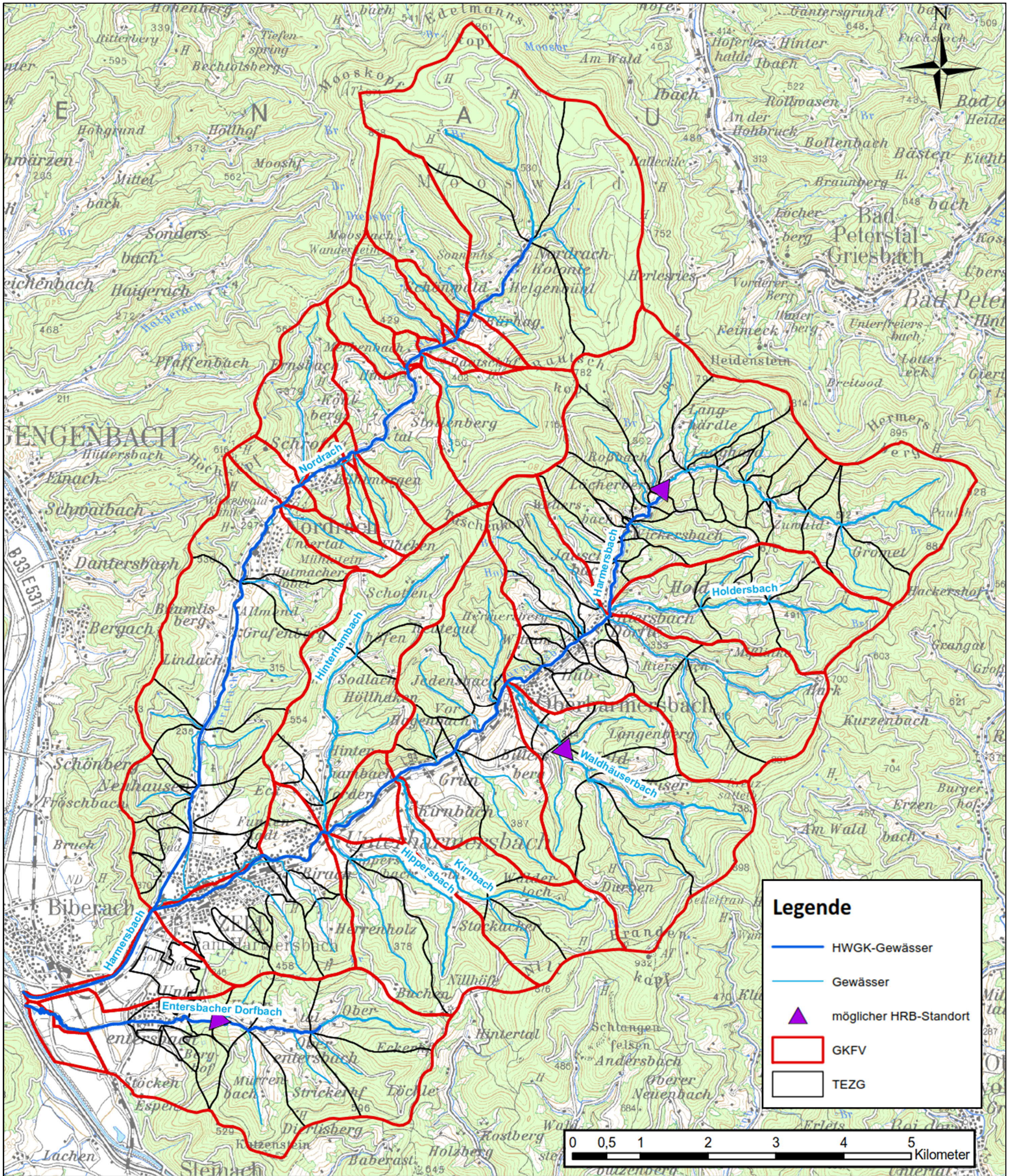


Abbildung 4-3: Übersichtskarte des FGM-Harmersbach



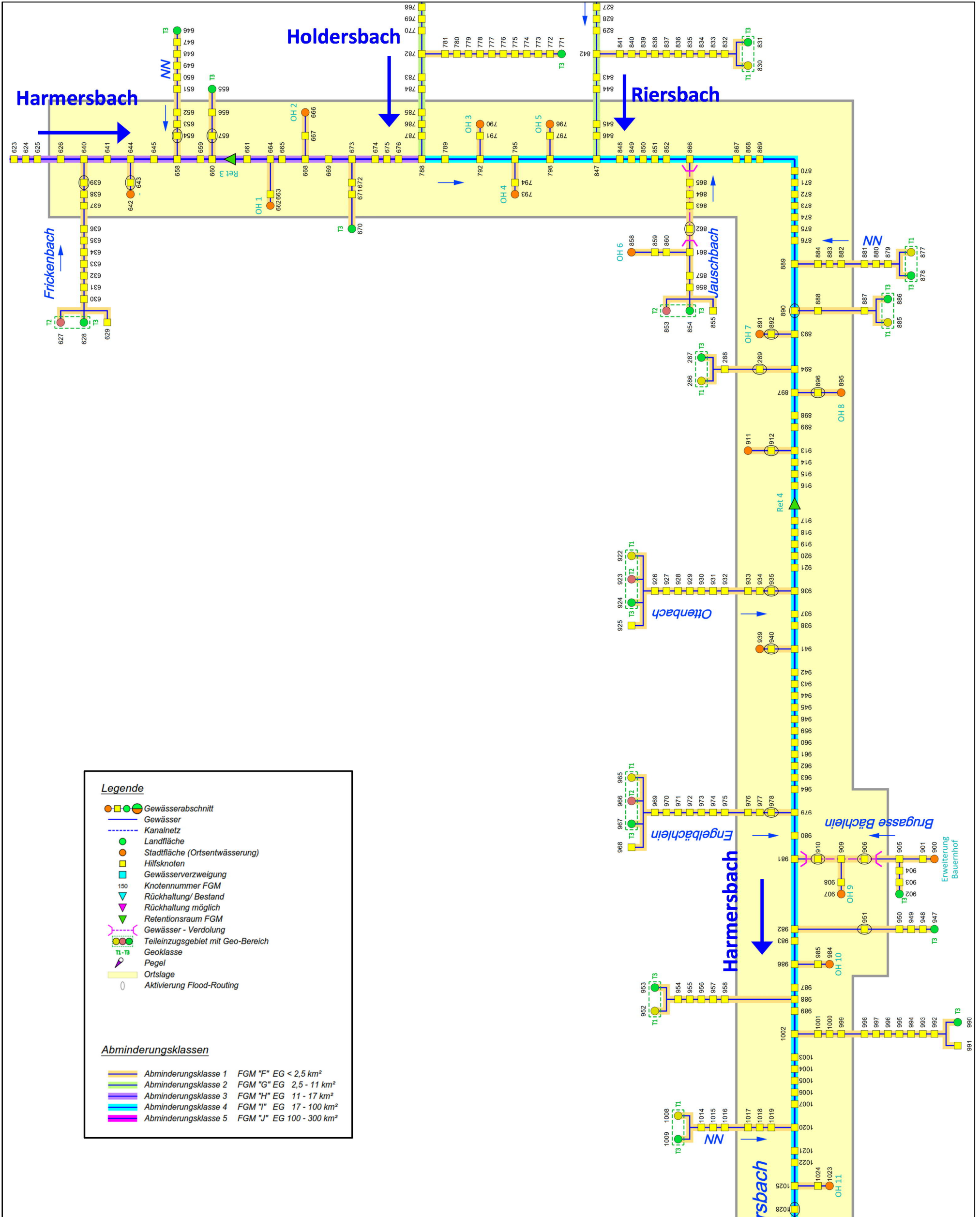


Abbildung 4-4: FGM-Harmersbach – Systemskizze Bereich Ortslage Oberharmersbach (Teil 1)



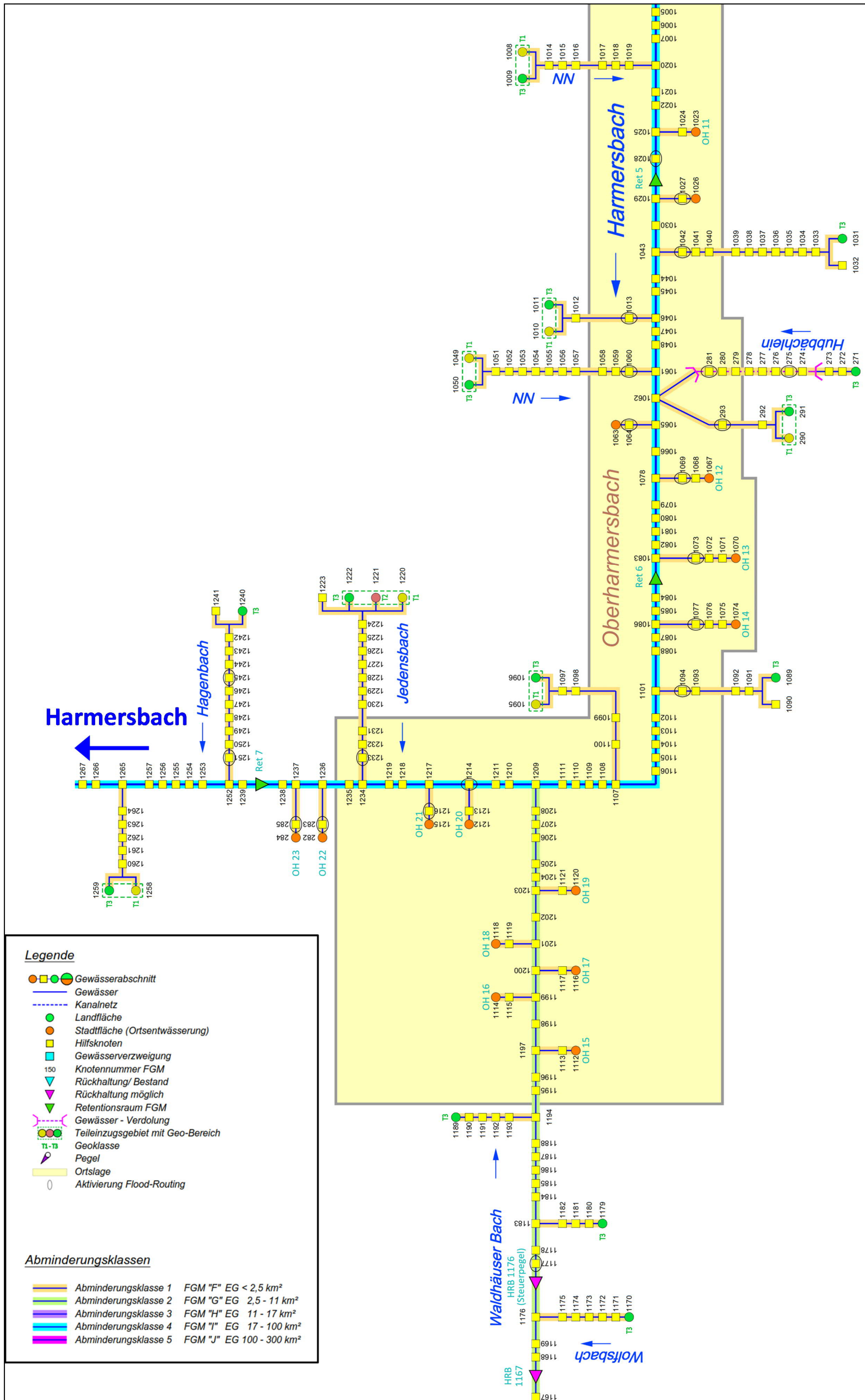


Abbildung 4-5: FGM -Harmersbach – Systemskizze Bereich Ortslage Oberharmersbach (Teil 2)



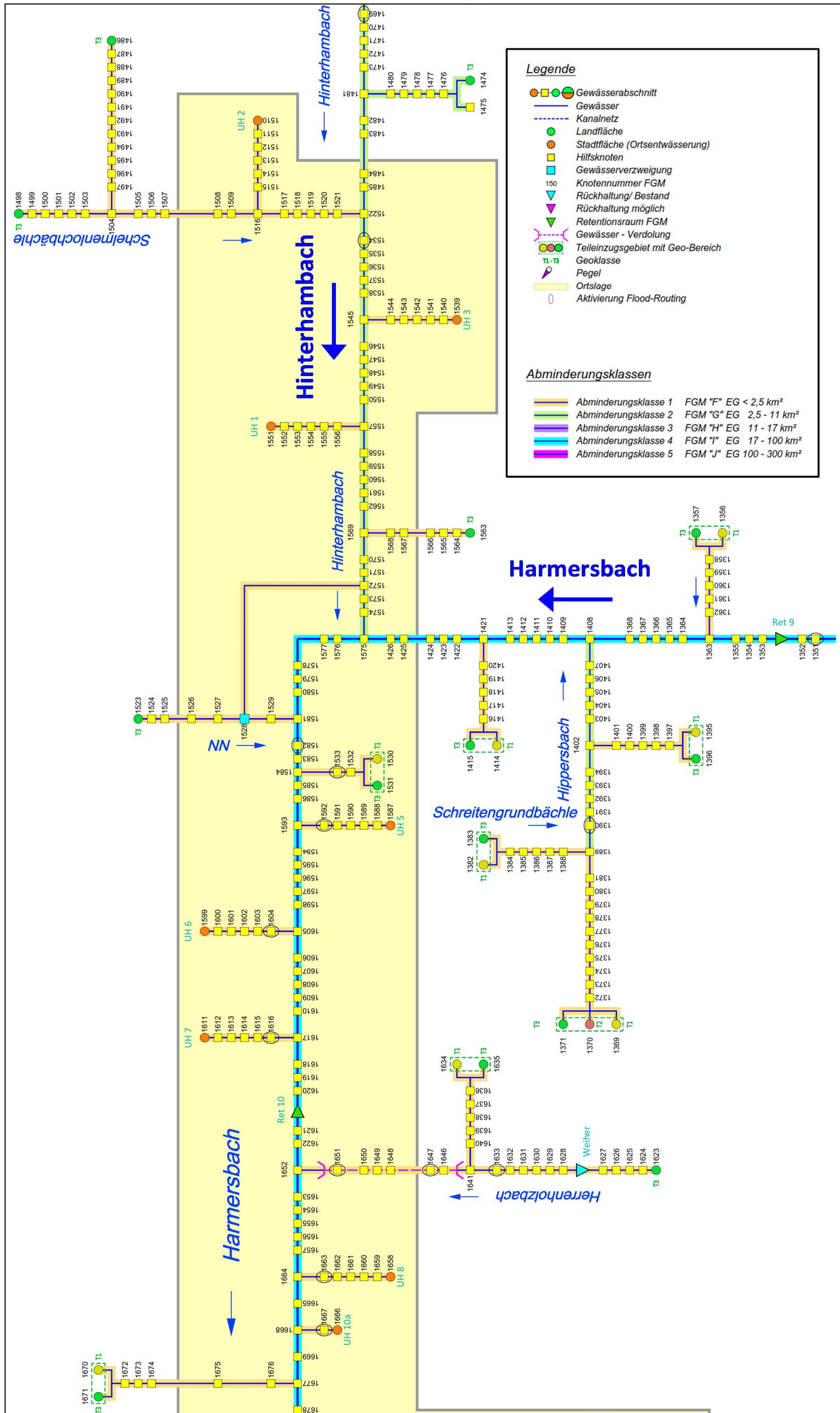


Abbildung 4-6: FGM-Harmersbach – Systemskizze Bereich Ortslage Zell (Teil 1)





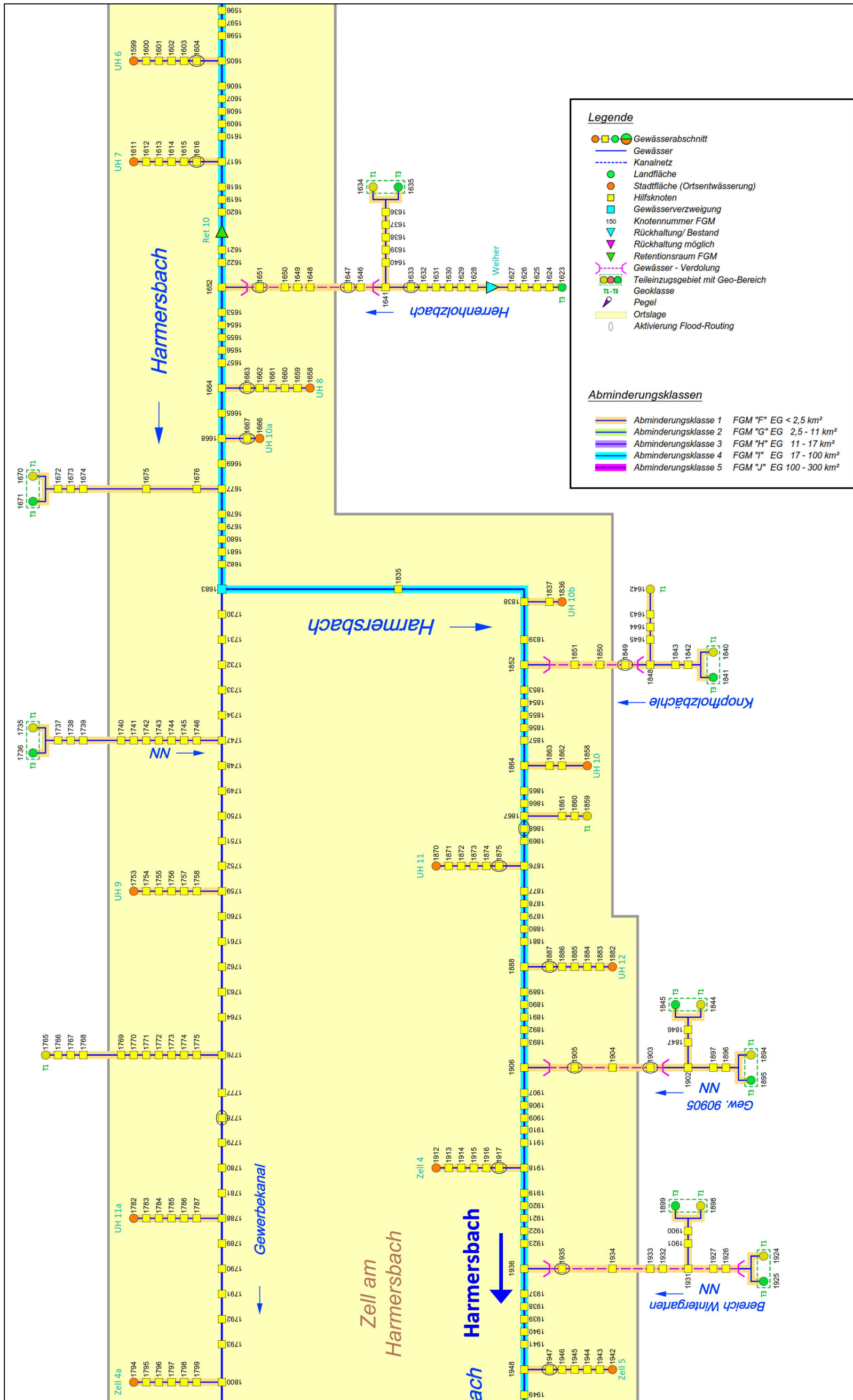


Abbildung 4-7: FGM-Harmersbach – Systemskizze Bereich Ortslage Zell (Teil 2)



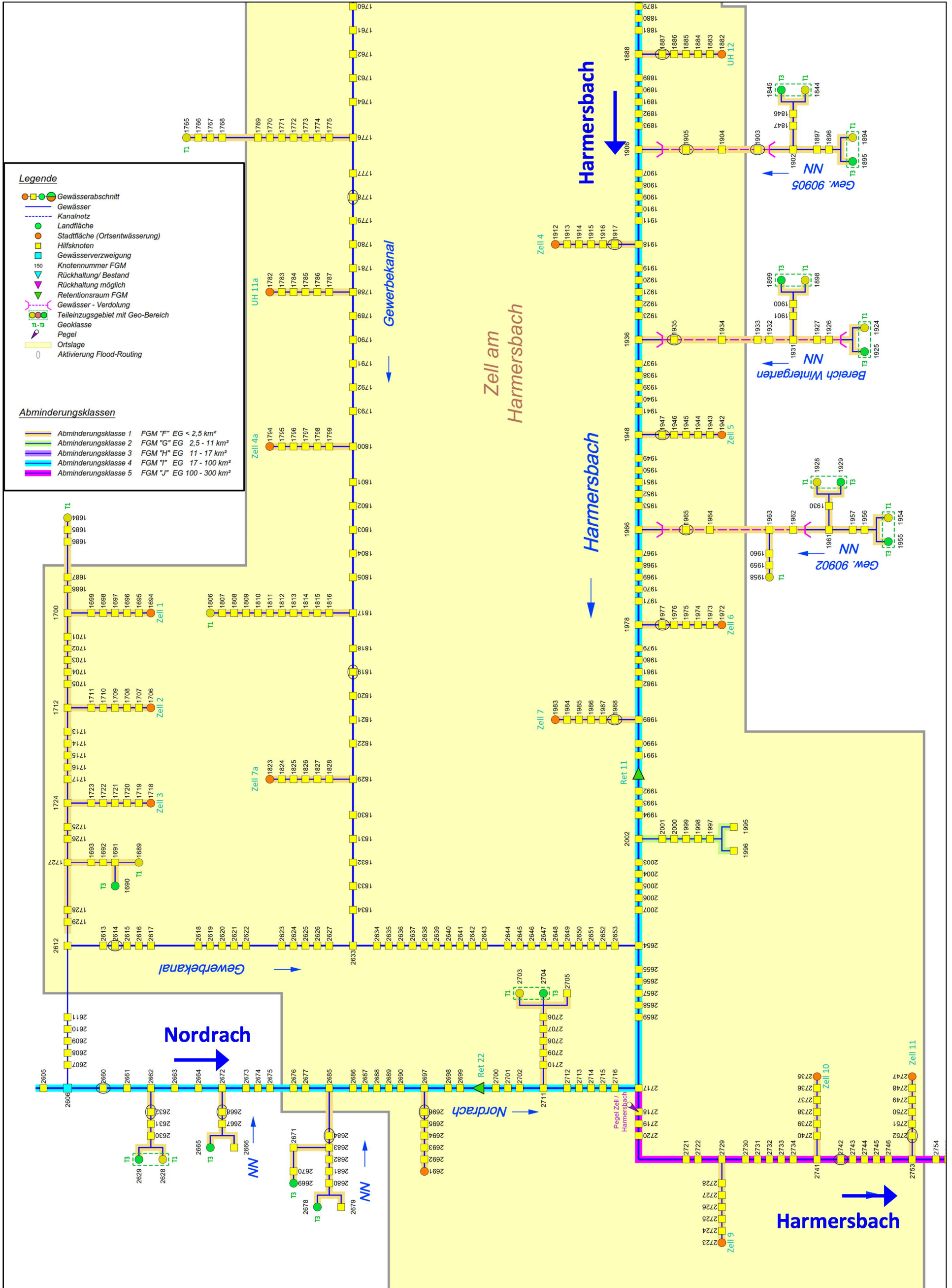


Abbildung 4-8: FGM-Harmersbach – Systemskizze Bereich Ortslage Zell (Teil 3)



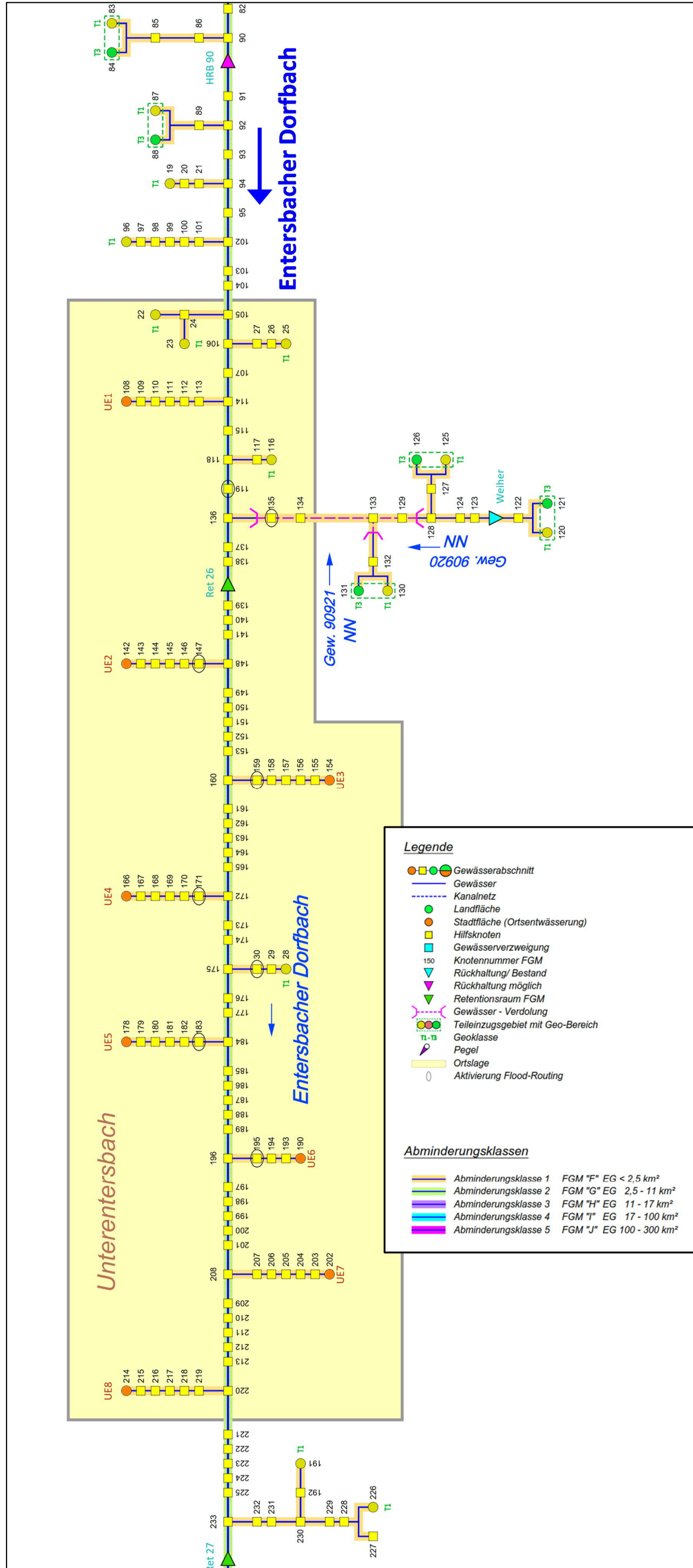


Abbildung 4-9: FGM-Harmersbach – Systemskizze Bereich Ortslage Unterentersbach



#### 4.3.2 Ermittlung von Gebietskenngrößen der Landflächen

Im hydrologischen Flussgebietsmodell (FGM) wird das Niederschlag-Abfluss-Verhalten von 159 Landeinzugsgebieten getrennt nachgebildet (eigene FGM-Knoten/Einzugsgebiete). Einige dieser Einzugsgebietsflächen werden, wie bereits im vorigen Kapitel beschrieben, über die Geologie nochmals weiter untergliedert, so dass im FGM das N-A-Verhalten von insgesamt 253 natürlichen Teilflächen getrennt simuliert wurde.

Für jedes der Landeinzugsgebiete waren zunächst die in die verwendeten Regionalisierungsansätze (Abflussbildung, Abflusskonzentration) einfließenden Gebietskenngrößen ( $A_E$ ,  $L$ ,  $L_C$ ,  $I_G$ ) auf der Grundlage digitaler Karten bzw. eines digitalen Geländemodelles zu bestimmen.

Bei der Nachbildung des Niederschlag-Abfluss-Verhaltens im Flussgebietsmodell werden auch Angaben zu den, in den Einzugsgebieten vorliegenden Bodennutzungsverhältnissen (Bebauungsanteil  $U$ , Waldanteil  $W$ , etc.), Böden (Bodentyp) und geologischen Verhältnissen (Geologiekategorie, Landschaftsfaktor) benötigt. Die in den einzelnen Teileinzugsgebieten vorliegenden Verhältnisse (Bodennutzung, Boden, Geologie, Landschaftsfaktoren) wurden ebenfalls aus digitalen Kartengrundlagen entnommen (siehe Übersichtskarten der Anlage A.2) bzw. aus früheren Untersuchungen in Referenzgebieten mit Pegelmessungen abgeleitet.

In einigen Einzugsgebieten variieren die geologischen Verhältnisse. D.h. es stehen im Einzugsgebiet unterschiedliche Gesteine (Geologieklassen) an. Im Flussgebietsmodell findet eine getrennte Nachbildung des Abflussverhaltens der Geologieklassen statt. D.h. es werden unterschiedliche Regionalisierungsmodelle eingesetzt. Allerdings liegen nicht für jede im Untersuchungsgebiet vorkommende Gesteinsart über Pegel angepasste Regionalisierungsmodelle vor. Die anstehenden Gesteine wurden daher über den Landschaftsfaktor zu Geologieklassen mit jeweils einheitlichen Regionalisierungsmodellparametern zusammengefasst. Für die drei im Untersuchungsraum vorkommenden Geologieklassen (Typ 1: Löß, Lößlehm und Junge Talfüllungen, Typ 2: Mittlerer Buntsandstein bis Broeckelschiefer und Mittlerer und Unterer Buntsandstein, Typ 3: Paläozoische Magmatite, Metamorphe Gesteine und Rotliegendes) liegen jeweils eigene, über Pegelmessungen angepasste, Regionalisierungsmodelle (Abflussbildung, Abflusskonzentration) vor.

Einzugsgebiete des FGM-Harmersbach mit mehreren Geologieklassen wurden flächenanteilig in mehrere Teilflächen (FGM-Knoten) unterteilt. Da die räumliche Struktur der einzelnen Geologieklassen (anstehendes Gestein) i.d.R. nicht den Wasserscheiden (Fließwegen) entspricht, wurden die Gebietskenngrößen  $L$ ,  $L_C$ ,  $I_G$  für die FGM-Einzugsgebiete (Landfläche) ermittelt und diese Werte einheitlich für die einzelnen Geologie-Teilflächen angesetzt. Die Gebietskenngrößen  $U$  und  $W$  wurden für jede Teilfläche getrennt bestimmt. Die Unterteilung innerhalb eines Einzugsgebiets erfolgt im Flussgebietsmodell über die Flächenanteile der im Einzugsgebiet vorkommenden Geologieklassen.

Neben den versiegelten und über die Kanalnetze entwässernden Flächen (Ortsentwässerungen) sind in Landeinzugsgebieten i.d.R. zahlreiche weitere versiegelte Teilbereiche vorhanden. Der Einfluss der Versiegelung (Straßen- und Wegflächen, Parkplätze, Einzelgebäude, etc.) wird in den verwendeten Regionalisierungsansätzen (Abflussbildung, Abflusskonzentration) pauschal über den Bebauungsgrad berücksichtigt. Aus den digitalen Kartengrundlagen wurden hierzu Angaben zu den bebauten Anteilen der Landflächen ( $U$ ) abgeleitet.

#### 4.3.3 Verwendete Regionalisierungsmodelle (Abflussbildung, Abflusskonzentration) und Ereigniskenngrößen

Das Einzugsgebiet des Harmersbachs sowie des Entersbacher Dorfbachs wurde zur Nachbildung des N-A-Verhalten in die Bereiche der drei dominierenden anstehenden Gesteine (Geologieklassen) unterteilt. Es handelt sich dabei um die Lössflächen sowie die Jungen Talfüllungen (Typ 1: LF=35/40), die Flächen des Mittleren Buntsandsteins bis Bröckelschiefer Formationen sowie die Flächen des Mittleren und Unteren Buntsandsteins (Typ 2: LF=60/80) und die Flächen der Paläozoischen Magmatite, dem Rotliegenden sowie den Metamorphen Gesteinen (Typ 3: LF=90/95/100).

Die Lössflächen und die Jungen Talfüllungen besitzen dabei einen deutlich niedrigeren LF-Wert, als z.B. die Flächen des Mittleren und Unteren Buntsandsteins. Sie weisen daher eine deutlich geringere Abflussbereitschaft auf. Die höchsten Abflüsse sind im Untersuchungsraum aus den Flächen der Paläozoischen Magmatite, dem Rotliegenden sowie den Metamorphen Gesteinen zu erwarten, die noch deutlich über den LF-Werten der Flächen des Mittleren und Unteren Buntsandsteins liegen.

Für die drei dominierenden Geologieklassen werden in den verwendeten Regionalisierungsmodellen (Abflussbildung, Abflusskonzentration) einheitliche Verfahren mit jeweils unterschiedlichen Parametersätzen aus Referenzgebieten verwendet. Die Ermittlung des mittleren Abflussbeiwerts erfolgt dabei über Koaxialdiagramme, die Ermittlung des Anfangsverlustes und des Abflusskonzentrationsverhaltens über den modifizierten Lutz-Ansatz. Die verwendeten Modellparameter können der Anlage A.2.1 entnommen werden.

Abflussbildung: Mittlerer Abflussbeiwert  $\psi_m$  (Gebietsrückhalt R)

Der mittlere Abflussbeiwert eines historischen Hochwassers kann aus der am Pegel „gemessenen“ Abflussganglinie und dem Gebietsniederschlag des Pegelinzugsgebiets abgeleitet werden. Der mittlere Abflussbeiwert entspricht dabei dem Verhältnis von Direktabflussvolumen zur gefallenem Niederschlagsmenge. Aus der Analyse abgelaufener Hochwasser lassen sich für einzelne Pegel Ereigniskenngrößen ermitteln, über die das Niederschlag-Abfluss-Verhalten in Regionalisierungsmodellen (Abflussbildung, Abflusskonzentration) beschrieben werden kann. Die koaxialgraphische Darstellung stellt dabei eine nichtlineare Beziehung zwischen dem Gebietsrückhalt und den ereignisabhängigen Größen Vorgefeuchte (Basisabfluss), Jahreszeit (Monat), Niederschlagsdauer und Niederschlagshöhe dar.

Die Übertragung der mit dem Koaxialdiagramm ermittelten Abflussbeiwerte auf die FGM-Teileinzugsgebiete erfolgt über den Endabflussbeiwert ( $C_{EG}/C_{KOAX}$ ). Damit werden Bodennutzung und Bodentyp berücksichtigt. Die Bodennutzung der einzelnen FGM-Einzugsgebiete kann aus dem vorliegenden digitalen Bodennutzungskarten abgeleitet werden. Der Bodentyp wurde in Anlehnung an die Referenzuntersuchungen bzw. die anstehenden Gesteine (Geologiekategorie: LF-Wert) gewählt.



Abflusskonzentration: Einheitsganglinie (modifiziertes Regionalisierungsverfahren nach Lutz)

Zur Beschreibung des Abflusskonzentrationsverhaltens der Landflächen wurde der modifizierte Lutz-Ansatz (Lutz, 1984, Göppert 1995) verwendet. Durch die Analyse an Pegeln der Referenzgebiete gemessener Hochwasser (Scheitelanstiegszeit  $t_A$ , Scheitelmaximum  $u_{max}$ ) können die Parameter des modifizierten Lutz-Ansatzes  $P1$  und  $u_{kor}$ , die das Abflusskonzentrationsverhalten einer Region beschreiben, ermittelt werden.

### Ereigniskenngrößen

Neben den Modellparametern der verwendeten Regionalisierungsansätze (Koaxialdiagramm, Lutz-Ansatz) sind für FGM-Nachrechnungen statistischer Niederschlagsereignisse auch zahlreiche Ereigniskenngrößen festzulegen. Die zentrale Eingangsgröße ist dabei der Bemessungsregen  $N(T, T_D)$ . Verwendet wurden die KOSTRA-2000 Bemessungsniederschläge des DWD (2005). Maßgebend sind im Untersuchungsraum dabei fünf KOSTRA-Rasterelemente (18/89, 18/90, 19/88, 19/89, 19/90). Anmerkung: die zwischenzeitlich vorliegenden KOSTRA-2010R Werte wurden ausgewertet und mit den KOSTRA-2000 Werten verglichen. Aufgrund geringer Abweichungen (kleiner Toleranzbetrag) wurden analog zu den Referenzgebieten die im Rahmen der FGM-Anpassung/Plausibilisierung eingesetzten KOSTRA-2000 Werte weiter verwendet (s. Kapitel 3.7.2).

Für die Modellrechnungen sind neben dem Niederschlag noch weitere Ereigniskenngrößen wie die Jahreszeit (Monat) oder der zeitliche Verlauf des Niederschlages bzw. des Abflussbeiwertes festzulegen. Diese Ereigniskenngrößen wurden je Geologiekategorie in Anlehnung an die Flussgebietsuntersuchungen der Referenzgebiete festgelegt (siehe Anlage A.2.1).

Berücksichtigung unterschiedlicher Geologieklassen, Referenzgebiete und Feinabstimmung des Modells  
Liegt in einem FGM-Teileinzugsgebiet nur eine dominierende Gesteinsart vor (Metamorphe Gesteine, Magmatite, Mittlerer und Unterer Buntsandstein...), so können die Regionalisierungsmodelle / Modellparameter (Abflussbildung, Abflusskonzentration) und Ereigniskenngrößen direkt aus den entsprechenden Referenzgebieten entnommen werden. Bei Einzugsgebieten, in denen mehrere Gesteinsarten anstehen („Mischgebiete“), fand eine flächenproportionale Unterteilung des Gebietes statt. Solche Mischgebiete wurden entsprechend den Geologieflächenanteilen in bis zu drei Teilflächen (FGM-Knoten) unterteilt. N-A-Modellrechnungen fanden getrennt für die Geologie-Teilflächen mit den jeweils zugehörigen Regionalisierungsmodellen statt. Dies ermöglicht auch für Mischgebiete eine realistische Beschreibung des N-A-Verhaltens. Da die geologischen Grenzen meist nicht den Fließwegen entsprechen, wurden in solchen Mischgebieten die benötigten Einzugsgebietskenngrößen  $L$ ,  $L_C$ ,  $I_G$  für das Gesamtgebiet ermittelt und diese Kenngrößen dann einheitlich in den einzelnen Geologieteilflächen (FGM-Knoten) einer Landfläche verwendet. Die Einzugsgebietskenngrößen  $U$  und  $W$  wurden für jede Geologieteilfläche (FGM-Knoten) individuell bestimmt.

Beim Basisabfluss ( $q_{Bas}$ ) wurde angenommen, dass am Anfang eines Ereignisses mittlere Verhältnisse (MQ) vorliegen. Der MQ-Wert wurde über das MQ-Regionalisierungsverfahren (LUBW, 2007) für das Einzugsgebiet des Harmersbachs bestimmt. In den FGM-Berechnungen wurde angenommen, dass der Basisabfluss bis zum Ereignisende auf das 1,5-fache des Startwertes ansteigt.

Der P1-Wert und  $u_{kor}$ -Wert wurden für jede Geologiekategorie aus den in entsprechenden Referenzgebieten angepassten Werten entnommen (siehe Anlage A.2.1). Eine Feinabstimmung des Flussgebietsmodells (möglichst gute Übereinstimmungen zwischen den FGM-Berechnungsergebnissen und den  $HQ_T$ -Regionalisierungswerten) fand über eine Anpassung der Regionalisierungsmodellparameter der Referenzgebiete (P1-Wert und  $u_{kor}$ -Wert) statt.

#### 4.3.4 Gliederung des Untersuchungsgebietes in Bereiche unterschiedlicher Geologieklassen

Nachfolgend sind nochmals die im Einzugsgebiet des Harmersbachs anstehenden maßgebenden Gesteine (Geologieklassen) zusammengestellt. Zur möglichst realistischen Nachbildung des N-A-Verhaltens im hydrologischen Flussgebietsmodell wurden die getrennt nachgebildeten Einzugsgebiete (Landflächen) entsprechend den geologischen Verhältnissen nochmals in Teilflächen mit unterschiedlichen Regionalisierungsmodellparametern unterteilt. Teilbereiche mit geringen Flächenanteilen, für die keine Referenzgebiete existieren, wurden über den Landschaftsfaktor den im Verhalten vergleichbaren Referenzgebieten zugeordnet. Eine Zusammenstellung der Gebietskenngrößen, verwendeten Regionalisierungsmodelle, Modellparameter etc. kann für die einzelnen Landeinzugsgebiete (Geologieklassen) der Anlage A.2 entnommen werden.

Tabelle 4.3: Im Einzugsgebiet Harmersbach anstehende Geologieklassen und zugehörige Referenzgebiete mit angepassten Regionalisierungsmodellen (Abflussbildung, Abflusskonzentration)

Geologiekategorie	Geologiekategorie Typ	Landschaftsfaktor LF	Referenzgebiet / FGU	Literaturquelle / FGU
Löß/ Lößlehm	Typ 1	35	Leintal (Kraichgau) Gernsbach Tuniberg	WALD+CORBE, 1998/2007 WALD+CORBE, 2015 WALD+CORBE, 2012
Junge Talfüllungen	Typ 1	40	Analog Löß/ Lößlehm (vergleichbarer LF)	
Mittlerer Buntsandstein bis Broekelschiefer	Typ 2	60	Elz Kandelbach, Loosgraben, Rombach Oberes Murgtal Schutteroberlauf	IHW, HY 84/7 WALD+CORBE, 2005 + 2018 WALD+CORBE 2008 WALD+CORBE 2007
Mittlerer und Unterer Buntsandstein	Typ 2	80	Analog Mittlerer Buntsandstein bis Broekelschiefer (vergleichbarer LF)	
Metamorphe Gesteine	Typ 3	100	N-A-Analyse Pegel Zell/Harmersbach	
Paläozonische Magmatite	Typ 3	90	Dreisam Kandelbach, Loosgraben, Rombach	IHW, HY88/9, WALD+CORBE, 2005 + 2018
			Analog Metamorphe Gesteine (vergleichbarer LF)	
Rotliegendes	Typ 3	95	Analog Metamorphe Gesteine (vergleichbarer LF)	

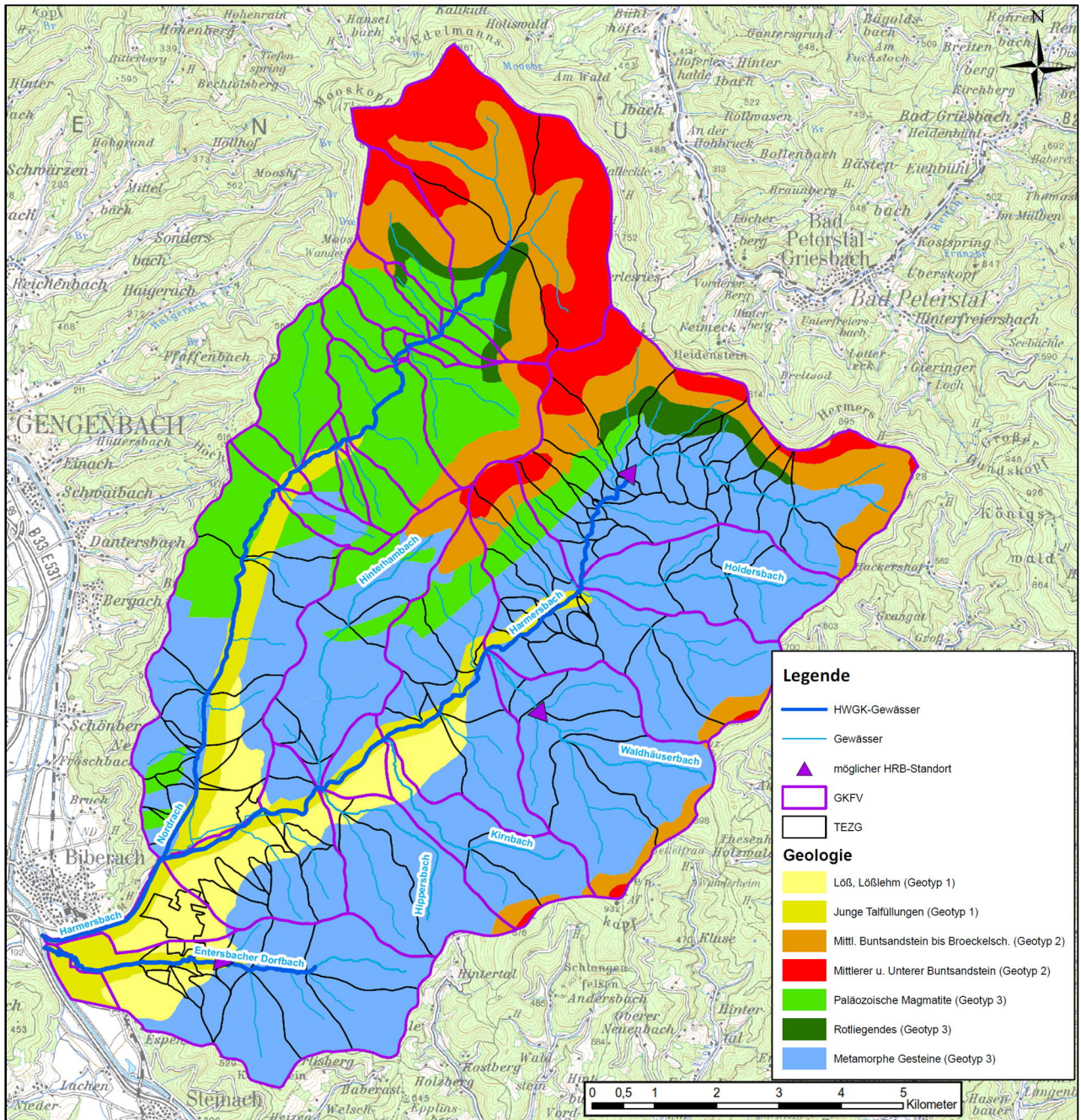


Abbildung 4-10: Übersichtskarte Harmersbach / Entersbacher Dorfbach - Geologie

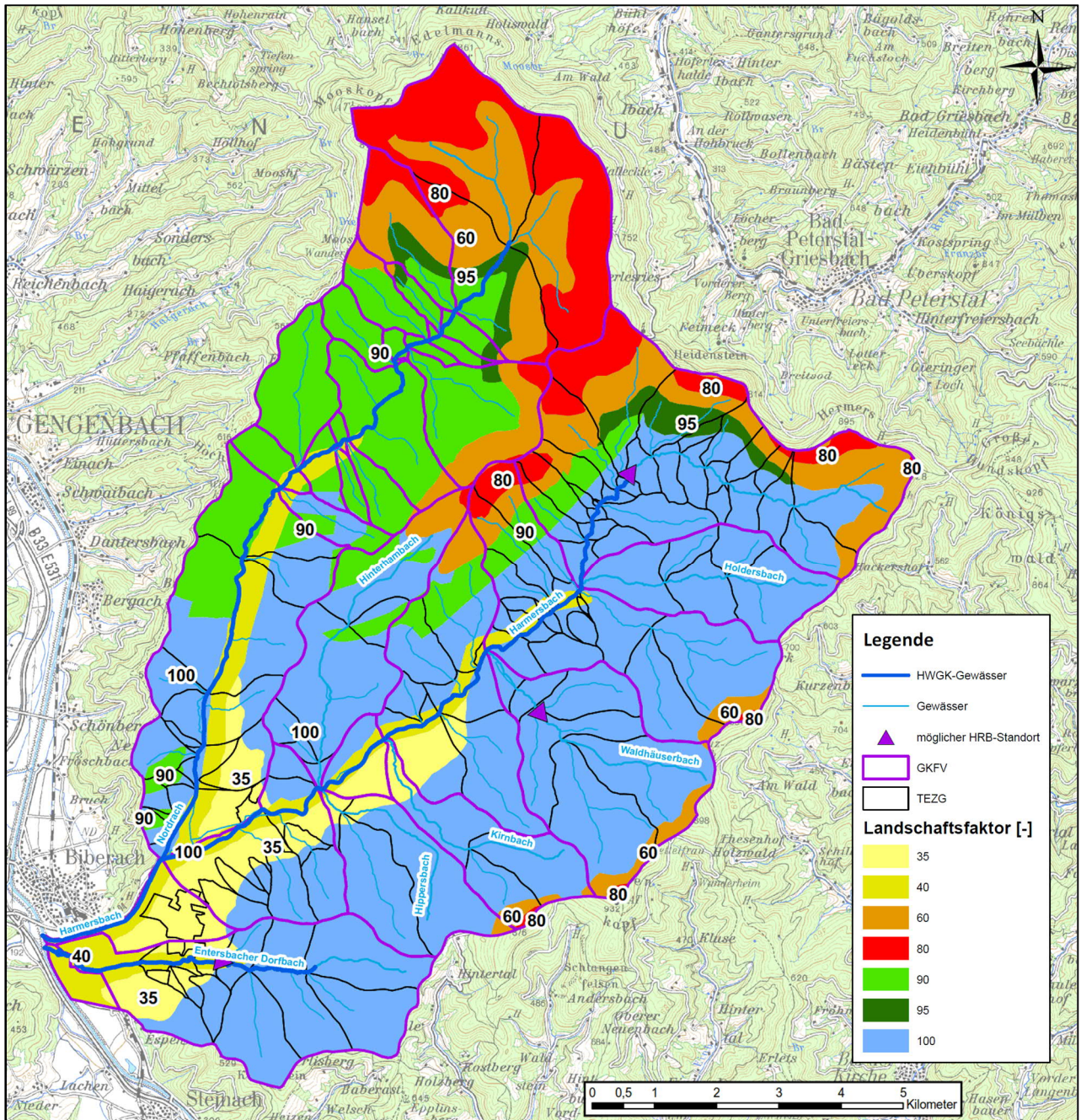


Abbildung 4-11: Übersichtskarte Harmersbach / Entersbacher Dorfbach - Landschaftsfaktoren LF nach LUBW/KIT

#### 4.3.5 Ortsentwässerung (Oberharmersbach, Zell und Unterentersbach)

Im verwendeten hydrologischen Flussgebietsmodell des KIT (Ihringer, 2005) kann die Ortsentwässerung getrennt nachgebildet werden. Für die Ortslagen Oberharmersbach, Zell und Unterentersbach standen Ortsentwässerungsdaten für die Einleitungen in das Gewässersystem Harmersbach bzw. Entersbacher Dorfbach zur Verfügung. Die Entwässerung erfolgt in diesen Ortslagen fast ausschließlich über Trennsysteme. Die Daten wurden von der Stadt Zell (für Zell und Unterentersbach) bzw. der Gemeinde Oberharmersbach zur Verfügung gestellt. Da die Daten teilweise unvollständig bzw. nicht mehr aktuell waren (Daten aus den 1960er und 1970er Jahren) mussten teilweise Annahmen getroffen werden, um in etwa den derzeitigen Ausbauzustand zu erfassen.

Für die Gemeinde Nordrach lagen keine Ortsentwässerungsdaten vor, so dass auch hier entsprechende Annahmen getroffen wurden.

Auf der Grundlage dieser Daten war eine getrennte Nachbildung der Ortsentwässerungen im FGM möglich. Es wird davon ausgegangen, dass im FGM in etwa der derzeitigen Ausbauzustand erfasst wird. Die Lage der im FGM berücksichtigten Einleitstellen kann Abbildung 4-12 entnommen werden. Die Kenngrößen der Ortseinleitungen sind in der Anlage A.2.3 zusammengestellt.

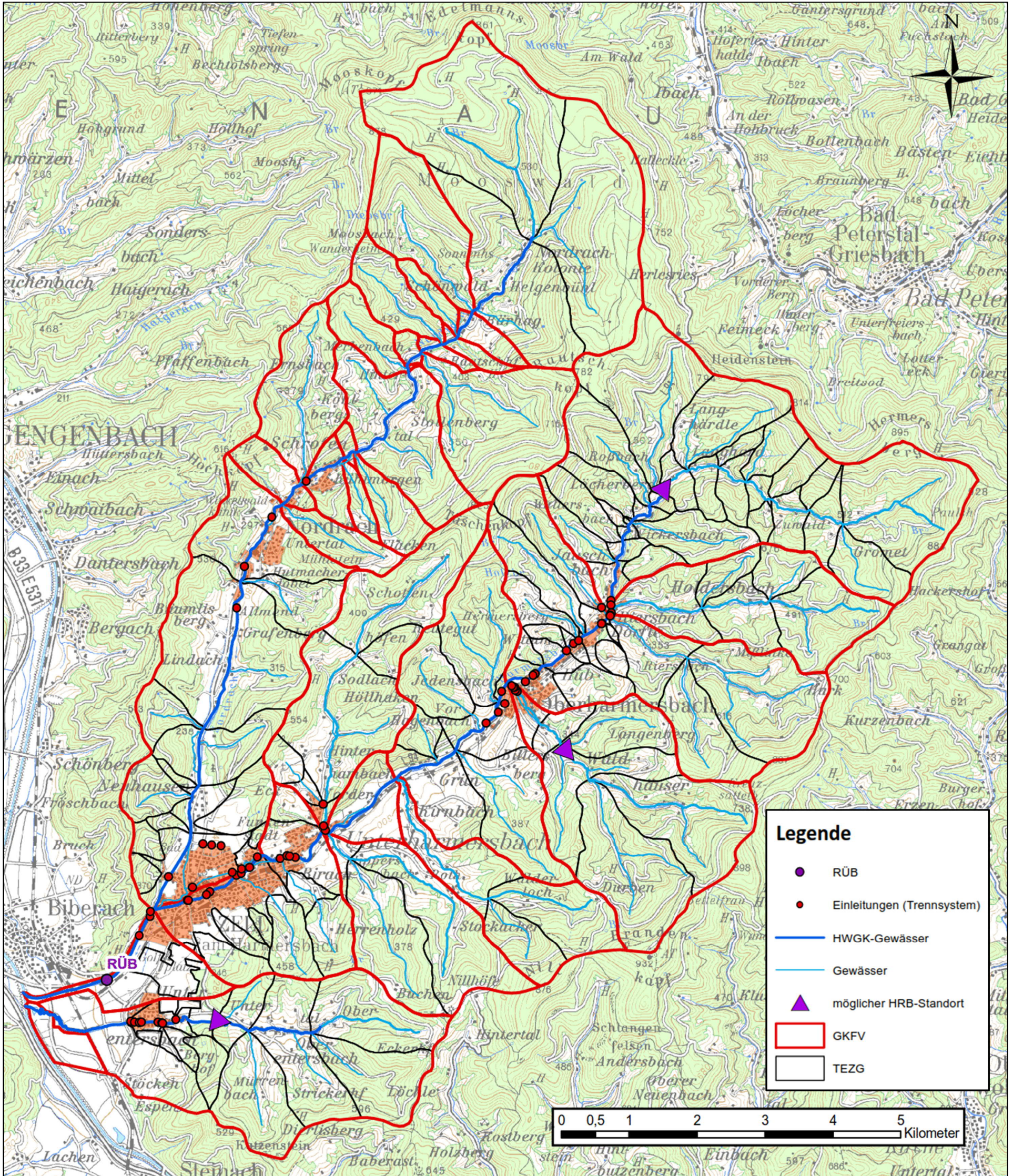


Abbildung 4-12: Einleitstellen der Ortsentwässerung – Übersichtskarte





#### 4.3.6 Wellenverformung entlang der Gewässer (Flood-Routing)

Im hydrologischen Flussgebietsmodell sind auch die entlang der einzelnen Gewässerabschnitte auftretenden Fließzeiten und Wellenverformungen (Translation, Retention) nachzubilden. Eine Nachbildung des sogenannten Flood-Routings zwischen allen FGM-Knoten des Modells ist bei sehr kurzen Fließstrecken allerdings nicht sinnvoll. Daher wurden teilweise Gewässerabschnitte zusammengefasst („aggregiert“). Aus den hydraulischen HWGK-Berechnungen konnten Angaben zu den auftretenden Fließzeiten am Harmersbach, der Nordrach und des Entersbacher Dorfbach abgeleitet werden. Diese bildeten die Grundlage zur Nachbildung der Translation in diesen Gewässerabschnitten.

Außerdem lagen für diese Gewässerabschnitte Informationen zu den im HW-Fall bei bestimmten Abflüssen in Einstau gehenden Flächen vor (Retention). Die HWGK-Wassertiefenkarten bildeten die Grundlage zur Nachbildung der Retentionswirkung im FGM, die getrennt für 27 Retentionsräume simuliert wird. Die Lage der im FGM getrennt nachgebildeten Retentionsräume kann der Systemskizze entnommen werden. Ebenso die Gewässerknoten, an denen das Flood-Routing (Translation) aktiviert wurde.

Für die nicht durch hydraulische Berechnungen erfassten offenen Gewässerabschnitte fand eine Nachbildung der Wellenverformung (Translation, Retention) über das Kalinin-Miljukov-Verfahren statt. Die Querprofile wurden hierzu aus vergleichbaren Nachbargewässern, die Fließstrecken aus den Kartengrundlagen und die Gefälleverhältnisse aus dem DGM abgeleitet. Für die verdolten Abschnitte wurden die Fließzeiten aus den Kartengrundlagen und den Gefälleverhältnissen abgeleitet und als reine Translation angesetzt. Bei den so erfassten Seitengewässern handelt es sich dabei, bezogen auf das Gesamtgebiet um relativ unbedeutende Abschnitte. Die Nachbildung im FGM erfolgte dabei in Form linearer Speicherkaskaden.

Die Modellparameter zur Nachbildung der Wellenverformung können für die einzelnen Gewässerabschnitte der Anlage A.2.4 entnommen werden.

#### 4.3.7 Rückhaltungen (Allgemeines)

In Flussgebietsmodellen kann auch die Wirkung von Rückhaltungen (HRB, See, Retentionsraum, etc.) nachgebildet werden. Die Nachbildung der im FGM erfassten Rückhaltungen, Retentionsräume und Verzweigungen variiert nachfolgend je nach FGM-Berechnungsvariante. Dabei wurde unterschiedlichen Zielsetzungen bzw. Ausbauzuständen Rechnung getragen.

Nachfolgend werden die im FGM nachgebildeten (potentiellen) Hochwasserrückhaltebecken HRB-493 (Harmersbach oberhalb Lindenbach), HRB-1167 (Waldhäuserbach) und HRB-90 (Entersbacher Dorfbach) beschrieben. Es handelt sich dabei um Maßnahmen zum gezielten Rückhalt (von Hochwasserabflüssen vor den Ortslagen von Oberharmersbach und Unterentersbach. Die im Untersuchungsraum ebenfalls abflusswirksamen und im FGM nachgebildeten Retentionsräume, bei denen im HW-Fall Wasser in die Tallagen ausbortet, wurden im Kapitel 4.3.6 „Wellenverformung“ beschrieben.

### Grundlage zur Steuerung von Rückhaltungen

Rückhaltungen (HRB, RRB, See, ...) können auf unterschiedliche Arten betrieben werden. In der nachfolgenden Abbildung 4-13 sind die wichtigsten Abgabearten zusammengestellt. Während kleinere Rückhaltungen (HRB) oftmals als robuste, kostengünstige Becken mit ungesteuerter Abgabe realisiert werden, werden große Becken (HRB) meist als gesteuerte Becken betrieben.

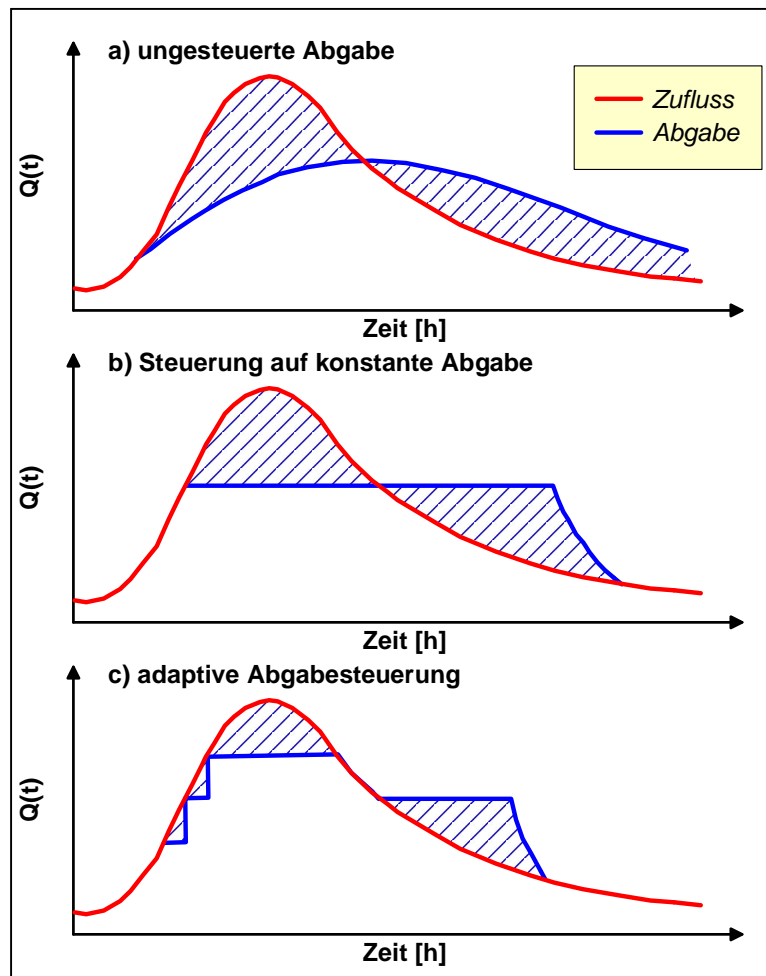


Abbildung 4-13: Abgabearten von Hochwasserrückhaltebecken (nach Ihringer, 2005)

#### 4.3.8 Rückhaltungen (Bestand)

Im Einzugsgebiet des Harmersbachs und des Entersbacher Dorfbachs existieren mehrere kleine Stauanlagen und Weier, die allerdings nicht dem Hochwasserschutz dienen und relativ kleine Volumina aufweisen. Diese Stauanlagen wurden im FGM durch separate Knoten erfasst (FGM-Kn. 122, FGM-Kn. 1627). Da für diese Stauanlagen keine Kenngrößen vorlagen und sie nur einen sehr geringen Einfluss auf die Hochwasserabflüsse haben, wurden sie, auf der sicheren Seite liegend bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Stauanlagen in den Hautgewässern werden ggf. bei den hydraulischen Berechnungen nachgebildet.

#### 4.3.9 Erkundung möglicher neuer Beckenstandorte (HRB)

Der HW-Schutz kann grundsätzlich durch eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Gewässer bzw. Objekt-schutzmaßnahmen (lokaler HW-Schutz), durch Rückhalt von Wasser (HRB, RRB) oder durch Überleitungen (Abschlag) verbessert werden. Im Rahmen der FGU-Harmersbach wurden mögliche Standorte für Rückhaltungen (HRB) erkundet. Entsprechend den Ergebnissen der Bestandsanalyse (innerörtliche Gewässerabschnitte mit unzureichendem HW-Schutz) konzentrieren sich die Erkundungen möglicher Rückhaltungen auf Standorte vor der Ortslage Oberharmersbach am Harmersbach und Waldhäuserbach und vor der Ortslage von Unterentersbach am Entersbacher Dorfbach. Hier sind lokale HW-Schutzmaßnahmen zur Herstellung eines ausreichenden HW-Schutzes extrem schwierig zu realisieren. Gleichzeitig liegt eine große Gefährdung (geringer Schutzgrad) bei gleichzeitig großem Schadenspotenzial vor.

Die Erkundung der möglichen HRB-Standorte orientierte sich am hydrologischen Ziel, bezogen auf die jeweils unterstromigen Ortslagen, möglichst große Teile der Einzugsgebiete durch ein Becken zu kontrollieren. Außerdem flossen topografische Aspekte (Talform) in die Erkundung geeigneter Standorte ein. So soll mit möglichst geringen Dammhöhen (Kosten, Ortsbild, Landschaftsbild) ein möglichst großes Volumen bereitgestellt werden. Weitere zu berücksichtigende Aspekte sind die vorhandene Bebauung (Ortsbild), das Wegenetz und Schutzgebiete.

Die Lage der im Rahmen der vorliegenden FGU detailliert untersuchten Beckenstandorte am Harmersbach (HRB-493), Waldhäuser Bach (HRB-1167) und Entersbacher Dorfbach (HRB-90) kann der nachfolgenden Übersichtskarte entnommen werden. Die genaue Festlegung eines Standortes kann allerdings erst im Rahmen einer Planung erfolgen (Eigentumsverhältnisse, Geotechnik, ...).

Für die erkundeten potentiellen Beckenstandorte wurden auf der Basis eines digitalen Geländemodells Beckeninhaltslinien erstellt. Es handelt sich dabei um vereinfachende Vorabschätzungen, bei denen das Dammschüttvolumen noch nicht abgezogen wurde.

Zu berücksichtigen war auch, dass Rückhaltebecken aufwendige Lösungen darstellen (Kosten, Unterhaltung). Rückhaltebecken zum Schutz einzelner Gebäude sind aus ökonomischer Sicht i.d.R. nicht sinnvoll. Im Rahmen der FGU zeigte sich, dass Aufwand und Kosten von Beckenlösungen am Harmersbach (HRB-493) nicht im Verhältnis zu den verhinderten Schäden stehen. Zudem haben sich die Wirkungen der untersuchten möglichen Beckenstandorte als nicht ausreichend erwiesen. D.h. es werden zur Herstellung eines ausreichenden Schutzes unterstrom bei allen drei Becken noch immer ergänzende lokale HWS-Maßnahmen benötigt. Dies gilt insbesondere für das Harmersbachbecken HRB-493, das nur kleine Teile des Einzugsgebietes von Oberharmersbach kontrolliert. Das Becken musste daher bereits aufgrund von Vorüberlegungen (geringe Wirkung, ...) verworfen werden

Die beiden Standorte HRB-90 und HRB-1167 kontrollieren wesentlich größere Teile der Einzugsgebiete, so dass bessere Wirkungen in den unterstromigen Ortsbereichen erzielt werden. Dennoch werden auch hier trotz großer Volumina und starker Drosselungen zur Herstellung eines ausreichenden Hochwasserschutzes unterstrom noch immer lokale HW-Schutzmaßnahmen benötigt. Aufgrund ihrer guten Wirkung wurden die Becken HRB-90 (Entersbacher Dorfbach) und HRB-1167 (Waldhäuserbach) zunächst als möglicher Bestandteil einer HW-Schutzlösung weiter verfolgt. Hier könnte durch die gute Beckenwirkung unterstrom ein ausreichender HW-Schutz durch noch „machbare“ Maßnahmen hergestellt werden.

Neben der Wirkung und Umsetzbarkeit ist insbesondere bei HRB-Lösungskonzepten auch deren Wirtschaftlichkeit zu beachten. Für die Einzelstandorte durchgeführte Kostenschätzungen ergaben, dass HRB-Lösungen extrem teuer wären. Weitere Information zur favorisierten Gesamtlösung (mit/ohne HRB) können den Ortslagenheften entnommen werden.

Die detailliert untersuchten drei Beckenstandorte (HRB-90, HRB-493, HRB-1167) werden nachfolgend kurz vorgestellt.

Ergänzend zu den drei detailliert untersuchten Standorten (HRB-90, HRB-493, HRB-1167) wurde die Möglichkeit einer Realisierung von Beckenstandorten am Harmersbach zwischen den Ortslagen von Oberharmersbach und Zell a.H. geprüft. Aufgrund von Bebauung (einzelne Gehöfte), Straßen und Bahnlinie ist in diesem Bereich der Bau eines Hochwasserrückhaltebeckens hier jedoch kaum möglich. Benötigt würden aufgrund der großen Abflussfüllen des Harmersbachs entsprechend große Rückhaltevolumina, die hier nicht bereitgestellt werden können (vgl. Kapitel 4.9.4). Aufgrund seitens der Kommune/Bevölkerung vorgeschlagener HRB-Lösungen vor Zell a.H. wurde die Wirkung (erforderliches Volumen) von Harmersbachstandorten vor Zell a.H. dennoch untersucht. Die Lage der hierzu betrachteten fiktiven (nicht realisierbarer) Standorte HRB-1350 und HRB-1576 kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

Anmerkung: Ein positiver Aspekt bei Beckenlösung ist deren abflussreduzierende Wirkung unterhalb des Standorts, die oftmals nicht nur in der direkt unterstromigen Ortslage nachzuweisen ist. Im Gegensatz dazu können lokale HW-Schutzmaßnahmen zu negativen Abflussverschärfungen bei den Unterliegern führen.

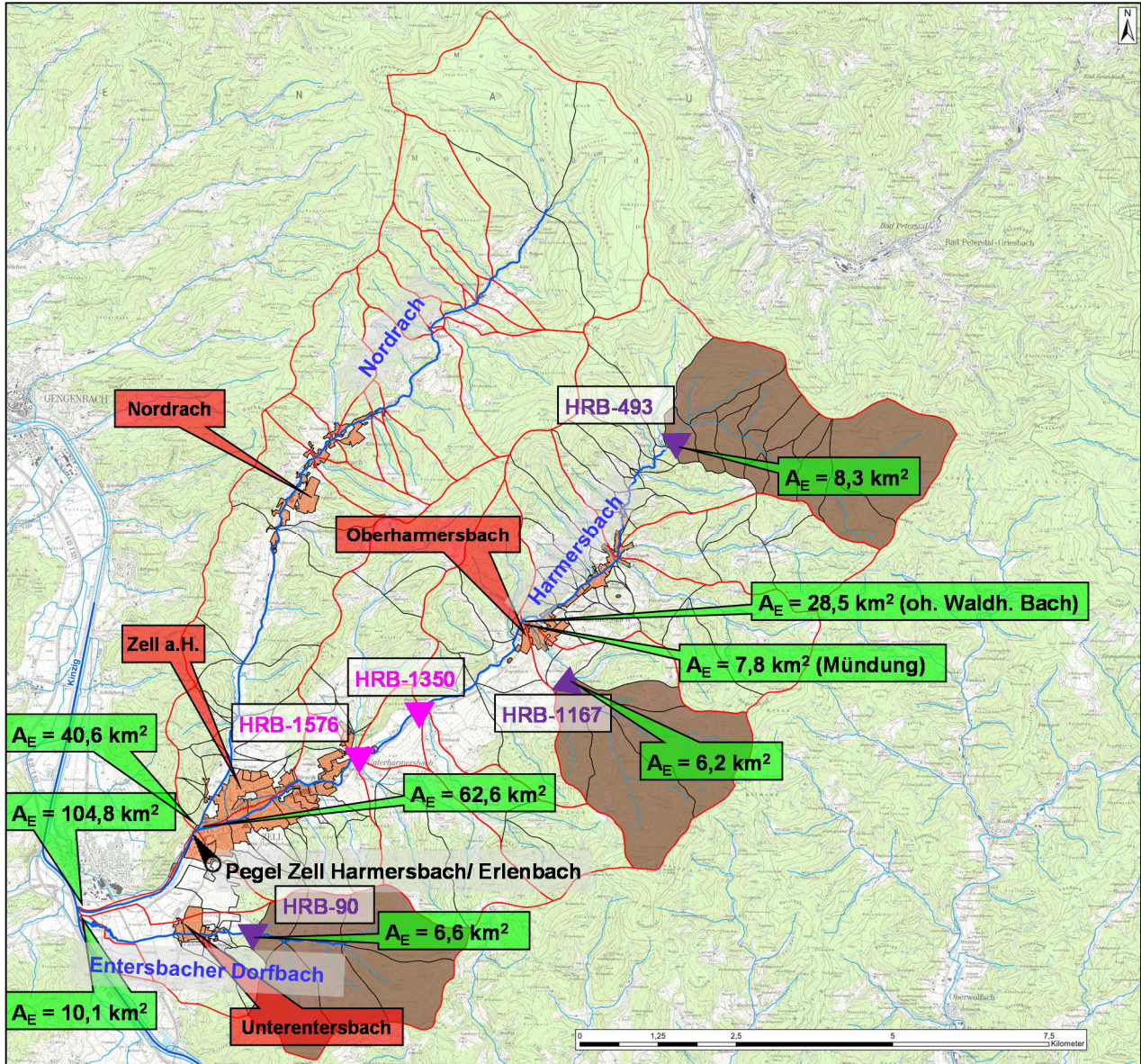


Abbildung 4-14: Übersichtskarte der drei näher untersuchten möglichen Beckenstandorte (HRB-493, HRB-1167 und HRB-90) sowie der (fiktiven) Standorte HRB-1350 / 1576

Mögliches HRB-493 (FGM-Kn. 493) - Kennwerte

Am Harmersbach oberhalb der Ortslage von Oberharmersbach wurde ein geeigneter Standort für ein mögliches Hochwasserrückhaltebecken gefunden. Aufgrund von Bebauung (einzelne Gehöfte) und Straßen ist am Harmersbach erst oberhalb der Einmündung des Lindenbachs der Bau eines Hochwasserrückhaltebeckens möglich. Dieser Standort liegt nicht innerhalb eines Schutzgebiets (Landschaftsschutzgebiet, Naturschutzgebiet, FFH-Gebiet, Wasserschutzgebiet).

Für das HRB-493 wurde in einem ersten Schritt zur Ermittlung des verfügbaren Rückhaltevolumens eine Beckeninhaltslinie auf DGM-Basis erstellt. Da die genaue Lage des Dammstandorts, die Dammgeometrie etc. zum aktuellen Zeitpunkt nur grob abgeschätzt werden können, wurde zur Volumenberechnung vereinfachend vom Vorliegen einer senkrechten Mauer an der Sperrenstelle ausgegangen (ohne Abzug des Dammschüttvolumens). Genaue Angaben (Beckeninhaltslinienermittlungen) sind erst im Rahmen der Planung möglich.

Als maximal machbare Vollstauhöhe wurde  $H_{ZV} = 383,0 \text{ m} + \text{NN}$  gewählt. Damit könnte am Standort bei einer Vollstauhöhe von ca.  $h_{ZV} = 10,0 \text{ m} + \text{Tal}$  ein Rückhaltevolumen von ca.  $S_{ZV} = 70.000 \text{ m}^3$  bereitgestellt werden. Die durchgeführten Erhebungen zeigen, dass bei einer größeren Stauhöhe ein Gebäude sowie die Zuwalddstraße eingestaut würden.

Tabelle 4.4: Kenngrößen für ein mögliches HRB-493

Name	HRB-493
Gewässer	Harmersbach
FGM-Kn.	493
$A_{E0}$	8,3 km <sup>2</sup>
Zufluss $HQ_{100}$	24,0 m <sup>3</sup> /s
$S_{ZV}$	70.000 m <sup>3</sup>
$H_{ZV}$	383,0 m+NN
$h_{ZV}$	10,0 m+Tal

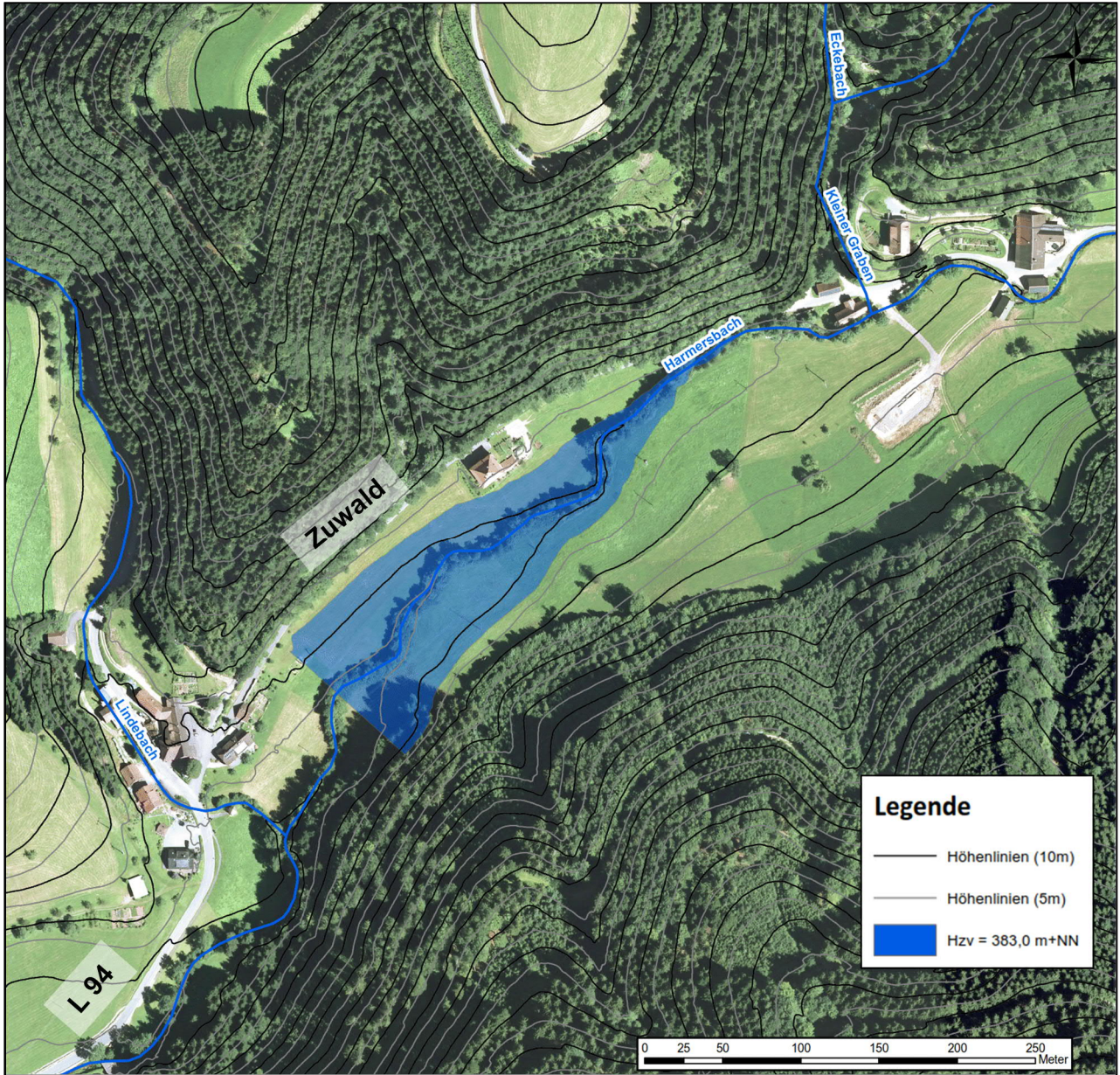


Abbildung 4-15: Mögliches HRB-493 – Höhenlinienkarte

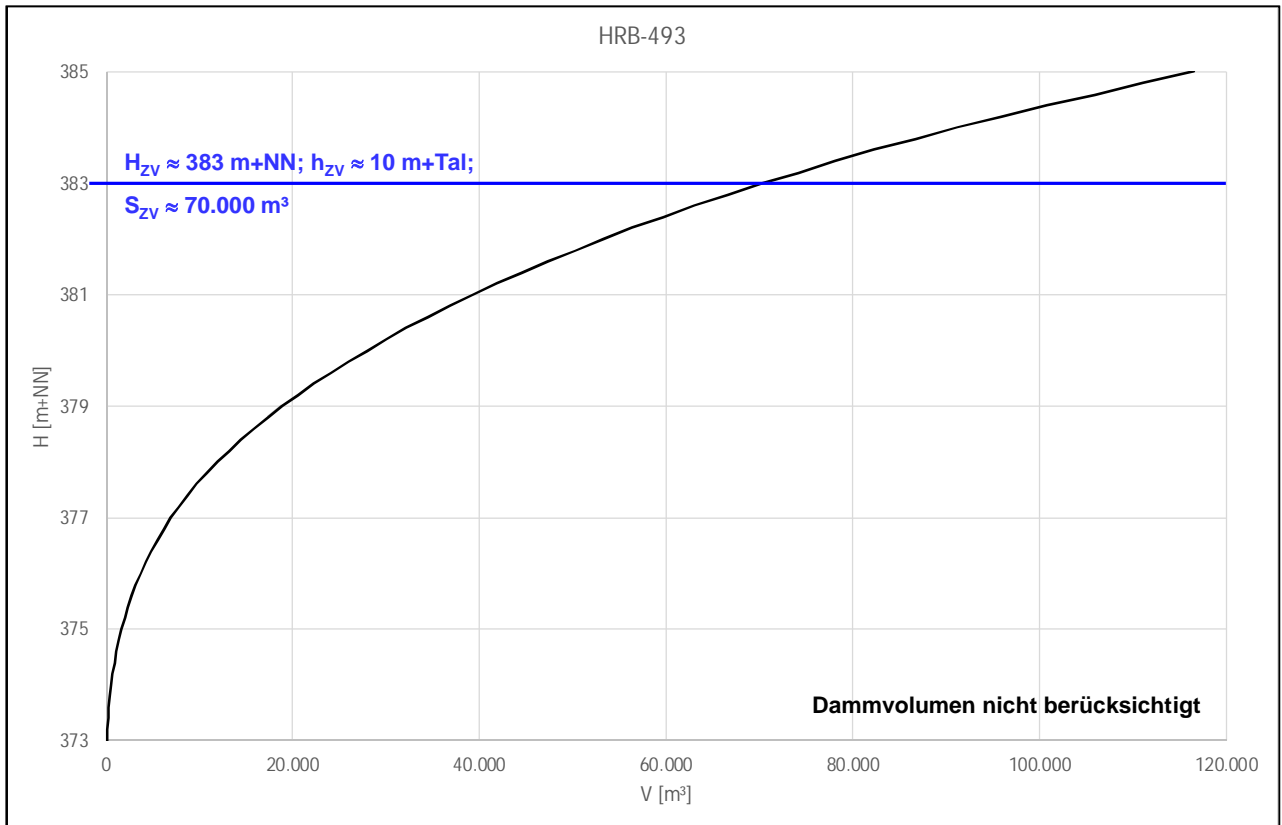


Abbildung 4-16: Mögliches HRB-493 – Beckeninhaltslinie

Tabelle 4.5: Mögliches HRB-493 – Rückhaltewirkungslinie

$Q_R$ [m <sup>3</sup> /s]	T=10a $S_{erf}$ [m <sup>3</sup> ]	T=20a $S_{erf}$ [m <sup>3</sup> ]	T=50a $S_{erf}$ [m <sup>3</sup> ]	T=100a $S_{erf}$ [m <sup>3</sup> ]	T=100aKlima $S_{erf}$ [m <sup>3</sup> ]
4,0	46.230	79.800	137.500	193.000	260.400
5,0	26.470	55.100	103.800	147.000	189.400
6,0	16.470	37.020	78.200	117.600	157.000
7,0	8.720	26.260	59.100	92.300	128.600
8,0	3.540	17.340	46.800	75.300	103.800
8,4	2.640	14.230	42.300	69.900	97.300
9,0	1.540	10.050	36.100	62.300	88.700
10,0	480	5.800	26.700	50.800	75.300
11,0	-	3.410	18.700	40.500	63.500
12,0	-	1.770	12.600	31.400	52.600
13,0	-	710	9.400	23.500	42.800
14,0	-	70	6.700	18.000	34.000



Mögliches HRB-1167/ Waldhäuserbach (FGM-Kn. 1167)- Kennwerte

Am Waldhäuserbach oberhalb der Ortslage von Oberharmersbach wurde ein geeigneter Standort für ein mögliches Hochwasserrückhaltebecken gefunden. Aufgrund der vorliegenden Talgeometrie und Bebauung wäre der Bau eines Beckens am Waldhäuserbach oberhalb der Einmündung des Wolfsbachs möglich (HRB-1167). Dieser Standort liegt nicht innerhalb eines Schutzgebiets (Landschaftsschutzgebiet, Naturschutzgebiet, FFH-Gebiet, Wasserschutzgebiet).

Für das HRB-1167 wurde in einem ersten Schritt zur Ermittlung des verfügbaren Rückhaltevolumens eine Beckeninhaltslinie auf DGM-Basis erstellt. Da die genaue Lage des Dammstandorts, die Dammgeometrie etc. zum aktuellen Zeitpunkt nur grob abgeschätzt werden können, wurde zur Volumenberechnung vereinfachend vom Vorliegen einer senkrechten Mauer an der Sperrenstelle ausgegangen (ohne Abzug des Dammschüttvolumens). Genaue Angaben (Beckeninhaltslinienermittlungen) sind erst im Rahmen der Planung möglich.

Als maximal machbare Vollstauhöhe wurde  $H_{ZV} = 359,2 \text{ m} + \text{NN}$  gewählt. Damit könnte am Standort bei einer Vollstauhöhe von ca.  $h_{ZV} = 11,0 \text{ m} + \text{Tal}$  ein Rückhaltevolumen von ca.  $S_{ZV} = 43.000 \text{ m}^3$  bereitgestellt werden. Die durchgeführten Erhebungen zeigen, dass bei einer größeren Stauhöhe die Waldhäuserstr. eingestaut würde.

Anmerkung: Bei einer Berücksichtigung von Freibordreserven zur Straße bzw. der Berücksichtigung des Dammschüttvolumens würde sich das herstellbare Rückhaltevolumen reduzieren.

Tabelle 4.6: Kenngrößen für ein mögliches HRB-1167/ Waldhäuserbach

Name	HRB-1167/ Waldhäuserbach
Gewässer	Waldhäuserbach
FGM-Kn.	1167
$A_{E0}$	6,2 km <sup>2</sup>
Zufluss $HQ_{100}$	17,5 m <sup>3</sup> /s
$S_{ZV}$	43.000 m <sup>3</sup>
$H_{ZV}$	359,2 m+NN
$h_{ZV}$	11,0 m+Tal

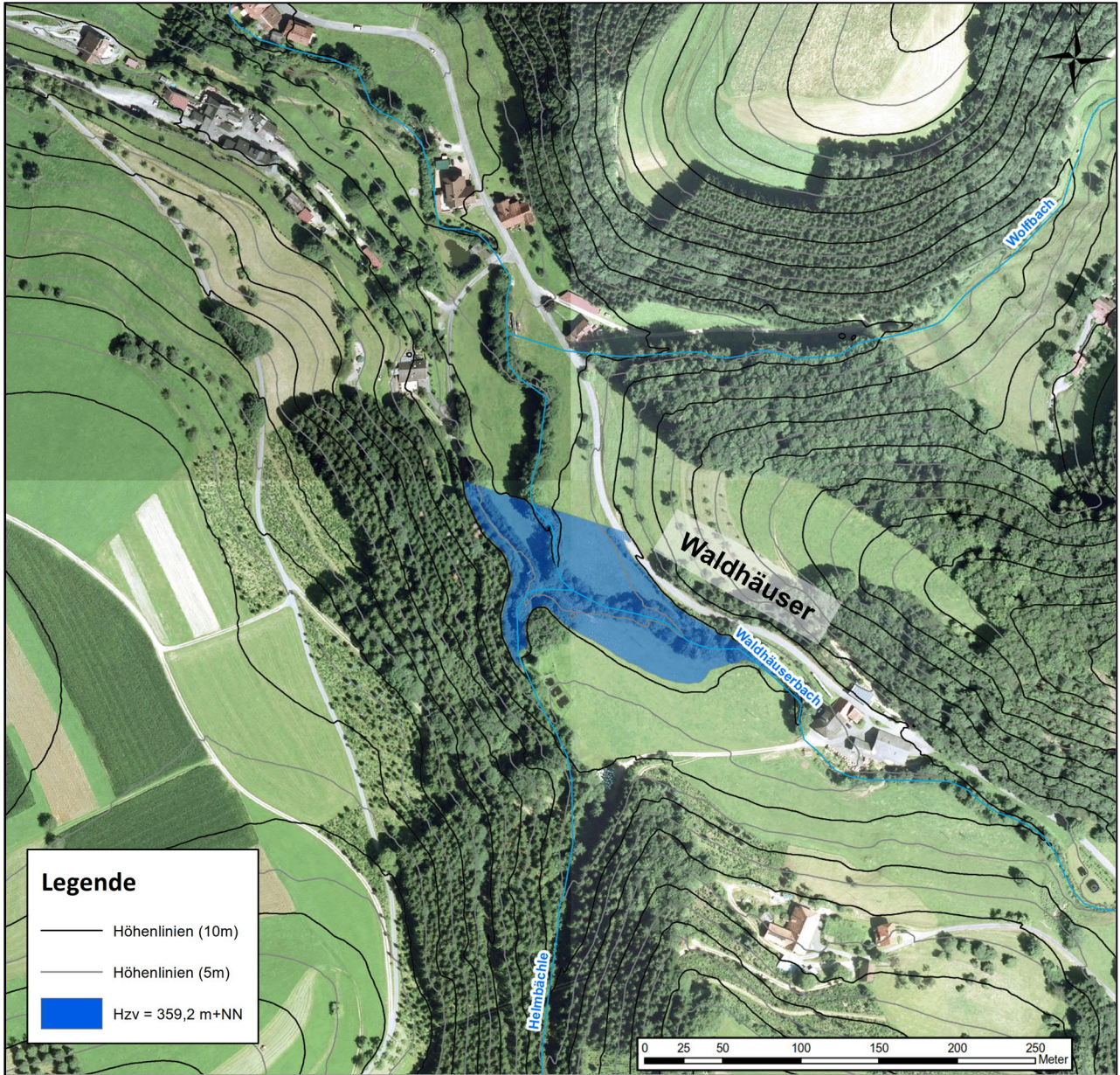


Abbildung 4-17: Mögliches HRB-1167/ Waldhäuserbach – Höhenlinienkarte

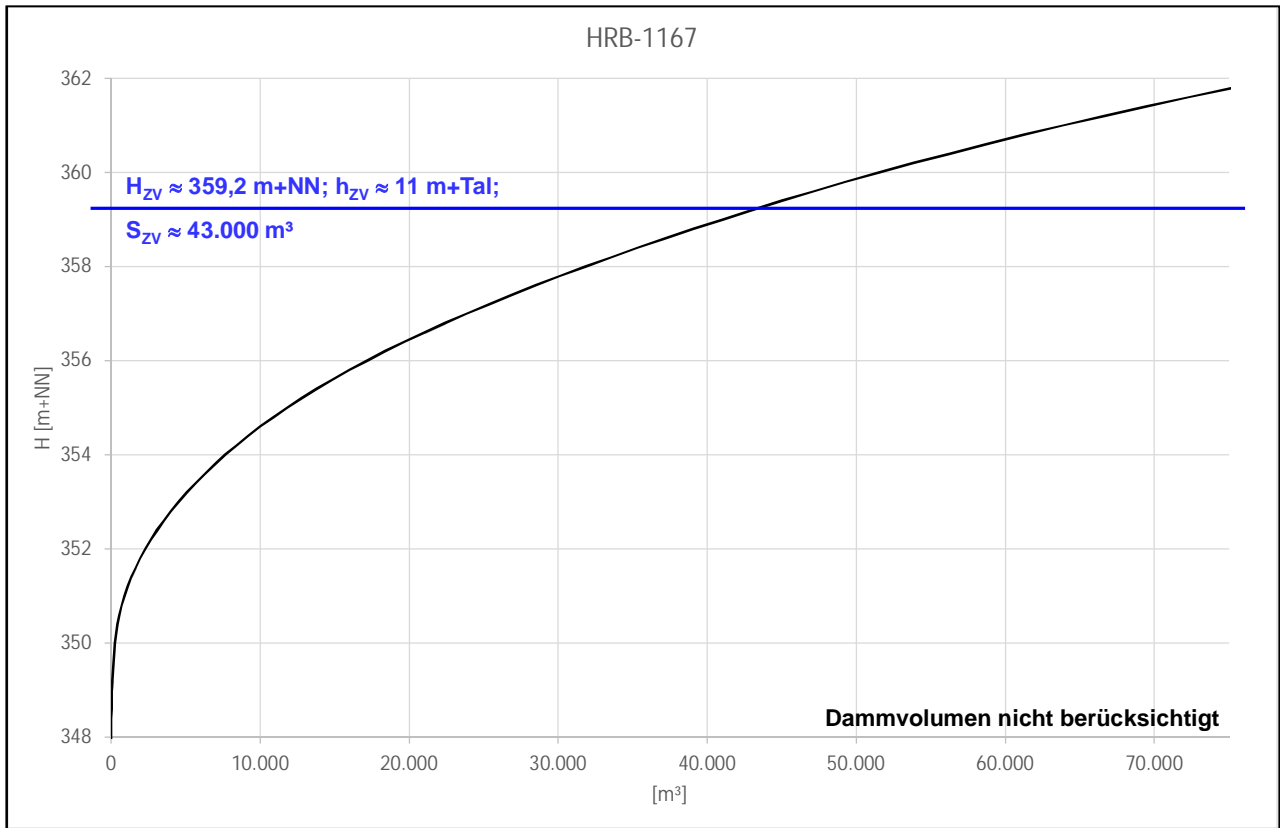


Abbildung 4-18: Mögliches HRB-1167/ Waldhäuserbach – Beckeninhaltslinie

Tabelle 4.7: Mögliches HRB-1167/ Waldhäuserbach – Rückhaltewirkungslinie

$Q_R$ [m³/s]	T=10a $S_{erf}$ [m³]	T=20a $S_{erf}$ [m³]	T=50a $S_{erf}$ [m³]	T=100a $S_{erf}$ [m³]	T=100aKlima $S_{erf}$ [m³]
4,0	18.350	39.000	76.000	109.400	142.200
5,0	9.080	23.830	51.600	80.900	110.700
6,0	2.860	14.140	37.400	60.200	84.200
7,0	820	6.770	26.400	46.800	67.200
7,5	290	4.620	21.600	40.900	60.400
8,0	20	3.310	17.300	35.400	54.000
9,0	-	1.280	10.300	25.600	42.500
10,0	-	240	6.600	17.400	32.300
11,0	-	-	4.400	11.900	23.600
12,0	-	-	2.000	8.600	17.500

Mögliches HRB-90/ Entersbacher Dorfbach (FGM-Kn. 90) - Kennwerte

Am Entersbacher Dorfbach oberhalb der Ortslage von Unterentersbach wurde ein geeigneter Standort für ein mögliches Hochwasserrückhaltebecken gefunden. Aufgrund der vorliegenden Talgeometrie und Bebauung wäre der Bau eines Beckens am Entersbacher Dorfbach im Bereich der Einmündung des Vogelsbühlbächles möglich (HRB-90). Dieser Standort liegt nicht innerhalb eines Schutzgebiets (Landschaftsschutzgebiet, Naturschutzgebiet, FFH-Gebiet, Wasserschutzgebiet).

Für das HRB-90 wurde in einem ersten Schritt zur Ermittlung des verfügbaren Rückhaltevolumens eine Beckeninhaltslinie auf DGM-Basis erstellt. Da die genaue Lage des Dammstandorts, die Geometrie etc. zum aktuellen Zeitpunkt nur grob abgeschätzt werden können, wurde zur Volumenberechnung vereinfachend vom Vorliegen einer senkrechten Mauer an der Sperrenstelle ausgegangen (ohne Abzug des Dammschüttvolumens). Genaue Angaben (Beckeninhaltslinienermittlungen) sind erst im Rahmen der Planung möglich.

Die durchgeführten Erhebungen zeigen, dass am unteren Standort bei einer Vollstauhöhe von  $H_{ZV} = 237,60$  m+NN bzw.  $h_{ZV} = 9,5$  m+Tal ein Rückhaltevolumen von ca.  $S_{ZV} = 110.500$  m<sup>3</sup> bereitgestellt werden kann. Am oberen Standort könnte bei einer Vollstauhöhe von  $H_{ZV} = 242,2$  m+NN bzw.  $h_{ZV} = 10,5$  m+Tal ebenfalls ein Rückhaltevolumen von ca.  $S_{ZV} = 108.000$  m<sup>3</sup> bereitgestellt werden. Gegebenenfalls wäre eine noch größere Stauhöhe möglich, bevor es zu einem Einstau der nördlich des Beckens verlaufenden Straße (Dorfstraße/ Untertal) kommt.

Tabelle 4.8: Kenngrößen für ein mögliches HRB-90/ Entersbacher Dorfbach

Name	HRB-90/ Entersbacher Dorfbach	
Gewässer	Entersbacher Dorfbach	
FGM-Kn.	90	
$A_{E0}$	6,6 km <sup>2</sup>	
Zufluss $HQ_{100}$	17,0 m <sup>3</sup> /s	
	Unterer Standort	Oberer Standort
$S_{ZV}$	110.500 m <sup>3</sup>	108.000 m <sup>3</sup>
$H_{ZV}$	237,6 m+NN	242,2 m+NN
$h_{ZV}$	9,5 m+Tal	10,5 m+Tal

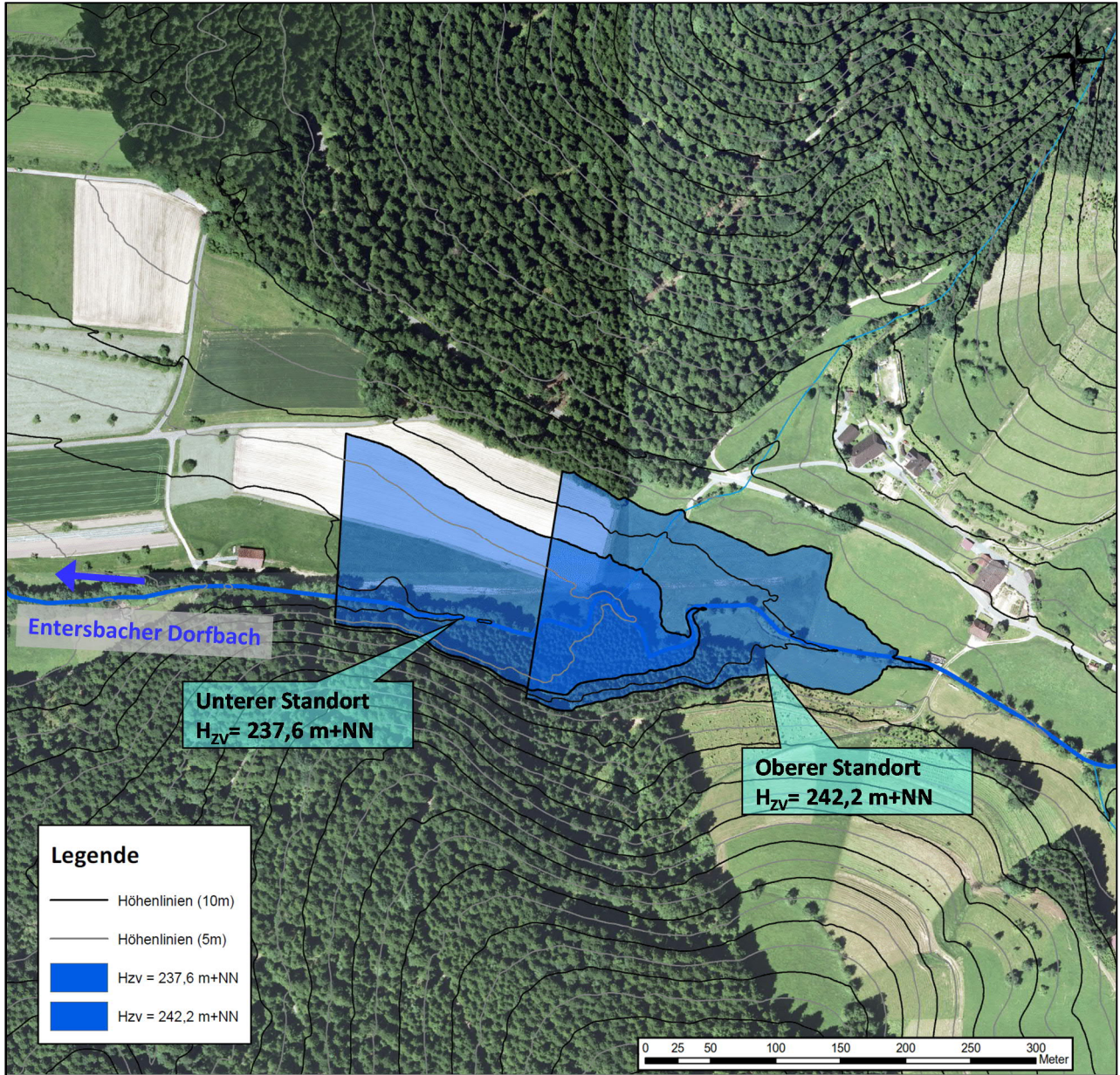


Abbildung 4-19: Mögliches HRB-90/ Entersbacher Dorfbach – Höhenlinienkarte

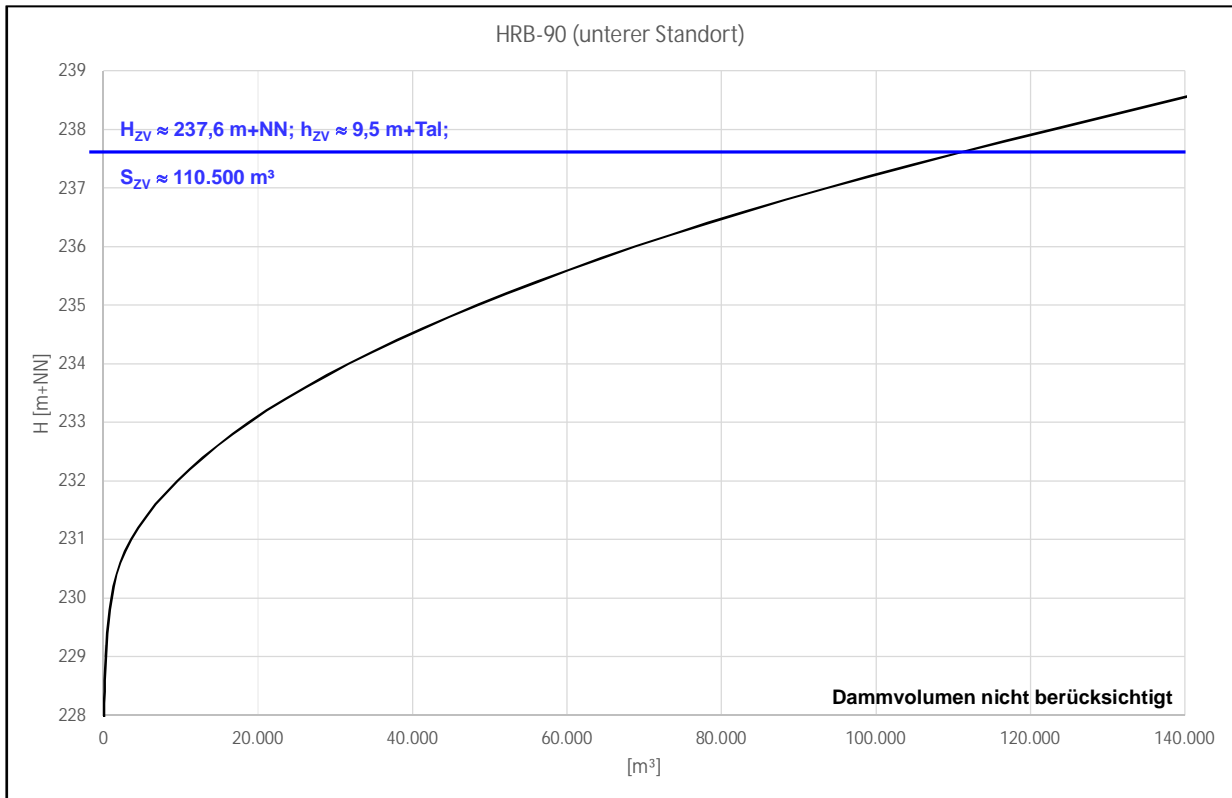


Abbildung 4-20: Mögliches HRB-90 (unterer Standort)/ Entersbacher Dorfbach – Beckeninhaltslinie

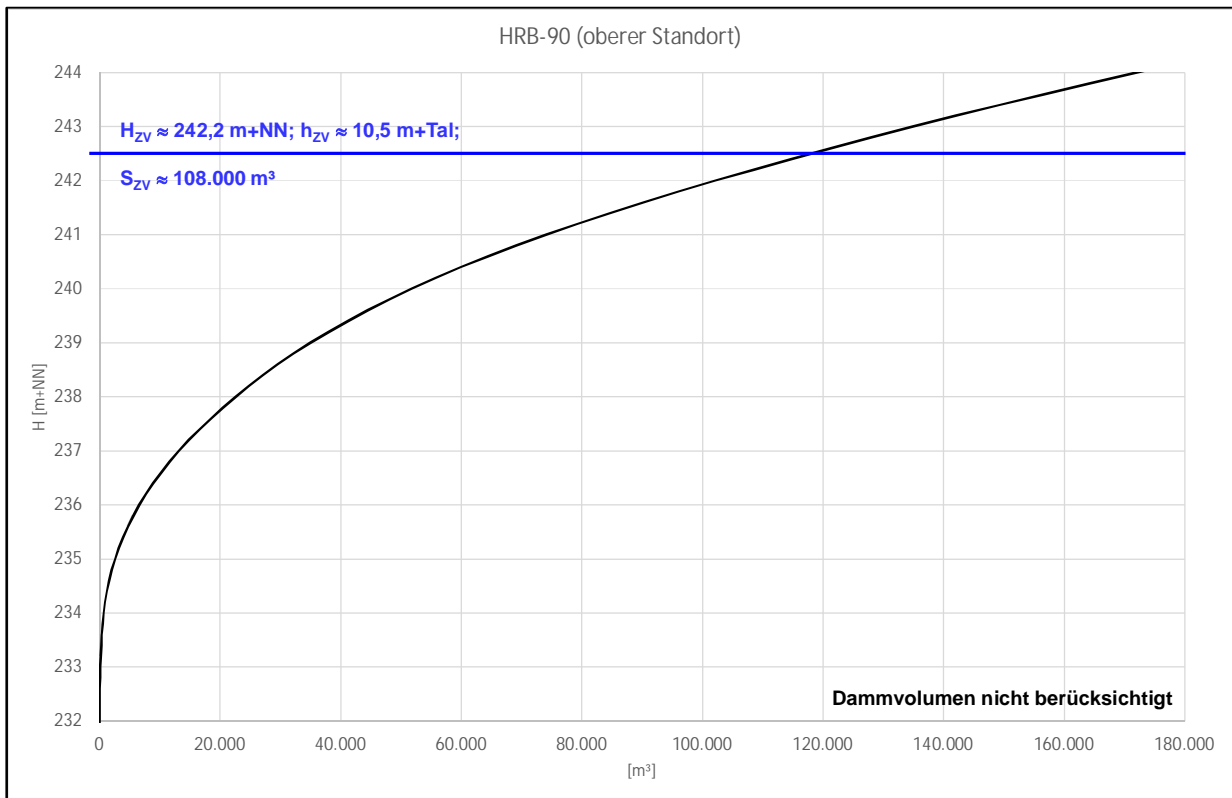


Abbildung 4-21: Mögliches HRB-90 (oberer Standort)/ Entersbacher Dorfbach – Beckeninhaltslinie

Tabelle 4.9: Mögliches HRB-90/ Entersbacher Dorfbach – Rückhaltewirkungslinie

$Q_R$ [m <sup>3</sup> /s]	T=10a $S_{erf}$ [m <sup>3</sup> ]	T=20a $S_{erf}$ [m <sup>3</sup> ]	T=50a $S_{erf}$ [m <sup>3</sup> ]	T=100a $S_{erf}$ [m <sup>3</sup> ]	T=100aKlima $S_{erf}$ [m <sup>3</sup> ]
2,0	80.860	130.900	208.100	272.700	328.200
3,0	35.940	75.270	140.600	198.500	250.000
4,0	15.770	36.210	90.000	139.900	185.600
4,9	7.780	21.110	54.600	97.900	138.500
5,0	7.050	20.070	51.200	93.800	133.800
6,0	3.040	11.070	31.600	56.800	91.500
7,0	850	6.770	21.300	39.200	57.900
8,0	-	3.660	15.100	28.800	45.500
9,0	-	1.560	10.900	22.100	35.300
10,0	-	250	7.300	17.300	27.500
11,0	-	-	4.600	13.000	22.400
12,0	-	-	2.400	9.500	17.800

#### 4.3.10 Gewässerverzweigungen (Abschlag, Überleitung)

Im hydrologischen Flussgebietsmodell können auch Gewässerverzweigungen (Abschlag, Überleitungen, ...) nachgebildet werden (Bestand, möglich). Es ist dabei i.d.R. allerdings nicht sinnvoll kurze bestehende Ausleitungen wie Mühlkanäle im FGM zu erfassen. Diese werden ggf. in den hydraulischen Modellen berücksichtigt.

Die beiden Gewerbekanäle in Zell wurden zwar im hydrologischen Modell durch zusätzliche Knoten erfasst (Abflussverzweigungen an FGM-Kn. 1683 und 2606), die Verzweigungen wurden jedoch in keiner der FGM-Varianten aktiviert, so dass im hydrologischen Modell der gesamte Abfluss jeweils über das Hauptgewässer Harmersbach bzw. Nordrach abfloss.

Eine weitere Abflussverzweigung wurde am FGM-Kn. 1528 vorgesehen. Mit dieser Verzweigung kann eine mögliche Einleitung in den Hinterhambach von bisher teilweise wild abfließendem Wasser aus einer Außenbereichsfläche (FGM-Kn. 1523) modelltechnisch umgesetzt werden (FGM-Var. „P11“).

#### 4.3.11 Nachgerechnete statistische Niederschlagsereignisse $N(T, T_D)$

Berechnungen mit dem hydrologischen Flussgebietsmodell (FGM) fanden für statistische Niederschlagsereignisse ausgewählter Niederschlagsdauern  $T_D$  und Jährlichkeiten  $T$  statt. In den hydrologischen Modellrechnungen wird davon ausgegangen, dass ein  $T$ -jährlicher Niederschlag bei der Wahl geeigneter „Randbedingungen“ (Vorfeuchte, Jahreszeit, etc.) einen  $T$ -jährlichen HW-Abfluss erzeugt. FGM-Modellrechnungen wurden für 13 Jährlichkeiten ( $T = 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1.000, 5.000, 10.000$  Jahre) und jeweils 12 Niederschlagsdauern ( $T_D = 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120$  Stunden) durchgeführt. Außerdem für 100-jährliche Niederschläge des LF-Klimaänderung (s.u.). Bei 14 Jährlichkeiten und 12 Niederschlagsdauern waren damit insgesamt 168 unterschiedliche Ereignisse zu untersuchen.

#### KOSTRA-Niederschlagswerte

Eingesetzt wurden die original KOSTRA-2000 Niederschlagswerte des DWD (2005/2009). Verwendet wurden dabei die Klassenmittelwerte. Im Untersuchungsraum sind fünf KOSTRA-Rasterelemente (18/89, 18/90, 19/88, 19/89 und 19/90) maßgebend. In den FGM-Berechnungen wurde den einzelnen Einzugsgebieten das jeweils flächenanteilig dominierende KOSTRA-Rasterelement zugeordnet. Liegen im Einzugsgebiet zwei Rasterzellen mit großen Flächenanteilen vor, so findet eine Mittelung der beiden dominierenden Rasterwerte statt.



### Zeitliche Verteilung der Bemessungsniederschläge

Außer den Niederschlagshöhen  $N(T, T_D)$  der FGM-Teileinzugsgebiete ist für die FGM-Berechnungen auch der zeitliche Verlauf des Bemessungsniederschlags festzulegen. Für die zeitliche Verteilung der Bemessungsniederschläge wurde die, meist ungünstige Ergebnisse (hohe Scheitelabflüsse) liefernde, endbetonte Niederschlagsverteilung gewählt. Die Wahl einer endbetonten Niederschlagsverteilung entspricht der Vorgehensweise in den Flussgebietsuntersuchungen der Referenzgebiete.

### Niederschlags-Abminderung

Bei den KOSTRA-Bemessungsniederschlägen handelt es sich um sogenannte „Punktniederschläge“. Insbesondere bei Ereignissen kurzer Regendauern treten diese Niederschläge nicht flächendeckend auf. Es gibt deshalb in der Praxis N-Abminderungsfaktoren (Verworn, 2008), über die diese punktuellen Niederschläge in Gebietsniederschläge umgerechnet werden können. Im FGM-Harmersbach werden N-Abminderungen für fünf N-Abminderungsklassen („F“:  $< 2,5 \text{ km}^2$ ; „G“:  $2,5 - 11,0 \text{ km}^2$ ; „H“:  $11,0 - 17,0 \text{ km}^2$ ; „I“:  $17,0 - 100,0 \text{ km}^2$ ; „J“:  $> 100,0 \text{ km}^2$ ) nachgebildet. Die Zuordnung zu einer N-Abminderungsklasse erfolgt über die Einzugsgebietsfläche der einzelnen FGM-Knoten. Die Zuordnung der einzelnen FGM-Knoten zu einer N-Abminderungsklasse kann der Systemskizze (Abbildung 4-4 bis Abbildung 4-9 bzw. Anlage A.1.2) entnommen werden,

#### 4.3.12 Nachrechnung des Lastfalls Klimaänderung (T = 100 Jahre)

Da Nachrechnungen des Lastfalls Klimaänderung primär im Hinblick auf die Bemessung von Hochwasserschutzmaßnahmen von Interesse sind, fanden FGM-Berechnungen ausschließlich für 100-jährliche Hochwasser statt ( $HQ_{100\text{Klima}}$ ). Im Untersuchungsgebiet kann nach LfU/LUBW (2005) davon ausgegangen werden, dass sich der 100-jährliche Hochwasserabfluss bis zum Jahre 2050 um ca. 15 % erhöhen wird.

Die 100-jährlichen KOSTRA-2000 Niederschläge wurden in Anlehnung an die im Leitfaden Bemessungshochwasser (LfU/LUBW, 2005) beschriebene Vorgehensweise über einen für alle Regendauern einheitlichen N-Faktor so angepasst, dass sich an maßgebenden Gewässerstellen (FGM-Knoten) der 100-jährliche HW-Abfluss ( $HQ_{100}$ ) um 15% erhöht ( $HQ_{100\text{Klima}}$ ). Die Anpassung des N-Faktors von

$f=1,081$  (Erhöhung von 8,1 %) für die Niederschlags-Abminderungsklasse „F“  $< 2,5 \text{ km}^2$ ;

$f=1,080$  (Erhöhung von 8,0 %) für die Niederschlags-Abminderungsklasse „G“:  $2,5 - 11,0 \text{ km}^2$ ;

$f=1,092$  (Erhöhung von 9,2 %) für die Niederschlags-Abminderungsklasse „H“:  $11,0 - 17,0 \text{ km}^2$ ;

$f=1,090$  (Erhöhung von 9,0 %) für die Niederschlags-Abminderungsklasse „I“:  $17,0 - 100,0 \text{ km}^2$ ;

$f=1,108$  (Erhöhung von 10,8 %) für die Niederschlags-Abminderungsklasse „J“:  $> 100,0 \text{ km}^2$

erfolgte jeweils iterativ über Testrechnungen mit dem FGM.

Grundlage bildete dabei die FGM-Berechnungsvariante „I0“ (Zustand mit derzeitiger Bebauung). Als „maßgebende“ Gewässerstellen dienten für die sehr kleinen Einzugsgebiete (N-Abminderungsklasse „F“) die Zuflüsse (Seitengewässer) zu Harmersbach und Nordrach:

FGM-Kn. 335 (Langenbach Mündung), FGM-Kn. 736 (Holdersbach oh. NN),  
FGM-Kn. 811 (Riersbach oh. Krochtibächle), FGM-Kn. 818 (Krochtibächle Mündung),  
FGM-Kn. 865 (Jauschbach Mündung), FGM-Kn. 935 (Ottenbach Mündung),  
FGM-Kn. 978 (Engelbächlein Mündung), FGM-Kn. 1144 (Waldhäuserbach oh. Almendgrundbächle),  
FGM-Kn. 1151 (Almendgrundbächle Mündung), FGM-Kn. 1233 (Jedensbach Mündung),  
FGM-Kn. 1251 (Hagenbach Mündung), FGM-Kn. 1278 (Kolbenlochbach Mündung),  
FGM-Kn. 1323 (Kirnbach oh. Wasserlochbächle), FGM-Kn. 1330 (Wasserlochbächle Mündung),  
FGM-Kn. 1331 (Kirnb. uh. Wasserlochbächle), FGM-Kn. 1381 (Hippersb. oh. Schreitengrundbächle),  
FGM-Kn. 1388 (Schreitengrundbächle Mündung), FGM-Kn. 1455 (Hinterhambach oh. NN),  
FGM-Kn. 2112 (Moosbächle Mündung), FGM-Kn. 2164 (Bechtenbach Mündung),  
FGM-Kn. 2229 (Holzsack Mündung), FGM-Kn. 2263 (Regelsbach Mündung),  
FGM-Kn. 2349 (Ernsbach Mündung), FGM-Kn. 2394 (Schanzenbächle Mündung).

Als „maßgebende“ Gewässerstellen dienten für die kleinen Einzugsgebiete (N-Abminderungsklasse „G“) die Zuflüsse (Seitengewässer) zu Harmersbach und Nordrach sowie Gewässerstellen entlang des Entersbacher Dorfbachs:

FGM-Kn. 90 (Entersbacher Dorfbach oh. Ortslage Unterentersbach),  
FGM-Kn. 259 (Entersbacher Dorfbach Mündung),  
FGM-Kn. 323 (Harmersbach oh. Langenbach), FGM-Kn. 496 (Harmersbach oh. Lindenbach),  
FGM-Kn. 748 (Holdersbach oh. Kreuzloch), FGM-Kn. 782 (Holdersbach Mündung),  
FGM-Kn. 819 (Riersbach uh. Krochtibächle), FGM-Kn. 842 (Riersbach Mündung),  
FGM-Kn. 1203 (Waldhäuserbach Mündung), FGM-Kn. 1344 (Kirnbach Mündung),  
FGM-Kn. 1402 (Hippersbach Mündung), FGM-Kn. 1569 (Hinterhambach Mündung),  
FGM-Kn. 2078 (Nordrach oh. Glasloch), FGM-Kn. 2090 (Glasloch Mündung),  
FGM-Kn. 2104 (Nordrach oh. Moosbächle), FGM-Kn. 2193 (Wippersbächle Mündung).

Als „maßgebende“ Gewässerstellen dienten für die mittleren Einzugsgebiete (N-Abminderungsklasse „H“) Gewässerstellen an Harmersbach und Nordrach:

FGM-Kn. 673 (Harmersbach oh. Holdersbach), FGM-Kn. 2181 (Nordrach oh. Wippersbächle).

Als „maßgebende“ Gewässerstellen dienten für die großen Einzugsgebiete (N-Abminderungsklasse „I“) Gewässerstellen an Harmersbach und Nordrach:

FGM-Kn. 788 (Harmersbach oh. Holdersbach), FGM-Kn. 1107 (Harmersbach oh. Waldhäuserbach),  
FGM-Kn. 1683 (Harmersbach oh. Verzeigung Ortslage Zell), FGM-Kn. 2218 (Nordrach oh. Holz sack),  
FGM-Kn. 2606 (Nordrach oh. Verzweig. Ortslage Zell), FGM-Kn. 2654 (Harmersbach oh. Nordrach).

Als „maßgebende“ Gewässerstelle diente für die sehr großen Einzugsgebiete (N-Abminderungsklasse „J“) eine Gewässerstelle am Harmersbach nach dem Zufluss der Nordrach:

FGM-Kn. 2718 (Pegel Zell/Harmersbach).

Die Anpassung der N-Faktoren erfolgte so, dass im Mittel über alle betrachteten Gewässerstellen eine Abflusserhöhung von 15% erreicht wurde.

#### 4.3.13 Nachrechnung abgelaufener Hochwasserereignisse

Für die Analyse des N-A-Verhaltens wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung für den Pegel Zell/Harmersbach 95 N-A-Ereignisse (Zeitraum: November 1967 bis März 2015) analysiert. Im Rahmen der Analyse des N-A-Verhaltens wurde immer das Gesamteinzugsgebiet des Pegels betrachtet. Es handelt sich dabei um einen sehr aufwendigen Untersuchungsteil, der jedoch zu entsprechend guten Ergebnissen führt.

Ergänzend zu den Analyseergebnissen für den Pegel Zell/Harmersbach wurden die in früheren Untersuchungen des Büros WALD+CORBE in geologisch vergleichbaren Einzugsgebieten erfolgten Analyseergebnisse einbezogen (Schutter, Dreisam, Elz).

Auf eine Nachrechnung eines historischer HW-Ereignisse wurde verzichtet, da nur relativ wenige Niederschlagsstationen zur Beschreibung der räumlich-zeitlichen Niederschlagsverhältnisse zur Verfügung standen. Insbesondere Regenschreibermessungen lagen für nur eine Station im Einzugsgebiet des Harmersbach (Oberharmersbach) und nur für Ereignisse der letzten Jahre (ab Oktober 2004) vor. Dadurch konnten keine großen HW-Ereignisse (z.B. Dez. 1991, Mai 1983, ...) mit dem FGM nachgerechnet werden, die zur Auslegung oder zum Testen von HW-Schutzmaßnahmen hätten genutzt werden können.

#### 4.4 Untersuchte FGM-Berechnungsvarianten

Berechnungen mit dem hydrologischen Flussgebietsmodell fanden für unterschiedliche FGM-Varianten statt. Diese unterscheiden sich in folgenden Punkten:

- Ortsentwässerung:
  - ohne Bebauung
  - Ist-Zustand
- Erfasste Retentionsräume (Retentionswirkung infolge Ausuferung):
  - Derzeitige Retentionswirkung infolge Ausuferung (Ist-Zustand)
  - Wegfall von Überflutungsflächen aufgrund von HWS-Maßnahmen (Mauern, Verwallungen, ...) → verminderte Retentionswirkung (Plan-Zustand)
- Erfasste Rückhaltungen HRB:
  - Ohne Becken (Ist-Zustand)
  - Mit den möglichen Becken (HRB-493 (Harmersbach oh. Lindebach), HRB-1167 (Waldhäuserbach), HRB-90 (Entersbacher Dorfbach))
  - Mit einem fiktiven Becken (HRB-1350, HRB-1576) oberhalb der Ortslage Zell (fiktive Variante zur Ermittlung des erforderlichen Volumens, das an diesem Standort allerdings nicht realisiert werden kann)
- Abflussverzweigungen/Überleitungen
  - Ist-Zustand
  - „Fläche 1523“ (Bereich Eckwaldweg Hinterhambach/Unterharmersbach) wird in den Hinterhambach geleitet

Nachfolgend sind in der Tabelle 4.10 die untersuchten FGM-Berechnungsvarianten nochmals zusammenfassend dargestellt. Für die Untersuchung zentrale FGM-Varianten sind dabei:

„U0“ (Zustand ohne Bebauung): FGM-Plausibilisierung

„I0“ (Zustand mit Bebauung): FGM-Plausibilisierung, Anpassung des LF-Klima: Bestandsanalyse

Alle untersuchten FGM-Varianten (Berechnungsergebnisse) werden in den nachfolgenden Kapiteln 4.5 und Kapitel 4.6 sowie Kapitel 4.9 bis Kapitel 4.11 nochmals detailliert beschrieben.

Tabelle 4.10: Untersuchte FGM-Berechnungsvarianten

FGM Var.	HRB Plan-Zustand				Verzweigung	Retentionräume	Beb.	Bemerkung
	HRB-493 (Steuerpegel Kn. 505) Harmersbach oh. Lindenbach	HRB-1167 (Steuerpegel Kn. 1176) Waldhäuserbach	HRB-90 Entersbacher Dorfbach	HRB-1350 bzw. HRB-1576 fiktives HRB oh. Ortslage Zell				
U0	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	Ist	ohne	fiktiver Zustand ohne Beb. (FGM: $A_{red} = 0$ ) Ziel: Vergleich mit HQ <sub>T</sub> -Regionalisierung (Plausibilisierung)
I0	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	Ist	Ist	derzeitiger Beb.-Zustand Ziel: Vergleich mit HQ <sub>T</sub> -Regionalisierung (Plausibilisierung); Anpassung LF-Klima
P0	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	Plan	Ist	derzeitiger Beb.-Zustand Verminderte Retention durch HWS-Maßnahmen in Zell Ziel: Auswirkungen durch Wegfall Überflutungsflächen aufgrund von HWS-Maßnahmen in Zell
P1	mit $Q_R=8,4 \text{ m}^3/\text{s}$ $S_{ZV}=70.000 \text{ m}^3$	ohne	ohne	ohne	ohne	Ist	Ist	gesteuert Auslegung auf HQ100; nicht weiterverfolgt
P2	mit Steuerpegel $Q_R=11,9 \text{ m}^3/\text{s}$ $S_{ZV}=70.000 \text{ m}^3$	ohne	ohne	ohne	ohne	Ist	Ist	gesteuert mit Steuerpegel Auslegung auf HQ100 nicht weiterverfolgt
P3	ohne	mit ungesteuert $S_{ZV}=41.000 \text{ m}^3$	ohne	ohne	ohne	Ist	Ist	ungesteuert Auslegung auf HQ100 nicht weiterverfolgt
P4	ohne	mit $Q_R=7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ $S_{ZV}=41.000 \text{ m}^3$	ohne	ohne	ohne	Ist	Ist	gesteuert Auslegung auf HQ100; nicht weiterverfolgt
P5	ohne	mit Steuerpegel $Q_R=9,4 \text{ m}^3/\text{s}$ $S_{ZV}=41.000 \text{ m}^3$	ohne	ohne	ohne	Ist	Ist	gesteuert mit Steuerpegel Auslegung auf HQ100 nicht weiterverfolgt
P6	ohne	ohne	mit ungesteuert $S_{ZV}=164.200 \text{ m}^3$	ohne	ohne	Ist	Ist	ungesteuert; Auslegung auf HQ100; Zielwert: $6 \text{ m}^3/\text{s}$ am FGM-Kn. 160 nicht weiterverfolgt
P7	ohne	ohne	mit ungesteuert $S_{ZV}=68.700 \text{ m}^3$	ohne	ohne	Ist	Ist	ungesteuert; Auslegung auf HQ100; Zielwert: $8 \text{ m}^3/\text{s}$ am FGM-Kn. 160 nicht weiterverfolgt
P8	ohne	ohne	mit $Q_R=4,9 \text{ m}^3/\text{s}$ $S_{ZV}=97.900 \text{ m}^3$	ohne	ohne	Ist	Ist	gesteuert; Auslegung auf HQ100; Zielwert: $8 \text{ m}^3/\text{s}$ am FGM-Kn. 160 nicht weiterverfolgt
P9	ohne	ohne	mit adaptiv $S_{ZV}=58.000 \text{ m}^3$	ohne	ohne	Ist	Ist	Adaptive Steuerung; Auslegung auf HQ100; Zielwert: $8 \text{ m}^3/\text{s}$ am FGM-Kn. 160 nicht weiterverfolgt
P10	ohne	ohne	mit ungesteuert $S_{ZV}=107.100 \text{ m}^3$	ohne	ohne	Ist	Ist	ungesteuert; Auslegung auf HQ100; Zielwert: $7 \text{ m}^3/\text{s}$ am FGM-Kn. 160 nicht weiterverfolgt
P11	ohne	ohne	ohne	ohne	mit. 1528	Ist	Ist	Verzweigung 1528; Fläche 1523 wird in Hinterhambach geleitet
P12	ohne	ohne	ohne	mit HRB-1350; $Q_R=35,0 \text{ m}^3/\text{s}$ $S_{ZV}=522.000 \text{ m}^3$	ohne	Ist	Ist	gesteuert; Auslegung auf HQ100; fiktive Berechnung, da HRB an diesem Standort nicht realisierbar
P13	ohne	ohne	ohne	mit HRB-1576; $Q_R=53,0 \text{ m}^3/\text{s}$ $S_{ZV}=382.000 \text{ m}^3$	ohne	Ist	Ist	gesteuert; Auslegung auf HQ100; fiktive Berechnung, da HRB an diesem Standort nicht realisierbar



#### 4.5 FGM-Berechnungsergebnisse der Grundvariante „U0“ (ohne Beb.)

Berechnungen mit dem hydrologischen Flussgebietsmodell wurden zunächst für eine Grundvariante („U0“) durchgeführt. Die FGM-Variante „U0“ entspricht einem quasi natürlichen Zustand ohne Bebauung und ohne Rückhaltungen (HRB).

Diese FGM-Berechnungsvariante dient einerseits der Plausibilisierung der FGM-Berechnungsergebnisse (Modellanpassung). In der nachfolgenden Tabelle sind für die FGM-Variante „U0“ die mit dem FGM ermittelten HW-Abflüsse ausgewählter Gewässerstellen zusammengestellt. Die FGM-Berechnungsergebnisse aller FGM-Knoten können der Anlagentabelle A.4.2 entnommen werden.

Neben der Plausibilisierung der FGM-Berechnungsergebnisse kann durch Vergleiche der  $HQ_T$ -Werte der FGM-Variante „U0“ mit den  $HQ_T$ -Werten der FGM-Varianten mit Bebauung („I0“) auch der Einfluss der Bebauung auf den HW-Abfluss aufgezeigt werden.

Tabelle 4.11: HW-Abflüsse ausgew. Gewässerstellen – FGM-Grundvariante „U0“ (ohne Bebauung)

FGM-Kn.	Lage	HQ <sub>5</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>10</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>20</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100K</sub> [m <sup>3</sup> /s]
676	Harmersbach oh. Holdersbach	11,3	14,8	19,2	25,9	30,3	34,8
787	Holdersbach Mündung	4,8	6,6	8,7	11,9	14,6	16,8
846	Riersbach Mündung	4,5	6,2	8,1	11,0	13,5	15,5
865	Jauschbach Mündung	1,0	1,3	1,8	2,4	2,9	3,3
866	Harmersbach uh. Jauschbach	17,9	23,5	29,8	39,2	46,8	53,8
905	Brugasse Bächlein	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
281	Hubbächlein	0,8	1,1	1,5	2,0	2,5	2,9
1111	Harmersbach oh. Waldhäuserbach	19,9	26,2	32,8	43,1	50,4	58,2
1208	Waldhäuserbach Mündung	7,4	10,1	13,2	18,0	21,9	25,2
1209	Harmersbach uh. Waldhäuserbach	25,4	33,4	41,7	54,9	63,9	74,0
1368	Harmersbach oh. Hippersbach	32,6	42,7	51,8	67,1	77,5	89,7
1426	Harmersbach oh. Hinterhambach	35,0	45,9	55,6	71,7	82,6	95,8
1574	Hinterhambach Mündung	5,1	7,1	9,2	12,6	15,5	17,8
1575	Harmersbach uh. Hinterhambach	38,3	50,2	60,9	78,2	90,4	104,8
1651	Herrenholzbächle	1,3	1,8	2,3	3,1	3,9	4,4
1851	Knopfholzbächle	1,0	1,3	1,7	2,3	2,9	3,3
2659	Harmersbach oh. Nordrach	39,3	51,3	62,0	78,6	90,5	103,5
2716	Nordrach Mündung	20,1	26,4	31,7	40,4	46,1	51,7
2717/ 2718	Harmersbach uh. Nordrach/ Pegel Zell am Harmersb.	52,5	67,7	84,6	104,8	123,0	141,7



FGM-Kn.	Lage	HQ <sub>5</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>10</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>20</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100K</sub> [m <sup>3</sup> /s]
92	Entersb. Dorfbach oh. Unterentersb.	5,8	8,1	10,7	14,3	17,5	20,1
135	Gew.90920+90921 (Linksseitiger Zu- fluss)	0,8	1,0	1,4	1,8	2,3	2,6
160	Entersb. Dorfbach uh. Gew.90920+ 90921(Linkss.Zufl.)	6,2	8,6	11,2	15,0	18,3	21,0
233	Entersb.Dorfbach/ K5354	6,3	8,7	11,4	15,1	18,4	21,2

#### 4.6 FGM-Berechnungsergebnisse für den derzeitigen Zustand „I0“

Im nächsten Schritt wurden mit dem hydrologischen Flussgebietsmodell Berechnungen für eine weitere FGM-Grundvariante „I0“ durchgeführt. Die FGM-Variante „I0“ entspricht in etwa dem derzeitigen Ausbauzustand (Ortsentwässerung, Gewässer).

Diese FGM-Berechnungsvariante dient einerseits der Plausibilisierung der FGM-Berechnungsergebnisse (Modellanpassung). Andererseits wurde mit dieser Variante der LF-Klima angepasst. In der nachfolgenden Tabelle sind für die FGM-Variante „I0“ die mit dem FGM ermittelten HW-Abflüsse ausgewählter Gewässerstellen zusammengestellt. Die FGM-Berechnungsergebnisse aller FGM-Knoten können der Anlagentabelle A.4.3 entnommen werden.

Neben der Plausibilisierung der FGM-Berechnungsergebnisse kann durch Vergleiche der  $HQ_T$ -Werte der FGM-Variante „I0“ mit den  $HQ_T$ -Werten der FGM-Varianten ohne Bebauung („U0“) auch der Einfluss der Bebauung auf den HW-Abfluss aufgezeigt werden.

Die Berechnungen der FGM-Variante „I0“ dienen der Bestandsanalyse. D.h. sie bilden die Grundlage für Nachrechnungen des Ist-Zustandes mit den hydraulischen Modellen.

In den nachfolgenden Abbildungen sind außerdem für die FGM-Variante „I0“ die mit dem FGM ermittelten Ganglinien an ausgewählten Gewässerstellen dokumentiert. Dargestellt sind die Ganglinien am Harmersbach oberhalb des Waldhäuserbachs (Ortslage Oberharmersbach; FGM-Kn. 1209) und oberhalb der Nordrach (Ortslage Zell; FGM-Kn. 2659) sowie am Entersbacher Dorfbach (Ortslage Unterentersbach; FGM-Kn. 160).

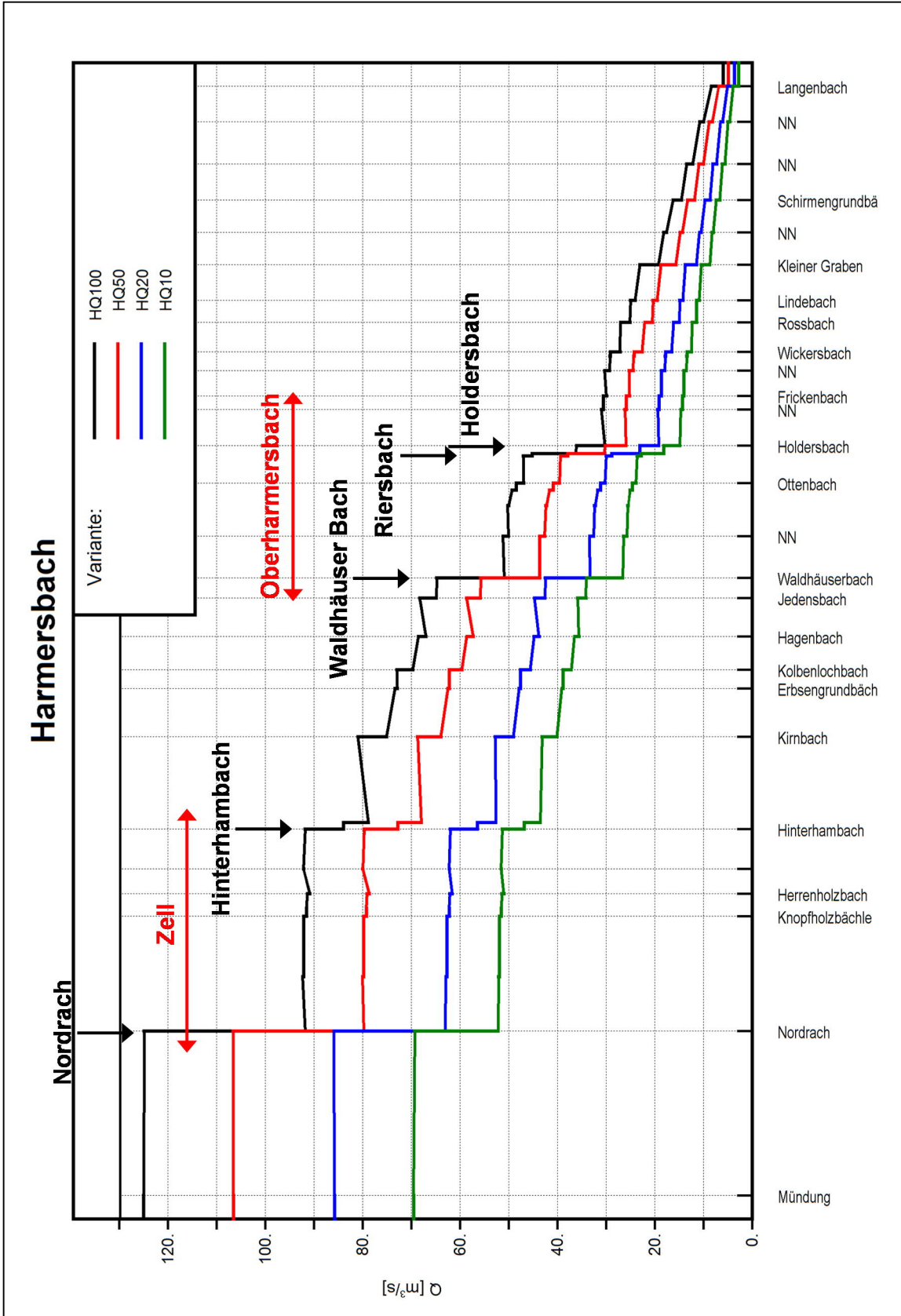


Abbildung 4-22: Hochwasserlängsschnitt des Harmersbachs für den derzeitigen Zustand „10“

Tabelle 4.12: HW-Abflüsse ausgew. Gewässerstellen – FGM-Grundvariante „I0“ (mit Bebauung)

FGM-Kn.	Lage	HQ <sub>5</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>10</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>20</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100K</sub> [m <sup>3</sup> /s]
676	Harmersbach oh. Holdersbach	11,4	14,9	19,2	25,9	30,3	34,8
787	Holdersbach Mündung	4,8	6,6	8,7	11,9	14,6	16,8
846	Riersbach Mündung	4,5	6,2	8,1	11,0	13,5	15,5
865	Jauschbach Mündung	1,0	1,4	1,8	2,4	2,9	3,4
866	Harmersbach uh. Jauschbach	18,1	23,7	30,0	39,4	47,0	54,0
905	Brugasse Bächlein	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
281	Hubbächlein	0,8	1,1	1,5	2,0	2,5	2,9
1111	Harmersbach oh. Waldhäuserbach	20,3	26,6	33,3	43,6	50,9	58,8
1208	Waldhäuserbach Mündung	7,8	10,5	13,4	18,0	22,0	25,3
1209	Harmersbach uh. Waldhäuserbach	26,1	34,1	42,5	55,7	64,8	74,9
1368	Harmersbach oh. Hippersbach	33,3	43,5	52,7	68,0	78,8	91,0
1426	Harmersbach oh. Hinterhambach	35,8	46,8	56,5	72,8	83,9	97,2
1574	Hinterhambach Mündung	5,1	7,1	9,2	12,6	15,5	17,8
1575	Harmersbach uh. Hinterhambach	39,2	51,2	61,8	79,5	91,5	106,2
1651	Herrenholzbächle	1,3	1,8	2,3	3,1	3,9	4,4
1851	Knopfholzbächle	1,0	1,3	1,7	2,3	2,9	3,3
2659	Harmersbach oh. Nordrach	40,2	52,2	63,0	79,8	91,8	105,1
2716	Nordrach Mündung	20,5	26,9	32,2	40,9	46,6	52,3
2717/ 2718	Harmersbach uh. Nordrach/ Pegel Zell am Harmersb.	54,0	69,3	85,9	106,6	124,9	143,8

FGM-Kn.	Lage	HQ <sub>5</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>10</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>20</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100K</sub> [m <sup>3</sup> /s]
92	Entersb. Dorfbach oh. Unterentersb.	5,8	8,1	10,7	14,3	17,5	20,1
135	Gew.90920+90921 (Linksseitiger Zu- fluss)	0,8	1,0	1,4	1,8	2,3	2,6
160	Entersb. Dorfbach uh. Gew.90920+ 90921(Linkss.Zufl.)	6,2	8,6	11,3	15,0	18,3	21,0
233	Entersb.Dorfbach/ K5354	6,3	8,7	11,4	15,1	18,4	21,2

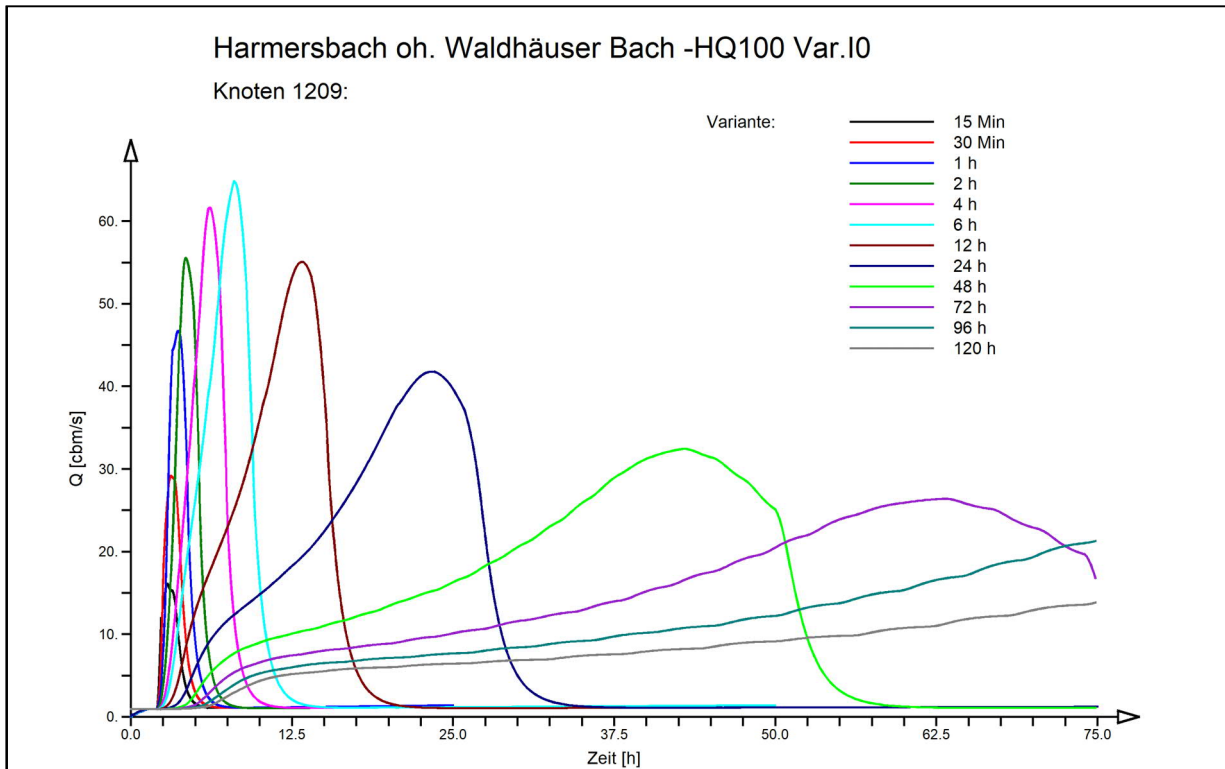


Abbildung 4-23: Abflussganglinien ( $T=100a$ , FGM-Var. „I0“) am Harmersbach oberhalb Waldhäuserbach (FGM-Kn. 1209) für ausgewählte Regendauern  $T_D$

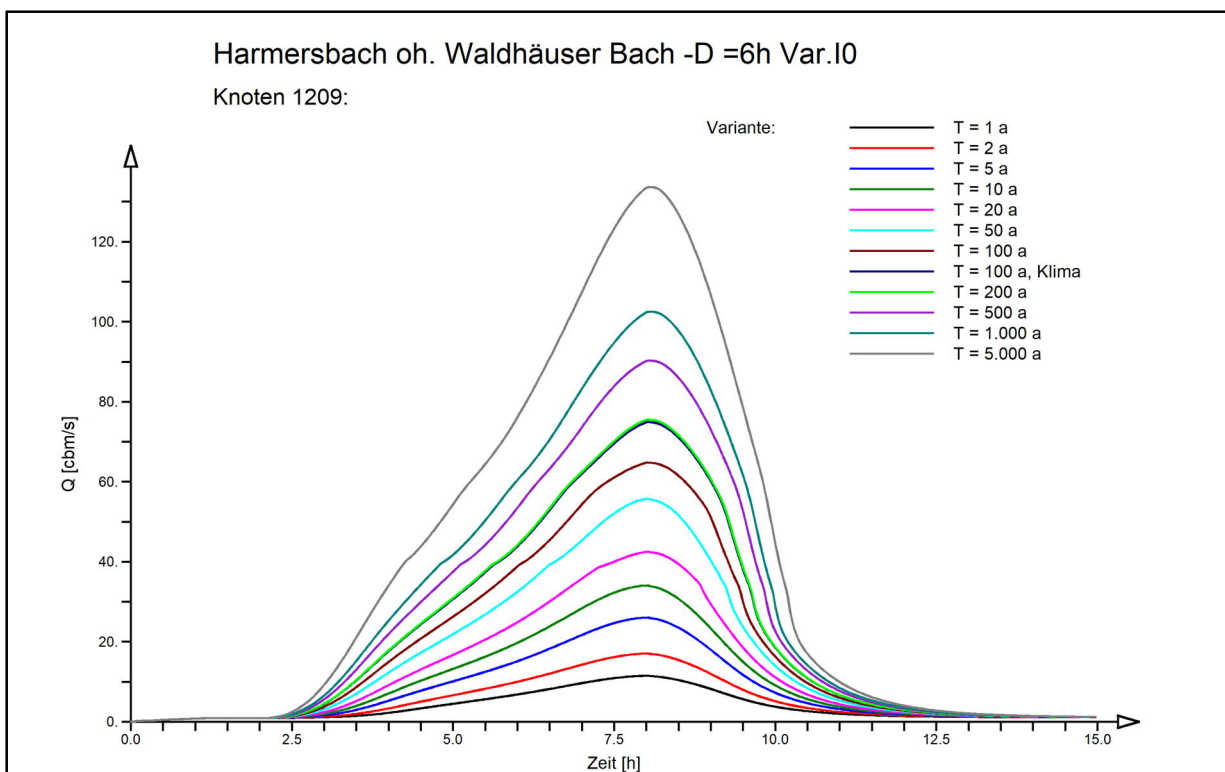


Abbildung 4-24: Abflussganglinien ( $T=100a$ , FGM-Var. „I0“) am Harmersbach oh. Waldhäuserbach (FGM-Kn. 1209) der maßgebenden Regendauer  $T_D = 6 h$  für unterschiedliche Jährlichkeiten

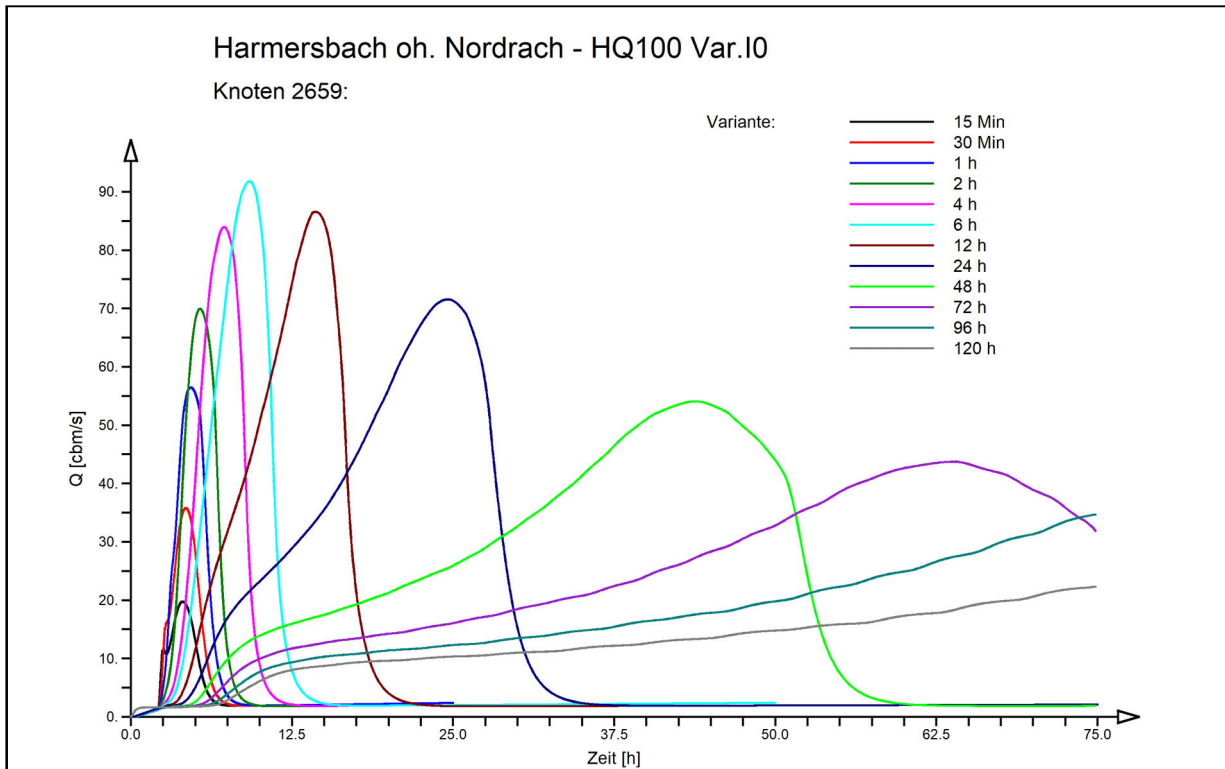


Abbildung 4-25: Abflussganglinien (T=100a, FGM-Var. „I0“) am Harmersbach oberhalb Nordrach (FGM-Kn. 2659) für ausgewählte Regendauern  $T_D$

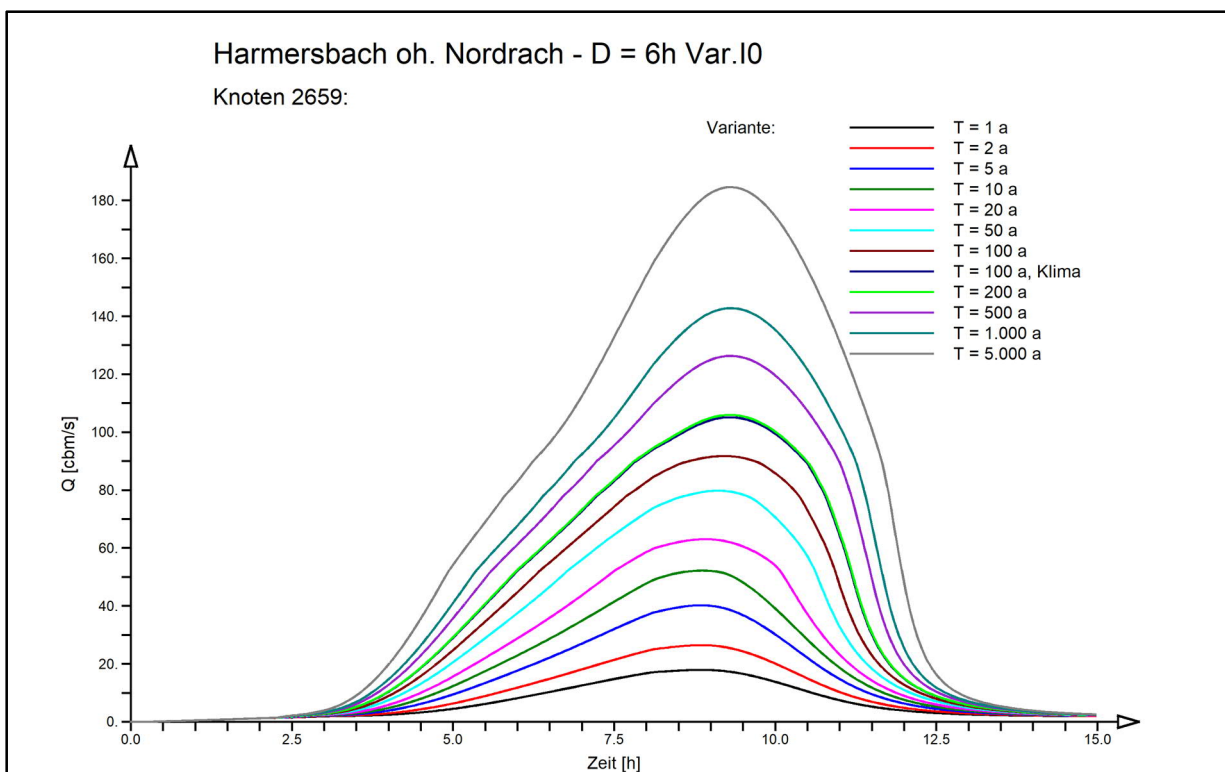


Abbildung 4-26: Abflussganglinien (T=100a, FGM-Var. „I0“) am Harmersbach oh. Nordrach (FGM-Kn. 2659) der maßgebenden Regendauer  $T_D = 6$  h für unterschiedliche Jährlichkeiten

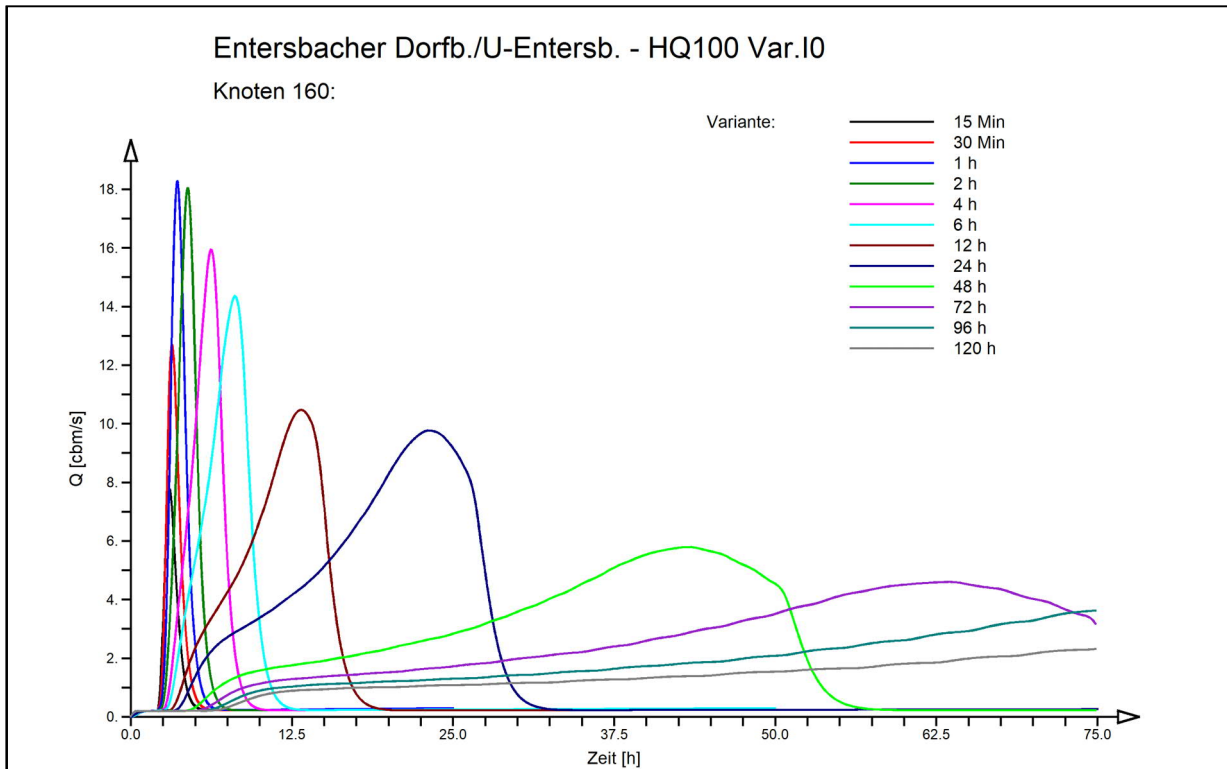


Abbildung 4-27: Abflussganglinien (T=100a, FGM-Var. „I0“) am Entersbacher Dorfbach (FGM-Kn. 160) für ausgewählte Regendauern  $T_D$

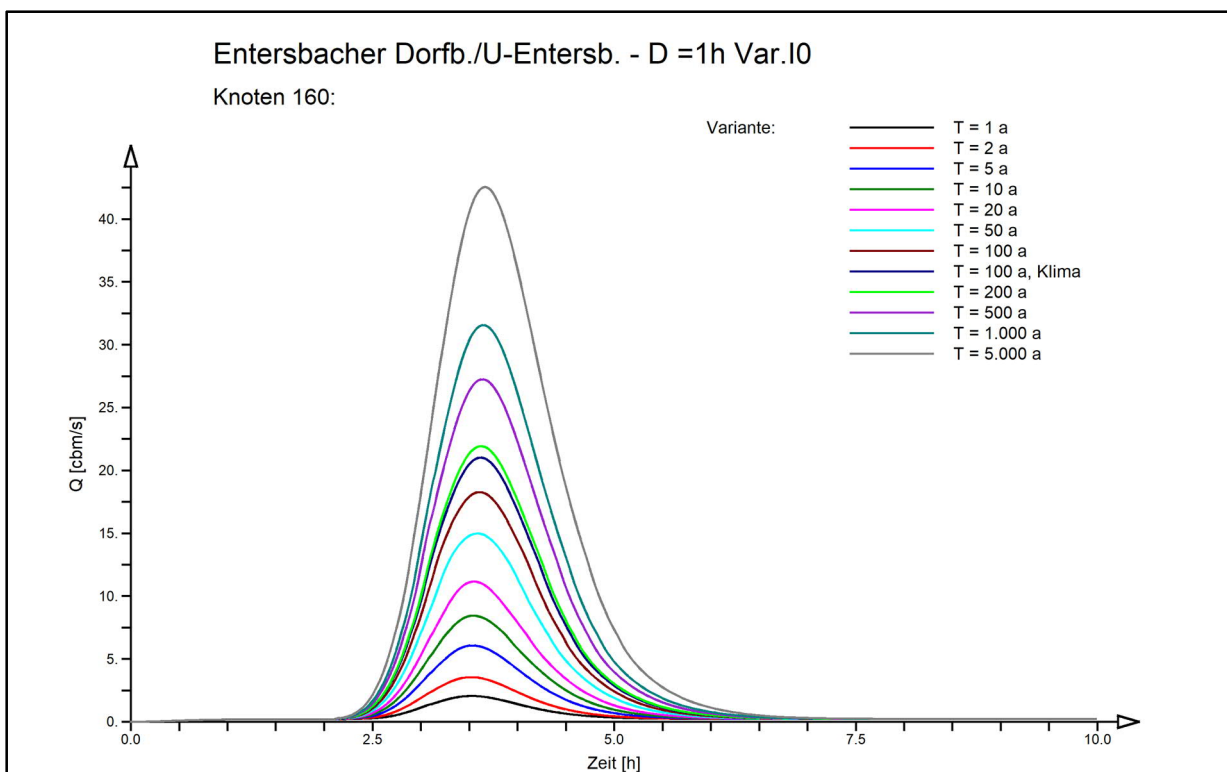


Abbildung 4-28: Abflussganglinien (T=100a, FGM-Var. „I0“) am Entersbacher Dorfbach (FGM-Kn. 160) der maßgebenden Regendauer  $T_D = 1$  h für unterschiedliche Jährlichkeiten



#### 4.7 Einfluss der Bebauung auf den HW-Abfluss

Durch Vergleiche der FGM-Berechnungsergebnisse der Varianten „U0“ (ohne Bebauung) und „I0“ (in etwa derzeitige Bebauung) kann für den Untersuchungsraum der Einfluss der Bebauung auf den HW-Abfluss aufgezeigt werden. In der nachfolgenden Tabelle sind hierfür die FGM-Berechnungsergebnisse der beiden Varianten an ausgewählten Gewässerstellen einander gegenübergestellt worden.

Die FGM-Berechnungsergebnisse zeigen, dass entlang des Harmersbachs und seiner Seitengewässer der Einfluss aus den Einleitungen der Ortsentwässerung auf die HW-Abflüsse zumeist sehr gering ist (< 3 %). Dies ist durch den geringen Versiegelungsgrads im Einzugsgebiet des Harmersbachs begründet. Die auftretenden HW-Abflüsse werden aus den Zuflüssen aus den natürlichen Flächen dominiert. Die kurzen, steilen Zuflüsse aus den Ortsentwässerungen bauen sich rasch ab.

Tabelle 4.13: Einfluss der Bebauung auf den HW-Abfluss – Vergleich der FGM-Berechnungsergebnisse der FGM-Varianten „U0“ (ohne Bebauung) und „I0“ (in etwa derzeitige Bebauung)

FGM-Kn.	Lage	HQ <sub>10</sub> [m <sup>3</sup> /s]			HQ <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]			Fläche [km <sup>2</sup> ]
		U0	I0	U0/I0 [%]	U0	I0	U0/I0 [%]	
673	Harmersbach oh. Holdersbach	14,8	14,9	0,7	30,3	30,3	0,0	15,0
782	Holdersbach Mündung	6,6	6,6	0,0	14,6	14,6	0,0	4,5
788	Harmersbach uh. Holdersbach	18,1	18,2	0,6	35,9	36,1	0,4	19,5
1107	Harmersbach oh. Waldhäuserbach	26,2	26,6	1,7	50,4	50,9	1,1	28,5
1203	Waldhäuserbach Mündung	10,1	10,5	3,3	21,9	22,0	0,4	7,8
1209	Harmersbach uh. Waldhäuserbach	33,4	34,1	2,1	63,9	64,8	1,3	36,2
1305	Harmersbach oh. Kirnbach	39,2	40,1	2,1	74,2	75,1	1,3	43,3
1344	Kirnbach Mündung	4,6	4,6	0,0	9,9	9,9	0,0	3,4
1350	Harmersbach uh. Kirnbach	42,3	43,1	2,0	79,9	81,0	1,3	46,6
1363	Harmersbach oh. Hippersbach	42,7	43,5	2,0	77,5	78,8	1,7	47,6
1402	Hippersbach Mündung	5,5	5,5	0,0	11,5	11,5	0,0	4,3
1408	Harmersbach uh. Hippersbach	45,9	46,8	2,0	82,6	83,9	1,5	52,0

FGM-Kn.	Lage	HQ <sub>10</sub> [m <sup>3</sup> /s]			HQ <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]			Fläche [km <sup>2</sup> ]
		U0	I0	U0/I0 [%]	U0	I0	U0/I0 [%]	
1421	Harmersbach oh. Hinterhambach	45,9	46,8	2,0	82,6	83,9	1,5	52,0
1569	Hinterhambach Mündung	7,1	7,1	0,0	15,5	15,5	0,0	5,9
1575	Harmersbach uh. Hinterhambach	50,2	51,2	1,9	90,4	91,5	1,3	57,9
2654	Harmersbach oh. Nordrach	51,3	52,2	1,8	90,5	91,8	1,3	62,6
2711	Nordrach Mündung	26,4	26,9	1,8	46,1	46,6	1,2	40,6
2717	Harmersbach uh. Nordrach	67,7	69,3	2,3	123,0	124,9	1,5	103,2
2718	Pegel Zell am Harmersbach	67,7	69,3	2,3	123,0	124,9	1,5	103,2
2814	Harmersbach Mündung	67,9	69,5	2,3	123,1	125,0	1,5	104,8
92	Entersbacher Dorfbach oh. Unterentersbach	8,1	8,1	0,0	17,5	17,5	0,0	6,9
246	HRB Biberach Entersbacher Dorfbach	9,6	9,7	1,3	19,8	20,0	0,9	9,6
259	Entersbacher Dorfbach Mündung	9,8	10,0	1,3	20,3	20,5	1,0	10,1

## 4.8 FGM-Plausibilitätskontrolle

### 4.8.1 HQ<sub>T</sub>-Regionalisierung

Die FGM-Berechnungsergebnisse sollten vor einer Anwendung für Bestandsanalysen oder Planungszwecke (Auslegung von HW-Schutzmaßnahmen) auf Plausibilität getestet werden.

Für Baden-Württemberg wurde flächendeckend ein HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungsverfahren angepasst (LUBW/KIT, 2007, 2015). Beim HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungsverfahren handelt es sich um einen statistischen Ansatz (Mehrfachregression), in dem der HQ<sub>T</sub>-Wert einer Gewässerstelle über Gebietskenngößen ( $A_E, L, L_C, I_G, U, W, N_{\text{Jahr}}$ ) und einen, das Abflussverhalten einer Region beschreibenden, Landschaftsfaktor (LF) berechnet wird. Für das Einzugsgebiet des Harmersbachs liegen für insgesamt 48 Gewässerstellen original LUBW/KIT-Literaturwerte (HQ<sub>T</sub>) vor. 29 dieser Gewässerstellen befinden sich im Einzugsgebiet der Nordrach, die übrigen 19 Gewässerstellen befinden sich am Harmersbach und seinen seitlichen Zuflüssen. Für das Einzugsgebiet des Entersbacher Dorfbachs liegen für zwei Gewässerstellen original LUBW/KIT-Literaturwerte (HQ<sub>T</sub>) vor.

Es fand eine Plausibilisierung durch Vergleiche der HQ<sub>T</sub>-Werte aus der FGM-Berechnung mit HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungswerten statt. Zu berücksichtigen ist dabei, dass das HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungsverfahren den Einfluss der Bebauung nur sehr stark vereinfacht berücksichtigen kann (Unsicherheiten bei inhomogener Bebauung, Industriegebieten mit hohem Versiegelungsgrad, kleinen Gebiete mit großem Bebauungseinfluss, ...). Auch der Einfluss von Retentionsräumen oder Rückhaltungen kann mit dem Verfahren nicht oder nur stark vereinfacht berücksichtigt werden. Die breitflächigen Ausuferungen bei Eintritt des Entersbacher Dorfbachs und des Harmersbachs ins Niederungssystem der Kinzig werden somit nur stark vereinfacht im HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungsmodell berücksichtigt.

Da am Entersbacher Dorfbach beide Gewässerstellen, für die „offizielle“ HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungswerte vorliegen, im Niederungssystem liegen, fanden im Rahmen der Plausibilisierung eigene Berechnungen mit dem HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungsverfahren statt. Es wurde für eine Gewässerstelle am Entersbacher Dorfbach oberhalb der Ortslage von Unterentersbach das HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungsverfahren angewendet, so dass die Berechnungsergebnisse auch nicht durch die Bebauung beeinflusst werden, die bei diesem Verfahren nur vereinfacht berücksichtigt wird.

Da der Einfluss der Bebauung auf den HW-Abfluss im Einzugsgebiet des Harmersbach ohnehin gering ist (siehe Kapitel 4.7), wurden die FGM-Berechnungsergebnissen der FGM-Variante „I0“ mit den original HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungswerte (LUBW/KIT, 2007, 2015) verglichen (Tabelle 4.14). In Tabelle 4.14 sind außer den 29 Gewässerstellen im Einzugsgebiet der Nordrach alle Gewässerstellen aufgeführt, für die Werte aus dem HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungsverfahren vorlagen. Nachgebildet wird in dieser FGM-Variante der etwa derzeitige Ausbauzustand der Ortsentwässerungen.

Der Vergleich zeigt, dass die Ergebnisse (HQ<sub>T</sub>-Werte) aus der FGM-Berechnung und HQ<sub>T</sub>-Regionalisierung im Mittel sehr gut miteinander übereinstimmen. Dies gilt insbesondere für die beim Hochwasserschutz maßgebenden 100-jährlichen Ereignisse. Es kann somit von einer realistischen Nachbildung des N-A-Verhaltens mit dem FGM ausgegangen werden.

Anmerkung: Dargestellt sind in der Tabelle aus Gründen der Vollständigkeit auch kleine Einzugsgebiete ( $A_E < 5 \text{ km}^2$ ), für die das HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungsverfahren eigentlich nicht mehr eingesetzt werden sollte.

In den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 4-29 bis Abbildung 4-35) sind nochmals für vier zentrale Gewässerstellen am Harmersbach (FGM-Kn. 673 vor Zufluss Holdersbach, FGM-Kn. 1107 vor Zufluss Waldhäuserbach, FGM-Kn. 1363 vor Zufluss Hippersbach, FGM-Kn. 2654 vor Zufluss Nordrach), für zwei Seitengewässer (FGM-Kn. 1203 Waldhäuserbach Mündung, FGM-Kn. 1402 Hippersbach Mündung) und für eine Gewässerstelle am Entersbacher Dorfbach (FGM-Kn. 92 vor Ortslage Unterentersbach) die Berechnungsergebnisse aus HQ<sub>T</sub>-Regionalisierung und FGM-Berechnung einander gegenübergestellt. Dargestellt ist jeweils der Zustand mit Bebauung (FGM-Var. „I0“ mit Bebauung).

Tabelle 4.14: Vergleich der FGM HW-Abflüsse (FGM-Var. „I0“) mit HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungswerten (Ist-Zustand)

FGM-Kn.	Lage	HQ <sub>10</sub> [m <sup>3</sup> /s]			HQ <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]			Fläche [km <sup>2</sup> ]
		Reg. mit Stadt	FGM	FGM/Reg. [%]	Reg. mit Stadt	FGM	FGM/Reg. [%]	
673	Harmersbach oh. Holdersbach	15,7	14,9	-5,1	28,6	30,3	+6,1	15,0
782	Holdersbach Mündung	7,5	6,6	-12,0	14,4	14,6	+1,4	4,5
788	Harmersbach uh. Holdersbach	20,4	18,2	-10,8	37,4	36,1	-3,4	19,5
1107	Harmersbach oh. Waldhäuserbach	29,0	26,6	-8,1	50,8	50,9	+0,2	28,5
1203	Waldhäuserbach Mündung	11,3	10,5	-7,1	22,2	22,0	-1,0	7,8
1209	Harmersbach uh. Waldhäuserbach	36,4	34,1	-6,4	64,3	64,8	+0,7	36,2
1305	Harmersbach oh. Kirnbach	40,0	40,1	+0,2	69,8	75,1	+7,6	43,3
1344	Kirnbach Mündung	5,0	4,6	-9,0	10,0	9,9	-0,8	3,4
1350	Harmersbach uh. Kirnbach	42,4	43,1	+1,7	74,5	81,0	+8,8	46,6
1363	Harmersbach oh. Hippersbach	44,5	43,5	-2,2	76,7	78,8	+2,8	47,6
1402	Hippersbach Mündung	5,8	5,5	-5,7	12,1	11,5	-4,3	4,3
1408	Harmersbach uh. Hippersbach	45,4	46,8	+3,2	78,5	83,9	+7,0	52,0

FGM-Kn.	Lage	HQ <sub>10</sub> [m <sup>3</sup> /s]			HQ <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]			Fläche [km <sup>2</sup> ]
		Reg. mit Stadt	FGM	FGM/Reg. [%]	Reg. mit Stadt	FGM	FGM/Reg. [%]	
1421	Harmersbach oh. Hinterhambach	45,7	46,8	+2,5	78,9	83,9	+6,3	52,0
1569	Hinterhambach Mündung	8,0	7,1	-11,6	15,6	15,5	-0,9	5,9
1575	Harmersbach uh. Hinterhambach	49,5	51,2	+3,4	86,2	91,5	+6,2	57,9
2654	Harmersbach oh. Nordrach	52,7	52,2	-1,0	90,8	91,8	+1,0	62,6
2711	Nordrach Mündung	29,3	26,9	-8,4	50,5	46,6	-7,6	40,6
2717	Harmersbach uh. Nordrach	72,2	69,3	-4,0	126,2	124,9	-1,0	103,2
2718	Pegel Zell am Harmersbach	72,4	69,3	-4,3	126,6	124,9	-1,4	103,2
2814	Harmersbach Mündung	78,0	69,5	-10,9	136,3	125,0	-8,3	104,8
92	Entersbacher Dorfbach oh. Unterentersbach*	8,0	8,1	+0,9	16,7	17,5	+4,3	6,9
246	HRB Biberach Entersbacher Dorfbach	8,9	9,7	+9,6	17,2	20,0	+16,2	9,6
259	Entersbacher Dorfbach Mündung	9,3	10,0	+7,4	17,5	20,5	+17,0	10,1

\* Eigene Berechnung

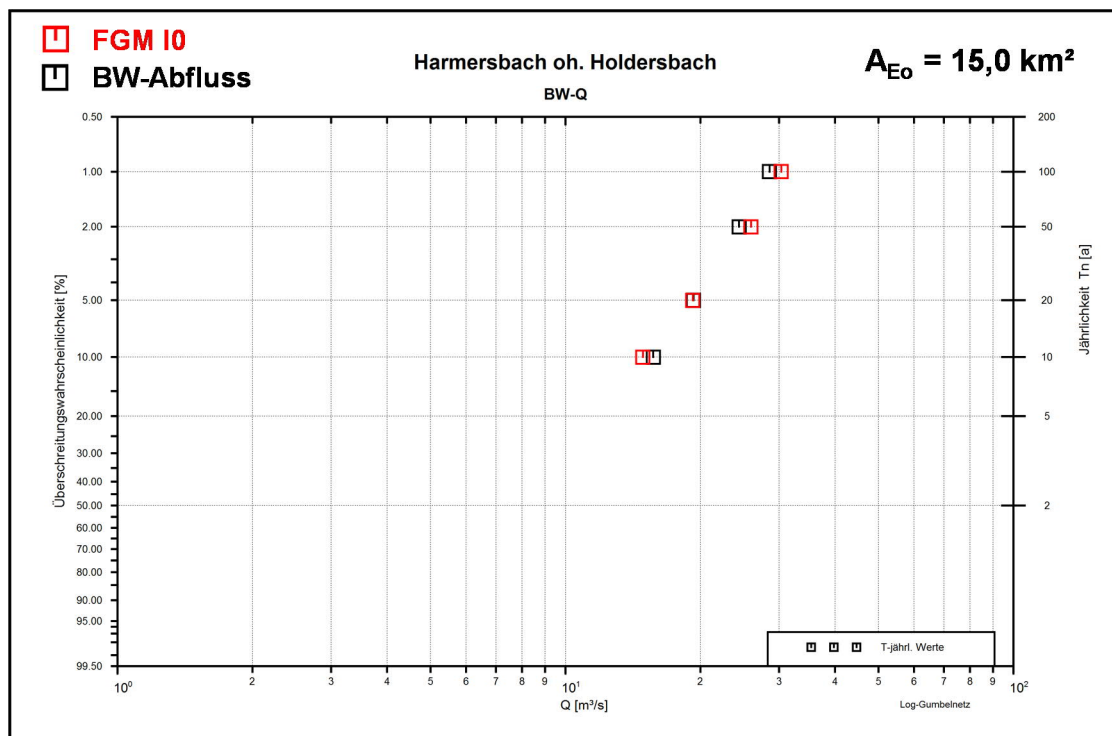


Abbildung 4-29: Vergleich zwischen den  $HO_T$ -Regionalisierungswerten (schwarz) u. FGM-Berechnungsergebnissen (rot; FGM-Var. „I0“) für den Harmersbach oh. Holdersbach (FGM-Kn. 673)

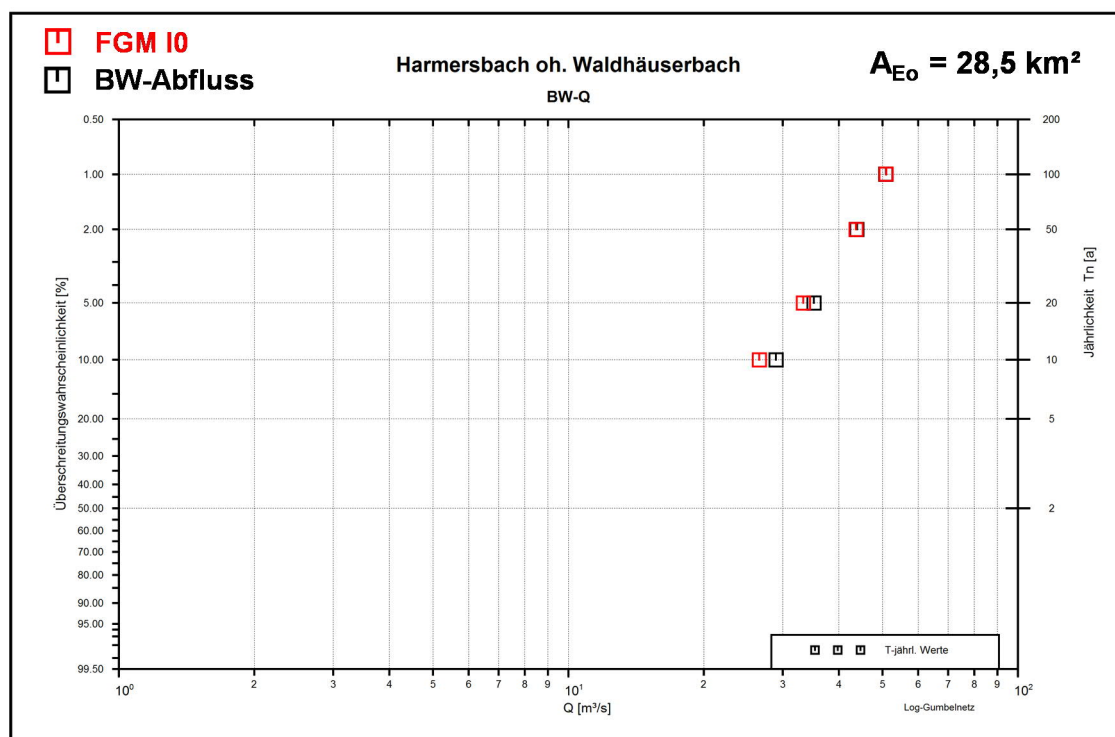


Abbildung 4-30: Vergleich zwischen den  $HO_T$ -Regionalisierungswerten (schwarz) u. FGM-Berechnungsergebnissen (rot; FGM-Var. „I0“) für den Harmersbach oh. Waldhäuserbach (FGM-Kn. 1107)



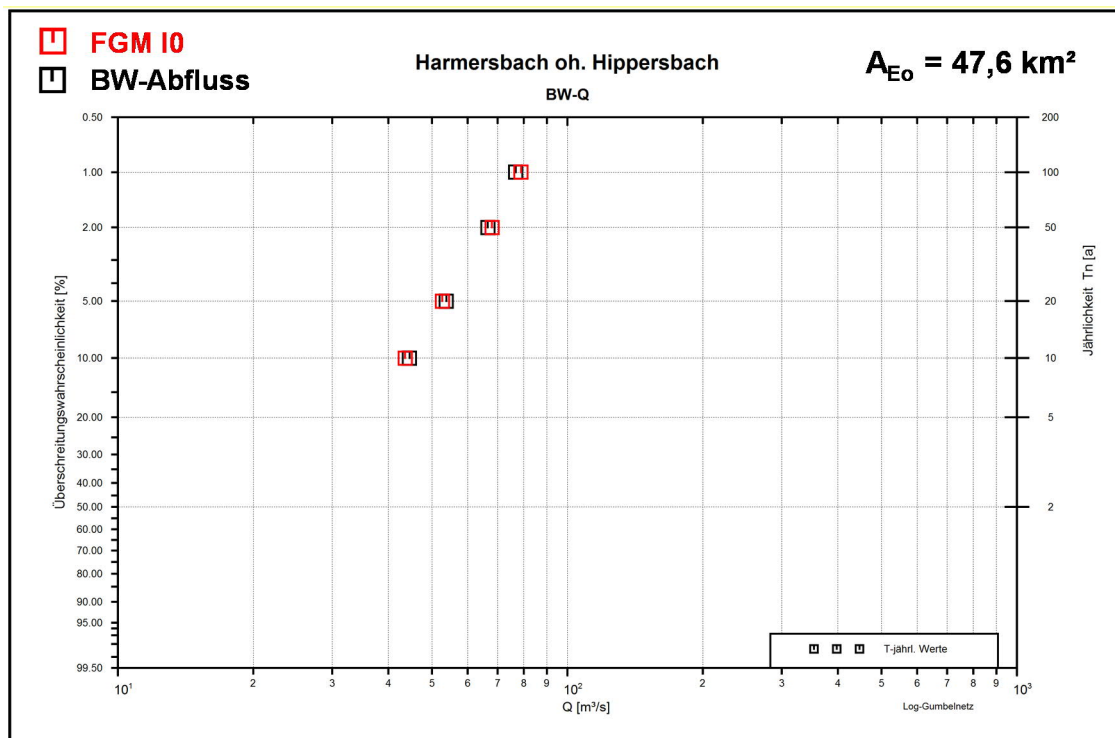


Abbildung 4-31: Vergleich zwischen den  $HQ_T$ -Regionalisierungswerten (schwarz) u. FGM-Berechnungsergebnissen (rot; FGM-Var. „I0“) für den Harmersbach oh. Hippersbach (FGM-Kn. 1363)

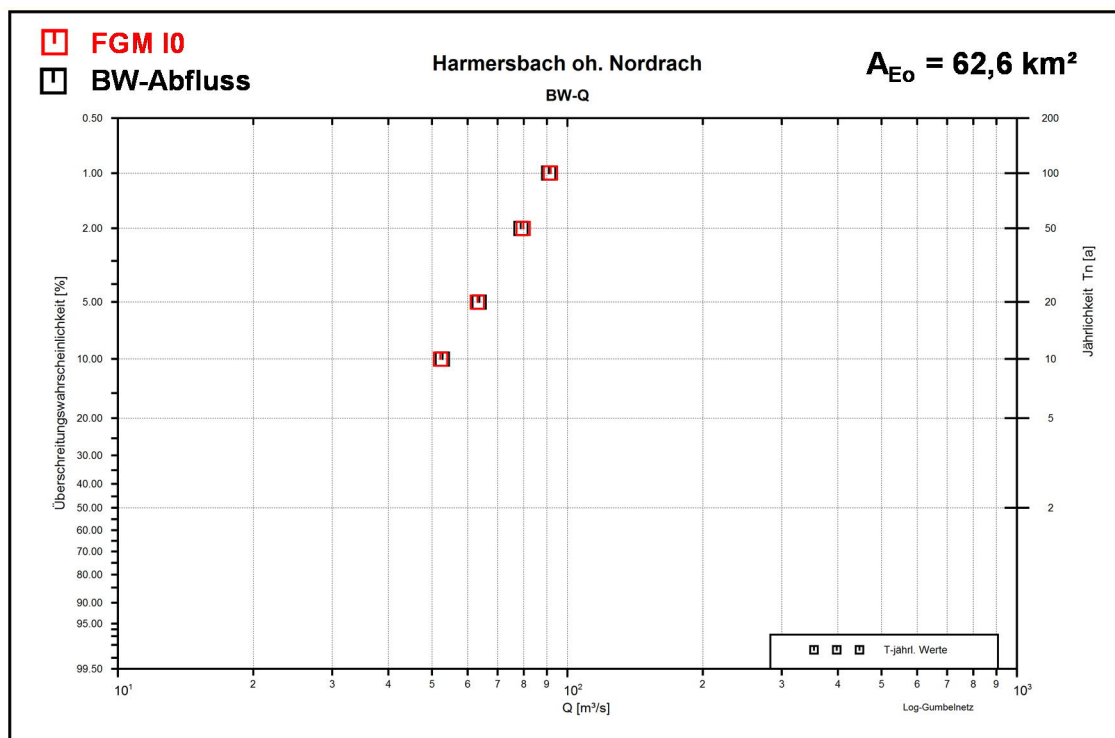


Abbildung 4-32: Vergleich zwischen den  $HQ_T$ -Regionalisierungswerten (schwarz) u. FGM-Berechnungsergebnissen (rot; FGM-Var. „I0“) für den Harmersbach oh. Nordrach (FGM-Kn. 2654)

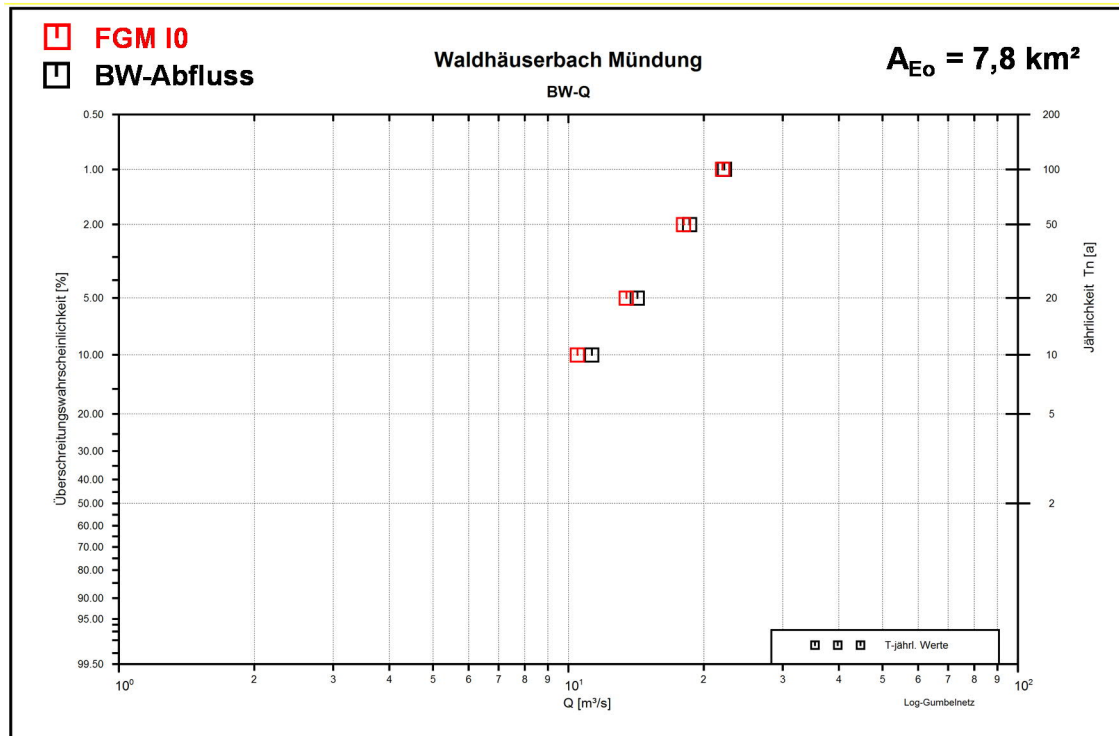


Abbildung 4-33: Vergleich zwischen den  $HQ_T$ -Regionalisierungswerten (schwarz) u. FGM-Berechnungsergebnissen (rot; FGM-Var. „IO“) für den Waldhäuserbach Mündung (FGM-Kn. 1203)

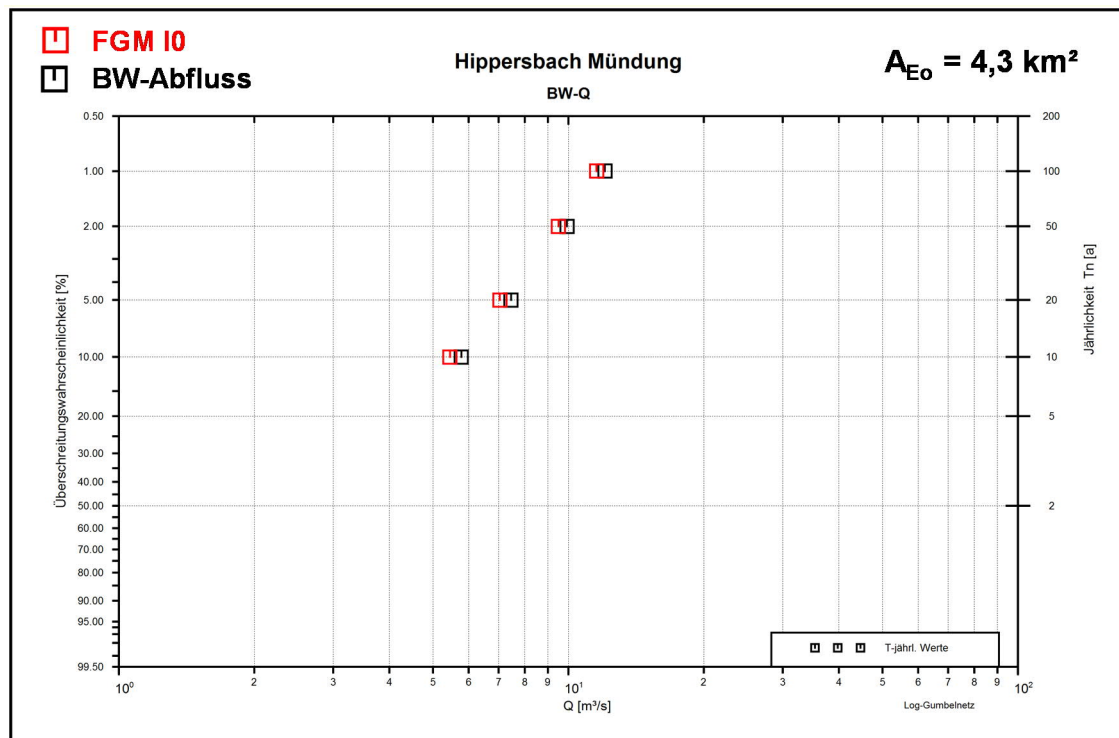


Abbildung 4-34: Vergleich zwischen den  $HQ_T$ -Regionalisierungswerten (schwarz) u. FGM-Berechnungsergebnissen (rot; FGM-Var. „IO“) für den Hippersbach Mündung (FGM-Kn. 1402)

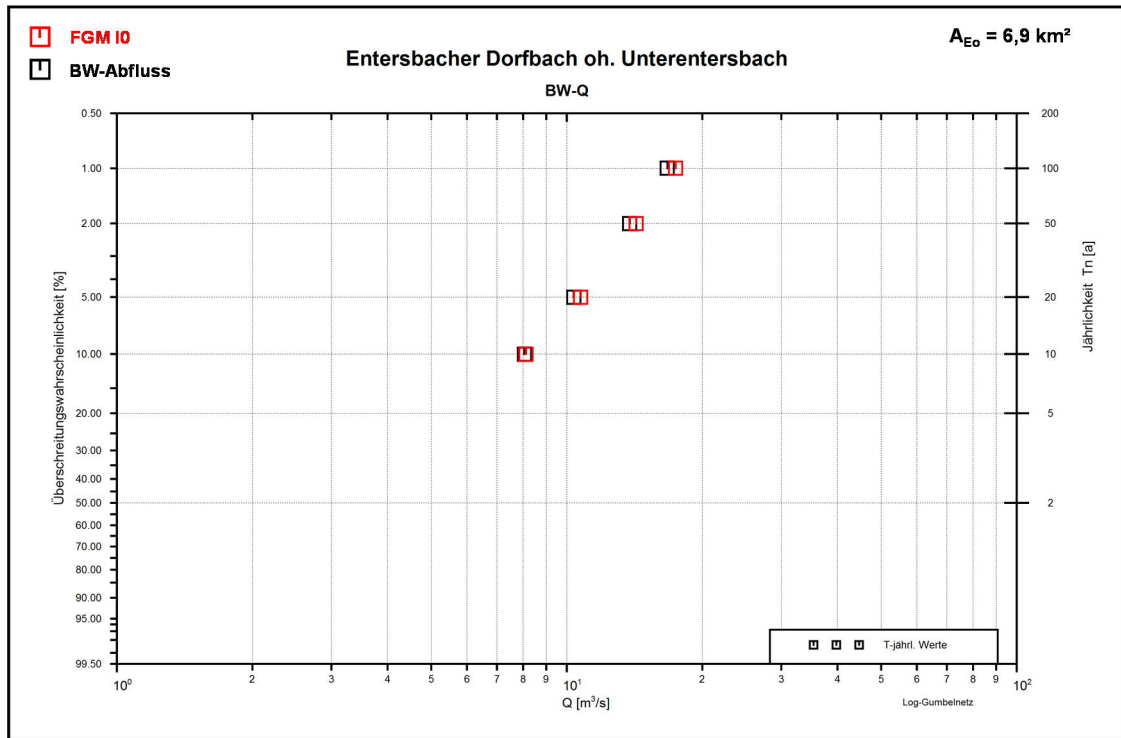


Abbildung 4-35: Vergleich zwischen den HQ<sub>T</sub>-Regionalisierungswerten (schwarz) u. FGM-Berechnungsergebnissen (rot; FGM-Var. „10“) für den Entersbacher Dorfbach oh. Ortstage Unterentersbach (FGM-Kn. 92)

#### 4.8.2 HW-Statistik für den Pegel Zell/Harmersbach

Im Einzugsgebiet des Harmersbachs liegt für den Pegel Zell/Harmersbach eine Messreihe von über 60 Jahren vor. Die von KIT/LUBW erstellte Pegelstatistik zeigt dabei plausible Plotting Positions-Werte (Abbildung 4-36). Die  $HQ_T$ -Regionalisierungswerte lassen sich plausibel einordnen. Auch die FGM-Berechnungswerte lassen sich sehr gut in die Messwerte einordnen. Auch dieser Vergleich zeigt damit, dass das hydrologische Flussgebietsmodell die Abflussverhältnisse im Untersuchungsgebiet sehr gut nachbildet.

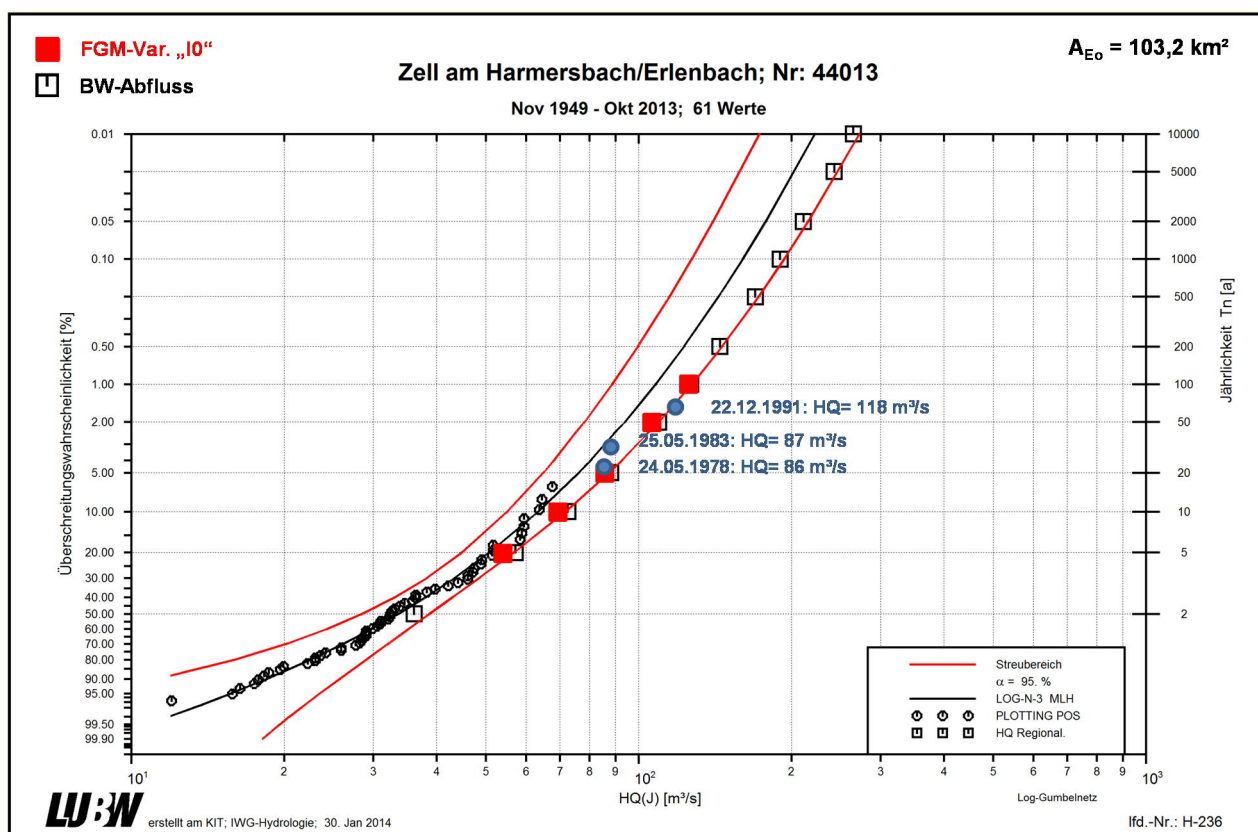


Abbildung 4-36: Extremwertstatistische Auswertung für den Pegel Zell/Harmersbach mit  $HQ_T$ -Regionalisierungswerten und  $HQ_T$ -Werten aus FGM-Berechnungen (FGM-Var. „I0“)

#### 4.8.3 Einordnung in abgelaufene HW-Ereignisse

Im Einzugsgebiet des Harmersbachs trat am 22.11.1991 ein großräumiges Starkregenereignis auf, das nicht nur entlang des gesamten Harmersbachs, sondern auch in zahlreichen größeren Seitengewässern zu massiven Überflutungen führte. Für diese Ereignis standen eine Vielzahl an HW-Dokumentationen (Fotos, Videos, ...) zur Verfügung. Das Ereignis kann am Pegel Zell dabei als ein ca. 50- bis 100-jährliches Hochwasser eingestuft werden. Die auf der Grundlage der FGM Berechnungen ( $HQ_T$ -Werte) erfolgten hydraulischen Berechnungen zeigen, dass sich die Überflutungskarten bzw. HW-Längsschnitte 50- und 100-jährlicher Hochwasser an den Hauptgewässern sehr gut in die HW-Marken 12/1991 einordnen lassen.

#### 4.9 FGM-Berechnungsergebnisse mit Berücksichtigung eines Hochwasserrückhaltebeckens („P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P12, P13“)

Im Anschluss an die Bestandsanalyse (FGM-Var. „I0“) fand die Ausarbeitung von Lösungen zur Verbesserung des HW-Schutzes statt. Mit den hydraulischen Modellen wurden hierzu lokale HW-Schutzmaßnahmen, mit dem hydrologischen Flussgebietsmodell HRB-Lösungen getestet (optimiert).

Nachfolgend werden die FGM-Berechnungsergebnisse für drei mögliche Beckenstandorte (Abbildung 4-14) vorgestellt. Es handelt sich um mögliche Beckenstandorte am Harmersbach (HRB-493), Waldhäuserbach (HRB-1167) und Entersbacher Dorfbach (HRB-90). Die Becken kontrollieren dabei vergleichbare Einzugsgebiete von  $A_E=6,6 \text{ km}^2$  (HRB-90),  $A_E=6,2 \text{ km}^2$  (HRB-1167) und  $A_E=8,3 \text{ km}^2$  (HRB-493). Da der Entersbacher Dorfbach ebenso wie der Harmersbach direkt in die Kinzig entwässert, sind Beckenlösungen für beide Gewässer unabhängig voneinander optimierbar. Aber auch Beckenlösungen für ein Harmersbachbecken (HRB-493) und Waldhäuserbach-Becken (HRB-1167) können unabhängig voneinander entwickelt werden. So kontrollieren die beiden Becken eine Fläche von  $A_E=14,5 \text{ km}^2$ , dem eine Harmersbacheinzugsgebietsfläche am Zusammenfluss von Harmersbach und Waldhäuserbach von  $A_E= 36,2 \text{ km}^2$  gegenübersteht. Die beiden Becken kontrollieren damit ein entsprechend kleines Einzugsgebiet, so dass ihr Einfluss auf die Harmersbach HW-Abflüsse in Oberharmersbach oder Zell a.H. entsprechend gering ist.

Beckenlösungen können für die drei Standorte damit weitgehend unabhängig voneinander entwickelt werden. D.h. die Becken werden so ausgelegt, dass sie zu einem optimalen Schutz in der unterhalb liegenden Ortslage führen. Nachfolgend werden die Optimierungsergebnisse nacheinander für die drei möglichen Beckenstandorte vorgestellt. Weiterführende Informationen zu den drei Becken (Machbarkeit, lokaler Maßnahmen, Kosten, Schadenspotenzial, vorgeschlagenes Lösungskonzept, ...), können Kapitel 4.3.9 bzw. den Ortslagenheften entnommen werden.

##### 4.9.1 FGM-Berechnungsergebnisse mit Berücksichtigung eines Beckens HRB-493 (Harmersbach oh. Lindenbach) zum Schutz von Oberharmersbach („P1, P2“)

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden mögliche Beckenlösungen mit Standorten am Harmersbach oberhalb der Ortslage von Oberharmersbach geprüft. Aus hydrologischer Sicht sollte der Beckenstandort im Idealfall ein möglichst großes Einzugsgebiet kontrollieren und möglichst nahe an der zu schützenden Ortslage Oberharmersbach liegen. Aufgrund von Bebauungen (einzelne Gehöfte) und Straßen ist am Harmersbach erst oberhalb der Einmündung des Lindenbachs der Bau eines Hochwasserrückhaltebeckens möglich. An diesem Standort könnte ein Rückhaltevolumen von ca.  $S_{ZV}= 70.000 \text{ m}^3$  geschaffen werden. Allerdings kann an diesem Standort nur ein Einzugsgebiet von ca.  $A_E= 8,3 \text{ km}^2$  kontrolliert werden. An diesem Standort kann somit weniger als 30 % des Einzugsgebiets des Harmersbachs oberhalb des Waldhäuserbachs (Ortslage Oberharmersbach;  $A_E= 28,5 \text{ km}^2$ ) erfasst werden. Trotz dieser aufgrund von Vorüberlegungen

(kontrolliertes Einzugsgebiet) absehbaren geringen Wirkung eines HRB-493 auf die HW-Abflüsse am Harmersbach in Oberharmersbach (insbesondere in den kritischen Bereichen im Ortskern) fanden Testrechnungen statt, um die Wirkung eines HRB-493 an diesem Standort aufzeigen zu können. So galt es zu prüfen, ob durch die Beckenlösung derzeit kaum machbare lokale HW-Schutzmaßnahmen (Gewässerausbau) möglich werden.

#### FGM-Variante „P1“

In der FGM-Var. „P1“ wurde die Beckenabgabe so optimiert, dass das Becken HRB-493 bei einem 100-jährlichen HW-Ereignis gerade gefüllt wird ( $S_{100}=S_{ZV}= 70.000 \text{ m}^3$ ). Dies wird bei einer konstanten Regelabgabe von  $Q_R= 8,4 \text{ m}^3/\text{s}$  erreicht. Der 100-jährliche Abfluss am Harmersbach oberhalb des Waldhäuserbachs beträgt mit dieser Lösung  $HQ_{100}= 45,6 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $HQ_{100}= 50,9 \text{ m}^3/\text{s}$  ohne HRB).

#### FGM-Variante „P2“

Unmittelbar unterhalb des möglichen Dammstandortes HRB-493 mündet der Lindenbach in den Harmersbach. Daher wird in der FGM-Var. „P2“ untersucht, inwiefern sich die Beckenwirkung verbessern lässt, wenn das HRB-493 auf einen Steuerpegel nach dem Zufluss des Lindenbachs gesteuert wird (FGM-Kn. 505). Dies erscheint aufgrund der kurzen Fließzeiten (Totzeiten) zwischen dem Beckenstandort (Damm) und dem Steuerpegel machbar. Bei entsprechenden Steuerungen gilt es zu beachten, dass beim maßgebenden Bemessungshochwasser (z.B.  $T= 100 \text{ a}$ ) der Abfluss am Lindenbach nicht größer als die gewählte Regelabgabe  $Q_R$  am Steuerpegel sein darf. Ansonsten wäre selbst bei einer (kurzfristigen) Drosselung der Beckenabgabe auf  $0 \text{ m}^3/\text{s}$  der Regelabgabewert nicht mehr haltbar.

In der Berechnungsvariante „P2“ wird das mögliche HRB-493 am unterstromigen Steuerpegel (FGM-Kn. 505) auf eine konstante Regelabgabe von  $Q_R= 11,9 \text{ m}^3/\text{s}$  gesteuert. Bei dieser Steuerung wird bei einem 100-jährlichen Hochwasserereignis der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum gerade voll ausgenutzt ( $S_{100}=S_{ZV}= 70.000 \text{ m}^3$ ). Der 100-jährliche Abfluss am Harmersbach oberhalb des Waldhäuserbachs beträgt mit dieser Lösung  $HQ_{100}= 45,8 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $HQ_{100}= 50,9 \text{ m}^3/\text{s}$  ohne HRB).

#### Zusammenfassung

In der nachfolgenden Tabelle sind die am Harmersbach oberhalb des Waldhäuserbachs ermittelten HW-Abflüsse für die FGM-Varianten „I0“ (ohne HRB-493), „P1“ (HRB-493 mit konstanter Regelabgabe  $Q_R= 8,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ; Auslegung der HRB-Abgabe auf  $T= 100 \text{ a}$ ) und „P2“ (HRB-493 mit Steuerpegel am FGM-Kn. 505 mit konstanter Regelabgabe  $Q_R= 11,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ; Auslegung der HRB-Abgabe auf  $T= 100 \text{ a}$ ) zusammengestellt. Die

Berechnungen zeigen, dass mit einem HRB-493 der HW-Abfluss an dieser maßgebenden Gewässerstelle (Ortskern) kaum reduziert werden kann (Abflussreduktion beim 100-jährlichen HW-Ereignis lediglich um ca. 5 m<sup>3</sup>/s bzw. 10 %). Die Ursache liegt in den hohen Zuflüssen aus dem Zwischeneinzugsgebiet. Der mögliche Beckenstandort eines HRB-493 kontrolliert bezogen auf die maßgebenden Schwachstellen in Oberharmersbach ein zu kleines Einzugsgebiet. Aus hydrologischer Sicht wird daher der Bau eines HRB-493 aufgrund seiner unzureichenden Wirkung verworfen. Gegen entsprechende Lösungen spricht aus hydrologischer Sicht auch, dass bei realen HW-Ereignisse Niederschläge auftreten können, deren Regenzentren im nicht kontrollierten Zwischeneinzugsgebiet liegen, so dass die Wirkung eines HRB-493 weiter abnimmt.

Zu berücksichtigen sind bei der HRB-Lösungsentwicklung auch ökonomische Aspekte. Die geringe Beckenwirkung konnte nur durch einen hohen Damm erreicht werden, was zu entsprechend hohen Kosten führt.

Zusammenfassend wurde daher der Bau eines HRB-493 verworfen (geringe Wirkung in Oberharmersbach, kaum Wirkung in Zell a.H., hohe Kosten, ...). Weiterführende Informationen zum vorgeschlagenen HW-Schutzkonzept für den Harmersbach in Oberharmersbach können dem Ortslagenheft entnommen werden.

Die Berechnungsergebnisse (HQ<sub>T</sub>-Werte) aller betrachteter Jährlichkeiten und Gewässerstellen (FGM-Knoten) können für die FGM-Varianten „P1 und P2“ der Anlage A.4 entnommen werden.

Tabelle 4.15: FGM-Berechnungsergebnisse (T= 50 a, 100 a, 100aKlima) am Harmersbach oberhalb Waldhäuserbach (FGM-Kn. 1111) – optimierte Wirkung eines HRB-493 (FGM-Var. „I0“, „P1“, „P2“)

FGM-Var.	HQ <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100K</sub> [m <sup>3</sup> /s]
FGM-Var. I0	43,6	50,9	58,8
FGM-Var. P1	39,8	45,6	51,1
FGM-Var. P2	40,5	45,8	50,8

#### 4.9.2 FGM-Berechnungsergebnisse mit Berücksichtigung eines Beckens HRB-1167 (Waldhäuserbach) zum Schutz von Oberharmersbach („P3, P4, P5“)

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden mögliche Beckenlösungen mit Standorten am Waldhäuserbach oberhalb der Ortslage von Oberharmersbach geprüft. Maßgebend bei der Standortsuche waren dabei neben Faktoren wie Bebauung, Wegenetz, Schutzgebieten die Eignung der Standorte aus topografischer Sicht (Talgeometrie). Außerdem sollten die Standorte aus hydrologischer Sicht ein möglichst großes Einzugsgebiet kontrollieren und möglichst nahe an der zu schützenden Ortslage Oberharmersbach liegen. Aufgrund der vorliegenden Talgeometrie und Bebauung wäre der Bau eines Beckens am Waldhäuserbach oberhalb der Einmündung des Wolfsbachs möglich (HRB-1167). An diesem Standort könnte ein Rückhaltevolumen von ca.  $S_{ZV} = 43.000 \text{ m}^3$  geschaffen werden. Mit dem Becken kann ein Einzugsgebiet von ca.  $A_E = 6,2 \text{ km}^2$  kontrolliert werden. An diesem Standort kann somit fast 80 % des gesamten Einzugsgebiets des Waldhäuserbachs an der Mündung ( $A_E = 7,8 \text{ km}^2$ ) erfasst werden. Aus hydrologischer Sicht ist dieser Beckenstandort somit gut geeignet. Nachfolgend wird in den FGM-Varianten „P3, P4 und P5“ die Steuerung eines möglichen HRB-1167 optimiert.

##### FGM-Variante „P3“

In der FGM-Var. „P3“ wurde die Beckenabgabe so optimiert, dass das Becken HRB-1167 bei einem 100-jährlichen HW-Ereignis gerade gefüllt wird ( $S_{100} = S_{ZV} = 41.000 \text{ m}^3$ ). Dies wird bei einer ungesteuerten Abgabe bei einer maximalen Abgabe bei Vollstau von  $Q_{\max} = 9,2 \text{ m}^3/\text{s}$  erreicht. Der 100-jährliche Abfluss an der Mündung des Waldhäuserbachs beträgt mit dieser Lösung  $HQ_{100} = 13,0 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $HQ_{100} = 22,0 \text{ m}^3/\text{s}$  ohne HRB). Mit dem Becken kann damit eine sehr gute Wirkung im Waldhäuserbach erreicht werden (nahezu Halbierung des  $HQ_{100}$ -Wertes!).

##### FGM-Variante „P4“

In der FGM-Var. „P4“ wurde die Beckenabgabe so optimiert, dass das Becken HRB-1167 bei einem 100-jährlichen HW-Ereignis gerade gefüllt wird ( $S_{100} = S_{ZV} = 41.000 \text{ m}^3$ ). Dies wird bei einer konstanten Regelabgabe von  $O_R = 7,5 \text{ m}^3/\text{s}$  erreicht. Der 100-jährliche Abfluss an der Mündung des Waldhäuserbachs beträgt mit dieser Lösung  $HQ_{100} = 14,0 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $HQ_{100} = 22,0 \text{ m}^3/\text{s}$  ohne HRB). D.h. mit einer aufwändigeren gesteuerten Beckenabgabe lässt sich die Beckenwirkung bei den i.d.R. für HW-Schutzfragen maßgebenden 100-jährlichen HW-Ereignissen (BHQ) unterstrom gegenüber der ungesteuerten Lösung „P3“ nicht verbessern. Die Ursache liegt in der Überlagerung der Beckenabgabe mit den unterstromigen seitlichen Zuflüssen.



## FGM-Variante „P5“

Unmittelbar unterhalb des möglichen Dammstandortes HRB-1167 mündet der Wolfsbach in den Waldhäuserbach. Daher wird in der FGM-Var. „P5“ untersucht, inwiefern sich die Beckenwirkung verbessern lässt, wenn das HRB-1167 auf einen Steuerpegel nach dem Zufluss des Wolfsbachs gesteuert wird (FGM-Kn. 1176). Dies erscheint aufgrund der kurzen Fließzeiten (Totzeiten) zwischen dem Beckenstandort (Damm) und dem Steuerpegel machbar. Bei entsprechenden Steuerungen gilt es zu beachten, dass beim maßgebenden Bemessungshochwasser (z.B.  $T = 100$  a) der Abfluss am Wolfsbach nicht größer als die gewählte Regelabgabe  $Q_R$  am Steuerpegel sein darf. Ansonsten wäre selbst bei einer (kurzfristigen) Drosselung der Beckenabgabe auf  $0 \text{ m}^3/\text{s}$  der Regelabgabewert nicht mehr haltbar.

In der Berechnungsvariante „P5“ wird das mögliche HRB-1167 am unterstromigen Steuerpegel (FGM-Kn. 1176) auf eine konstante Regelabgabe von  $Q_R = 9,4 \text{ m}^3/\text{s}$  gesteuert. Bei dieser Steuerung wird bei einem 100-jährlichen Hochwasserereignis der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum gerade voll ausgenutzt ( $S_{100} = S_{ZV} = 41.000 \text{ m}^3$ ). Der 100-jährliche Abfluss an der Mündung des Waldhäuserbachs beträgt mit dieser Lösung  $HQ_{100} = 13,5 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $HQ_{100} = 22,0 \text{ m}^3/\text{s}$  ohne HRB). D.h. mit einer aufwändigeren gesteuerten Beckenabgabe nach dem Wolfsbachzufluss lässt sich die Beckenwirkung bei den i.d.R. für HW-Schutzfragen maßgebenden 100-jährlichen HW-Ereignissen (BHQ) unterstrom gegenüber der ungesteuerten Lösung „P3“ nicht verbessern.

## Zusammenfassung

In der nachfolgenden Tabelle sind die an der Mündung des Waldhäuserbachs ermittelten HW-Abflüsse für die FGM-Varianten „I0“ (ohne HRB-1167), „P3“ (HRB-1167 ungesteuert mit maximaler Abgabe bei Vollstau  $Q_{\max} = 9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ; Auslegung der HRB-Abgabe auf  $T = 100$  a), „P4“ (HRB-1167 mit konstanter Regelabgabe  $Q_R = 7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ; Auslegung der HRB-Abgabe auf  $T = 100$  a) und „P5“ (HRB-1167 mit Steuerpegel am FGM-Kn. 1176 mit konstanter Regelabgabe  $Q_R = 9,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ; Auslegung der HRB-Abgabe auf  $T = 100$  a) zusammengestellt.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass mit einem Becken am Waldhäuserbach eine sehr gute Wirkung erreicht werden kann. Die beste Wirkung wird mit einer ungesteuerten Beckenabgabe erzielt (FGM-Var. „P3“). So kann der 100-jährliche HW-Abfluss an der Mündung des Waldhäuserbachs von derzeit  $HQ_{100} = 22,0 \text{ m}^3/\text{s}$  („I0“: ohne HRB) auf  $HQ_{100} = 13,0 \text{ m}^3/\text{s}$  („P3“: HRB-1167 ungesteuert) abgemindert werden.

Wie die hydraulischen Berechnungen zeigen reicht die sehr gute Beckenwirkung noch nicht aus, um am Waldhäuserbach 100-jährliche HW-Abflüsse schadlos ableiten zu können (vgl. Ortslagenheft Oberharmersbach). Somit sind am Waldhäuserbach neben einem HRB-1167 noch weitere ergänzende lokale HW-Schutzmaßnahmen erforderlich. Problematisch im Hinblick auf eine Umsetzung des HRB-1167 sind die hohen Kosten von mehreren Millionen (Wirtschaftlichkeit). Weiterführende Informationen zum vorgeschlagenen HW-Schutzkonzept für Oberharmersbach können dem Ortslagenheft entnommen werden.

Die Berechnungsergebnisse (HQ<sub>T</sub>-Werte) aller betrachteter Jährlichkeiten und Gewässerstellen (FGM-Knoten) können für die FGM-Varianten „P3, P4 und P5“ der Anlage A.4 entnommen werden.

Tabelle 4.16: FGM-Berechnungsergebnisse (T= 50 a, 100 a, 100 aKlima) an der Mündung des Waldhäuserbachs (FGM-Kn. 1208) – optimierte Wirkung eines HRB-1167 (FGM-Var. „I0“, „P3“, „P4“, „P5“)

FGM-Var.	HQ <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100K</sub> [m <sup>3</sup> /s]
FGM-Var. I0	18,0	22,0	25,3
FGM-Var. P3	11,6	13,0	18,4
FGM-Var. P4	12,9	14,0	19,5
FGM-Var. P5	12,9	13,5	19,8

#### 4.9.3 FGM-Berechnungsergebnisse mit Berücksichtigung eines Beckens HRB-90 (Entersbacher Dorfbach) zum Schutz von Unterentersbach („P6, P7, P8, P9, P10“)

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden mögliche Beckenlösungen mit Standorten am Entersbacher Dorfbach oberhalb der Ortslage von Unterentersbach geprüft. Maßgebend bei der Standortsuche waren dabei neben Faktoren wie Bebauung, Wegenetz, Schutzgebieten die Eignung der Standorte aus topografisch Sicht (Talgeometrie). Außerdem sollten die Standorte aus hydrologischer Sicht ein möglichst großes Einzugsgebiet kontrollieren und möglichst nahe an der zu schützenden Ortslage Unterentersbach liegen. Aufgrund der vorliegenden Talgeometrie und Bebauung wäre der Bau eines Beckens am Entersbacher Dorfbach im Bereich der Einmündung des Vogelsbühlbächles möglich (HRB-90). An diesem Standort kann ein Einzugsgebiet von ca.  $A_E = 6,6 \text{ km}^2$  kontrolliert werden. Mit dem Becken kann somit über 80 % des Einzugsgebiets des Entersbacher Dorfbachs (bezogen auf den Ortsausgang) erfasst werden. Aus hydrologischer Sicht ist dieser Beckenstandort somit sehr gut geeignet. Nachfolgend wird in den FGM-Varianten „P6, P7, P8, P9 und P10“ die Steuerung eines möglichen HRB-90 optimiert.

Wie die hydraulischen Berechnungen zeigen, ist derzeit in Unterentersbach bereits bei 10-jährlichen HW-Ereignissen mit Überlastungen zu rechnen. Der 10-jährliche HW-Abfluss beträgt im besonders kritischen Abschnitt nach dem linksseitigen Zufluss (FGM-Kn. 160)  $HQ_{10} = 8,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , die Leistungsfähigkeit ca.  $Q_{\max} = 5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Eine Drosselung z.B. 100-jährlicher HW-Abflüsse durch ein HRB-Entersbach (HRB-90) auf  $Q_{\max} = 5,5 \text{ m}^3/\text{s}$  ist nicht machbar (seitliche Zuflüsse, erforderliches Volumen). Umgekehrt ist ein Ausbau des Entersbacher Dorfbachs auf derzeit 100-jährliche HW-Abflüsse aufgrund der vorliegenden Randbedingungen ebenfalls nicht machbar. Untersucht wurden daher Möglichkeiten der Herstellung eines 100-jährlichen HW-Schutzes durch kombinierte Lösungsansätze (HRB-90 und lokaler HW-Schutz). Nachfolgend werden Optimierungsergebnisse vorgestellt, bei denen das Becken im Bereich der maßgebenden Schwachstellen (nach dem linksseitigen Zufluss) die HW-Abflüsse beim gewählten BHQ ( $T=100\text{a}$ ) auf Werte von  $Q_{\max} = 6,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\max} = 7,0 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $Q_{\max} = 8,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , reduziert werden (d.h. Leistungsfähigkeiten mit ergänzenden lokalen HWS-Maßnahmen).

##### FGM-Variante „P6“

In der FGM-Var. „P6“ wurde die Beckenabgabe so optimiert, dass bei einem 100-jährlichen HW-Ereignis in der Ortslage von Unterentersbach nach dem linksseitigen Zufluss (FGM-Kn. 160) ein Abfluss von  $Q_{\max} = 6,0 \text{ m}^3/\text{s}$  nicht mehr überschritten wird ( $HQ_{100} = 18,3 \text{ m}^3/\text{s}$  ohne HRB). Dies wird bei einer ungesteuerten Abgabe bei einer maximalen Abgabe bei Vollstau von  $Q_{\max} = 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$  erreicht (Zufluss HRB-90  $HQ_{100} = 17,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Bei dieser Steuerung wird ein gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum von  $S_{100} = S_{ZV} = 164.200 \text{ m}^3$  benötigt.

#### FGM-Variante „P7“

In der FGM-Var. „P7“ wurde die Beckenabgabe so optimiert, dass bei einem 100-jährlichen HW-Ereignis in der Ortslage von Unterentersbach nach dem linksseitigen Zufluss (FGM-Kn. 160) ein Abfluss von  $Q_{\max} = 8,0 \text{ m}^3/\text{s}$  nicht mehr überschritten wird ( $HQ_{100} = 18,3 \text{ m}^3/\text{s}$  ohne HRB). Dies wird bei einer ungesteuerten Abgabe bei einer maximalen Abgabe bei Vollstau von  $Q_{\max} = 6,6 \text{ m}^3/\text{s}$  erreicht (Zufluss HRB-90  $HQ_{100} = 17,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Bei dieser Steuerung wird ein gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum von  $S_{100} = S_{ZV} = 68.700 \text{ m}^3$  benötigt.

#### FGM-Variante „P8“

In der FGM-Var. „P8“ wurde die Beckenabgabe so optimiert, dass bei einem 100-jährlichen HW-Ereignis in der Ortslage von Unterentersbach nach dem linksseitigen Zufluss (FGM-Kn. 160) ein Abfluss von  $Q_{\max} = 8,0 \text{ m}^3/\text{s}$  nicht mehr überschritten wird ( $HQ_{100} = 18,3 \text{ m}^3/\text{s}$  ohne HRB). Dies wird bei einer konstanten Regelabgabe von  $Q_R = 4,9 \text{ m}^3/\text{s}$  erreicht (Zufluss HRB-90  $HQ_{100} = 17,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Bei dieser Steuerung wird ein gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum von  $S_{100} = S_{ZV} = 97.900 \text{ m}^3$  benötigt.

#### FGM-Variante „P9“

In der FGM-Var. „P9“ wurde die Beckenabgabe so optimiert, dass bei einem 100-jährlichen HW-Ereignis in der Ortslage von Unterentersbach nach dem linksseitigen Zufluss (FGM-Kn. 160) ein Abfluss von  $Q_{\max} = 8,0 \text{ m}^3/\text{s}$  nicht überschritten wird ( $HQ_{100} = 18,3 \text{ m}^3/\text{s}$  ohne HRB). Dies wird bei einer adaptiven (vom Beckeninhalte abhängige Abgabe) Steuerung bei einer maximalen Abgabe bei Vollstau von  $Q_{\max} = 7,0 \text{ m}^3/\text{s}$  erreicht (Zufluss HRB-90  $HQ_{100} = 17,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Bei dieser Steuerung wird ein gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum von  $S_{100} = S_{ZV} = 58.000 \text{ m}^3$  benötigt.

#### FGM-Variante „P10“

In der FGM-Var. „P10“ wurde die Beckenabgabe so optimiert, dass bei einem 100-jährlichen HW-Ereignis in der Ortslage von Unterentersbach nach dem linksseitigen Zufluss (FGM-Kn. 160) ein Abfluss von  $Q_{\max} = 7,0 \text{ m}^3/\text{s}$  nicht mehr überschritten wird ( $HQ_{100} = 18,3 \text{ m}^3/\text{s}$  ohne HRB). Dies wird bei einer ungesteuerten Abgabe bei einer maximalen Abgabe bei Vollstau von  $Q_{\max} = 5,7 \text{ m}^3/\text{s}$  erreicht (Zufluss HRB-90  $HQ_{100} = 17,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Bei dieser Steuerung wird ein gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum von  $S_{100} = S_{ZV} = 107.100 \text{ m}^3$  benötigt.

## Zusammenfassung

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass mit einem HRB-Entersbach eine sehr gute Wirkung erreicht werden kann. Ein Vergleich verschiedener Steuerungen („P7“: ungesteuert; „P8“: auf konstante Regelabgabe gesteuert; „P9“: adaptiv gesteuert) zeigt, dass bereits mit einer ungesteuerten Beckensteuerung eine sehr gute Wirkung erzielt wird (FGM-Var. „P7“). Im Vergleich zu einer adaptiven (vom Beckeninhalte abhängige Abgabe) Steuerung wird nur wenig mehr Rückhaltevolumen benötigt. Eine ungesteuerte Steuerung ist jedoch deutlich robuster als eine adaptive Steuerung bzw. kostengünstiger als eine Steuerung auf eine konstante Regelabgabe. Daher wird für ein mögliches HRB-90 eine ungesteuerte Steuerung präferiert.

Je nach Zielwert  $Q_{\max}$  der Beckenwirkung beim gewählten BHQ (100a) im maßgebenden Gewässerabschnitt nach dem linksseitigen Zufluss (FGM-Kn. 160) werden für die ungesteuerten Lösungen unterschiedliche Rückhaltevolumina ( $S_{100}=S_{ZV}$ ) benötigt:

Tabelle 4.17: Benötigtes Rückhaltevolumen ( $S_{100}$ ) am HRB-90 für verschiedene Zielwerte max. Abfluss  $Q_{\max}$  in Unterentersbach (FGM-Kn. 160) (FGM-Var. „P6“, „P10“, „P7“)

FGM-Var.	$HQ_{\max}$ (FGM-Kn. 160) [m <sup>3</sup> /s]	$S_{100}=S_{ZV}$ [m <sup>3</sup> ]
FGM-Var. P6	6,0	164.200
FGM-Var. P10	7,0	107.100
FGM-Var. P7	8,0	68.700

Die Optimierungsrechnungen zeigen, dass für die angestrebte Wirkung (Zielwert  $Q_{\max}$  wird beim gewählten BHQ nicht mehr überschritten) große Volumina bereitgestellt werden müssen. Außerdem sind sehr starke Drosselungen am Standort erforderlich (häufiger Einstau, kleine Schieberöffnung, ...). Im Hinblick auf eine Empfehlung für ein HW-Schutzkonzept zu beachten ist auch, dass die Beckenwirkung selbst bei einem Zielwert von  $Q_{\max}=6,0$  m<sup>3</sup>/s (FGM-Var. „P6“) noch nicht ausreicht, um am Entersbacher Dorfbach 100-jährliche HW-Abflüsse schadlos ableiten zu können. Am Entersbacher Dorfbach werden neben einem HRB-90 noch immer weitere ergänzende lokale HW-Schutzmaßnahmen benötigt.

Da ein Rückhaltevolumen von  $S_{ZV}=164.200$  m<sup>3</sup> kaum realisierbar ist, das Becken bei dieser Steuerung sehr häufig Einstauen würde und ohnehin noch ergänzende HW-Schutzmaßnahmen (Uferhöhe anpassen, Lüchenschluss,...) in der Ortslage von Unterentersbach erforderlich sind, wird die FGM-Var. „P10“ präferiert. Mit dieser Steuerung kann der 100-jährliche HW-Abfluss in der Ortslage von Unterentersbach (FGM-Kn. 160) von  $HQ_{100}=18,3$  m<sup>3</sup>/s (FGM-Var. „I0“: ohne HRB) auf  $HQ_{100}=7,0$  m<sup>3</sup>/s (FGM-Var. „P10“) abgemindert werden.

Problematisch im Hinblick auf eine Umsetzung des HRB-90 sind die hohen Kosten von mehreren Millionen (Wirtschaftlichkeit). Weiterführende Informationen zum letztendlich vorgeschlagenen HW-Schutzkonzept für den Entersbacher Dorfbach in Unterentersbach können dem Ortslagenheft entnommen werden.

Die Berechnungsergebnisse ( $HQ_T$ -Werte) aller betrachteter Jährlichkeiten und Gewässerstellen (FGM-Knoten) können für die FGM-Varianten „P6, P7, P8, P9 und P10“ der Anlage A.4 entnommen werden.

#### 4.9.4 FGM-Berechnungsergebnisse mit Berücksichtigung eines (fiktiven) Beckens HRB-1350 bzw. HRB-1576 (Harmersbach oh. Ortslage Zell) zum Schutz von Zell („P12, P13“)

Im Rahmen der vorliegenden FGU wurden neben möglichen Beckenstandorten am Harmersbach oberhalb der Ortslage von Oberharmersbach (HRB-493) auch Beckenstandorte am Harmersbach zwischen den Ortslagen von Oberharmersbach und Zell a.H. untersucht. Aufgrund von Bebauung (einzelne Gehöfte), Straßen und Bahnlinie ist in diesem Bereich der Bau eines Hochwasserrückhaltebeckens mit einem sinnvollen Volumen jedoch nicht möglich. Außerdem sind Teile des Talraumes im HW-Fall bereits überflutet und stehen damit als HRB-Volumen nicht mehr zur Verfügung.

Aufgrund von Nachfragen seitens der Kommune/Bevölkerung wurde dennoch untersucht, welches Rückhaltevolumen oberhalb der Ortslage von Zell a.H. benötigt würde, um den 100-jährlichen HW-Abfluss im Bereich der Ortslage von Zell a.H. (oberhalb der Einmündung der Nordrach) auf einen 10- bis 20-jährlichen HW-Abfluss zu drosseln (etwa derzeitige Leistungsfähigkeit). Die Testrechnungen wurden sowohl mit einem fiktiven Becken HRB-1350 am Harmersbach unterhalb des Kirnbachs (FGM-Var. „P12“) als auch mit einem fiktiven Becken HRB-1576 am Harmersbach unterhalb des Hinterhambachs (FGM-Var. „P13“) durchgeführt. Während unterhalb des Kirnbachs einzelne Gebäude, Straßen und die Bahnlinie durch ein Becken betroffen wären, beginnt bereits oberhalb des Hinterhambachs die durchgehende Bebauung der Ortslage von Zell.

##### FGM-Variante „P12“

In der FGM-Var. „P12“ wurde die Beckenabgabe am HRB-1350 so optimiert, dass bei einem 100-jährlichen HW-Ereignis in der Ortslage von Zell der Abfluss auf einen 10- bis 20-jährlichen HW-Abfluss gedrosselt wird. Dies kann mit einer konstanten Regelabgabe von  $O_R = 35,0 \text{ m}^3/\text{s}$  erreicht werden. Bei dieser Steuerung ist ein gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum von  $S_{100} = S_{ZV} = 522.000 \text{ m}^3$  erforderlich. Der 100-jährliche Abfluss am Harmersbach oberhalb der Nordrach beträgt mit dieser fiktiven HRB-Lösung  $HQ_{100} = 61,9 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $HQ_{100} = 91,8 \text{ m}^3/\text{s}$  ohne HRB).

##### FGM-Variante „P13“

In der FGM-Var. „P13“ wurde die Beckenabgabe am HRB-1576 so optimiert, dass bei einem 100-jährlichen HW-Ereignis in der Ortslage von Zell der Abfluss auf einen 10- bis 20-jährlichen HW-Abfluss gedrosselt wird. Dies kann mit einer konstanten Regelabgabe von  $O_R = 53,0 \text{ m}^3/\text{s}$  erreicht werden. Bei dieser Steuerung ist ein gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum von  $S_{100} = S_{ZV} = 382.000 \text{ m}^3$  erforderlich. Der 100-jährliche Abfluss am Harmersbach oberhalb der Nordrach beträgt mit dieser Lösung  $HQ_{100} = 62,2 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $HQ_{100} = 91,8 \text{ m}^3/\text{s}$  ohne HRB).

## Zusammenfassung

In der nachfolgenden Tabelle sind die am Harmersbach oberhalb der Nordrach ermittelten HW-Abflüsse für die FGM-Varianten „I0“ (ohne HRB), „P12“ (HRB-1350 mit konstanter Regelabgabe  $Q_R = 35,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ; Auslegung der HRB-Abgabe auf  $T = 100 \text{ a}$ ) und „P13“ (HRB-1576 mit konstanter Regelabgabe  $Q_R = 53,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ; Auslegung der HRB-Abgabe auf  $T = 100 \text{ a}$ ) zusammengestellt. Mit dieser Beckensteuerung könnte ein 100-jährlicher HW-Abfluss am Harmersbach oberhalb der Nordrach auf einen 10- bis 20-jährlichen HW-Abfluss gedrosselt werden.

Wie der HW-Längsschnitt (Abbildung 4-37) zeigt, wäre oberhalb der Ortslage von Zell ein Becken mit einem gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum von ca.  $S_{ZV} = 400.000 \text{ m}^3$  bis  $S_{ZV} = 500.000 \text{ m}^3$  erforderlich, um den 100-jährlichen HW-Abfluss auf einen 10- bis 20-jährlichen HW-Abfluss zu drosseln. Bei einer (anzustrebenden) Auslegung auf 100-jährliche HW des LF-Klimaänderung erhöht sich das erforderliche Volumen nochmals.

Um solch ein Rückhaltevolumen zu realisieren, wäre in diesem Bereich ein (inklusive Freibord) etwa 10 m hoher Damm erforderlich (Abbildung 4-38, Abbildung 4-39). Aufgrund verschiedener Restriktionen wie der im Talraum vorhandenen Bebauung, Bahnlinie und Straßen kann solch ein Becken hier nicht realisiert werden, so dass Beckenlösungen entsprechend den FGM-Var. „P12 und P13“ als nicht machbar verworfen wurden.

Die Berechnungsergebnisse ( $HQ_T$ -Werte) aller betrachteter Jährlichkeiten und Gewässerstellen (FGM-Knoten) können für die FGM-Varianten „P12 und P13“ der Anlage A.4 entnommen werden.

Tabelle 4.18: FGM-Berechnungsergebnisse am Harmersbach oberhalb der Nordrach –FGM-Var. „I0“, „P12“, „P13“)

FGM-Kn.	Lage	FGM-Var „I0“ (ohne HRB)				„P12“	„P13“
		$HQ_{10}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{20}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{50}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{100}$ [m <sup>3</sup> /s]	HRB-1350 $HQ_{100}$ [m <sup>3</sup> /s]	HRB-1576 $HQ_{100}$ [m <sup>3</sup> /s]
1622	Harmersbach oh. Herrenholzbach	51,0	61,6	78,7	90,8	55,5	54,0
1839	Harmersbach oh. Knopfholzbächle	51,5	62,2	79,3	91,5	57,4	56,4
2659	Harmersbach oh. Nordrach	52,2	63,0	79,8	91,8	61,9	62,2



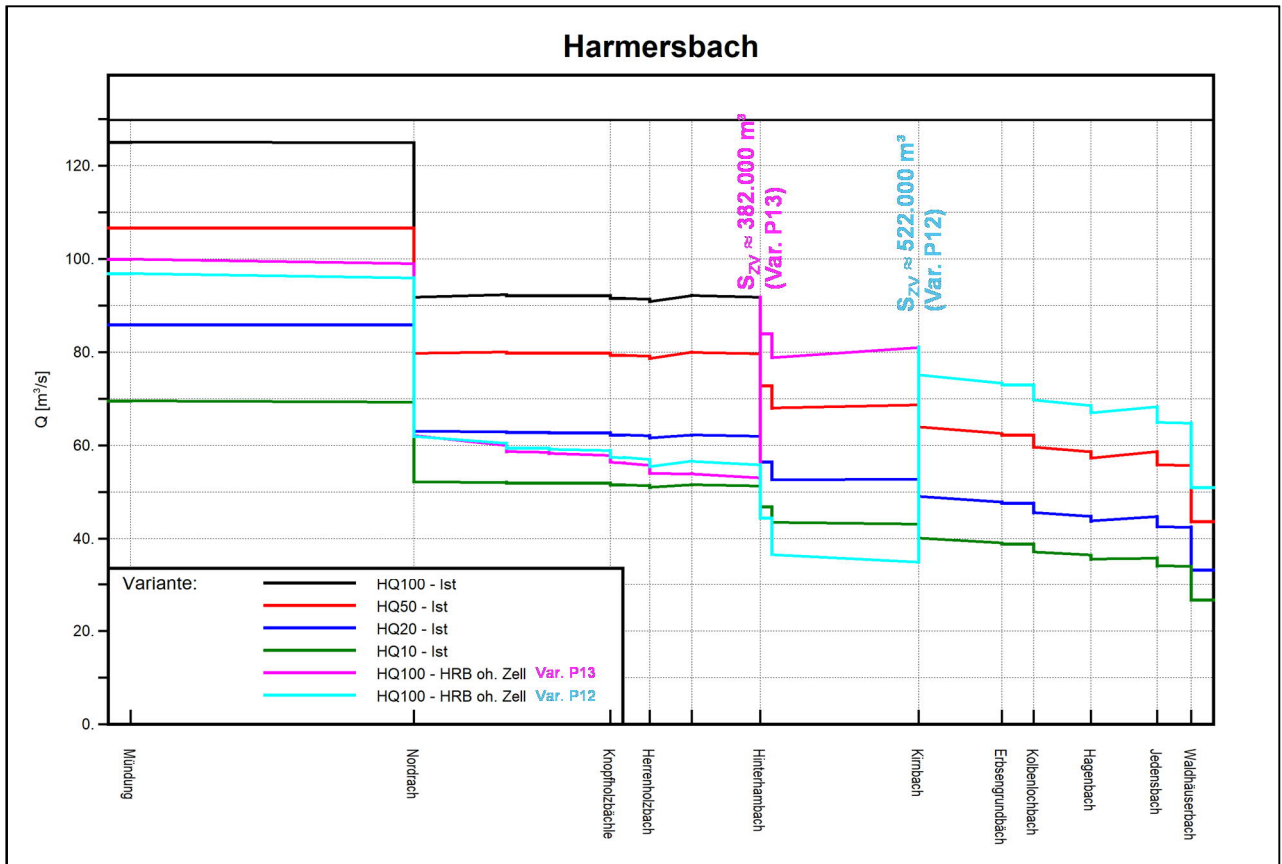


Abbildung 4-37: Hochwasserlängsschnitt des Harmersbachs für den Ist-Zustand („I0“) und die (fiktiven) HRB-Lösungen mit einem HRB-1350 bzw. HRB-1576 am Harmersbach vor Zell a.H. („P12, P13“)

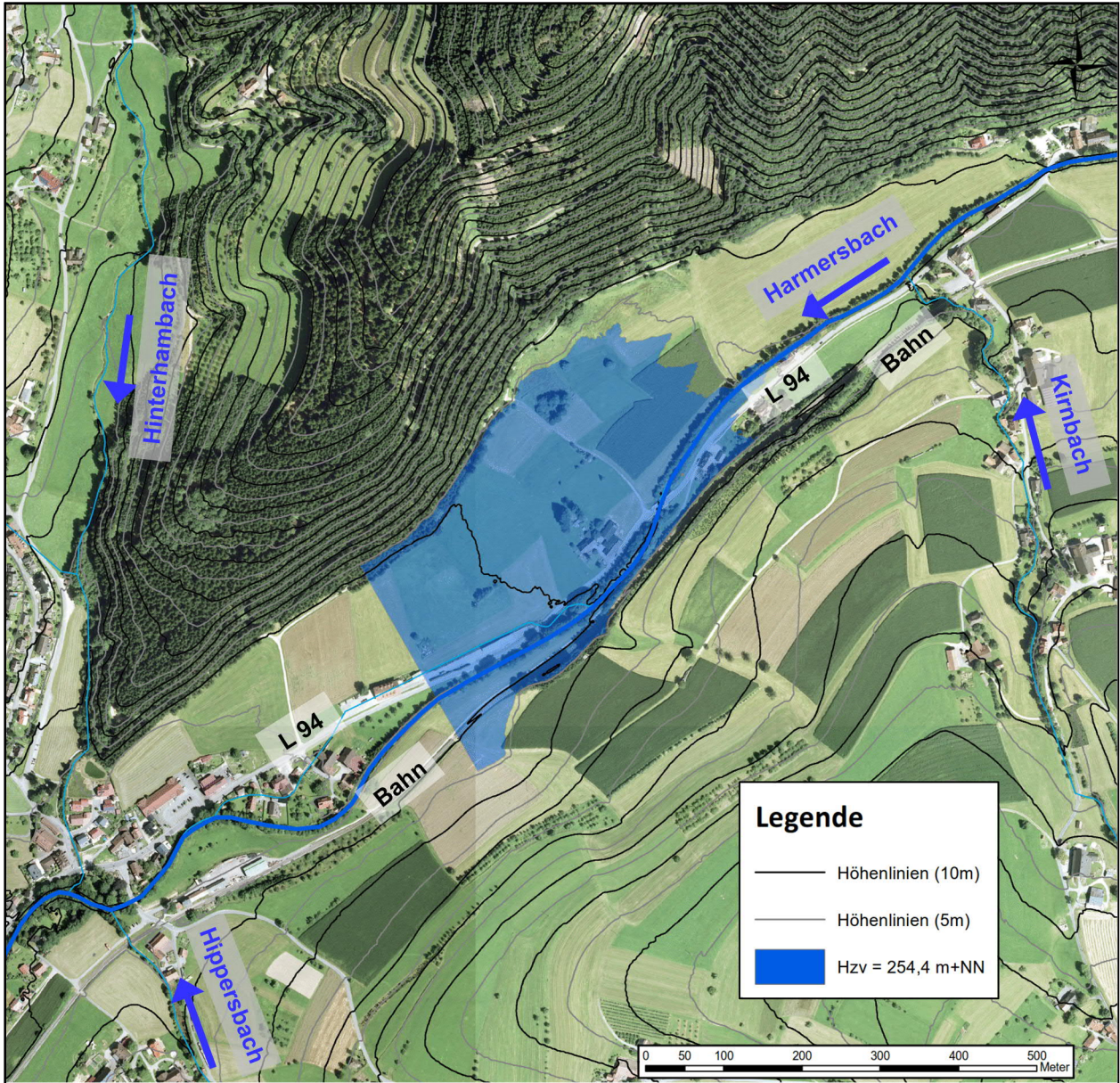


Abbildung 4-38: Fiktives HRB oberhalb der Ortslage Zell - Höhenlinienkarte

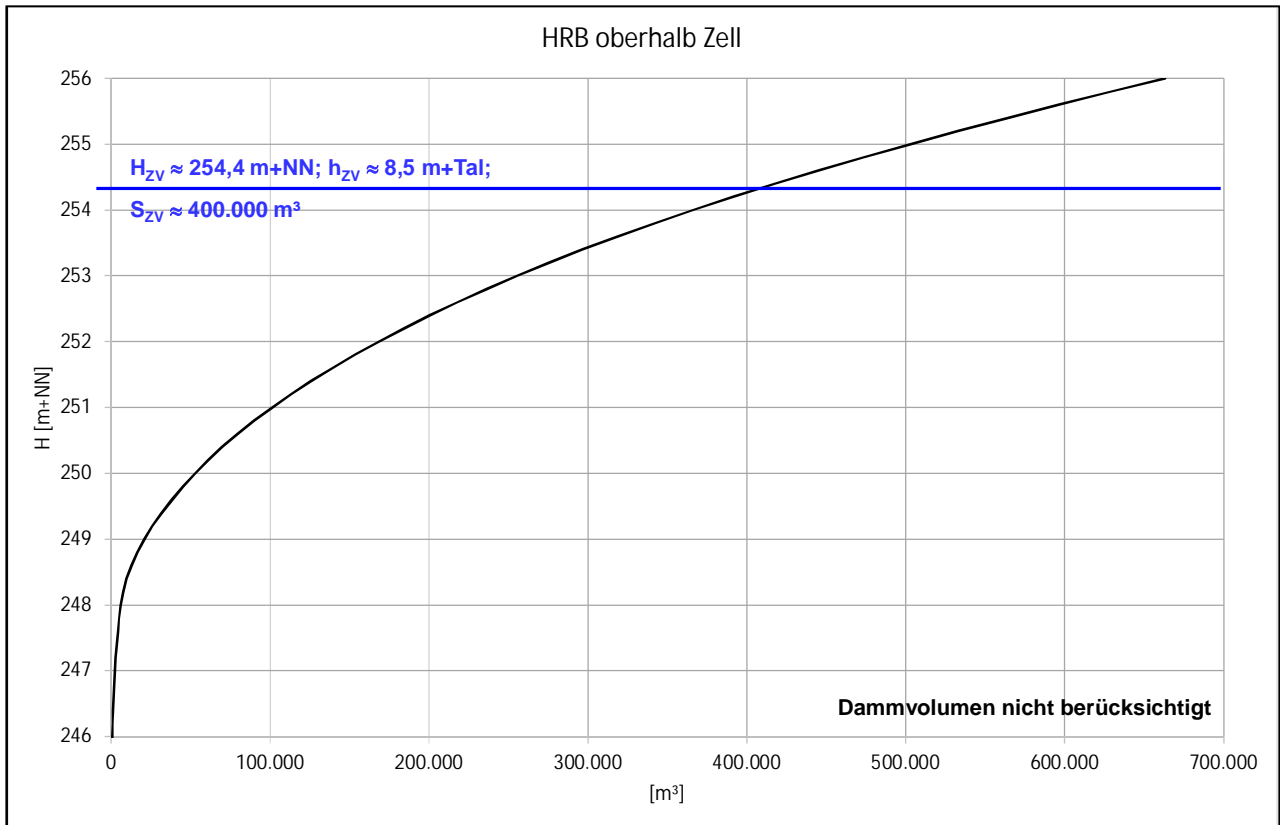


Abbildung 4-39: Fiktives HRB oberhalb der Ortslage Zell - Beckeninhaltslinie

#### 4.10 FGM-Berechnungsergebnisse für den Zustand nach Umsetzung der HW-Schutzmaßnahmen in der Ortslage von Zell a.H. „P0“

Im Rahmen der FGU wurden mehrere Beckenstandorte untersucht. Es zeigte sich jedoch, dass entweder aufgrund von Restriktionen wie Bebauung, Straßen oder Bahnlinie kein geeigneter Beckenstandort existiert oder eine Hochwasserschutzkonzeption mit einem Hochwasserrückhaltebecken aufgrund der unzureichenden Wirkung des Beckens (HRB-493) nicht vorgeschlagen wird.

Als problematisch erwiesen sich bei allen drei näher untersuchten HRB-Lösungen (HRB-90, -493, -1167) die hohen Kosten, denen teilweise geringe Schadenpotentials (nur wenige betroffene Gebäude) gegenüberstehen. Es wird daher davon ausgegangen, dass keines der drei betrachteten Becken zeitnah realisiert wird. Die HW-Schutzkonzeptionen (s. Ortslagenhefte) sehen die Herstellung eines ausreichenden HW-Schutzes über lokale HW-Schutzmaßnahmen bzw. Objektschutzmaßnahme vor.

Bei Objektschutzmaßnahmen wird der angestrebte HW-Schutz durch Maßnahmen an den Einzelgebäuden hergestellt. Solche Maßnahmen sind u.a. zentraler Bestandteil der Lösungskonzepte am Harmersbach (Oberharmersbach) und am Entersbacher Dorfbach (Unterentersbach). Durch Objektschutzmaßnahmen wird i.d.R. nicht oder nur wenig in die Abflussverhältnisse eingegriffen. D.h. die Überflutungen im Talraum finden weiterhin statt.

Dagegen soll über lokale HWS-Maßnahmen erreicht werden, dass bis zum angestrebten Bemessungsereignis keine Überflutungen innerörtlicher Bereiche mehr auftreten. Denkbare Lösungen sind dabei Aufweitungen, Eindeichungen, der Rückbau von Abstürzen, die Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Brücken, ... . Die Hochwasserschutzkonzeption für die Stadt Zell a.H. sieht entsprechende Lösungen zum Schutz vor Überflutungen durch den Harmersbach vor. Wie die Überflutungskarten für den heutigen Ausbauzustand (z.B. T=100a) aber auch die beim HW 1991 aufgetretenen Überflutungen zeigen, werden im Falle großer Hochwasser weite Stadtgebiete überflutet. Werden diese Überflutungsräume frei gelegt, so ist zu prüfen, welchen Einfluss dies auf die Abflussverhältnisse hat. So kann dies zur Verschärfung der Situation bei den Unterliegern führen. Die Maßnahmen können dann erst nach Fertigstellung der unterstromigen HWS-Maßnahmen erfolgen. Ggf. ist die Abflussverschärfung auch bei der Bemessung der HWS-Maßnahmen (HQ) zu beachten.

##### Oberharmersbach, Unterentersbach und Seitengewässer

Die für Oberharmersbach am Harmersbach und Unterentersbach am Entersbacher Dorfbach ausgearbeitete HW-Schutzkonzeptionen (s. Ortslagenhefte) sehen einen Schutz primär über Objektschutzmaßnahmen vor. Es treten damit voraussichtlich keine signifikanten Retentionsraumverluste auf.

Entsprechendes gilt für die Seitengewässer. In den hier vorherrschenden Kerbtälern werden im HW-Fall relativ geringe Retentionsvolumina aktiviert. Entsprechend gering sind auch die durch HW-Schutzmaßnahmen evtl. verursachten Retentionsraumverluste. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese in den

Vorflutern (Harmersbach, ...) keine nennenswerten Auswirkungen auf die im HW-Fall auftretenden Abflussverhältnisse (HQ-Werte) haben.

Zell a. Harmersbach / Harmersbach

Die für den heutigen Ausbauzustand neu erstellten Überflutungskarten (z.B. T=100a) zeigen ebenso wie die beim HW 1991 aufgetretenen Überflutungen, dass im Falle großer Hochwasser weite im Bereich der Harmersbachniederung (Tallage) gelegene Stadtgebiete überflutet werden. In der Ortslage Zell a.H. sieht die favorisierte HW-Schutzkonzeption (s. Ortslagenheft) neben Objektschutzmaßnahmen auch lokale HW-Schutzmaßnahmen vor. Durch die entlang großer Harmersbachabschnitte vorgesehenen Aufweitungen, Eindeichungen und Leistungsfähigkeitserhöhungen (Brücke, ...) werden zahlreiche Überflutungsflächen wegfallen und damit geht Retentionsraum verloren.

Es muss daher aufgezeigt werden, wie sich der Wegfall an Retentionsräumen auf die Abflussverhältnisse unterstrom auswirken. Aus den hydraulischen Modellrechnungen kann abgeleitet werden, welche Retentionsräume (Volumina) bei bestimmten HW-Abflüssen in Einstau gehen. Im hydrologischen Modell werden die beim derzeitigen Ausbauzustand der Gewässer (ohne neue HWS-Maßnahmen) aktivierten Retentionsräume detailliert nachgebildet.

Zur Ermittlung der Auswirkungen der in Zell a.H. entlang dem Harmersbach vorgesehenen HW-Schutzmaßnahmen fanden zusätzliche FGM-Rechenläufe statt. In diesen (FGM-Var. „P0“) wurden die in Zell a.H. entlang dem Harmersbach durch die vorgesehenen HW-Schutzmaßnahmen wegfallenden Überflutungsflächen nicht mehr berücksichtigt. Ansonsten entspricht die FGM-Variante „P0“ dem derzeitigen Ausbauzustand (Ortsentwässerung, Gewässer). Der einzige Unterschied zum Ist-Zustand (FGM-Var. „I0“) ist die verminderte Retentionswirkung infolge des Wegfalls der Überflutungsflächen im Bereich der Ortslage von Zell.

In der nachfolgenden Tabelle sind die am Harmersbach oberhalb der Nordrach ermittelten HW-Abflüsse für die FGM-Varianten „I0“ (volle Retentionswirkung; Ist-Zustand) und „P0“ (verminderte Retentionswirkung infolge HWS-Maßnahmen in Zell a.H.; Plan-Zustand) zusammengestellt. Der HW-Längsschnitt (Abbildung 4-40) zeigt nochmals grafisch die Auswirkungen der wegfallenden Überflutungsflächen. Während bei 10-jährlichen HW-Ereignissen keine nennenswerten Abflusserhöhungen auftreten (kaum innerstädtische Überflutungen), kommt es im Bereich der Ortslage von Zell a.H. bei 50- und 100-jährlichen HW-Ereignissen zu einer nachweisbaren Erhöhung der Abflüsse um bis zu 5 m<sup>3</sup>/s. Die Berechnungsergebnisse (HQ<sub>T</sub>-Werte) aller betrachteter Jährlichkeiten und Gewässerstellen (FGM-Knoten) können für die FGM-Varianten „P0“ der Anlage A.4.4 entnommen werden.

Dies bedeutet, dass der Aspekt „Wegfall von Retentionsflächen“ bei der Umsetzungsreihenfolge der HWS-Maßnahmen beachtet werden sollte (keine Verschlechterung des HW-Schutzes Dritter). So wäre eine Umsetzung der Maßnahmen beginnend im Unterwasser anzustreben.

Ein weiterer Aspekt betrifft die Bemessung der HW-Schutzmaßnahmen. So sollten für die Maßnahmenauslegung hydraulische Berechnungen des Plan-Zustandes erfolgen, denen Bemessungsabflüsse (HQ<sub>100</sub>, HQ<sub>100Klima</sub>) ohne die wegfallenden Retentionsräume zugrunde liegen (FGM-Var. „P0“).

Tabelle 4.19: FGM-Berechnungsergebnisse am Harmersbach oberhalb der Nordrach (T= 10 a, 20 a, 50 a, 100 a) –volle / verminderte Retentionswirkung FGM-Var. „I0“, „P0“)

FGM-Kn.	Lage	FGM-Var „I0“ volle Retentionswirkung				FGM-Var „P0“ verminderte Retentionswirkung			
		HQ <sub>10</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>20</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>10</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>20</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]
1426	Harmersbach oh. Hinter-	46,8	56,5	72,8	83,9	46,8	57,8	75,1	87,6
1575	Harmersbach uh. Hinter-	51,2	61,8	79,5	91,5	51,1	63,4	82,3	96,3
1622	Harmersbach oh. Herren-	51,0	61,6	78,7	90,8	51,3	63,6	82,5	95,0
1839	Harmersbach oh. Knopf-	51,5	62,2	79,3	91,5	51,9	64,4	83,4	95,9
2659	Harmersbach oh. Nordrach	52,2	63,0	79,8	91,8	52,6	65,5	84,7	96,6

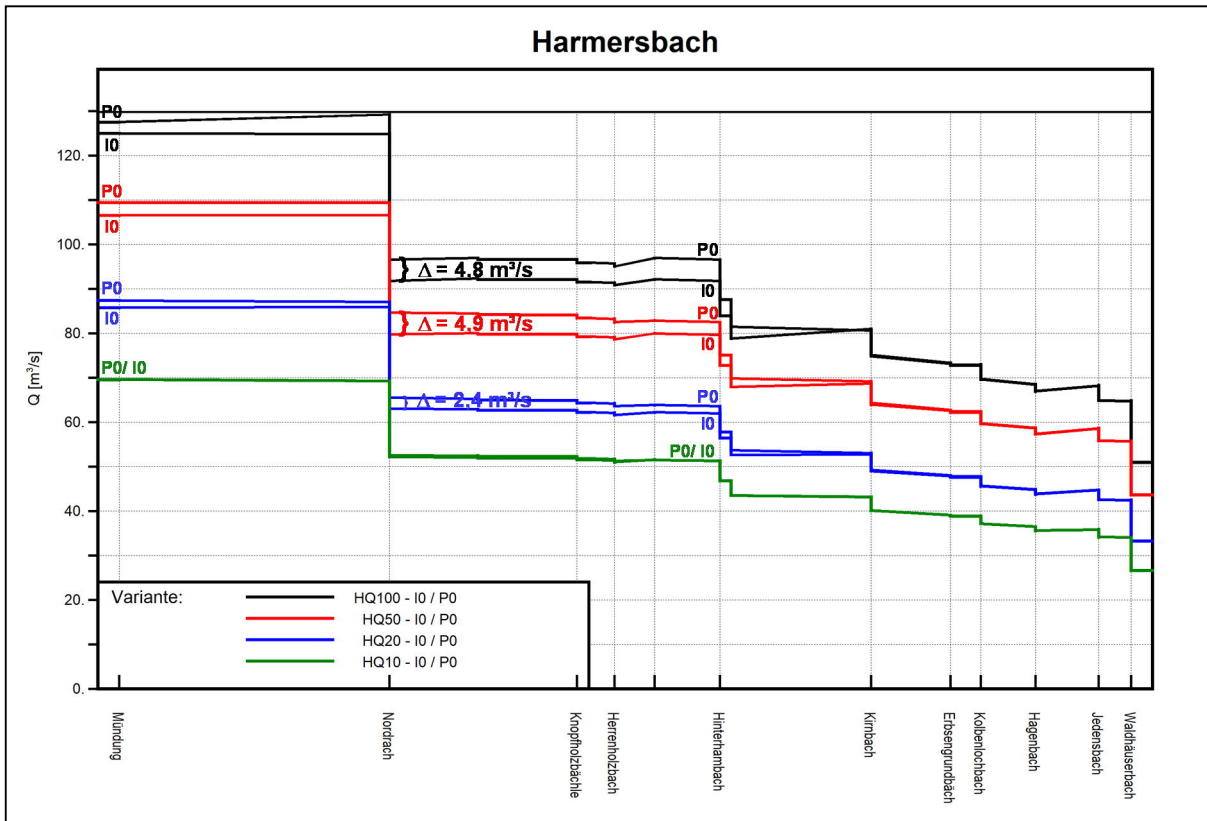


Abbildung 4-40: Hochwasserlängsschnitt des Harmersbachs für den Ist-Zustand („IO“) und die FGM-Var. „PO“ (Berechnung mit verminderter Retentionswirkung infolge Wegfall von Überflutungsflächen)

#### 4.11 FGM-Berechnungsergebnisse für den Zustand nach Einleitung der Fläche 1523 in den Hinterhambach (derzeitiger Bebauungszustand) „P11“

Die in den vergangenen Jahren aufgetretenen Starkregenereignisse (07.06.2016, ...) haben gezeigt, dass große Wassermengen aus einer Außengebietsfläche (FGM-Kn. 1523) auftreten können. Das Hangwasser fließt im Bereich Hinterhambach/Unterharmersbach über den Eckwaldweg und die Straße „Hinterhambach“ ab. Die FGM-Berechnungen zeigen, dass aus dem ca.  $A_E = 0,26 \text{ km}^2$  großen Einzugsgebiet (Fläche des FGM-Kn. 1523) bei einem 100-jährlichen HW-Ereignis mit Abflüssen von  $HQ_{100} = 1,24 \text{ m}^3/\text{s}$  zu rechnen ist.

Eine Möglichkeit den HW-Schutz zu verbessern wäre, dieses wild abfließende Wasser über eine neue Verdolung in den Hinterhambach einzuleiten. Um die Auswirkungen dieser Einleitung aufzeigen zu können, wird in FGM-Var. „P11“ als Plan-Zustand der Abfluss der „Fläche 1523“ in den Hinterhambach übergeleitet.

In der nachfolgenden Tabelle sind die an der Mündung des Hinterhambachs ermittelten HW-Abflüsse für die FGM-Varianten „I0“ (keine Einleitung der „Fläche 1523“ in den Hinterhambach) und „P11“ (Einleitung der „Fläche 1523“ in den Hinterhambach) einander gegenübergestellt. Die Berechnungsergebnisse ( $HQ_T$ -Werte) aller betrachteter Jährlichkeiten und Gewässerstellen (FGM-Knoten) können für die FGM-Varianten „P11“ der Anlage A.4.15 entnommen werden.

Tabelle 4.20: FGM-Berechnungsergebnisse (T= 50 a, 100 a, 100 aKlima) an der Mündung des Hinterhambachs (FGM-Kn. 1574) – ohne (FGM-Var. „I0“) und mit Einleitung der Fläche 1523 (FGM-Var. „P11“) in den Hinterhambach

FGM-Var.	$HQ_{50}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{100}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{100K}$ [m <sup>3</sup> /s]
FGM-Var. I0	12,6	15,5	17,8
FGM-Var. P11	13,2	16,1	18,6



## 5. Hydraulische Berechnungen - Bestandsanalyse und Ausarbeitung einer HW-Schutzkonzeption

### 5.1 Ortslagenhefte (Oberharmersbach, Zell a.H.)

Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen sowie die Schwachstellenanalyse für die untersuchten Gewässerabschnitte, die vorgeschlagene Hochwasserschutzkonzeption und die Kostenschätzung hierzu wurden für die Gemarkung der Stadt Zell a.H. und der Gemeinde Oberharmersbach separat in einem Berichtsheft (Ortslagenheft) dokumentiert. Den ausgearbeiteten Hochwasserschutzkonzeptionen liegen die Vorüberlegungen aus Kapitel 3.9 zugrunde. Die hydraulischen Berechnungsergebnisse können detailliert der Anlage B entnommen werden.

### 5.2 Einordnung abgelaufener Hochwasserereignisse

An dem seit über 60 Jahren beobachteten Pegel Zell/Harmersbach traten mit den Ereignissen vom 22.11.1991 ( $HQ = 118 \text{ m}^3/\text{s}$ ), 25.5.1983 ( $HQ = 87 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und 24.5.1978 ( $HQ = 86 \text{ m}^3/\text{s}$ ) drei große Hochwasserereignisse auf. Die Ereignisse (Plotting Positions) lassen sich dabei sehr gut in die  $HQ_T$ -Werte aus FGM-Berechnung bzw.  $HQ_T$ -Regionalisierung einordnen.

Die beiden Ereignisse von 1983 und 1978 können danach am Pegel als etwa 20-jährliche Hochwasser eingestuft werden. Die beiden Ereignisse sind aus zahlreichen Schwarzwaldgebieten als HW-Ereignisse bekannt und wurden durch großräumige Niederschläge ausgelöst. HW-Dokumentationen für den Untersuchungsraum sind allerdings nur wenige vorhanden.

Das mit einem Scheitelabfluss von  $HHQ = 118 \text{ m}^3/\text{s}$  wesentlich größere Hochwasser vom 22.11.1991 kann am Pegel Zell als ein ca. 50- bis 100-jährliches Hochwasser eingestuft werden. Ausgelöst wurde es durch ein großräumiges Starkregenereignis, das nicht nur entlang des gesamten Harmersbachs, sondern auch in zahlreichen größeren Seitengewässern zu massiven Überflutungen führte. Für diese Ereignis standen eine Vielzahl an HW-Dokumentationen (Fotos, Filme, HW-Marken, ...) zur Verfügung. Die auf der Grundlage der FGM Berechnungen ( $HQ_T$ -Werte) erfolgten hydraulischen Nachrechnungen T-jährlicher HW zeigen, dass sich die Beobachtungen beim HW 12/1991 (HW-Marken, Überflutungen, Fließwege, ...) an den Hauptgewässern sehr gut in die 50- und 100-jährlicher Hochwasser einordnen lassen. Das HW 12/1991 kann damit an zahlreichen der hydraulisch im Rahmen der FGU untersuchten Gewässer als ein ca. 50- bis 100-jährliches Hochwasser eingestuft werden.

Es handelt sich beim HW 12/1991 damit um ein Ereignis mit einer Jährlichkeit des nach Landesempfehlung anzustrebenden Schutzgrads (Abbildung 3-11). Wie die HW-Dokumentationen zeigen, ist eine Auslegung

von HWS-Maßnahmen (insbesondere von Objektschutzmaßnahmen) auf die 1991 aufgetretenen Wasserstände teilweise sehr schwierig. Eine Auslegung auf T= 100 a oder T= 100 aKlima erhöht den Schwierigkeitsgrad nochmals. Wichtig ist dennoch die Beobachtungen aus 1991 (Wasserstände) in die Auslegung von HWS-Maßnahmen einfließen zu lassen. Neben Informationen zu den aufgetretenen Wasserständen (Höhe der Maßnahmen) sollten auch die 1991 aufgetretenen Fließwege, Verlegungen, Probleme mit Geröll und Treibgut usw. in die HWS-Lösungsfindung eingebunden werden.

Neben den HW-Ereignissen in den Hauptgewässern können auch lokale Starkregenereignisse (Sommergewitter) zu Schäden führen. Diese meist sehr lokalen Ereignisse führen am Pegel Zell oft zu keinen hohen Abflüssen. Eine Einordnung solcher Starkregenereignisse über den Pegel Zell/Harmersbach ist daher i.d.R. nicht möglich. Während der Untersuchung trat am 07.06.2016 solch ein Starkregenereignis mit Schäden im Raum Zell a.H. auf. Jährlichkeitsabschätzungen wären z.B. über Auswertungen radargemessener Regen und Einordnungen in die KOSTRA-Werte möglich. Da dies mit einem erheblichen Aufwand (Kosten) verbunden ist, wird i.d.R. auf entsprechende Auswertungen von Einzelereignissen verzichtet. Empfohlen wird die Beobachtungen (Schäden, Fließwege, ...) in die immer wieder zu aktualisierende HWS-Konzeption einzubinden und langfristig Starkregen Gefahrenkarten für die Ortsbereiche erstellen zu lassen.

## 6. Ergänzende Hochwasserschutzmaßnahmen

### 6.1 Das Untersuchungsgebiet betreffende Verbesserungsmöglichkeiten

Hochwasseralarm-, Melde- und Informationssystem (Alarmpegel)

Schäden lassen sich auch durch eine möglichst frühzeitige Warnung verhindern oder zumindest in ihrem Ausmaß reduzieren. Dies ermöglichen beispielsweise Alarmpegel, die bei der Überschreitung bestimmter Wasserstände automatisch die zuständigen Stellen informieren. Durch eine frühzeitige Alarmierung können beispielsweise mobile Schutzmaßnahmen rechtzeitig aufgebaut und Einsatzkräfte (Feuerwehr, Bauhof) alarmiert werden. Solche Alarmpegel verbessern auch während eines Ereignisses das Hochwassermanagement.

Im Untersuchungsraum ist mit dem Pegel Zell / Harmersbach ein Landespegel vorhanden, der auch als Alarmpegel genutzt werden könnte. Der Pegel zeichnen den Wasserstand seit mehreren Jahrzehnten kontinuierlich und kann auf der Homepage der Hochwasservorhersagezentrale abgerufen werden. Damit ist beim Überschreiten kritischer Wasserstände eine „automatische“ Alarmierung möglich. Außerdem kann man sich über den Ablauf eines aktuellen Hochwassers informieren. Allerdings befindet sich der Pegel nach dem Zufluss der Nordrach im Mündungsbereich des Harmersbachs. Aussagen zum aktuellen und zukünftigen Geschehen im Oberlauf, in den Seitengewässern oder Nachbargewässern sind alleine über den vorhandenen Pegel Zell kaum möglich (Fließzeit, zukünftige Niederschläge, ...).

Alarmpegel sollten im Hinblick auf eine frühzeitige Alarmierung und für aussagekräftige Hinweise über den weiteren HW-Verlauf möglichst weit im Oberwasser der Gewässer liegen. Hingegen sollten die Alarmpegel auch möglichst große Teile des Einzugsgebiets erfassen. Außerdem sollten möglichst zentrale Schwachstellen der Ortslagen über Pegel erfasst werden.

Im Falle des Harmersbach- und Entersbachgebietes wäre der Aufbau eines Alarmpegelnetzes alleine aufgrund der angedachten Objektschutzmaßnahmen (z.Z. mobile Maßnahmen) zu empfehlen. Durch die Pegel wären frühzeitige Alarmierungen möglich. Vorgeschlagen wird im Anschluss an die FGU die gemeinsame (Zell a.H. und Oberharmersbach) Entwicklung eines Konzepts für ein HW-Alarm und Informationssystem für den Untersuchungsraum. In mehreren Gebieten, wie der Glatt, Elsenz oder dem Leintal, wurden in den letzten Jahren solche Systeme entwickelt. Aktuell findet für das Saalbachtal der Aufbau eines solchen Alarmsystems statt. Dabei ist der Saalbach ein Pilotgebiet, in dem das aktuelle FLIWAS3-Softwarepaket des Landes eingesetzt werden soll, in das neben den Landespegeln auch Fremdpegel einbezogen werden können.

### Starkregenproblematik

Die Ortslagen Oberharmersbach, Zell a.H. und Unterentersbach sind nicht nur durch hohe Abflüsse aus den Hauptgewässern gefährdet. Oberhalb der Ortslagen liegen teilweise steile Hangflächen. Dadurch kann es im Falle von Starkregen zu hohe Zuflüssen auf die Ortslage kommen. Im Untersuchungsgebiet kam es in der jüngsten Vergangenheit bereit zu entsprechenden Schadensereignissen (z.B. Zell a.H.: 07.06.2016).

Die Entwicklung von Lösungskonzepten zur Verbesserung des Schutzes vor Starkregen war nicht Bestandteil der FGU-Harmersbach. Bei Begehungen mit den Kommunen wurden allerdings Bereiche mit aus der Vergangenheit bekannten Überflutungen aufgenommen und die Teilflächen im hydrologischen Flussgebietsmodell abgegrenzt. Damit liegen Informationen zu den im HW-Fall auftretenden Wassermengen vor. Außerdem wurden Lösungskonzepte für bekannte Schadensbereiche bei Starkregen in das Gesamtkonzept aufgenommen.

Vorgeschlagen wird in einem ersten Schritt durch konstruktive Maßnahmen (s. Kapitel 6.2) den HW-Schutz in kritischen Bereichen zu verbessern. Evtl. wäre als nächster Schritt die Erstellung von Starkregengefahrenkarten (s. Kapitel 6.2) sinnvoll.

## 6.2 Grundsätzliche Möglichkeiten den HW-Schutz zu verbessern

### Hochwasserschutzstrategie des Landes

Eine Verbesserung des Hochwasserschutzes ist nicht nur durch Maßnahmen des technischen HW-Schutzes möglich. Das Land hat eine Hochwasserschutzstrategie entwickelt (LfU/LUBW, 2005), die sich aus den drei Säulen technischer Hochwasserschutz (Deiche, Dämme, Rückhaltungen, Gewässerausbau, ...), Hochwasservorsorge (Bauvorsorge, Verhaltensvorsorge, Risikovorsorge) und Hochwasserflächenmanagement (Flächenvorsorge für hochwassergefährdete Gebiete, Wasserrückhaltung in der Fläche) zusammensetzt. Nachfolgend sind ausgewählte Beispiele an ergänzend zu den als Ergebnis einer Starkregenuntersuchung vorgeschlagenen technischen Hochwasserschutzmaßnahmen mit Literaturverweisen zusammengestellt.



Abbildung 6-1: Hochwasserschutzstrategie des Landes Baden-Württemberg (WBW, 2016)

## Starkregen, Starkregengefahrenkarten

Wie die bei abgelaufenen Ereignissen aufgetretenen Schadensfälle zeigen, können im Untersuchungsraum Oberharmersbach und Zell a.H. Schäden nicht nur durch Überlastungen der Gewässer, sondern auch durch bei Starkregen abseits der größeren Gewässer (wild abfließendes Wasser, Hangwasser) verursachte Überflutungen auftreten. Besonders stark gefährdet sind dabei die Ortsränder.

Schäden durch Starkregen haben in den letzten Jahren bundes- und landesweit stark zugenommen. Alleine im Starkregensommer 2016 kam es in Baden-Württemberg zu einer Vielzahl teilweise katastrophaler Überflutungen (Braunsbach, Schefflenztal, Eppingen, Schollbrunn, ...). Es ist davon auszugehen, dass durch die Folgen der Klimaänderung zukünftig mit einer weiteren Häufung an Starkregen zu rechnen ist. Ausgelöst durch die vielen in den letzten Jahren aufgetretenen Schadensfälle sind auf Bundes- (BWK/DWA, 2013) und Landesebene (IBH/WBW, 2013; BWK/DWA, 2013) zahlreiche Leitfäden zum Starkregenisikomanagement erschienen. Der WBW hat außerdem für Praxisanwender (Bauämter, Betriebshöfe, ...) einen Leitfaden in Form eines Power-Point-Vortrags (WBW, 2016) erstellt, der sich mit dem Thema Risiko durch Starkregen befasst. Das Büro WALD+CORBE war an der Erstellung mehrerer dieser Leitfäden beteiligt.

Ergänzt werden diese Leitfäden um den Leitfaden „Kommunales Starkregenisikomanagement in Baden-Württemberg“ (LUBW, 2016). Dieser hat das Ziel ein landesweit einheitliches und qualitätsgesichertes Vorgehen bei der Durchführung einer Risikoanalyse als Basis für eine Förderung nach den aktuellen Förderrichtlinien Wasserwirtschaft (FrWw 2015) sicherzustellen. Die für eine Erstellung von Starkregengefahrenkarten benötigten Datengrundlagen (DGM, Orthofotos, Abflusswerte für drei Szenarien, ...) werden vom Land bereitgestellt (LUBW).

Aufgrund der in den letzten Jahren aufgetretenen Schadensfälle durch Starkregen, den vorliegenden Randbedingungen (intensiv genutzte landwirtschaftliche Flächen, Hanglagen, ...) wird auch für die Ortslagen des Untersuchungsraumes langfristig als zentrale Vorsorgemaßnahme zum Schutz vor Starkregen die Erstellung von Starkregengefahrenkarten empfohlen.

## Landwirtschaftliche Maßnahmen, Maßnahmen in der Fläche

Die Abflussbereitschaft der Außengebiete und Hangflächen ist nicht immer gleich. Wie Auswertungen (Begehungen nach Ereignissen) in der Region abgelaufener Hochwasser zeigen, hängt die Abflussbereitschaft sehr stark von der angebauten Feldfrucht, der Jahreszeit und der Vorfeuchte ab. So können abgeerntete Felder oder im Frühjahr frisch angelegte Felder die Abflussbereitschaft massiv erhöhen. Dies zeigen anschaulich die im Mai / Juni 2016 in Baden-Württemberg aufgetretenen Starkregenereignisse (Eppingen, Aglasterhausen, Dallau, Schefflenz, Schollbrunn, Neckarkatzenbach, ...). Die Starkregen fielen vielfach auf frisch angelegte Felder, die insbesondere im Bereich von Sonderkulturen (Rebflächen, Mais, Rüben, ...) zu hohen Abflüssen und Schäden führten.

Durch ergänzend zum rein technischen Hochwasserschutz realisierte landwirtschaftliche Maßnahmen sollte versucht werden, die Zuflüsse aus den Außengebieten (Hangflächen) und die Erosion zu reduzieren. Durch

solch landwirtschaftliche Maßnahmen kann auch bei kleineren und mittleren Hochwassern kein absoluter HW-Schutz hergestellt werden. Insbesondere bei sehr seltenen Ereignissen nimmt die Wirkung der ergänzend vorgeschlagenen landwirtschaftlichen Maßnahmen zudem ab. Dennoch sollte angestrebt werden, den Schutz vor Starkregen durch ergänzende landwirtschaftliche Maßnahmen zu verbessern. Beispiele hierfür sind:

- Anlegen von Ackerrandstreifen
- Bewirtschaftung: hangparalleles Pflügen, ausbringen von Zwischenfrucht, Hanguntergliederung mit Fruchtwechsel, vermeiden von Folien (Mais)
- Rückleitung von Wegewasser, ...

Im Kraichgau fanden in Pilotgebieten (Schwaigern, Massenbachhausen) Untersuchungen von ergänzenden landwirtschaftlichen Maßnahmen mit sehr positiven Ergebnissen statt. Weiterführende Informationen können auch den zahlreichen in den letzten Jahren erschienenen Veröffentlichungen entnommen werden (DWA, 2015; WBW/LUBW, 2015; LUBW, 2015; MLRV, 2015a; MLRV, 2015b; Krimly et al., 2015).

### Vorsorgemaßnahmen

Die Erfahrungen bei abgelaufenen Starkregenereignissen zeigen, dass ein agieren während des Hochwassers kaum noch möglich ist (kaum Vorwarnzeiten, extrem kurzer Reaktionszeiten). Dies gilt nicht nur für wild abfließendes Hangwasser, sondern auch für Hochwasser in den zahlreichen kleineren Gewässern, Gräben und Rinnen, in denen Gewitterereignisse kurzer Dauern zu den höchsten Abflüssen führen. Die Vorsorge ist daher der zentrale Baustein zum Schutz vor Starkregen. Im WBW-Leitfaden (2016) werden hierzu die Möglichkeiten einer Vorsorge detailliert aufgezeigt:

- Kritische Stellen erkennen, dokumentieren, kontrollieren, unterhalten
- Organisatorisches Vorgehen
- Defizite beseitigen, den Schutz verbessern
- Gefahr möglichst frühzeitig erkennen: Unwetterwarnung, Wetterbeobachtung, Alarmpegel, ...

Kritische Stellen erkennen, dokumentieren, kontrollieren, unterhalten

Eine Gefahr kann für Ortslagen von Rinnen, Gräben und Gewässern ausgehen, die Wasser in die Bebauung bringen. Aber auch Klingen, abschüssige Wege und Abflüsse in der Taltiefenlinie können Wasser und mitgeführtes Material in die Bebauung bringen. Ebenso insbesondere landwirtschaftlich genutzte Hangflächen. Neben den im Starkregenfall auftretenden hohen Wassermengen führen Schlamm, Geröll, Treibgut, Mähgut und Totholz oftmals zu innerörtlichen Schäden und Verlegungen. Besonders stark verlegungsgefährdet sind dabei die an den Ortsrändern gelegenen Einläufe und Durchlässe (Brücken, Stege). Wichtig für eine Vorsorge sind dabei zunächst Kenntnisse zu den im Gemarkungsbereich vorliegenden kritischen Stellen. Für größere Gewässer kann die Gefährdung vor Überflutungen aus den Hochwassergefahrenkarten des Landes abgeleitet werden. Auch abgelaufene Hochwasser liefern wertvolle Hinweise zur Gefährdung entlang von Gewässern, Bächen, Klingen, an Hangflächen oder vor Verlegungen. Eine Dokumentation abgelaufener Hochwasser hilft dabei kritische Gewässerstellen zu erkennen und das Management zukünftiger Ereignisse zu optimieren (Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz BW/WBW/LUBW, 2014). Eine weitere Möglichkeit Informationen vor der Gefährdung durch Starkregen zu erhalten liefern als neues Werkzeug Starkregengefahrenkarten.

Empfohlen wird auf der Grundlage dieser Informationen eine Karte (WBW, 2016) mit allen wichtigen Gewässern, Gräben, Verdolungen (Gewässername) sowie kritischen Stellen (Einläufe, Rechen, Unterführung, Hangflächen, ...) zu erstellen. Die Karte kann als Grundlage für ein Tourenblatt zur regelmäßigen Begehung (Kontrolle, Unterhaltung) bzw. zur Kontrolle im HW-Fall (Alarm- und Einsatzplan) dienen.

Neben einer regelmäßigen Begehung bzw. einer Begehung nach Starkregenereignissen (Kontrolle, Verlegungen beseitigen, ...) auf der Grundlage eines Tourenblatts durch die Kommunen wird die regelmäßige Durchführung einer Gewässerschau mit dem LRA empfohlen. Dadurch können die Beseitigungen von Ablagerungen am Gewässer als Gefahr für unterstromige Engstellen (Verlegung: Durchlass, Einlauf, ...) oder die Beseitigung von Einbauten oder Einengungen am Gewässer veranlasst werden. Bei den Begehungen werden auch ggf. erforderliche Unterhaltungsmaßnahmen (Anlandungen, Bewuchs, Böschungsabbrüche, Mauerschäden, ...) dokumentiert (WBW/LUBW, 2015; WBW, 2015; WBW, 2011; Bayerisches Landesamt für Umwelt/WBW, 2012).

### Organisatorisches Vorgehen

Für den reibungslosen Ablauf während eines Starkregenereignisses wird ein Hochwasseralarm und Einsatzplan (HWAEP) benötigt. Hinweise zur Erstellung eines HWAEP können WBW (WBW, 2006) entnommen werden. Neben dem HWAEP sind u.a. folgende weitere vorbereitenden Arbeiten sinnvoll (WBW, 2016):

- Vorbereitung und richtige Lagerung von Sandsäcken (Jutesandsäcke trocken und leer lagern, auf verschiedene Orte verteilte Lagerung)
- Setzen und Pflegen von Lattenpegeln
- Wartung der Geräte (mind. 1 x im Jahr und immer nach einem Hochwasserfall)
- Prüfung der Vollständigkeit und Funktionsfähigkeit von Ausrüstung und Material (siehe Checkliste)



Defizite beseitigen, den HW-Schutz verbessern (technische HWS-Maßnahmen)

Wie vielfache Erfahrungen bei aktuellen Hochwasserereignissen zeigen, stellen Grobrechen, Einlaufrechen und Verdolungseinläufe zentrale Schwachstellen dar. Deren Verlegung und Überlastung hat bei abgelaufenen Hochwassern vielfach zu hohen Schäden geführt. Der Bau von „optimalen“ Grobrechen und räumlichen Rechen sollte daher bei der Vorsorge (Bau und Unterhaltung) ein großes Gewicht erhalten. Beispiele für eine gute Gestaltung von Grobrechen und räumlichen Rechen enthält z.B. der WBW-Leitfaden (2017).

Daneben sind zahlreiche weitere technischen HWS-Maßnahmen sinnvoll. Nachfolgend sind in Anlehnung an den WBW-Leitfaden (2017) ausgewählte Maßnahmenbeispiele mit Literaturhinweisen zusammengestellt:

- Straßenrinnen: Kastenrinnen (WBW, 2016)
- Verdolungseinläufe: räumliche Rechen (WBW, 2016)
- Verdolungseinläufe: vorgeschaltete Grobrechen (WBW, 2016)
- Hangwasser: Leitdämme und Gräben (WBW, 2016)
- Objektschutzmaßnahme: Dammbalkensysteme, wasserdichte Türen und Fenster, Lichtschächte, ... (WBW, 2016; BWK/DWA, 2013)
- Eigenvorsorge (WBW, 2015; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2015; Stadt Karlsruhe, 2010)

Gefahr frühzeitig erkennen, Hochwasseralarm- und Frühwarnsysteme

Hochwasserschäden können auch durch eine möglichst frühzeitige Warnung und Alarmierung verhindert oder zumindest in ihrem Ausmaß reduziert werden. So ermöglicht eine frühzeitige Alarmierung z.B. den Aufbau mobiler Schutzsysteme. Die Hochwasservorhersagezentrale des Landes (HVZ) liefert, basierend auf Messungen des Landesmessnetzes für die größeren Gewässer, online verfügbare Informationen zur aktuellen Situation sowie Kurzfristvorhersagen. Dies ermöglicht an den größeren Flusssystemen eine frühzeitige Alarmierung sowie ein effektives Hochwassermanagement.

Inzwischen haben zahlreiche Kommunen und Verbände eigene, online verfügbare Mess- und Alarmsysteme installiert. Interessant sind dabei die zwischenzeitlichen Möglichkeiten die online gemessenen Pegelwerte ins HVZ-System einzuspeisen und damit über FLIWAS3 zu verwalten (Visualisierung, Alarmierung). Beispiele für solche Alarmsysteme existieren bereits in den Einzugsgebieten der Elsenz, der Glatt oder im Leintal. Neben solch flächenhaften Systemen gibt es in der Anwendungspraxis auch Einzelpegel zur Verbesserung des Schutzes an einzelnen Gewässern, wie sie beispielsweise von der Stadt Gaggenau betrieben werden. Die Alarmsysteme liefern i.d.R. automatische Alarmierungen beim Überschreiten kritischer Wasserstände (Vaihingen, Bietigheim,...) und sind außerdem oftmals die Grundlage für Alarm- und Einsatzpläne (Wangen, ...).

Die HVZ liefert neben Angaben (Messreihe, Vorhersage) zum Pegelmessnetz auch Alarmierungen für kleinere Einzugsgebiete. Der HVZ-Internetseite können auch Regenradarniederschlagsmessungen entnommen

werden. Die neben dem DWD auch von weiteren Betreibern verfügbaren Radarmessungen (und Warnungen) liefern gerade bei Starkregen wertvolle Hinweise zur derzeitigen und zukünftigen Niederschlagsituation.

#### Maßnahmen während und nach einem HW-Ereignis

Die Aufgaben während eines Hochwassers sollten möglichst durch einen Hochwasseralarm- und Einsatzplan im Vorfeld geregelt werden. Hinweise zum Verhalten während eines Ereignisses und zur Nachsorge können WBW (2016) entnommen werden. Wesentliche Nachsorgeaufgaben sind danach:

- HWAEP hinterfragen
- Fehleranalyse
- Instandsetzung / Unterhaltung (Rechen, ...) und Aufräumarbeiten (Müllentsorgung, ...): Hygiene – und Vorsichtsmaßnahmen beachten

Angaben zu HW-Dokumentationen können (WBW, 2016; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2010) entnommen werden. Diese sollte möglichst zeitnah erfolgen und folgende Punkte umfassen:

- Presseberichte, HW-Fotos (Zeitpunkt, Ort), Feuerwehrberichte, ... sammeln
- Zeitnahe Dokumentation des aufgetretenen Scheitelwasserstands (Markierung an Brücken, Mauern, Gebäuden)
- Karte erstellen: Fließwege, Geschwemmsellinie, betroffene Gebäude, kritische Bereiche, Verkläuerungen, Ausbordungen, getroffene Maßnahmen, ...
- Bevölkerung einbinden (Amtsblatt, ...): betroffenen Gebäude, Niederschlagsmessungen, Fotos, ...
- Niederschlagsmessungen beschaffen (Privatmessung, amtliche Betreiber, ...)
- Ereignisverlauf dokumentieren: Einsatz, Probleme, ...
- Besonderheiten dokumentieren: Rückstau, Hagel, Verlegung durch Mähgut, ...

## Literaturquellen

Nachfolgend sind nochmals wichtige Literaturquellen zu den einzelnen Themenblöcken zusammengestellt:

Bayerisches Landesamt für Umwelt und WBW : Gewässerunterhaltung - der richtige Umgang mit dem Hochwasser, 2012

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Hochwasserschutzfibel, Objektschutz und bauliche Vorsorge, 2015

BWK und DWA: Starkregen und urbane Sturzfluten – Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge, BWK-Fachinformation 1/2013, 2013

DWA: Wasserrückhalt in der Fläche durch Maßnahmen in der Landwirtschaft – Bewertung und Folgerungen für die Praxis, DWA-Themen T5/2015, 2015

IBH und WBW: Starkregen, Was können Kommunen tun?, 2013

LfU/LUBW: Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes, 2005

Krimly, T. und Dabbert, S.: Landwirtschaftlicher Hochwasserschutz, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410a), Universität Hohenheim, 2015

LUBW: Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg, 2016

LUBW: Merkblatt Gefahrenabwehr bei Bodenerosion, 2015

LUBW und WBW : Gewässerschau - mehr als eine Pflichtaufgabe, 2015

Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (a): Nach dem Hochwasser - Maßnahmen in der Landwirtschaft, Maßnahmen auf Grünland und im Feldfutterbau, Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, 2015

Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (b): Nach dem Hochwasser - Langfristige Beeinträchtigungen durch Schadstoffe - mögliche Rekultivierungsmaßnahmen, Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, 2015

Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, WBW und LUBW : Dokumentation von Hochwasserereignisse und Setzen von Hochwassermarken, 2014

Stadt Karlsruhe: Schutz vor Kellerüberflutung, Tiefbauamt, 2010

WBW: Risiko durch Starkregen Vorsorgen, Agieren, Nachsorge, Präsentation, PPT-Präsentation von H. Göppert, WBW Leitfaden Starkregen, 2016

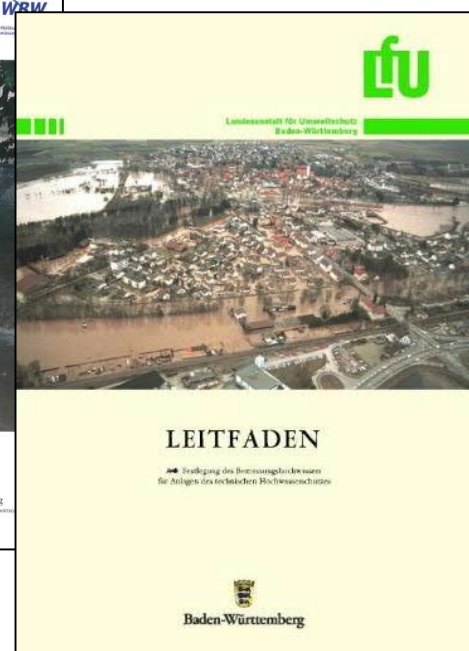
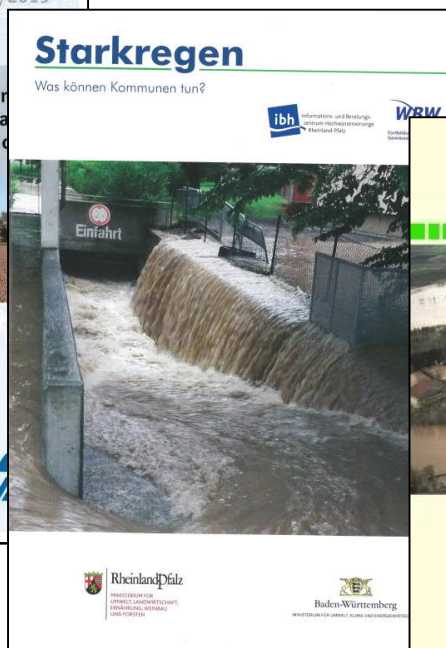
WBW und LUBW: Gewässerrandstreifen in Baden-Württemberg, 2015

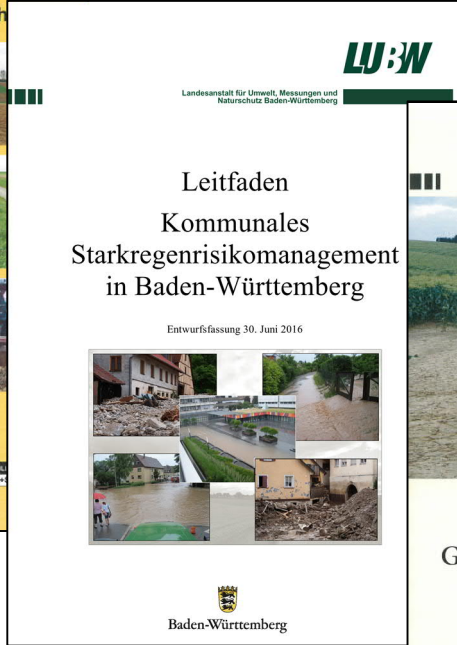
WBW: In 5 Schritten zum Hochwasseralarm- und Einsatzplan, 2006

WBW: Gewässerschau - mehr als eine Pflichtaufgabe, 2015

WBW : Gewässerunterhaltung als wichtiger Beitrag zur Hochwasservorsorge, 2011

WBW: Hochwasser-Risiko-bewusst planen und bauen, 2015





**HOCHWASSER**  
RISIKOMANAGEMENT BADEN-WÜRTTEMBERG

**Dokumentation von Hochwasserereignissen und Setzen von Hochwassermarkern**

Jahrtausende alte Wasserstandsmarken an Felsen, Säulen und an flachen Tempelwänden und Kalkmauern an den Ufern des Nils bezeugen, dass es bereits bei den Ägyptern übliche Praxis war, die Wasserstände von Nilfluten zu messen und an Ort und Stelle dauerhaft zu kennzeichnen. Die Tradition, Hochwasser durch Markierungen festzuhalten, ist in Deutschland erstmalig für das 18. Jahrhundert belegt. Die meisten historischen Hochwassermarken am Neckar stammen aus dem 19. Jahrhundert. Über die Hochwasser in 20. Jahrhundert finden sich nur wenige Marken. Daher kann es schwieriger sein, die Neigung des modernen Menschen zur Verankerung von Katastrophenerlebnissen, der Häufigkeit von Überschwemmungsereignissen infolge von Hochwasserereignissen oder der Verfügbarkeit amtlicher Wasserstandsmarken zu beurteilen.

Da Wissen über die Hochwassererfahrung in einer wesentlichen Voraussetzung für die Bewusstheit von Hochwasserereignissen ist, ist es wichtig, dass die Dokumentation von Hochwasserereignissen eine wesentliche Aufgabe für die Setzen von Hochwassermarkern darstellt.

**STANDORTWAHL**  
Zur Dokumentation extremer Hochwasserstände empfiehlt sich, dauerhafte Marken an geeigneten

Gebäuden, Böcken, Mauern oder sonstigen stützartigen Stellen, an denen keine weiteren Hochwasserereignisse zu erwarten sind, zu bewerkstelligen. Da historische Markierungen an Kalkmauern oft abgetragen oder überbaut sind, ist es wichtig, sie in der Nähe von Gebäuden zu bewerkstelligen.

**VORBEREITUNGEN**  
Da bei einem Hochwasser in der Regel nur ein bis zwei Tage Zeit zur Verfügung stehen, sind die Vorbereitungen zu planen und vorzubereiten:

- Bestimmen der wichtigsten Adressen (z.B. von Katastrophenschutz, Feuerwehr, Polizei, Mafk, Zöb, etc.)
- Bestimmen der wichtigsten Adressen (z.B. von Katastrophenschutz, Feuerwehr, Polizei, Mafk, Zöb, etc.)
- Bestimmen der wichtigsten Adressen (z.B. von Katastrophenschutz, Feuerwehr, Polizei, Mafk, Zöb, etc.)

Aus Sicherheitsgründen sind alle Tätigkeiten bei Hochwasser von mindestens zwei Personen durchzuführen.

Logo: Baden-Württemberg, WBW, LU

**Stadt Karlsruhe Tiefbauamt**

## Schutz vor Kellerüberflutung

So schützen Sie sich gegen Rückstau aus der Kanalisation und gegen Eindringen von Oberflächenwasser

**WBW**  
Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH

## Risiko durch Starkregen

Vorsorgen, Agieren, Nachsorge

**Möglichkeiten Schäden durch Starkregen mittels fachgerechter Gewässerunterhaltung zu minimieren**

Danke: WALD + CORBE, www.wald-corbe.de, www.wald-corbe.de, www.wald-corbe.de

**WBW**  
Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH


**LU:W**  
Landschaft für Umwelt, Menschen und Naturschutz Baden-Württemberg

## Gewässerrandstreifen in Baden-Württemberg

Anforderungen und praktische Umsetzung


Logo: Baden-Württemberg

**Gewässerunterhaltung**  
als wichtiger Beitrag zur Hochwasservorsorge



**WBW**  
Fortbildungsinstitut für Gewässerentwicklung und  
In Kooperation mit:  
Landesanstalt für Umwelt, Messungen  
und Naturschutz Baden-Württemberg

In **5** Schritten  
zum  
Hochwasseralarm- und Einsatzplan



Eine Orientierungshilfe für die Erstellung, Ergänzung und Aktualisierung von kommunalen Hochwasseralarm- und Einsatzplänen

**ZKS**  
Baden-Württemberg  
Zusammenarbeit Natur - Umwelt - Wasserbau

**WBW**  
Fortbildungsinstitut für Gewässerentwicklung und

**HOCHWASSER**   
RISIKOMANAGEMENT BADEN-WÜRTTEMBERG

**Gewässerschau –  
mehr als eine Pflichtaufgabe**



Ein Überblick

[www.hochwasserbw.de](http://www.hochwasserbw.de)

Was ist eine Gewässerschau?  
Warum eine Gewässerschau?  
Inhalte der Gewässerschau  
Einladungen/Teilnehmerkreis  
Gewässerschau nicht durchgeführt? – Die Folgen  
Kompaktinformation für Kommunen, Untere Verwaltungsbehörden  
und die Landesbetriebe Gewässer

**WBW**  
Baden-Württemberg  
Fortbildungsinstitut für Gewässerentwicklung und

**Hochwasser-Risiko-bewusst planen und bauen**  
Entwicklungen | Konzepte | Strategien | Instrumente



**WBW** **HOCHWASSER**   
RISIKOMANAGEMENT BADEN-WÜRTTEMBERG





## 7. Zusammenfassung

Die vom Land erstellten Hochwassergefahrenkarten zeigen, dass im Einzugsgebiet des Harmersbachs und Entersbacher Dorfbachs in den Ortslagen Oberharmersbach, Zell a.H. und Unterentersbach im Falle großer Hochwasser mit teilweise massiven Überflutungen entlang der Hauptgewässer (Harmersbach, Entersbacher Dorfbach) zu rechnen ist. Dass bei Hochwasser tatsächlich solch massive innerörtliche Überflutungen durch Überlastung der Hauptgewässer auftreten können, wurde durch das Hochwasserereignis vom 22.12.1991 bestätigt. Dem Hochwasser konnte über den Pegel Zell/Harmersbach eine Auftretenswahrscheinlichkeit von etwa 50- bis 100 Jahren zugeordnet werden. Die aufgetretenen Überflutungen stimmen entlang dem Harmersbach (Oberharmersbach, Zell a.H.) in etwa mit den 50- bis 100-jährlichen HWGK-Ergebnissen überein.

Die Stadt Harmersbach und die Gemeinde Oberharmersbach haben sich daher entschlossen gemeinsam eine Flussgebietsuntersuchung (FGU) für das Einzugsgebiet des Harmersbachs (einschließlich Entersbacher Dorfbach) durchführen zu lassen. Die ebenfalls im Einzugsgebiet des Harmersbachs gelegene Gemeinde Nordrach hat auf eine FGU-Beteiligung verzichtet. Die hydraulisch untersuchten Gewässer beschränken sich damit auf die Gemarkungsflächen der Stadt Zell a.H. und der Gemeinde Oberharmersbach. Das hydrologische Flussgebietsmodell umfasst allerdings das Gesamteinzugsgebiet der Gewässer Harmersbach und Entersbacher Dorfbach.

Massive Überflutungen traten in der Vergangenheit (s. HW 12/1991) nicht nur an den HWGK-Hauptgewässern, sondern auch in einigen Seitengewässern auf. Hinzu kamen Probleme bei lokalen Starkregenereignissen (7.6.2016, ...) in kleineren Gewässern und Gräben. Die HWGK-Karten zeigen damit ebenso wie die aufgetretenen Schadensfälle, dass in den Ortslagen Oberharmersbach, Zell a.H. und Unterentersbach der nach Landesempfehlung für Innerortsbereiche anzustrebende 50- bis 100-jährliche HW-Schutz in vielen Abschnitten nicht erreicht wird.

Die Stadt Zell a.H. und die Gemeinde Oberharmersbach haben sich entschlossen, gemeinsam eine Flussgebietsuntersuchung für das Einzugsgebiet des Harmersbachs und des Entersbacher Dorfbachs in Auftrag zu geben. Die „FGU-Harmersbach“ umfasst das gesamte, ca.  $A_E = 115 \text{ km}^2$  große Gesamteinzugsgebiet der Gewässer Harmersbach und Entersbacher Dorfbach bis zu deren Einmündung in die Kinzig. Dies hat große Vorteile für die beiden beteiligten Kommunen. So konnte z.B. eine Anpassung des hydrologischen Modells über den Pegel Zell/Harmersbach erfolgen. Außerdem liegen dadurch für die Ortslagen Angaben zu Beobachtungen bei abgelaufenen HW-Ereignissen vor. Bei im Rahmen von Flussgebietsuntersuchungen entwickelten HW-Schutzkonzeptionen können außerdem Lösungen ggf. aufeinander abgestimmt werden.

Ausgehend von den neuesten Datengrundlagen, ergänzenden Erhebungen und Vermessungen sowie Auswertungen von abgelaufenen HW-Ereignissen (12/1991, 6/2016, ...) sollte im Rahmen der FGU zunächst eine Bestandsanalyse und darauf aufbauend ggf. die Entwicklung von HW-Schutzkonzeptionen erfolgen.

Im Rahmen der Flussgebietsuntersuchung fand zunächst eine umfassende Bestandsanalyse statt. Hierzu wurde ein flächendetailliertes hydrologisches Flussgebietsmodell für das rund  $A_E = 115 \text{ km}^2$  große Gesamteinzugsgebiet Harmersbach und Entersbacher Dorfbach aufgebaut und angepasst. Eine sehr gute Anpassung des Modells war dabei durch die Analyse am Pegel Zell/ Harmersbach gemessener Hochwasser möglich. Aus den Berechnungen mit dem hydrologischen Flussgebietsmodell liegen flächendeckend für alle relevanten Gewässerstellen Informationen zu den entlang der Gewässer auftretenden Bemessungswassermengen ( $HQ_T$ -Werte, T-jährliche HW-Ganglinien) vor.

Aussagen zu dem bei einem bestimmten Abfluss im Gewässer auftretenden Wasserstand und den dadurch verursachten Überflutungen sind nur mit hydraulischen Modellrechnungen möglich. Für die Hauptgewässer Harmersbach und Entersbacher Dorfbach wurden auf der Basis von HWGK-Vermessungen, Bestandsunterlagen (Planunterlagen, AKP, DGM) und Neuvermessungen hydraulische Modelle aufgebaut und angepasst. Ergänzend wurden auf der Basis von Bestandsunterlagen und Neuvermessungen hydraulische Modelle für sieben Seitengewässer neu aufgebaut. Es handelt sich dabei um alle größeren Seitengewässer bzw. Gewässer bei denen aus der Vergangenheit Probleme bei abgelaufenen HW-Ereignissen bekannt sind. Eingesetzt wurden dabei je nach Fragestellung und Randbedingung 2D-Strömungsmodelle, kombinierte 1D/2D-Strömungsmodelle und 1D-Kanalnetzmodelle (Bachverdolungen).

Anhand der hydraulischen Berechnungen konnte detailliert aufgezeigt werden, wo genau Schwachstellen vorliegen, welche Überflutungen sich hieraus ergeben und welche Einbauten im Gewässer bzw. topografische Gegebenheiten ursächlich für diese Überflutungen verantwortlich sind. Auf diese Weise erfolgte zunächst eine sehr umfangreiche Bestandsanalyse der derzeitigen Hochwassersituation. Diese zeigte, dass am Hauptgewässer Harmersbach in vielen innerörtlichen Abschnitten ein relativ guter 10- bis 20-jährlicher Grundschutz vorliegt. Allerdings ist im Falle großer HW ( $T=50a$ ,  $100a$ , HW1991) mit massiven Überflutungen in Oberharmersbach und Zell a.H. zu rechnen. Der HW-Schutz am zweiten HWGK-Gewässer ist niedriger. Hier können schon bei 10-jährlichen HW Ereignissen innerörtliche Überlastungen auftreten. In den ergänzend untersuchten Seitengewässern variiert der derzeitige Schutzgrad zwischen  $< 10$  Jahren und 50 Jahren. Zusammenfassend zeigen die hydrologisch-hydraulischen Berechnungen damit, dass der nach Landesempfehlung innerorts anzustrebende (50-) bis 100-jährliche Hochwasserschutz in zahlreichen Gewässerabschnitten nicht erreicht wird. Die Bestandsanalyse zeigt in Form der Überflutungskarten, welche große Betroffenheiten (Schäden) im Untersuchungsraum durch Hochwasser auftreten können. Dies bestätigte anschaulich das in vielen Gewässerabschnitten als ca. 50- bis 100-jährliches Ereignis einzustufende Hochwasser vom 22.12.1991. Eine Verbesserung des Hochwasserschutzes ist daher in den meisten im Rahmen der FGU betrachteter Gewässer anzustreben.

Für alle hydraulisch untersuchten Gewässerabschnitte mit unzureichendem Hochwasserschutz wurden HW-Schutzkonzeptionen entwickelt. Die HW-Schutzlösungen sehen die Verbesserung des Hochwasserschutzes dabei über lokalen HW-Schutzmaßnahmen (Ausbau, Eindeichung, ...) oder Objektschutzmaßnahmen vor. Vorgeschlagen wird eine Auslegung der Maßnahmen auf 100-jährliche Hochwasserereignisse. Empfohlen wird, im Rahmen der Maßnahmenplanung zu prüfen, ob eine Auslegung auf den LF-Klimaänderung machbar und (wirtschaftlich) sinnvoll ist.

Eine Verbesserung des Hochwasserschutzes kann nicht nur durch Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes erreicht werden. Empfohlen werden daher auch ergänzende Maßnahmen wie regelmäßige Gewässerbegehungen, darauf aufbauende Gewässerunterhaltungsmaßnahmen, landwirtschaftliche Maßnahmen und die Erstellung von HW-Alarm- und Einsatzplänen. Außerdem wird der Aufbau eines Hochwasserinformations- und Alarmsystems für das Gesamteinzugsgebiet des Harmersbachs und Entersbacher Dorfbachs empfohlen. Durch eine frühzeitigere Alarmierung können die z.T. als Objektschutzmaßnahmen vorgesehene mobilen Maßnahmen rechtzeitig installiert bzw. durch Kenntnisse zum weiteren Ereignisverlauf das HW-Management optimiert werden.

Die FGU-Harmersbach beinhaltet nur punktuell Vorschläge zur Verbesserung des Schutzes vor wild abfließendem Wasser (Hangwasserproblemen) bzw. der Verbesserung des Schutzes vor Überlastung der kleineren Seitengewässer und Gräben. Da im Untersuchungsraum in der Vergangenheit mehrfach auch Probleme durch Hangwasser und durch hohe Zuflüsse aus kleineren Seitengewässern auftraten, werden ergänzende Untersuchungen in Anlehnung an den Starkregenleitfaden des Landes (LUBW, 2016) empfohlen.

Im Rahmen der FGU-Harmersbach fanden umfangreiche hydrologisch-hydraulische Berechnungen statt. Die Modelle und Berechnungsergebnisse wurden sehr ausführlich dokumentiert (Anlage A: Hydrologie, Anlage B-1 bzw. B-2: Hydraulik), so dass die Ergebnisse langfristig für wasserwirtschaftliche Fragestellungen nutzbar sind. Die Dokumentation der Untersuchung erfolgte außerdem im vorliegenden Erläuterungsbericht, der die allgemeinen Aspekte sowie die hydrologischen Bearbeitungsteile beschreibt. Ergänzend wurden Ortslagenhefte für Oberharmersbach und Zell a.H. erstellt. Diesen können jeweils die hydraulischen Ergebnisse, Bestandsanalysen und HW-Schutzkonzeptionen entnommen werden.

Eine zeitnahe Umsetzung aller vorgeschlagener HWS-Maßnahmen wird für die beiden Kommunen kaum machbar sein (Kosten, Grunderwerb, ...). Empfohlen wird daher eine stufenweise Umsetzung. Die möglichen nächsten Bearbeitungsschritte sind:

- Erstellung einer Prioritätenliste – zu berücksichtigende Aspekte: keine Verschlechterung Dritter, vorhandener Schutzgrad, Schadenspotenzial, Kosten der Maßnahme, mögliche Förderung, geplante Sanierung, ...
- Förderung prüfen: Wirtschaftlichkeitsnachweis, Abstimmungen mit LRA/RP, ...
- Planung und Umsetzung der Maßnahmen
- Aufbau eines HW-Alarmsystems: Pegelmessnetz, Fliwas3,...
- Einbindung zukünftiger HW-Ereignisse in das Schutzkonzept (Aktualisierung)
- Einbindung aktueller/geplanter Maßnahmen in das Schutzkonzept: Sanierung (Brücke, Straße, Kanalnetz,...), Neubaugebiete, ...
- Möglicher Grunderwerb im Hinblick auf das Schutzkonzept prüfen
- Starkregenuntersuchung nach dem Landesleitfaden: Überlappung mit Gewässermaßnahmen
- Sonstiges: Ergänzende Maßnahmen, Alarm- und Einsatzplan, ...



## Quellenverzeichnis

- [1] DIN 19700 (2004): „DIN 19700 Teil 10 bis 12, Stauanlagen“
- [2] DWD (2005): KOSTRA-DWD-2000, Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951-2000), Grundlagenbericht, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach
- [3] DWD (2005): KOSTRA-DWD-2000, Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951-2000), Fortschreibungsbericht, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach
- [4] DWD (2015): KOSTRA-DWD-2010 – Starkniederschlagshöhen für Deutschland – Abschlussbericht, Deutscher Wetterdienst Abteilung Hydrometeorologie, Offenbach am Main
- [5] DWD (2017): KOSTRA-DWD-2010R – Bericht zur Revision der koordinierten Starkregenregionalisierung und –auswertung des Deutschen Wetterdienstes in der Version 2010 – Abschlussbericht, Deutscher Wetterdienst Abteilung Hydrometeorologie, Offenbach am Main
- [6] DWD/ITWH (2009): Software KOSTRA-DWD 2000, CD, V2.2.1
- [7] DWD/ITWH (2016): Software KOSTRA-DWD-2010, V3.1.3
- [8] DWD/ITWH (2017): Software KOSTRA-DWD-2010R, V3.2.2
- [9] Göppert, H. (1995): „Operationelle Hochwasservorhersage zur Steuerung von Talsperren“, Dissertation, Mitteilung des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft (IHW) der Universität Karlsruhe (TH), Heft 49
- [10] IB Zink (2014): Erläuterungsbericht Erneuerung Holdersbachdurchlass – Durchlassbauwerk-
- [11] IB Zink (2015): Erläuterungsbericht Bestehende Verdolung des Hubbächleins – Antragsunterlagen zur Erteilung der nachträglichen wasserrechtlichen Genehmigung -
- [12] Ihringer, J. (2005): „Softwarepaket für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Anwenderhandbuch, Band 1: Hochwasseranalyse“, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) des KIT Karlsruhe
- [13] KIT/IWG (2016): KOSTRA-DWD-2010 – Bewertung im Hinblick auf die wasserwirtschaftliche Bemessungspraxis
- [14] KIT/IWG (2017): KOSTRA-DWD-2010R – Bewertung der überarbeiteten Version
- [15] LfU/LUBW (2005): „Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes“; Oberirdische Gewässer/ Gewässerökologie, Heft 92
- [16] LUBW (2007): „Abflusskennwerte in Baden-Württemberg, Teil 1 Hochwasserabflüsse Teil 2 Mittlere Abflüsse und Niedrigwasserabflüsse“; Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg

- [17] LUBW (2007): „Arbeitshilfe zur DIN 19700 für Hochwasserrückhaltebecken“; Oberirdische Gewässer/Gewässerökologie, Heft 106
- [18] LUBW (2015): Abfluss-BW, Regionalisierte Abfluss-Kennwerte Baden-Württemberg, Hochwasserabflüsse, Internet: <http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/253646/>; Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg
- [19] LUBW (2016): Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg; Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg
- [20] Lutz, W. (1984): „Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Anwendung von Gebietskenngrößen“, Dissertation, Mitteilung des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft (IHW) der Universität Karlsruhe (TH), Heft 24
- [21] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2017a): Handlungsempfehlung zu KOSTRA-DWD-2010
- [22] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2017b): Handlungsempfehlung zu KOSTRA-DWD-2010 Revision
- [23] Verworn (2008): „Flächenabhängige Abminderung statistischer Regenwerte“; Korrespondenz Wasserwirtschaft (2008 / 1)
- [24] WALD+CORBE (2004): „Auswirkungen der Klimaveränderungen auf Planungen - Praxisbeispiele“; 2.Symposium, KLIWA-Berichte Heft 4, Tagungsband zum 2.KLIWA-Symposium am 3./4.Mai in Würzburg
- [25] WALD+CORBE (2012): Bauvorhaben Gabriel Lehmann - Erweiterung einer bestehenden Werkstatt, Auffüllung und Abgrabung von Gelände
- [26] WALD+CORBE (2016a): Sanierung der L94 - Hydraulische Untersuchung zur Brücke B520 (Rösslebrücke), RP Freiburg
- [27] WALD+CORBE (2016b): Kleinwasserkraftwerk am Geisteichwehr in Zell am Harmersbach - Erläuterungen zu den hydraulischen Berechnungen, BEG Mittelbaden
- [28] WALD+CORBE (2016c): Umbau des Anwesens Talstraße 67 zu einem Feuerwehrgerätehaus - Hydraulische Untersuchung, Gemeinde Oberharmersbach
- [29] WALD+CORBE (2016d): Sanierung der L94 - Hydraulische Untersuchung zur Brücke B519 (Kaffeebrücke), RP Freiburg
- [30] WALD+CORBE (2018): Sanierung der L94 - Hydraulische Untersuchung zur Brücke B520 (Rösslebrücke) - Ermittlung des Bemessungsstaudrucks für den Nachweis der Stand- und Betriebssicherheit des Bauwerks bei  $H_{Q_{\text{extrem}}}$ , RP Freiburg