**Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau**
**Sachsen-Anhalt**

SACHSEN-ANHALT

Landesanstalt für
Landwirtschaft, Forsten
und Gartenbau

# Kommunales Starkregenrisikomanagementkonzept für die Ortslagen Barnstädt und Nemsdorf-Göhrendorf mit dem Ziel der verbesserten Vorsorge vor den Folgen von Starkregenereignissen und Sturzfluten (Teil 2)

Erläuterungsbericht

BCE
BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt GmbH
Parsevalstraße 2, 99092 Erfurt
Telefon +49 361 2249-100, bce-erfurt@bjoernsen.de
Dezember 2021, CF, CK, 201930120

**Inhaltsverzeichnis**

**Erläuterungsbericht**


| | | |
|---|---|---|
| **1** | **Veranlassung** | **1** |
| **2** | **Grundlagen** | **2** |
| 2.1 | Untersuchungsgebiet | 2 |
| 2.2 | Datengrundlage | 2 |
| **3** | **Hydraulische Gefährdungsanalyse** | **6** |
| 3.1 | Modellkonvertierung und -Transformation | 6 |
| 3.2 | Modellanpassung | 6 |
| 3.3 | Modellparametrisierung | 9 |
| 3.3.1 | Festlegung Rauheitsparameter | 10 |
| 3.3.2 | Hydrologische Eingangsparameter | 21 |
| 3.4 | Modellkalibrierung | 29 |
| 3.4.1 | Modellwahl | 29 |
| 3.4.2 | Sensitivitätsanalyse | 30 |
| 3.4.3 | Modellkalibrierung (Mai 2017) | 43 |
| 3.5 | Wahl des Bemessungsregens | 47 |
| 3.6 | 2D-HN Starkregensimulation | 48 |
| 3.7 | Ableitung Starkregengefahren | 50 |
| 3.8 | Fehlerbetrachtung | 63 |
| 3.8.1 | Potentielle Gefährdungsbereiche | 63 |
| 3.8.2 | Ausdehnung Modellnetz | 63 |
| 3.8.3 | Daten-, Modell- und Ergebnisunsicherheiten | 63 |
| **4** | **Starkregenrisikoanalyse** | **65** |
| 4.1 | Schadenspotentiale | 65 |
| 4.2 | Risikobewertung | 68 |

**5 Ableitung kommunales Handlungskonzept 71**

5.1 Allgemeine Maßnahmenerläuterungen 72
5.1.1 Infrastrukturbezogene Maßnahmen 73
5.1.2 Gewässerbezogene Maßnahmen 74
5.1.3 Flächenbezogene Maßnahmen 75
5.1.4 Objektbezogene Maßnahmen 79
5.1.5 Verhaltensbezogene Maßnahmen 82

5.2 Öffentlichkeitsbeteiligung 83

5.3 Informationsvorsorge 84

5.4 Kommunale Flächenvorsorge 87

5.5 Kommunale Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen 91

5.6 Eigenvorsorge 92

5.7 Krisenmanagement und Gefahrenabwehr 92

5.8 Regeneration 94

**6 Maßnahmenbewertung 94**

6.1 Beschreibung und qualitative Bewertung der Maßnahmenkomplexe (Teil 2) 95

6.2 Integrale Betrachtung der Maßnahmen aus Teil 1 126

6.3 Umsetzungsstrategie 132

**7 Zusammenfassung und Ausblick 134**

**Abbildungsverzeichnis**


| | | |
|---|---|---|
| Abbildung 1: | Untersuchungs- und Modellgebiet für das Starkregenrisikomanagementkonzept (Teil 2) | 2 |
| Abbildung 2: | Vergleich der Gebäudemodellierung für Hochwassersimulation (links) und für Starkregensimulation (rechts) | 7 |
| Abbildung 3: | Beispiel von berücksichtigten Grundstücksmauern mit einer Mindesthöhe von 20 cm in Barnstädt | 8 |
| Abbildung 4: | Rauheitszonen im 2D-Modell | 9 |
| Abbildung 5: | Einfluss von Bewuchs auf das Geschwindigkeitsprofil für niedrige und hohe Wasserstände (Quelle: BCE) | 10 |
| Abbildung 6: | Erhöhung des Detaillierungsgrad durch mehr Stützstellen in der $k_{st}$-Funktion am Beispiel von 8 Stützstellen (rot) und einer Stützstelle (grau) (Quelle: BCE) | 11 |
| Abbildung 7: | Abnehmender Einfluss der Oberflächenrauheit auf die Fließgeschwindigkeit (Quelle: BCE) | 12 |
| Abbildung 8: | Prinzipskizze der Wirkungsweise von Objektabständen auf den $k_{st}$-Wert (Abbildung aus [16], [15]) | 13 |
| Abbildung 9: | Prinzipskizze der Wirkungsweise von der Objektanordnung auf den $k_{st}$-Wert (Abbildung aus [16]) | 14 |
| Abbildung 10: | Abhängigkeit der Rauheitswirkung einer Ackerfläche von der Bewirtschaftungsrichtung (Hintergrund; Bearbeitung BCE) | 14 |
| Abbildung 11: | Rauheitstyp A - keine Interaktion der Pflanze aufgrund der Strömung [15] | 15 |
| Abbildung 12: | Repräsentativer $k_{st}$-Verlauf in Abhängigkeit vom Wasserstand für starren Bewuchs (Typ A) (Quelle: BCE) | 16 |
| Abbildung 13: | Rauheitstyp B - Interaktion der Pflanze aufgrund der Strömung [15] | 17 |
| Abbildung 14: | Repräsentativer $k_{st}$-Verlauf in Abhängigkeit vom Wasserstand für flexiblen Bewuchs (Typ B) (Quelle: BCE) | 18 |
| Abbildung 15: | Einfluss des Knickverhaltens von Bewuchs auf das Geschwindigkeitsprofil (Quelle: BCE) | 19 |
| Abbildung 16: | Repräsentativer $k_{st}$-Verlauf in Abhängigkeit vom Wasserstand für Bewuchs mit Knickverhalten (Typ C) im Vergleich zu Typ B (grau) (Quelle: BCE) | 20 |
| Abbildung 17: | Unterteilung von Teileinzugsgebieten im Untersuchungsgebiet | 22 |
| Abbildung 18: | Rasterdarstellung des Bruttoniederschlages zu einem ausgewählten Zeitpunkt im Untersuchungsgebiet | 23 |
| Abbildung 19: | Referenzstellen für die Auswertung der Wasserspiegellagen im Zuge einer Sensitivitätsanalyse | 31 |
| Abbildung 20: | Die maximalen bei der 2D-HN-Simulation berücksichtigten $k_{st}$-Werte auf landwirtschaftlichen Flächen oberhalb von Barnstädt für die Szenarien 1 bis 3 | 33 |
| Abbildung 21: | Veränderung der Überschwemmungsflächen durch Variation des Modellregens | 39 |

Abbildung 22: Für die Modellkalibrierung relevante Hochwassermarken in Barnstädt und Göhrendorf 43
Abbildung 23: Berechnete Überschwemmungsflächen im Vergleich zur vor Ort beobachteten Strömungssituation am 19.05.2017 in Barnstädt [8] 45
Abbildung 24: Berechnete Überschwemmungsfläche im Vergleich zur Vor Ort beobachteten Strömungssituation am 19.05.2017 im Bereich der Dorfstraße in Göhrendorf 46
Abbildung 25: Berechnete Überschwemmungsfläche im Vergleich zur Vor Ort beobachteten Strömungssituation am 19.05.2017 im Bereich der Dorfstraße in Göhrendorf [8] 46
Abbildung 26: Niederschlagsverteilung für ein $N_{100}$ in Teileinzugsgebiet an des Typs Euler II 48
Abbildung 27: Vergleich der Modellzustände MZ1 (Kalibrierungszustand) und MZ2 (Modellzustand zur Bemessungsrechnung) im Bereich Oechlitzer Straße 12, Barnstädt 49
Abbildung 28: Umgesetzte Maßnahme (B2_M2 gemäß [7]) in MZ2 zur Ableitung der Starkregengefahren 49
Abbildung 29: Strömungssituation in Barnstädt mit Wassertiefen > 3 cm bei einem Niederschlagsereignis $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps) 51
Abbildung 30: Strömungssituation in Barnstädt mit Wassertiefen > 10cm aufgrund von einem Niederschlagsereignis $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps) 52
Abbildung 31: HotSpots in Barnstädt für ein $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps); Wassertiefen > 10 cm 53
Abbildung 32: Strömungssituation in Göhritz mit Wassertiefen > 10cm aufgrund von einem Niederschlagsereignis $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps) 54
Abbildung 33: HotSpot in Göhritz für ein $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps); Wassertiefen > 10 cm 55
Abbildung 34: Strömungssituation in Göhritz mit Wassertiefen > 3 cm bei einem Niederschlagsereignis $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps) 56
Abbildung 35: Strömungssituation in Göhrendorf mit Wassertiefen > 3 cm bei einem Niederschlagsereignis $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps) 57
Abbildung 36: Strömungssituation in Göhrendorf mit Wassertiefen > 10 cm aufgrund von einem Niederschlagsereignis $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps) 58
Abbildung 37: HotSpot am Weidenbach in Göhrendorf für ein $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps); Wassertiefen > 10 cm 58
Abbildung 38: Strömungssituation in Nemsdorf mit Wassertiefen > 3 cm bei $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps) 60
Abbildung 39: HotSpots in Nemsdorf für ein $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps); Wassertiefen > 10 cm 61

Abbildung 40: Abflussaufteilung in Nemsdorf mit Wassertiefen > 10cm für $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps) 62
Abbildung 41: Maßnahmenkategorien und -bereiche zum Überflutungsschutz (DWA M-119) 72
Abbildung 42: Wirkungsweise von Straßenbäumen zur Überflutungsvorsorge 73
Abbildung 43: Multifunktionale Flächennutzung (li) und Schaffung von Notwasserwegen bei Starkregen am Beispiel Hamburg Volksdorf (re) 74
Abbildung 44: Retentionsmaßnahmen als Kaskade in der thüringischen Ortslage Schwarza (li), Regenrückhaltebecken in Blankenhain (o. re) oder als Regenrückhaltebecken mit multifunktionaler Flächennutzung (u. re) 76
Abbildung 45: Beispiele zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung durch Entsiegelung von Parkflächen (o. li), Pflanzkästen (o. re.) sowie durch Sickermulden (u.) 77
Abbildung 46: Objektbezogene wassersensible Bauweise (o.) mit Kellerfenster-/Lichtschutzschacht (u. li) und geeigneter Garagenzufahrt (u. re.) 80
Abbildung 47: Wassersensible Grundstücksplanung als Objektschutz 81
Abbildung 48: Prinzip eines zentralen Informationsmanagements bei Starkregen 85
Abbildung 49: Prinzip eines dezentralen Informationsmanagements bei Starkregen 86
Abbildung 50: Beispiel eines wassersensitiven Straßenbelags für Parkplätze 89
Abbildung 51: Beispiel von Dachbegrünung zur Verringerung des innerörtlichen Versiegelungsgrades 90
Abbildung 52: MNK_BA_01 zum Wasserrückhalt im Einzugsgebiet süd-westlich von Barnstädt 96
Abbildung 53: Potentielle Scheitelkappung an der Quelle des Weidenbachs für ein Starkregenereignis $N_{100}$ durch die Maßnahmenkomplexe BA_01 und BA_02 98
Abbildung 54: MNK_BA_02 südwestlich von Barnstädt zur Minimierung des Oberflächenabflusses am Weidenbach 99
Abbildung 55: MNK_BA_03 südlich von Barnstädt zur Kontrollierten Abflussführung im Einzugsgebiet 100
Abbildung 56: MNK_BA_04 zur Strömungslenkung und zur Förderung des Rückhalts sowie Infiltration im Bereich Göhritz-Süd und Weidaquelle 101
Abbildung 57: Vorhandene Retentionsfläche oberhalb der Weidaquelle 102
Abbildung 58: Maßnahmenkomplex BA_05 zur Verringerung des Starkregenrisikos am Barnstädter Graben durch Rückhalt im Außeneinzugsgebiet 103
Abbildung 59: Potentielle Scheitelkappung am Außengebietszufluss des Barnstädter Grabens für ein Starkregenereignis $N_{100}$ durch den Maßnahmenkomplex BA_05 104

Abbildung 60: Maßnahmenkomplex BA_06 zur Verringerung des Starkregenrisikos an der Oechlitzer Straße 105
Abbildung 61: vereinfachte Volumenbilanzierung für die hydraulische Wirksamkeit des Maßnahmenkomplexes BA_06 ohne Berücksichtigung des MNK_BA_03 106
Abbildung 62: Grundstückszufahrt (li.) und Einlaufgitter (re.) als potentielle Fließhindernisse am Barnstädter Graben 107
Abbildung 63: Unterhaltungsmaßnahmen am Barnstädter Graben (MNK_BA_07) 107
Abbildung 64: Neubau eines Grabensystems westlich der Ortslage Göhritz (MNK_BA_08) 108
Abbildung 65: Optionale Maßnahmen zur Strömungslenkung bzw. zur Förderung der lokalen Versickerung in Göhritz West (MNK_BA_09) 109
Abbildung 66: Verbesserung der hydraulischen Leistungsfähigkeit am Göhritzer Graben (MNK_BA_10) 110
Abbildung 67: Maßnahmen zum Rückhalt am Weidenbach zwischen Barnstädt und Göhrendorf (MNK_GD_01) 111
Abbildung 68: Maßnahmen zum Rückhalt in Göhrendorf – Süd (MNK_GD_02) 112
Abbildung 69: Maßnahmen zur Versickerung in Göhrendorf – Ost (MNK_GD_04) 113
Abbildung 70: Maßnahmen zum Rückhalt in Nemsdorf Süd (MNK_ND_01) 114
Abbildung 71: Maßnahmen zum Rückhalt am Göhritzer Graben (ND_02) 115
Abbildung 72: vereinfachte Volumenbilanzierung für die hydraulische Wirksamkeit des Maßnahmenkomplexes ND_02 116
Abbildung 73: Maßnahmen zur kontrollierten Oberflächenwasserführung in Nemsdorf-Göhrendorf West (ND_03) 117
Abbildung 74: Maßnahmen zur kontrollierten Abflussführung in Nemsdorf West (MNK_ND_04) mit optionalen Maßnahmen zur Optimierung des Rückhalts am Göhritzer Graben 118
Abbildung 75: vereinfachte Volumenbilanzierung für die hydraulische Wirksamkeit des optionalen Beckenstandorts am Göhritzer Graben (ND_04_03) ohne Berücksichtigung des MNK_ND_02 119
Abbildung 76: Maßnahmen zur Minimierung des Überflutungsrisikos im Bereich der Gartenstraße in Nemsdorf (MNK_ND_05) 120
Abbildung 77: Maßnahmen zur Minimierung des Überflutungsrisikos im Bereich Nemsdorf Ost (MNK_ND_06) 121
Abbildung 78: Maßnahmen zur Minimierung des Starkregenrisikos in Nemsdorf Nord (MNK_ND_07) 123
Abbildung 79: Potentiell zu entsiegelnde Flächen in Barnstädt und Göhritz 124
Abbildung 80: Potentiell zu entsiegelnde Flächen in Göhrendorf und Nemsdorf 125
Abbildung 81: Integrale Maßnahmenbewertung am Hotspot B_1 [7] 126
Abbildung 82: Integrale Maßnahmenbewertung am Hotspot B_2 [7] 127
Abbildung 83: Integrale Maßnahmenbewertung am Hotspot B_3 [7] 128
Abbildung 84: Integrale Maßnahmenbewertung am Hotspot G_1 [7] 129
Abbildung 85: Integrale Maßnahmenbewertung am Hotspot G_2 [7] 130
Abbildung 86: Integrale Maßnahmenbewertung am Hotspot GD_9 [7] 131

Abbildung 87: Umsetzungsstrategie für das Maßnahmenkonzept zur Starkregenrisikominimierung im Untersuchungsgebiet 133

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Verwendete Datengrundlage 3
Tabelle 2: Anteil versiegelter Flächen je TEZG 24
Tabelle 3: Anfangsverluste je Teileinzugsgebiet für versiegelte und unversiegelte Flächen 25
Tabelle 4: Flächengewichtete CNII-Werte je Teileinzugsgebiet und Bodenbedeckungsszenario 27
Tabelle 5: Bodenfeuchteklassen in Abhängigkeit der Vegetationsperiode 27
Tabelle 6: Flächengewichtete CNI-Werte je Teileinzugsgebiet und Bodenbedeckungsszenario 28
Tabelle 7: Einfluss des Pflanzenalters auf den numerisch bestimmten hydrologischen Längsschnitt 32
Tabelle 8: Numerisch berechnete Wasserspiegellagen in Abhängigkeit vom Pflanzenalter landwirtschaftlicher Nutzpflanzen (Differenzen bezogen auf Messwerte) 34
Tabelle 9: Veränderung der innerörtlichen Abflusswerte durch Variation der Rauheitsbeiwerte um +/- 20 % 35
Tabelle 10: Veränderung der numerisch berechneten Wasserspiegellagen durch Variation der Rauheitsbeiwerte um +/- 20% (Differenzen bezogen auf Messwerte) 35
Tabelle 11: Einfluss der Wirbelviskosität auf den innerörtlichen hydrologischen Längsschnitt am Weidenbach 36
Tabelle 12: Einfluss der Wirbelviskosität auf die berechneten Wasserspiegellagen im Modell (Differenzen bezogen auf Messwerte) 37
Tabelle 13: Zusammenfassung der angesetzten Niederschlagssummen von mittleren und maximalen Niederschlagssummen für die Variation des Modellregens (SCS) 38
Tabelle 14: Veränderung der innerörtlichen Abflusswerte durch Variation des Modellregens (SCS) 38
Tabelle 15: Veränderung der berechneten Wasserspiegellagen durch Variation des Modellregens (Differenzen bezogen auf Messwerte) 39
Tabelle 16: Zusammenfassung der angesetzten Niederschlagssummen von mittleren und maximalen Niederschlagssummen für die Variation des Modellregens (SCS vs. Lutz-Verfahren) 40
Tabelle 17: Veränderung der innerörtlichen Abflusswerte durch Variation des Modellregens (SCS vs Lutz-Verfahren) 41

| | | |
|---|---|---|
| Tabelle 18: | Veränderung der berechneten Wasserspiegellagen durch Variation des Modellregens (SCS vs Lutz-Verfahren; Differenzen bezogen auf Messwerte) | 42 |
| Tabelle 19: | Ergebnisse der Modellkalibrierung für die jeweiligen Kalibrierungszustände (K) | 44 |
| Tabelle 20: | Zusammenfassung der ermittelten Niederschlagssummen gemäß dem Verfahren nach Lutz mit einem Korrekturfaktor von 1,8 von $N_{50}$ und $N_{100}$ für den Bemessungsregen | 47 |
| Tabelle 21: | Statistik Überflutungsgefahr in Barnstädt | 54 |
| Tabelle 22: | Statistik Überflutungsgefahr in Göhritz | 56 |
| Tabelle 23: | Statistik Überflutungsgefahr in Göhrendorf | 59 |
| Tabelle 24: | Statistik Überflutungsgefahr in Nemsdorf | 62 |
| Tabelle 25: | Daten-, Modell- und Ergebnisunsicherheiten | 63 |
| Tabelle 26: | Schadenspotentialklassen nach Nutzungsart gemäß [19] | 65 |
| Tabelle 27: | Statistik Schadenspotentiale in Barnstädt | 67 |
| Tabelle 28: | Statistik Schadenspotentiale in Göhritz | 67 |
| Tabelle 29: | Statistik Schadenspotentiale in Göhrendorf | 68 |
| Tabelle 30: | Statistik Schadenspotentiale in Nemsdorf | 68 |
| Tabelle 31: | Bewertungsmatrix zur Ableitung des Überflutungsrisikos | 69 |
| Tabelle 32: | Statistik Starkregenrisiko in Barnstädt | 69 |
| Tabelle 33: | Statistik Starkregenrisiko in Göhritz | 70 |
| Tabelle 34: | Statistik Starkregenrisiko in Göhrendorf | 70 |
| Tabelle 35: | Statistik Starkregenrisiko in Nemsdorf | 71 |
| Tabelle 36: | Übersicht zu flächenbezogenen Maßnahmen | 78 |
| Tabelle 37: | Übersicht für verhaltensbezogene Maßnahmen | 82 |
| Tabelle 39: | Adaption der Maßnahmenkategorisierung hinsichtlich der Bewertung zur | 95 |

**Anlagen**

**Reihe A: Übersichten und Zusammenstellungen**

| | |
|---|---|
| A-1 | Verfahren nach Lutz - Eingangsparameter |
| A-2 | SCS-Verfahren - Eingangsparameter |
| A-3 | Wasserstandsabhängige $k_{st}$-Werte (digital) |
| A-4 | Ergebnisse der Modellkalibrierung |
| A-5 | Ableitung Bemessungsregen $N_{50}$ und $N_{100}$ |
| A-6 | Handlungsanleitung |
| A-7 | Maßnahmenliste |
| A-8 | Alarm- und Einsatzplan |

| **Reihe B: Übersichten und Pläne** | | **Maßstab** |
|---|---|---|
| B-1 | Übersichtskarte | 1 : 75.000 |
| B-2 | Topografische Gefährdungsanalyse Fließwege und Senken | 1 : 25.000 |
| B-3 | Abweichende Fließwege zur Voruntersuchung | 1 : 25.000 |
| B-4 | Schadenspotentiale | 1 : 5.000 |
| B-5.1 | Starkregengefahrenkarte $N_{50}$ | 1 : 5.000 |
| B-5.2 | Starkregengefahrenkarte $N_{100}$ | 1 : 5.000 |
| B-6.1 | Starkregenrisikokarten $N_{50}$ | 1 : 5.000 |
| B-6.2 | Starkregenrisikokarten $N_{100}$ | 1 : 5.000 |
| B-7.1 | Empfohlene Maßnahmen | 1 : 5.000 |
| B-7.2 | Maßnahmenkarte mit optionalen Maßnahmen | 1 : 5.000 |
| B-8.1 | Freizuhaltende Abflussbereiche | 1 : 5.000 |
| B-8.2 | Flächensicherung für Entsorgungsanlagen | 1 : 12.500 |

**Verwendete Unterlagen**


[1] Deutscher Wetterdienst (DWD)
Radolan Daten, KOSTRA 2010R
Februar 2020

[2] Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz
CN-Karte
April 2020

[3] Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)
Digitales Geländemodell (DGM 1)
November 2019

[4] Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)
Historische Karte von 1931, Verwaltungsgrenzen, DTK10/25, DOP
November 2019

[5] Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)
Daten vom HWRMP Querne-Weida (Teilmodell Weidenbach)
November 2019

[6] Landesanstalt für Landwirtschaft und Garten-bau Sachsen-Anhalt (LLG)
Wassereinzugsgebiet, Kostra-Kacheln
November 2019

[7] Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz
Studie „Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen als fachliche Grundlage für die Starkregengefahrenvorsorge für Barnstädt und Nemsdorf-Göhrendorf mit dem Ziel der Verbesserung des Wasser- und Sedimentrückhalts in Kleineinzugsgebieten (Teil 1: Außenbereich)“
November 2018
(Auftraggeber: Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)

[8] Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)
Aufnahmen vom Starkregenereignis 19.05.2017 (Videos und Bilder)
November 2019

[9] Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)
ALKIS und ATKIS Daten
November 2019

[10] Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)
3D Gebäudedaten
November 2019

[11] Umweltamt Landkreis Saalekreis
Bodendaten
November 2019

[12] Amt für Bauordnung und Denkmalschutz Landkreis Saalekreis
Liste mit Adressen von Denkmalen
Dezember 2019

[13] Stabsstelle Informationstechnologie Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau
Flurstücke
Februar 2020

[14] Landesanstalt für Landwirtschaft du Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)
Flächen für differenzierte landwirtschaftliche Nutzung im Mai 2017
Februar 2020

[15] DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
Merkblatt DWA-M 524 „Hydraulische Berechnung von Fließgewässern mit Vegetation
September 2020

[16] DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
Veranstaltung: „Hydraulische Berechnung von Fließgewässern mit Vegetation“
Vortrag: „Vegetationseigenschaften“ Frau Dipl.-Ing. Dr. Ursula Stephan
28.09.2017

[17] DVWK Schriften
Heft 92 – Hydraulische Methoden zur Erfassung von Rauheiten
1990

[18] Prof. Dr. Gerhard Bollrich, Prof. Dr.-Ing. Günter Preißler
Technische Hydromechanik, Band 1, 3. Auflage, Verlag für Bauwesen GmbH
1992

[19] Merkblatt DWA-M 119
Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen
November 2016

[20] Amt für Bauordnung und Denkmalschutz Landkreis Saalekreis
Denkmalliste
04.02.2020

[21] Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
„Anleitung für den operativen Hochwasserschutz – Teil 1: Verteidigung von Flussdeichen – Grundlagen“
2011

# 1 Veranlassung

Im Einzugsgebiet von Barnstädt und Nemsdorf-Göhrendorf gab es in den letzten Jahren erhebliche Starkregenereignisse. Die sich daraus entwickelnde Sturzfluten haben immer öfter zu Überflutungen mit hohen Schäden geführt. Im Mai 2017 waren die Ortslagen Barnstädt und Nemsdorf-Göhrendorf betroffen.
Infolge des Klimawandels ist nach derzeitigen Erkenntnissen davon auszugehen, dass es künftig noch häufiger zu extremen Witterungssituationen kommen wird. Um künftigen Schäden vorbeugen zu können, besteht die Notwendigkeit, Maßnahmen zur Gefahrenvorsorge zu ergreifen.
Aufbauend auf die im Teil 1 durchgeführte Risikoanalyse und die für den Außenbereich zur Verbesserung des Wasser- und Sedimentrückhalts erarbeiteten Maßnahmenvorschläge [7] ist basierend auf den Empfehlungen der „LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement“ vom Januar 2018 für die Ortslagen Barnstädt und Nemsdorf-Göhrendorf ein Starkregenrisikomanagementkonzept zu erstellen. Im Ergebnis sind die betroffenen Kommunen in der Lage, bei Starkregen gefährdete Bereiche und daraus resultierende Risiken zu erkennen und unter Beachtung des Wirtschaftlichkeitsgrundsatzes wirksame Vorsorgemaßnahmen ergreifen zu können. Ziel ist es auch, die Erkenntnisse in die künftige Organisation der Verwaltung einfließen zu lassen.

Die Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt GmbH wurde am 05.11.2019 mit der Durchführung der Leistung beauftragt. Entsprechend der Aufgabenstellung wurden für die Untersuchung folgende Arbeitsschritte und Zielstellungen festgelegt:

- Übernahme und Aufbereitung sowie Plausibilisierung der zur Verfügung gestellten Daten,
- Erstellung und Parametrisierung eines 2D-HN Starkregensimulationsmodells,
- Vergleich der Verwendbarkeit zweier hydrologischer Ansätze zur Parametrisierung eines Starkregensimulationsmodells (Verfahren nach Lutz & SCS-Verfahren),
- Modellplausibilisierung anhand eines realen Starkregenereignisses (N19.05.2017),
- Ermittlung und Analyse von Überflutungsgefahren innerhalb der Ortslagen mit Hilfe eines 2D-HN-Starkregensimulationsmodell für 2 Lastfälle (N50, N100) sowie 2 Modellvarianten (Topographie vor/nach 2017),
- Generierung von Starkregengefahrenkarten zur Ableitung und Bewertung lokaler Überflutungsrisiken,
- Erstellung eines kommunalen Handlungs- und Maßnahmenkonzeptes zur Risikominimierung und Gefahrenabwehr.

# 2 Grundlagen

## 2.1 Untersuchungsgebiet

Die zu untersuchenden Ortslagen Barnstädt und Nemsdorf-Göhrendorf befinden sich am Weidenbach im Saalekreis im südlichen Sachsen-Anhalt. Zur Ableitung eines Handlungs- und Maßnahmenkonzeptes sind alle maßgebenden Außengebietszuflüsse für die Ortslagen zu berücksichtigen. Daher bildet das Einzugsgebiet des Weidenbachs die Grundlage zur Festlegung des Bearbeitungsgebietes. Zur Bewertung der hydraulischen Wirksamkeit vorgeschlagener Maßnahmen auf Unterlieger wurde das Einzugsgebiet des Weidenbachs obh. von Obhausen gewählt (vgl. Abbildung 1). Daraus ergibt sich ein Untersuchungsgebiet mit einer Fläche von 4.237 ha, welches ebenfalls der Modellgrenze entspricht.

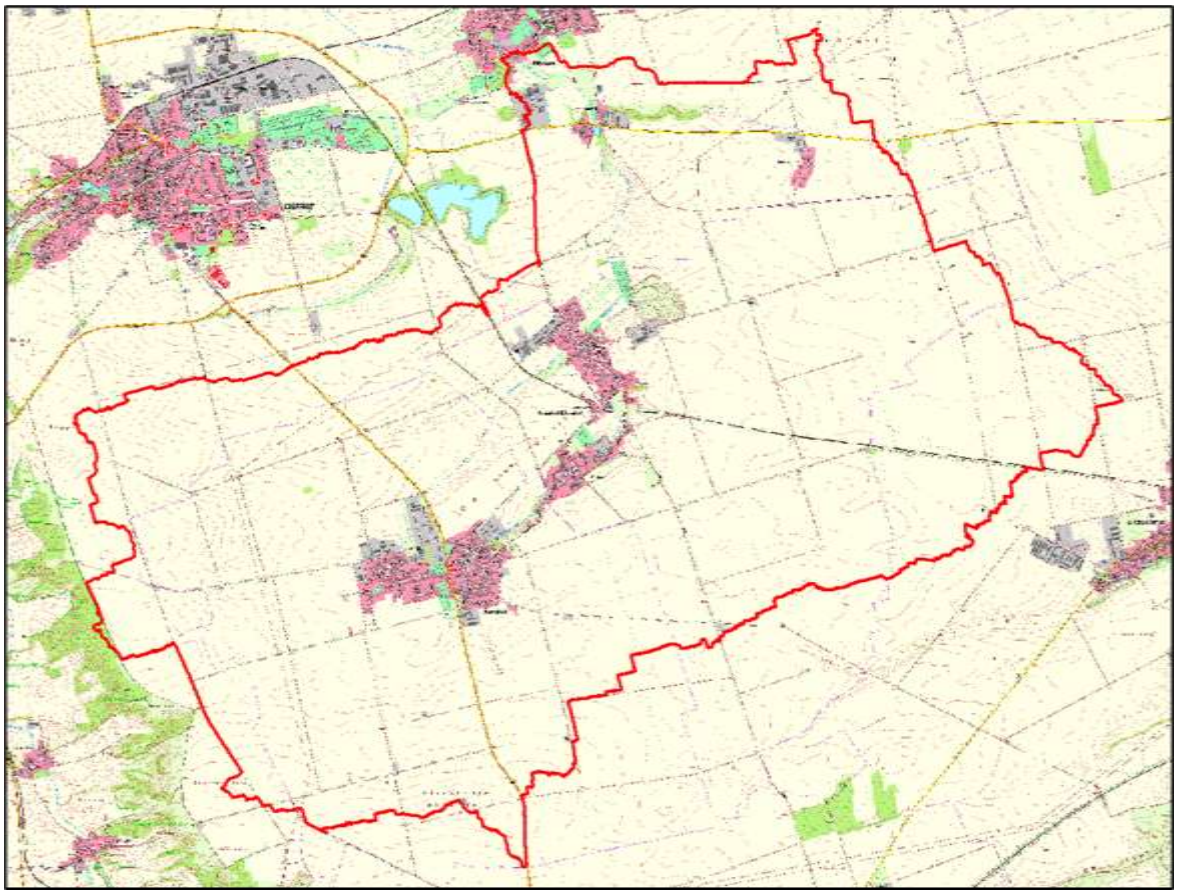

Abbildung 1: Untersuchungs- und Modellgebiet für das Starkregenrisikomanagementkonzept (Teil 2)

## 2.2 Datengrundlage

Die für die Erarbeitung des kommunalen Starkregenrisikomanagementkonzeptes verwendeten Daten sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Darüber hinaus wurden weitere Daten zur Verfügung gestellt, die zum derzeitigen Bearbeitungsstand noch nicht berücksichtigt wurden. Diese sind in der Tabelle 1 nicht enthalten.

Tabelle 1: Verwendete Datengrundlage

| Unterlagen/Daten | Art | Herkunft | Aufzeichnungszeitraum | räumliche Verfügbarkeit | Format | Qualität | Beschreibung | Bewertung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2D-Modell Weida** | Bestandsmodelle Hydro-AS (Version 2) | Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt GmbH | 01/2012 | Quelle bis zur Mündung | .2dm | gut | Szenario $HQ_{10}$, $HQ_{100}$, $HQ_{200}$ | räumliche Ausdehnung nicht ausreichend |
| **Bericht Vorstudie (Teil 1)** | „Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen als fachliche Grundlage für die Starkregen-Gefahrenvorsorge für Barnstädt und Nemsdorf-Göhrendorf mit dem Ziel der Verbesserung des Wasser- und Sedimentrückhalts in Kleineinzugsgebieten“(Teil 1: Außenbereiche)“ | Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz (MISB) | 11/2018 | - | *.pdf, *.shp | sehr gut | Bericht einschl. Anlagen, Hotspots, Maßnahmen | keine |
| **Digitales Geländemodell** | DGM 1 | LLG | 11/2019 | flächendeckend, Raster 1m x 1m | *.grid, *.tif, *.txt | gut | amtliches DGM1 | keine |
| **Kostra** | Kostra-Kacheln vom DWD | LLG | 11/2019 | flächendeckend | *.shp | sehr gut | Kacheln zum Download statistischer Niederschlagsdaten | keine |
| **Topografische Karten** | DTK 10/25 | GeoSN | 07/2018 | flächendeckend | *.tif, *.tfw | gut | Kacheln in color /sw | keine |

| Unterlagen/Daten | Art | Herkunft | Aufzeichnungszeitraum | räumliche Verfügbarkeit | Format | Qualität | Beschreibung | Bewertung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Verwaltungsgrenzen** | Gemarkungen; Gemeinden und Landkreis | LLG | 11/2019 | flächendeckend | *.shp | sehr gut | keine | keine |
| **Digitale Orthophotos** | DOP | LLG | 11/2019 | flächendeckend | *.tif | sehr gut | keine | keine |
| **Hochwasseraufnahmen** | Video zum abgelaufenen Starkregenereignis 2017 | LLG | 05/2017 | - | *.MOV, *.MP4 | sehr gut | "MDR „exakt“ und Drohnenbefliegung | keine |
| | Hochwasserbilder | LLG | 05/2017 | Barnstädt, Nemsdorf-Göhrendorf | *.pdf | sehr gut | Bilder | keine |
| | Hochwasserbilder | Privatperson (unbekannt) | 05/2017 | Nemsdorf-Göhrendorf | *.jpg, *.avi | sehr gut | Bilder und Videos | keine |
| | Hochwasserbilder | LHW | 05/2017 | Nemsdorf-Göhrendorf | *.jpg | Sehr gut | Bilder | keine |
| **ALKIS** | Gebäude; Nutzung | LLG | 11/2019 | flächendeckend | *.shp | sehr gut | Landnutzungsdaten und Gebäudeumringe | keine |
| **Ackernutzung** | Landwirtschaftliche Nutzung | LLG | 06/2020 | flächendeckend | *.shp | Sehr gut | Detaillierte flächenbezogene landwirtschaftliche Nutzung im Mai 2017 | keine |
| **ATKIS-DLM** | Gewässer, Siedlung, Vegetation, Verkehr, etc. | LLG | 11/2019 | flächendeckend | *.shp | sehr gut | Landnutzungsdaten | Keine |
| **Fließwege (Teil 1)** | Fließwege aus Vorstudie | LLG | 11/2019 | außerhalb von Ortslagen | *.tif | sehr gut | Ermittelte Fließwege aus Vorstudie auf Grundlage | keine |

| Unterlagen/Daten | Art | Herkunft | Aufzeichnungszeitraum | räumliche Verfügbarkeit | Format | Qualität | Beschreibung | Bewertung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | eines 1 x 1 m Raster | |
| **Bodendaten** | Bodentypen, Archivfunktion, Ertragsfähigkeit, Wasserhaushaltsfunktion | Umweltamt LK Saalekreis | 12/2019 | flächendeckend | *.shp | sehr gut | Bodendaten als Parameter zur Ableitung des CN-Wertes | Wurde in Rücksprache mit dem AG nicht verwendet. |
| | CN-Karte, Grablochbeschriebe | Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz | 02/2020 | flächendeckend | *.shp | sehr gut | CN-Werte als Eingangsgröße für das NA-Modell | Wurde für die Bearbeitung verwendet (Analog zur Studie Teil 1) |
| **Flurstücke** | Flurstücke | LLG | 02/2020 | flächendeckend | *.shp | sehr gut | Flurstücksgrenzen | keine |
| **Denkmale** | Denkmallisten | Amt für Bauordnung u. Denkmalschutz Landkreis Saalkreis | 12/2019 | flächendeckend | *.png, *.txt | gut | Adressen und Screenshots der Objekte | keine |

# 3 Hydraulische Gefährdungsanalyse

Für die hydraulische Gefährdungsanalyse wurde das Bestandsmodell des Weidenbachs [5] transformiert und konvertiert. Anschließend erfolgte eine Prüfung des für die Ermittlung von Hochwassergefahrenkarten erstellten 2D-Modells hinsichtlich

- Aktualität von Gebäuden (Vergleich mit ALKIS),
- Aktualität von Rauheitszonen (Vergleich mit DLM),
- Räumliche Ausdehnung (Vergleich mit Untersuchungsgebiet),
- Hydraulisch relevanter Strukturen in den Ortslagen (Vergleich mit Erkenntnissen aus Ortsbegehungen) und
- Netzstruktur zur Starkregensimulation (Netzqualität).

Nach Bewertung der festgestellten Defizite wurde das 2D-Modell für eine Starkregensimulation erweitert und angepasst (vgl. Kap.3.2).

Im Anschluss erfolgte die Parametrisierung des Modells. Zur Bestimmung des Bemessungsregens wurde sowohl das Verfahren nach Lutz als auch das SCS Verfahren verglichen. Anhand der hydraulischen Berechnungsergebnisse für das reale Starkregenereignis vom Mai 2017 wurden diese Verfahren verglichen und der Bemessungsregen abgeleitet (vgl. Kap. 3.5).

## 3.1 Modellkonvertierung und -Transformation

Zur Optimierung der Handhabbarkeit und Nachhaltigkeit der Modellfortführung wurde ein Upgrade des Hydro-AS-2D-Modellnetzes auf die Version Hydro-AS-2D 5.2. vorgenommen.

Das Upgrade dient der Optimierung der Handhabbarkeit und Nachhaltigkeit der Modellfortführung sowie der Nutzbarkeit mit der Planungssoftware SMS in Version 11.x und 12.x.

Darüber hinaus wurde das Bestandsmodell von LS110 (GK4) in den Lagestatus ETRS489 (UTM) transformiert.

## 3.2 Modellanpassung

Im Zuge einer Prüfung des Bestandsmodells wurden veränderte Gebäude- und Landnutzungsstrukturen festgestellt, welche angepasst und ergänzt wurden. Weiterhin wurden vor Ort hydraulisch relevante Strukturen, wie z.B. Mauern oder neue Grabenstrukturen, festgestellt, die für die Starkregensimulation berücksichtigt werden mussten.

Aufgrund der festgestellten Defizite und der zu geringen räumlichen Ausdehnung wurde ausschließlich die Gerinnegeometrie des Weidenbachs übernommen und das Vorlandnetz neu erstellt. Bei der Vorlandnetzerstellung wurden die Gebäude, hydraulisch relevanten Strukturen (Mauern, Gräben etc.) und aktuellen Landnutzungsdaten in Form von Bruchkanten berücksichtigt.

Grundsätzlich erfolgte die Vorlandnetzgenerierung in zwei Stufen. Im ersten Schritt wurde das Rechennetz innerhalb der zu untersuchenden Ortslagen Barnstädt und Nemsdorf-Göhrendorf manuell mit SMS 11 generiert. Hierbei wurde das Ziel verfolgt eine höhere Netzqualität zu erreichen. Die Außengebiete, welche überwiegend durch Ackerland geprägt sind, wurden im zweiten Schritt mit Hilfe der halb-automatisieren Software Laser_as-2D Version 2.0.2 erstellt. Anschließend wurden die drei Teilnetze (Flussschlauch, Vorland-Innerorts und Vorland-Außengebiete) zusammengeführt.

**Gebäudemodellierung**

Während bei der Hochwassersimulation die Gebäude als ausgeschnittene Fließhindernisse modelliert werden, ist für die Starkregensimulation eine geometrische Berücksichtigung erforderlich (vgl. Abbildung 2). Grund hierfür ist vor allem die Berücksichtigung des Regenvolumens auf den Dachflächen.

Hierfür wurden die Gebäudeumringe um 40 cm nach innen gepuffert und die darin liegenden Netzknoten um 3 m angehoben. Die Geometrie der Dachflächen (Bspw. Satteldach oder Flachdach) spielt bei einer Starkregensimulation eine untergeordnete Rolle und wurde daher nicht berücksichtigt.

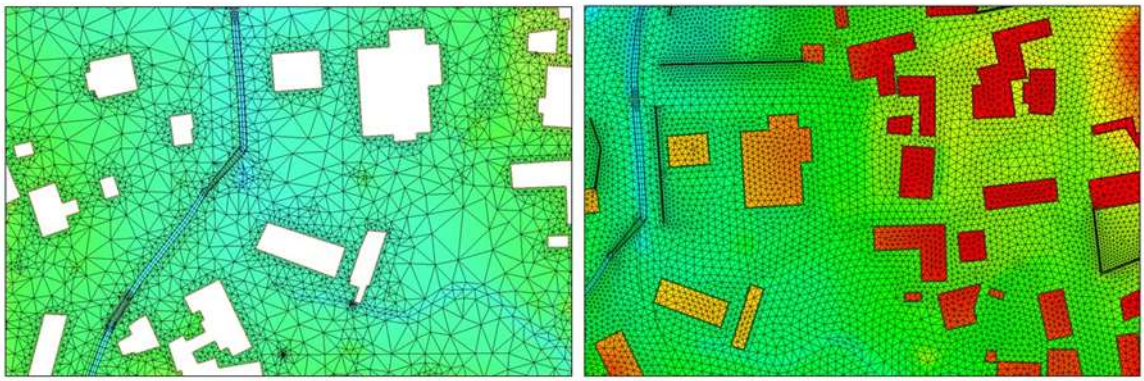

Abbildung 2: Vergleich der Gebäudemodellierung für Hochwassersimulation (links) und für Starkregensimulation (rechts)

**Hydraulisch relevante Strukturen**

Vor Ort wurden innerorts hydraulisch relevante Strukturen festgestellt. Diese wurde mittels Pegellatte bzw. Gliedermaßstab eingemessen und mit einer vereinfachten Geometrie im Modell abgebildet. Als hydraulisch relevante Strukturen wurden bspw. Mauern mit einer Mindesthöhe von 20 cm festgelegt.

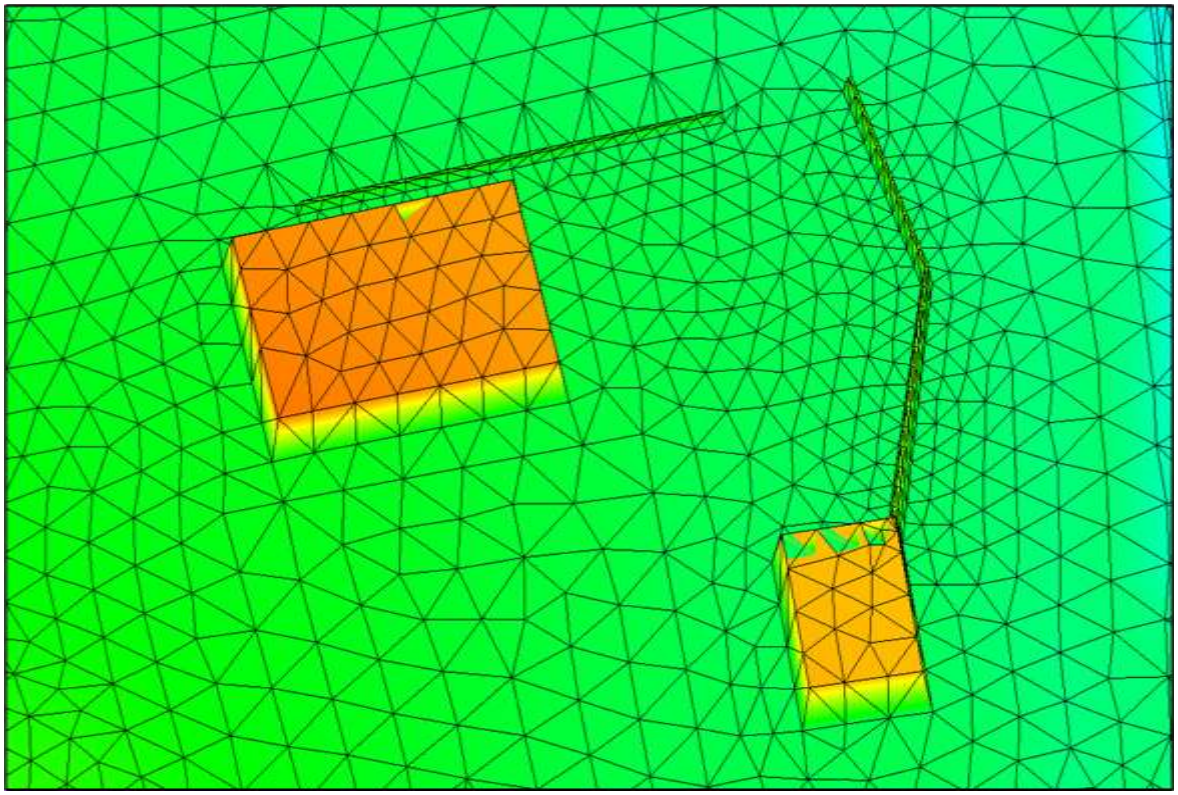

Abbildung 3: Beispiel von berücksichtigten Grundstücksmauern mit einer Mindesthöhe von 20 cm in Barnstädt

**Netzqualität**

Zur Gewährleistung konvergenter und konsistenter Berechnungsergebnisse wurde das Modellnetz unter Berücksichtigung der folgenden allgemein anerkannten Gütekriterien erstellt:

| | |
|---|---|
| Minimum interior angle (Minimalwinkel des Netzes): | 5° |
| Maximum interior angle (Maximalwinkel des Netzes): | 160° |
| Element area Change (max. Größenverhältnis benachbarter Elemente): | 0,1 |
| Connecting elements (max. Netzknotenanschlusselemente): | 10 |

Im Zuge der Modellplausibilisierung wurde eine Untersuchung des Modellnetzes hinsichtlich Numerischer Belastbarkeit durchgeführt (vgl. Kap. 3.5)

**Rauheitszonen**

Für die numerische Berechnung ist eine Berücksichtigung der Oberflächenrauheiten im 2D-Modell erforderlich. Hierfür wurden die zur Verfügung gestellten Landnutzungsdaten verwendet [9]. Darüber hinaus erfolgte eine differenzierte Betrachtung der landwirtschaftlichen Flächen gemäß der zum Starkregenereignis stattgefundenen Bewirtschaftung [14]. Die für das Modell resultierenden Rauheitszonen sind in Abbildung 4 dargestellt.

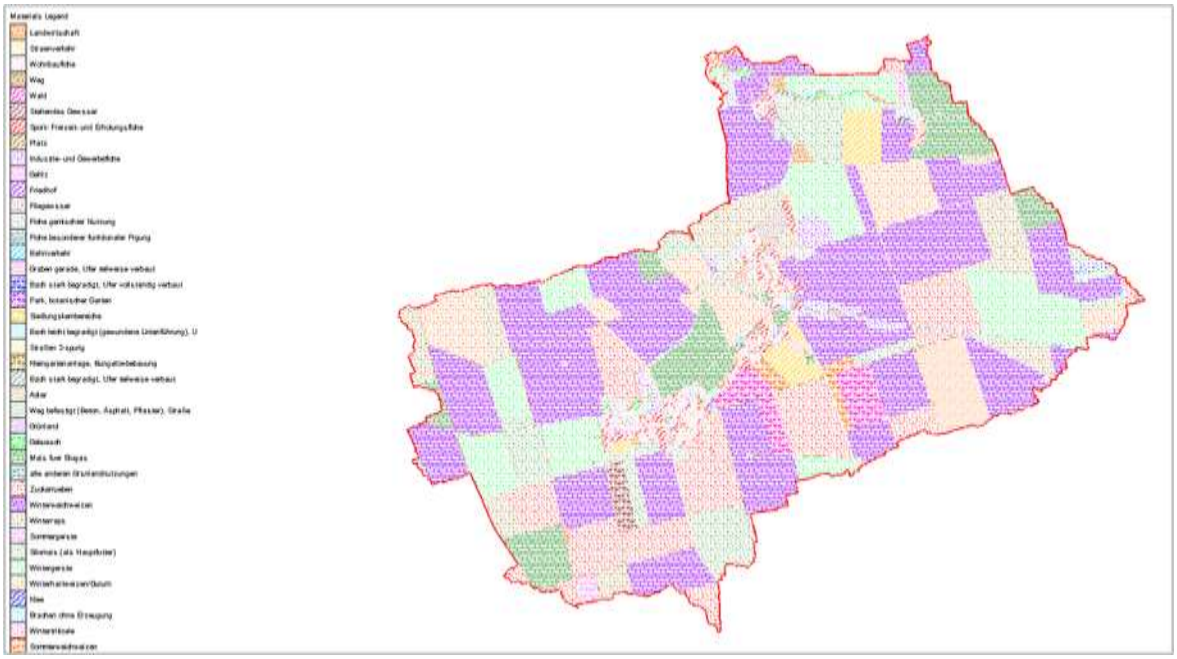

Abbildung 4: Rauheitszonen im 2D-Modell

**Modellszenarien**
Für die Modellplausibilisierung und Ermittlung von Starkregengefahren sind zwei Modellzustände erforderlich.

Zur Plausibilisierung, Kalibrierung sowie für die Sensitivitätsanalyse des verwendeten 2D-Modells wurde die Topographie gemäß dem Stand vor 2017 erstellt. Das heißt, Mauern, Gräben und umgesetzte Maßnahmen aus der Vorstudie [7], die nach 2017 errichtet wurden, sind hierbei nicht enthalten. Ziel hierbei war, die detailgetreue Abbildung der Fließwege vom Starkregenereignis im Mai 2017.

Der zweite Modellzustand beinhaltet sämtliche aktuellen Topographien (bspw. Mauern) und umgesetzte Maßnahmen, die im Zuge der Vorstudie (Teil 1, [7]) vorgeschlagen wurden.

- MZ 1 → Topografischer Zustand **vor** Mai 2017
- MZ 2 → Topografischer Zustand **nach** Mai 2017

## 3.3 Modellparametrisierung

Nach Erstellung der Netzgeometrie ist das Modell für die Starkregensimulation zu parametrisieren. Hierzu zählen Durchlässe, Niederschlagsdaten und Rauheitsbeiwerte. Diese werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben.

### 3.3.1 Festlegung Rauheitsparameter

Zur Berücksichtigung von nicht geometrisch modellierten Strömungswiderständen (z.B. Pflanzen) durch Reibung und Formwiderstand ist im Modell ein $k_{st}$-Wert zu definieren. Dieser beeinflusst maßgeblich die Strömungsgeschwindigkeit.

Grundlage der 2D-HN-Bemessungsrechnung ist der Rechenkern Hydro-AS-2D Version 5.2. Hierbei kommt die tiefengemittelte Flachwassergleichung zum Einsatz. Während reale Strömungen geprägt sind durch ein dreidimensionales Geschwindigkeitsfeld, wird bei der zweidimensionalen Betrachtung die Fließgeschwindigkeit über die anstehende Wassertiefe gemittelt. Beispielhaft ist in Abbildung 5 der Einfluss einer Pflanze auf das lokale Geschwindigkeitsprofil dargestellt. Mit einem $k_{st}$-Wert kann lediglich nur eine gemittelte Fließgeschwindigkeit abgebildet werden, wodurch es beispielsweise im Bereich niedriger Wassertiefen zur Überschätzung der berechneten Geschwindigkeit kommen kann. Um potentielle Fehler durch die Tiefenmittelung zu verringern, wurde für die Definition des Rauheitsparameters eine vom Wasserstand abhängige $k_{st}$-Funktion definiert, mit dem Ziel, das reale Fließgeschwindigkeitsprofil näherungsweise abzubilden. Aus Abbildung 6 wird ersichtlich: je mehr Stützpunkte man definiert, desto besser kann das Geschwindigkeitsprofil abgebildet werden.

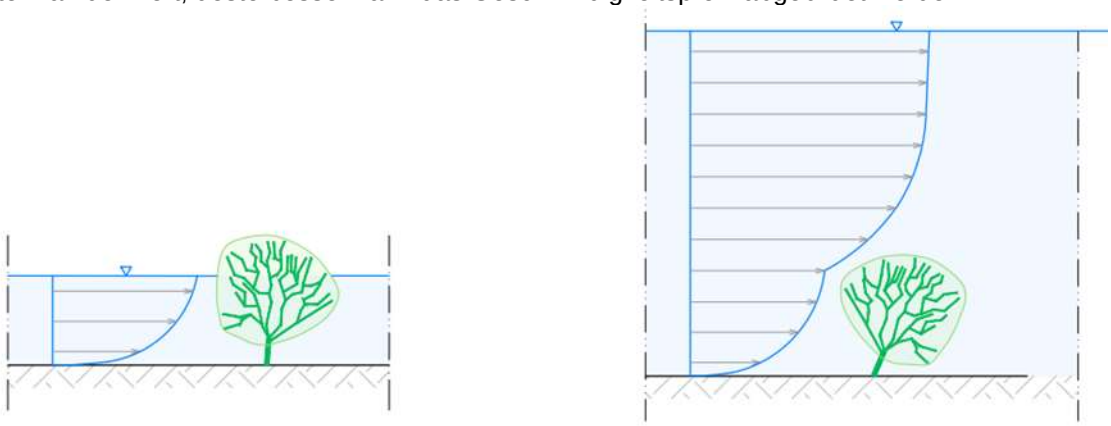

Abbildung 5: Einfluss von Bewuchs auf das Geschwindigkeitsprofil für niedrige und hohe Wasserstände (Quelle: BCE)

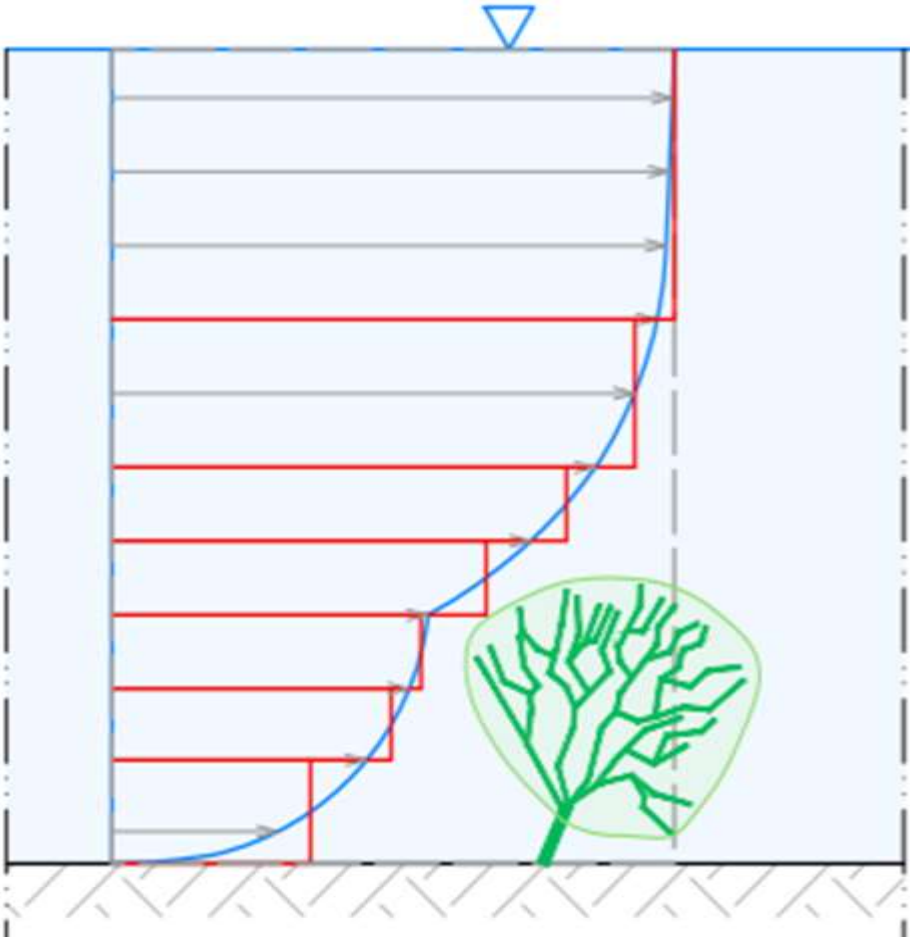

Abbildung 6: Erhöhung des Detaillierungsgrad durch mehr Stützstellen in der $k_{st}$-Funktion am Beispiel von 8 Stützstellen (rot) und einer Stützstelle (grau) (Quelle: BCE)

Bei der Definition der $k_{st}$-h-Funktion wurden die folgenden physikalischen und materialspezifischen Eigenschaften berücksichtigt:

**Oberflächenrauheit**

Die Oberflächenrauheit hat vor allem im Bereich von niedrigen Wasserständen und Gradienten einen hohen Einfluss auf die Fließgeschwindigkeit (vgl. Abbildung 7). Beispielsweise ist bei Verkehrsflächen die Oberflächenbeschaffenheit eine dominante Einflussgröße auf den Strömungswiderstand. Bei größeren Wasserständen spielt der Einfluss eine untergeordnete Rolle. Die für die Hochwassersimulation verwendeten kst-Werte (Literatur und Erfahrungswerte) gelten meist für Wasserstände größer als 20 cm.

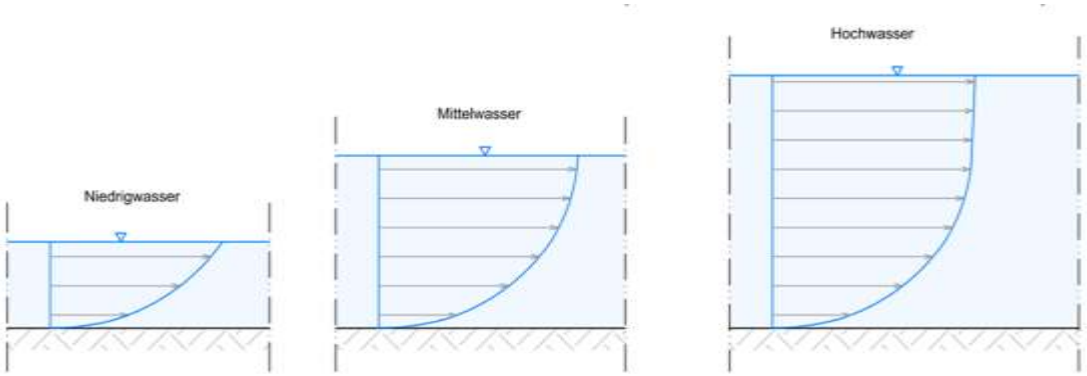


Abbildung 7: Abnehmender Einfluss der Oberflächenrauheit auf die Fließgeschwindigkeit (Quelle: BCE)

**Trennflächenrauheit**
Die Trennflächenrauheit bildet zum Beispiel die Turbulenzwirkung in hydraulisch angrenzenden Bereichen ab. Beispielsweise finden in einem gegliederten Gerinne Turbulenzwirkungen in der Trennfläche zwischen Böschung und Sohle statt. Zwischen diesen bestehen erhöhte Geschwindigkeitsgradienten, sodass Wirbel im Übergangsbereich entstehen. Die für die Hochwassersimulation verwendeten $k_{st}$-Werte (Literatur und Erfahrungswerte) berücksichtigen diesen Effekt bereits.

**Formwiderstand**
Der Formwiderstand eines geometrisch nicht modellierten Objektes (z.B. Bäume) kann mittels $k_{st}$-Wert berücksichtigt werden. Die Wirksamkeit ist abhängig vom zu modellierenden Objekt und dem anstehenden Wasserstand. Ist der Wasserstand kleiner bzw. gleich der Objektgröße, so ist der Einfluss sehr hoch und der $k_{st}$-Wert niedrig anzusetzen. Wird das Objekt überströmt, so verringert sich die lokale Verlusthöhe und der repräsentative $k_{st}$-Wert steigt stetig mit zunehmendem Wasserstand.

**Wasserstand**
Die angreifenden hydrostatischen Kräfte auf ein Objekt sind abhängig vom Wasserstand und beeinflussen maßgeblich den Formwiderstand von Pflanzen. Beispielsweise haben flexible Pflanzen (Krautwuchs, Ackergras etc.), die bei hohem Wasserstand ihre effektive Kraftangriffsfläche verringern, eine eher geringere Rauheitswirkung als Bäume. Diese sind zumeist unabhängig von der angreifenden hydrostatischen Kraft und haben daher eine näherungsweise konstante Widerstandswirkung.

**Biegesteifigkeit**
Die Biegesteifigkeit ist ein Parameter, der die Flexibilität eines Objektes wiedergibt. Dieser wurde vor allem zur Kategorisierung in Rauheitsgruppen von Nutzpflanzen verwendet. Bei flexiblen Pflanzen ergibt sich ein anderer Verlauf der $k_{st}$-h-Funktion als bei knickenden oder starren Pflanzen. Während Pflanzen mit Knickverhalten einen spontanen Anstieg (nach Erreichen des Knickpunktes) des $k_{st}$-Wertes aufweisen, zeigt sich bei flexiblen Pflanzenarten ein homogener Verlauf der $k_{st}$-h-Funktion (vgl. Kap. 3.3.1.1).

**Körperschwerpunkt**
Der Körperschwerpunkt dient ebenfalls zur Kategorisierung von Pflanzenarten in Rauheitsgruppen. Dieser beeinflusst, analog zur Biegesteifigkeit, ob und wann eine Nutzpflanze knicken kann.

Beispielsweise besitzt die Sonnenblume aufgrund ihrer Blüte einen relativ hohen Schwerpunkt, sodass diese früher zum Knicken neigt als Ackergras. Die Körperschwerpunkte wurden abgeschätzt und bei der Kategorisierung der Nutzpflanzen berücksichtigt (vgl. Kap. 3.3.1.1).

**Blattwerk**
Das Blattwerk einer Pflanze beeinflusst den Formwiderstand im Bereich mittlerer und großer Wasserstände. Berücksichtigt wurden näherungsweise Größe und Anzahl der Blätter einer Pflanze. Je mehr Blätter und je größer diese sind, desto größer ist der Formwiderstand der betrachteten Pflanze. Dieses Verhalten spielt bei niedrigen Wasserständen (< 5 ~ 10 cm) eine untergeordnete Rolle als bei ausgewachsenen Pflanzen. Bei Jungpflanzen jedoch wurde das Blattwerk auch bei niedrigen Wasserständen berücksichtigt.

**Objektgröße**
Die Größe eines geometrisch nicht modellierten Objektes beeinflusst ebenfalls das Strömungsverhalten. Dies betrifft sowohl die Höhe als auch die Breite eines Objektes. Betrachtet man beispielsweise die Strömung um einen Baum mit einem großen Durchmesser, so entstehen vor und hinter dem Objekt Turbulenzen, die zur lokalen Wasserstandserhöhung und Geschwindigkeitsverringerung führen können. Dieser Effekt ist bei kleineren Pflanzen ebenfalls vorhanden, allerdings weniger stark ausgeprägt.

**Objektabstände**
Neben der Objektgröße einer einzelnen Pflanze beeinflusst auch der Abstand zwischen mehreren Pflanzen den Formwiderstand. Je dichter die Vegetation angeordnet ist, umso höher ist der Vegetationswiderstand (vgl. Abbildung 8). Beispielsweise weist eine Allee einen geringeren Formwiderstand auf als ein dichter Wald. Analog verhält es sich mit landwirtschaftlich genutzten Flächen oder im Bereich von bebauten Gebieten. Dieser Parameter wurde abgeschätzt und bei der $k_{st}$-h-Funktion vereinfacht berücksichtigt.

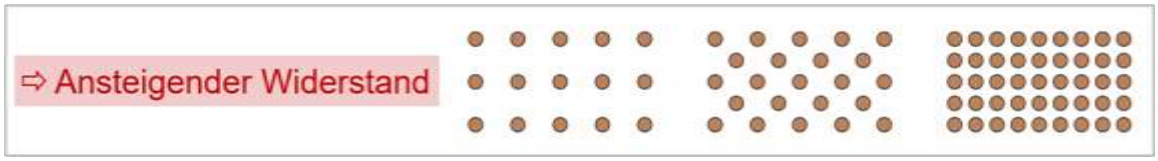


Abbildung 8: Prinzipskizze der Wirkungsweise von Objektabständen auf den $k_{st}$-Wert (Abbildung aus [16], [15])

**Objektanordnung**
Analog zum Abstand zwischen den betrachteten Objekten (Pflanzen, Gebäude o.ä.) wird der Formwiderstand von der Objektanordnung beeinflusst. Je chaotischer beispielsweise die Vegetation angeordnet ist, desto höher ist der Formwiderstand und desto geringer die Fließgeschwindigkeit. Im Bereich landwirtschaftlicher Flächen wurde eine geordnete Bewirtschaftung angenommen, während andere Vegetationszonen als eher chaotisch angeordnete Bereiche festgelegt wurden.

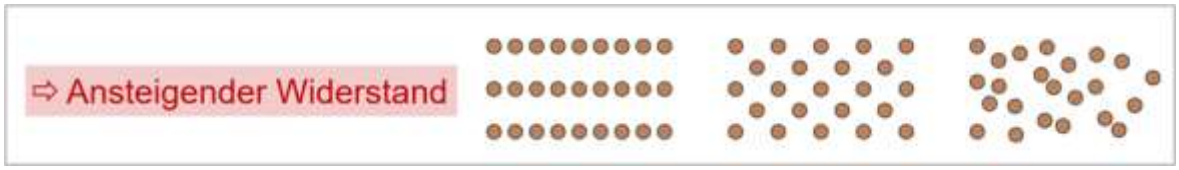


Abbildung 9: Prinzipskizze der Wirkungsweise von der Objektanordnung auf den $k_{st}$-Wert (Abbildung aus [16])

**Bewirtschaftungsrichtung**

Die Bewirtschaftungsrichtung wurde ausschließlich bei landwirtschaftlichen Flächen für Spargel und Kartoffelanbau berücksichtigt, da hier die Richtung der Dämme (geometrisch nicht modelliert) einen maßgeblichen Einfluss auf den anzusetzenden $k_{st}$-Wert hat. Sind die Dämme quer zur Strömungsrichtung angelegt worden (vgl. Abbildung 10 rechts), so ist mit einem höheren Widerstandsverhalten als bei Dämmen die in Strömungsrichtung angelegt sind (vgl. Abbildung 10 links) zu rechnen. Für die Ableitung der Starkregengefahren wurde ein Verlauf in Strömungsrichtung angenommen, d.h. bei niedrigen Wasserständen ist ein kleinerer $k_{st}$ Wert anzusetzen.

Abbildung 10: Abhängigkeit der Rauheitswirkung einer Ackerfläche von der Bewirtschaftungsrichtung (Hintergrund[1]; Bearbeitung BCE)

**Zeit (Saison)**

Die Zeitkomponente wurde ausschließlich zur Kategorisierung von Nutzpflanzen in Rauheitsgruppen für die Modellkalibrierung verwendet. In Rücksprache mit dem AG wurden hierfür die zuvor festgelegten Bewirtschaftungskulturen mit Knickverhalten hinsichtlich ihres Wachstumsstadium im Mai berücksichtigt. Grund hierfür ist, dass beispielsweise bei Mais im Stadium als Jungpflanze kein Knickverhalten zu erwarten ist. Daher wurde für die Modellkalibrierung Mais als Nutzpflanze mit flexiblem Verhalten kategorisiert.

[1] Hintergrund: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fe/Kartoffelacker_mit_Furchen_bei_Kirchwehren.jpg Stand: 29.07.2020

#### 3.3.1.1 Qualitative Rauheitstypen

Unter Berücksichtigung der beschriebenen physikalischen Parameter wurden die im Modell definierten Rauheitszonen zunächst in vier qualitative Rauheitstypen untergliedert. Dabei wurde zwischen flexiblem und starrem Bewuchs gemäß [15] differenziert. Darüber hinaus wurde ein zusätzlicher Rauheitstyp für Pflanzen mit knick-Verhalten eingeführt und Rauheitszonen, welche bebaute Flächen repräsentieren, als eigener Rauheitstyp bewertet. Die Rauheitstypen A, B und C dienten zur qualitativen Differenzierung der Rauheitswirkung von Bewuchs. Den Rauheitstypen D wurden bebaute und sonstige Flächen zugeordnet.

**Typ A starrer Bewuchs**
Dem Rauheitstyp A wurden Pflanzen zugeordnet, die nicht auf eine angreifende Strömung reagieren. Dementsprechend findet, unabhängig vom Wasserstand oder Strömungsgeschwindigkeit, keine Interaktion zwischen Pflanze und Strömung statt (vgl. Abbildung 11).

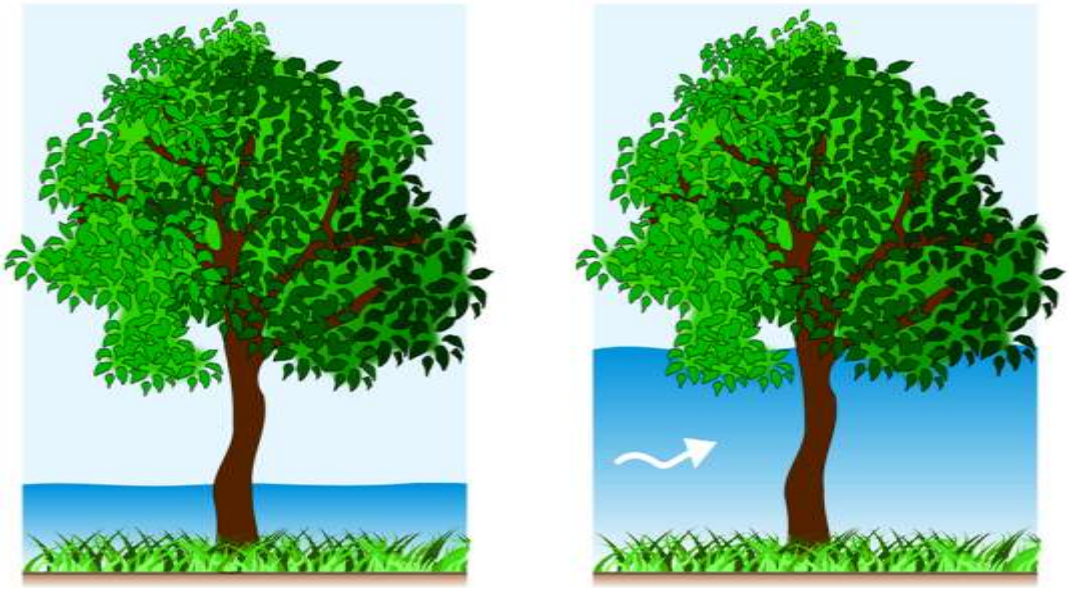

Abbildung 11: Rauheitstyp A - keine Interaktion der Pflanze aufgrund der Strömung [15]

Die Rauheitswirkung starrer Pflanzen ist im Bereich niedriger Wasserstände durch die Oberflächenrauheit des Geländes sowie die Bewuchsbreite beeinflusst. Das heißt, je breiter beispielsweise ein Baumstamm ist, umso größer ist der Formwiderstand. Zur Abbildung dieses Verhaltens sind sehr niedrige $k_{st}$ Werte (sehr rau) im Bereich kleiner Wasserstände (< 10 cm) anzusetzen.

Im Bereich mittlerer Wasserstände (variiert je betrachtetem Bewuchs) spielt die Oberflächenrauheit eine untergeordnete Rolle. Neben der Breite eines Objektes wird der Formwiderstand durch die Anordnung und Abstände mehrerer Objekte zunehmend beeinflusst. Qualitativ steigt der $k_{st}$-Wert mit zunehmendem Wasserspiegel im mittleren Wasserstandsbereich (es wird glatter). Der quantitative Anstieg hingegen hängt von der betrachteten Rauheitszone ab. Beispielsweise erfolgt der Anstieg bei

einer Streuobstfläche schneller als bei einem Wald, da hier unterschiedliche Objektabstände und -anordnungen vorliegen.

Mit zunehmendem Wasserstand bleiben die Einflussfaktoren unverändert, sodass sich das Widerstandsverhalten nur geringfügig ändert. Das heißt der $k_{st}$-Wert bleibt nahezu konstant. Sobald der Wasserstand das Blattwerk der Pflanzen erreicht, erhöht sich der Formwiderstand und der $k_{st}$-Wert verringert sich wieder. Dieser Zustand bleibt bis zur Überströmung bestehen.

Das qualitative Verhalten der $k_{st}$-h-Funktion für starren Bewuchs ist in Abbildung 12 schematisch dargestellt.

Die festgelegten $k_{st}$-h-Funktionen in Kap. 3.3.1.2 von Rauheitszonen mit sehr großem Bewuchs (Bäumen) spiegeln lediglich das Widerstandsverhalten bis zur Erreichung des Blattwerkes wider, da derart große Wasserstände im Modell nicht zu erwarten sind.

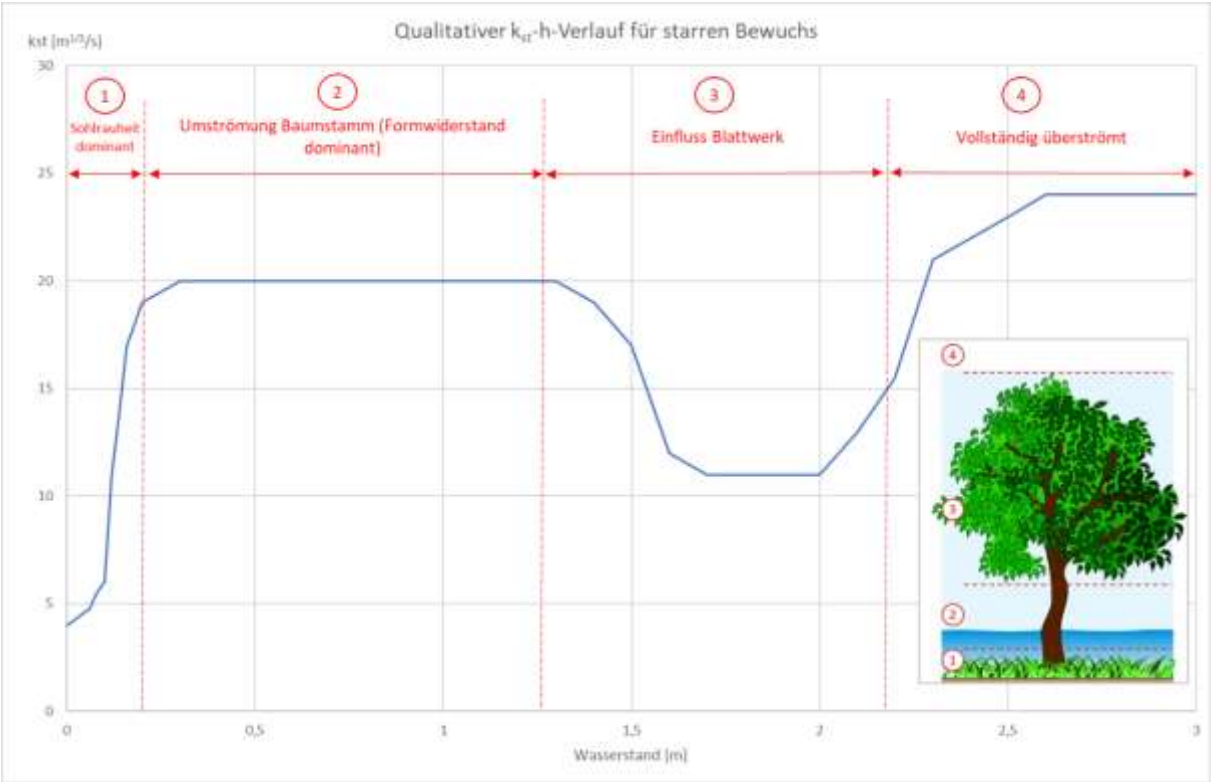


Abbildung 12: Repräsentativer $k_{st}$-Verlauf in Abhängigkeit vom Wasserstand für starren Bewuchs (Typ A) (Quelle: BCE)

**Typ B – flexibler Bewuchs**

Dem Rauheitstyp B wurden Pflanzen zugeordnet, bei denen eine Interaktion zwischen Pflanze und Strömung stattfindet. Das heißt, es findet eine Verformung der Pflanze als Reaktion auf die angreifende Strömung statt. Dies wiederrum beeinflusst das Strömungsverhalten im Unterwasser (vgl. Abbildung 13).

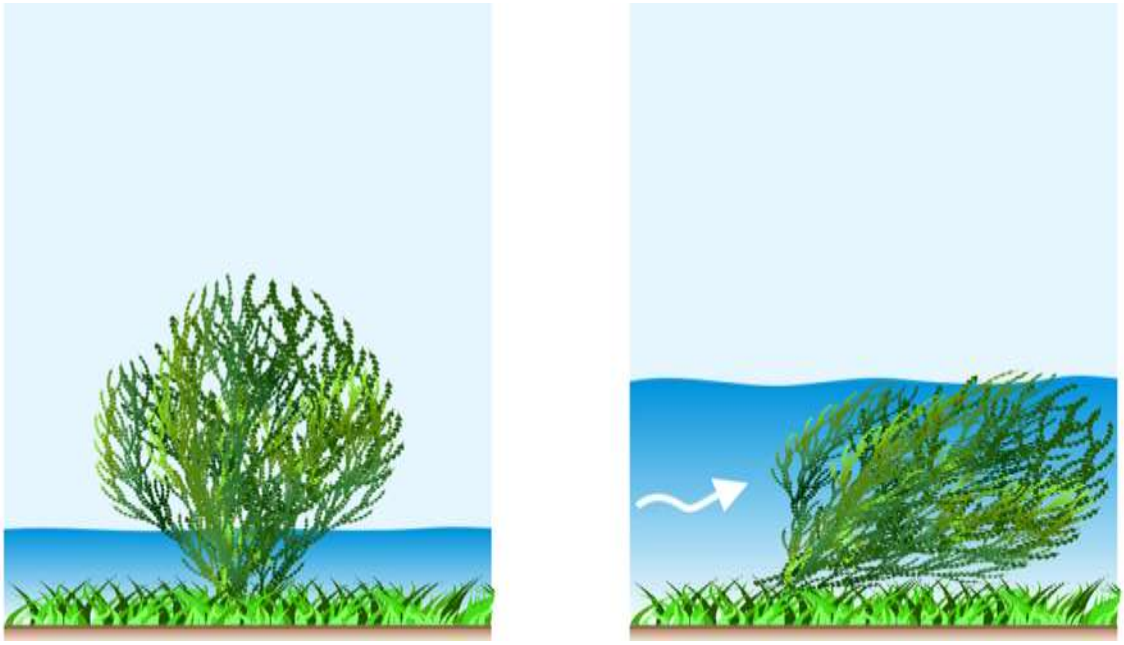

Abbildung 13: Rauheitstyp B - Interaktion der Pflanze aufgrund der Strömung [15]

Die Rauheitswirkung flexibler Pflanzen ist im Bereich niedriger Wasserstände durch die Oberflächenrauheit des Geländes sowie die Bewuchsbreite beeinflusst. Da flexible Pflanzen meist kleiner als starre Pflanzen sind, kann auch bereits bei niedrigen Wasserständen der Formwiderstand durch das Blattwerk beeinflusst werden. Dies hängt jedoch von der betrachteten Pflanze und deren Wachstumsstadium ab. Das heißt im Bereich kleiner Wasserstände (< 10 cm) ist das qualitative Strömungsverhalten analog zum Typ A. Somit sind auch hier sehr niedrige (sehr raue) $k_{st}$-Werte anzusetzen.

Mit zunehmendem Wasserstand steigt der Einfluss des Blattwerkes. Allerdings beginnt die Pflanze bis zur vollständigen Überströmung sich zu biegen. Während die angeströmte Fläche sich bei starren Pflanzen mit zunehmendem Wasserstand stetig vergrößert (langsamer Anstieg des $k_{st}$-Wertes), verringert sich bei flexiblem Bewuchs die angeströmte Fläche, sodass der $k_{st}$ Wert schneller ansteigt (glatter). Abhängig von der betrachteten Rauheitszone spielt zudem bereits bei mittleren Wasserständen die Objektanzahl, deren relativen Abstände zueinander sowie die Anordnung eine Rolle. Beispielsweise ist der Formwiderstand bei wildwachsender Verkrautung höher als auf bewirtschafteten Flächen.

Sobald eine Überströmung der betrachteten Pflanze stattfindet, verändert sich das Geschwindigkeitsprofil nur noch geringfügig. Die in Strömungsrichtung gebogenen Pflanzen verursachen überwiegend

eine Verjüngung des durchströmten Querschnittes, was bei hohen Wasserständen mit einem näherungsweise konstanten $k_{st}$-Wert berücksichtigt werden kann.
Das qualitative Verhalten der $k_{st}$-h-Funktion für flexiblen Bewuchs ist in der Abbildung 14 schematisch dargestellt. Die Quantifizierung der $k_{st}$-h-Funktionen je Rauheitszone erfolgt in Kap. 3.3.1.2.

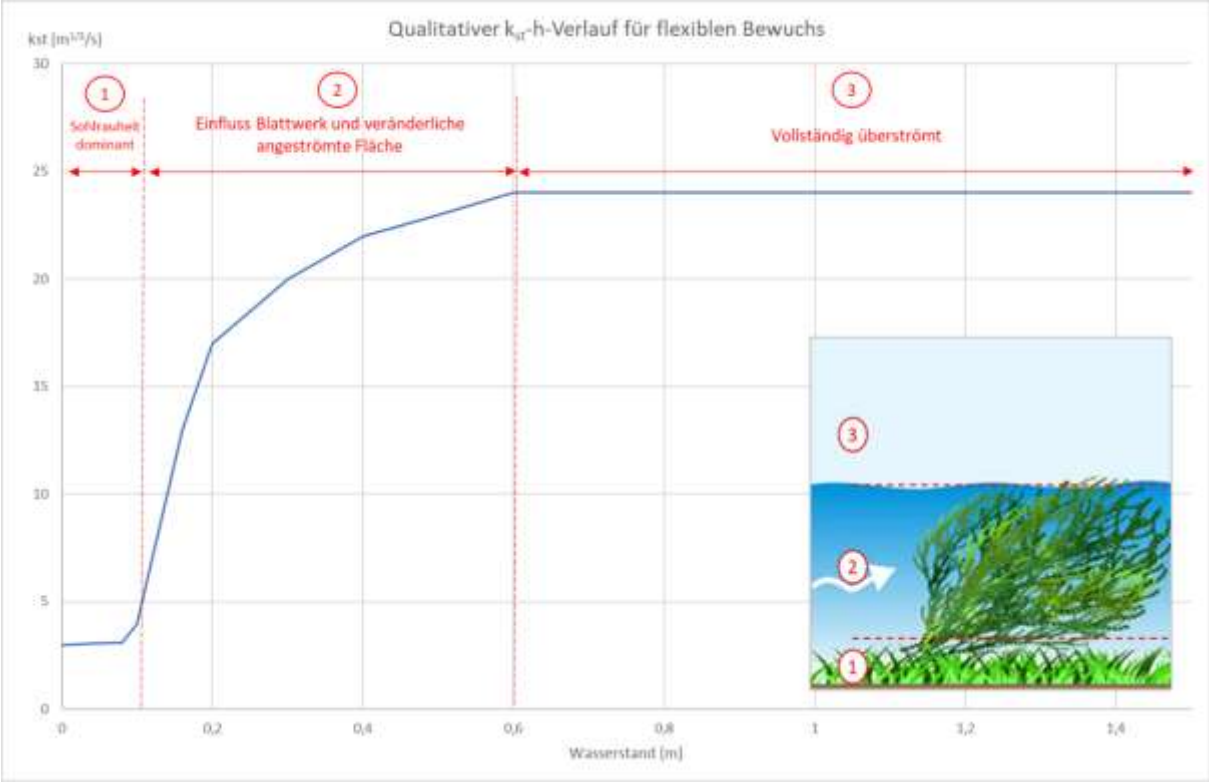


Abbildung 14: Repräsentativer $k_{st}$-Verlauf in Abhängigkeit vom Wasserstand für flexiblen Bewuchs (Typ B) (Quelle: BCE)

**Typ C – Bewuchs mit Knickverhalten**

Der Rauheitstyp C beinhaltet sämtliche Nutzpflanzen, die bei erhöhtem Wasserstand ein Knickverhalten aufweisen (vgl. Abbildung 15).

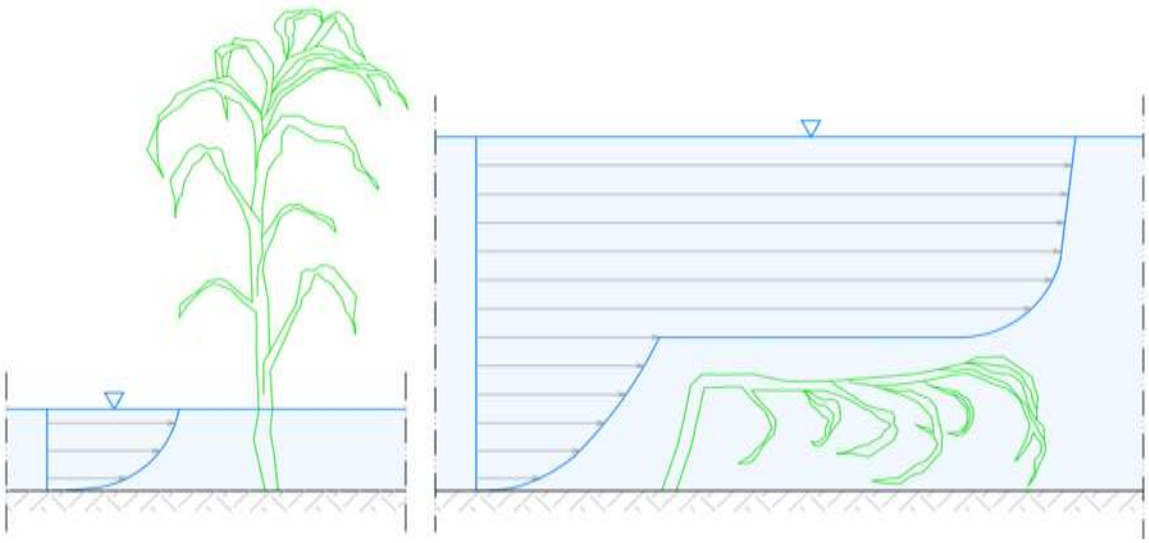

Abbildung 15: Einfluss des Knickverhaltens von Bewuchs auf das Geschwindigkeitsprofil (Quelle: BCE)

Im Bereich niedriger Wasserstände sind die Einflussgrößen und deren Wirkung analog zu den Typen A und B. Dies ist abhängig von der betrachteten Pflanzenart. So verhält sich eine ausgewachsene Maispflanze bei niedrigen Wasserständen eher starr, wohingegen Getreidepflanzen eher flexibel sind. Daher sind auch hierfür eher niedrigere $k_{st}$-Werte in diesem Bereich anzusetzen.

Erhöht sich der Wasserstand so steigen die angreifenden hydrostatischen Kräfte und der Kraftangriffspunkt. Die Biegesteifigkeit der betrachteten Pflanze ist zudem maßgebend, ob ein eher flexibles (schnell ansteigender $k_{st}$-Wert) oder starres Verhalten stattfindet. Weiterhin haben die Art und Weise der Bewirtschaftung (Abstand, Richtung, Anordnung) sowie das Blattwerk einen Einfluss auf die anzusetzende $k_{st}$-h-Funktion.

Sobald der Kraftangriffspunkt mit zunehmendem Wasserstand den Objektschwerpunkt überschreitet und die Flexibilität sehr gering ist (z.B.: Sonnenblumen, Mais), kommt es zum Knicken der Pflanze. Der gesamte Pflanzenkörper fällt auf die Oberfläche, wodurch das vorhandene Blattwerk und die ursprüngliche Pflanzengröße keinen Einfluss mehr auf die Widerstandswirkung haben. Darüber hinaus kann eine umknickende Pflanze, aufgrund ihres Eigengewichtes, eine weitere benachbarte Pflanze zum Knicken bringen. Der dadurch entstehende „Dominoeffekt“ hat zur Folge, dass Objektabstände und Anordnungen ebenfalls keinen Einfluss mehr auf den Strömungswiderstand haben. Aus diesem Verhalten resultierend steigt der $k_{st}$-Wert in der Funktion extrem an (sehr glatt).

Der geringe Formwiderstand bleibt bei großen Wasserständen bestehen, sodass die gemittelte Fließgeschwindigkeit und der $k_{st}$-Wert näherungsweise konstant bleiben.

Das qualitative Verhalten der $k_{st}$-h-Funktion für Bewuchs mit Knickverhalten ist in Abbildung 16 schematisch dargestellt. Die Quantifizierung der $k_{st}$-h-Funktionen je Rauheitszone erfolgt in Kap. 3.3.1.2.

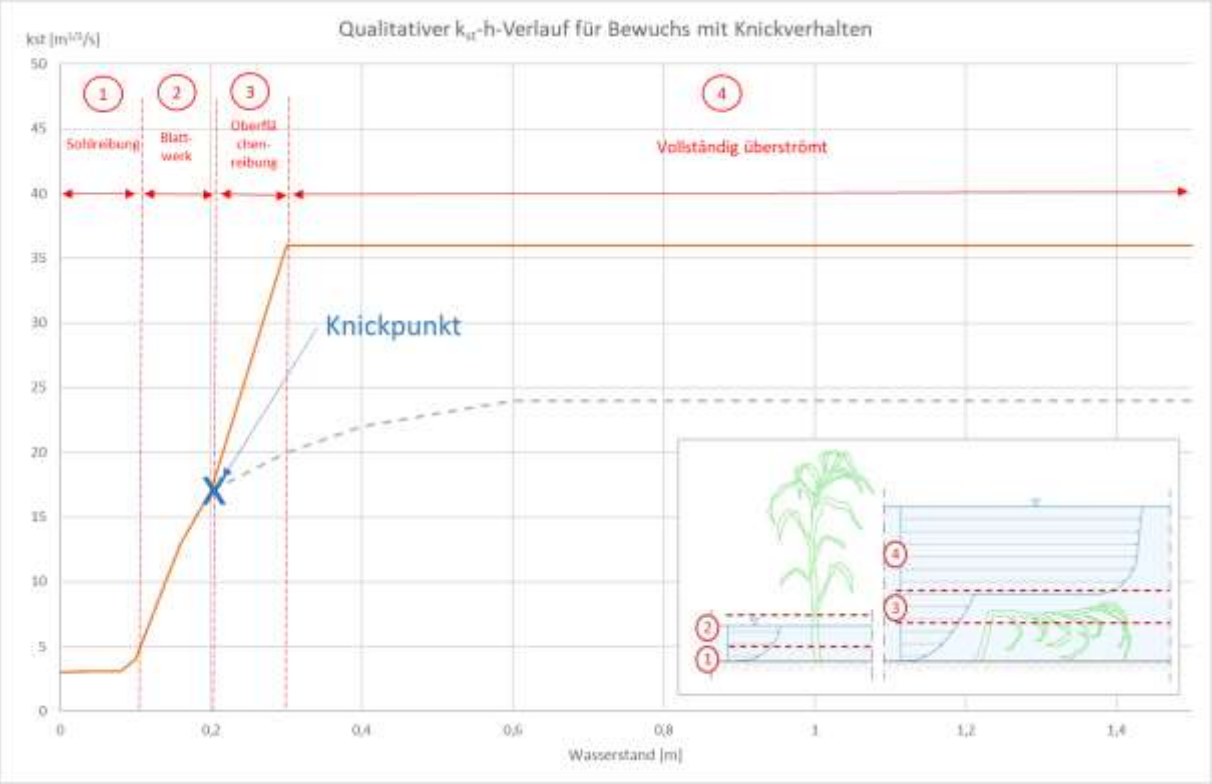


Abbildung 16: Repräsentativer $k_{st}$-Verlauf in Abhängigkeit vom Wasserstand für Bewuchs mit Knickverhalten (Typ C) im Vergleich zu Typ B (grau) (Quelle: BCE)

**Typ D – Flächen mit Bebauung**

Zu diesem Rauheitstyp zählen überwiegend bebaute Flächen und Verkehrsflächen. Der qualitative Verlauf entspricht dem Rauheitstypen A. Das heißt aufgrund der Oberflächenrauheit und des Formwiderstandes der Objekte ist im Bereich niedriger Wasserstände ein sehr kleiner $k_{st}$-Wert anzusetzen. Bei zunehmendem Wasserstand nimmt der Einfluss der Oberflächenrauheit ab, dementsprechend ist ein Anstieg des $k_{st}$-Wertes anzusetzen.

Die Art des Anstieges hängt von der betrachteten Rauheitszone ab. Im dicht besiedelten Bereich beispielsweise hat, aufgrund der größeren Anzahl und Anordnung der Objekte (z.B. Gebäude, Bäume, Geländer etc.), der Formwiderstand eine größere Wirkung als bspw. Streuobstflächen. Aus diesem Grund ist der Anstieg in der $k_{st}$-h-Funktion langsamer als bei Typ A. Bei Verkehrsflächen ist ein schnellerer Anstieg vorzusehen, da hier der Formwiderstand eine untergeordnete Rolle spielt.

### 3.3.1.2 $k_{st}$-Werte im Modell

Unter Berücksichtigung der in Kap. 3.3.1.1 beschriebenen Rauheitstypen wurde für jede Rauheitszone im Modell eine $k_{st}$-h-Funktion definiert. Diese sind der Anlage A-3 zu entnehmen.

Die Festlegung der Rauheitsbeiwerte für Wasserstände > 20 cm erfolgte auf Grundlage von [17] sowie [18] und wurde mit Hilfe einer Ortsbegehung und Erfahrungswerten den örtlichen Gegebenheiten entsprechend modifiziert. Seitens des Softwareherstellers HYDROTEC Technologies AG wird für die Rauheitsmodellierung bei niedrigen Wasserständen (< 10 cm) mit Hydro_AS-2D ein $k_{st}$-Wertebereich von 1 $m^{1/3}/s$ bis 8 $m^{1/3}/s$ empfohlen.

Im Zuge der Sensitivitätsanalyse und Modellkalibrierung wurden die angesetzten Werte angepasst und plausibilisiert.

### 3.3.2 Hydrologische Eingangsparameter

Zur Simulation der Starkregenereignisse N19.05.2017, N50 sowie N100 wurden die effektiven Niederschläge der jeweiligen Ereignisse im Modell angesetzt. Die Zuflussganglinien dienen der Definition von Abflusswerten bei Hochwasser. Vor Ort wurde keine permanente Wasserführung in den vorhandenen Gewässern festgestellt, sodass ausschließlich Niederschlagshöhen und kein Basisabfluss in das 2D-HN-Modell implementiert wurden.

Die Ermittlung des effektiven Niederschlags erfolgte zum einen mit dem Verfahren nach Lutz und zum anderen mit der erweiterten SCS-Methode nach Zaiß. Die Vorgehensweise wird im Folgenden beschrieben.

#### 3.3.2.1 Teileinzugsgebietsermittlung

Zur Bestimmung des effektiven Niederschlags für die Starkregensimulation erfolgte eine Festlegung von Teileinzugsgebieten. Diese wurden in Abhängigkeit der Landnutzung und des erforderlichen Detaillierungsgrades im Bereich der Ortslagen Barnstädt und Nemsdorf-Göhrendorf definiert. Die resultierenden 13 Teileinzugsgebiete sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

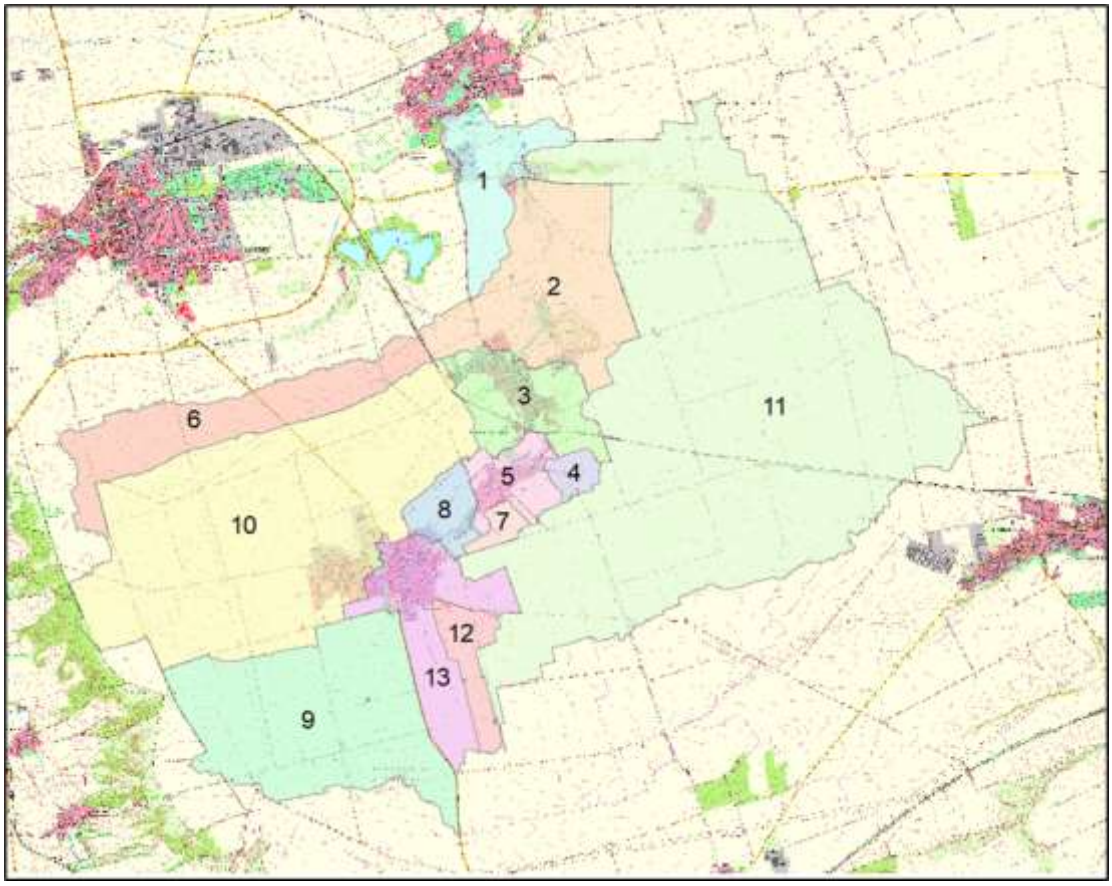


Abbildung 17: Unterteilung von Teileinzugsgebieten im Untersuchungsgebiet

#### 3.3.2.2 Bruttoniederschlag

Die Ermittlung des entsprechenden Niederschlages für das Einzugsgebiet erfolgte anhand der verfügbaren Daten des Deutschen Wetterdienstes. Für das reale Starkregenereignis vom 19.05.2017 wurden RADOLAN-Daten herangezogen. Die Kurzbeschreibung dieses Routineverfahrens zur Ermittlung der Niederschlagshöhen kann der Website des DWDs entnommen werden [1].

*„Die RADOLAN-Daten (Radar-Online-Aneichung) liefern aus der Kombination der punktuell an den Niederschlagsstationen gemessenen stündlichen Werten mit der Niederschlagserfassung der 17 Wetterradare flächendeckende, räumlich und zeitlich hoch aufgelöste quantitative Niederschlagsdaten im Echtzeitbetrieb für Deutschland [...]. Angeeichte Radarniederschlagsdaten stellen eine Synthese aus den beiden Datenquellen Radar- und Bodenmessnetz dar und kombinieren die Vorteile beider Messtechniken.“*

Die RADOLAN-Daten werden im Rasterformat mit einer räumlichen Auflösung von 1.000 x 1.000 m auf dem Server des DWD zur Verfügung gestellt und können kostenlos heruntergeladen werden. Die Auswertung erfolgte für 5-min-Werte in den Jahren 2013 und 2017.

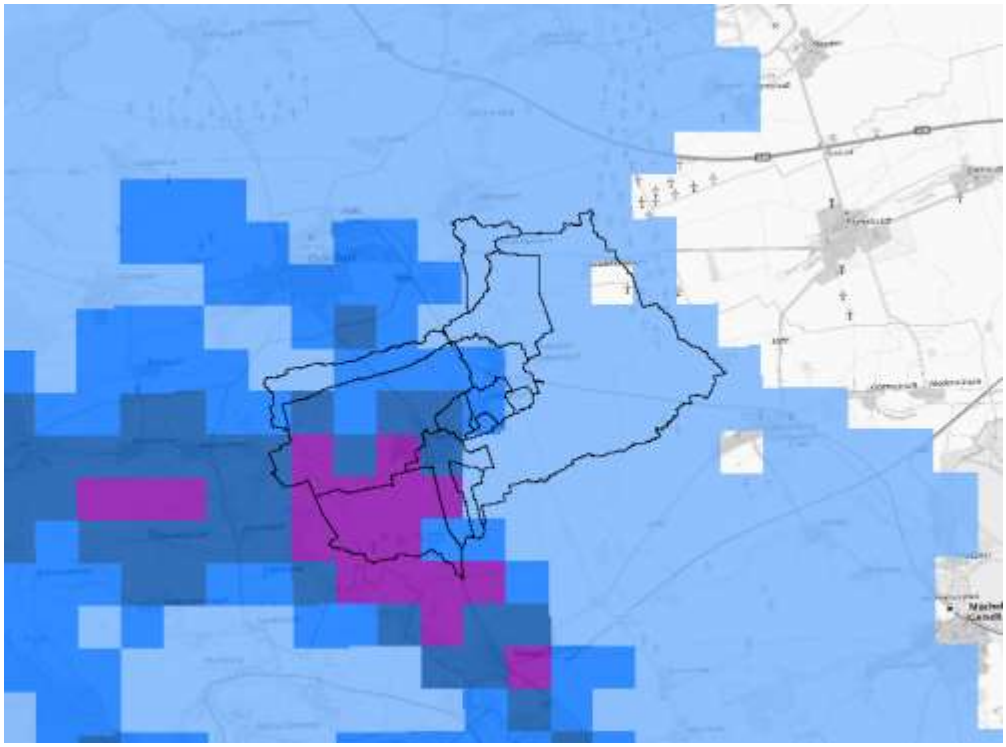

Abbildung 18: Rasterdarstellung des Bruttoniederschlages zu einem ausgewählten Zeitpunkt im Untersuchungsgebiet

Die vom DWD zur Verfügung gestellten Niederschlagsdaten wurden mittels ArcGIS aufbereitet. Dabei wurden zunächst die Niederschlagsdaten in das 6-stellige UTM32 projiziert und auf ein 10 x 10 m Raster umgerechnet (resampling). Anschließend erfolgte für jeden Zeitschritt eine Berechnung der flächengewichteten Mittelwerte je Teileinzugsgebiet.

Aufgrund der hohen Anzahl von Zeitschritten und großen Datenmenge erfolgte eine script-basierte Auswertung über ein eigens entwickeltes Tool unter ArcGIS Desktop.

Im Ergebnis entstanden für jedes Teileinzugsgebiet eine Zeitreihe mit 5-min-Werten und eine statistische Zusammenfassung über den betrachteten Zeitraum. Sofern in einem TEZG mehrere RADOLAN-Zellen vorhanden sind, wurden diese flächengewichtet gemittelt und generalisiert.

#### 3.3.2.3 Ermittlung Nettoniederschlag gem. Verfahren nach Lutz

Die Ermittlung des effektiven Niederschlages erfolgte je Teileinzugsgebiet. Dabei war der effektive Niederschlag zunächst für versiegelte und unversiegelte Flächen separat zu bestimmen. Anschließend wurde der gesamte abflusswirksame Niederschlag abgeleitet.

**Versiegelungsgrad**
Zur Ableitung des Versiegelungsgrades wurden die Landnutzungsdaten verwendet. Dabei wurden Wohnbauflächen, Wege, Verkehrsflächen, Industrie und Gewerbeflächen, Flächen gemischter Nutzung und besonderer funktionaler Prägung sowie Gewässerflächen als versiegelt angenommen.

Im Bereich von Siedlungsgebieten wurde durch diese Annahme ein sehr hoher Versiegelungsgrad bestimmt, was zu einem „worst case"-Szenario führt. Sollten zu hohe Abflüsse und Wasserstände bei der Modellplausibilisierung ermittelt werden, kann durch eine detailliertere Analyse der Versiegelungsgrad als Stellgröße verwendet werden.

Die jeweiligen Flächenanteile sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 2: Anteil versiegelter Flächen je TEZG

| TEZG Nr. | Teileinzugsgebiets-fläche | Anteil versiegelter Flächen | Anteil unversiegelter Flächen |
|---|---|---|---|
| [-] | [ha] | [%] | [%] |
| 1 | 129,32 | 15,53 | 84,47 |
| 2 | 313,58 | 12,38 | 87,62 |
| 3 | 142,81 | 35,77 | 64,23 |
| 4 | 24,02 | 4,41 | 95,59 |
| 5 | 71,64 | 25,28 | 74,72 |
| 6 | 229,72 | 1,55 | 98,45 |
| 7 | 19,68 | 2,27 | 97,73 |
| 8 | 54,55 | 12,22 | 87,78 |
| 9 | 452,35 | 2,42 | 97,58 |
| 10 | 856,48 | 7,45 | 92,55 |
| 11 | 1.701,57 | 3,34 | 96,66 |
| 12 | 59,59 | 2,48 | 97,52 |
| 13 | 181,68 | 24,60 | 75,40 |

**Anfangsverlust**
Der Anfangsverlust versiegelter Flächen wird mit Av = 1 mm angenommen. Zur Bestimmung des Anfangsverlustes unversiegelter Flächen wird jedem unversiegeltem Nutzungstyp ein Anfangsverlustwert zwischen 4 mm und 5 mm zugeordnet. Das betrachtete Untersuchungsgebiet ist überwiegend von Ackerflächen geprägt wodurch die Anfangsverluste unabhängig vom Teileinzugsgebiet ca. 4 mm beträgt.

Tabelle 3: Anfangsverluste je Teileinzugsgebiet für versiegelte und unversiegelte Flächen

| TEZG Nr. | Av (versiegelt) | Av (unversiegelt) |
|---|---|---|
| [-] | [mm] | [mm] |
| 1 | 1,000 | 4,007 |
| 2 | 1,000 | 4,011 |
| 3 | 1,000 | 4,050 |
| 4 | 1,000 | 4,015 |
| 5 | 1,000 | 4,015 |
| 6 | 1,000 | 4,002 |
| 7 | 1,000 | 4,000 |
| 8 | 1,000 | 4,010 |
| 9 | 1,000 | 4,004 |
| 10 | 1,000 | 4,010 |
| 11 | 1,000 | 4,009 |
| 12 | 1,000 | 4,007 |
| 13 | 1,000 | 4,005 |

**Maximaler Abflussbeiwert**
Analog zur Bestimmung des Anfangsverlustes auf unversiegelten Flächen wurde für jedes Teileinzugsgebiet ein maximaler Abflussbeiwert bestimmt. Dieser hängt von der Landnutzung und dem Bodentypen ab. Die resultierenden maximalen Abflussbeiwerte sind der Anlage A-1 zu entnehmen.

**Regionaler Parameter**
Der regionale Parameter ist je nach Region und Einzugsgebiet zu wählen und dient ebenfalls als Stellgröße für die Modellplausibilisierung. Da für das Untersuchungsgebiet keine spezifischen Daten vorhanden sind, wurde ein Wert von C1 = 0,05 gewählt.

**Vegetationszeit**
Durch diesen Parameter wird die Vegetation (z.B. Blattoberfläche) in Abhängigkeit von der Jahreszeit beim Verfahren nach Lutz berücksichtigt. Die Werte können zwischen 2,0 und 4,62 liegen. Die niedrigeren Werte wurden für Waldflächen sowie Wiesen angesetzt und für Ackerflächen ein Wert von 4,62. Anschließend wurde ein flächengewichteter Mittelwert für jedes Teileinzugsgebiet abgeleitet (vgl. Anlage A-1).

**Vorregen**
Der Parameter zur Berücksichtigung des Vorregens wurde zunächst mit C3 = 2,0 festgelegt.

**Niederschlagsdauer**
Dieser Parameter wurde mit C4 = 0,0 definiert, da die Optimierungsberechnungen von LUTZ nur einen geringen Einfluss gezeigt haben.

**Basisabfluss**
Als Basisabfluss wurden 74 l/s festgelegt und flächengewichtet auf die Teileinzugsgebiete bezogen. Die resultierende Basisabflussspende ist der Anlage A-1 zu entnehmen.

**Ereignisfaktor**
Mit diesem Parameter werden ereignisabhängige Gegebenheiten berücksichtigt. Dazu zählen unter anderem die Vegetationszeit, der Vorregen, die Niederschlagsdauer sowie der Basisabfluss am Tag des Regenereignisses.

Mit

$$a = C_1 * e^{-C_2/WZ} * e^{-C_3/q_B} * e^{-C_4/T_D}$$

wurde der Ereignisfaktor bestimmt. Die Ergebnisse sind je Teileinzugsgebiet in der Anlage A-1 zusammengefasst.

**Ableitung abflusswirksamer Niederschlag**
Aufbauend auf den bestimmten und beschriebenen Parametern erfolgte die Bestimmung des effektiven Niederschlags gemäß

$$N_{eff,u} = \left[(N - A_V) * c - \frac{c}{a} * \left(1 - e^{-a(N-A_V)}\right)\right] * \frac{A_E - A_{E,S}}{A_E}\ [mm]$$

Die Ergebnisse sind in der Anlage A-1 zusammengefasst.

**Korrekturfaktor**
Im Zuge der Sensitivitätsanalyse und Modellkalibrierung (vgl. Kap. 3.4) wurden unplausible Überschwemmungsflächen für das Regenereignis vom 19. Mai 2017 generiert. Als Ursache der festgestellten Defizite wurde der Modellregen als Eingangsparameter identifiziert. Daher wurde in Abstimmung mit dem AG ein Korrekturfaktor für das Verfahren nach Lutz eingeführt.

Dieser Korrekturfaktor ist ein empirischer Wert der folgende Unsicherheiten kompensieren soll:

- Mathematische Überschätzung des Infiltrationsvermögen aufgrund des hydrologischen Modellansatzes
- Überschätzung des Infiltrationsvermögen des Bodens durch vor Ort durchgeführte Bodenbearbeitungen (Bodenverdichtung)
- klimatisch bedingte Veränderungen im Abflussbildungsprozess, die im Verfahren nach Lutz nicht abgebildet werden können

Zur Bestimmung des effektiven Niederschlages wurde der Korrekturfaktor je TEZG wie folgt berücksichtigt

$$N_{eff} = N_{Brutto} * \Phi * Korrekturfaktor\ [mm]$$

wobei im Zuge der Kalibrierung des hydraulischen Modells in Abstimmung mit dem AG ein Korrekturfaktor von 1,8 anzusetzen ist.

#### 3.3.2.4 Ermittlung Nettoniederschlag gem. SCS-Verfahren

Zur Ermittlung des effektiven Niederschlages nach dem erweiterten SCS-Verfahren nach Zaiß ist die Bestimmung des CN-Wertes und des Anfangsverlustes erforderlich.

**CN-Wert**
Zur Bestimmung des effektiven Niederschlags ist die Definition des CN-Wertes erforderlich. Hierbei werden die Eigenschaften des Bodens quantifiziert. Diese Daten wurden seitens [2] mit einer hohen Auflösung und unterschiedlichen Bodenbedeckungsszenarien (0 %; 50 %, 100 %) zur Verfügung gestellt.

Anschließend erfolgte die Bestimmung eines flächengewichteten Mittelwerts je Teileinzugsgebiet (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Flächengewichtete CNII-Werte je Teileinzugsgebiet und Bodenbedeckungsszenario

| TEZG Nr. | CN II 90%/0% | CN II 90%/50% | CN II 90%/100% |
|---|---|---|---|
| 1 | 85 | 81 | 77 |
| 2 | 85 | 81 | 77 |
| 3 | 84 | 82 | 80 |
| 4 | 86 | 82 | 77 |
| 5 | 85 | 82 | 80 |
| 6 | 86 | 81 | 76 |
| 7 | 86 | 81 | 76 |
| 8 | 86 | 81 | 77 |
| 9 | 86 | 81 | 76 |
| 10 | 86 | 81 | 77 |
| 11 | 86 | 81 | 76 |
| 12 | 86 | 81 | 76 |
| 13 | 85 | 82 | 79 |

Neben den Boden- und Nutzungseigenschaften wird das Versickerungsverhalten von der Bodenvorfeuchte beeinflusst. Diese wird anhand der 5-tägigen Niederschlagssumme vor dem Regenereignis bemessen und nach Tabelle 6 kategorisiert.

Tabelle 5: Bodenfeuchteklassen in Abhängigkeit der Vegetationsperiode

| Bodenfeuchteklasse | Niederschlagshöhe in den vorangegangenen 5 Tagen in mm | |
|---|---|---|
| | Vegetationsperiode | übrige Zeit |
| I | < 30 | < 15 |
| II | 30 - 50 | 15 - 30 |
| III | > 50 | > 30 |

Aufgrund des geringen Vorregens bei den untersuchten Niederschlagsereignissen ergibt sich nur eine geringe Bodenvorfeuchte (< 30 mm).

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2{,}3 - 0{,}013 * CN_{II}}$$

Tabelle 6: Flächengewichtete CNI-Werte je Teileinzugsgebiet und Bodenbedeckungsszenario

| TEZG Nr. | CN I 90%/0% | CN I 90%/50% | CN I 90%/100% |
|---|---|---|---|
| 1 | 71 | 65 | 59 |
| 2 | 71 | 65 | 59 |
| 3 | 70 | 66 | 63 |
| 4 | 73 | 66 | 59 |
| 5 | 72 | 67 | 62 |
| 6 | 73 | 65 | 58 |
| 7 | 72 | 65 | 58 |
| 8 | 72 | 65 | 59 |
| 9 | 73 | 65 | 58 |
| 10 | 72 | 65 | 59 |
| 11 | 72 | 65 | 58 |
| 12 | 72 | 65 | 58 |
| 13 | 71 | 66 | 61 |

**Anfangsverlust**

Der Anfangsverlust ist zeitlich variabel und ändert sich exponentiell. Dieser hängt von einer Anfangsbedingung AV0, einem 21-tägigen Vorregenindex VN21 sowie einem empirischen Parameter B1 ab, welcher ggf. zur Kalibrierung herangezogen werden kann.

Die Anfangsbedingung bzw. der Startwert des Anfangsverlustes AV0 wurde mittels

$$AV_0 = \frac{1270}{CN_I} - 12{,}7$$

mit

| | | | |
|---|---|---|---|
| $CN_I$ | - | Bodenfeuchteklasse I | [-] |
| $AV_0$ | - | Anfangsverlust 0 | [-] |

bestimmt. Dieser ist zudem für die Berechnung des Parameters B1 notwendig, welcher sich aus

$$B1 = -\frac{100}{\ln\left(\frac{0{,}5}{AV_0}\right)}$$

ergibt. Der 21-tägige Vorregenindex ist die Summe der Niederschlagshöhen multipliziert mit einem jahreszeitabhängigen Abminderungsfaktor, welcher einen Wertebereich von 0,8 < c < 0,9 hat und von der hydrologischen Wochenzahl abhängt.

$$VN_{21} = \sum_{i=1}^{21} c^i * h_{Nd,i}$$

mit

| | | | |
|---|---|---|---|
| $VN_{21}$ | - | Vorregenindex | [mm] |
| c | - | Abminderungsfaktor | [-] |
| $h_{Nd,i}$ | - | Niederschlagshöhe im Zeitintervall i | [mm] |

**Abflussbeiwert**
Der zeitlich variable Abflussbeiwert wurde je Zeitschritt und Teileinzugsgebiet mittels

$$\varphi_i = 1 - (\frac{AV}{0{,}05 * \sum h_{Ni} + 0{,}95 * AV})^2$$

bestimmt. Die Ergebnisse der effektiven Niederschlagsbestimmung gemäß erweiterten SCS-Verfahren nach Zaiß sind der Anlage 2 zu entnehmen.

## 3.4 Modellkalibrierung

Im Zuge der Modellkalibrierung war im ersten Schritt eine Verifizierung des gewählten Modells durchzuführen. Anschließend erfolgten Untersuchungen hinsichtlich der Modellsensitivität bzgl. der Modelleingangsparameter. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen der Sensitivitätsanalyse wurde das Modell anhand des realen Starkregenereignis vom Mai 2017 kalibriert. Dementsprechend wurde der MZ 1 für die Modellkalibrierung verwendet (vgl. Kap. 3.2).

### 3.4.1 Modellwahl

Für die Ermittlung von Starkregengefahren steht eine Vielzahl von methodischen Ansätzen zur Verfügung. Beispielsweise können Gefahren aufgrund von Ortsbegehungen und Erfahrungsberichten oder mittels GIS gestützter Systeme (topografische Gefährdungsanalyse) analysiert werden. Bei der modellgestützten Starkregengefahrenanalyse erfolgt eine Kopplung von Topographie und Bemessungsregen (Feingefährdungsanalyse). Hierbei können für urbane Gebiete Kanalnetzmodelle oder in ländlich geprägten Gebieten 2D-Oberfächenmodelle als Grundlage dienen.

Die Starkregengefahren der betrachteten Ortslagen Barnstädt und Nemsdorf-Göhrendorf resultieren überwiegend aus Außengebietszuflüssen. Zudem ist der Einfluss des innerörtlichen Kanalnetzes vernachlässigbar klein. Daher wurde für das Untersuchungsgebiet ein 2D-HN-Oberflächenmodell erstellt.

Die Starkregensimulation erfolgte mit dem Finite-Volumen-Programm Hydro-AS V 5.2 und ist ein Modellansatz, welcher derzeit dem aktuellem Stand der Technik entspricht.
Die Qualität der generierten Berechnungsergebnisse ist abhängig von der numerischen Stabilität des Berechnungsverfahrens. Diese wiederum korreliert mit der Netzqualität (vgl. Kap. 3.2) und kann anhand einer Volumenbilanz abgeschätzt werden. Die Bilanz erfolgte für das Regenvolumen, Wasservolumen am Modellauslauf und Restvolumen im Modell:

$$V_{Regen} = V_{Auslauf} + V_{Senken}$$

Dabei entspricht das Regenvolumen dem im Modell definierten Niederschlagsvolumen über die gesamte Niederschlagsdauer. Das Modellauslaufvolumen wird an der unteren Modellrandbedingung ermittelt (Abflusswert) und das im Modell verbliebene Restvolumen wird zum Zeitpunkt des letzten Berechnungsschrittes ausgewertet. Dabei ist zu beachten, dass das Restvolumen nicht dem Senkenvolumen (Wasservolumen in abflusslosen Senken) im Untersuchungsgebiet entspricht. Bei einem numerisch stabilen Verfahren sollte eine Abweichung zwischen Eingangs- und Ausgangsvolumen von maximal 5 % auftreten. Für das verwendete Modell ergibt sich

| | | | |
|---|---|---|---|
| Regenvolumen | = | 305.188 | m³ |
| Auslaufvolumen | = | 87.320 | m³ |
| Restvolumen | = | 211.565 | m³ |
| Volumendifferenz | = | 6.303 | m³ |
| ***Volumendifferenz*** | **=** | ***2,07*** | ***%*** |

und ist daher für die weitere Betrachtung geeignet.

### 3.4.2 Sensitivitätsanalyse

Die Prüfung des 2D-HN-Modells wurde hinsichtlich seiner Sensitivität auf einzelne Modellparameter analysiert. Variiert wurden die Rauheitsparameter ($k_{st}$-h), Wirbelviskosität und der Modellregen. Die Modellsensitivität wurde anhand des numerisch bestimmten hydrologischen Längsschnitts an diskreten Stützstellen und anhand der Wasserspiegellagen an festgelegten Stützstellen abgeleitet (vgl. Abbildung 19). An den Punkten P1 bis P8 liegen Messwerte vor, auf die sich die im Folgenden angegebenen Differenzen beziehen. Für die Punkte P9 und P10 liegen keine Messwerte vor, da sie sich im Gewässer befinden. An diesen Punkten erfolgte eine relative Differenzbildung bezogen auf den Referenzzustand (Szenario 3).

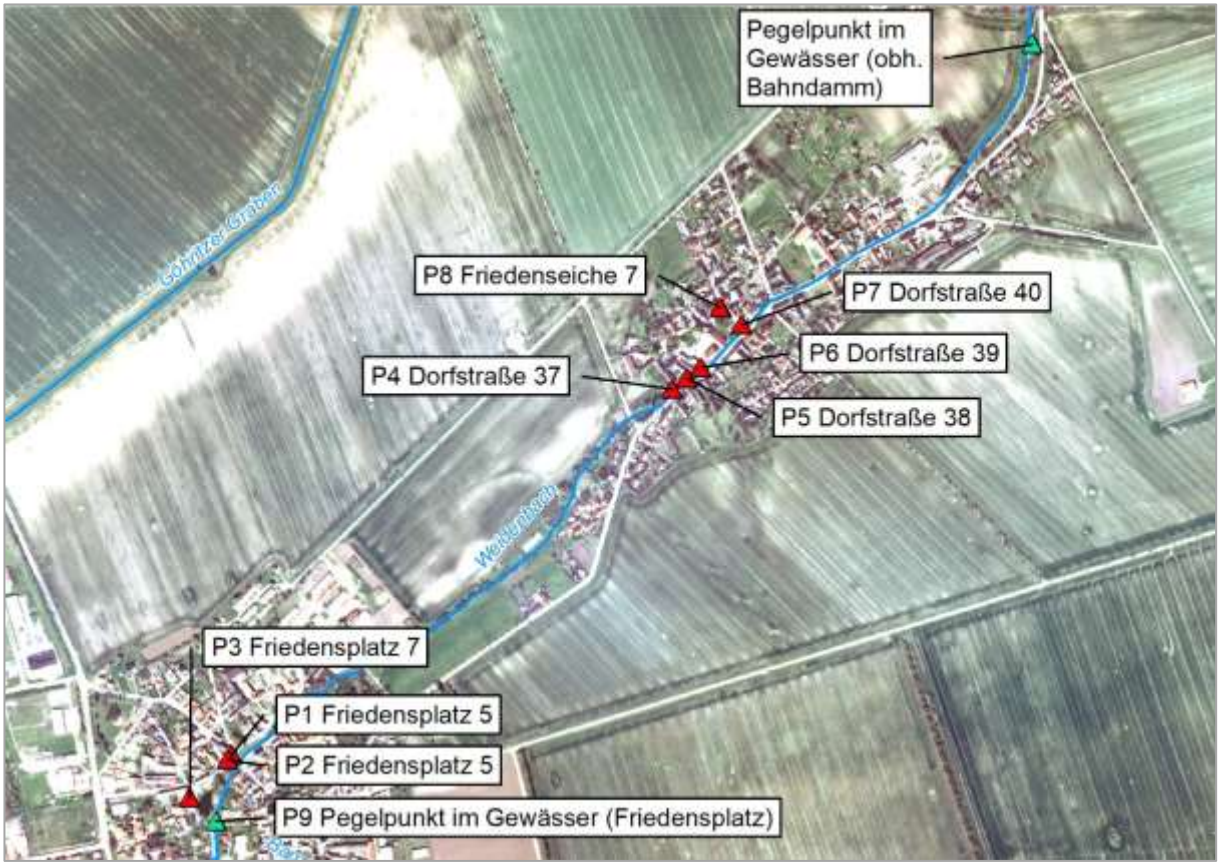


Abbildung 19: Referenzstellen für die Auswertung der Wasserspiegellagen im Zuge einer Sensitivitätsanalyse

Für die Sensitivitätsanalyse wurde der effektive Niederschlag gemäß SCS nach Zaiß (90 %/100 %) entsprechend Kap. 3.3.2 angesetzt.

#### 3.4.2.1 Berücksichtigung Pflanzenalter

Wie bereits in Kap. 3.3.1 beschrieben hängen der Formwiderstand und das Strömungsverhalten von Pflanzen von deren Wachstumsstadium ab. Während junge Pflanze bei Um- und Überströmung ein flexibles Verhalten (Typ B) aufweisen, können die gleichen Pflanzen mit zunehmenden Wachstumsstadium ein starres (Typ A) oder knickendes (Typ C) Verhalten aufweisen. Darüber hinaus nimmt der Formwiderstand mit zunehmender Pflanzengröße zu.

Da das Wachstumsstadium von meteorologischen Randbedingungen abhängt, ist die Berücksichtigung eines wasserstandsabhängigen $k_{st}$-Wertes mit einer hohen Unsicherheit behaftet. Zur Abschätzung der Ergebnisunsicherheit wurden die Nutzpflanzen mit drei Modellzuständen berechnet:

- Szenario 1: ausgewachsene Nutzpflanzen auf Ackerflächen
- Szenario 2: Jungpflanzen auf Ackerflächen
- Szenario 3: Bewuchszustand gemäß Mai 2017

Hierbei wurden ausschließlich die außerörtlichen landwirtschaftlich genutzten Flächen variiert. Die angesetzten $k_{st}$-h-Funktionen sind der Anlage A-3 zu entnehmen. Als Referenzzustand dient das Szenario 3, welches in Rücksprache mit dem AG festgelegt wurde.

Die Auswertung der Abflusswerte an diskreten Stützstellen ist in der folgenden Tabelle 7 zusammengefasst und zeigt, dass die Variation der $k_{st}$-h-Funktionen in Abhängigkeit vom Wachstumsstadium einen sehr geringen Einfluss auf die Abflusswerte in der Ortslage hat. Ursache für die geringen Unterschiede zwischen Szenario 1 und Szenario 3 ist, dass es in den betreffenden Ackerflächen zur schnellen Abflussbildung kommt. Das heißt, es sind flächendeckend niedrige Wasserstände vorhanden, sodass die Veränderung der $k_{st}$-h-Funktionen für Wasserstände > 5 cm nicht wirksam werden. Lediglich im Bereich akkumulierter Fließwege sind geringfügige Auswirkungen zu erkennen. Im Szenario 2 ergeben sich für vereinzelte landwirtschaftliche Flächen, die aufgrund des hohen Formwiderstandes der ausgewachsenen Nutzpflanzen entstehen, höhere Unterschiede bei der Abflussbildung (vgl. Abbildung 20). Dies spiegelt sich auch im hydrologischen Längsschnitt innerhalb der Ortslage wider.

Tabelle 7: Einfluss des Pflanzenalters auf den numerisch bestimmten hydrologischen Längsschnitt

| **Querschnitt** | **Hydrologischer Längsschnitt - Pflanzenalter** | | |
|---|---|---|---|
| | **Szenario 1** | **Szenario 2** | **Szenario 3** |
| | **[m³/s]** | **[m³/s]** | **[m³/s]** |
| obh. Barnstädt | 2,54 | 2,65 | 2,50 |
| unth. Barnstädt | 2,74 | 3,04 | 2,74 |
| obh. Göhrendorf | 2,76 | 3,07 | 2,76 |
| obh. Nemsdorf | 2,78 | 2,93 | 2,85 |
| unth. Nemsdorf | 4,24 | 2,93 | 4,23 |
| obh. Obhausen | 4,31 | 4,15 | 4,29 |

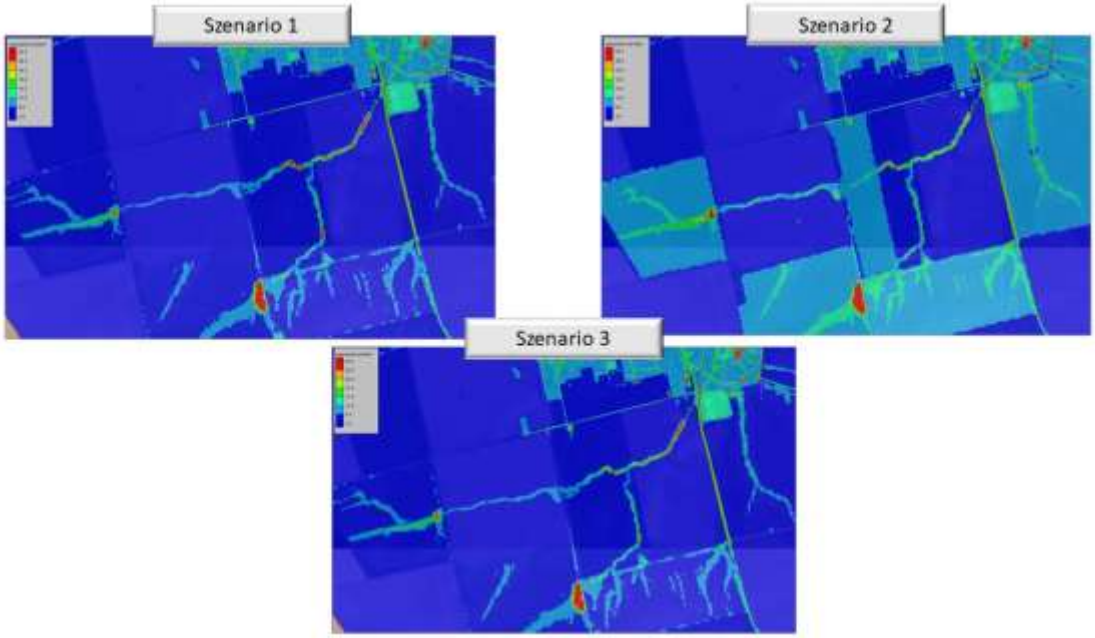


Abbildung 20: Die maximalen bei der 2D-HN-Simulation berücksichtigten $k_{st}$-Werte auf landwirtschaftlichen Flächen oberhalb von Barnstädt für die Szenarien 1 bis 3

Die Auswertung der Wasserspiegellagen an den gemessenen Stützstellen (P2 bis P8) zeigt, dass diese unabhängig vom betrachteten Pflanzenalter lediglich vom Niederschlag betroffen sind. Der maximale Wasserstand beträgt ca. 2 mm, danach wird das auftretende Niederschlagswasser abflusswirksam. Das heißt ein erhöhter Wasserstand durch Außengebietszuflüsse und den Abfluss im Weidenbach ist nicht gegeben. Die Differenzen an P1, P9 und P10 resultieren aus den veränderten Abflusswerten je Szenario, denn es fand für die Szenarien 1 bis 3 keine Variation der innerörtlichen $k_{st}$-Werte statt (vgl. Tabelle 8).

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass das verwendete 2D-HN-Modell global wenig sensitiv auf die detaillierte Betrachtung der Pflanzenwachstumsstadien reagiert. Lediglich lokal, im Bereich akkumulierter Fließwege, ergeben sich Differenzen. Deren Einfluss auf das innerörtliche Abflussgeschehen ist hingegen eher geringfügig.

Tabelle 8: Numerisch berechnete Wasserspiegellagen in Abhängigkeit vom Pflanzenalter landwirtschaftlicher Nutzpflanzen (Differenzen bezogen auf Messwerte)

| ID | Mess-wert | Szenario1 | | Szenario 2 | | Szenario 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [-] | [m NHN] | WSP [m NHN] | Diff. [m] | WSP [m NHN] | Diff. [m] | WSP [m NHN] | Diff. [m] |
| P1 | 198,89 | 197,90 | -0,99 | 197,94 | -0,83 | 197,91 | -0,98 |
| P2 | 198,77 | 197,90 | -0,87 | 197,95 | -0,94 | 197,91 | -0,87 |
| P3 | 199,27 | 198,65 | -0,62 | 198,65 | -0,62 | 198,65 | -0,62 |
| P4 | 190,73 | 189,55 | -1,18 | 189,55 | -1,18 | 189,55 | -1,18 |
| P5 | 190,81 | 189,66 | -1,15 | 189,66 | -1,15 | 189,66 | -1,15 |
| P6 | 190,02 | 189,45 | -0,57 | 189,45 | -0,57 | 189,45 | -0,57 |
| P7 | 189,49 | 188,40 | -1,09 | 188,40 | -1,09 | 188,40 | -1,09 |
| P8 | 159,50 | 188,51 | -1,00 | 188,51 | -1,00 | 188,51 | -1,00 |
| P9 | - | 198,21 | - | 198,24 | - | 198,21 | - |
| P10 | - | 185,55 | - | 185,59 | - | 185,56 | - |

#### 3.4.2.2 Variation $k_{st}$

Während die Berücksichtigung des Wachstumsstadiums lediglich einen Einfluss auf die $k_{st}$-h-Funktionen landwirtschaftlicher Flächen hat, werden im Folgenden alle im Modell verwendeten Rauheitszonen variiert. Dabei wurde das Szenario 3 als Referenzzustand verwendet. Anschließend erfolgt eine gesamtheitliche Variation der $k_{st}$-Werte, woraus sich die folgenden Szenarien ergeben:

- Szenario 3: Bewuchszustand gemäß Mai 2017 (Referenzzustand)
- Szenario 4: $k_{st}$ + 20 %
- Szenario 5: $k_{st}$ – 20 %

Die angesetzten $k_{st}$-h-Funktionen sind der Anlage A-3 zu entnehmen.

Gemäß Tabelle 9 ergeben sich stetig ansteigende Abflusswerte mit zunehmender Fließstrecke. Lediglich für den sehr glatten Modellzustand (Szenario 4) erfolgt zwischen Göhrendorf und Nemsdorf eine Abflussdrosselung. Diese resultiert aus dem Durchlass am Bahndamm zwischen den beiden Ortslagen.

Darüber hinaus ergeben sich bei Szenario 4 wesentlich höhere Abflüsse als bei Szenario 5. Ursache hierfür ist, dass es aufgrund der teilweise hohen Geländeneigung zu einer sehr schnellen Abflussbildung und -konzentration kommt. Dies führt zu einer Wellenüberlagerung, die bis zu 20 % mehr Abfluss bei Szenario 4 generiert als im Referenzzustand. Für das sehr raue Modellszenario ergeben sich hingegen wesentlich geringere Abflüsse. Vor allem im Bereich der Außengebietszuflüsse entstehen wesentlich geringere Fließgeschwindigkeiten, welche zu einer Dämpfung der Welle führen. Zudem steigt der Einfluss der TEZG-bezogenen Fließzeit und -strecke.

Tabelle 9: Veränderung der innerörtlichen Abflusswerte durch Variation der Rauheitsbeiwerte um +/- 20 %

| Querschnitt | Hydrologischer Längsschnitt – Variation $k_{st}$-Wert | | |
|---|---|---|---|
| | Szenario 3 | Szenario 4 | Szenario 5 |
| | [m³/s] | [m³/s] | [m³/s] |
| obh. Barnstädt | 2,50 | 2,98 | 2,02 |
| unth. Barnstädt | 2,74 | 3,29 | 2,19 |
| obh. Göhrendorf | 2,76 | 3,31 | 2,20 |
| obh. Nemsdorf | 2,85 | 3,17 | 2,36 |
| unth. Nemsdorf | 4,23 | 4,76 | 3,60 |
| obh. Obhausen | 4,29 | 4,83 | 3,65 |

Für den sehr glatten Modellzustand (Szenario 4) ergeben sich ebenfalls größere Wasserspiegellagen an den Auswertungspunkten P1, P2, P9 sowie P10. An den Auswertungspunkten P3 bis P8 ergeben sich äquivalente Wasserstände wie zum Referenzzustand (Szenario 3), da diese ausschließlich durch den zuvor definierten Modellregen beaufschlagt werden. Im Szenario 5 ergeben sich geringfügig niedrigere Wasserspiegellagen. Gemäß Tabelle 9 ergeben sich innerörtlich bis zu -21 % weniger Abfluss als im Referenzzustand. Dennoch sind die maximalen Wasserspiegellagen an den Auswertungspunkten nur geringfügig geringer als im Szenario 3.

Tabelle 10: Veränderung der numerisch berechneten Wasserspiegellagen durch Variation der Rauheitsbeiwerte um +/- 20% (Differenzen bezogen auf Messwerte)

| ID | Messwert | Szenario3 | | Szenario 4 | | Szenario 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [-] | [m NHN] | WSP [m NHN] | Diff. [m] | WSP [m NHN] | Diff. [m] | WSP [m NHN] | Diff. [m] |
| P1 | 198,89 | 197,91 | -0,98 | 197,94 | -0,95 | 197,86 | -1,03 |
| P2 | 198,77 | 197,91 | -0,87 | 197,94 | -0,83 | 197,86 | -0,91 |
| P3 | 199,27 | 198,65 | -0,62 | 198,65 | -0,62 | 198,65 | -0,62 |
| P4 | 190,73 | 189,55 | -1,18 | 189,55 | -1,18 | 189,55 | -1,18 |
| P5 | 190,81 | 189,66 | -1,15 | 189,66 | -1,15 | 189,66 | -1,15 |
| P6 | 190,02 | 189,45 | -0,57 | 189,45 | -0,57 | 189,45 | -0,57 |
| P7 | 189,49 | 188,40 | -1,09 | 188,40 | -1,09 | 188,40 | -1,10 |
| P8 | 159,50 | 188,51 | -1,00 | 188,51 | -0,99 | 188,51 | -0,99 |
| P9 | - | 198,21 | - | 198,22 | - | 198,17 | - |
| P10 | - | 185,56 | - | 185,56 | - | 185,54 | - |

Die Variation aller $k_{st}$-Werte im Modell hat gezeigt, dass einem sehr glatten Rauheitsansatz der innerörtliche Modellabfluss bis zu 20 % erhöht werden kann. Für einen sehr rauen Modellansatz ergeben sich nahezu äquivalente Wasserspiegellagen innerorts, obwohl die Abflusswerte bis zu 21 % niedriger als im Referenzzustand sind.

#### 3.4.2.3 Variation Wirbelviskosität

Die Wirbelviskosität ist ein Modelleingangsparameter, der die Zähigkeit des Wassers im Modell repräsentiert. Unter der Annahme einer Klarwasserbetrachtung wird bei der Simulationssoftware Hydro-AS ein Standardwert von 0,6 angenommen. In der Realität wird die Wirbelviskosität eines Fluids jedoch durch beispielsweise Temperatur oder Sedimenttransport beeinflusst. Vor allem bei Starkregen werden durch das auf die Oberfläche aufprallende Niederschlagswasser Sedimente gelöst, die bei der Abflusskonzentration abtransportiert werden. Um die Sensitivität hinsichtlich Wirbelviskosität des verwendeten Modells abschätzen zu können, wurden die folgenden Szenarien erstellt und ausgewertet:

- Szenario 3: Referenzzustand; Visk = 0,6
- Szenario 6: Szenario 3, Visk = 0,3
- Szenario 7: Szenario 3, Visk = 0,9

In den Modellszenarien 6 und 7 wurden sämtliche Modellrandbedingungen (einschließlich Rauheitsparameter) gemäß Szenario 3 angesetzt. Lediglich die Wirbelviskosität wurde um +/- 0,3 variiert.

Unabhängig von der angesetzten Wirbelviskosität ergeben sich annährend äquivalente Abflusswerte im Modell. Während sich für eine niedrigere Wirbelviskosität ein geringfügig kleinerer Abflusswert ergibt, zeigen die Berechnungsergebnisse für Szenario 7 etwas höhere Abflusswerte. Die Differenzen variieren allerdings im Bereich von +/- 1 % und sind vernachlässigbar klein (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 11: Einfluss der Wirbelviskosität auf den innerörtlichen hydrologischen Längsschnitt am Weidenbach

| **Querschnitt** | **Hydrologischer Längsschnitt – Variation Wirbelviskosität** | | |
|---|---|---|---|
| | **Szenario 3** | **Szenario 6** | **Szenario 7** |
| | **[m³/s]** | **[m³/s]** | **[m³/s]** |
| obh. Barnstädt | 2,50 | 2,50 | 2,48 |
| unth. Barnstädt | 2,74 | 2,72 | 2,75 |
| obh. Göhrendorf | 2,76 | 2,73 | 2,77 |
| obh. Nemsdorf | 2,85 | 2,82 | 2,82 |
| unth. Nemsdorf | 4,23 | 4,28 | 4,21 |
| obh. Obhausen | 4,29 | 4,33 | 4,28 |

Analog zum hydrologischen Längsschnitt sind auch die Differenzen der berechneten Wasserspiegellagen sehr niedrig. Für Szenario 6 ergeben sich im Gewässer (P9 und P10) zwischen 1 cm und 2 cm niedrigere Wasserspiegellagen als im Referenzzustand. Auch im Bereich der aufgemessenen Punkte ergeben sich tendenziell niedrigere Wasserstände. Szenario 7 weist weitestgehend analoge Wasserspiegellagen im Vergleich zu Szenario 3 auf. Lediglich an P1 und P2 sind diese 1 cm größer.

Die Variation der Wirbelviskosität im verwendeten 2D-Modell zeigt einen vernachlässigbar kleinen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse. Dementsprechend ist dieser Modellparameter für die Modellkalibrierung ungeeignet.

Tabelle 12: Einfluss der Wirbelviskosität auf die berechneten Wasserspiegellagen im Modell (Differenzen bezogen auf Messwerte)

| ID | Messwert | Szenario3 | | Szenario 6 | | Szenario 7 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [-] | [m NHN] | WSP [m NHN] | Diff. [m] | WSP [m NHN] | Diff. [m] | WSP [m NHN] | Diff. [m] |
| P1 | 198,89 | 197,91 | -0,98 | 197,87 | -1,02 | 197,92 | -0,97 |
| P2 | 198,77 | 197,91 | -0,87 | 197,87 | -0,91 | 197,92 | -0,85 |
| P3 | 199,27 | 198,65 | -0,62 | 198,65 | -0,62 | 198,65 | -0,62 |
| P4 | 190,73 | 189,55 | -1,18 | 189,55 | -1,18 | 189,55 | -1,18 |
| P5 | 190,81 | 189,66 | -1,15 | 189,66 | -1,15 | 189,66 | -1,15 |
| P6 | 190,02 | 189,45 | -0,57 | 189,45 | -0,57 | 189,45 | -0,57 |
| P7 | 189,49 | 188,40 | -1,09 | 188,40 | -1,09 | 188,40 | -1,09 |
| P8 | 159,50 | 188,51 | -1,00 | 188,51 | -0,99 | 188,51 | -0,99 |
| P9 | - | 198,21 | - | 198,19 | - | 198,21 | - |
| P10 | - | 185,56 | - | 185,55 | - | 185,56 | - |

#### 3.4.2.4 Variation Modellregen (SCS)

Die bisherige Variation von Eingangsparametern zeigte ein wenig sensitives Verhalten des 2D-Modells bzgl. Rauheitsbeiwerte und Wirbelviskosität, wodurch eine Modellkalibrierung anhand dieser Parameter unmöglich ist. Daher wurde der Modellregen im Folgenden als variabler Eingangsparameter betrachtet.

Für die betrachteten Szenarien 1 bis 7 wurde der ermittelte effektive Niederschlag gemäß dem erweiterten SCS-Verfahren nach Zaiß (90 %/100 %) als Modellregen angesetzt. Grundlage hierfür war der flächengewichtete Bruttoniederschlag (vgl. Kap. 3.3.2). Statt des flächengewichteten Mittelwertes wurden die maximal gemessenen Niederschlagsmengen für das SCS-Verfahren je TEZG angesetzt. Die Niederschlagssummen je TEZG für das Regenereignis vom Mai 2017 sind in der folgenden Tabelle 13 gegenübergestellt.

Es ergeben sich bei der Betrachtung der maximalen Bruttoniederschlagssummen je Teileinzugsgebiet das 1,5- bis ca. 3-fache an Niederschlagsmengen in der Atmosphäre als im Vergleich zum flächengewichteten Mittelwert-Ansatz. Dementsprechend ergeben sich auch für die effektiven Niederschlagssummen erheblich größere Werte. Die effektiven Niederschlagswerte sind durchschnittlich 3-mal so hoch. Im Modell wurde der Effektivniederschlag als Bemessungsregen angesetzt. Daraus resultieren die folgenden beiden Szenarien:

- Szenario 3: Referenzzustand; Modellregen = flächengewichteter Mittelwert
- Szenario 8: Modellregen = maximale gemessene Niederschlagswerte

Für das Szenario 8 wurde ausschließlich der Modellregen variiert. Sowohl die angesetzten Rauheitsbeiwerte als auch die Wirbelviskosität wurden entsprechend Szenario 3 angesetzt.

Tabelle 13: Zusammenfassung der angesetzten Niederschlagssummen von mittleren und maximalen Niederschlagssummen für die Variation des Modellregens (SCS)

| TEZG ID | Niederschlagssumme - Mittelwert (SCS 90%/100%) | | Niederschlagssumme - Maximum (SCS 90%/100%) | |
|---|---|---|---|---|
| | $N_{Brutto}$ [mm] | $N_{eff}$ [mm] | $N_{Brutto}$ [mm] | $N_{eff}$ [mm] |
| 1 | 28,76 | 3,88 | 42,31 | 8,97 |
| 2 | 27,18 | 3,41 | 51,27 | 13,05 |
| 3 | 27,49 | 4,01 | 48,11 | 12,90 |
| 4 | 26,98 | 3,32 | 37,52 | 6,76 |
| 5 | 30,69 | 5,08 | 40,14 | 8,94 |
| 6 | 46,74 | 10,19 | 66,25 | 20,00 |
| 7 | 31,67 | 4,36 | 37,31 | 6,31 |
| 8 | 36,34 | 6,34 | 48,17 | 11,39 |
| 9 | 54,78 | 14,39 | 81,00 | 29,34 |
| 10 | 48,88 | 11,55 | 57,56 | 33,92 |
| 11 | 27,38 | 3,46 | 86,87 | 34,09 |
| 12 | 43,55 | 8,88 | 67,81 | 21,32 |
| 13 | 45,51 | 11,05 | 71,50 | 25,83 |

Aufgrund des sehr hohen Regenvolumens für Szenario 8 ergeben sich höhere Abflusswerte innerhalb der Ortslagen. Oberhalb des Bahndamms zwischen Nemsdorf und Göhrendorf ergeben sich bis zu 10-mal höhere Abflusswerte als im Szenario 3. Durch die Drosselwirkung am Durchlass des Bahndamms verringert sich der Abfluss auf maximal 14 m³/s. Aus den erhöhten Abflusswerten resultieren ebenfalls höhere Wasserspiegellagen im gesamten Modellgebiet. Numerisch sind die Differenzen an den Auswertepunkt in Tabelle 15 dargestellt. Die Auswirkung der höheren Wasserspiegellagen auf die Überschwemmungsflächen ist beispielhaft für Barnstädt in Abbildung 21 dargestellt.

Tabelle 14: Veränderung der innerörtlichen Abflusswerte durch Variation des Modellregens (SCS)

| Querschnitt | Hydrologischer Längsschnitt – Modellregen | |
|---|---|---|
| | Szenario 3 | Szenario 8 |
| | [m³/s] | [m³/s] |
| obh. Barnstädt | 2,50 | 20,42 |
| unth. Barnstädt | 2,74 | 23,98 |
| obh. Göhrendorf | 2,76 | 24,10 |
| obh. Nemsdorf | 2,85 | 14,27 |
| unth. Nemsdorf | 4,23 | 27,09 |
| obh. Obhausen | 4,29 | 48,23 |

Tabelle 15: Veränderung der berechneten Wasserspiegellagen durch Variation des Modellregens (Differenzen bezogen auf Messwerte)

| ID | Messwert | Szenario 3 | | Szenario 8 | |
|---|---|---|---|---|---|
| [-] | [m NHN] | WSP [m NHN] | Diff. [m] | WSP [m NHN] | Diff. [m] |
| P1 | 198,89 | 197,91 | -0,98 | 198,70 | -0,19 |
| P2 | 198,77 | 197,91 | -0,87 | 198,67 | -0,10 |
| P3 | 199,27 | 198,65 | -0,62 | 198,76 | -0,51 |
| P4 | 190,73 | 189,55 | -1,18 | 190,27 | -0,46 |
| P5 | 190,81 | 189,66 | -1,15 | 190,40 | -0,41 |
| P6 | 190,02 | 189,45 | -0,57 | 189,68 | -0,34 |
| P7 | 189,49 | 188,40 | -1,09 | 189,38 | -0,11 |
| P8 | 159,50 | 188,51 | -1,00 | 189,38 | -0,12 |
| P9 | - | 198,21 | - | 198,90 | - |
| P10 | - | 185,56 | - | 187,39 | - |

Abbildung 21: Veränderung der Überschwemmungsflächen durch Variation des Modellregens

#### 3.4.2.5 Variation Modellregen (SCS vs. Lutz-Verfahren)

Ergänzend zur Untersuchung des Eingangsparameters Modellregen in Kap. 3.4.2.4 wurde das Lutz-Verfahren zur Herleitung des Modellregens variiert. Im Ergebnis unterscheiden sich die beiden Verfahren im Wesentlichen darin, dass sich beim SCS-Verfahren ein zeitabhängiger und beim Verfahren nach Lutz eine zeitunabhängiger Abflussbeiwert ergibt. Unter der Annahme, dass bei Regenereignissen mit einer sehr kurzen Regendauer und einer hohen Regenintensität sich die Bodeneigenschaft innerhalb des betrachteten Ereignisses nicht verändern, ist von einem eher konstanten Abflussbeiwert auszugehen.

Daher wurde das Verfahren nach Lutz mit einem Korrekturfaktor ergänzt (vgl. Kap. 3.3.2.3). Die Variation des Korrekturfaktors erfolgte für einen Wertebereich von k=1,2 bis 1,8. Der Einfluss auf die Niederschlagssummen sind in der folgenden Tabelle 16 zusammengefasst. Für das Verfahren nach Lutz mit einem Korrekturfaktor von 1,8 ergibt sich teilweise das bis zu 5-fache an Niederschlagsmengen als beim SCS-Verfahren. Allerdings können aufgrund des konstanten Abflussbeiwertes auch niedrigere Niederschlagssummen entstehen, als beim dynamischen SCS-Verfahren nach Zaiß. Während beim SCS-Verfahren nach Zaiß beispielsweise das Teileinzugsgebiet 10 das größte Niederschlagsvolumen je m² hat (11,55 mm), ist es beim Verfahren nach Lutz das Teileinzugsgebiet 9 (32,15 mm). Das zeigt das ein veränderter hydrologischer Ansatz auch die Bedeutung der jeweiligen Teileinzugsgebiete am gesamtheitlichen Abflussgeschehen im Untersuchungsgebiet beeinflussen kann.

Tabelle 16: Zusammenfassung der angesetzten Niederschlagssummen von mittleren und maximalen Niederschlagssummen für die Variation des Modellregens (SCS vs. Lutz-Verfahren)

| TEZG ID | $N_{Brutto}$ | $N_{eff, SCS(90\%/100\%)}$ | $N_{eff, Lutz}$ k=1,2 | $N_{eff, Lutz}$ k=1,5 | $N_{eff, Lutz}$ k=1,8 |
|---|---|---|---|---|---|
| | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| 1 | 28,76 | 3,88 | 8,11 | 10,14 | 12,17 |
| 2 | 27,18 | 3,41 | 8,09 | 10,11 | 12,13 |
| 3 | 27,49 | 4,01 | 13,46 | 16,82 | 20,19 |
| 4 | 26,98 | 3,32 | 1,42 | 1,78 | 2,14 |
| 5 | 30,69 | 5,08 | 10,53 | 13,17 | 15,80 |
| 6 | 46,74 | 10,19 | 13,57 | 16,97 | 20,36 |
| 7 | 31,67 | 4,36 | 0,87 | 1,09 | 1,31 |
| 8 | 36,34 | 6,34 | 6,85 | 8,56 | 10,27 |
| 9 | 54,78 | 14,39 | 21,43 | 26,79 | 32,15 |
| 10 | 48,88 | 11,55 | 20,82 | 26,03 | 31,23 |
| 11 | 27,38 | 3,46 | 7,06 | 8,83 | 10,59 |
| 12 | 43,55 | 8,88 | 4,55 | 5,68 | 6,82 |
| 13 | 45,51 | 11,05 | 21,30 | 26,62 | 31,95 |

Im Modell wurde der Effektivniederschlag als Bemessungsregen angesetzt. Daraus resultieren die folgenden Szenarien:

- Szenario 3: Referenzzustand; Modellregen = $N_{eff, SCS (90\%/100\%)}$
- Szenario 9: Modellregen = $N_{eff, Lutz, k=1,2}$
- Szenario 10: Modellregen = $N_{eff, Lutz, k=1,5}$
- Szenario 11: Modellregen = $N_{eff, Lutz, k=1,8}$

Für die Szenarien 9 bis 11 wurde ausschließlich der Modellregen variiert. Sowohl die angesetzten Rauheitsbeiwerte als auch die Wirbelviskosität wurden entsprechend Szenario 3 angesetzt.

Tabelle 17: Veränderung der innerörtlichen Abflusswerte durch Variation des Modellregens (SCS vs Lutz-Verfahren)

| **Querschnitt** | **Hydrologischer Längsschnitt – SCS vs. Lutz** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Szenario 3** | **Szenario 9** | **Szenario 10** | **Szenario 11** |
| | **[m³/s]** | **[m³/s]** | **[m³/s]** | **[m³/s]** |
| obh. Barnstädt | 2,50 | 9,82 | 17,85 | 26,66 |
| unth. Barnstädt | 2,74 | 12,54 | 21,34 | 30,32 |
| obh. Göhrendorf | 2,76 | 21,43 | 21,43 | 30,31 |
| obh. Nemsdorf | 2,85 | 10,30 | 13,47 | 16,97 |
| unth. Nemsdorf | 4,23 | 19,32 | 24,70 | 28,80 |
| obh. Obhausen | 4,29 | 19,89 | 25,77 | 30,53 |

Durch Erhöhung des Regenvolumens mittels Korrekturfaktor für das Verfahren nach Lutz ergeben sich höhere Abflusswerte innerhalb der Ortslagen. Abhängig von der Größe des Korrekturfaktors sind die Abflusswerte bis zu 10-fach größer als im Referenzzustand S3. Während für Szenario 3 die vor Ort beobachtete Drosselwirkung am Bahndamm zwischen Nemsdorf und Göhrendorf nicht abgebildet wird, ergibt sich beispielsweise für Szenario 11 eine Drosselung um ca. 12 m³/s.

Aus den erhöhten Abflusswerten resultieren ebenfalls höhere Wasserspiegellagen im gesamten Modellgebiet. Numerisch sind die Differenzen an den Auswertepunkt in Tabelle 18 dargestellt. Anhand der Differenzwerte wird ersichtlich, dass ein globaler Korrekturfaktor von 1,8 notwendig ist um die gemessenen Wasserstände an den Hochwassermarken zu erreichen.

Die Variation des Modellregens hat gezeigt, dass das Modell auf die hydrologischen Eingangsdaten sehr sensibel reagiert. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass durch ein vergrößertes Regenvolumen auch die Variation der $k_{st}$-h-Funktionen und Wirbelviskositäten größere Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse haben wird. Allerdings ist hierfür ein Kompromiss zu finden, da die Hydrologie im Rahmen der Hydraulik als festgelegter Eingangsparameter gilt. Hierfür ist eine weitere Rücksprache mit dem AG erforderlich.

Tabelle 18: Veränderung der berechneten Wasserspiegellagen durch Variation des Modellregens (SCS vs Lutz-Verfahren; Differenzen bezogen auf Messwerte)

| ID | Mess-wert | Szenario3 | | Szenario 9 | | Szenario 10 | | Szenario 11 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [-] | [m NHN] | WSP [m NHN] | Diff. [m] | WSP [m NHN] | Diff. [m] | WSP [m NHN] | Diff. [m] | WSP [m NHN] | Diff. [m] |
| P1 | 198,89 | 197,91 | -0,98 | 189,51 | -0,51 | 189,63 | -0,39 | 189,75 | -0,27 |
| P2 | 198,77 | 197,91 | -0,87 | 189,92 | -0,89 | 190,28 | -0,53 | 190,57 | -0,24 |
| P3 | 199,27 | 198,65 | -0,62 | 189,80 | -0,93 | 190,19 | -0,54 | 190,39 | -0,34 |
| P4 | 190,73 | 189,55 | -1,18 | 198,41 | -0,36 | 198,61 | -0,16 | 198,79 | 0,02 |
| P5 | 190,81 | 189,66 | -1,15 | 198,43 | -0,46 | 198,64 | -0,25 | 198,82 | -0,07 |
| P6 | 190,02 | 189,45 | -0,57 | 198,65 | -0,62 | 198,69 | -0,58 | 198,90 | -0,37 |
| P7 | 189,49 | 188,40 | -1,09 | 189,19 | -0,30 | 189,33 | -0,17 | 189,48 | -0,01 |
| P8 | 159,50 | 188,51 | -1,00 | 189,19 | -0,31 | 189,33 | -0,18 | 189,48 | -0,02 |
| P9 | - | 198,21 | - | 198,67 | - | 198,85 | - | 199,00 | - |
| P10 | - | 185,56 | - | 186,35 | - | 187,05 | - | 187,65 | - |

#### 3.4.2.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Die Variation der Rauheitsparameter und Viskosität wurde für den Referenzregen gemäß SCS – Verfahren für eine Bodenvorfeuchte von 90 % und einem Bedeckungsgrad von 100 % durchgeführt. In den Berechnungsergebnissen ergaben sich für die Variationen sehr geringfügige Unterschiede sowohl im Wasserspiegel als auch im Abfluss. Ursache hierfür ist vor allem das geringe Niederschlagsvolumen als Modelleingangsparameter, wodurch niedrige Wasserstände mit < 2 cm in den Außengebieten dazu führen, dass bspw. die Variationen der $k_{st}$-h-Funktion nicht zum Tragen kommt.

Darüber hinaus konnten bekannte Fließwege und Wasserstände in den Ortslagen nicht abgebildet werden. Daher erfolgte eine Variation der Niederschlagsdaten, welche erwartungsgemäß zu einem erhöhtem Abfluss in der Ortslagen führte. Durch das erhöhte Abflussvolumen ist auch ein größerer Einfluss durch die Variation der $k_{st}$-h-Funktionen zu erwarten.

In Rücksprache mit dem Auftraggeber ist zur Generierung plausibler Berechnungsergebnisse für die Modellkalibrierung und Bemessungsrechnung eine Anpassung im hydrologischen Modellansatz vorzunehmen. Hierfür wurde das Verfahren nach Lutz als Grundlage angewendet und mit Hilfe eines empirischen Korrekturfaktors angepasst. Eine ausführliche Beschreibung zur Herleitung erfolgte in Kap. 3.3.2.3.

### 3.4.3 Modellkalibrierung (Mai 2017)

Die Kalibrierung des 2D-Modells erfolgte anhand des Modellzustandes 1. Das heißt, sämtliche Strukturen (Geometrie, Nutzungen etc.) die nach 2017 vor Ort errichtet wurden, wurden aus dem Modell entfernt. Zur Herleitung des Modellregens für die Kalibrierung wurde das Verfahren nach Lutz verwendet und mit Hilfe eines Korrekturfaktors von 1,8 modifiziert (vgl. Kap. 3.3.2.3). Für die Modellkalibrierung wurde das Starkregenereignis vom 19. Mai 2017 betrachtet.

Die Modellkalibrierung erfolgte anhand der Hochwassermarken P1 bis P8, welche sich im Wesentlichen in 3 Bereichen (vgl. Abbildung 22 ) befinden:

- Bereich 1: Friedensplatz Barnstädt (P1; P2; P3)
- Bereich 2: Dorfstraße Göhrendorf (P4; P5; P6)
- Bereich 3: Friedenseiche Göhrendorf (P7; P8)

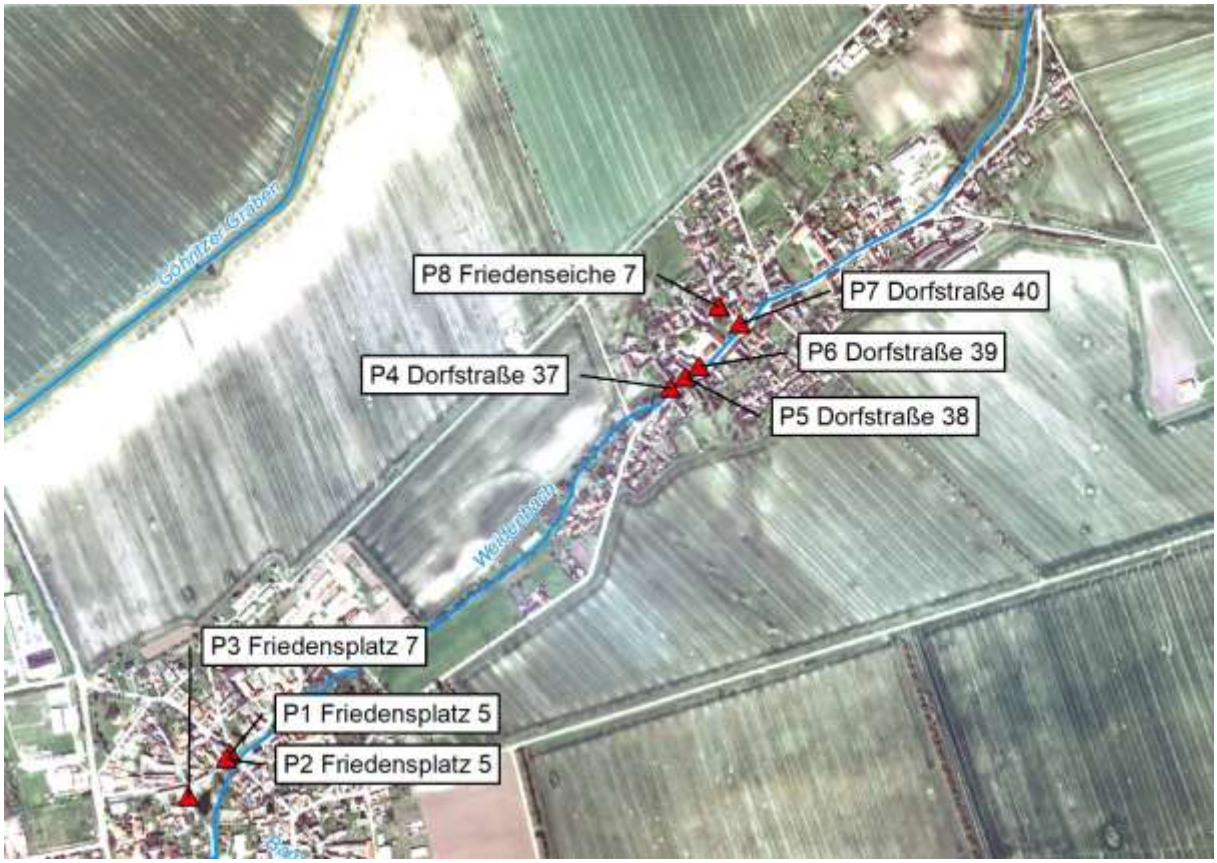


Abbildung 22: Für die Modellkalibrierung relevante Hochwassermarken in Barnstädt und Göhrendorf

Die Strömungsverhältnisse im Bereich 1 sind durch Zuströmungen aus südlicher und westlicher Richtung beeinflusst. Darüber hinaus sind die HW-Marken P1 und P2 im Oberwasser der Straßenbrücke Kirchstraße am Weidenbach. Die HW-Marken des zweiten Bereichs befinden sind linksseitig des

Weidenbachs ca. 100 m unth. der Straßenbrücke Wiesenweg. Beeinflusst wird die Strömungssituation durch den Weidenbach und zwei Fußgängerbrücken. Im Bereich 3 wurden weitestgehend konstante Wasserspiegellagen („ausgespiegelt“) zum Zeitpunkt des Starkregenereignisses festgellt.

Zur Annäherung des berechneten Wasserspiegels an den Messwert wurden die angesetzten $k_{st}$-h-Funktionen innerhalb eines plausiblen Bereichs (maximal $^{+}$/- 20%) variiert (vgl. Anlage A-4), bis die Differenz zwischen berechneten und gemessenen Wasserstand kleiner 10 cm betragen. Hierbei wurden ausschließlich die $k_{st}$-h-Funktionen für die im Bereich der HW-Marken definierten Rauheitszonen variiert. Darüber hinaus wurden die rechnerisch ermittelten Fließwege mit den Erfahrungsberichten vor Ort verglichen und auf Plausibilität geprüft.

Die Ergebnisse der Modellkalibrierung sind in der folgenden Tabelle 19 zusammengefasst und zeigt, dass die berechneten Wasserspiegellagen für den Kalibrierungszustand 3 (K3) im Bereich 1 in Barnstädt an zwei HW-Marken eine gute Annäherung an die gemessenen Wasserstände darstellt. Lediglich an P3 werden deutlich niedrigere Wasserstände erreicht. Ursache für die Abweichung an P3 können sowohl Messfehler als auch lokale Fließhindernisse (Verklausung, Geschiebetransport) sein, die bei der 2D-HN-Simulation nicht berücksichtigt werden können.

Im zweiten Bereich entlang des Weidenbachs in Göhrendorf ergeben sich durchschnittlich -28 cm niedrigere Wasserstände als vor Ort an den Hausfassaden gemessen. Differenzen in dieser Größenordnung können nicht im Rahmen plausibler $k_{st}$-Werte generiert werden. Daher ist davon auszugehen, dass die beobachteten Wasserstände aufgrund von Rückstau durch Verklausungen an den beiden Fußgängerbrücken in diesem Bereich entstanden. Da im verwendeten 2D-HN Modell kein Geschiebetransport berücksichtigt wird, kann der Einfluss von Treibgut und Verklausung nicht abgebildet werden.

Im Bereich Friedenseiche in Göhrendorf zeigt der Kalibrierungszustand K3 eine sehr gute Annäherung an die vor Ort beobachteten Wasserstände. Hier sind die numerische berechneten Wasserstände durchschnittlich -1 cm niedriger als die Messwerte.

Tabelle 19: Ergebnisse der Modellkalibrierung für die jeweiligen Kalibrierungszustände (K)

| ID | Messwert | K1 | | K2 | | K3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [-] | [m NHN] | WSP [m NHN] | Diff. [m] | WSP [m NHN] | Diff. [m] | WSP [m NHN] | Diff. [m] |
| P1 | 198,89 | 198,82 | -0,07 | 198,82 | -0,07 | 198,85 | -0,04 |
| P2 | 198,77 | 198,79 | 0,02 | 198,80 | 0,03 | 198,82 | 0,05 |
| P3 | 199,27 | 198,90 | -0,37 | 198,90 | -0,37 | 198,92 | -0,35 |
| P4 | 190,73 | 190,39 | -0,34 | 190,39 | -0,34 | 190,39 | -0,34 |
| P5 | 190,81 | 190,57 | -0,24 | 190,56 | -0,25 | 190,56 | -0,25 |
| P6 | 190,02 | 189,75 | -0,27 | 189,75 | -0,27 | 189,76 | -0,26 |
| P7 | 189,49 | 189,48 | -0,01 | 189,47 | -0,02 | 189,49 | 0,00 |
| P8 | 159,50 | 189,48 | -0,02 | 189,47 | -0,03 | 189,48 | -0,02 |

Neben der numerischen Auswertung der Wasserspiegellagen im Bereich der Hochwassermarken erfolgte ein Vergleich von simulierten und beobachteten Fließwegen. Da sich die Art, Menge und Ausdehnung der Fließwege für die jeweiligen Kalibrierungszustände nur sehr geringfügig unterscheiden, erfolgt der Vergleich von berechneten Überschwemmungsflächen und Beobachtungen vor Ort [8] im Folgenden ausschließlich für den Kalibrierungszustand K3.

Im Bereich „Höllischer Teich“ in Barnstädt wurde eine vollständige Überströmung des Teiches und Friedensplatzes beobachtet. welche auch im Zuge der Modellkalibrierung abgebildet werden (vgl. Abbildung 23). Das heißt, dass trotz der numerischen Abweichungen an der Hochwassermarke P3 in diesem Bereich alle relevanten Fließwege und Betroffenheiten generiert wurden.

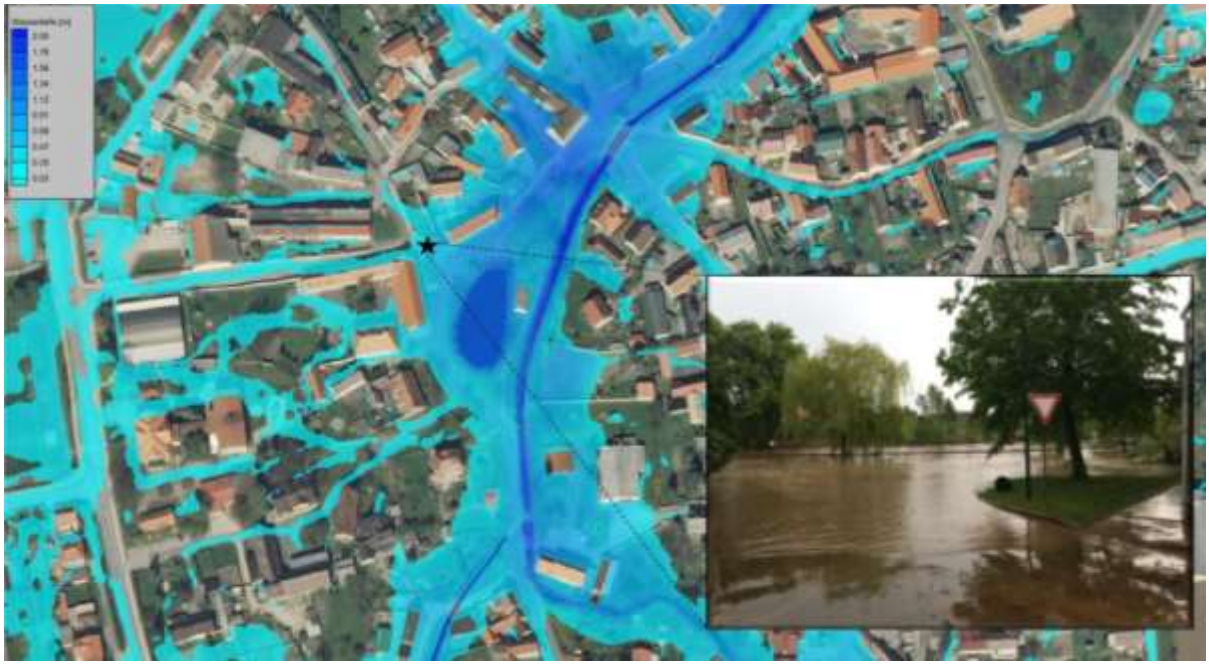

Abbildung 23: Berechnete Überschwemmungsflächen im Vergleich zur vor Ort beobachteten Strömungssituation am 19.05.2017 in Barnstädt [8]

Im Bereich der K2265 (Bereich 2 – Dorfstraße Göhrendorf) wurde eine vollständige Überströmung der Straße und Hinterströmung der Anlieger beobachtet. Diese Strömungsprozesse werden im Kalibrierungszustand K3 ebenfalls abgebildet. Zudem wurde ein verklausungsbedingter Rückstau an der Fußgängerbrücke im Bereich der Dorfstraße 39 festgestellt, welcher die Abweichungen numerisch bestimmter Wasserspiegellagen im Vergleich zu beobachteten Wasserständen erklären lässt (vgl. Abbildung 24).

Im Bereich Friedenseiche werden sowohl die vor Ort festgestellten Fließwege als auch Wasserstände mit dem Kalibrierungszustand K3 sehr gut abgebildet (vgl. Abbildung 25).

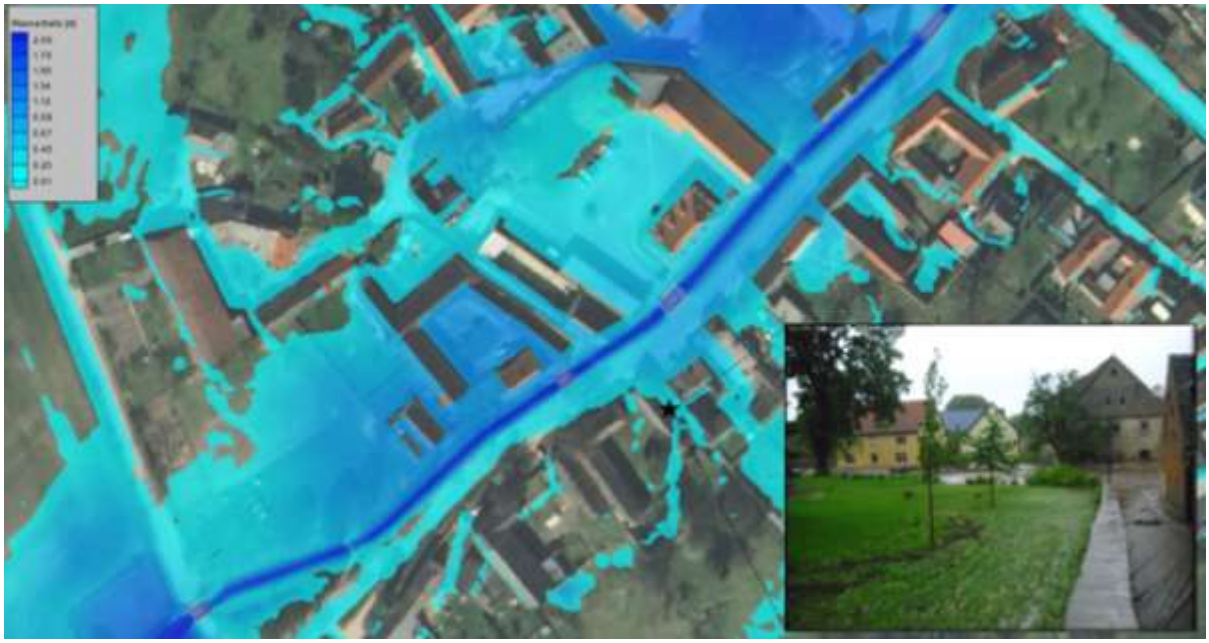

Abbildung 24: Berechnete Überschwemmungsfläche im Vergleich zur Vor Ort beobachteten Strömungssituation am 19.05.2017 im Bereich der Dorfstraße in Göhrendorf[2]

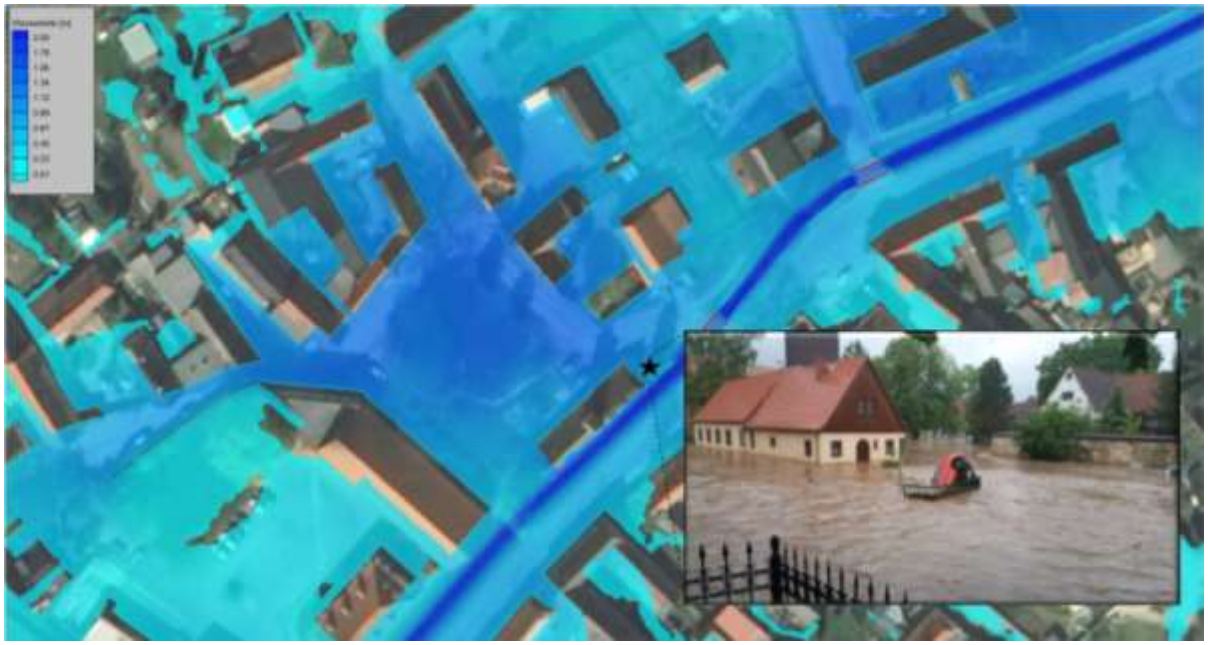

Abbildung 25: Berechnete Überschwemmungsfläche im Vergleich zur Vor Ort beobachteten Strömungssituation am 19.05.2017 im Bereich der Dorfstraße in Göhrendorf [8]

Der Kalibrierungszustand K3 zeigt eine sehr gute Annäherung an die vor Ort festgestellten HotSpots. Trotz teilweise abweichender Wasserstände im Bereich der Hochwassermarken, wird die

[2] Quelle: unbekannt (Anwohner)

Strömungssituation in Barnstädt, Nemsdorf und Göhrendorf realitätsnah abgebildet. Somit wird für die Herleitung der Starkregengefahren im Untersuchungsgebiet der Rauheitszustand gemäß Kalibrierungszustand K3 verwendet.

## 3.5 Wahl des Bemessungsregens

Die Ableitung des Bemessungsregens erfolgte mit dem Verfahren nach Lutz und einem Korrekturfaktor von 1,8 gemäß Kap. 3.3.2.3. Die Berechnung des Modellregen des Typs EULER II erfolgte für die Wiederkehrintervalle T 50 Jahre und T 100 Jahre. Die erforderlichen Bruttoniederschlagsdaten wurden aus dem KOSTRA-DWD-2010R-Atlas [1] exportiert und der effektive Niederschlag wurde mittels Verfahren nach Lutz je TEZG bestimmt (Vorgehensweise gemäß Kap. 3.3.2.3).

In der folgenden Tabelle 20 sind die Bruttoniederschläge nach [1] und die ermittelten Effektivniederschläge zusammengefasst. Der effektive Niederschlag je Zeitschritt ist exemplarisch für das TEZG 9 in Abbildung 26 dargestellt. Eine numerische Zusammenfassung je Zeitschritt ist der Anlage A-5 zu entnehmen. Diese bilden die Grundlage der Bemessungsrechnung.

Tabelle 20: Zusammenfassung der ermittelten Niederschlagssummen gemäß dem Verfahren nach Lutz mit einem Korrekturfaktor von 1,8 von $N_{50}$ und $N_{100}$ für den Bemessungsregen

| TEZG ID | $N_{50}$ | | $N_{100}$ | |
|---|---|---|---|---|
| | $N_{Brutto}$ | $N_{eff, Lutz, 1,8}$ | $N_{Brutto}$ | $N_{eff, Lutz, 1,8}$ |
| | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| 1 | 46,36 | 24,53 | 51,61 | 28,80 |
| 2 | 46,36 | 28,37 | 51,61 | 33,44 |
| 3 | 46,36 | 38,39 | 51,61 | 43,94 |
| 4 | 46,36 | 3,92 | 51,61 | 4,46 |
| 5 | 46,66 | 26,37 | 51,95 | 30,11 |
| 6 | 45,94 | 19,76 | 51,13 | 24,02 |
| 7 | 49,22 | 2,13 | 54,97 | 2,37 |
| 8 | 48,21 | 15,01 | 53,77 | 17,42 |
| 9 | 48,97 | 27,07 | 55,80 | 33,15 |
| 10 | 47,20 | 29,48 | 52,61 | 35,13 |
| 11 | 47,46 | 28,44 | 52,88 | 33,98 |
| 12 | 50,57 | 8,92 | 56,51 | 10,88 |
| 13 | 50,57 | 36,96 | 56,51 | 43,03 |

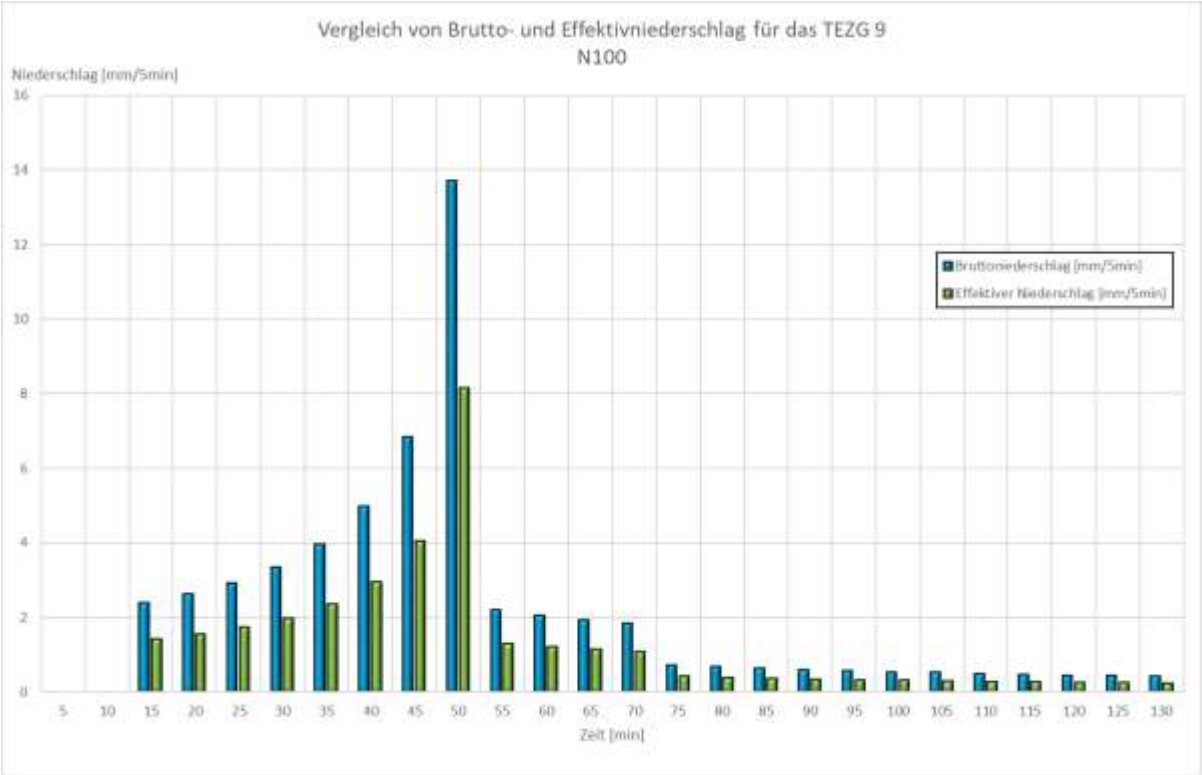


Abbildung 26: Niederschlagsverteilung für ein $N_{100}$ in Teileinzugsgebiet an des Typs Euler II

## 3.6 2D-HN Starkregensimulation

Die 2D-HN Starkregensimulation erfolgte mit dem Finite Volumen Programm Hydro-AS der Version 5.2. Als Berechnungsnetz wurde der Modellzustand MZ 2 (vgl. Kap. 3.2) verwendet. Das heißt bekannte Strukturen die nach Mai 2017 im Untersuchungsgebiet errichtet wurden, sind im Modell enthalten. Dies betrifft beispielsweise eine Baumgruppierung obh. von Barnstädt, die zur Minimierung von Bodenerosionen errichtet wurde. Darüber hinaus wurden innerhalb der Ortslagen Grundstücksmauern als Hochwasserschutz errichtet, welche ebenfalls vor Ort aufgenommen und in das 2D-HN-Modell implementiert wurden (vgl. Abbildung 27).

Der Rauheitszustand wurde gemäß Kalibrierungszustand K3 (vgl. Kap. 3.4.3) angesetzt und um eine bereits aus der Voruntersuchung [7] umgesetzte Maßnahmen ergänzt. Oberhalb von Barnstädt wurden Heckenpflanzungen sowie Hecken-/Grünstreifenpflanzungen vorgenommen, welche zur Verringerung von Erosionsprozessen beitragen soll. Diese wurden als separate Rauheitszonen in das Modell implementiert (vgl.

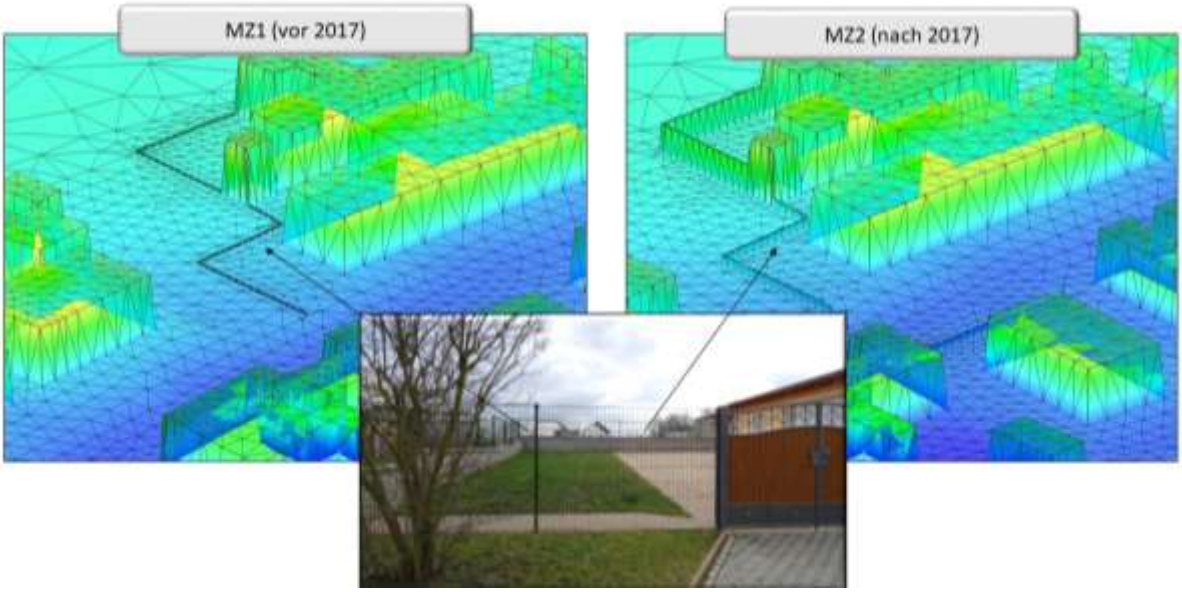


Abbildung 27: Vergleich der Modellzustände MZ1 (Kalibrierungszustand) und MZ2 (Modellzustand zur Bemessungsrechnung) im Bereich Oechlitzer Straße 12, Barnstädt

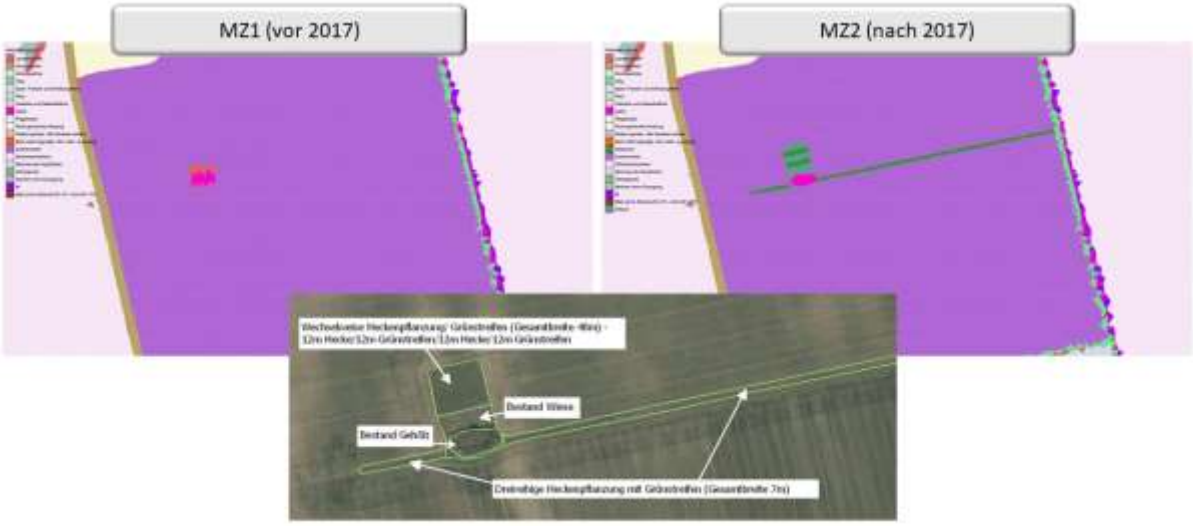


Abbildung 28: Umgesetzte Maßnahme (B2_M2 gemäß [7]) in MZ2 zur Ableitung der Starkregengefahren

Als Modelleingangsgrößen wurden die in Kap. 3.5 abgeleiteten Niederschlagsganglinien angesetzt. Die Angabe der Niederschläge erfolgt für Hydro-AS in mm/h, womit eine Umrechnung der angegebenen Niederschlagswerte erforderlich wurde.

Als Auslaufrandbedingung wurde obh. von Obhausen ein Energieliniengefällt von rd. 7,08 ‰ angenommen. Darüber hinaus wurden die folgenden globalen Parameter für die hydronumerische Berechnung von N50 und N100 angesetzt:

| | |
|---|---|
| Simulationszeit: | 43.200 s |
| Zeitintervall SMS: | 300 s |
| Zeitintervall Q_Strg: | 30 s |
| $H_{min}$: | 0,002 m |
| VELMAX: | 15 m/s |
| $A_{min}$: | 0,1 |
| CMUVISC: | 0,6 |
| CFL: | 0,8 |
| SCF: | 1 |

## 3.7 Ableitung Starkregengefahren

Die Ableitung der Starkregengefahren erfolgt auf Grundlage der Berechnungsergebnisse für die Lastfälle $N_{50}$ und $N_{100}$. Zur Generierung der Wassertiefen wurden die im Modellgebiet über die gesamte Simulationszeit maximalen Wasserspiegellagen mit der Geländehöhe in SMS verschnitten. Die Wassertiefen wurden anschließend exportiert und mittels ArcGIS kartografisch aufbereitet. Bei der Aufbereitung der Berechnungsergebnisse wurden die Überschwemmungsflächen unter Berücksichtigung der folgenden Kriterien ausgedünnt:

- Flächen < 5 m²,
- Flächen, die nicht im Umkreis (> 2 m) eines Fließweges mit einer Einzugsgebietsgröße > 1.000 m² liegen.

Dadurch wird eine potentielle Überschätzung des Überflutungsrisikos minimiert. Anschließend erfolgt eine Objektbezogene Gefahrenableitung anhand von Wasserstandsklassifizierungen gemäß [19] (vgl. Anlage B-5.1 und B-5.2). Dabei wird die Überflutungsgefahr in den vier Klassen gering, mäßig, hoch und sehr hoch ausgewiesen. Diese Klassen sind abhängig von dem an Objekten anliegenden Wasserstand, wobei z.B. ein geringer Wasserstand (< 0,1 m) auch eine geringe Überflutungsgefahr für das betreffende Objekt bedeutet. Im Auswerteprozess wurde mit einer räumlichen Distanz von 10 cm gerechnet.

Im Folgenden werden die Strömungsverhältnisse bezogen auf die jeweiligen Ortsteile analysiert. Zur Visualisierung und Bewertung der Strömungssituation wird das Hilfsprogramm „Hydro-AS MapView“ verwendet. Diese Programm ist an die Simulationssoftware Hydro-AS-2D gekoppelt und ermöglicht die Visualisierung von Stromlinien. Als Hintergrund können sowohl Straßenkarten (OpenStreetMaps) als auch Luftbilder (Microsoft Bing-Maps) angezeigt werden. Zu beachten ist, dass die Visualisierung der Wassertiefen so gewählt wurde, dass nur die relevanten Fließwege dargestellt werden. Die in den Anlagen B-5.1 und B-5.2 enthalten eine vollständige Abbildung der Wassertiefen.

**Starkregengefahren in Barnstädt**

In der gesamten Ortslage ergeben sich lokal mäßige bis sehr hohe Starkregengefahren. Die wesentlichen HotSpots für $N_{50}$ und $N_{100}$ in Barnstädt ergeben sich im Bereich des Weidenbachs, Barnstädter Grabens sowie an der Oechlitzer Straße. Diese resultieren aus (vgl. Abbildung 29 und Abbildung 30)

- Außengebietszuflüssen,
- Abflussprozessen an innerörtlichen Fließgewässern (Weidenbach und Barnstädter Graben) und
- innerörtlichen Abflussbildungsprozessen.

Abbildung 29: Strömungssituation in Barnstädt mit Wassertiefen > 3 cm bei einem Niederschlagsereignis $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps)

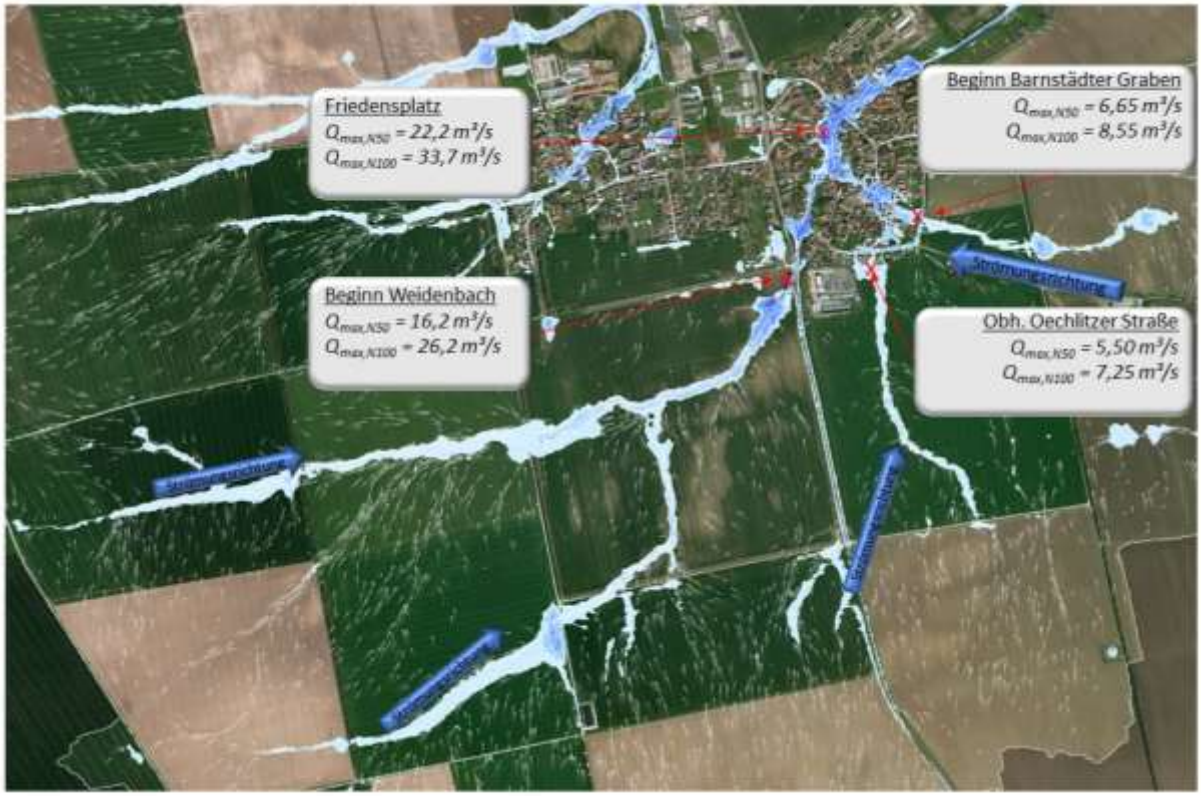


Abbildung 30: Strömungssituation in Barnstädt mit Wassertiefen > 10cm aufgrund von einem Niederschlagsereignis $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps)

Die wesentlichen und für die Starkregengefährdung innerhalb von Barnstädt relevanten Außengebietszuflüsse (vgl. Abbildung 30) bilden sich auf den landwirtschaftlichen Flächen südlich der Ortslage. In diesem Bereich kommt es zur unkontrollierten Abflussbildung und -Konzentration auf den Ackerflächen. Das heißt es sind keine Grabenstrukturen vorhanden, die ein kontrolliertes Zuströmen in den Weidenbach ermöglichen. Maßgebend hierbei sind die Zuströmung süd-westlich und südlich der Ortslage, da diese den Abfluss am Weidenbach im Bereich des Ortseintritts direkt beeinflussen. Hier strömen bei einem $N_{100}$ bis zu 26,2 m³/s unterhalb der Rückhaltebecken dem Weidenbach zu, welche zu sehr hohen Starkregengefahren in der Ortslage führen.

Der Bereich Oechlitzer Straße wird durch einen Außengebietszufluss aus südlicher Richtung unkontrolliert überströmt. Dabei entstehen Wasserstände von bis zu 30 cm entlang der Straße und an den anliegenden Gebäuden. Die Entwässerung der Oechlitzer Straße erfolgt oberflächig und unkontrolliert in nördlich Richtung in den Barnstädter Graben. Dementsprechend ergeben sich in Abhängigkeit vom anstehenden Wasserstand mäßig bis hohe Starkregen gefährdete Objekte.

Abbildung 31: HotSpots in Barnstädt für ein $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps); Wassertiefen > 10 cm

Zur unkontrollierten Zuströmung von der Oechlitzer Straße wird der Barnstädter Graben zusätzlich von Fließwegen der angrenzenden Ackerflächen aus süd-östlicher und östlicher Richtung gespeist. Dementsprechend ergibt sich ein maximaler Abfluss von 8,55 m³/s für $N_{100}$ und 6,65 m³/s für $N_{50}$ im Barnstädter Graben, was das tatsächliche schadlose Abflussvermögen des Grabens übersteigt. Die resultierenden Ausuferungen und durch starkregenbedingte unkontrollierte Strömungen in diesem Bereich verursachen hohe bis sehr hohe Einstaugefahren an den jeweiligen Gebäuden.
Weitere Starkregengefahren ergeben sich in Bereichen von Straßenzügen, bei denen sich der Abfluss aufgrund des Niederschlages auf der Oberfläche bildet und akkumuliert. Beispielsweise kommt es im Bereich der Eichstädterstraße zu einer oberflächigen Strömungsbildung, welche im UW des Friedensplatzes in den Weidenbach mündet.

Die Gefährdungsanalyse zeigt, dass vor allem der Ortskern eine erhöhte Starkregengefährdung besteht. In Tabelle 21 erfolgt für die gesamte Ortslage Barnstädt eine statistische Auswertung. Neben der Objektbezogenen Auswertung sind ganze Straßenzüge in Barnstädt aufgrund von Starkregen überströmt (Wassertiefen > 10 cm). Von wesentlicher Bedeutung für die Ortslage ist die Ortsdurchfahrt Friedensplatz, die bei Starkregenereignissen ($N_{50}$ und $N_{100}$) vollständig überströmt wird. Zudem wird die Friedrich-Weise Straße im Bereich des Barnstädter Grabens teilweise überströmt, sodass eine vollständige Passierbarkeit in diesem Bereich nicht gegeben ist.

Tabelle 21: Statistik Überflutungsgefahr in Barnstädt

| Überflutungsgefahr-Klasse | Anzahl Objekte $N_{100}$ | Anzahl Objekte $N_{50}$ |
|---|---|---|
| ohne | 339 | 366 |
| gering | 108 | 109 |
| mäßig | 105 | 108 |
| hoch | 50 | 40 |
| sehr hoch | 49 | 28 |
| **Summe** | **651** | **651** |

**Starkregengefahren in Göhritz**

Die Ortslage Göhritz weist überwiegend geringe bis mäßige Betroffenheiten aufgrund von Starkregen auf. Bei einem wesentlichen HotSpot im nordwestlichen Bereich ergeben sich teilweise sehr hohe Wasserstände > 50 cm. Die Starkregengefahren in Göhritz resultieren aus

- einem Außengebietszufluss aus westlicher Richtung (vgl. Abbildung 32) und
- innerörtlichen Abflussbildungsprozessen (vgl. Abbildung 34).

Abbildung 32: Strömungssituation in Göhritz mit Wassertiefen > 10cm aufgrund von einem Niederschlagsereignis $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps)

Maßgebend für die hoch bis sehr hoch kategorisierten Objekte und Flächen ist der Zufluss von den westlich angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen. Hier kommt es zur unkontrollierten Akkumulation des Oberflächenwassers und tritt über den Luppens Weg und Göhritzer Straße mit einem maximalen Abfluss von ca. 10,5 m³/s bei N100 in die Ortslage ein. Dabei entstehen teilweise Wasserstände > 0,5 m an den anliegenden Gebäuden. Die höchsten Wasserstände werden im Ortskern im Bereich der Schulstraße erreicht ehe das Oberflächenwasser teilweise in einem kleinen Graben (Göhritzer Graben) gefasst und in nördlicher Richtung abgeleitet wird (vgl. Abbildung 33). Die Leistungsfähigkeit des Grabens ist allerdings stark begrenzt, sodass bei einem Abfluss von maximal 11,0 m³/s für $N_{100}$ in diesem Bereich dennoch eine größer laterale Ausdehnung der Überschwemmungsfläche entsteht.

Abbildung 33: HotSpot in Göhritz für ein $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps); Wassertiefen > 10 cm

Abbildung 34: Strömungssituation in Göhritz mit Wassertiefen > 3 cm bei einem Niederschlagsereignis $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps)

Die betroffenen Objekte im südlich der Göhritzer Straße entstehen aufgrund lokaler Abflussbildungsprozessen und Abflusskonzentrationen. Die Entwässerung erfolgt oberflächig sowohl in nördliche Richtung als auch in Richtung Sportplatz und Barnstädt. In diesem Bereich sind keine größeren Außengebietszuflüsse vorhanden (vgl. Abbildung 34).

Die Gefährdungsanalyse zeigt, dass vor allem der Ortskern eine erhöhte Starkregengefährdung besteht. In Tabelle 22 erfolgt für die gesamte Ortslage eine statistische Auswertung. Neben der Objektbezogenen Auswertung sind ganze Straßenzüge in Göhritz aufgrund von Starkregen betroffen (Wassertiefen > 10 cm). Aufgrund der Überströmung der Göhritzer Straße und Schulstraße ist eine direkte Zuwegung zum nord-westlichen Ortsteil bei Starkregenereignissen ($N_{50}$ und $N_{100}$) nicht möglich.

Tabelle 22: Statistik Überflutungsgefahr in Göhritz

| Überflutungsgefahr-Klasse | Anzahl Objekte $N_{100}$ | Anzahl Objekte $N_{50}$ |
|---|---|---|
| ohne | 237 | 276 |
| gering | 182 | 166 |
| mäßig | 96 | 77 |
| hoch | 13 | 11 |
| sehr hoch | 11 | 9 |
| **Summe** | **539** | **539** |

**Starkregengefahren in Göhrendorf**

Sehr hohe Überflutungsgefahren ergeben sich in Göhrendorf entlang der Dorfstraße durch den Weidenbach. Diese resultieren aus (vgl. Abbildung 35)

- Abflussprozessen am Weidenbach und
- Außengebietszuflüssen.

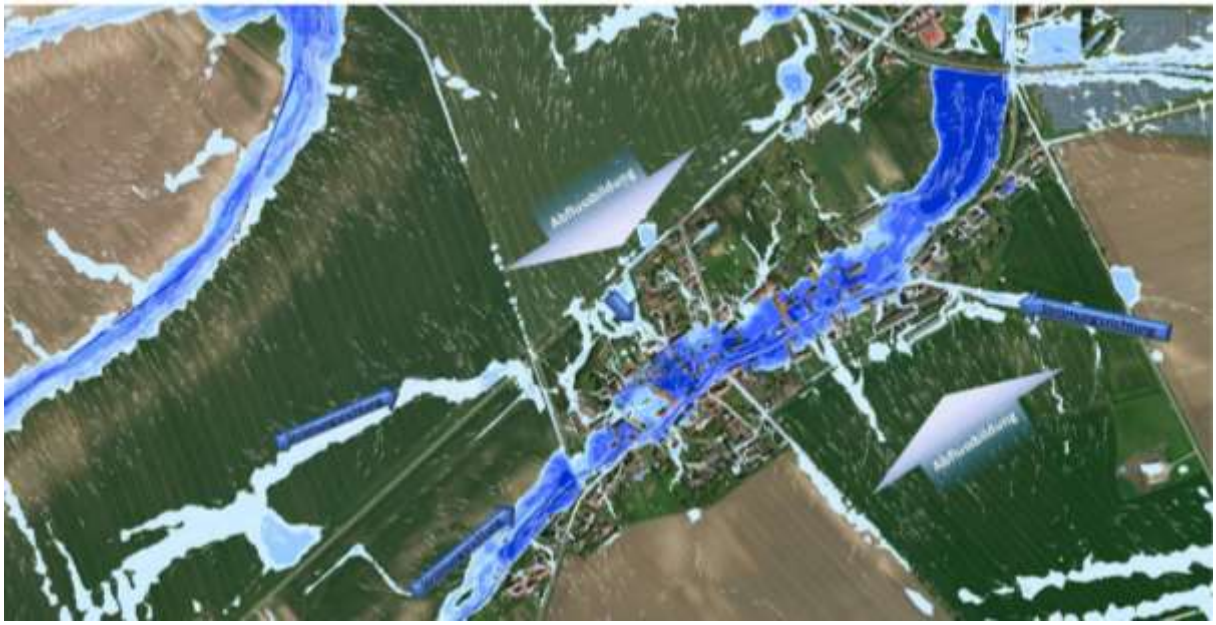

Abbildung 35: Strömungssituation in Göhrendorf mit Wassertiefen > 3 cm bei einem Niederschlagsereignis $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps)

Maßgebend für die sehr hohe Überflutungsgefahr in Göhrendorf ist der Weidenbach. Durch die großflächige Abflussakkumulation in Barnstädt führt das Gewässer bereits 33,3 m³/s bei einem $N_{100}$ und 22,4 m³/s bei einem $N_{50}$ oberhalb von Göhrendorf (vgl. Abbildung 36). Aufgrund der verhältnismäßig niedrigen hydraulischen Leistungsfähigkeit des Weidenbachs sowie der querenden Straßenbrücken kommt es daher in der gesamten Ortslage links- und rechtsseitig zu Überschwemmungen. Im linksseitigen Vorland entstehen durch die Ausuferungen teilweise Sekundärströmungen die auch im Hinterland zu Überströmungen von Grundstücken führen.

Zudem tragen Außengebietszuflüsse von den angrenzenden Ackerflächen nördlich und südlich der Ortslage zur Erhöhung des Abflusses am Weidenbach in der Ortslage bei. Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass es nicht zur Akkumulation des Oberflächenwasser auf den landwirtschaftlichen Flächen kommt, allerdings strömen diese unkontrolliert und großflächig in Richtung Ortslage. Lediglich im Bereich der Schulstraße und Dorfstraße zeigt sich eine erhöhte Abflusskonzentration, die aufgrund der Topographie jedoch in Richtung Weidenbach entwässern und lokal die Überströmungsgefahr erhöhen.

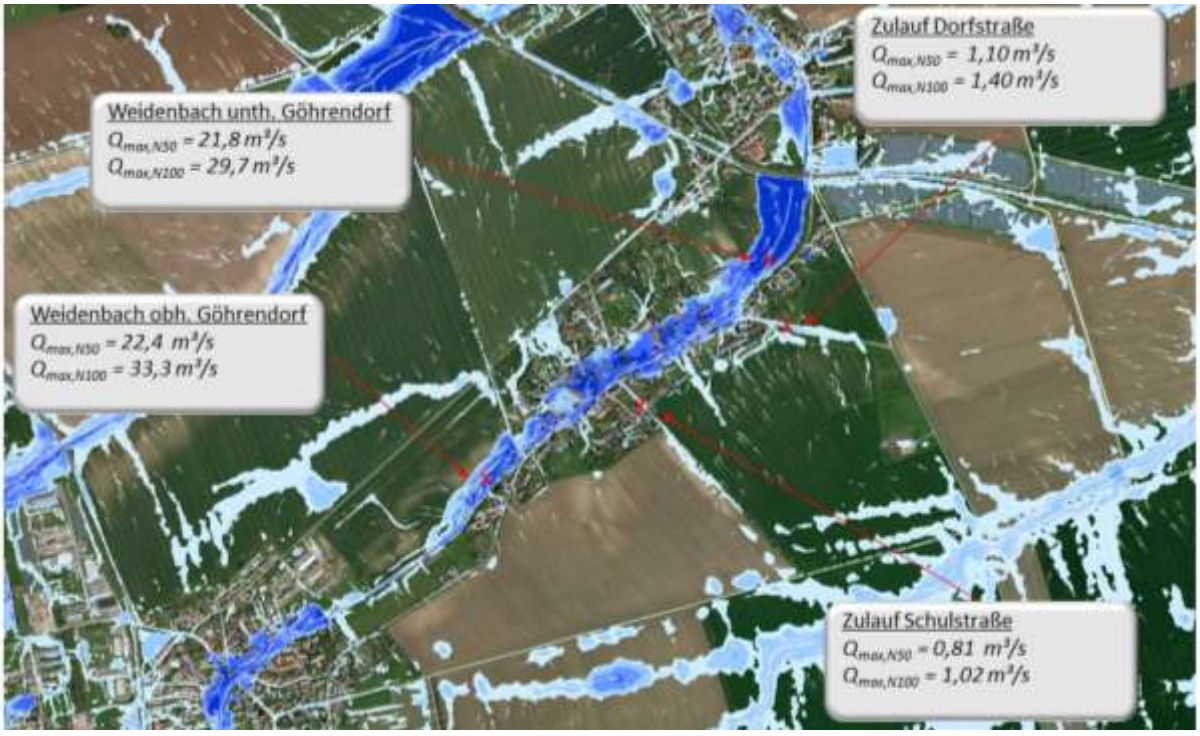


Abbildung 36: Strömungssituation in Göhrendorf mit Wassertiefen > 10 cm aufgrund von einem Niederschlagsereignis $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps)

Abbildung 37: HotSpot am Weidenbach in Göhrendorf für ein $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps); Wassertiefen > 10 cm

Unterhalb der Ortslage Göhrendorf beträgt der maximale Abfluss ca. 29,7 m³/s bei $N_{100}$ und ca. 21,8 m³/s bei $N_{50}$, ehe es zur Abflussdrosselung am Durchlass des Bahndamms kommt. Die

Rückstauwirkung der Abflussdrossel hat keinen signifikanten Einfluss auf die schadhafte Abflussführung in Göhrendorf, beeinflusst jedoch das Abflussgeschehen in Nemsdorf.

Gemäß der Gefährdungsanalyse sind sämtliche Anlieger am Weidenbach erhöhten Überflutungsgefahren ausgesetzt. Somit sind diese als ein HotSpot zu betrachten (vgl. Abbildung 37). Eine statistische Auswertung der betroffenen Objekte in der gesamten Ortslage erfolgt in Tabelle 23. Neben der Objektbezogenen Auswertung sind ganze Straßenzüge in Göhrendorf aufgrund von Starkregen überströmt (Wassertiefen > 10 cm). Von wesentlicher Bedeutung für die Ortslage ist die Dorfstraße als Ortsdurchfahrt, die bei Starkregenereignissen ($N_{50}$ und $N_{100}$) vollständig überströmt wird.

Tabelle 23: Statistik Überflutungsgefahr in Göhrendorf

| Überflutungsgefahr-Klasse | Anzahl Objekte $N_{100}$ | Anzahl Objekte $N_{50}$ |
|---|---|---|
| ohne | 208 | 218 |
| gering | 54 | 58 |
| mäßig | 41 | 43 |
| hoch | 26 | 27 |
| sehr hoch | 85 | 68 |
| **Summe** | **414** | **414** |

**Starkregengefahren in Nemsdorf**
In der gesamten Ortslage Nemsdorf ergeben sich lokal mäßige bis sehr hohe Starkregengefahren. Die wesentlichen HotSpots für $N_{50}$ und $N_{100}$ in Nemsdorf ergeben sich im Bereich des Weidenbachs, Göhritzer Grabens sowie nördlich des Holzweges und an der Hallgasse. Diese resultieren aus (vgl. Abbildung 38)

- Außengebietszuflüssen,
- Abflussprozessen am Weidenbach
- Abflussprozessen am Göhritzer Graben sowie
- innerörtlichen Abflussbildungsprozessen.

Abbildung 38: Strömungssituation in Nemsdorf mit Wassertiefen > 3 cm bei $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps)

Die Starkregengefahren für $N_{100}$ und $N_{50}$ kann für die Ortslage Nemsdorf in 5 wesentliche Hotspots unterteilt werden. Diesen sind teilweise unterschiedliche Ursachen für die Starkregengefährdung zuzuordnen (vgl. Abbildung 39).

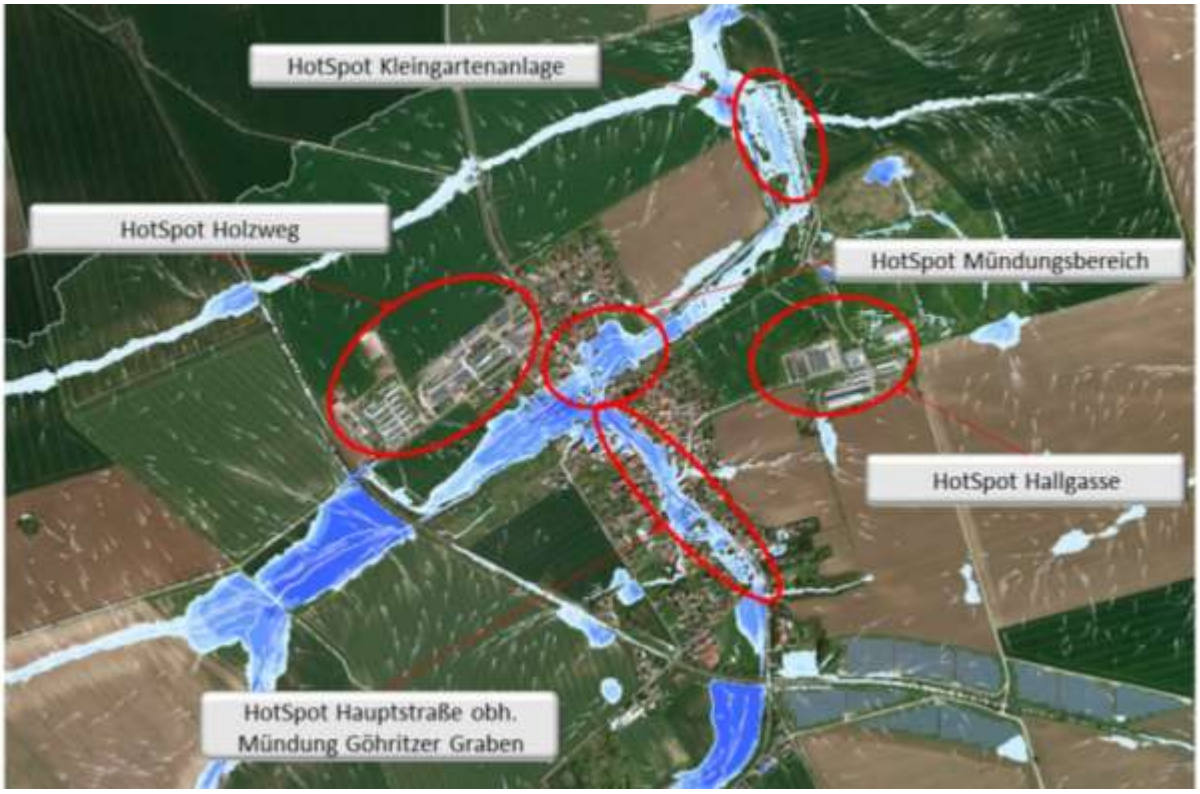


Abbildung 39: HotSpots in Nemsdorf für ein $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps); Wassertiefen > 10 cm

Die Betroffenheiten an der Hauptstraße obh. der Mündung des Göhritzer Grabens in den Weidenbach, resultieren aus der erhöhten Abflussführung im Weidenbach. Trotz der Drosselwirkung durch den Bahndamm zwischen Göhrendorf und Nemsdorf wird hier ein maximaler Abfluss von 20,0 m³/s für $N_{100}$ und 15,2 m³/s für $N_{50}$ erreicht (vgl. Abbildung 40). Aufgrund der verhältnismäßig geringen Leistungsfähigkeit des Weidenbachs und der Überfahrten kommt es zu beidseitigen Ausuferungen, die bei den Anliegern zu mäßig bis sehr hohen Einstaugefahren bei Starkregen verursachen. Zudem wird der Bereich zwischen Bahndamm und obh. Mündung Göhritzer Graben durch Außengebietszuflüssen beeinflusst, die zu weiteren Starkregengefahren führen.

Als weiterer Hotspot ist der Mündungsbereich am Göhritz Graben und Weidenbach. Hier kommt es zur Überlagerung der jeweiligen Gewässer, so dass im Kreuzungsbereich Hauptstraße-Gartenstraße-Denkmal hohe bis sehr hohe Überströmungsgefahren entstehen.

Die nördlich der Ortslage Nemsdorf befindliche Kleingartenanlage wird aufgrund von Ausuferungen des Weidenbachs sowie Außengebietszuflüssen aus östlicher Richtung verursacht. Bereits im Oberwasser der Kleingartenanlage kommt es zu Ausuferungen am Weidenbach, die teilweise als sekundäre Strömung parallel zum Gewässer in die Anlage strömen.

Unabhängig vom Weidenbach und dem Göhritzer Graben treten mäßig bis sehr hoch klassifizierte Starkregengefahren im Bereich des landwirtschaftlichen Betriebes nördlich des Holzweges und im

Bereich der Hallgasse östlich der Ortslage auf. Diese resultieren überwiegend aus Abflussbildungsprozessen und lokale Abflussakkumulationen, die nicht kontrolliert abgeführt werden.

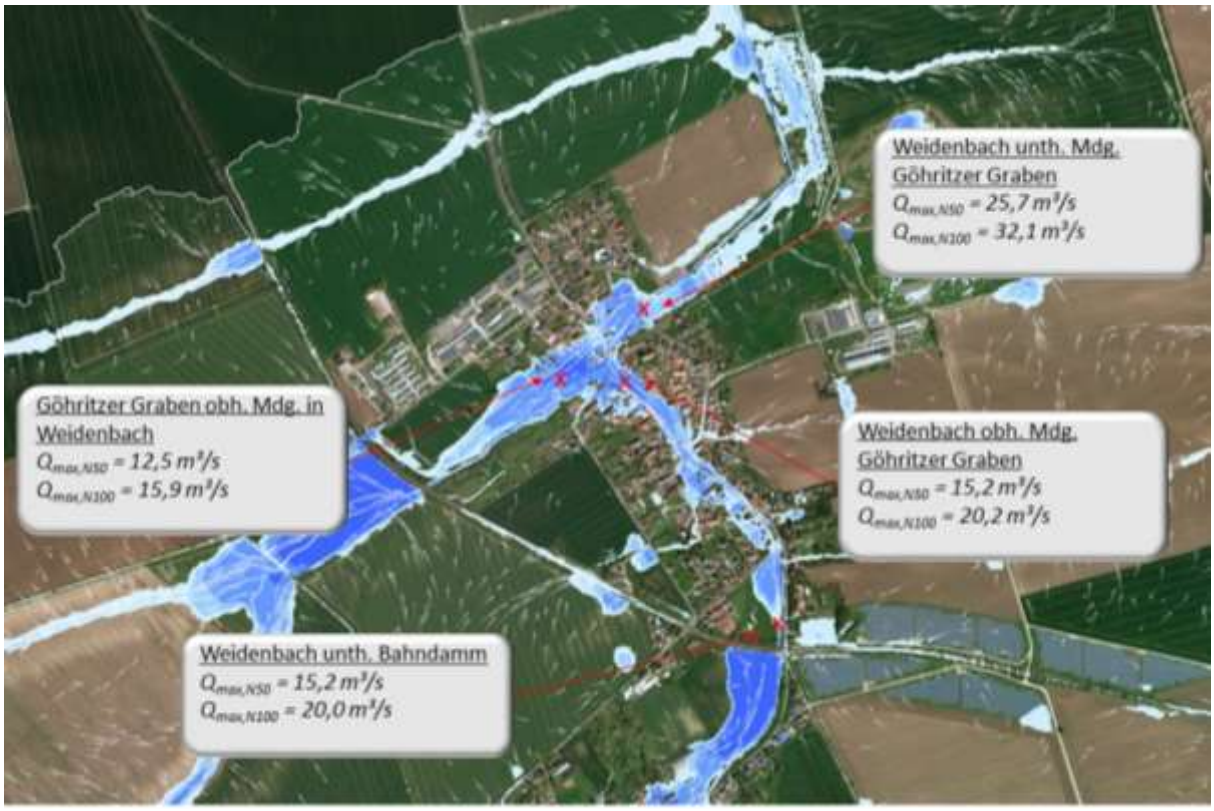


Abbildung 40: Abflussaufteilung in Nemsdorf mit Wassertiefen > 10cm für $N_{100}$ (Hintergrund: Microsoft Bing-Maps)

Die Gefährdungsanalyse zeigt, dass die Starkregengefahren in Nemsdorf in 5 Hotspots zusammengefasst werden kann. Eine statistische Auswertung der betroffenen Objekte ist in der folgenden Tabelle 24 zusammengefasst. Neben der Objektbezogenen Auswertung sind ganze Straßenzüge in Nemsdorf aufgrund von Starkregen überströmt (Wassertiefen > 10 cm). Von wesentlicher Bedeutung für die Ortslage sind die Hauptstraße als Ortsdurchfahrt und die Hallgasse im Bereich der Feuerwehr, die bei Starkregenereignissen ($N_{50}$ und $N_{100}$) vollständig überströmt wird.

Tabelle 24: Statistik Überflutungsgefahr in Nemsdorf

| Überflutungsgefahr-Klasse | Anzahl Objekte $N_{100}$ | Anzahl Objekte $N_{50}$ |
|---|---|---|
| ohne | 291 | 337 |
| gering | 135 | 126 |
| mäßig | 189 | 183 |
| hoch | 60 | 46 |
| sehr hoch | 53 | 36 |
| **Summe** | **728** | **728** |

## 3.8 Fehlerbetrachtung

### 3.8.1 Potentielle Gefährdungsbereiche

Neben den vorhandenen Überflutungs- bzw. Gefährdungsgebieten gibt es des Weiteren zusätzliche Bereiche im Untersuchungsgebiet, bei denen potentielle Gefährdungen bei zusätzlichen Einflüssen wie Verklausungen o. ä. vorliegen. Insbesondere sind davon Querbauwerke wie Brücken oder Durchlässe betroffen. Es gibt einzelne Bauwerke, die bei zusätzlichen Störeffekten zu Überströmungen bzw. Ausuferungen führen können. Vor allem in Ortslagen kann dies zu zusätzlichen Schäden führen.

### 3.8.2 Ausdehnung Modellnetz

Die laterale Abgrenzung eines Berechnungsnetzes sollte bei einer Starkregensimulation eine Abbildung aller potentiellen Fließwege ermöglichen. Daher sollte gewährleistet werden, dass sämtliche in das Untersuchungsgebiet entwässernde Teileinzugsgebiete berücksichtigt werden.

Das verwendete Modell wurde dahingehend geprüft und in seiner lateralen Ausdehnung als ausreichend bewertet.

### 3.8.3 Daten-, Modell- und Ergebnisunsicherheiten

Neben den ausgewiesenen potentiellen Gefährdungsbereichen bleibt immer noch die Unsicherheit dahingehend bestehen, dass die durchgeführten Untersuchungen auf einem Modell basieren. Jeder Untersuchungsschritt besitzt allgemeine Fehlerquellen, die bei der Analyse der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen. In der folgenden Tabelle sind diese Unsicherheiten bzw. Fehlerquellen aufgeführt:

Tabelle 25: Daten-, Modell- und Ergebnisunsicherheiten

| | Unsicherheiten/Fehlerquelle | mögliche Auswirkungen |
|---|---|---|
| **Daten** | • Vermessung<br>• DGM (Abweichung)<br>• Hydrologie<br>• Aktualität von Geodaten<br>• Hochwassermarken | • Messfehler, ungenaue Höhen am Gewässer<br>• Aktualität der Vermessungsdaten<br>• Fehlertoleranz der Laserscanvermessung → ±15 cm<br>• Generalisierung von Niederschlagsdaten<br>• Abweichungen von Geländeinformationen zu Realität<br>• Messung des Wasserspiegels für Hochwassermarken an Hausfassaden und Geschwemmsellinien (meist höher als tatsächlicher Wasserstand) |
| **Modell** | • Bruchkanten<br>• Höheninformationen | • Abweichungen an lokalen Stellen im Höhenmodell durch fehlende |

| | **Unsicherheiten/Fehlerquelle** | **mögliche Auswirkungen** |
|---|---|---|
| | • Numerische Fehler<br>• Parameter<br>• Kalibrierung, Pegel<br>• zusätzliche Einflüsse zur potentiellen Gefährdung (Abflussverhalten, Treibgut, Sediment und Geschiebetransport) | Höheninformationen bzw. zu kleine Strukturen<br>• Stabilitätsprobleme (WSP-Schwankungen)<br>• lokale Abweichung von angesetzten Rauheitswerten aufgrund geringer Anzahl an Referenzpunkten für die Modellkalibrierung (Annahme von Erfahrungswerten) |
| **Ergebnisse** | • Höhenraster für Verschneidung<br>  ○ Abweichungen zu Modellhöhen<br>  ○ keine Bruchkanten<br>  ○ kleinräumige Strukturen<br>• Aufbereitung Ergebnisdaten (TIN)<br>  ○ Interpolation, Triangulation | • Abweichungen oder Fehlen von im hydraulischen Modell ausgewiesenen Überströmungen<br>• DGM (Abweichung)<br>• Abweichung in den ÜSG-Flächen |

**Rauheitsparameter $k_{st}$**

Für die Definition wasserstandsabhängiger $k_{st}$-Funktionen wurden die im Kap. 3.3.1 beschriebenen Parameter ansatzweise berücksichtigt. Allerdings hängen die $k_{st}$-h-Funktionen von weiteren physikalischen Parametern ab, welche im Folgenden exemplarisch näher erläutert sind:

- Hydrodynamische Kraft — Angreifende Kraft aufgrund der Fließgeschwindigkeit (beeinflusst Knickverhalten von Pflanzen)
- Gewichtskraft — Gewichtskraft des Niederschlages (hohe Regenkonzentrationen können ein frühzeitiges Knickverhalten bei Pflanzen verursachen)
- Zeit — Bei abnehmendem Wasserstand (abnehmender Abfluss) ist ein anderes Rauheitsverhalten als bei zunehmendem Wasserstand (z.B. Mais)

Aufgrund der Qualität der bereitgestellten Grundlagendaten, den hochauflösenden Höheninformationen, den hydraulischen Modellen und der automatisierten Ergebnisaufbereitungen und -plausibilisierungen werden die allgemeinen Fehlerquellen und Unsicherheiten als nicht erheblich eingestuft.
Die wesentlichen Fehlerquellen wurden frühzeitig erkannt, beschrieben und behoben.

# 4 Starkregenrisikoanalyse

## 4.1 Schadenspotentiale

Zur Abschätzung des Schadenpotentials von möglichen Überflutungen betroffener Flächen und Objekte wurden folgende Datengrundlagen verwendet:

- ALK Daten (Geometrien und Nutzung) [9]
- Denkmalliste [20]
- Digitale Orthofotos [4]

Aus diesen Datensätzen wurden die relevanten Objekte extrahiert und ggf. digitalisiert. Dabei mussten unzureichende Attributierungen der Grundlagendaten bzw. unvollständige Daten bereinigt werden. Dies betraf z.B. die Klassifikation von Wohngebäuden der ALK-Daten. Es erfolgte ein Abgleich der Gebäude mit den Adresskoordinaten der ALK (Punkte). Dabei wurde davon ausgegangen, dass jedes Wohngebäude und jedes gewerblich genutzte Gebäude eine Adresse besitzt. In dem ALK-Datensatz der Gebäude sind solche Gebäude mitunter als „nicht spezifiziert“ geführt. Alle nicht spezifizierten Gebäude, denen keine Adresse zugewiesen werden konnte, wurden als „sonstige Gebäude“ übernommen.

Nach Klassifizierung der digitalisierten Objekte erfolgte die Definition der Schadenspotentialklassen auf Grundlage der in Tabelle 26 angegebenen Festlegungen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass das Schadenspotential bzw. Schutzbedürfnis von der jeweiligen Nutzung abhängt. Das es heißt findet eine nicht-monetäre Schadenspotentialanalyse statt. Die Ergebnisse sind in Anlage B-4 kartografisch aufbereitet.

In der Schadenspotentialanalyse erfolgt keine Klassifizierung infrastruktureller Strukturen. Das heißt es erfolgt keine Bewertung hinsichtlich Schaden an Straßen oder Bahnlinien. Vor allem für das Krisenmanagement relevante Strukturen wurden im Zuge der Starkregengefährdungsanalyse (vgl. Kap. 3.7) erfasst und bei der Maßnahmenableitung (vgl. Kap. 5) berücksichtigt

Tabelle 26: Schadenspotentialklassen nach Nutzungsart gemäß [19]

| SPK | Nutzungsart | Schadenspotential |
|---|---|---|
| 1 | • Kleingarten/ Kleingartenbebauung/Wochenendsiedlung<br>• Parkanlagen/Grünflächen<br>• sonstige Sportplätze<br>• Flächen für Freizeit und Erholung<br>• Friedhof<br>• Spielplatz<br>• Freibad<br>• sonstige Gebäude<br>• Garagen | gering |
| 2 | • Wohnbebauung ohne Untergeschoss<br>• Einzelhandel/Kleingewerbe | mäßig |

| SPK | Nutzungsart | Schadenspotential |
|---|---|---|
| | • Gebäude für Freizeitgestaltung<br>• Sonderobjekte Sport/Freizeit (z.B. Golfplatz)<br>• Silo/Tank geschlossen<br>• Flächen Industrie und Gewerbe (keine Gebäude)<br>• Deponie<br>• gemischt genutzte Bebauung<br>• Gebäude für Erholungszwecke | |
| 3 | • Wohnbebauung mit Untergeschoss (bewohnt)<br>• Industrie/Gewerbe/Tagebau<br>• Gebäude für kulturelle Zwecke<br>• Gebäude für öffentliche Zwecke<br>• Gebäude für Land- und Forstwirtschaft/Ställe<br>• Baugebiete<br>• Silo (offen)<br>• Wegekreuz,<br>• Denkmal ohne Denkmaleinstufung<br>• Gaststätten | hoch |
| 4 | • Kindergarten/Krankenhaus/Altenheim<br>• Schule/Turnhalle<br>• Rettungsdienste/Polizei<br>• Energieversorgung/Telekommunikation<br>• Anlagen zur Ver- und Entsorgung (z.B. Abwasserpumpanlagen)<br>• Tiefgarage<br>• Unterführungen<br>• Museum/Burg/Denkmal<br>• Kirche/Kapelle<br>• Verwaltungsgebäude<br>• Solaranlagen (auf Gelände)<br>• Wasserbehälter<br>• Brunnen Trinkwasserversorgung<br>• Silo (Mist) | sehr hoch |

**Schadenspotential in Barnstädt**

Die Ortslage Barnstädt ist von Wohngebäuden und gewerblich genutzten Objekten geprägt. Dementsprechend ergeben sich überwiegend Objekte mit mäßig bis hohem Schadenspotential. Öffentlich genutzte Gebäude, wie zum Beispiel der Kindergarten am Friedensplatz und die Grundschule an der Steigraer Straße, und Denkmal geschützte Flächen haben in Barnstädt ein sehr hohes Schadenspotential. Dementsprechend sind diese als besonders schützenswerte Objekte zu kategorisieren. Eine statistische Auswertung für die erfassten Gebäude in Barnstädt erfolgt in Tabelle 27. Insgesamt ergeben sich 39 besonders schützenswerte Objekte in der Ortslage.

Tabelle 27: Statistik Schadenspotentiale in Barnstädt

| Schadenspotentialklasse | Anzahl Gebäude |
|---|---|
| ohne | - |
| gering | 1 |
| mäßig | 511 |
| hoch | 100 |
| sehr hoch | 39 |
| **Summe** | **651** |

**Schadenspotential in Göhritz**

In Göhritz sind überwiegend Wohngebäude und gewerblich genutzte Objekte mit mäßig bis hohem Schadenspotential vorhanden. Der Denkmal-geschützte Ortskern entlang der Schulstraße sowie die Kirche an der Göhritzer Straße haben innerhalb der Ortslage ein sehr hohes Schadenspotential. Ergänzend hierzu ist die freistehende Solaranlage am Göhritzer Graben mit sehr hohem Schadenspotential zu kategorisieren. Eine statistische Auswertung für die erfassten Gebäude in Göhritz erfolgt in Tabelle 27. Insgesamt ergeben sich 36 besonders schützenswerte Objekte in der Ortslage.

Tabelle 28: Statistik Schadenspotentiale in Göhritz

| Schadenspotentialklasse | Anzahl Gebäude |
|---|---|
| ohne | - |
| gering | 1 |
| mäßig | 431 |
| hoch | 71 |
| sehr hoch | 36 |
| **Summe** | **539** |

**Schadenspotential in Göhrendorf**

In der Ortslage Göhrendorf sind ca. 90 % der Gebäude Wohngebäude oder gewerblich genutzte Gebäude mit mäßigem Schadenspotential. Besonders schützenswerte Objekte mit sehr hohem Schadenspotential sind vor allem Denkmal-geschützte Bereiche, wie zum Beispiel die Gebäude des Agrarunternehmens Barnstädt eG am Weidenbach. Weiterhin besitzt die freistehende Photovoltaikanlage im Bereich der Bahnlinie östlich des Weidenbachs ein sehr hohes Schadenspotential.

Tabelle 29: Statistik Schadenspotentiale in Göhrendorf

| Schadenspotentialklasse | Anzahl Gebäude |
|---|---|
| ohne | - |
| gering | 0 |
| mäßig | 373 |
| hoch | 18 |
| sehr hoch | 23 |
| **Summe** | **414** |

**Schadenspotential in Nemsdorf**
In Nemsdorf sind vor allem öffentlich genutzte Gebäude (z.B. Kindergarten, Verwaltungsgemeinschaft Wein-Weida-Land) und Denkmal-geschützte Objekte mit sehr hohem Schadenspotential. Ca. 87 % der Gebäude in Nemsdorf haben ein mäßiges Schadenspotential.

Tabelle 30: Statistik Schadenspotentiale in Nemsdorf

| Schadenspotentialklasse | Anzahl Gebäude |
|---|---|
| ohne | - |
| gering | 1 |
| mäßig | 632 |
| hoch | 82 |
| sehr hoch | 13 |
| **Summe** | **728** |

## 4.2 Risikobewertung

Bei der Risikobewertung wird zwischen Überflutungsgefahr und Überflutungsrisiko unterschieden. Die Überflutungsgefahr (vgl. Kap. 3.7) ergibt sich aus der räumlichen Nähe von Gebäuden und Flächen zu den überfluteten Flächen und deren Wassertiefen. Die Ausweisung der Überflutungsgefahr ist Grundlage für die Ermittlung des Überflutungsrisikos.

Das Überflutungsrisiko von Gebäuden und Flächen wird aus der Kombination von Schadenspotentialklasse (vgl. Kap. 4.1) und Überflutungsgefahr (vgl. Kap. 3.7) ermittelt. Die Bewertungsmatrix zur Beurteilung des Überflutungsrisikos ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Mit Hilfe der Risikobewertung werden Bereiche abgeleitet, welche im Zuge der Maßnahmenableitung prioritär zu schützen sind.

Tabelle 31: Bewertungsmatrix zur Ableitung des Überflutungsrisikos

| | | Schadenspotential | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | gering | mäßig | hoch | sehr hoch |
| Überflutungsgefahr | gering | gering | mäßig | mäßig | hoch |
| | mäßig | mäßig | mäßig | hoch | hoch |
| | hoch | mäßig | hoch | hoch | sehr hoch |
| | sehr hoch | hoch | hoch | sehr hoch | sehr hoch |

Das abgeleitete Starkregenrisiko für jedes Objekt ist für die Lastfälle N50 und N100 in den Anlagen B-6.1 und B-6.2 kartografisch aufbereitet und stellt die Grundlage der Maßnahmenkonzeption dar.

**Starkregenrisiko in Barnstädt**
Im Bereich der bereits beschriebenen HotSpots (vgl. Kap. 3.7) entlang des Weidenbachs und des Barnstädter Grabens ergibt sich nach Verknüpfung der Einstauhöhen und den Schadenspotentialen ein hohes bis sehr hohes Starkregenrisiko. Dementsprechend sind diese Bereiche bei der Maßnahmenableitung mit sehr hoher Priorität zu betrachten.

Mit mäßig bis hoher Priorität sind die Risiken im Bereich der Oechlitzer Straße zu bewerten. Eine statistische Auswertung der Gebäude in Barnstädt erfolgt in Tabelle 32. Ergänzend zu den hohen bis sehr hohen Starkregenrisiken an Gebäuden ist bei der Maßnahmenableitung auf die Passierbarkeit der Dorfstraße zu achten.

Tabelle 32: Statistik Starkregenrisiko in Barnstädt

| Starkregenrisikoklasse | Anzahl Objekte $N_{100}$ | Anzahl Objekte $N_{50}$ |
|---|---|---|
| ohne | 339 | 366 |
| gering | 1 | 1 |
| mäßig | 185 | 193 |
| hoch | 110 | 81 |
| sehr hoch | 16 | 10 |
| **Summe** | **651** | **651** |

**Starkregenrisiko in Göhritz**
Analog zur sehr hohen Starkregengefahr im Ortskern ist auch das Starkregenrisiko entlang der Göhritzer Straße und Schulstraße sehr hoch. Zudem besteht für die Photovoltaik-Anlage am Göhritzer Graben eine sehr hohe Starkregengefahr. Die durch Abflussbildungsprozesse betroffenen Gebäude im südlichen Bereich der Ortslage haben lediglich ein mäßiges Starkregenrisiko.

Die statistische Auswertung in Tabelle 33 zeigt, dass für die Ortslage ein überwiegend mäßiges Starkregenrisiko besteht.

Tabelle 33: Statistik Starkregenrisiko in Göhritz

| Starkregenrisikoklasse | Anzahl Objekte $N_{100}$ | Anzahl Objekte $N_{50}$ |
|---|---|---|
| ohne | 237 | 276 |
| gering | 0 | 0 |
| mäßig | 249 | 220 |
| hoch | 47 | 38 |
| sehr hoch | 6 | 5 |
| **Summe** | **539** | **539** |

**Starkregenrisiko in Göhrendorf**
Das bestehende Starkregenrisiko bei einem N100 bzw. N50 in Göhrendorf ist als mäßig bis hoch zu bewerten. Im Bereich des Weidenbachs hingegen besteht lokal ein sehr hohes Starkregenrisiko. Zudem sind, aufgrund der Überströmung der Ortsdurchfahrt, sämtliche Anlieger am Weidenbach einem erhöhtem Risiko ausgesetzt, da diese im Falle des Auftretens eines Starkregenereignisses für Rettungsdienste und Wasser-/Feuerwehren zugänglich sind. Im Zuge der gebäudebezogenen Risikobewertung werden diese Risiken hingegen nicht ausgewiesen. Bei der Maßnahmenableitung wird dieser Bereich jedoch mit einer höheren Priorität berücksichtigt.

Tabelle 34: Statistik Starkregenrisiko in Göhrendorf

| Starkregenrisikoklasse | Anzahl Objekte $N_{100}$ | Anzahl Objekte $N_{50}$ |
|---|---|---|
| ohne | 208 | 218 |
| gering | 0 | 0 |
| mäßig | 84 | 87 |
| hoch | 107 | 99 |
| sehr hoch | 15 | 10 |
| **Summe** | **414** | **414** |

**Starkregenrisiko in Nemsdorf**
Für die Ortslage Nemsdorf ergeben sich überwiegend im Bereich des Weidenbachs und des einmündenden Göhritzer Grabens hohe bis sehr hohe Starkregenrisiken. Zudem wird die Hauptstraße vollständig überströmt, sodass hier keine dauerhafte Befahrbarkeit gegeben ist. Ergänzend treten hohe bis sehr hohe Risiken im Bereich der Hallgasse östlich des Ortskerns auf.

Aufgrund des geringen Schadenspotentials gemäß Kap. 4.1 der Kleingartenanlage im nördlichen Bereich der Ortslage treten trotz der Ausuferungen des Weidenbachs mäßig bis lokal hohe Starkregenrisiken auf.

Tabelle 35: Statistik Starkregenrisiko in Nemsdorf

| Starkregenrisikoklasse | Anzahl Objekte $N_{100}$ | Anzahl Objekte $N_{50}$ |
|---|---|---|
| ohne | 291 | 337 |
| gering | 0 | 0 |
| mäßig | 292 | 279 |
| hoch | 133 | 102 |
| sehr hoch | 12 | 10 |
| **Summe** | **728** | **728** |

# 5 Ableitung kommunales Handlungskonzept

Das kommunale Handlungskonzept im Rahmen dieser Ausarbeitung umfasst Maßnahmenvorschläge zur Starkregenrisikominimierung in der Ortslagen Barnstädt, Göhritz, Göhrendorf und Nemsdorf. Die Maßnahmen sind in Anlage B-7 kartografisch dargestellt. Dabei wurde unterschieden zwischen empfohlenen bzw. aus hydraulischer Sicht erforderlicher Maßnahmen und alternativen bzw. optionalen Maßnahmen.

Die bereits im Zuge der durchgeführten Studie Teil 1 zur Verbesserung des Wasser- und Sedimentrückhalts vorgeschlagenen Maßnahmen [7] besitzen grundsätzlich weiterhin Gültigkeit. Im Rahmen der Maßnahmenbewertung (vgl. Kap. 6) werden die Maßnahmen aus [7] mit dem hier erarbeiteten Maßnahmenkonzept in Zusammenhang gebracht (vgl. Kap. 6.2).

Im Folgenden erfolgt im ersten Schritt eine Kategorisierung der vorgeschlagenen Maßnahmen, gemäß dem Merkblatt DWA M-119, mit allgemeingültigen Beschreibungen (vgl. Kap. 5.1). Anschließend erfolgen detaillierte Erläuterungen zu folgenden Themenschwerpunkten:

- Öffentlichkeitsbeteiligung
- Informationsvorsorge
- Kommunale Flächenvorsorge
- Allgemeine, kommunale Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen
- Krisenmanagement und Gefahrenabwehr
- Handlungsempfehlungen für andere Kommunen

Im letzten Schritt erfolgt eine ausführliche Beschreibung sowie qualitative Bewertung der vorgeschlagenen Maßnahmen zur Starkregenrisikominimierung. Darüber hinaus wurde aufbauend auf der Maßnahmenbewertung eine Umsetzungsstrategie entwickelt, welche die kausalen Zusammenhänge der Maßnahmenkomplexe berücksichtigt und als Hilfestellung bei der Maßnahmenumsetzung herangezogen werden kann (vgl. Kap. 6).

## 5.1 Allgemeine Maßnahmenerläuterungen

Im Folgenden werden die potentiellen Handlungsbereiche im Starkregenrisikomanagement gemäß dem Merkblatt DWA M-119 erläutert (vgl. Abbildung 41). Die für das Untersuchungsgebiet relevanten Maßnahmenvorschläge werden in den Kap. 5.2 bis Kap. 6 aufgeführt.

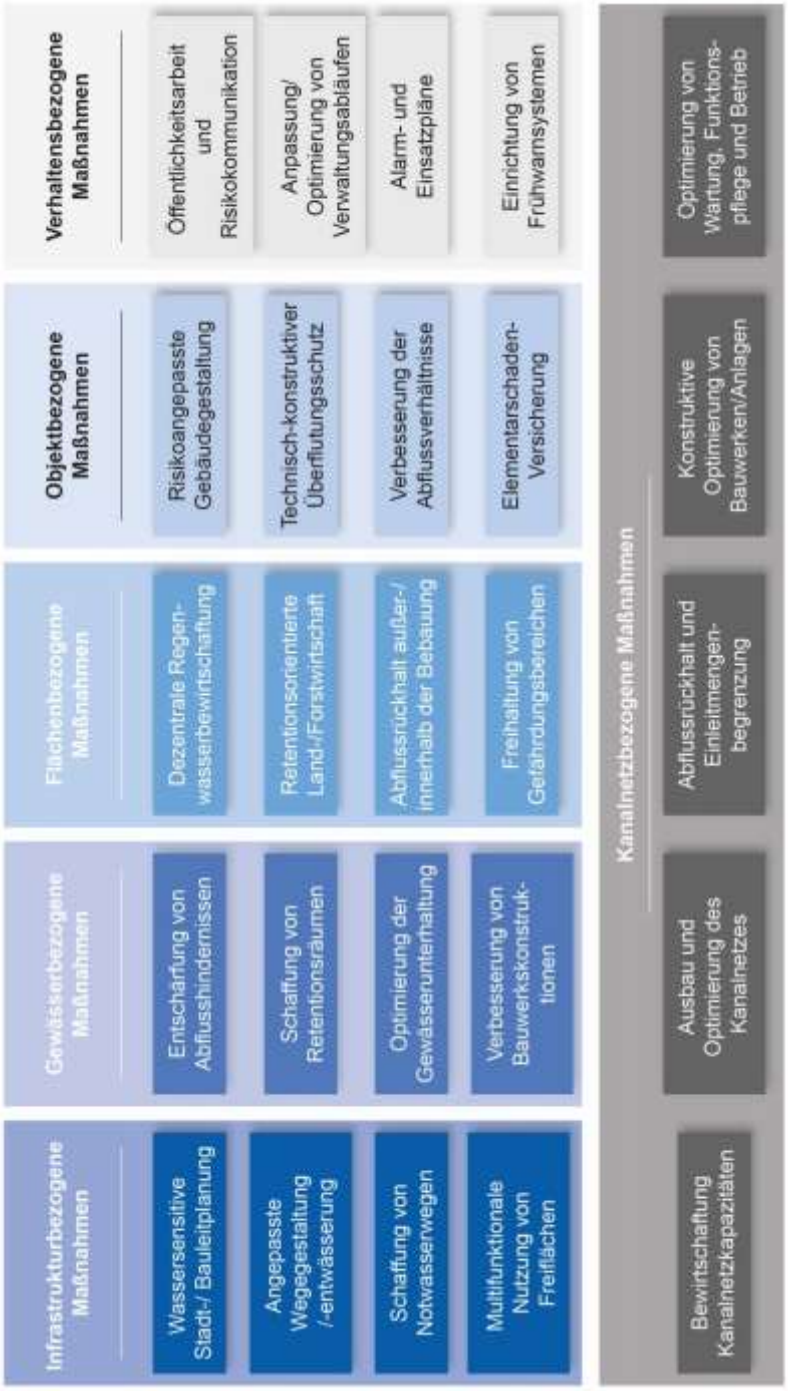


Abbildung 41: Maßnahmenkategorien und -bereiche zum Überflutungsschutz (DWA M-119)

### 5.1.1 Infrastrukturbezogene Maßnahmen

Infrastrukturbezogene Maßnahmen umfassen im Wesentlichen wassersensible Verkehrs- und Straßenplanungen. Hierzu zählen neben der gezielten Schaffung von multifunktionalen Flächennutzungen auch die Anpassung der Weggestaltung bzw. -entwässerung.

Durch Berücksichtigung von Grünstreifen als Sickermulden oder Baumpflanzungen entlang eines Gehweges mit zielgerichteter Abflussführung zu diesen Anlagen wird der innerörtliche Versiegelungsgrad und somit das Sturzflutrisiko verringert (vgl. Abbildung 42).

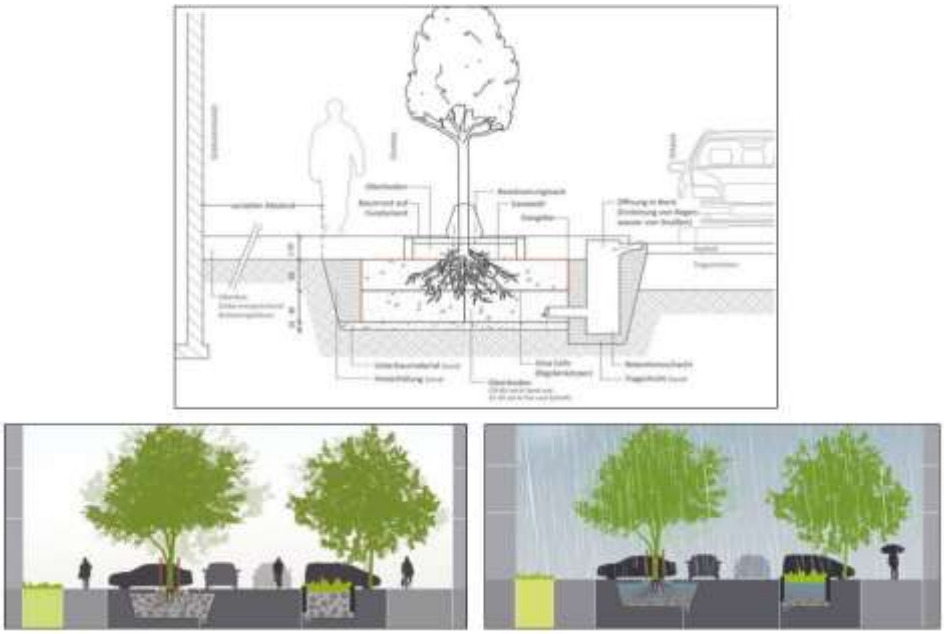

Abbildung 42: Wirkungsweise von Straßenbäumen zur Überflutungsvorsorge[3]

Zum temporären Schutz bei Starkregen können Parkanlagen, Parkplätze o.ä. einen wertvollen Nutzen mit sich bringen. Durch eine wassersensitive Bauweise können in diesem Bereich Wassermengen zurückgehalten und gedrosselt über den Regenwasserkanal nach dem Regenereignis abgeführt werden. Diese Möglichkeiten sollten bei neu angelegten Parkplätzen bspw. für den Einzelhandel oder bei Parkanlagen in Erwägung gezogen werden. Derzeit ist in den untersuchten Ortslagen kein unterirdisches Entwässerungssystem vorhanden. Dementsprechend ist die Möglichkeit der Anbindung an ein bestehendes Kanalnetzsystem nicht gegeben.

Trotz geplanter und umgesetzter Maßnahmen besteht im Bereich bisher betroffener Straßenzüge die Gefahr eines Restrisikos. Hierfür können Notwasserwege helfen, welche im Zeitraum des Starkregenereignisses vor größeren Schäden an Gebäuden schützen.

[3] https://stadtundgruen.de/artikel/strassenbaeume-als-komponente-der-ueberflutungs-und-hitzevorsorge-in-staedten-10881.html Stand: 06.01.2020

Abbildung 43: Multifunktionale Flächennutzung (li) und Schaffung von Notwasserwegen bei Starkregen am Beispiel Hamburg Volksdorf (re)

Es wird empfohlen, multifunktionale Flächen und kleinräumige Grünflächen bzw. Baumpflanzungen bei zukünftigen Bauvorhaben zu berücksichtigen. Im Maßnahmenkonzept werden je nach Ortslage Sickermulden o.ä. ausgewiesen, welche ebenfalls als multifunktionale Fläche genutzt werden können. Die Schaffung von Notwasserwegen sollte in Einzelfällen abgewogen werden, da bspw. Grundstückszufahrten die Funktionalität dieser Maßnahme im Stadtgebiet begrenzen. Allerdings kann auch hier mit mobilem Hochwasserschutz (bspw. Sandsäcke) betroffenen Anwohnern geholfen werden.

### 5.1.2 Gewässerbezogene Maßnahmen

Unter gewässerbezogenen Maßnahmen sind weniger typische Hochwasserschutzanlagen zu verstehen (HWS-Deiche), vielmehr möglichst gefährdungsmindernde Gewässergestaltungen und -unterhaltungen. Das heißt, dass bestehende Gräben im regelmäßigen Zyklus freigehalten (von Bewuchs, Sedimenten o.ä.) und zusätzliche Retentionsräume außerhalb von Ortslagen geschaffen werden. Zudem sollten historische Gräben hinsichtlich potentieller Reaktivierung überprüft werden. Die vorgesehenen Grabenneu- und -ausbauten im Maßnahmenkonzept haben das Ziel, das Wasser möglichst um die Ortslage zu führen. So werden Teileinzugsgebiete in der Ortslage verkleinert und potentielle Gefahren bei Hochwasser und Starkregen verringert.

Weiterhin ist bei Überfahrten mit Rohrdurchlässen eine offene Gewässergestaltung zu forcieren. Verklauste Rohrdurchlässe wirken als Fließhindernisse und verursachen in vielen Bereichen nachteilige

Fließwegveränderungen (bspw. Überströmung von Straßen). Mit einer Furt wird eine permanente Abflussführung im Gerinne gewährleistet. Sollten aufgrund des erhöhten Platzbedarfs keine Furten möglich sein, sind die Rohrdurchlässe ausreichend zu dimensionieren und ggf. mit einem Geröll-/Sedimentfang zu versehen. Zudem ist eine regelmäßige Freihaltung der Durchlässe vorzusehen, was einen verhältnismäßig hohen Zeit- und Kostenaufwand mit sich bringt.

### 5.1.3 Flächenbezogene Maßnahmen

Die flächenbezogenen Maßnahmen betreffen zum einen die Vorsorgemöglichkeiten aus der öffentlichen kommunal oder sogar regionalplanerischen Verantwortung, zum anderen die privatwirtschaftlichen Maßnahmen und den Verantwortungsbereich der Grundstückseigentümer.

Der regionalplanerische Bezug soll im vorliegenden Starkregenmanagementkonzept nicht weiter betrachtet werden. Die Ziele und Grundsätze der Raumordnung sind im Landesentwicklungsplan und im Regionalplan in ausreichendem Maße determiniert. Das vorliegende Konzept soll vielmehr als kommunale Handreichung und als Handlungsempfehlung für den Bürger bzw. Grundstückseigentümer weitere Verwendung und Anwendung finden.

Die jeweiligen öffentlichen und privaten Maßnahmen können hier eine frühzeitige Berücksichtigung im Sinne der wassersensiblen Stadt- und Bauleitplanung ermöglichen. Diese Maßnahmen können bei Neuplanungen und der Erschließung neuer Flächen unter Beachtung der örtlichen Voraussetzungen gut zu integriert werden.

Ein wesentlicher Aspekt der flächenbezogenen Maßnahmen ist die **Freihaltung überströmungsgefährdeter Bereiche**. So können bspw. die Berücksichtigung und Nutzung von Geländetiefpunkten oder sogenannten schlafenden Gewässer zur Minimierung des Überflutungsrisikos beitragen. Innerhalb von Siedlungsgebieten stehen diese topografischen Tiefpunkte jedoch häufig in Konkurrenz zur bestehenden Flächennutzung und der Siedlungsdruck bzw. die fehlende Kenntnis über das Rückhaltepotential solcher Flächen führt zu deren Überbauung. Im Zuge der Maßnahmenentwicklung können jedoch die Einzugsgebiete durch Veränderung von Fließwegen oberhalb dieser Senken verkleinert werden, wodurch die hydraulische Belastung verringert werden kann (vgl. Kap. 6).

Als Instrumente zu planungsrechtlichen Sicherung für die Freihaltung sowohl überströmungsgefährdeter Bereiche als auch von weiteren Flächen zur Hochwasservorsorge dienen auf kommunaler Ebene der **Flächennutzungsplan** als vorbereitende Bauleitplanung als auch die konkreten Festsetzungsmöglichkeiten in den **Bebauungsplänen** oder örtlichen Satzungen. Der Festsetzungskatalog aus dem Baugesetzbuch BauGB bietet für beide Planarten hinreichend konkrete Möglichkeiten (§ 5 Abs. 2 BauGB für den FNP und § 9 Abs. 1 BauGB für den Bebauungsplan).

Mit den Steuerungsmöglichkeiten eines Bebauungsplanes hat die Kommune zudem die Möglichkeit, auf die Flächennutzung im privatwirtschaftlichen Bereich einzuwirken (zu den Maßnahmen der kommunalen Flächenvorsorge siehe Kap. 5.4 und Kap. 6.1).

Innerhalb der Siedlungsflächen ist es aufgrund fehlender Flächenverfügbarkeit zumeist schwierig, die Abflussführung schadlos durchzuführen. Bei der Maßnahmenentwicklung ist deshalb ein besonderes Augenmerk auf die Fassung der Außengebietszuflüsse zu legen. Das heißt, es ist zu empfehlen, Grabensysteme und gezielte Retentionsmaßnahmen im Vorfeld der Ortslagen vorzusehen, die das Überflutungsrisiko nachfolgend innerhalb der Ortslagen minimieren. Unter **Retentionsmaßnahmen** sind dabei solche Maßnahmen zu verstehen, die anfallendes Regenwasser im Laufe eines Regenereignisses zurückhalten und geordnet sowie zeitlich verzögert abgeben können. Hierzu zählen bspw. Kaskaden oder Regenrückhaltebecken, welche ebenfalls unter dem Gesichtspunkt der **multifunktionalen Flächennutzung** geplant werden können (vgl. Abbildung 44).

Zu den flächenbezogenen Maßnahmen kann auch die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung auf Privatgrundstücken gezählt werden. Durch **mikroskalige Versickerungs- oder Retentionsflächen** kann, bei flächiger Umsetzung, lokal die Überflutungsgefährdung gesenkt werden. Im Maßnahmenkonzept werden dafür ausschließlich größere Sickermulden und Retentionsflächen vorgeschlagen, da sich deren Überflutungsschutz auf größere Abschnitte auswirkt (vgl. Abbildung 45).

Abbildung 44: Retentionsmaßnahmen als Kaskade in der thüringischen Ortslage Schwarza (li), Regenrückhaltebecken in Blankenhain (o. re) oder als Regenrückhaltebecken mit multifunktionaler Flächennutzung (u. re)[4]

[4] http://www.ingenieurbuero-lorenz.de/projekte/regenrueckhaltebecken-nieste-ueber-dem-krughofe Stand 07.01.2020

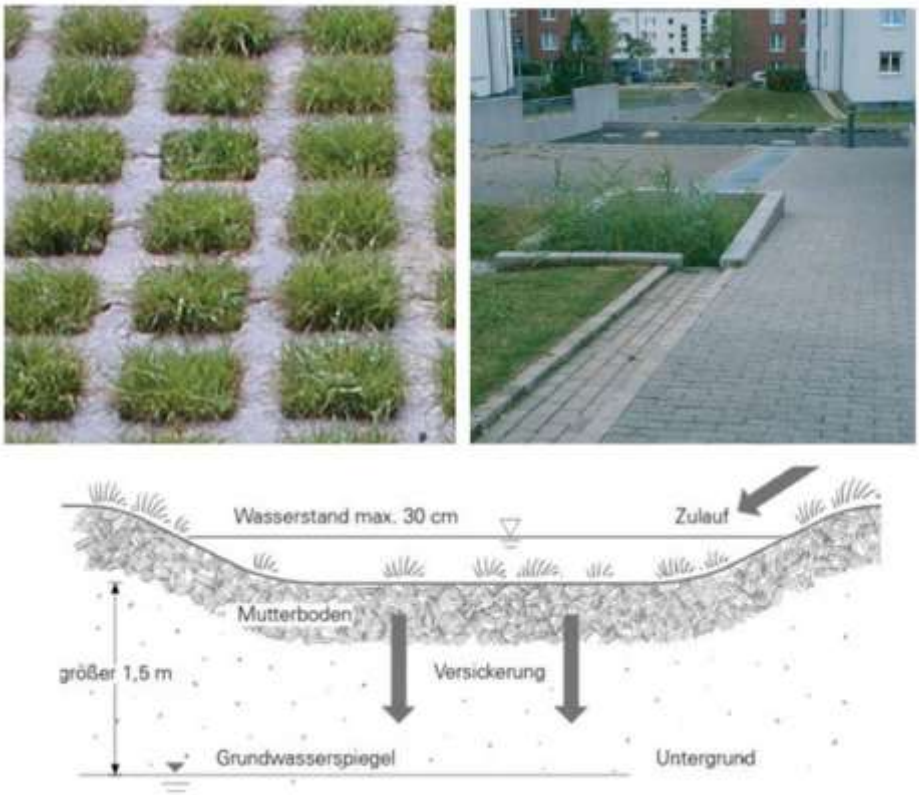


Abbildung 45: Beispiele zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung durch Entsiegelung von Parkflächen (o. li), Pflanzkästen (o. re.)[5] sowie durch Sickermulden (u.)[6]

In Tabelle 36 sind Maßnahmentypen zur kommunalen Flächenvorsorge zusammengefasst. Diese wurden bei der Ableitung des kommunalen Handlungskonzeptes berücksichtigt (vgl. Kap. 5.4 sowie Kap. 6).

[5] https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/entwaesserung/regenwasserversickerung-160288/gallery-1/2 Stand: 03.01.2020
[6] https://www.landkreis-kronach.de/media/7319/naturnaheentwaesserungverkehrsflaechen.pdf Stand: 06.01.2020

Tabelle 36: Übersicht zu flächenbezogenen Maßnahmen

| Maßnahme | Zweck | Beschreibung/Beispiele, „Instrumentenkasten“ |
|---|---|---|
| **Flächenbezogene Maßnahmen** | | |
| **Freihaltung von Abflussbereichen** | ▪ Schadlosen Abfluss ermöglichen | ▪ Kennzeichnung der überschwemmungsgefährdeten Bereiche oder der Flächen mit Hochwasserrisiko im FNP<br>▪ Darstellung von Freihaltebereichen im Flächennutzungsplan, z.B. durch Grünbereiche<br>▪ Festsetzung von Flächen im Bebauungsplan, die von Bebauung freizuhalten sind ( § 9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB) |
| **Versiegelung begrenzen und eindämmen** | ▪ Vor-Ort-Versickerung ermöglichen<br>▪ Abflussmengen reduzieren | ▪ Festsetzungen von max. zulässigen Obergrenzen der Versiegelung |
| **Flächensicherung für Entsorgungsanlagen (z.B. für die Regenrückhaltung)** | ▪ Rückhaltung ermöglichen | ▪ Festsetzung von Flächen im Bebauungsplan für die Rückhaltung (§ 9 Abs. 1 Nr. 14 BauGB)<br>▪ Darstellung der Entsorgungsbereiche im Flächennutzungsplan FNP |
| **Flächenvorsorge** | ▪ Planungsrechtliche Sicherung der Flächenvorsorge | ▪ Kennzeichnung der überschwemmungsgefährdeten Bereiche oder der Flächen mit Hochwasserrisiko im FNP<br>▪ Darstellung von Freihaltebereichen im Flächennutzungsplan, (z.B. durch Grünbereiche § 5 Abs. 2 Nr. 5 BauGB oder § 5 Abs. 2 Nr. 10 BauGB)<br>▪ Festsetzung im FNP von Flächen, die im Interesse des Hochwasserschutzes und der Regelung des Wasserabflusses freizuhalten sind (§ 5 Abs. 2 Nr. 7 BauGB)<br>▪ Festsetzung von Flächen im Bebauungsplan, die von Bebauung freizuhalten sind (§ 9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB)<br>▪ Festsetzungen von max. zulässigen Obergrenzen der Versiegelung (z.B. im |

| Maßnahme | Zweck | Beschreibung/Beispiele, „Instrumentenkasten“ |
|---|---|---|
| **Flächenbezogene Maßnahmen** | | |
| | | Bebauungsplan nach § 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB) |
| **Landschaftsplanerische Maßnahmen** | ▪ Überflutungsrisiko innerhalb der Ortslagen minimieren | ▪ Geländemodellierung<br>▪ Gehölzpflanzungen<br>▪ … |
| **Versickerungsbeiwerte bei Flächenversiegelung bzw. -befestigung** | ▪ Überflutungsrisiko innerhalb der Ortslagen minimieren | ▪ Günstige Abflussbeiwerte erzielen, entsprechende Wahl von Oberflächenbelägen |
| **Regenwasserbewirtschaftungskonzepte im Flächenbezug, Regenwassermanagement** | ▪ Rückhaltung und verzögerte Abgabe<br>▪ Verringerung der hydraulischen Belastung<br>▪ Überflutungsrisiko innerhalb der Ortslagen minimieren | ▪ Sickermulden<br>▪ Retentionsflächen<br>▪ Dezentrale Regenwasserzwischenspeicher privat oder kommunal<br>▪ Zentrale Regenwasserrückhaltung |
| **Multicodierte Flächennutzung** | ▪ Optimierung der Flächenvorsorge | ▪ Rigolen unter dem Straßenkörper<br>▪ „Blue-Green-Streets“ |

### 5.1.4 Objektbezogene Maßnahmen

Im Folgenden werden konstruktive Maßnahmen zum Schutz gegen eindringendes Wasser an Gebäuden, Gebäudeteilen und auf Grundstücken beispielhaft beschrieben. Diese werden im Maßnahmenkonzept nicht ausgewiesen, da deren Wirkungsbereich räumlich stark begrenzt ist, und sollten im Zuge einer Veröffentlichung der Starkregenrisikokarten bzw. durch Kommunikation mit den betroffenen Grundstückseigentümern erörtert werden.

Im Rahmen einer wassersensiblen Gebäudegestaltung kann das objektbezogene Schutzbedürfnis sehr schnell und kosteneffizient umgesetzt werden. Insbesondere durch eine angepasste Festlegung von Geschosshöhenlagen oder die Wahl geeigneter Baustoffe kann eine hohe Schadensbegrenzung bei Starkregenereignissen erzielt werden.
Bei bereits bestehenden Objekten können nachträgliche Maßnahmen des technisch-konstruktiven Objektschutzes helfen, das Schadensrisiko zu minimieren. Kritische Stellen an Gebäuden sind zumeist tiefliegende Lichtschächte, ebenerdige Haustüren sowie Kellerzugänge. Die Dimensionierung der Schutzmaßnahmen an Lichtschächten sind abhängig von der anfallenden Einstauhöhe. So können bspw. verstärkte Fenster gegen den anfallenden Wasserdruck helfen oder eine Anhebung der

Umrandung des Lichtschachtes zielführend sein. Analog können Treppen zum Keller mit einer Umrandung versehen werden.

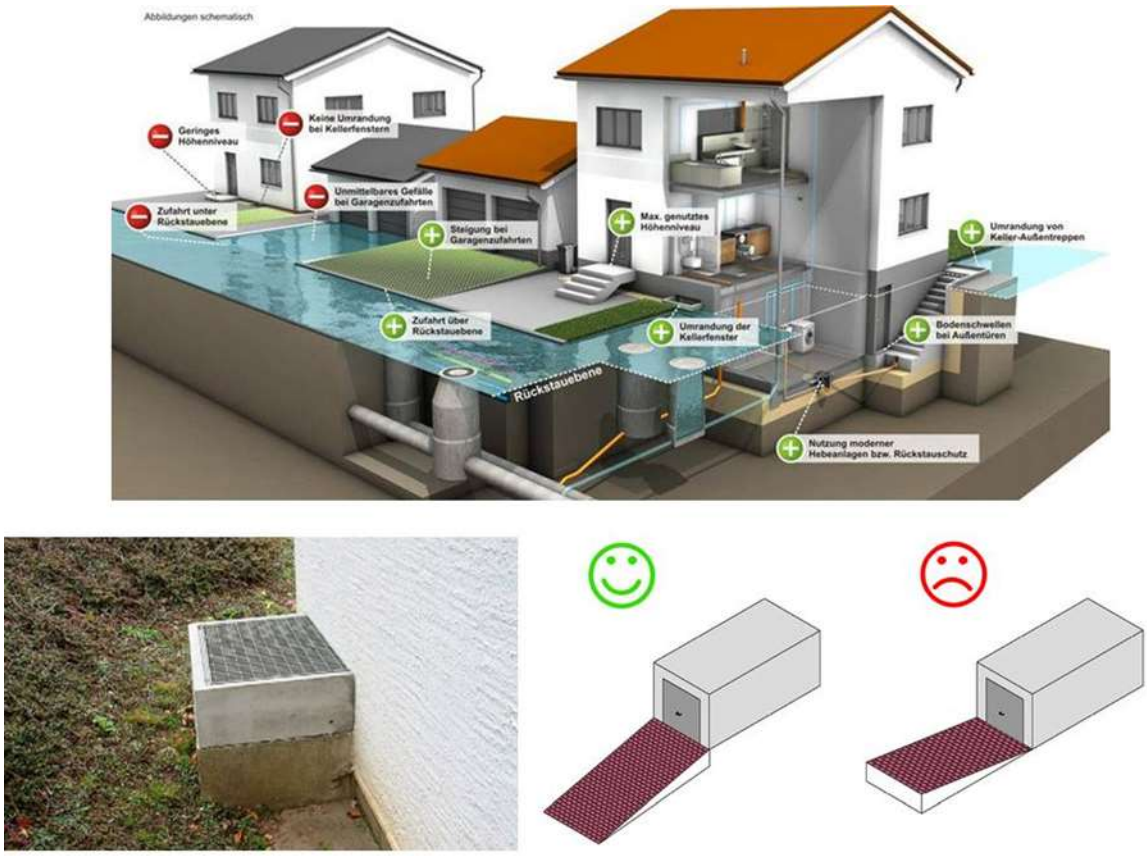


Abbildung 46: Objektbezogene wassersensible Bauweise (o.)[7] mit Kellerfenster-/Lichtschutzschacht (u. li)[8] und geeigneter Garagenzufahrt (u. re.)[9]

Hauseingangstüren sowie Garagenzufahrten sollten, wenn möglich, über der Einstauhöhe angelegt werden. Da dies an bestehenden Gebäuden nur schwer realisierbar ist, sollten geeignete Vorsorgemaßnahmen auf dem Grundstück erfolgen. Hierbei hilft eine Abschirmung des Gebäudes durch Schutzmauern, abflusssensible Geländegestaltung, Retentionsmulden oder eine Ableitung über Notwasserwege (vgl. Abbildung 47). Im Rahmen des B-Plans können diese technischen und baulichen Anforderungen eingefordert werden.

[7] https://www.ingolstadt.de/Rathaus/Aktuelles/Meldungs-Archiv/Sch%C3%A4den-von-Starkregen-k%C3%B6nnen-vermieden-werden.php?object=tx,2789.5.1&ModID=7&FID=3052.1021.1&NavID=2789.737.1&La=1 Stand: 03.01.2020
[8] https://www.bauexpertenforum.de/threads/lichtschacht-und-starkregen.110669/ Stand: 03.01.2020
[9] https://www.technische-betriebe-rheine.de/kanal/organisation/51-entwaesserung/337-ueberflutung-durch-starkregen Stand:03.01.2020

Abbildung 47: Wassersensible Grundstücksplanung als Objektschutz[10]

Neben den konstruktiven Maßnahmen am Objekt bzw. auf dem Grundstück gehört auch die Wartung der Anlagen zur Grundstücksentwässerung zur Vermeidung von Überflutungsschäden. Beispielweise können verstopfte Regenrinnen bzw. Fallrohre zu vermeidbaren Überflutungs- und Bauschäden führen. Zudem ist eine funktionierende Rückstausicherung (z.B. Rückstauklappe) im Hausanschluss eine unentbehrliche Maßnahme zum Schutz bei Starkregenereignissen.

[10] https://www.steb-koeln.de/Redaktionell/ABLAGE/Downloads/Brosch%C3%BCren-Ver%C3%B6ffentlichungen/Geb%C3%A4udeschutz/Leitfaden-Wassersensibel-planen-und-bauen.pdf Stand: 06.01.2020

### 5.1.5 Verhaltensbezogene Maßnahmen

Zu den verhaltensbezogenen Maßnahmen gehören insbesondere die Maßnahmen der Risikokommunikation und Öffentlichkeitsarbeit zur Sensibilisierung für starkregenbedingte Überflutungsrisiken. Hierbei helfen die ortslagenbezogenen Ergebnisberichte sowie Ergebniskarten. Zudem können durch Veröffentlichungen, Handouts o.ä. Handlungsempfehlungen ausgegeben werden. Zum Beispiel wird zur Vereinfachung der Kommunikation von effektiv wirksamen Objektschutzmaßnahmen bei Starkregen die Erstellung einer Checkliste für jeden Grundstückseigentümer empfohlen. Dabei wird dem Bürger ein systematischer Plan zur Verfügung gestellt, der beim Überflutungsschutz helfen kann.

Weiterhin können Frühwarnsysteme über drohende Unwetterlagen informieren und kurzfristige temporäre Maßnahmen des Objektschutzes ermöglichen. Auf kommunaler Ebene stellen vorbereitete Alarm- und Einsatzpläne für Feuerwehr, Katastrophenschutz und Rufbereitschaften von Kanalnetzbetreibern eine wichtige Grundlage zur Schadensminimierung bei Starkregen dar.

Als finanzielle Risikovorsorge für Grundstücks- und Hauseigentümer können zudem Elementarversicherungen oder Rücklagenbildungen für den Schadensfall helfen.

Tabelle 37: Übersicht für verhaltensbezogene Maßnahmen

| **Maßnahme** | **Zweck** | **Beschreibung/Beispiele, „Instrumentenkasten“** |
|---|---|---|
| **Verhaltensbezogene Maßnahmen** | | |
| **Informationsvorsorge, Risikokommunikation und Öffentlichkeitsarbeit** | Sensibilisierung für starkregenbedingte Überflutungsrisiken<br>Zielgruppe:<br>▪ Gemeinderat<br>▪ Bürger, Anwohner,<br>▪ Gewerbetreibende<br>▪ Grundstückseigentümer | ▪ Bürgerpartizipation, Infoveranstaltungen, Beteiligungsforen, Transparenz im Verwaltungshandeln<br>▪ Flyer, Plakate, Hinweise auf der kommunale Homepage, Anzeigen oder Artikel in Lokaler Zeitung und Amtsblatt, Broschüren |
| **Mitwirkung der Bürger, Grundstückseigentümer, der Öffentlichkeit** | Unterstützung bei den öffentlichen Vorsorgebestrebungen | Checkliste / Starkregenpass für Grundstückseigentümer |
| **Etablierung eines Frühwarnsystem** | Alarmierung der<br>▪ Bevölkerung<br>▪ Rettungskräfte oder Einsatzkräfte | ▪ Sirenen<br>▪ Warnapps<br>▪ Lautsprecherwagen |
| **Etablierung einer Rufbereitschaft, Notfallübungen** | Frühzeitige Einbeziehung der Rettungskräfte oder Einsatzkräfte bzw. der Verantwortlich | ▪ Apps<br>▪ „Anrufketten“ |

| Maßnahme | Zweck | Beschreibung/Beispiele, „Instrumentenkasten“ |
|---|---|---|
| **Verhaltensbezogene Maßnahmen** | | |
| | handelnden Personen (Bürgermeister, Landrat, etc.) | ▪ Übung zur Umsetzung von Alarm- und Einsatzplänen |
| **Finanzielle Vorsorge** | Grundstückseigentümer | Finanzielle Risikovorsorge, Rücklagenbildung, Elementarversicherung |
| **Retentionsfördernde Bewirtschaftung auf landwirtschaftlichen Flächen** | ▪ Abflussreduzierung und<br>▪ Reduzierung Bodenerosion durch Landwirte | ▪ Gehölzstreifen<br>▪ Bewuchs<br>▪ Pflugrichtung quer zum Hang |

## 5.2 Öffentlichkeitsbeteiligung

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie Sachsen-Anhalt (MULE), die Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG) sowie der Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) über Arbeitsstände und Projektinhalte informiert.

Darüber hinaus war eine weitreichende Öffentlichkeitsbeteiligung geplant, um die kommunalen Verwaltungsebenen sowie die Bürger vor Ort einzubeziehen. Pandemiebedingt wurden die zu beteiligenden Personen und die Form der Öffentlichkeitsbeteiligung neu definiert.

Im Rahmen einer Onlinekonferenz am 08.09.2021 wurden die ermittelten Starkregenrisiken sowie das kommunale Handlungskonzept vorgestellt. Eingeladen waren alle Vertreter der Gemeinderäte der Ortslagen Barnstädt sowie Nemsdorf-Göhrendorf. Darüber hinaus wurden Vertreter der folgenden Institutionen eingeladen:

- Verbandsgemeindebürgermeister,
- Leiter Ordnungsamte,
- Verbandgemeindewehrleiter,
- Trink- und Abwasserbetrieb Weida-Land AöR,
- Unterhaltungsverband Wipper-Weida,
- Agrarunternehmen Barnstädt e.G.

Anschließend erfolgte eine Bekanntmachung im Gemeindeblatt „Stadt- und Landboten“ sowie ein Aushang der Starkregengefahren- und Starkregenrisikokarten und Maßnahmenpläne bei der Gemeinde. Dadurch wurde jedem Bürger der Zugang zu den Ergebnissen dieses Starkregenrisikomanagementkonzeptes gewährleistet.

Abschließend erfolgte am 17.11.2021 eine Bürgerversammlung im Kulturhaus Obhausen. Eingeladen wurden alle Bürger der Ortslagen Barnstädt und Nemsdorf-Göhrendorf über den „Stadt- und Landboten“. Wesentliche Themenschwerpunkte waren die ermittelten Starkregenrisiken und das kommunales Handlungskonzept.

## 5.3 Informationsvorsorge

Die Maßnahmen der Informationsvorsorge beinhalten die Vorhersage zu potentiell auftretenden Starkregenereignissen und die Weiterleitung von Warnungen an alle Betroffenen. Die Verantwortung der Unwetterwarnung liegt deutschlandweit im Aufgabengebiet des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Dabei ist zu beachten, dass der DWD ausschließlich für die Vorhersage und Warnung vor meteorologischen Extremereignissen verantwortlich ist. Dementsprechend ist die Warnung vor Folgewirkungen, wie zum Beispiel Flusshochwasser oder Sturzfluten, durch wild abfließendes Oberflächenwasser nicht im Aufgabengebiet des DWD.

Die Warnung vor Hochwasser, bzgl. Verlauf, Entwicklung sowie Wasserstand, erfolgt durch das Land Sachsen-Anhalt über die HVZ (Hochwasservorhersagezentrale) durch den LHW. Dabei werden die betroffenen Landkreise, Städte und Gemeinden gemäß der Hochwassermeldeordnung des Landes Sachsen-Anhalt informiert. Zudem werden Informationen an Medien und die Polizei weitergegeben. Dadurch erhalten die betroffenen Bürger direkt die Informationen zu eventuell aufkommenden Hochwassergefahren von ihren Gemeinden, Städten bzw. Landkreisen.

Ein zur Hochwasserwarnung äquivalentes System ist auch im Zuge der Informationsvorsorge zum Starkregen denkbar. Hierbei kann beispielsweise eine in der Gemeinde oder auf Ebene des Landkreises verankerte zentrale Kommunikationsinstitution (vgl. Abbildung 48) dienen, die bei Starkregenwarnung durch den DWD die jeweiligen Verwaltungsebenen informieren, sodass diese weiterführenden Maßnahmen der Gefahrenabwehr zur Minimierung des Schadenspotentials durch wild abfließendes Wasser einleiten können (vgl. Kap. 5.7). Die Eingliederung der Starkregenwarnung in die Hochwassernachrichtenzentrale des Landesbetriebs für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW) wird aufgrund der kurzen Vorwarnzeiten für solche Ereignisse und längere Informationswege, seitens des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Energie (MULE) als nicht praktikabel eingeschätzt. Nach derzeitigem Stand wird eine zentrale Kommunikationsinstitution auf Landeskreis- bzw. Gemeindeebene präferiert.

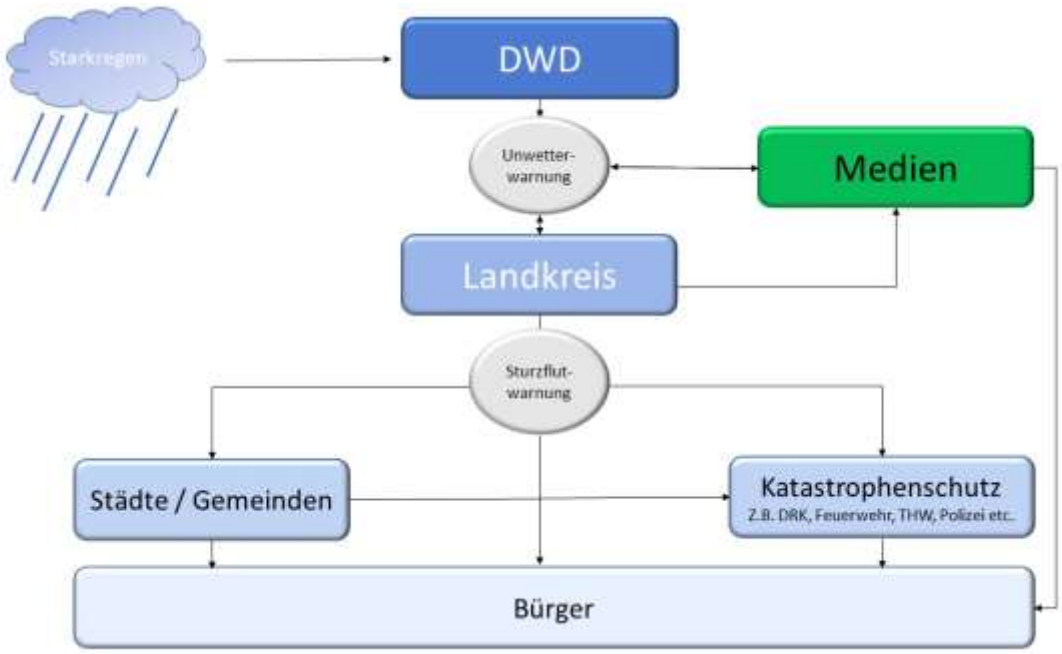


Abbildung 48: Prinzip eines zentralen Informationsmanagements bei Starkregen

Eine Alternative zur zentralen Informationsbeschaffung stellt ein dezentrales Informationssystem dar (vgl. Abbildung 49). Hierbei ist keine zentrale Institution zwischen der Landkreis- und Gemeindeebene gestellt und die jeweiligen Institutionen stehen in Eigenverantwortung bei der Informationsbeschaffung. Hierbei sind zwar die Informationswege sehr kurz, jedoch ist es erforderlich, auf Gemeindeebne die Verantwortlichkeit zur Informationsweitergabe genau zu definieren und festzulegen. Anderenfalls besteht bei einem dezentralen Informationsmanagement die Gefahr, dass Informationsketten unterbrochen werden und ggf. die Bürger nicht oder nicht rechtzeitig informiert werden.

Eine Informationsbeschaffung beim DWD ist z.B. über das Feuerwehr-Wetterinformationssystem (FeWIS) möglich. D.h. die jeweiligen Gemeinden handeln in Eigenverantwortung sowohl bei der Informationsbeschaffung (DWD) als auch bei der Weiterleitung der Sturzflutwarnungen an den Katastrophenschutz und in die Öffentlichkeit. Regionsbezogene Informationen u.a. über Starkregenereignisse bietet die WarnWetter App des DWD. Die Zusendung von push-Nachrichten über sich abzeichnende gefährdende Wetterlagen kann Betroffene im Ereignisfall warnen.

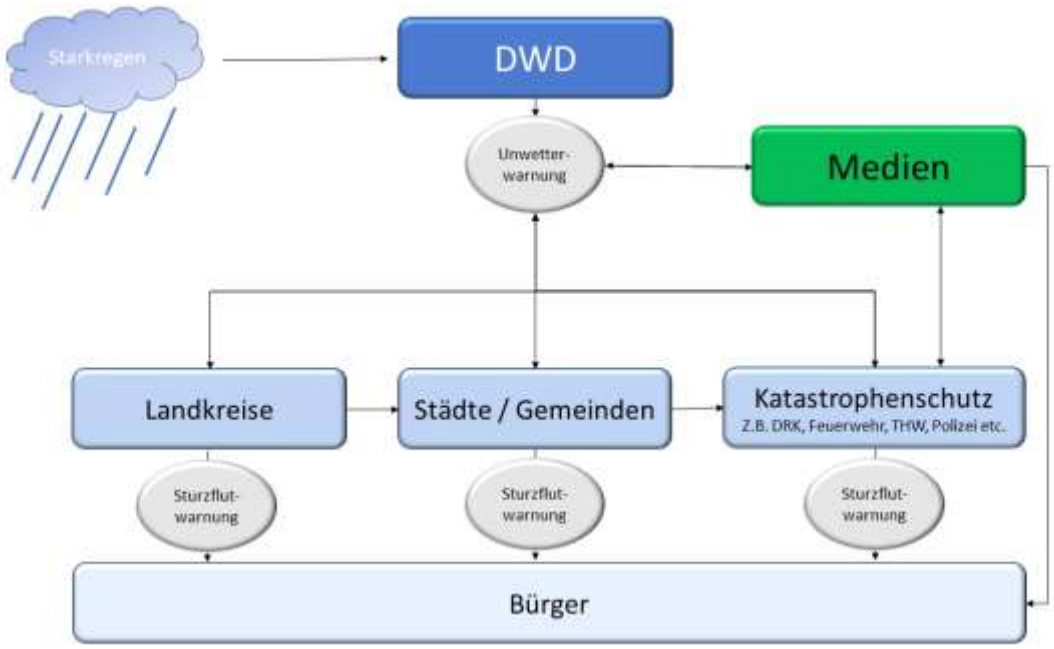


Abbildung 49: Prinzip eines dezentralen Informationsmanagements bei Starkregen

Neben der Warnung vor Starkregengefahren und Sturzfluten ist im Zuge der Informationsvorsorge die Veröffentlichung der erstellten Starkregengefahrenkarten für das betrachtete Untersuchungsgebiet erforderlich. Dies kann zum einen analog zur Hochwasserthematik über das Geodatenportal des Landes erfolgen. Zum anderen ist die Veröffentlichung von Starkregengefahren in den jeweiligen Ortslagen notwendig, beispielsweise mittels Informationsveranstaltungen, Onlinepräsenz (vgl. Kap. 5.2), „Schwarzes Brett“ oder Workshops.

Da Starkregen-verursachende Gewitterzellen kleinräumig auftreten und eine sehr geringe Vorwarnzeit bieten, ist eine zuverlässige Frühwarnung selten möglich. Aus diesem Grund sind vorab die Bürger in den Ortslagen Barnstädt, Göhritz, Nemsdorf und Göhrendorf hinsichtlich Starkregengefahren zu informieren. Hier können im Zuge einer Bürgerveranstaltung die bestehenden Starkregengefahren und -risiken sowie Maßnahmen zur Eigenvorsorge auf Grundlage dieser Ausarbeitung veröffentlicht werden. Diese Informationsveranstaltungen können durch die lokalen Verwaltungen durchgeführt werden, wobei auch unterstützende Beratungstätigkeiten durch Dritte (z.B. Ingenieurbüros) möglich sind. Erfahrungsgemäß zeigen einmalige Informationsveranstaltungen keinen langfristigen Effekt beim wassersensitiven Verhalten des Einzelnen. Dementsprechend wird eine wiederkehrende und regelmäßige Informationspolitik in der Öffentlichkeit empfohlen. Hierfür können regelmäßige Thematisierungen in Lokalzeitschriften (z.B. Amtsblatt, Gemeindeblatt), lokalen Radiosendern (z.B. Themensendungen) sowie die Veröffentlichung der Starkregengefahrenkarten auf der Internetseite der Gemeinde Weida-Land als Lösungsansatz dienen. Zudem können regelmäßige Workshops dazu beitragen das wassersensitive Verhalten zu verbessern. Diese können analog zur Informationsveranstaltung durch lokale Verwaltungen bzw. mit Unterstützung Dritter geleitet werden.

Das Verhalten der betroffenen Bürger bei Eintreten von Starkregen bzw. Sturzfluten trägt maßgeblich zur Risikominimierung bei. Dementsprechend sind für die Bürger Handlungsempfehlungen zur Verfügung zu stellen, beispielsweise durch die Onlinepräsenz der Verwaltungsgemeinschaft, Flyer o.ä. Zweckdienlich kann auch die Erstellung eines Starkregenpasses sein, bei dem sowohl die Starkregengefahren ortslagenbezogen aufgelistet sind als auch Maßnahmen zur Eigenvorsorge vorgeschlagen werden. Die Erarbeitung eines Starkregenpasses kann im Zuge von Workshops unter Beteiligung der Bürger oder durch Dritte (z.B. Ingenieurbüros) erfolgen.

Ergänzend ist in einem regelmäßigen Zyklus das erarbeitete Handlungskonzept zu aktualisieren, da geringfügige topografische Veränderungen die Strömungssituation maßgeblich verändern können. Zur Schaffung einer zunehmend belastbareren Datengrundlage sind zusätzliche Niederschlagsschreiber im erweiterten Umland sowie umfangreiche Dokumentationen zu vergangenen Starkregenereignissen möglich. Dadurch können die verwendeten Modelle zur Ableitung von Starkregenrisiken besser kalibriert werden und somit belastbarere Ergebnisse für zukünftige Ereignisse prognostizieren.

## 5.4 Kommunale Flächenvorsorge

Die Flächenvorsorge soll sowohl die Absicherung der Verfügbarkeit von zum Wasserrückhalt geeigneten Räumen als auch die Verhinderung einer Erhöhung des Schadenspotentials in den durch Überschwemmung gefährdeten Gebieten gewährleisten. Auf der kommunalen Ebene stehen dafür vordergründig die Instrumente der Bauleitplanung (Flächennutzungsplan, Bebauungsplan) zur Verfügung. Die Festsetzungsmöglichkeiten gem. § 9 BauGB umfassen u.a.

- die Bauweise, die überbaubaren und die nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie die Stellung der baulichen Anlagen;
- die Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind, und ihre Nutzung;
- die Flächen für die Abfall- und Abwasserbeseitigung, einschließlich der Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser,
- die Wasserflächen und die Flächen für die Wasserwirtschaft,
- die Flächen für Hochwasserschutzanlagen und für die Regelung des Wasserabflusses,
- Gebiete, in denen bei der Errichtung baulicher Anlagen bestimmte bauliche oder technische Maßnahmen getroffen werden müssen, die der Vermeidung oder Verringerung von Hochwasserschäden einschließlich Schäden durch Starkregen dienen, sowie die Art dieser Maßnahmen,
- die Flächen, die auf einem Baugrundstück für die natürliche Versickerung von Wasser aus Niederschlägen freigehalten werden müssen, um insbesondere Hochwasserschäden, einschließlich Schäden durch Starkregen, vorzubeugen.

Im Folgenden werden explizite Maßnahmen zur kommunalen Flächenvorsorge gemäß den Maßnahmentypen aus Tabelle 36 (vgl. Kap. 5.1.3) vorgeschlagen.

## Freihaltung von Abflussbereichen

Zur Bewertung von freizuhaltenden Abflussbereichen wurden die ermittelten Starkregengefahrenkarten herangezogen (vgl. Anlage B-5.2). Als freizuhaltende Fließwege wurden diejenigen definiert, die eine Wassertiefe größer als 10 cm aufweisen. Anschließend wurden die Bereiche mit bereits vorhandener Bebauung identifiziert und in den freizuhaltenden Flächen entfernt.

Die freizuhaltenden Abflussbereiche wurden in Anlage B-8.1 kartografisch aufbereitet. Dabei ist zu beachten, dass die freizuhaltenden Abflussbereiche anhand der hydraulisch ermittelten Fließwege des Ist-Zustandes abgeleitet wurden. Durch Umsetzung von den in Kap. 5.4 vorgeschlagenen Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen ergeben sich jedoch veränderte Fließwege und ein veränderter Bedarf an freizuhaltenden Flächen. Dementsprechend ist die Kennzeichnung von Überflutungsflächen zeitabhängig und regelmäßig zu aktualisieren.

Die ausgewiesenen Flächen sind in der Flächennutzungs- und Bebauungsplanung darzustellen und sind von Bebauung freizuhalten.

## Verringerung des Versiegelungsgrades

Zur Verbesserung der lokalen Versickerungsmöglichkeiten und Abflussmengenreduzierung im Siedlungsbereich wurde das Untersuchungsgebiet hinsichtlich des Potentials zur Flächenentsiegelung analysiert. Dabei wurden die versiegelten Flächen vor Ort identifiziert und Möglichkeiten zur Flächenentsiegelung auf konzeptioneller Ebene abgeleitet (vgl. Anlage B-7.2)

Es ist zu beachten, dass das Untersuchungsgebiet ländlich geprägt ist und die vorhandene Infrastruktur teilweise einen verringerten Versiegelungsgrad als asphaltierte Straßen aufweist. Zudem ergibt sich für die Ortslagen Göhritz, Barnstädt sowie Nemsdorf-Göhrendorf ein erhöhtes Starkregenrisiko, überwiegend aufgrund von Zuflüssen aus den angrenzenden Einzugsgebieten. Das heißt innerörtliche Abflussbildungsprozesse bilden für die betrachteten Ortslagen eine untergeordnete Rolle. Dementsprechend sind die vorgeschlagen Maßnahmen zur Flächenentsiegelung (KF_01) als optionale bzw. ergänzende Maßnahmen zu den kommunalen Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen (vgl. Kap. 5.5) zu betrachten. Ergänzend zum Maßnahmenkomplex KF_01 wurden Sickermulden im Rahmen der vorgeschlagenen Baumaßnahmen vorgeschlagen, die ebenfalls zur Flächenentsiegelung beitragen.

Ergänzend zu den vorgeschlagenen Entsiegelungsflächen ist bei einer potentiellen Sanierung von Straßen oder Feldwegen darauf zu achten, dass durch eine geeignete Wahl des Straßenbelags die Versiegelungsrate verringert werden kann. So ergeben sich für beispielsweise gepflasterte Straßenzüge höhere Versickerungsraten als bei asphaltierten Straßen und Parkplätzen (vgl. Abbildung 50). Weiterhin kann die Versiegelungsrate durch mikroskalige Versickerungs- oder Retentionsflächen sowie Rigolen unter Straßenkörpern zur Verringerung des Oberflächenabflusses beitragen (vgl. Abbildung 45).

Abbildung 50: Beispiel eines wassersensitiven Straßenbelags für Parkplätze[11]

Im Zuge der Erstellung bzw. Aktualisierung eines B-Plans ist die Einführung einer Versiegelungsquote (§ 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB) zweckdienlich. Hierfür sind im ersten Schritt die Anteile der versiegelten Flächen abzuleiten. Darauf aufbauend und in Kombination mit den hier vorgeschlagenen Entsiegelungsflächen kann anschließend eine Zielversiegelungsquote definiert werden, welche im B-Plan festgesetzt wird.

Ergänzend zu den ausgewiesenen Entsiegelungspotentialen (KF_01) im öffentlichen Raum von Straßen- und Parkplatzflächen besteht die Möglichkeit, im Rahmen der Eigenvorsorge (Privat) die innerörtliche Versiegelungsrate zu verringern. Beispielsweise können im Zuge des Objektschutzes zusätzliche Versickerungsflächen auf privaten Grundstücken vorgesehen werden, die den anfallenden Oberflächenabfluss bei Starkregen lokal verringern können. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit mit Dachbegrünungen den Versiegelungsgrad zu verringern und das anfallende Niederschlagswasser temporär zurückzuhalten (vgl. Abbildung 51). Aufgrund des verhältnismäßig geringen Nutzens in ländlichen Regionen und der hohen Kosten zur Umgestaltung an Bestandsobjekten sind im Rahmen dieses Maßnahmenkonzeptes keine Dachbegrünungen aufgeführt. Allerdings können bei Objektneubauten Dachbegrünungen zur Einhaltung eines im Bebauungsplan vorgegebenen Versiegelungsgrades beitragen.

[11] https://www.deimel-waltrop.de/flaechenentsiegelung/ Stand: 30.08.2021

Abbildung 51: Beispiel von Dachbegrünung zur Verringerung des innerörtlichen Versiegelungsgrades[12]

## Flächensicherung für Entsorgungsanlagen

Ergänzend zur Freihaltung von Abflussbereichen sind Flächen für Entsorgungsanlagen zu sichern. Hierzu zählen vor allem gem. § 5 Abs. 2 Nr. 4 BauGB vorgesehene Retentionsflächen sowie gem. § 5 Abs. 2 Nr. 7 BauGB Grabenstrukturen (vgl. Kap. 5.5) der Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen. Diese sind im Flächennutzungsplan darzustellen und im Bebauungsplan festzusetzen.

Die in Anlage B-8.2 angegebenen zu sichernden Flächen zur „Oberflächenwasserentsorgung“ sind von Bebauung sowie Bewuchs freizuhalten um eine schadlose Abflussführung in diesen Bereichen zu gewährleisten. Die ausgewiesenen Bereiche von retentionsfördernden Maßnahmen sowie Maßnahmen zum Erosionsschutz sind von Bebauung freizuhalten.

[12] https://www.viebrockhaus.de/vorteile/bauqualitaet-und-ausstattung/gruendach.html Stand: 01.09.2021

Festsetzung in den kommunalen Bauleitplänen und/oder Satzungen

Zur Sicherung der planungsrechtlichen Flächenvorsorge sind die überschwemmungsgefährdeten Bereiche gemäß den ermittelten Starkregengefahrenkarten (vgl. Anlage B-5.2) im Flächennutzungsplan zu kennzeichnen. Darüber hinaus sind die freizuhaltenden Bereiche im FNP (z.B. durch Grünbereiche § 5 Abs. 2 Nr. 5 BauGB oder § 5 Abs. 2 Nr. 10 BauGB) darzustellen. Die Bereiche setzen sich vor allem aus den vorgeschlagenen Gehölzschutzstreifen (vgl. Kap. 5.5) sowie den noch aus [7] gültigen Maßnahmen zusammen (vgl. Kap. 6.2).

Im Flächennutzungsplan sind die Flächen festzusetzen die im Sinne des Überflutungsschutzes und der Abflussregelung von Bebauung freizuhalten sind (§ 5 Abs. 2 Nr. 7 BauGB). Analog sind diese auch im Bebauungsplan (§ 9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB) zu berücksichtigen. Ergänzend wird die Festsetzung von max. zulässigen Obergrenzen der Versiegelung bspw. im Bebauungsplan (§ 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB) empfohlen. Wie bereits beschrieben ist das Untersuchungsgebiet überwiegend ländlich geprägt. Dementsprechend kann eine Versiegelungsquote zwischen 50 % und 60 % zweckdienlich sein. Dieser Wertebereich soll als Richtwert dienen und ist im Rahmen der B-Planung zu prüfen und ggf. anzupassen. Im Rahmen von geplanten Neubauten mit höheren Versiegelungsgraden sind lokale Ausgleichsmaßnahmen, durch bspw. lokalen Rückhalteraum, vorzusehen, um den vorgegebenen Versiegelungsgrad einzuhalten.

Landschaftsplanerische Maßnahmen

Durch gezielte Anpflanzungen im Bereich von Außeneinzugsgebieten kann die Überflutungs- und Erosionsgefahr minimiert werden. Im Rahmen der Vorstudie (Teil 1) [7] wurde bereits eine Vielzahl von Bewuchselementen wie Gehölzanpflanzung oder Bewuchsstreifen im Außeneinzugsgebiet vorgeschlagen, die im Zuge dieses Handlungskonzeptes ergänzt bzw. angepasst wurden (vgl. Kap. 6).

Zudem wurden im Rahmen der Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen Geländeanpassung bzw. Geländemodellierungen vorgesehen, die zum einen zum Rückhalt des anfallenden Oberflächenwasser und zum anderen zur gezielten und schadlosen Abflussführung beitragen. Die entsprechenden Maßnahmen sind in den Anlagen B-7.1 kartografisch dargestellt und im Rahmen der Maßnahmenbewertung (vgl. Kap. 6) näher beschrieben.

## 5.5 Kommunale Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen

Die Kommunalen Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen umfassen im Wesentlichen technische Maßnahmen, die zur Minimierung des Starkregenrisikos beitragen.

Die vorgeschlagenen Einzelmaßnahmen wurden zu Maßnahmenkomplexen (MNK) zusammengefasst. Ein Maßnahmenkomplex enthält sämtliche hydraulisch zusammenwirkende Teilmaßnahmen. Daher ist bei einer potentiellen Maßnahmenumsetzung das Zusammenwirken der Einzelmaßnahmen zu berücksichtigen. Die Definition von Maßnahmen basiert auf dem statistischen Niederschlagsereignis $N_{100}$.

Die vorgeschlagenen Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen enthalten im Wesentlichen retentionsfördernde Maßnahmen im Einzugsgebiet sowie neue Grabensysteme, die den Oberflächenabfluss in den Ortslagen und am Gewässer verringern sollen. Ergänzend wurden gewässerbezogene und objektbezogene Maßnahmen im Siedlungsgebiet zur Minimierung des Starkregenrisikos ausgewiesen. Da trotz des Maßnahmenkonzeptes ein Restrisiko im Untersuchungsgebiet besteht, sind Maßnahmen der Eigenvorsorge (vgl. Kap. 5.6) zu berücksichtigen.

Eine kartografische Aufbereitung des Maßnahmenkonzeptes ist der Anlage B-7.1 zu entnehmen. Darüber hinaus sind in der Anlage B-7.2 optionale Maßnahmen vorgeschlagen. Im Zuge der Maßnahmenbewertung (vgl. Kap. 6) wird die Wirkungsweise der jeweiligen Maßnahmenkomplexe näher beschrieben.

## 5.6 Eigenvorsorge

Zur Eigenvorsorge zählen grundsätzlich die objektbezogenen Maßnahmen aus Kap. 5.1.4.

Ergänzend sind Maßnahmen zur Risikovorsorge zu berücksichtigen. Mit den Maßnahmen der Risikovorsorge sind die individuelle, eigenverantwortliche Vorsorge durch private, finanzielle Rücklagen und/oder der Abschluss von Versicherungen gegen Naturgewalten gemeint, sodass im Falle eines Sturzflutvorkommens trotz vorhandenem Schutzstandard die eigene Leistungsfähigkeit nicht überfordert wird. Dabei sollten sich die potentiell Betroffenen eine Größenordnung der anfallenden Kosten durch Schäden infolge von Starkregen und Hochwasser den Randbedingungen des Versicherungsschutzes gegenüberstellen.
Durch die Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten sowie Starkregengefahren- und Starkregenrisikokarten können sich die potentiell Betroffenen einen ersten Überblick über das Gefährdungspotential und die möglichen Überflutungsschäden machen.

Des Weiteren ist für die Risikovorsorge eine Aufklärung erforderlich, dass für Schäden bei Starkregen an privaten Gebäuden und Grundstücken weder Bund, Land noch Kommunen haften und es keine gesetzliche Verpflichtung für die im Schadensfall häufig gezahlten öffentlichen Finanzhilfen gibt.

Im Rahmen des Maßnahmenkonzeptes wurden drei Objektschutzmaßnahmen (ND_06_06, ND_06_07, ND_06_08) an der Hallgasse in Nemsdorf festgelegt. Für alle anderen bei Starkregen betroffenen Objekte (gem. Anlage B-6.2) besteht ebenfalls aufgrund des Restrisikos ein Bedarf an Eigenvorsorge.

## 5.7 Krisenmanagement und Gefahrenabwehr

Zum Krisenmanagement gehören Maßnahmen der Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzes. Hierbei geht es zum einen um das Verfahren und die Organisation der Bekämpfung von Großschäden und zum anderen den Einsatz und die Führung von Hilfskräften.
Dies bedeutet in erster Linie die Überprüfung bzw. Erstellung von Einsatzplänen im Starkregenfall sowie die Überprüfung der Vollständigkeit materieller (z.B. Sandsäcke, Pumpen, Notstromaggregate, etc.) und personeller Ressourcen zur Gefahrenabwehr.

Vorhandene Alarm- und Einsatzpläne können grundsätzlich aus dem Bereich Gefahrenabwehr bei Hochwasser adaptiert werden. Nach Abstimmung mit dem zuständigen Verbandsgemeindewehrleiter liegen keine Alarm- und Einsatzpläne vor. Daher wurde in Zusammenarbeit mit der Freiwilligen Feuerwehr ein Grundkonzept für einen Alarm- und Einsatzplan erarbeitet, welcher allerdings in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden zu konkretisieren und zu pflegen ist. Die erarbeiteten Unterlagen sind der Anlage A-8 zu entnehmen.

Im Einsatzplan wurden vor allem im Bereich nutzbarer Infrastruktur/Zufahrtswege sowie betroffene Bereiche identifiziert. Diese wurden auf Grundlage der ermittelten Starkregenrisiken und -gefahren ableitet. Beispielsweise wird die K 2265 im Starkregenfall überströmt und Teile der Ortslagen Barnstädt, Nemsdorf und Göhrendorf sind auf diesem Wege nicht zugänglich. Hierfür wurden alternative Routen (z.B. über die parallel verlaufende Bahnhofstraße) zur Erreichung der durch Sturzfluten betroffenen Bürger vorgeschlagen, die im Bedarfsfall genutzt werden können. Bei der Nutzung überströmter Straßenzüge wurde darauf geachtet, dass die technischen Voraussetzungen der Feuerwehrfahrzeuge gegeben sind.

Das Starkregenrisikomanagement liegt derzeit in der Verantwortung der Kommune, die im Bedarfsfall sowohl Bürger als auch Feuerwehr, Polizei, Hilfsorganisationen, THW etc. informieren. Für den Alarmierungsplan wird empfohlen, dass ein enger Informationsaustausch der Gemeinden mit dem zuständigen Unterhaltungsverband „Wipper-Weida“ und den v.g. handelnden Institutionen stattfindet. Aufgrund des teilweise hohen Personal- und Kostenaufwandes wird empfohlen, Möglichkeiten eines gemeinsamen Vorgehens zu prüfen.

Bei den personellen Ressourcen handelt es sich um die Einsatzkräfte der Feuerwehr, Polizei, privaten Hilfsorganisationen (z.B. Malteser Hilfsdienste e.V., Deutsches Rotes Kreuz, etc.), THW (Bundesanstalt Technisches Hilfswerk), Bundeswehr etc. Dabei ist eine gegenseitige Hilfeleistung zwischen benachbarten Kommunen im Zuge einer interkommunalen Zusammenarbeit anzustreben.

Die Gefahrenabwehr greift unmittelbar nach dem Eintreten des Starkregenereignisses ein und liegt gemäß § 11 WG LSA in der Verantwortung der kommunalen Ordnungsbehörden sowie Wasserbehörden als Gefahrenabwehrbehörden für Wassergefahren. Nach Ausrufung des Katastrophenfalls übergeht gemäß §1 Abs 2 KatSG-LSA die Zuständigkeit an die zuständige Katastrophenschutzbehörde des Landkreises Saalekreis. Ziel der Katastrophenabwehr ist es, mit allen zur Verfügung gestellten Maßnahmen nach Möglichkeit große Schäden zu vermeiden bzw. Schäden zu minimieren. Hierbei spielen die Alarm- und Einsatzplanungen eine wichtige Rolle.

Die Hilfe für Betroffene meint, dass im Starkregenfall so viel Schutz wie möglich geboten wird, um die betroffene Bevölkerung und deren Güter zu schützen. Es beinhaltet allerdings auch die Betreuung vom Starkregenereignis Betroffener. Dabei können Hilfen wie folgt aussehen: z.B. das Aufstellen von Strömungsbarrieren mittels Sandsackwall, Notunterkünfte, Verpflegung, ärztliche Versorgung, etc. Auch hierfür ist eine interkommunale Zusammenarbeit vorzusehen.

Außerdem kann es sich dabei auch um provisorische Instandsetzungen/Sicherstellungen von z.B. lebenswichtigen Einrichtungen (Krankenhäuser, Wasserwerke, …), Verkehrs- und Rettungswege, Ver- und Entsorgung (Lebensmittel, Abfall, …) usw. handeln.

Dabei kann der Materialbedarf aus [21] auf das Thema Starkregengefahrenabwehr übertragen werden.

### 5.8 Regeneration

Von der Vorsorge zur Sturzflutbewältigung und zur Regeneration ist es ein fließender Prozess. Mit dem einzigen Unterschied, dass sich die Vorsorge mit der Zeit vor dem Starkregenereignis beschäftigt und das Krisenmanagement und die Regeneration mit der Zeit nach dem Eintreten eines Starkregenereignisses.

Aufgaben der Regeneration sind es, Aufbauhilfe und Wiederaufbau zu leisten, sofern im Falle eines Hochwassers starke Schäden an den Schutzgütern (Menschliche Gesundheit, Umwelt, Kulturerbe, Wirtschaftliche Tätigkeit) entstanden sind.

Die Hilfe für Betroffene, Aufbauhilfe und Wiederaufbau sind dabei sehr eng miteinander verknüpft und soll denjenigen dienen, die trotz eventuell getroffener Abwehrmaßnahmen von Sturzfluten getroffen wurden und es dadurch zu Schäden kam, sowohl Schäden an der Bausubstanz als auch finanziell.

Aufbauhilfen können dabei z.B. aus Spendenaufrufen oder freiwillige Dienstleistungen von Firmen aller Art sein.
Der Wiederaufbau findet an den Stellen statt, an denen die größten Schäden entstanden sind oder von Grund auf etwas Neues geschaffen werden muss, z.B. der Wiederaufbau von lebenswichtigen Einrichtungen (Krankenhäuser, Wasserwerke, ...), Verkehrs- und Rettungswege, Schulen, Gebäude zum Wohnen, Ver- und Entsorgungsleitungen (Telekommunikation, Internet, ... ), Ver- und Entsorgung von Lebensmittel, Abfall, etc. und vielem mehr.

## 6 Maßnahmenbewertung

Die identifizierten Maßnahmen wurden mit einer qualitativen Bewertung untersetzt, die die folgenden Punkte beinhaltete:

- hydraulische Wirksamkeit,
- ökologische Verträglichkeit,
- Baukosten,
- dauerhafte Restriktionen,
- Prioritäten.

Analog zur Hochwasserbetrachtung erfolgte die Bewertung hinsichtlich ökologischer Verträglichkeit in den Kategorien gemäß Tabelle 38. Hierbei wurden die Bewertungsmaßstäbe aus der Bewertung zur Synergie von HWRM-RL und WRRL auf das Thema Starkregen übertragen.

Tabelle 38: Adaption der Maßnahmenkategorisierung hinsichtlich der Bewertung zur

| Kategorie | Beschreibung |
|---|---|
| M1 | Maßnahmen, welche die ökologische Verträglichkeit fördern (Synergie). |
| M2 | Maßnahmen, welche im Konflikt zur ökologischen Verträglichkeit stehen oder einer Einzelprüfung unterzogen werden müssen (Konflikte). |
| M3 | Maßnahmen, welche die ökologische Verträglichkeit weder positiv noch negativ beeinflussen. |

Bei der Abschätzung der Kosten werden ausschließlich die Investitionskosten berücksichtigt. Je nach vorgeschlagenem Maßnahmentyp können noch weitere Kosten entstehen, wie zum Beispiel:

- Kosten durch Grunderwerb (~ + 5 %),
- Unterhaltungskosten (~ + 20 % bis + 30 %),
- Baunebenkosten, inkl. Planung, Vermessung, Baugrunduntersuchung etc. (~ +10 % bis + 20 %),
- Reininvestitionskosten (~ +50 % bis +100 %).

Bei der Priorisierung der Teilmaßnahmen wurden vor allem die hydraulische Wirksamkeit sowie die zu schützenden Objekte gemäß Starkregenrisikoanalyse herangezogen. Als Bewertungsmaßstab wurden analog zur Risikobewertung die Begrifflichkeiten

- gering,
- mäßig,
- hoch,
- sehr hoch

verwendet. Im Folgenden wird die Wirkungsweise der Maßnahmenkomplexe näher erläutert. Eine Zusammenfassung der Maßnahmenbewertung erfolgt in Anlage A-7.

## 6.1 Beschreibung und qualitative Bewertung der Maßnahmenkomplexe (Teil 2)

MNK_BA_01 Wasserrückhalt Barnstädt Süd – 1

Zur Verringerung des Starkregenrisikos in den Ortslagen Barnstädt, Nemsdorf sowie Göhrendorf wird die Minimierung des Abflusses am Weidenbach durch retentionsfördernde Maßnahmen im Einzugsgebiet oberhalb von Barnstädt empfohlen.

Der Maßnahmenkomplex (MNK) BA_01 (vgl. Abbildung 52) sieht hierfür eine Anhebung des Feldweges auf ca. 385 m um durchschnittlich 1,5 m vor (BA_01_01), wodurch im Oberwasser ein potentieller Rückhalteraum (BA_01_04) von rd. 69.000 m³ entsteht. Zur ungesteuerten Entleerung des Rückhalteraums wird ein Drosselbauwerk im Feldweg mit einem Durchmesser von 0,6 m (BA_01_05) empfohlen, welcher aufgrund des vorliegenden Geländegefälles eine maximale Leistungsfähigkeit von rd.

1,4 m³/s bieten kann. Zur Optimierung des Auslassbauwerkes und Nutzung des vollständigen potentiellen Rückhalteraums ist im Zuge der Maßnahmenplanung und -umsetzung eine weiterführende Detailuntersuchung erforderlich.
Aufgrund des Drosselbauwerkes wird der Abfluss lokal konzentriert, wodurch es im Unterlauf zur Erhöhung der Fließgeschwindigkeit und Erosionsgefahr kommen kann. Dementsprechend wird im Auslaufbereich des Durchlassbauwerkes ein Bewuchsstreifen (BA_01_03) empfohlen, welcher die Erosionsgefahr minimiert.

Die potentiell für den Weidenbach erreichbare Scheitelkappung durch den MNK_BA_01 in Kombination mit dem MNK_BA_02 (Wasserrückhalt Barnstädt-Süd) ist in Abbildung 53 dargestellt.

Abbildung 52: MNK_BA_01 zum Wasserrückhalt im Einzugsgebiet süd-westlich von Barnstädt

Optional kann der Rückhalteraum BA_01_05 durch eine zusätzliche Verwallung nördlich der Einstaufläche vergrößert werden.

Ergänzend kann durch eine weitere Feldweganhebung (BA_01_09) im Unterlauf des Fließweges ein zusätzlicher Retentionsraum von ca. 8.800 m³ (BA_01_08) generiert werden. Dadurch wird das im Zwischeneinzugsgebiet anfallende Oberflächenwasser zurückgehalten. Aufgrund des verhältnismäßig geringen Einstauvolumens und der dementsprechend geringen hydraulischen Wirksamkeit ist dieser Rückhalteraum als optionale und ergänzende Maßnahmen im Maßnahmenkonzept aufgeführt. Die Dimensionierung des Drosselbauwerkes ist in Abhängigkeit mit dem im Oberlauf befindlichen Rückhalteraum im Zuge einer Detailuntersuchung zu optimieren.

Durch den gezielten Rückhalt auf der ausgewiesenen Retentionsfläche ist die landwirtschaftliche Nutzung in diesem Bereich nur eingeschränkt möglich.

MNK_BA_02 Wasserrückhalt Barnstädt Süd – 2

Der Maßnahmenkomplex MNK_BA_02 dient analog zu MNK_BA_01 der Abflussminimierung am Weidenbach. Hierfür ist eine Entkopplung des Straßengrabens östlich der B 180 durch einen neuen Graben (BA_02_09) vorgesehen, welcher in südwestliche Richtung in einen geplanten Rückhalteraum (BA_02_07) entwässert. Dadurch wird zum einen die Abflussführung im Straßengraben in Richtung Weidenbach verringert und zum anderen das wild abfließende Wasser aus südlicher Richtung gefasst und schadlos abgeführt. Aufgrund der flächenhaften Zuströmung des Grabens wird südlich des geplanten Grabens ein Bewuchsstreifen (BA_02_10) empfohlen, der den potentiellen Sedimenteintrag und somit den Unterhaltungsaufwand minimiert.

Die geplante Retentionsfläche (BA_02_07) kann durch eine Feldweganhebung auf rd. 330 m um durchschnittlich 0,25 m realisiert werden. Der im Oberwasser zusätzlich entstehende Rückhalteraum beträgt ca. 42.000 m³. In Kombination mit dem Maßnahmenkomplex BA_01 stehen zum Rückhalt des Oberflächenwassers für das Einzugsgebiet der Weidaquelle insgesamt 104.000 m³ Rückhalteraum zur Verfügung. Durch eine vereinfachte Volumenbilanz zeigt sich, dass somit der anfallende Oberflächenabfluss an der Quelle des Weidenbachs für ein $N_{100}$ von ca. 24 m³/s auf 2 m³/s gesenkt werden kann (vgl. Abbildung 53). Da hierbei die Zwischeneinzugsgebiete nicht berücksichtigt wurden, ist die Dimensionierung des Drosselbauwerkes BA_02_06 analog zum MNK_BA_01 im Zuge einer Detailuntersuchung hydraulisch nachzuweisen.

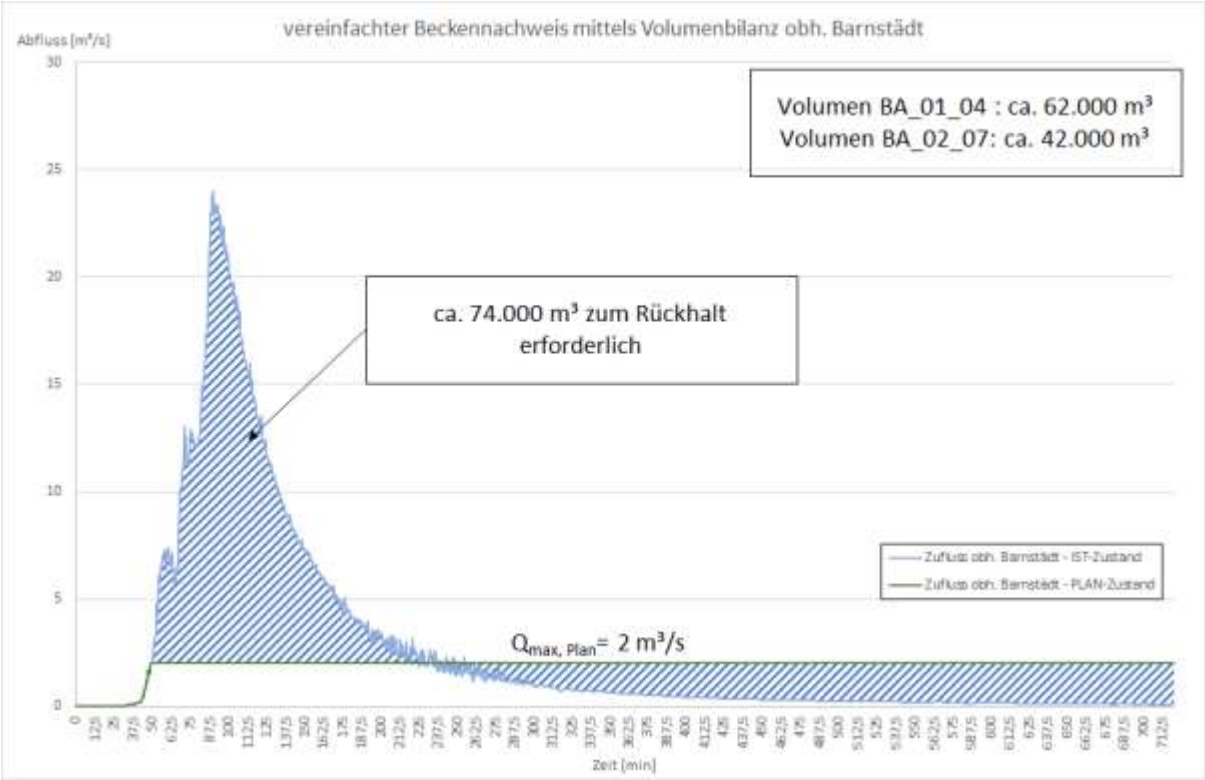


Abbildung 53: Potentielle Scheitelkappung an der Quelle des Weidenbachs für ein Starkregenereignis $N_{100}$ durch die Maßnahmenkomplexe BA_01 und BA_02

Ergänzend zu BA_02_07 besteht die Möglichkeit durch Anhebung des Feldweges (BA_02_01) einen weiteren Rückhalteraum im Oberwasser (BA_02_03) zu schaffen. Da in diesem Bereich bereits im Ist-Zustand erhöhte Wasserstände auftreten, ist der Rückhalteraumgewinn mit ca. 25.000 m³ verhältnismäßig gering. Dementsprechend kann dieser Standort lediglich als Ergänzung zum Retentionsraum BA_02_07 herangezogen werden.

Aufgrund der hydraulischen Interaktion mit dem Rückhalteraum im Unterwasser (BA_02_07), ist analog zu den bereits beschriebenen Standorten eine Detailuntersuchung für das Drosselbauwerk (BA_02_04) erforderlich.

Durch den gezielten Rückhalt auf der ausgewiesenen Retentionsfläche ist die landwirtschaftliche Nutzung in diesem Bereich zwar möglich, es wären jedoch im Falle eines Wasserrückhalts Verluste/Schäden an den landwirtschaftlichen Kulturen in den Einstaubereichen zu verzeichnen.

Abbildung 54: MNK_BA_02 südwestlich von Barnstädt zur Minimierung des Oberflächenabflusses am Weidenbach

## MNK_BA_03 Strömungslenkung Barnstädt Süd

Ergänzend zum Entlastungsgraben BA_02_09 wird ein weiterer Entlastungsgraben (BA_03_01) für den östlich der B 180 befindlichen Straßengraben empfohlen. Die Entwässerung erfolgt in östliche Richtung über einen Durchlass (BA_03_04) in die Fläche. Anschließend ist eine unkontrollierte und schadlose Oberflächenabflussführung möglich.

Ziel dieses Maßnahmenkomplexes ist es zum einen den Oberflächenabfluss zum Weidenbach sowie am Fließweg „Bäckergrund“ zu minimieren. Zum anderen wird durch den Graben (BA_01_03) sowie einen Gehölzschutzstreifen (BA_03_03) die Fließgeschwindigkeit und die Erosionsgefahr auf den landwirtschaftlichen Flächen in Richtung Barnstädt verringert. Die unkontrollierte Abflussführung in der Fläche unterhalb des Durchlassbauwerkes (BA_03_04) ermöglicht eine erhöhte Verweilzeit und somit die Infiltrationsmöglichkeit auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Die vorgesehenen Maßnahmen erfordern einen ca. 5 m breiten und rund 780 m langen Bereich parallel zum Feldweg, sodass hier keine landwirtschaftliche Nutzung möglich ist. Darüber hinaus kann es im Auslaufbereich des Durchlasses (BA_03_04) zu Bodenerosionen kommen. Diese sind ggf. mit einem weiteren Bewuchsstreifen unterhalb zu kompensieren.

Abbildung 55: MNK_BA_03 südlich von Barnstädt zur Kontrollierten Abflussführung im Einzugsgebiet

## MNK_BA_04 Ableitung und Rückhalt an der Weidaquelle

Der Maßnahmenkomplex BA_04 enthält strömungslenkende Maßnahmen für Göhritz-Süd sowie optionale Maßnahmen zur Verbesserung der Retention im Bereich der Weidaquelle und lokalen Infiltration (vgl. Abbildung 56).

Zur Verringerung des Starkregenrisikos der Anlieger Am Hopfengarten sowie im Bereich der Kleingartenanlage in Göhritz-Süd wird ein neuer Graben (BA_04_05) empfohlen, der das anfallende Oberflächenwasser kontrolliert und schadlos in Richtung Weidaquelle abführt. Zur Querung des Feldweges in südlicher Richtung ist ein neuer Durchlass (BA_04_06) erforderlich. Anschließend erfolgt die Entwässerung in den bereits vorhandenen Rückhalteraum oberhalb der Weidaquelle (vgl. Abbildung 57). Optional kann die hydraulische Leistungsfähigkeit des Grabens (BA_04_05) durch eine linksseitige Verwallung (BA_04_07; BA_04_08) optimiert werden.

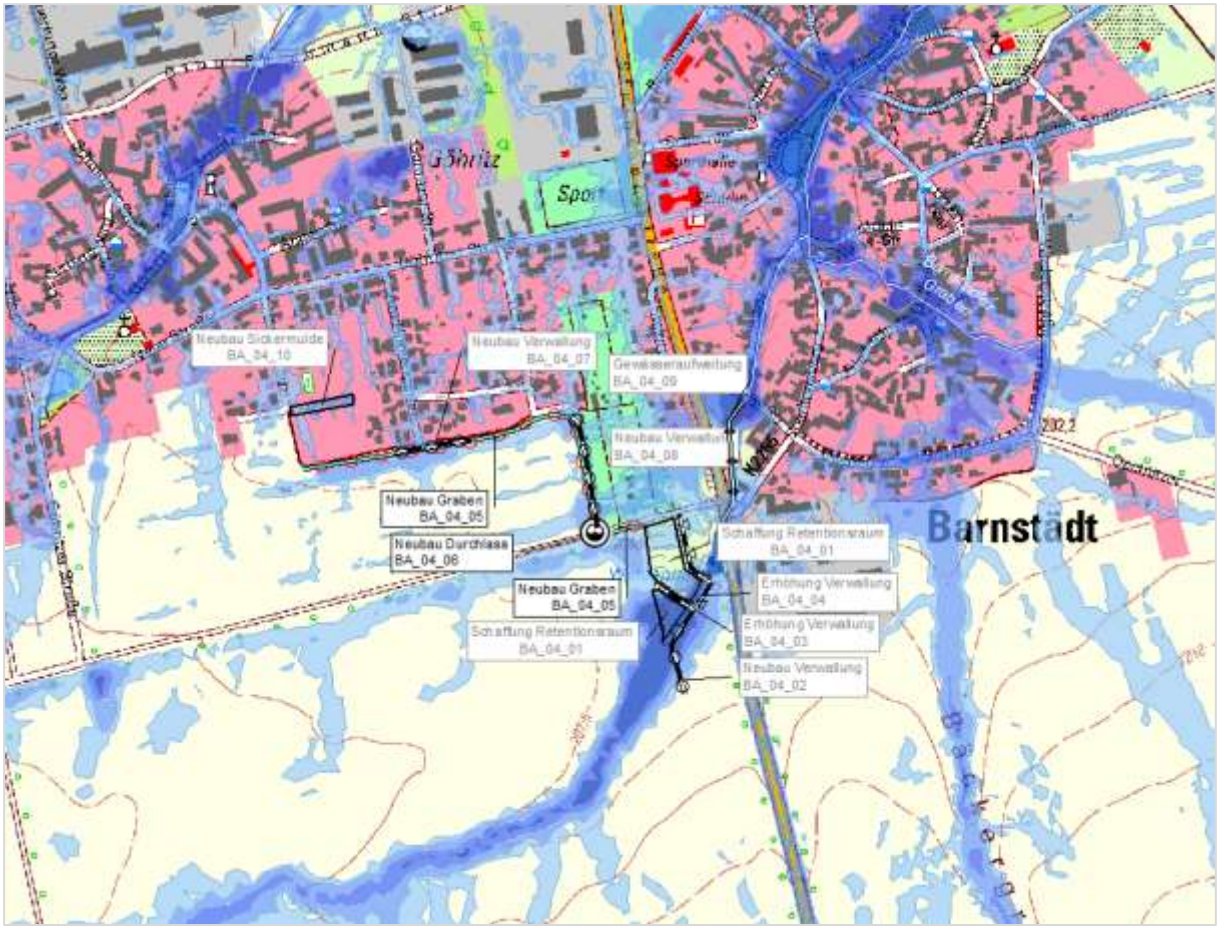


Abbildung 56: MNK_BA_04 zur Strömungslenkung und zur Förderung des Rückhalts sowie Infiltration im Bereich Göhritz-Süd und Weidaquelle

Der vorhandene Rückhalteraum oberhalb der Weidaquelle kann durch weiterführende Geländemodellierungen (BA_04_01) und Verwallungen (BA_04_02; BA_04_03) vergrößert werden. Der dabei zusätzlich generierbare Rückhalteraum von ca. 4.500 m³ ist im Vergleich zu den im Oberlauf des Fließweges zur Weidaquelle vorgeschlagenen Retentionsflächen (BA_01_04; BA_02_07) gering, sodass diese als optionale Maßnahmen vorgesehen sind.

Abbildung 57: Vorhandene Retentionsfläche oberhalb der Weidaquelle

Das vorhandene Starkregenrisiko für die Anlieger der Neuen Straße im Bereich Göhritz-Süd ist bedingt durch Abflussbildungsprozesse. Optional kann zur Verringerung des Starkregenrisikos in diesem Bereich eine Sickermulde (BA_04_10) vorgesehen werden, die zur lokalen Verbesserung der Infiltration beiträgt. Hierbei ergibt sich allerdings eine räumlich begrenzte hydraulische Wirksamkeit, sodass ggf. weitere Maßnahmen zur Eigenvorsorge erforderlich sind.

Durch die erhöhte Abflussführung im Weidenbach kommt es zu hohen Betroffenheiten durch Starkregen in der Ortslage Barnstädt. Unterhalb des Brückenbauwerks der Bundesstraße B 180 bis zur Straßenbrücke Oechlitzer Straße besteht die Möglichkeit, die Gerinnekapazität durch eine Gewässeraufweitung (BA_04_09) zu erhöhen und somit das Starkregenrisiko zu verringern. Die hydraulische Wirksamkeit ist allerdings lokal beschränkt, sodass diese als optionale Maßnahme im Maßnahmenkonzept berücksichtigt wird.

## MNK_BA_05 Rückhalt Barnstädt-Ost

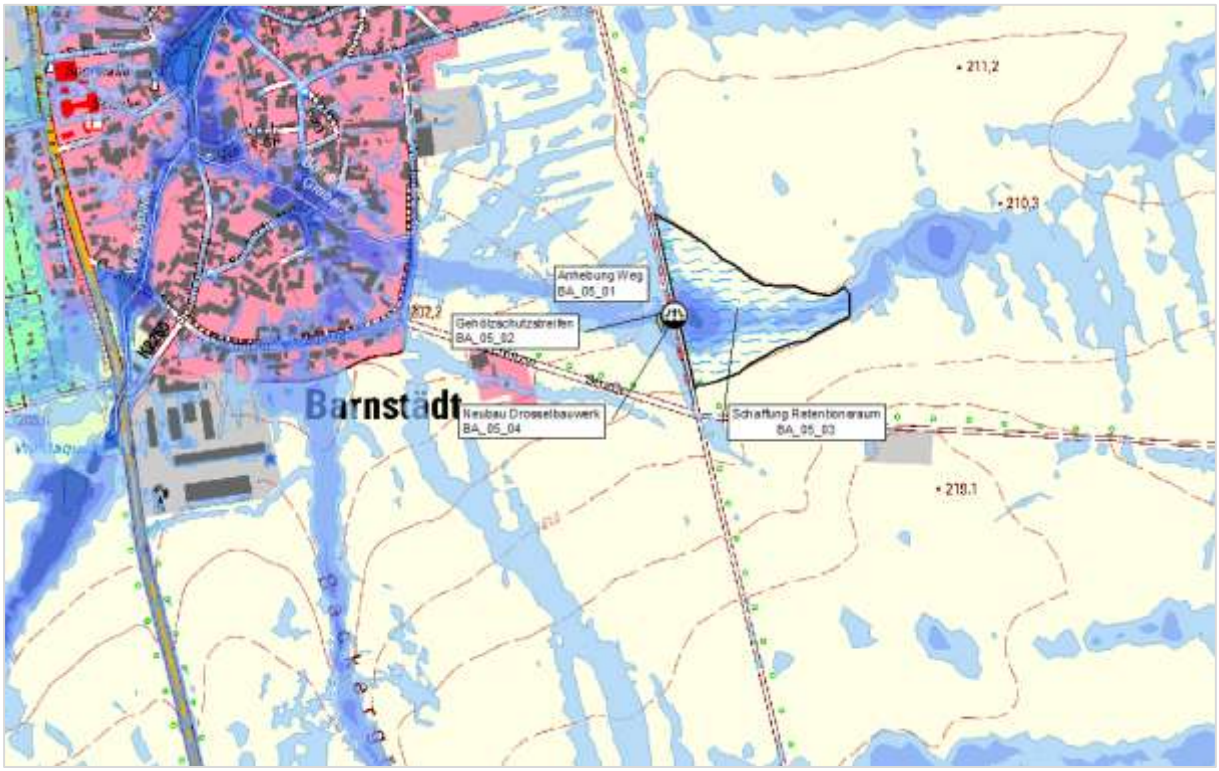


Abbildung 58: Maßnahmenkomplex BA_05 zur Verringerung des Starkregenrisikos am Barnstädter Graben durch Rückhalt im Außeneinzugsgebiet

Zur Verringerung des Außengebietszufluss des Barnstädter Grabens wird die Schaffung einer Retentionsfläche (BA_05_03) östlich der Ortslage empfohlen. Durch Anhebung des Feldweges (BA_05_01) auf ca. 277 m um durchschnittlich 1 m kann ein Rückhalteraum von ca. 10.000 m³ generiert werden. Zur optimalen Scheitelkappung und Retentionsraumnutzung ist im Zuge einer Detailuntersuchung das Drosselbauwerk (BA_05_04) zu dimensionieren. Derzeit wird von einem DN 600 mit einer maximalen hydraulischen Leistungsfähigkeit von 1,1 m³/s ausgegangen.

Darüber hinaus wird zur Vermeidung zusätzlicher Bodenerosionen im Auslaufbereich ein Bewuchsstreifen (BA_05_02) empfohlen, der zur Verringerung der Fließgeschwindigkeit beiträgt.

Eine vereinfachte Volumenbilanzierung zeigt, dass unter der Annahme eines DN 600 ca. 5.000 m³ Rückhaltevolumen erforderlich ist, um den Zufluss östlich der Ortslage Barnstädt von ca. 3,8 m³/s auf 1,1 m³/s zu senken (vgl. Abbildung 59).
Für einen Durchlass DN 400 bedarf es eines Rückhaltevolumens von ca. 9.000 m³, um einen maximalen Drosselabfluss von rd. 0,4 m³/s zu erreichen. Jedoch besteht bei zunehmend kleineren Durchlässen die Gefahr der Verklausung, wodurch der Unterhaltungsaufwand steigt. Im Zuge der Maßnahmenplanung und -umsetzung sind diesbezüglich Detailuntersuchungen durchzuführen.

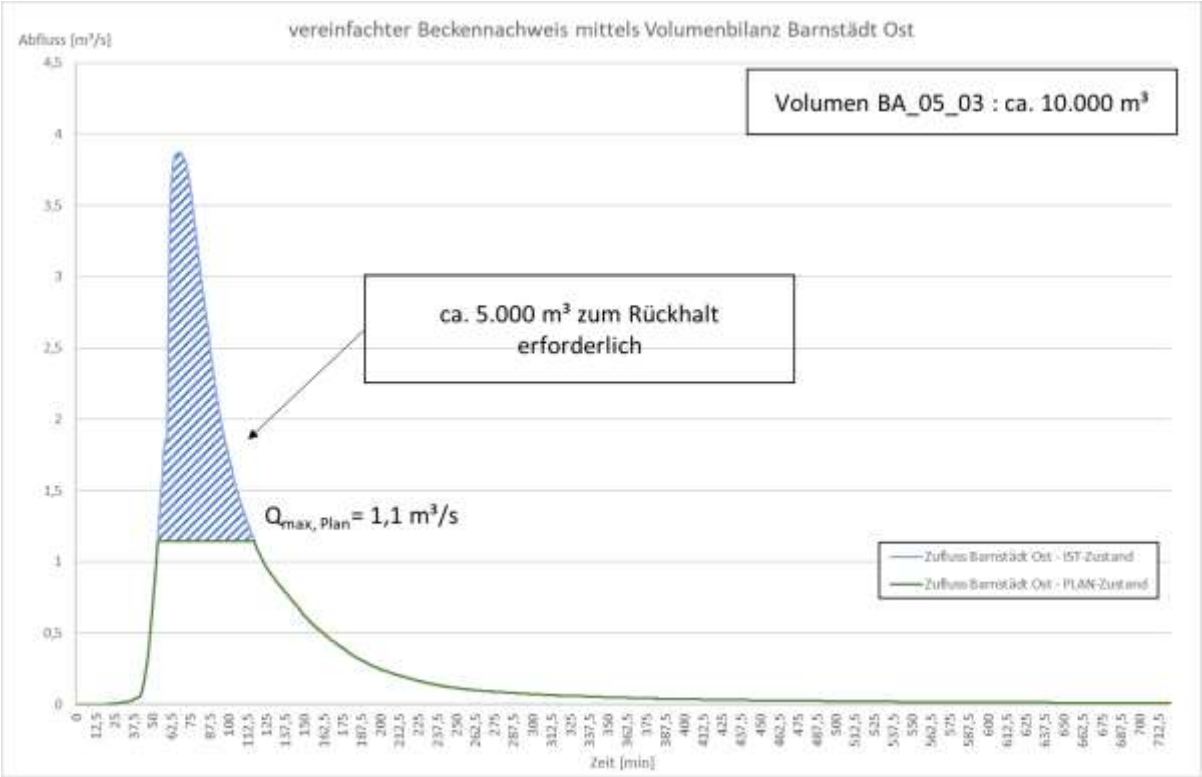


Abbildung 59: Potentielle Scheitelkappung am Außengebietszufluss des Barnstädter Grabens für ein Starkregenereignis $N_{100}$ durch den Maßnahmenkomplex BA_05

## MNK_BA_06 Ableitung und Rückhalt Fließweg Barnstädt-Süd

In Folge des Starkregenereignisses vom Mai 2017 waren vor allem die Anlieger der Oechlitzer Straße durch wild abfließendes Wasser aus Richtung Bäckergrund betroffen. Daher wurden im Rahmen der Eigenvorsorge bereits vereinzelte Objekte in diesem Bereich durch neue Grundstücksmauern geschützt. Teilweise führen diese Maßnahmen zur Erhöhung des Starkregenrisikos an benachbarten Grundstücken, sodass in diesem Bereich retentionsfördernde und strömungslenkende Maßnahmen auf der landwirtschaftlichen Fläche im Oberlauf empfohlen werden (vgl. Abbildung 60).

Zur Generierung von ca. 9.500 m³ Rückhalteraum (BA_06_03) wird eine ca. 268 m lange Verwallung empfohlen. Ab einer Einstauhöhe von ca. 205 m NHN wird das zusätzlich anfallende Oberflächenwasser über einen neuen Graben (BA_06_02) in Richtung des Barnstädter Grabens abgeführt. Zum Anschluss des Grabens BA_06_02 an den Bestandsgraben ist ein Durchlass (BA_06_04) an der Oechlitzer Straße erforderlich. Eine vollständige Entleerung des Rückhalteraums ist aufgrund der topographischen Gegebenheiten und der angrenzenden Siedlungsfläche nur durch Infiltration möglich. Dementsprechend ergibt sich für diese Retentionsfläche (BA_06_03) im Vergleich zu den bereits beschriebenen Retentionsflächen eine erhöhte Einstaudauer.

Zur Verringerung der Einstaudauer wäre alternativ ein Drosselbauwerk mit Anschluss an den Gaben BA_06_02 möglich. Positiver Nebeneffekt hierbei wäre eine optimierte Nutzung des Stauraums von

9.500 m³. Allerdings sind hierfür neben des zusätzlichen Drosselbauwerks ein weiterer Entwässerungsgraben in der Retentionsfläche sowie erhebliche Geländemodellierungen erforderlich. Aufgrund der erheblichen Kostensteigerung ist diese Variante im Maßnahmenkomplex nicht aufgeführt.

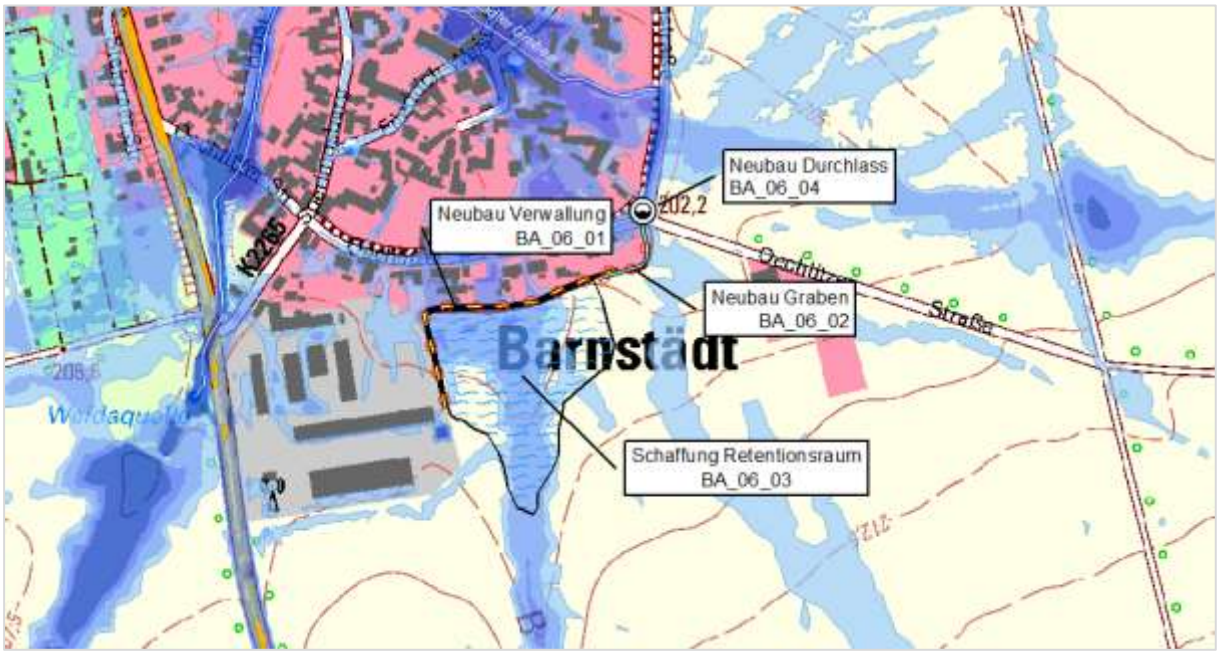


Abbildung 60: Maßnahmenkomplex BA_06 zur Verringerung des Starkregenrisikos an der Oechlitzer Straße

Dauerhafte Restriktionen sind dadurch für die landwirtschaftliche Nutzung im Bereich des geplanten Grabens (BA_06_02) zu erwarten. Temporär wird im Falle eines eintretenden Starkregenereignisses die landwirtschaftliche Nutzung im Bereich der Retentionsfläche (BA_06_03) eingeschränkt.

Im Zuge der Maßnahmenplanung und -umsetzung ist eine Detailuntersuchung für diesen Bereich erforderlich. Da durch den Maßnahmenkomplex BA_03 bereits eine Verkleinerung des Einzugsgebietes für die Oechlitzer Straße erfolgt, ist die Interaktion zwischen MNK_BA_03 und MNK_BA_06 zu berücksichtigen. Die Abbildung 61 zeigt eine vereinfachte Volumenbilanzierung für den Maßnahmenkomplex <u>ohne</u> Berücksichtigung von MNK_BA_03. Dabei ergibt sich eine Scheitelkappung von 7,1 m³/s in Richtung Oechlitzer Straße auf ca. 5,7 m³/s in Richtung Barnstädter Graben. Durch Berücksichtigung des Maßnahmenkomplexes BA_03 ist hier eine erheblich verbesserte hydraulische Wirksamkeit zu erwarten.

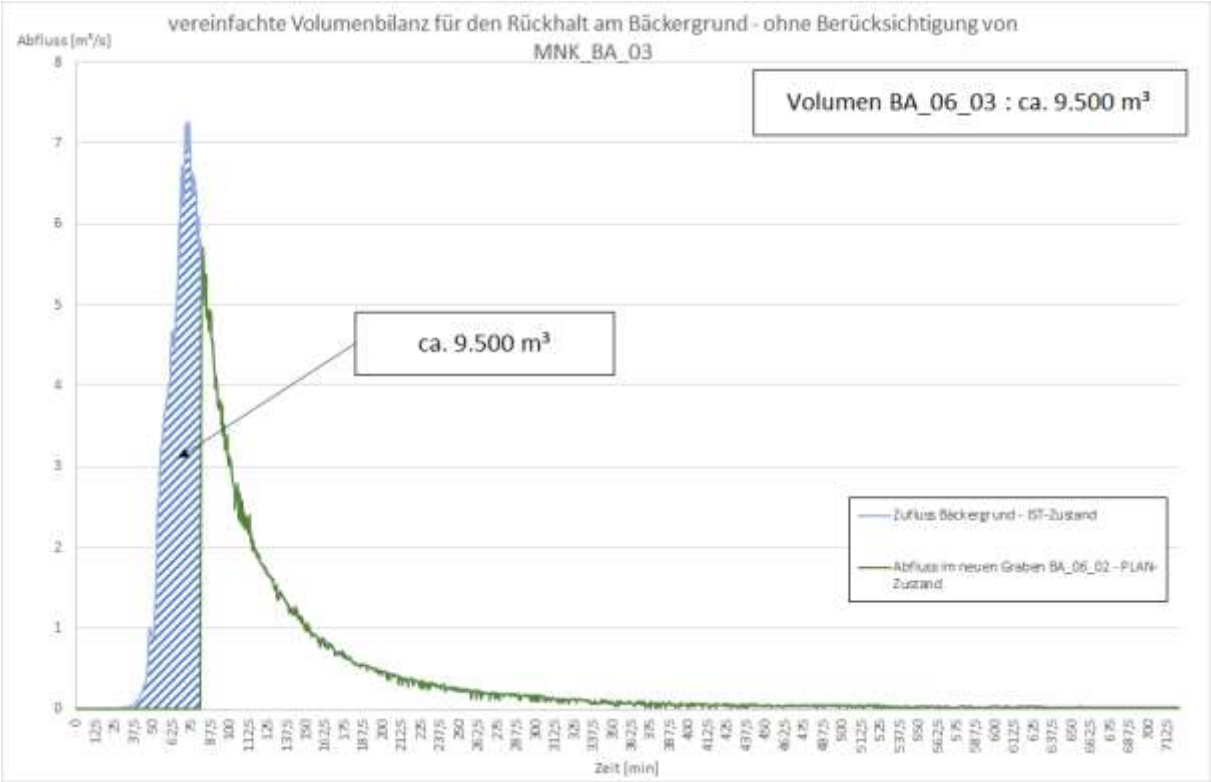


Abbildung 61: vereinfachte Volumenbilanzierung für die hydraulische Wirksamkeit des Maßnahmenkomplexes BA_06 ohne Berücksichtigung des MNK_BA_03

## MNK_BA_07 Unterhaltungsmaßnahmen am Barnstädter Graben

Zur Verbesserung der innerörtlichen Abflussführung und Gewährleistung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des Barnstädter Grabens ist eine regelmäßige Gewässerunterhaltung (BA_07_01) erforderlich.

Die im Oberwasser durch den Anlieger errichtete Grundstückszufahrt ist zurückzubauen (BA_07_02), da diese als Fließhindernis wirkt (vgl. Abbildung 62). Darüber hinaus ist der vorhandene Durchlass im Mündungsbereich zum Weidenbach freizuhalten (BA_07_03). Im Einlaufbereich des Barnstädter Grabens befindet sich ein Einlaufgitter, das bei erhöhtem Geschiebetransport als Fließwiderstand wirken kann. Dieses ist zu entfernen oder ggf. im Starkregenfall freizuhalten (vgl. Abbildung 62).

Abbildung 62: Grundstückszufahrt (li.) und Einlaufgitter (re.) als potentielle Fließhindernisse am Barnstädter Graben

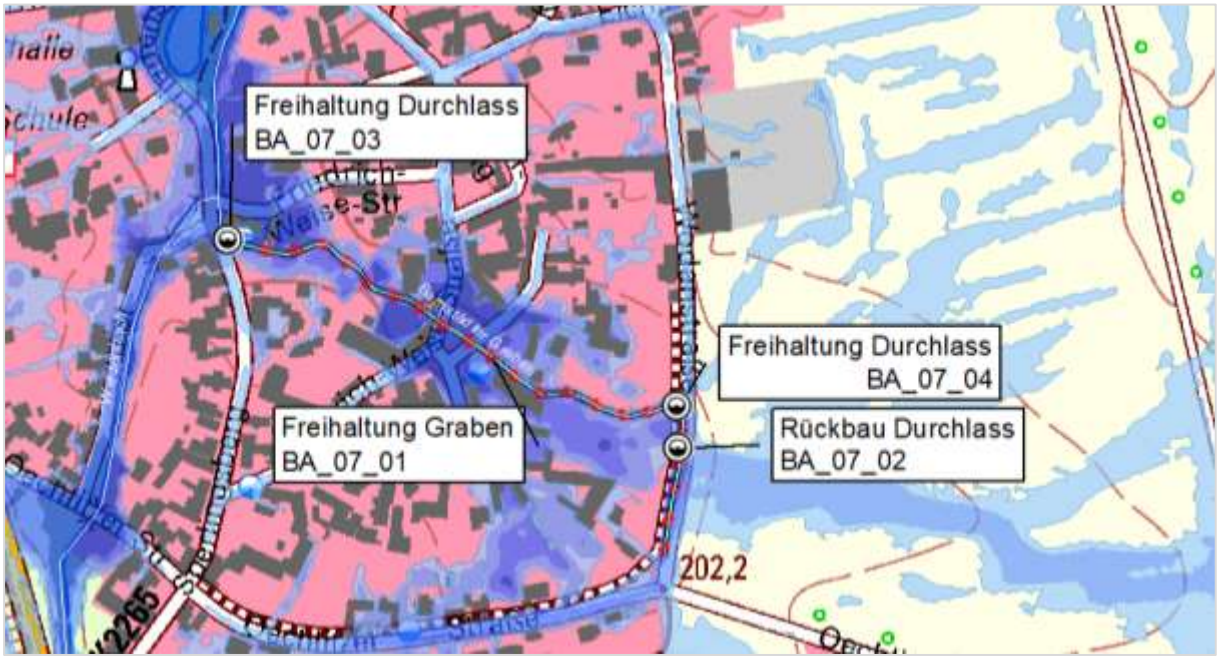


Abbildung 63: Unterhaltungsmaßnahmen am Barnstädter Graben (MNK_BA_07)

## MNK_BA_08 Ableitung Fließweg Göhritz West

Der Maßnahmenkomplex BA_08 dient der Starkregenrisikominimierung in Göhritz. Durch ein neues Entwässerungssystem auf den angrenzenden Ackerflächen wird das anfallende Oberflächenwasser frühzeitig akkumuliert und schadlos abgeführt (vgl. Abbildung 64).

Westlich der Ortslage ist hierfür ein ca. 741 m langer Graben vorgesehen, der das anfallende Oberflächenwasser sammelt und in nördliche Richtung durch einen neuen Durchlass (BA_08_03) in einen weiteren neuen Graben (BA_08_05) leitet. Ergänzend sind an den ausgewiesenen Hauptfließwegen Gehölzschutzstreifen (BA_08_08) vorzusehen. Dadurch wird der Sedimenteintrag und somit der Unterhaltungsaufwand der neuen Gräben verringert.

Aufgrund der topographischen Gegebenheiten kommt es zur Abflussbildung entlang der Schmoner Straße in Göhritz. Mit Hilfe einer Querrinne oberhalb des Kreuzungsbereichs Schmoner Straße – Göhritzer Straße kann das anfallende Oberflächenwasser in den neuen Graben (BA_08_05) geleitet werden, wodurch das Starkregenrisiko der Unterlieger minimiert wird.

Zur Erhöhung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der neuen Gräben können optional parallel verlaufende Verwallungen vorgesehen werden (BA_08_02; BA_08_07).

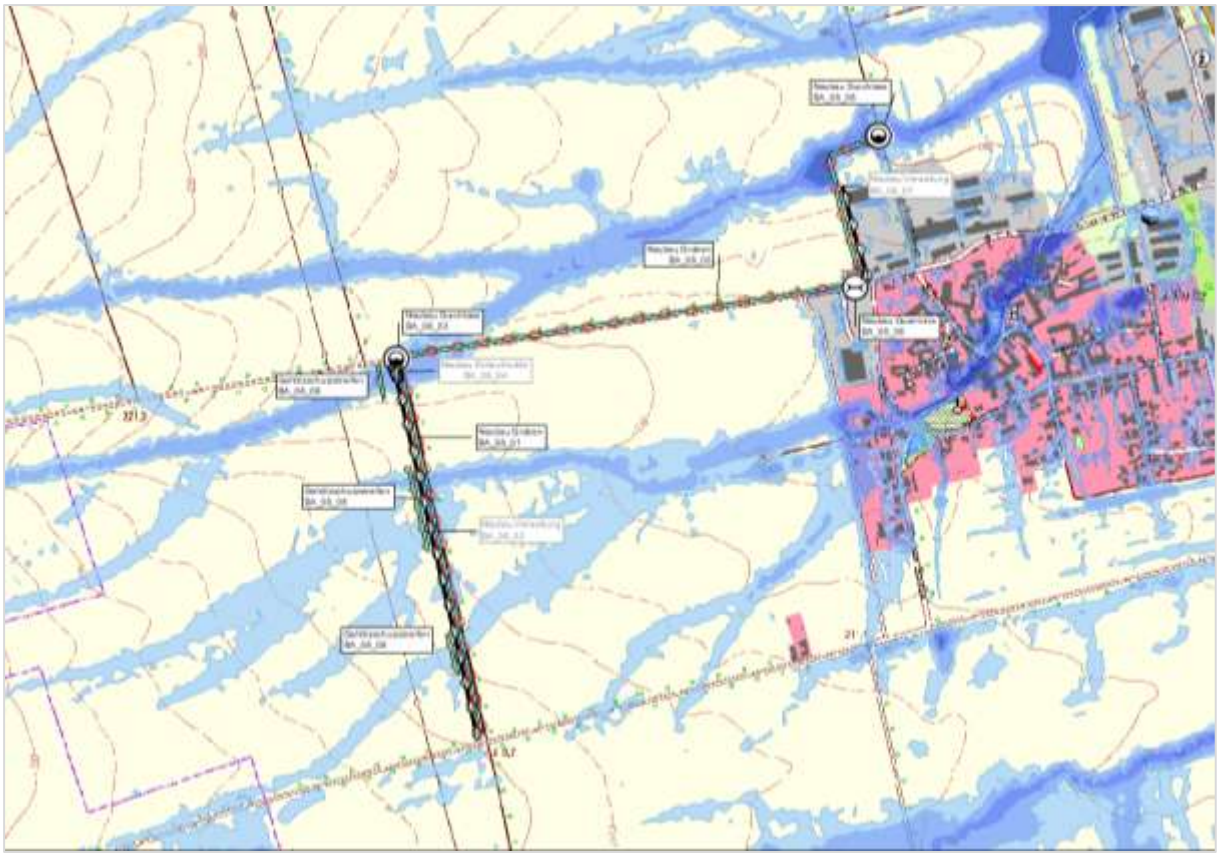

Abbildung 64: Neubau eines Grabensystems westlich der Ortslage Göhritz (MNK_BA_08)

## MNK_BA_09 Ableitung und Infiltrationsförderung Göhritz West

Der Maßnahmenkomplex BA_09 beinhaltet zwei ergänzende und optionale Varianten zum Maßnahmenkomplex BA_08. Ziel des MNK_BA_09 ist es, das anfallende Oberflächenwasser bei Starkregen im Einzugsgebiet zwischen Göhritz und MNK_08 abzuleiten bzw. zu infiltrieren.

Die erste Variante sieht einen ca. 427 m langen Graben (BA_09_01) vor, der das anfallende Oberflächenwasser fasst und schadlos in nördliche Richtung über einen neuen Durchlass (BA_09_02) in den Graben BA_08_05 entwässert. Aufgrund der Topographischen Gegebenheiten ergibt sich jedoch in diesem Bereich ein hydraulisch ungünstiges Gegengefälle für den neuen Graben (BA_09_01), sodass für eine schadlose Abflussführung eine abschnittsweise 1,5 m tiefe Sohle erforderlich ist. Die daraus resultierende Profilierung des Grabens ist mit einem erheblichen wirtschaftlichen Aufwand verbunden, sodass diese Variante als alternative Maßnahme in das Maßnahmenkonzept aufgenommen wurde.

Eine weitere Variante zur zusätzlichen Starkregenrisikominimierung in Göhritz sind zwei Sickermulden (BA_09_04; BA_09_05) im Zuströmbereich Luppens Weg. Dabei wird das Ziel verfolgt das anfallende Oberflächenwasser in Mulden zu fassen und zu infiltrieren. Zur Dimensionierung dieser Sickermulden sind im Zuge der Maßnahmenplanung und -umsetzung bodengutachterliche Untersuchungen hinsichtlich Infiltrationsvermögen des Bodens durchzuführen. Darüber hinaus ist die hydraulische Interaktion mit dem Maßnahmenkomplex BA_08 zu berücksichtigen.

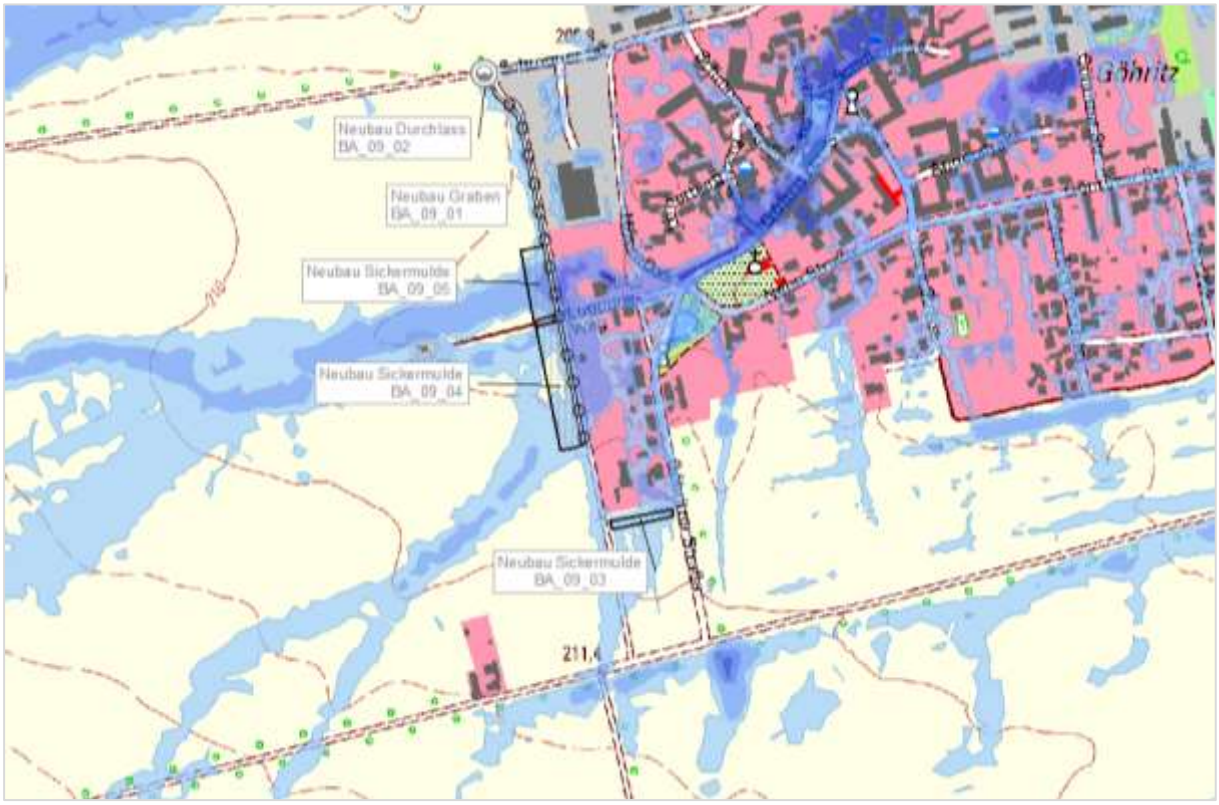


Abbildung 65: Optionale Maßnahmen zur Strömungslenkung bzw. zur Förderung der lokalen Versickerung in Göhritz West (MNK_BA_09)

## MNK_BA_10 Ableitung Fließweg Göhritz Nord

Ziel des Maßnahmenkomplexes BA_10 ist die Minimierung des Starkregenrisikos an der Photovoltaikanlage und den landwirtschaftlichen Betriebsgebäuden in Göhritz Nord. Hierfür wird eine Verbesserung der Abflussführung am Göhritzer Graben empfohlen.

Dementsprechend ist der Göhritzer Graben laufend von Krautwuchs freizuhalten (BA_10_01), um die hydraulische Leistungsfähigkeit des Gewässers zu gewährleisten.

Im Bereich der Photovoltaikanlage sind zudem des vorhandene Gewässerprofil (BA_10_03) und der vorhandene Durchlass an der Bundesstraße B 180 (BA_10_06) aufzuweiten, sodass die lokale Infrastruktur bei erhöhter Abflussführung im Gewässer in Folge von Starkregen geschützt wird. Zur weiteren Erhöhung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des Göhritzer Grabens sind optional beidseitig Verwallungen vorzusehen.

Die vorhandene Überfahrt des Göhritzer Grabens oberhalb der Photovoltaikanlage wird bei erhöhter Abflussführung vollständig eingestaut. Zur Vermeidung des Aufstaus im Oberwasser und Verringerung der lokal auftretenden Ausuferung wird ein Rückbau des Bestandsdurchlasses (BA_10_02) empfohlen.

Der Bedarf an ergänzenden Objektschutzmaßnahmen in diesem Bereich ist im Zuge einer Detailuntersuchung abzuleiten.

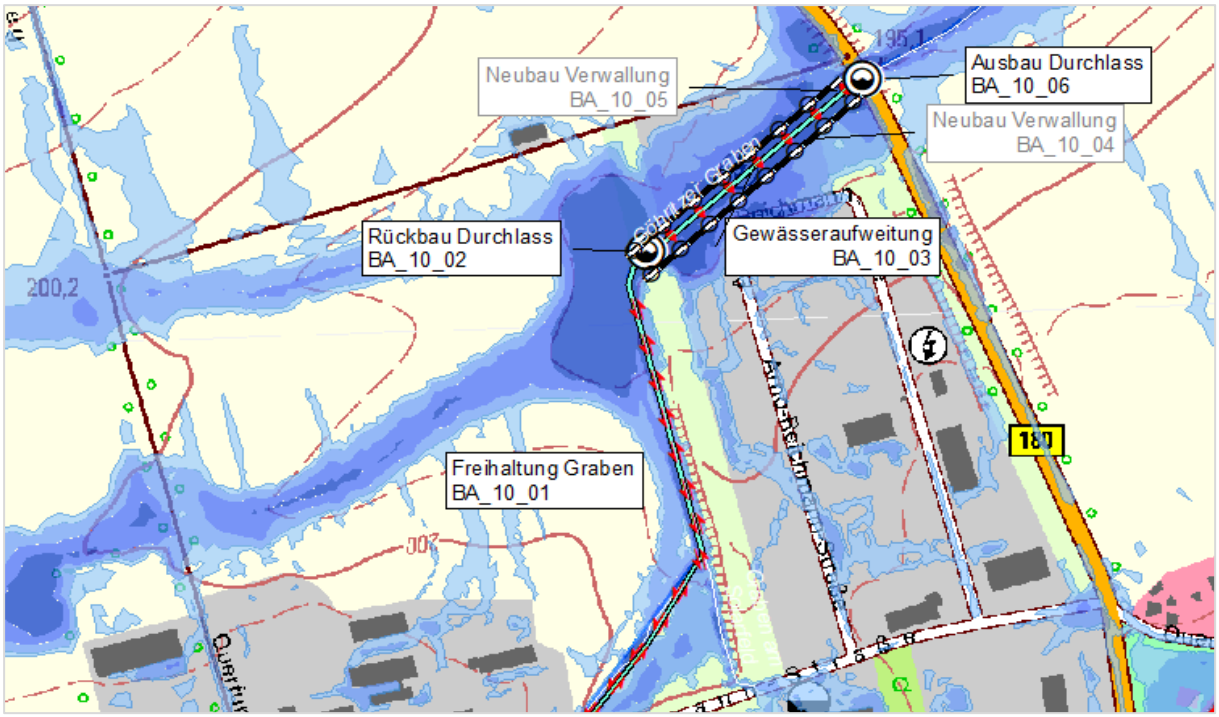


Abbildung 66: Verbesserung der hydraulischen Leistungsfähigkeit am Göhritzer Graben (MNK_BA_10)

## MNK_GD_01 Rückhalt am Weidenbach

Zwischen den Ortslagen Barnstädt und Göhrendorf wurde bereits eine Maßnahme zur Förderung der Retention am Weidenbach umgesetzt. Dabei wurde der sich ergebende Rückstau durch die Straßenbrücke Wiesenweg in Göhrendorf genutzt und die linksseitige Böschung auf ca. 300 m abgesenkt (GS_01_04).

Oberhalb des linksseitigen Geländeabtrags kann ein zusätzlicher Rückhalteraum von rd. 9.700 m³ (GD_01_02) durch ein ca. 4 m hohes Dammbauwerk (GD_01_01) geschaffen werden. Analog zu GD_01_04 kann durch linksseitigen Geländeabtrag der Retentionsraum weiter vergrößert werden. Da der vorgeschlagene Retentionsraum direkt am Gewässer liegt, wäre eine Unterhaltung der Anlage durch den Gewässerunterhaltungsverband zweckmäßig.
Aufgrund des niedrigen Kosten-Nutzen-Verhältnisses für diese Anlage, ist dieser Rückhalteraum als optionale Maßnahme aufgeführt. Für die Dimensionierung der Anlage sind im Rahmen der Maßnahmenplanung und -umsetzung Detailuntersuchungen unter Berücksichtigung der Rückhaltemaßnahmen oberhalb von Barnstädt zu berücksichtigen.

Zudem befindet sich im Unterlauf der Ortslage Barnstädt eine Straßenbrücke zur Querung des Weidenbachs, die als Fließhindernis wirkt und somit zu lokalem Rückstau führt. Zur Verringerung des Starkregenrisikos in diesem Bereich wird eine Aufweitung des durchströmbaren Bereiches an der Straßenbrücke (GD_01_05) empfohlen.

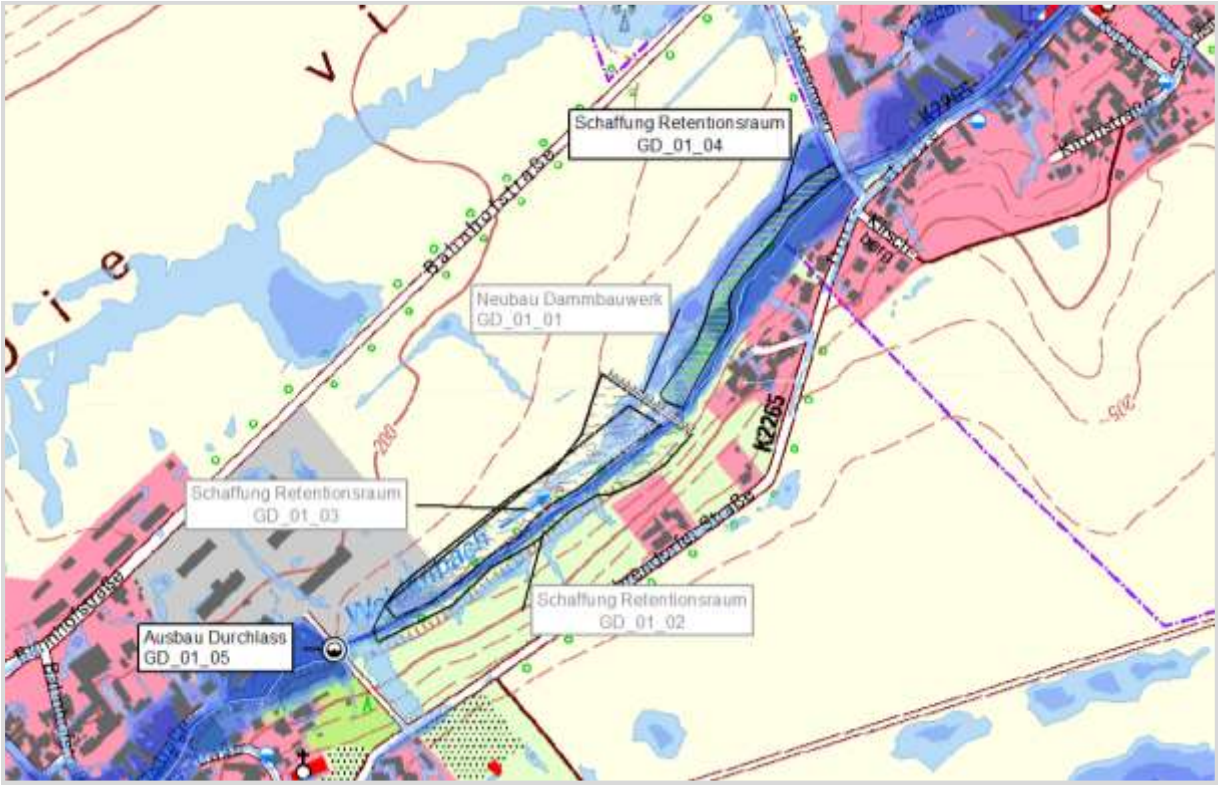


Abbildung 67: Maßnahmen zum Rückhalt am Weidenbach zwischen Barnstädt und Göhrendorf (MNK_GD_01)

## MNK_GD_02 Rückhalt Göhrendorf Süd

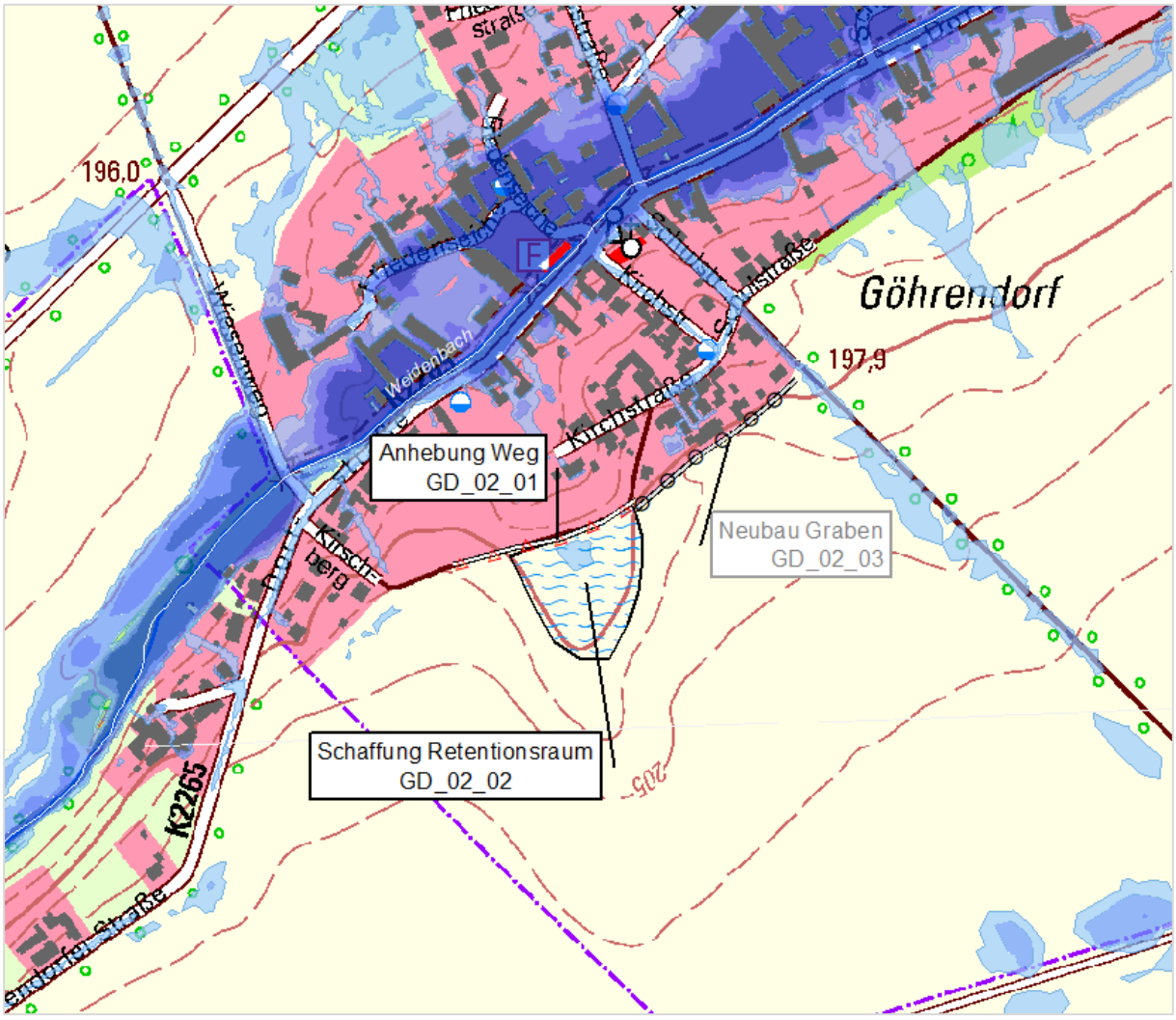


Abbildung 68: Maßnahmen zum Rückhalt in Göhrendorf – Süd (MNK_GD_02)

Die Anlieger der Kirchstraße in Göhrendorf Süd sind durch lokal auftretende Abflussbildungsprozesse auf den angrenzenden Ackerflächen bei Starkregen betroffen. Zur Minimierung des Starkregenrisikos wird die Schaffung eines Retentionsraumes mit einem maximal möglichen Fassungsvermögen von ca. 4.400 m³ oberhalb (GD_02_02) empfohlen. Hierfür ist eine Anhebung des Feldweges auf einer Länge von ca. 146 m notwendig (GD_02_01).

Im Zuge der Maßnahmenplanung und -umsetzung ist eine Detailuntersuchung für diesen Bereich erforderlich. Sollte sich hierbei eine Überströmung des neu geplanten Feldweges (GD_02_01) ergeben, kann ein neuer Entlastungsgraben (GD_02_03) in Richtung Schulstraße vorgesehen werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass im Falle einer Beanspruchung des neuen Grabens die Schulstraße als Notwasserweg zur Entwässerung dient.

## MNK_GD_04 Versickerung Göhrendorf Ost

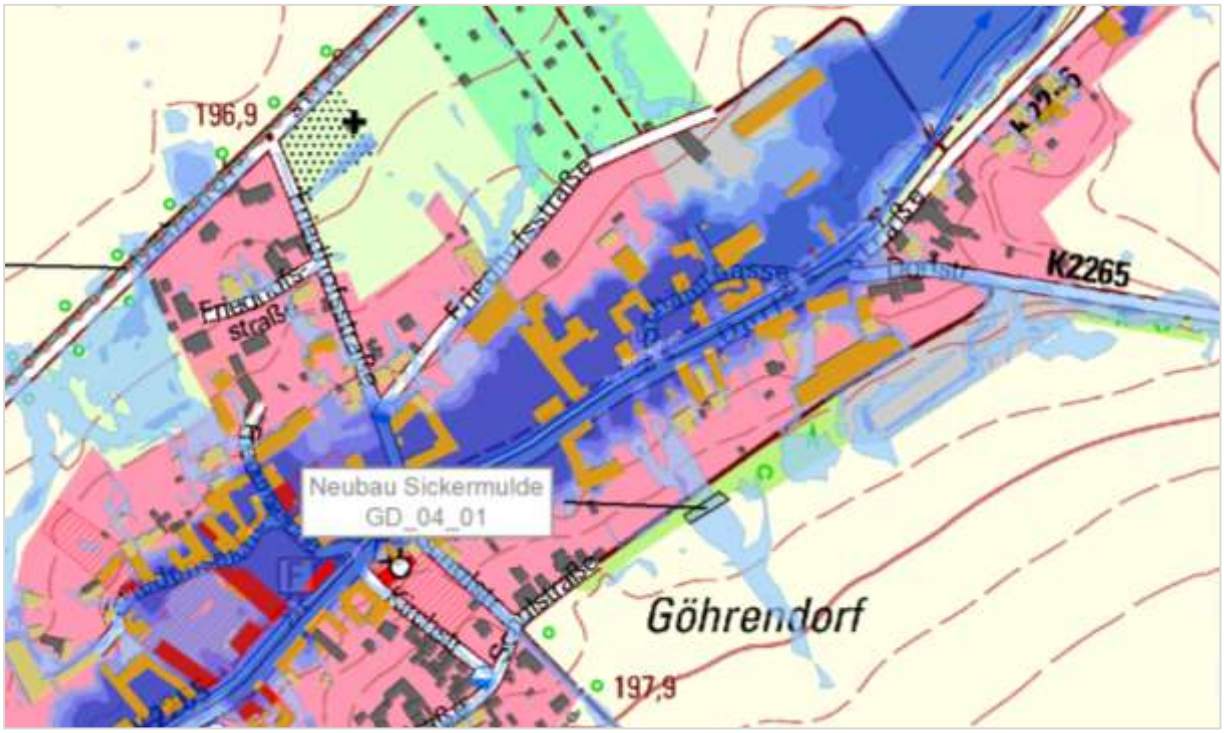


Abbildung 69: Maßnahmen zur Versickerung in Göhrendorf – Ost (MNK_GD_04)

Im nordöstlichen Bereich der Ortslage Göhrendorf besteht ein mäßig bis hohes Starkregenrisiko für die Anlieger zwischen dem angrenzenden Feldweg und der Dorfstraße. Ergänzend zur Überflutungsgefahr durch den Weidenbach werden die Anlieger in diesem Bereich durch das anfallende Oberflächenwasser von der angrenzenden Ackerfläche aus östlicher Richtung betroffen.

Zur Minimierung des Starkregenrisikos wird in diesem Bereich eine Sickermulde im Bereich des Fließweges empfohlen (vgl. Abbildung 69). Da die Hauptursache der Starkregengefährdung in diesem Bereich der Weidenbach mit seiner erhöhten Abflussführung ist, stellt dieser Maßnahmenkomplex lediglich eine Ergänzung zu den retentionsfördernden Maßnahmen im Oberwasser dar. Dementsprechend ist diese Maßnahme als optionale Maßnahme im Konzept aufgeführt.

Zur Dimensionierung dieser Sickermulde sind im Zuge der Maßnahmenplanung und -umsetzung bodengutachterliche Untersuchungen hinsichtlich Infiltrationsvermögen des Bodens durchzuführen. Gemäß den Berechnungsergebnissen ergibt sich in diesem Bereich ein maximaler Oberflächenabfluss für ein $N_{100}$ von rd. 1,0 m³/s. Dementsprechend ist bei der Dimensionierung auf eine Mindestinfiltrationsrate von 1,0 m³/s zu achten.

Durch die vorgesehene Sickermulde ist eine landwirtschaftliche Nutzung im Maßnahmenbereich nicht mehr möglich.

## MNK_ND_01 Polder Nemsdorf Süd

Im südlichen Bereich der Ortslage Nemsdorf besteht die Möglichkeit, durch gezielte und kontrollierte Überschwemmung der Grünfläche im linksseitigen Vorland, zusätzlichen Retentionsraum zu generieren (ND_01_04). Hierfür ist die linksseitige Böschung des Weidenbachs auf ca. 200 m Länge um durchschnittlich 0,5 m anzuheben (ND_01_03). Zur Optimierung der Drosselwirkung sind im Bereich des Zulaufs (ND_01_01) sowie des Auslaufs (ND_01_02) Geländeabsenkungen vorzusehen. Zur Generierung zusätzlichen Retentionsraums sind auch geringfügige Geländemodellierungen möglich. Durch eine geringfügige Geländeabsenkung kann der Stauraum um zusätzlich 2.500 m³ erhöht werden (vgl. Abbildung 70).

Da die Fläche bereits im Ist-Zustand teilweise überströmt wird, ist lediglich ein zusätzliches Rückhaltevolumen von ca. 2.500 m³ möglich, womit die Wirksamkeit als gering einzuschätzen ist. Dementsprechend wird dieser Maßnahmenkomplex als optionale bzw. ergänzende Maßnahme im vorgeschlagenen Konzept geführt.

Im Zuge der Maßnahmenplanung und -umsetzung ist eine Detailuntersuchung für diesen Bereich erforderlich. Dabei ist die Interaktion mit den Maßnahmen im Oberlauf zu berücksichtigen, da diese den Abfluss am Weidenbach maßgeblich beeinflussen.
Grundsätzlich bestehen ausschließlich im Flutungsfall Restriktionen bei der derzeitigen Flächennutzung als Weideland. Da es bereits im Ist-Zustand zur Überströmung der Fläche kommt, entsteht somit keine Verschlechterung in der Flächennutzbarkeit.

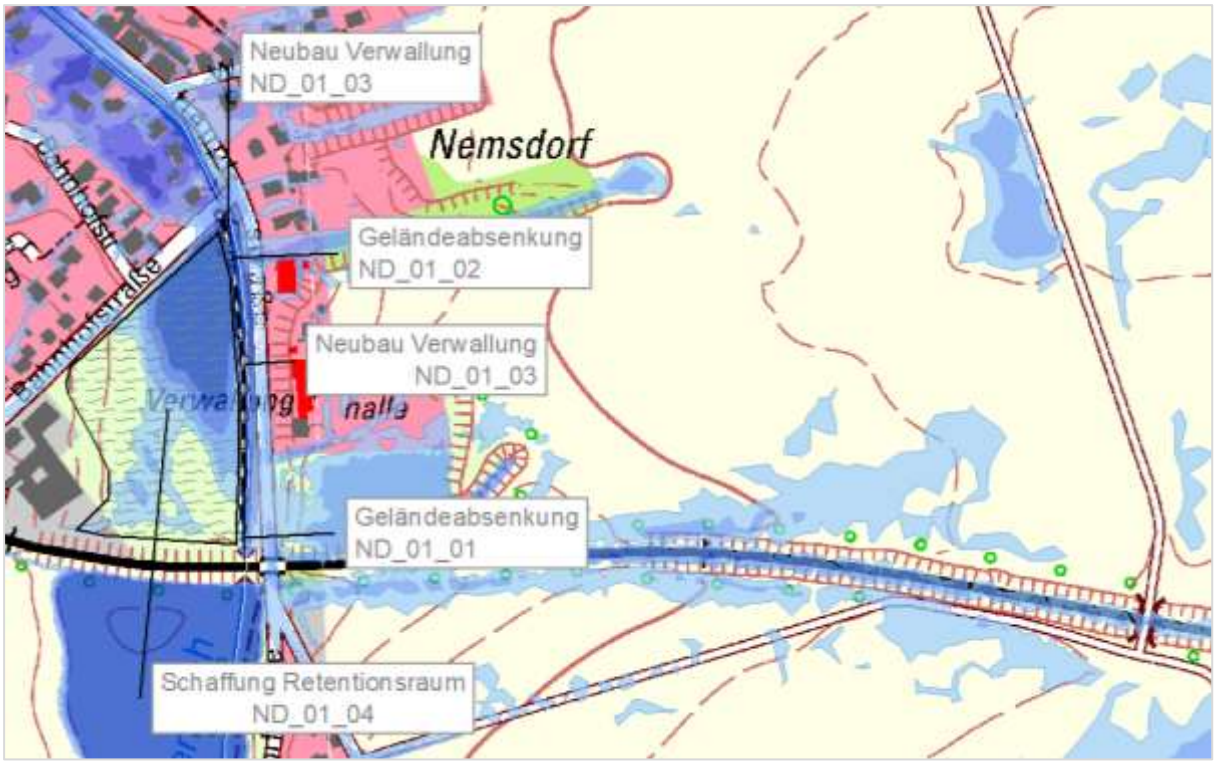


Abbildung 70: Maßnahmen zum Rückhalt in Nemsdorf Süd (MNK_ND_01)

## MNK_ND_02 Regenrückhaltebecken am Göhritzer Graben

Der Göhritzer Graben stellt bei einer erhöhten Abflussführung eine weitere Gefahrenquelle für die Ortslage Nemsdorf da. Daher wird empfohlen, mit Hilfe eines ungesteuerten Regenrückhaltebeckens das anfallende Niederschlagswasser am Göhritzer Graben zurück zu halten.

Zur Generierung eines ausreichenden Einstauvolumens ist der Feldweg unterhalb des Zusammenschlusses „Erster Grund“ und „Zweiter Grund“ auf mindestens 188 mNHN (+ 2 m zur Bestandshöhe des Feldweges) anzuheben und als Dammbauwerk umzugestalten (ND_02_01), sodass unter Berücksichtigung eines Freibords von 0,5 m ein maximales Einstauvolumen von rd. 187.000 m³ im Oberwasser entsteht (ND_02_04). Der vorhandene Durchlass am Göhritzer Graben ist aufzuweiten (ND_02_02) und eine Hochwasserentlastung (ND_02_03) vorzusehen.

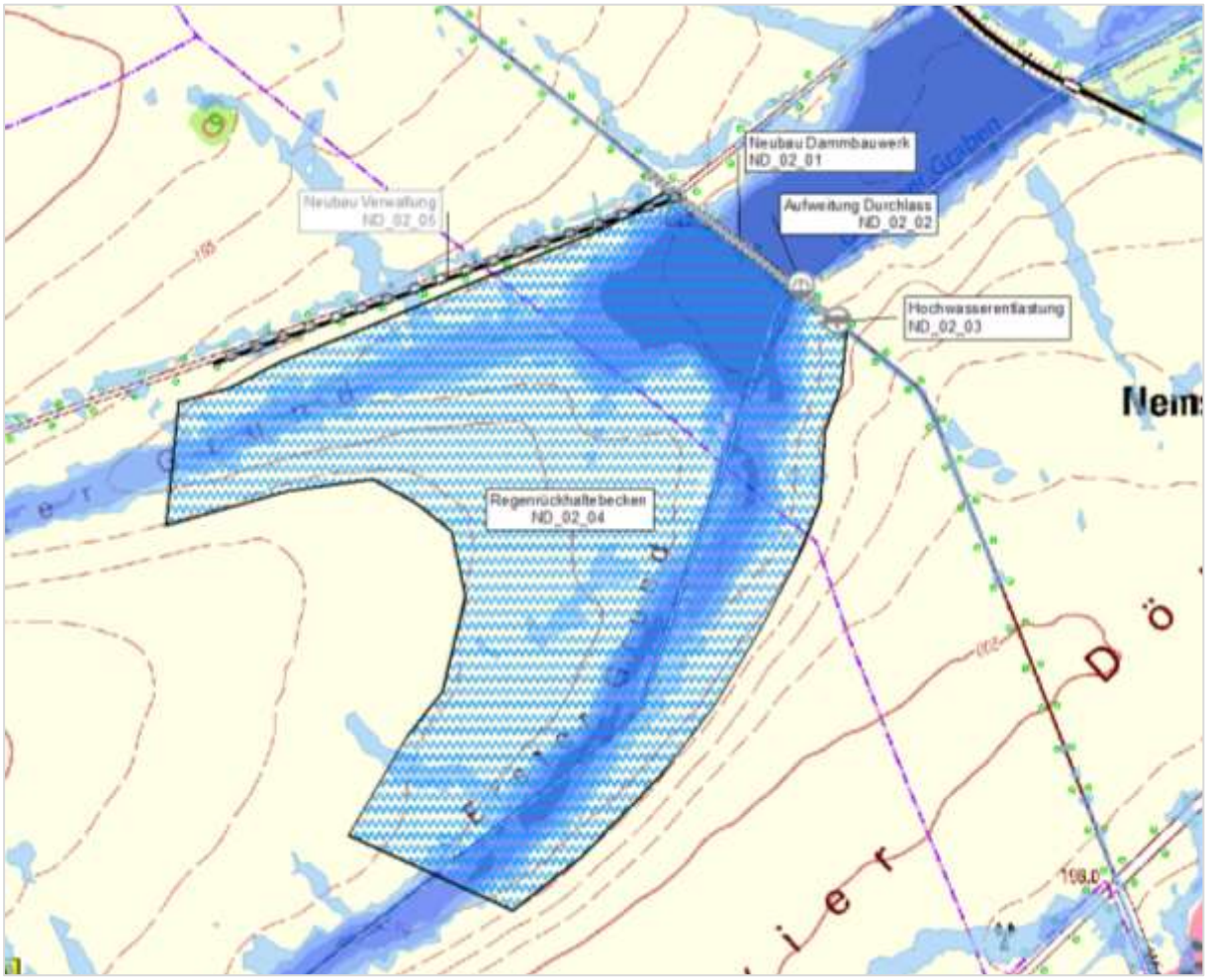


Abbildung 71: Maßnahmen zum Rückhalt am Göhritzer Graben (ND_02)

Der Grundablass ist ökologisch durchgängig und mit einer Mindestleistungsfähigkeit von 5 m³/s zu gestalten. Dementsprechend ergibt sich bei einem $N_{100}$ ein erforderliches Einstauvolumen von rd. 126.000 m³, was die Kapazität des Beckens nicht überschreitet (vgl. Abbildung 72). Somit kann der Oberflächenabfluss am Göhritzer Graben in Richtung Nemsdorf von maximal 50 m³/s um 90 % gesenkt werden.

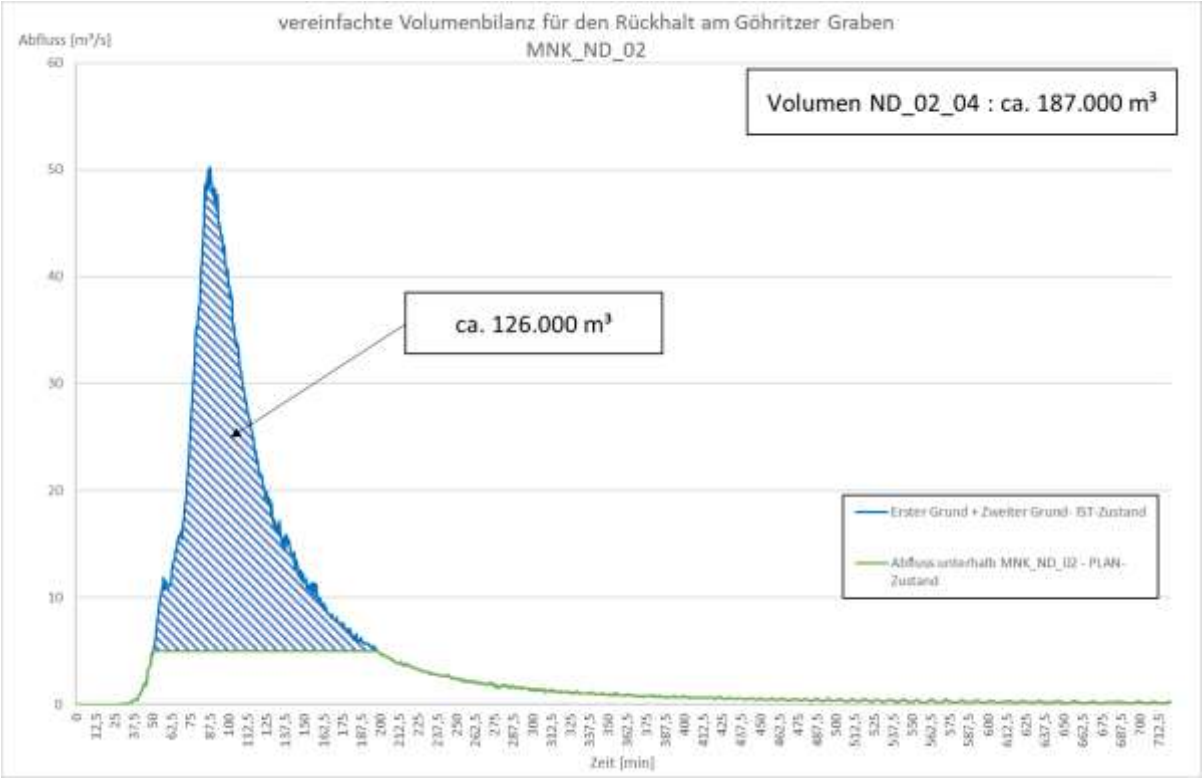


Abbildung 72: vereinfachte Volumenbilanzierung für die hydraulische Wirksamkeit des Maßnahmenkomplexes ND_02

Im Zuge der Maßnahmenplanung und -umsetzung ist eine Detailuntersuchung in Zusammenarbeit mit der zuständigen Unteren Wasserbehörde für diesen Bereich erforderlich. Hierbei kann zur Optimierung der Scheitelkappung der Auslass des Regenrückhaltebeckens optimiert werden.

Da im Oberlauf des geplanten Beckens überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen liegen, ist eine weitere Erhöhung des Stauziels möglich. Jedoch ist dabei zu beachten, dass ab einer Einstauhöhe von 188 m NHN der linksseitige Feldweg teilweise überströmt wird. Dieser wäre in diesem Fall anzuheben oder durch eine zusätzliche Verwallung (ND_02_05) zu schützen.

Ziel des Regenrückhaltebeckens ist, das anfallende Oberflächenwasser ab einem Abfluss von 5 m³/s am Göhritzer Graben vollständig zurückzuhalten. Dementsprechend ergibt sich im gekennzeichneten Einstauraum (vgl. Abbildung 71) ab diesem Schwellenwert eine eingeschränkte Nutzbarkeit der landwirtschaftlichen Nutzung. Die Befahrbarkeit der Feldwege ist erst ab einer Einstauhöhe größer 187,5 m NHN eingeschränkt.

## MNK_ND_03 Fassung Oberflächenwasser Nemsdorf Süd

Zur kontrollierten und schadlosen Abflussführung westlich von Göhrendorf sowie südlich von Nemsdorf wird ein neues Grabensystem empfohlen. Hierbei wird das auf den Ackerflächen anfallende Oberflächenwasser frühzeitig gefasst und in den Göhritzer Graben geleitet, sodass zum einen unkontrollierte Zuströmungen und zum anderen Sedimenteinträge in die Ortslage verhindert werden.

Für den geplanten Graben oberhalb der Bahnlinie (ND_03_01) ist eine durchschnittliche Grabentiefe von 0,5 m nach derzeitigem Kenntnisstand erforderlich. Dieser entwässert über ein DN 600 (ND_03_02) in ein geringfügig leistungsfähigeren Graben (Grabentiefe ca. 0,75 m), welcher wiederum in den bestehenden Göhritzer Graben entwässert.

Zur Entlastung des neuen Grabensystems kann im Bereich Hinter den Gärten in Nemsdorf eine weitere Sickermulde (ND_03_04) vorgesehen werden, die eine lokale Infiltrationsmöglichkeit bietet.

Im Zuge der Maßnahmenplanung und -umsetzung ist eine Detailuntersuchung in Zusammenarbeit mit der Deutschen Bahn für diesen Bereich erforderlich.

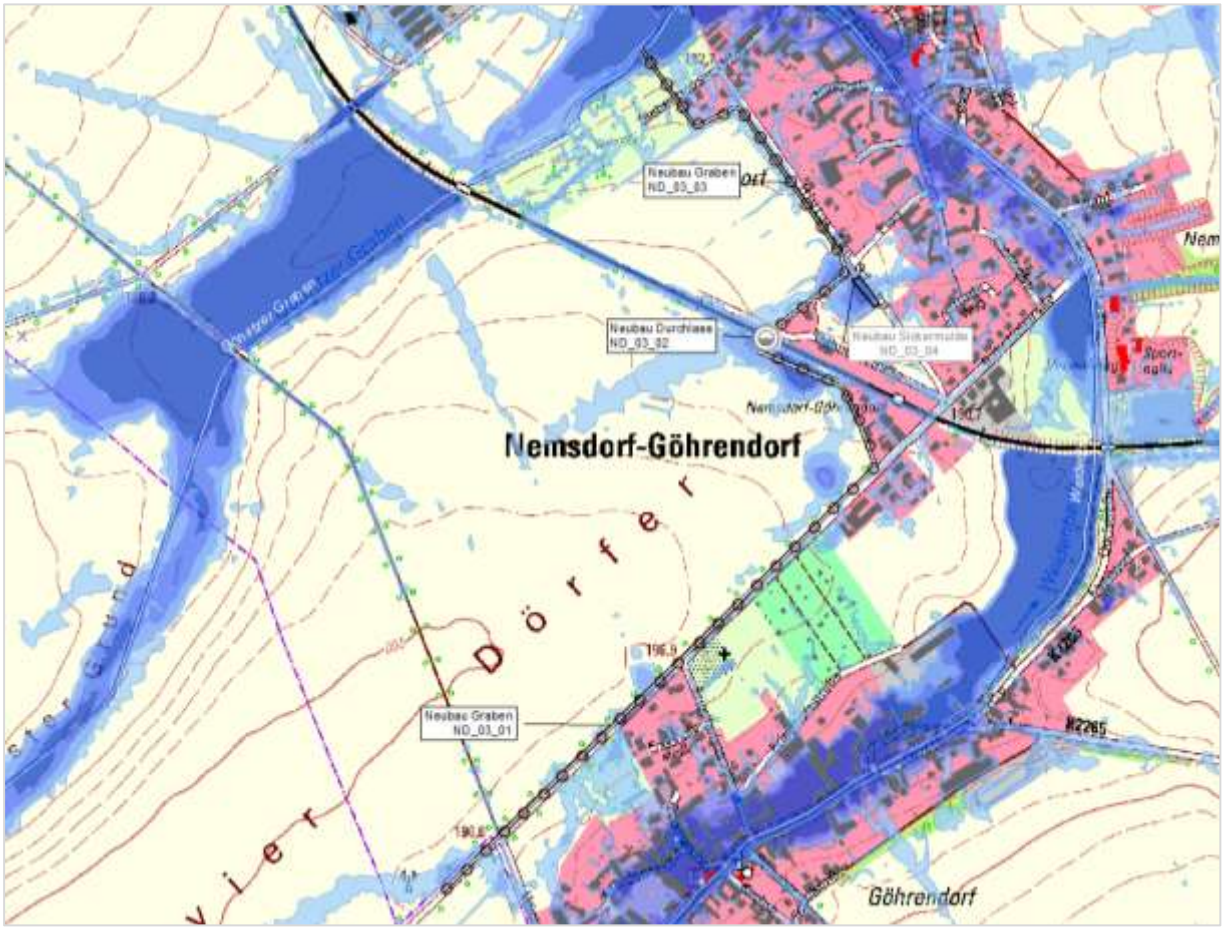


Abbildung 73: Maßnahmen zur kontrollierten Oberflächenwasserführung in Nemsdorf-Göhrendorf West (ND_03)

## MNK_ND_04 Fassung / Rückhalt am Göhritzer Graben

Der Maßnahmenkomplex ND_04 dient der kontrollierten Abflussführung am Göhritzer Graben in der Ortslage Nemsdorf. Dieser beinhaltet eine Gewässeraufweitung (ND_04_01) vom Bahndammdurchlass bis zur Mündung in den Weidenbach, sodass die hydraulische Leistungsfähigkeit verbessert wird (vgl. Abbildung 74). Unter Berücksichtigung der erzielbaren Abflussdrosselung im Oberlauf (MNK_ND_02) ist eine Aufweitung des Fließquerschnitts um durchschnittlich 2 m² ausreichend. Bei der weiterführenden Maßnahmenplanung und -umsetzung ist darauf zu achten, dass die vorgeschlagene Gewässeraufweitung ausschließlich im Zusammenhang mit den Maßnahmen im Oberlauf des Göhritzer Grabens funktioniert (vgl. MNK_ND_02).

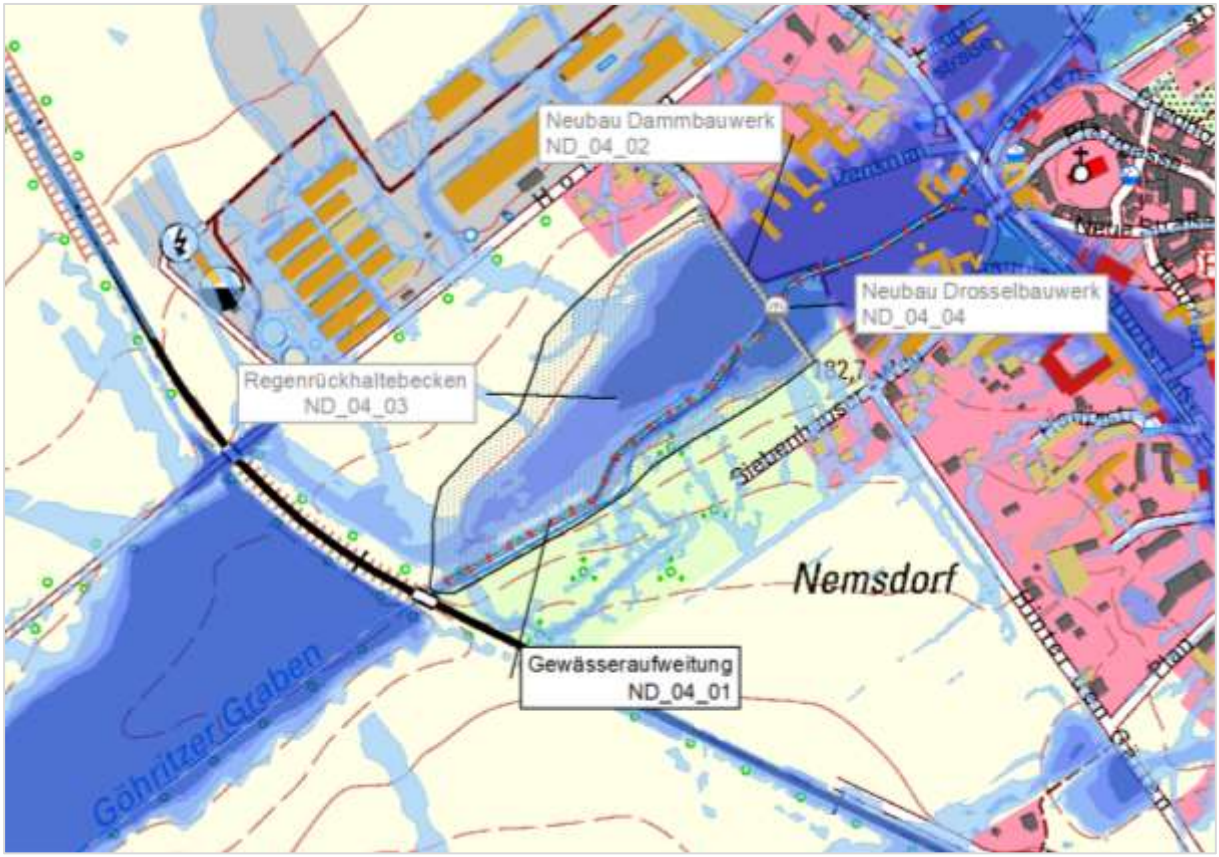


Abbildung 74: Maßnahmen zur kontrollierten Abflussführung in Nemsdorf West (MNK_ND_04) mit optionalen Maßnahmen zur Optimierung des Rückhalts am Göhritzer Graben

Optional kann in diesem Bereich ein weiteres Regenrückhaltebecken mit einem maximalen Speichervolumen von rd. 54.700 m³ vorgesehen werden, welches das anfallende Oberflächenwasser im Starkregenfall teilweise zurückhält. Jedoch wäre bei einem $N_{100}$, ohne Berücksichtigung von MNK_ND_02, lediglich eine maximale Scheitelkappung von 5,5 m³/s möglich (vgl. Abbildung 75). Darüber hinaus ist der beschriebene Beckenstandort (ND_04_03) aufgrund seiner Nähe zur Ortslage Nemsdorf sowie der potentiellen Einstaugefahr der Bahntrasse im Oberlauf nicht optimal. Somit stellt das optional vorgeschlagene Regenrückhaltebecken am Göhritzer Graben zwischen der Bahntrasse und der

Verlängerung des Holzwegs in Nemsdorf keine Alternative zum Standort ND_02_04 dar, sondern lediglich eine Ergänzung zur Minimierung des Restrisikos.

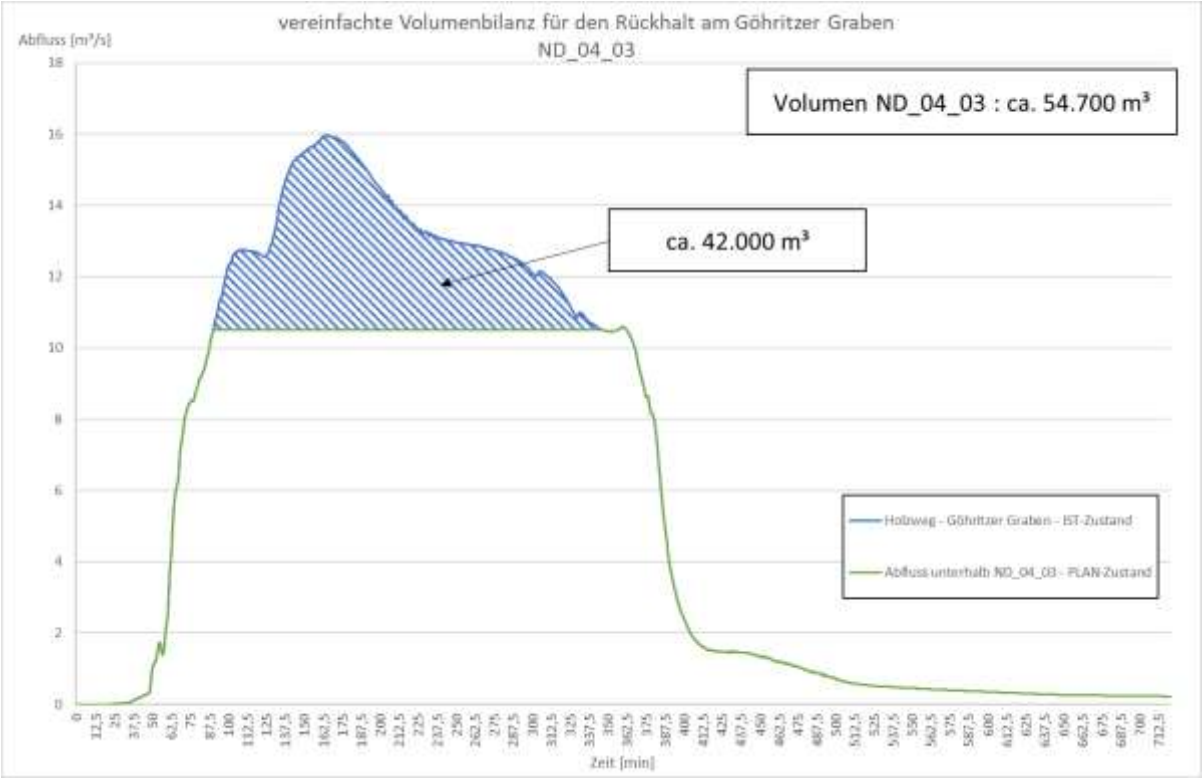


Abbildung 75: vereinfachte Volumenbilanzierung für die hydraulische Wirksamkeit des optionalen Beckenstandorts am Göhritzer Graben (ND_04_03) ohne Berücksichtigung des MNK_ND_02

Durch die vorgeschlagene Gewässeraufweitung ist im Planungskorridor mit einer permanent eingeschränkten Flächennutzung zu rechnen. Im Oberlauf der Maßnahme betrifft dies vor allem landwirtschaftlich genutzte Flächen. Im Unterlauf sind überwiegend Grünflächen betroffen.

Zur Umsetzung des optionalen Regenrückhaltebeckens sind im Rahmen der Maßnahmenplanung und -umsetzung weiterführende Untersuchungen und Abstimmungen mit der zuständigen Unteren Wasserbehörde sowie der Deutschen Bahn erforderlich. Die landwirtschaftliche Flächennutzung ist bei einem $N_{100}$ bereits im Ist-Zustand temporär eingeschränkt. Durch den geplanten Einstau ergeben sich nur geringfügig größere temporäre Flächenbetroffenheiten.

## MNK_ND_05 Schutz am Weidenbach - Gartenstraße

Unterhalb der Mündung des Gröhritzer Grabens werden zur Minimierung des bestehenden Restrisikos in Nemsdorf weiterführende Maßnahmen im Bereich der Gartenstraße empfohlen. In diesem Bereich kommt es bei einem $N_{100}$ im gesamten Einzugsgebiet zu beidseitigen Ausuferungen. Um diese zu verringern wird eine beidseitige Verwallung empfohlen. Im Anschlussbereich der Straßenbrücke Hauptstraße wird ein Neubau bzw. teilweise Erhöhung der rechtsseitig bereits bestehenden Mauer empfohlen.

Die hydraulische Wirksamkeit ist lokal beschränkt und abhängig von der Umsetzung der retentionsfördernden Maßnahmen im Oberlauf des Weidenbachs sowie Göhritzer Grabens. Dementsprechend ist dieser Maßnahmenkomplex zeitlich nicht prioritär umzusetzen (vgl. Kap. 6.2).

Im Zuge der Maßnahmenplanung und -umsetzung ist eine Detailuntersuchung in Zusammenarbeit mit der zuständigen Unteren Wasserbehörde sowie Straßenbaumt für diesen Bereich erforderlich. Hierbei ist die Interaktion mit den im Oberlauf vorgesehenen und bereits umgesetzten Maßnahmen zu berücksichtigen.

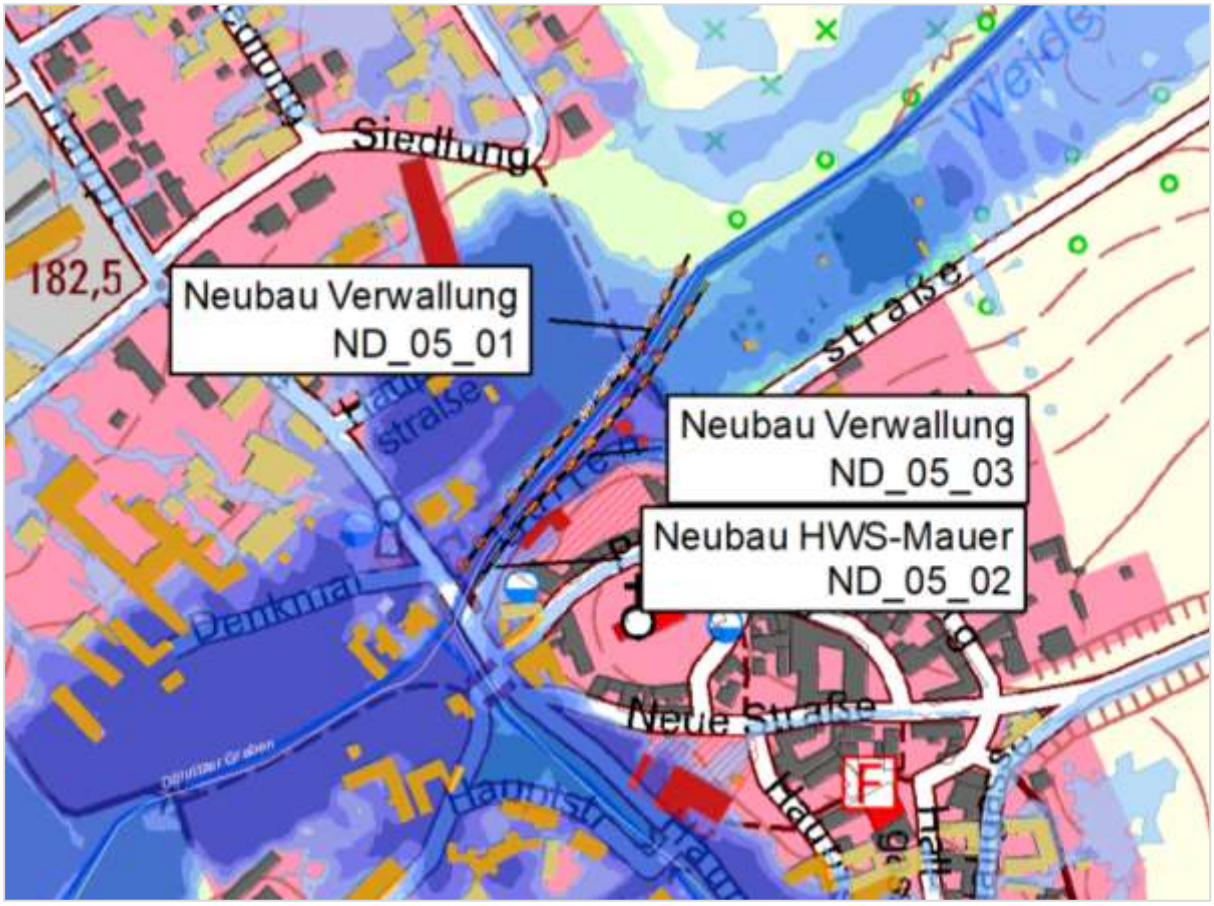


Abbildung 76: Maßnahmen zur Minimierung des Überflutungsrisikos im Bereich der Gartenstraße in Nemsdorf (MNK_ND_05)

## MNK_ND_06 Ableitung Fließweg Nemsdorf Ost

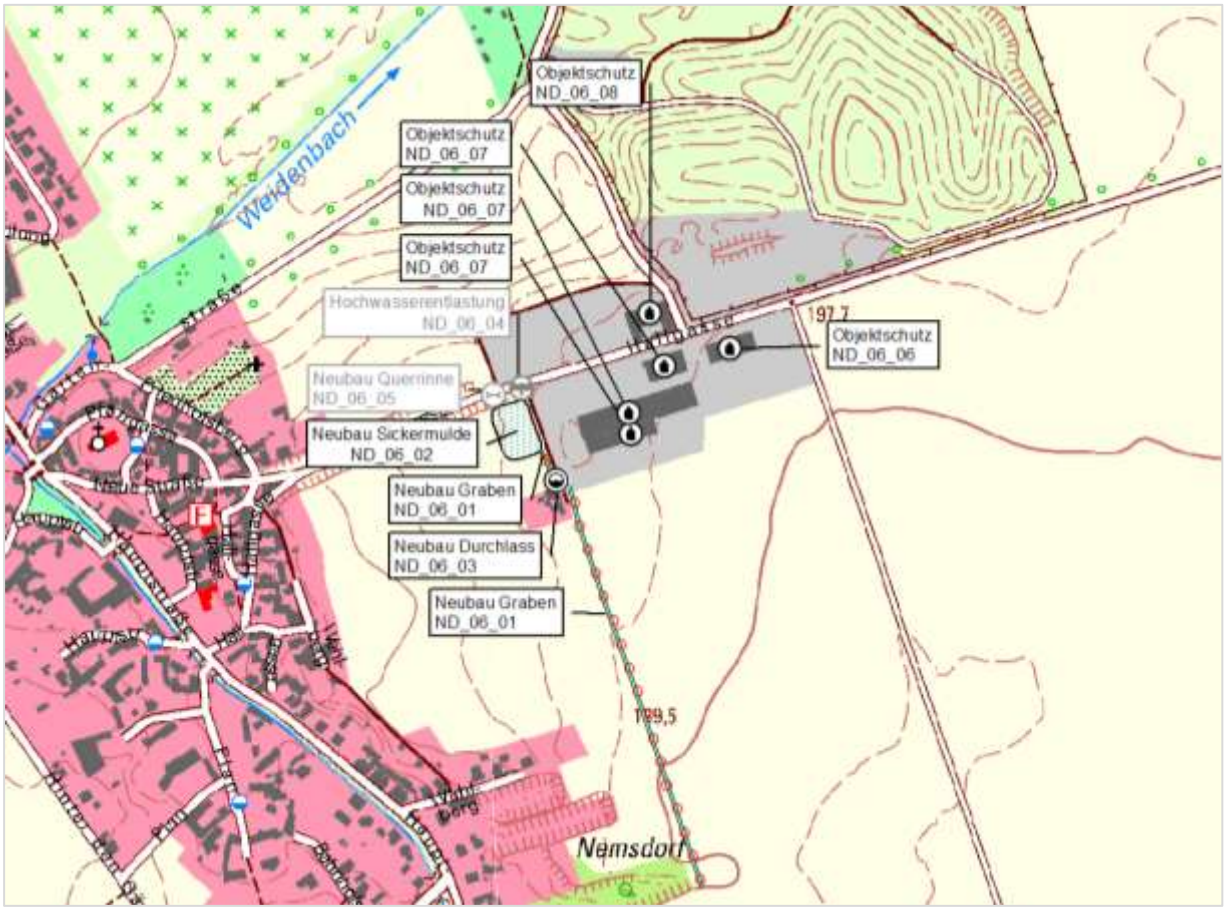


Abbildung 77: Maßnahmen zur Minimierung des Überflutungsrisikos im Bereich Nemsdorf Ost (MNK_ND_06)

Für die gewerblich genutzten Objekte an der Hallgasse östlich des Siedlungsgebietes Nemsdorf wird im Rahmen der Eigenvorsorge ein individuell anpassbarer Objektschutz empfohlen. Für die Objekte mit hohem Starkregenrisiko (ND_06_07) wird beispielsweise eine angepasste und wassersensible Geländemodellierung empfohlen, die das anfallende Oberflächenwasser um das Gebäude leiten (vgl. Abbildung 47). Für den Anlieger mit sehr hohem Starkregenrisiko wird ein System zum hydraulischen Verschluss der Grundstückszufahrt empfohlen, sodass kein Wasser auf das Betriebsgelände strömen kann. Hierfür kann beispielsweise ein Dammbalkensystem oder das Vorhalten von Sandsäcken, die im Bedarfsfall eingesetzt werden können, zweckdienlich sein.

Ergänzend sind in diesem Maßnahmenkomplex Maßnahmen zur frühzeitigen und schadfreien Abflussführung östlich der Ortslage vorgesehen. Ziel ist es, den wild abfließenden Oberflächenwasserabfluss zu akkumulieren und lokal zu infiltrieren. Hierfür wird ein neuer Graben rechtsseitig des vorhandenen Feldweges empfohlen, der das anfallende Oberflächenwasser sammelt und in nördliche Richtung Hallgasse leitet (ND_06_01). Anschließend ist eine Querung des Feldweges (ND_06_03) mittels Durchlassbauwerk vorgesehen. Die Entwässerung des Grabens erfolgt anschließend in eine Sickermulde (ND_06_02), wo es lokal versickern kann.

Zur Dimensionierung dieser Sickermulde sind im Zuge der Maßnahmenplanung und -umsetzung bodengutachterliche Untersuchungen hinsichtlich Infiltrationsvermögen des Bodens durchzuführen. Gemäß den Berechnungsergebnissen ergibt sich in diesem Bereich ein maximaler Oberflächenabfluss für ein $N_{100}$ von rd. 3,2 m³/s.
Abhängig von den charakteristischen Bodeneigenschaften und möglichen Infiltrationsraten sind die derzeit festgelegten Flächengrößen von rd. 250 m² ggf. zu gering. Unter der Annahme eines sehr stark durchlässigen Bodens ergibt sich eine Versickerungsrate von maximal 2,5 m³/s. Zur Optimierung der Infiltration kann eine Vergrößerung der Sickerfläche zweckdienlich sein, was wiederum eine erhöhte Flächenbeanspruchung zur Folge hat.

Dementsprechend wurde für den Fall einer hydraulischen Überlastung der Sickermulde ein geplanter und kontrollierter Notwasserweg in das Maßnahmenkonzept aufgenommen. Hierfür ist in der südlichen Straßenböschung der Hallgasse ein Entlastungsbauwerk (ND_06_04) vorzusehen. Anschließend erfolgt die Entwässerung der Hallgasse in nördliche Richtung mit Hilfe einer Querrinne (ND_06_05), ehe es über landwirtschaftliche Flächen in Richtung Weidenbach entwässert.

Vorteil dieses Entwässerungssystems ist die Minimierung des Starkregenrisikos am Wahlberg und an der Hallgasse innerhalb von Nemsdorf. Jedoch kann es durch die gezielte Oberflächenwasserführung über die Hallgasse außerhalb der Ortslage zur temporären Einschränkung der Befahrbarkeit für kleinere Personenkraftfahrzeuge kommen. Dementsprechend ist dieser Bereich im Starkregenfall nur durch Rettungsfahrzeuge zu befahren.

## MNK_ND_07 Ableitung Fließweg Nemsdorf Nord

Zur Minimierung des Starkregenrisikos auf dem Gelände des lokalen landwirtschaftlichen Betriebs am Holzweg in Nemsdorf, wird ein Graben parallel zur angrenzenden Ackerfläche empfohlen (ND_07_01). Dieser Graben sollte auf einer Länge von rd. 900 m eine Tiefe von durchschnittlich 0,5 m aufweisen, sodass das entstehende Oberflächenwasser schadlos in nordöstliche Richtung strömt. Die Entwässerung erfolgt über einen Durchlass (ND_07_02) unter der Kreisstraße K 2266 in die Fläche. Anschließend strömt das Oberflächenwasser unkontrolliert und schadlos in den Weidenbach.

Im Zuge der Maßnahmenplanung und -umsetzung ist der landwirtschaftliche Betrieb mit einzubeziehen. Im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung wurden Vertreter der Landwirtschaft eingeladen und über dieses Vorhaben informiert.

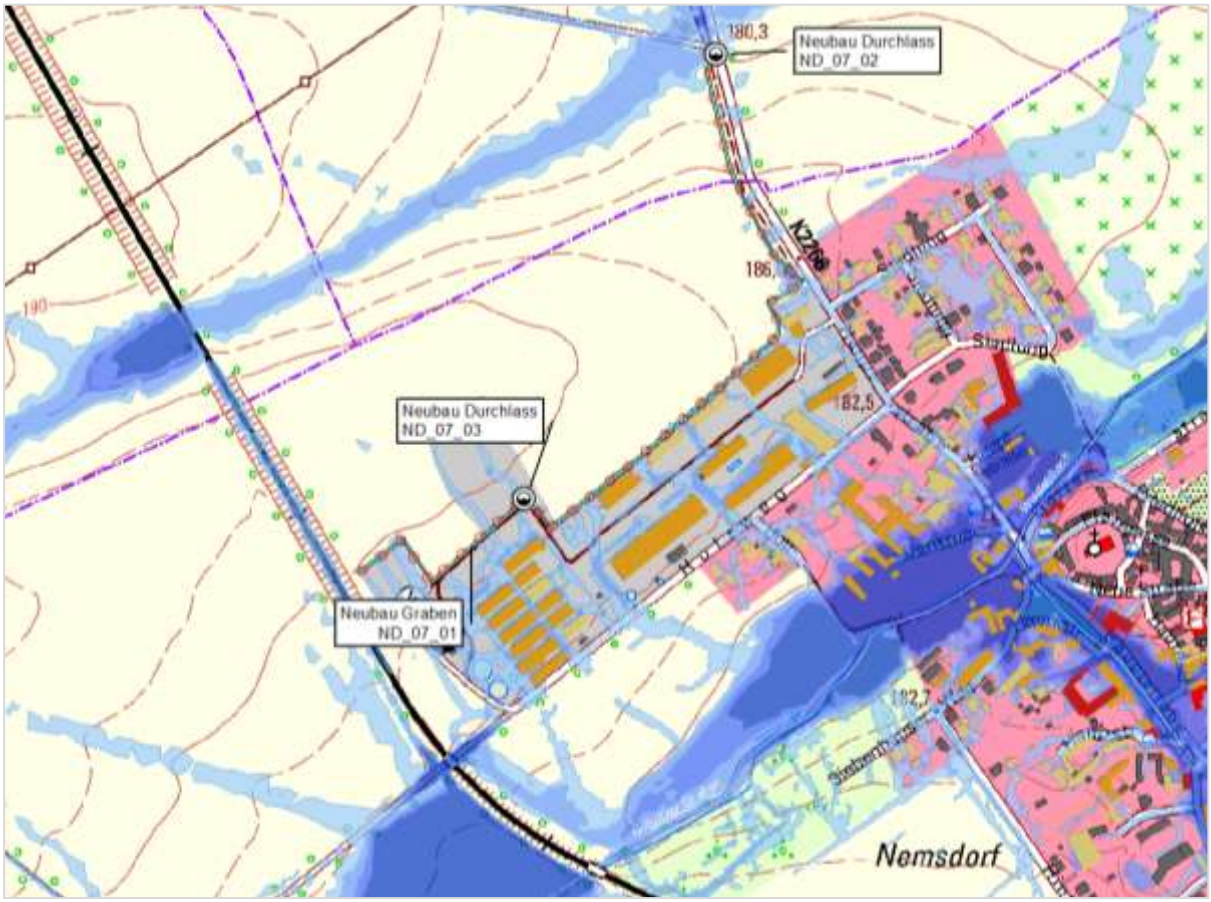


Abbildung 78: Maßnahmen zur Minimierung des Starkregenrisikos in Nemsdorf Nord (MNK_ND_07)

## MNK_KF_01 Möglichkeiten zur Flächenentsiegelung

Dieser Maßnahmenkomplex beinhaltet potentielle Maßnahmen zur Verringerung des Versiegelungsgrades in der Ortslage. Hierfür wurde die Infrastruktur im Untersuchungsgebiet hinsichtlich ihrer Oberflächenbeschaffenheit und hinsichtlich Entsiegelungspotential analysiert. Dabei wurde berücksichtigt, dass asphaltierte Hauptverkehrswege, wie bspw. die B 180 oder Göhrendorfer Straße etc., nicht zur Flächenentsiegelung beitragen.

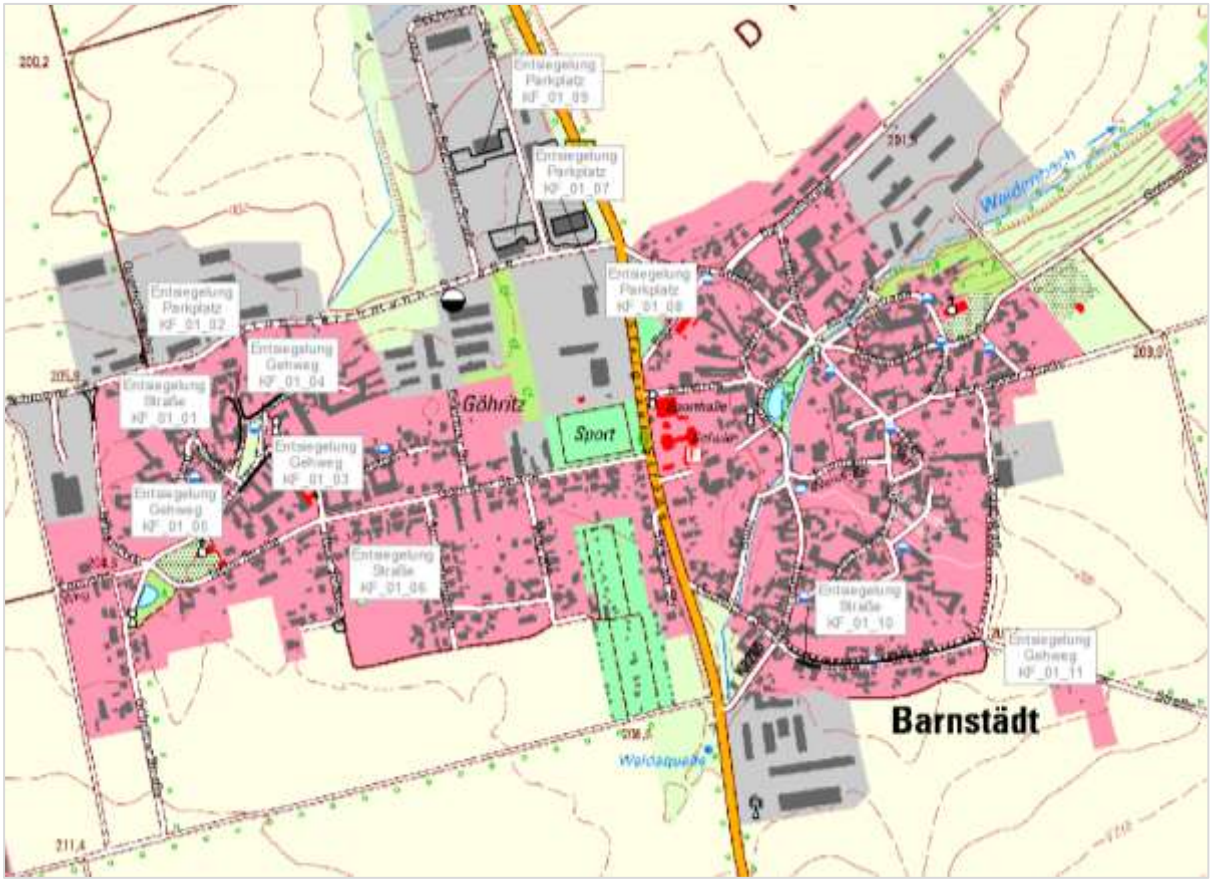


Abbildung 79: Potentiell zu entsiegelnde Flächen in Barnstädt und Göhritz

Ziel der Flächenentsiegelung ist, durch lokale Versickerungsmöglichkeiten den Oberflächenabfluss zu minimieren. Da das Untersuchungsgebiet überwiegend ländlich geprägt ist und das vorhandene Starkregenrisiko überwiegend von Zuläufen aus Außeneinzugsgebieten abhängt, ist die hydraulische Wirksamkeit der Flächenentsiegelung gering. Dementsprechend sind sämtliche Maßnahmen zur Flächenentsiegelung im Untersuchungsgebiet als optionale Maßnahmen vorgesehen, die im Zuge einer ohnehin geplanten Straßensanierung umgesetzt werden können.

Für die Ortslage Göhritz können die mit Betonplatten ausgeführten Gehwege entlang der Schulstraße (KF_01_03 und KF_01_04) und Göhritzer Straße (KF_01_05) entsiegelt werden, indem hierfür ein Fugenpflaster vorgesehen wird. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Parkplatzflächen im Bereich des

Querfurter Weges (KF_01_02) sowie im Gewerbegebiet an der Ann-Reichmann-Straße (KF_01_07, KF_01_08 und KF_01_09) mit Rasengittersteinen oder Fugenpflaster auszuführen, wodurch die Flächenversiegelung in diesen Bereichen verringert werden kann.

In der Ortslage Barnstädt ergeben sich ausschließlich für den Gehweg (KF_01_10) entlang der Oechlitzer Straße sowie der Grundstückszuwegungen (KF_01_11) Möglichkeiten, durch eine Umgestaltung mit bspw. Fugenpflaster (vgl. Abbildung 50 in Kap. 5.4) die lokale Flächenversiegelung zu verringern.

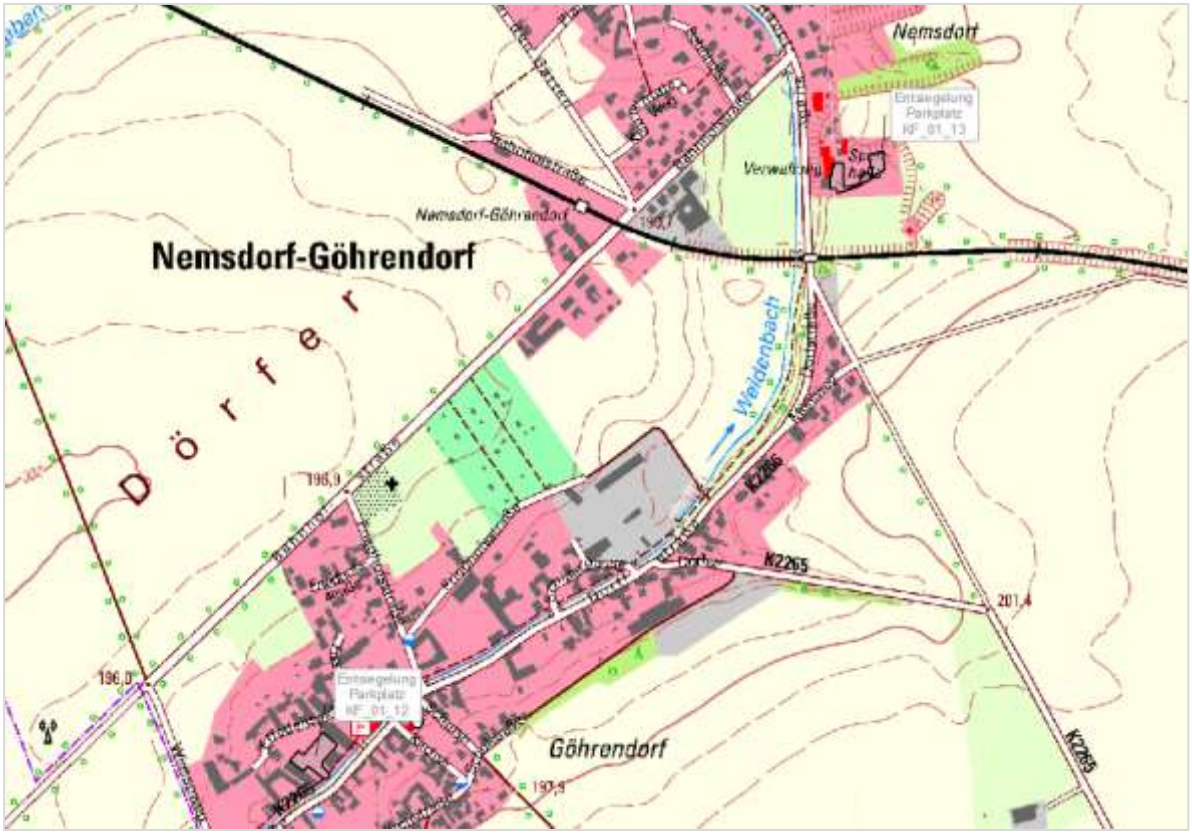


Abbildung 80: Potentiell zu entsiegelnde Flächen in Göhrendorf und Nemsdorf

In Göhrendorf wurde der Parkplatz des Agrarunternehmens (KF_01_12) an der Dorfstraße als potentielle Fläche zur Entsiegelung identifiziert. Im Bereich des Verwaltungsgebäudes in Nemsdorf ist ebenfalls ein Parkplatz mit verhältnismäßig geringem Infiltrationsvermögen festgestellt worden. In diesen Bereichen kann die Versickerung durch Fugenpflaster, Rasengittersteine oder zusätzliche Rigolen ebenfalls verringert werden.

## 6.2 Integrale Betrachtung der Maßnahmen aus Teil 1

Teil 1 der Studie zur Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen zur Verbesserung des Wasser- und Sedimentrückhalts [7] beinhaltet im wesentlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen, Landeskulturelle Maßnahmen sowie teilweise ingenieurtechnische Maßnahmen im Außengebiet des Untersuchungsgebietes. Im Folgenden werden die in [7] vorgeschlagenen Maßnahmen in das erarbeitete Maßnahmenkonzept integriert und hinsichtlich ihrer hydraulischen Wirksamkeit zur Minimierung der Überflutungsgefahr bei Starkregen bewertet.

Um die Maßnahmen aus [7] von dem im Zuge dieser Ausarbeitung erstellten Maßnahmenkonzept zu unterscheiden, wird die Maßnahmenbezeichnung aus [7] übernommen.

Teilgebiet Barnstädt / Hotspot B_1

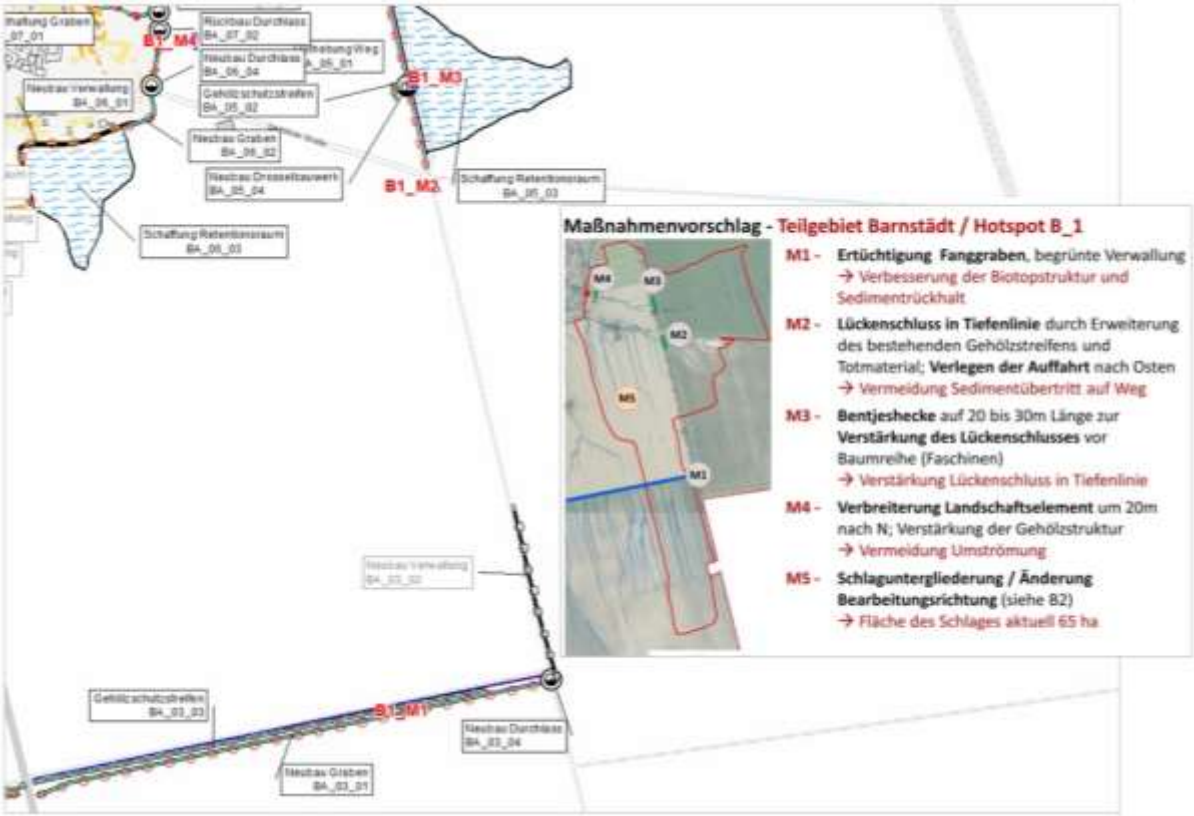


Abbildung 81: Integrale Maßnahmenbewertung am Hotspot B_1 [7]

Im südlichen Bereich von Barnstädt wurde sowohl in [7] als auch in dieser Ausarbeitung ein Fanggraben (BA_03_01) vorgeschlagen, sodass sich das Teileinzugsgebiet verkleinert. Dementsprechend sind die jeweiligen Maßnahmenkonzepte identisch.

Im Bereich des Feldweges östlich der Ortslage wurde in [7] eine Bentjeshecke zur Verstärkung des Lückenschluss und Verringerung des Sedimenttransports vorgeschlagen (B1_M3). Zur

Geländesicherung und Verringerung des Sedimenttransports ist diese Maßnahme zweckdienlich. Jedoch wird das hydraulische Potential eines zusätzlichen Rückhalteraums nicht berücksichtigt. Zur Minimierung des Überflutungsrisikos wird daher die Anhebung des Feldweges (BA_05_01) mit Durchlassbauwerk (BA_05_04) empfohlen. Um zusätzlichen Sedimentabtrag zu verringern wird unterhalb des Durchlasses ein Bewuchsstreifen empfohlen (BA_05_02). Somit kann nicht nur der Sedimenteintrag sondern auch der Oberflächenwasserzufluss verringert werden.

Die Maßnahmen B1_M2, B1_M4 sowie B1_M5 sind hinsichtlich des Schutzes vor Bodenerosionen weiterhin bei der Maßnahmenumsetzung zu berücksichtigen.

Teilgebiet Barnstädt / Hotspot B_2

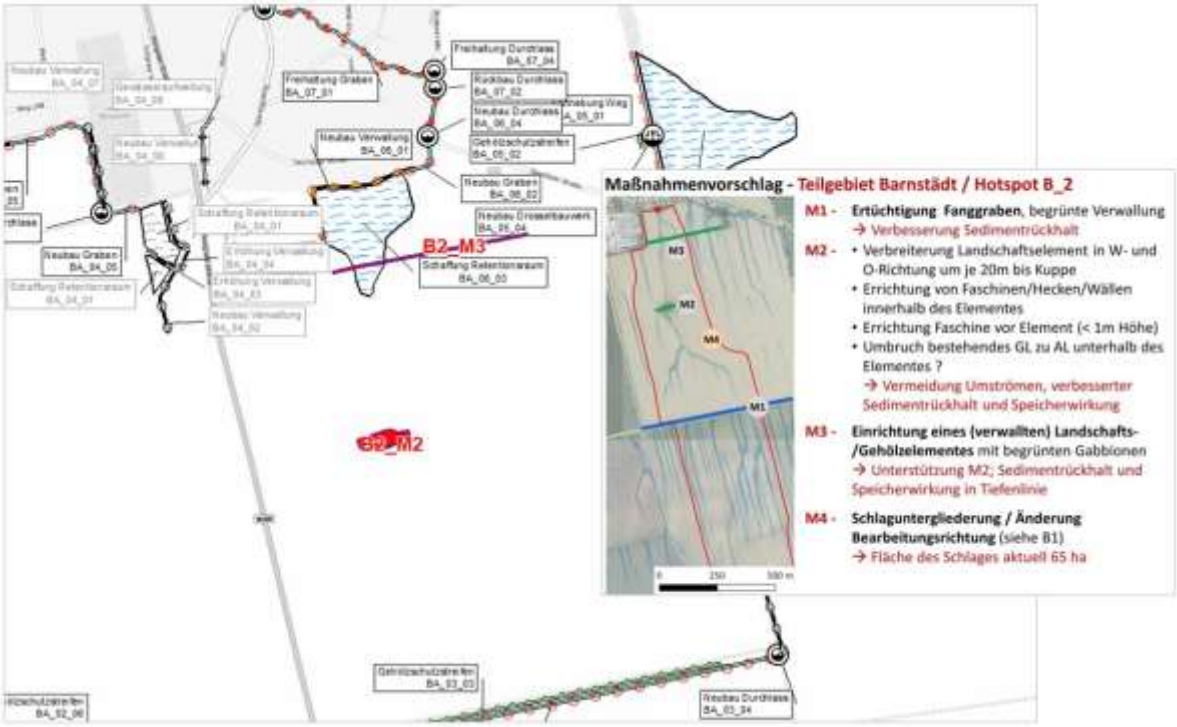


Abbildung 82: Integrale Maßnahmenbewertung am Hotspot B_2 [7]

Im Bereich des Hotspot B_2 wurde bereits die Maßnahme B_2_M2 umgesetzt, welche auch in den hydraulischen Untersuchungen berücksichtigt wurde. Dabei hat sich ergeben, dass die Fließgeschwindigkeiten und somit auch der Sedimenttransport in Richtung Barnstädt verringert wird, was das Ziel des Sedimentrückhalts erfüllt. Allerdings ergibt sich aufgrund der geringen Ausdehnung des Landschaftselements keine signifikante Speicherwirkung.

Ergänzend wurde im Unterlauf ein unterstützendes verwalltes Landschafts-/Gehölzelement (B_2_M3) empfohlen. Dies kann als ergänzende Maßnahme des vorgeschlagenen Retentionsraums BA_06_03 umgesetzt werden. Dadurch kann die Speicherwirkung in diesem Einzugsgebiet verstärkt werden. Allerdings hätte die Umsetzung von B_2_M3 eine permanente Restriktion der landwirtschaftlich Nutzung

zur Folge. Zudem käme es bei einer hydraulischen Überlastung, bspw. bei $N_{100}$, weiterhin zum Überstau und somit zu wild abfließendem Wasser unterhalb des verwallten Landschaftselementes. Dementsprechend ist die Maßnahme B_2_M3 nur als ergänzende Maßnahme zu BA_06_03 weiterzuverfolgen.

Die Maßnahme B_2_M4 ist hinsichtlich des Schutzes vor Bodenerosionen weiterhin bei der Maßnahmenumsetzung zu berücksichtigen.

Teilgebiet Barnstädt / Hotspot B_3

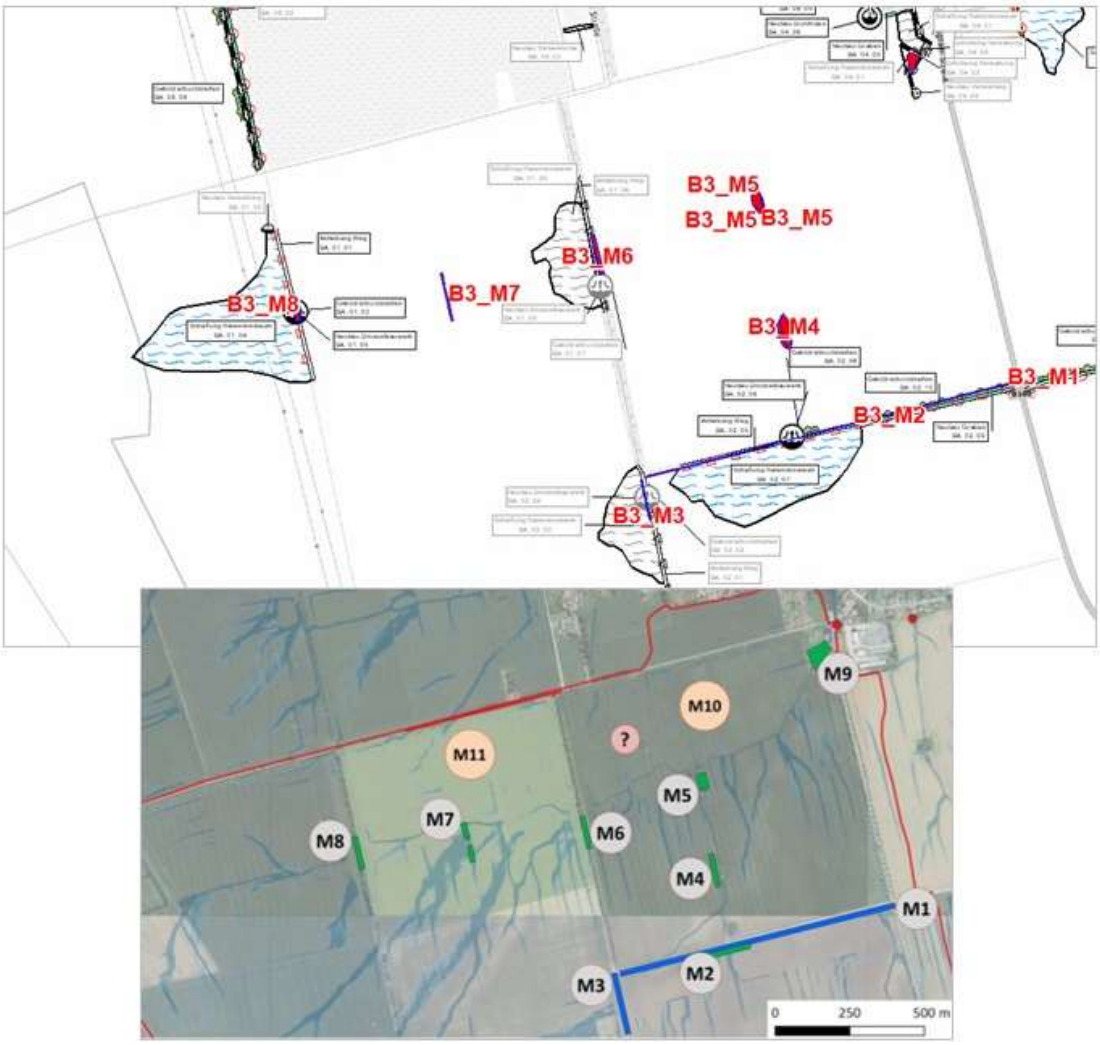


Abbildung 83: Integrale Maßnahmenbewertung am Hotspot B_3 [7]

Mit B_3_M1, B_3_M2 sowie B_3_M3 wurde südwestlich der Ortslage die Ertüchtigung eines Fanggrabens mit Überfahrt, welche in östliche Richtung entwässern soll, vorgeschlagen. Die hydraulischen Berechnungen zeigen, dass eine Abflusskonzentration und kontrollierte Abflussführung in diesem Bereich nicht ausreicht, um das Starkregenrisiko in Barnstädt zu minimieren. Dementsprechend wird

eine Kombination aus Abflusskonzentration (BA_02_09) und lokalen Retention (BA_02_07) sowie eine entkoppelte Abflussführung mit kleinerem Einzugsgebiet in östliche Richtung durch (BA_03_01) empfohlen. Dementsprechend entfällt B_3_M1 und B_3_M2 im Maßnahmenkonzept. Die Maßnahme B_3_M3 kann als Ergänzung zu BA_02_07 bzw. im Falle einer Umsetzung von BA_02_03 weiter berücksichtigt werden.

Die Maßnahmen B3_M4, B3_M5 sowie B3_M7 sind hinsichtlich des Schutzes vor Bodenerosionen weiterhin bei der Maßnahmenumsetzung zu berücksichtigen.
Die Berücksichtigung der Maßnahme B_3_M6 ist abhängig von der Umsetzung der Maßnahme BA_01_08 (optionale Maßnahme). Sollte aufgrund der geringen Retentionswirkung BA_01_08 nicht umgesetzt werden, so ist zur Verbesserung des Sedimentrückhalts die Maßnahme B_3_M6 zu berücksichtigen. Für den Fall der Berücksichtigung von BA_01_08 ist ein Bewuchsstreifen unterhalb des Durchlassbauwerkes (BA_01_09) vorzusehen um den Sedimenttransport in die Ortslage zu verringern.

Analog verhält es sich am vorgeschlagenen Retentionsraum BA_01_04. Hier ist das Landschaftselement B_3_M8 im Unterwasser des Drosselbauwerks BA_01_05 vorzusehen. Eine Verwallung ist in diesem Fall nicht zweckdienlich und würde die hydraulische Leistungsfähigkeit des Drosselbauwerkes negativ beeinflussen.

Die Maßnahme B_3_M9 ist identisch zu BA_04_01 und sollte somit als optionale Maßnahme bei der Umsetzung berücksichtigt werden. Eine Schlaguntergliederung (B_3_M10 und B_3_M11) der landwirtschaftlichen Flächen ist weiterhin Gegenstand des Maßnahmenkonzeptes.

Teilgebiet Göhritz / Hotspot G_1

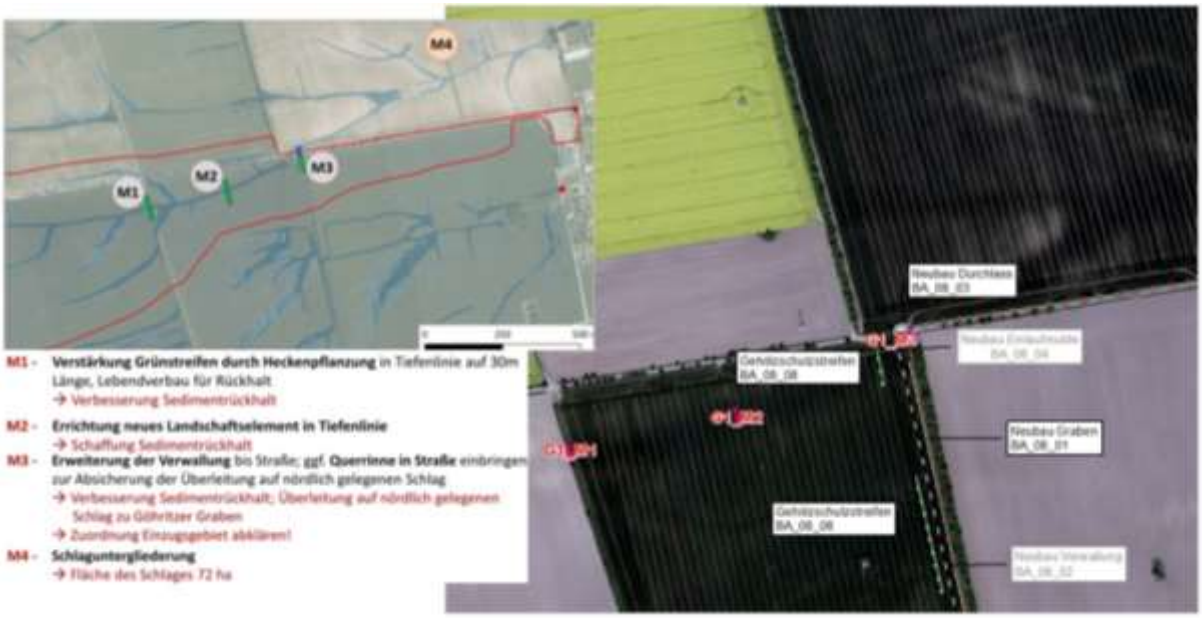


Abbildung 84: Integrale Maßnahmenbewertung am Hotspot G_1 [7]

Die westlich der Ortslage Göhritz definierten Maßnahmen zur Verbesserung des Sedimentrückhalts G_1_M1 und G_1_M2 sind bei der Maßnahmenumsetzung weiterhin zu berücksichtigen. Analog verhält es sich mit der vorgeschlagenen Schlagunterteilung G_1_M4.

Die Maßnahme G_1_M3 beabsichtigt die gleiche Strömungsänderung wie der Maßnahmenkomplex BA_08. Allerdings sieht dieser eine oberirdische Querung des Feldweges vor, wodurch die Statik der Infrastruktur beeinträchtigt werden kann. Dementsprechend kann die Maßnahme G_1_M3 hinsichtlich Investitionskosten als kostengünstige Alternative zu den Maßnahmen BA_08_04 und BA_08_03 betrachtet werden. Berücksichtigt dabei sind jedoch keine Reinvestitions- und Unterhaltungskosten für den Bedarfsfall einer Sanierung des Feldweges, wodurch die mittel- bis langfristigen Kosten steigen würden.

Teilgebiet Göhritz / Hotspot G_2

Die Maßnahmen G_2_M1 sowie G_2_M2 sehen Faschinen zur Verbesserung des Sedimentrückhalts vor. Dadurch wird der Sedimenttransport in die Ortslage verringert, allerdings bleibt die Zuströmung des Oberflächenabflusses bestehen. Dementsprechend wird der vorgeschlagene Fanggraben (BA_08_01) inkl. Bewuchs-/Gehölzschutzstreifen (BA_08_08) empfohlen. Das heißt die Maßnahmen G_1_M1 und G_1_M2 sind lediglich als kostengünstigere Variante mit geringerem Nutzen zu betrachten.

Die Maßnahmen G_2_M3, G_2_M4 sowie G_2_M5 sind hinsichtlich des Schutzes vor Bodenerosionen weiterhin im Maßnahmenkonzept zu berücksichtigen.

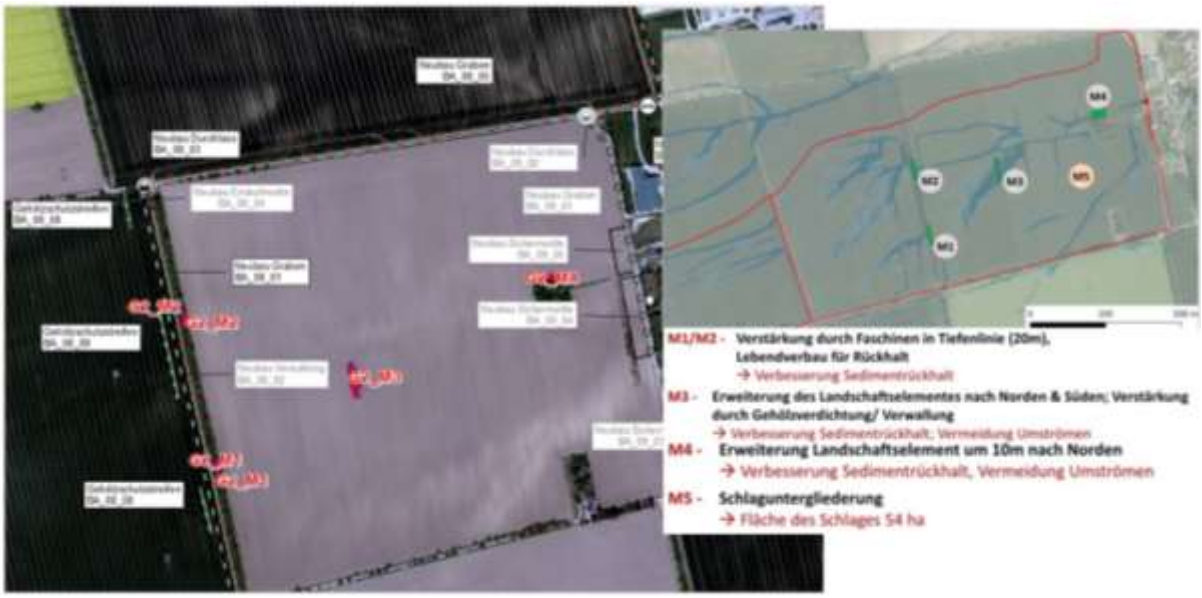


Abbildung 85: Integrale Maßnahmenbewertung am Hotspot G_2 [7]

## Teilgebiet Göhrendorf / Hotspot GD_9

Im südöstlichen Bereich der Ortslage Göhrendorf wurde zur Verbesserung des Sedimentrückhalts eine Verwallung (GD_9_M1) vorgeschlagen. Aufgrund der topografischen Gegebenheiten und gemäß den Erfahrungen vor Ort käme es zur frühzeitigen Um- und Überströmung. Dementsprechend ist eine Verlängerung und Erhöhung der Verwallung erforderlich, was mit einer Anhebung des Weges (GD_02_01) gleichzusetzen ist.

Die Maßnahme GD_09_M2 bleibt hinsichtlich der Vermeidung des Sedimenttransports weiterhin bestehen, allerdings sind keine signifikanten hydraulischen Veränderungen zu erwarten.

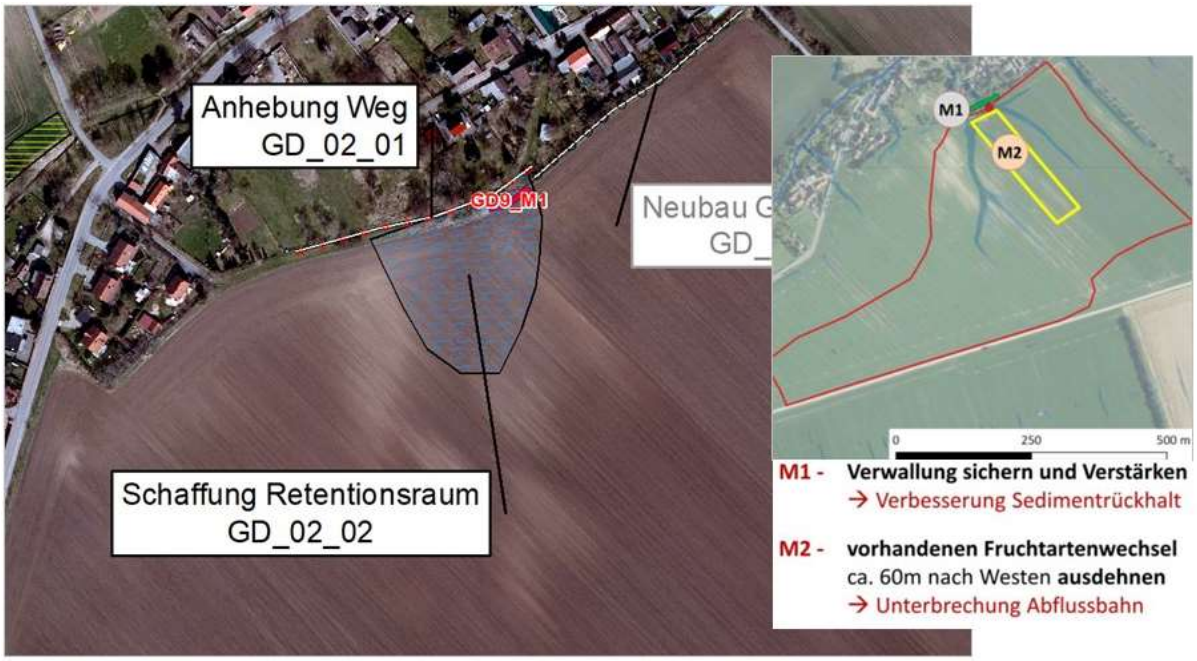


Abbildung 86: Integrale Maßnahmenbewertung am Hotspot GD_9 [7]

## 6.3 Umsetzungsstrategie

Aufbauend auf der beschriebenen Wirksamkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen wurde eine Umsetzungsstrategie entwickelt (vgl. Abbildung 87). Diese dient lediglich als Richtlinie und kann beispielsweise aufgrund wirtschaftlicher Gegebenheiten oder Flächenverfügbarkeiten verändert werden. Dabei sind die beschriebenen Interaktionen zwischen den jeweiligen Maßnahmenkomplexen (vgl. Kap. 6.1) zu berücksichtigen.

Im ersten Schritt sind die Maßnahmen umzusetzen, die erheblich zur Starkregenrisikominimierung in den betrachteten Ortslagen beitragen. Dazu zählen vor allem die retentionsfördernden Maßnahmen oberhalb von Barnstädt. Diese tragen dazu bei, den Abfluss am Weidenbach und somit die Überflutungsgefahren in Barnstädt sowie Nemsdorf-Göhrendorf zu minimieren. Zudem wird empfohlen, die vorgeschlagenen Objektschutzmaßnahmen frühzeitig umzusetzen.

Anschließend wird empfohlen die „strömungslenkenden“ Maßnahmen umzusetzen, um das anfallende Oberflächenwasser zu kontrollieren und schadlos abzuführen. Zudem ist im zweiten Schritt die Retentionsmaßnahme ND_02 am Göhritzer Graben frühzeitig umzusetzen, um den Schutz vor allem für die Anlieger der Haupt- und Gartenstraße in der Ortslage Nemsdorf zu verbessern.

Im dritten Schritt wird empfohlen, die relevanten Maßnahmen zum Sedimentrückhalt aus [7] (vgl. Kap. 6.2) umzusetzen. Durch die Verringerung der Erosion wird nicht nur der Sedimenteintrag in die Ortslage sondern auch der Unterhaltungsaufwand für beispielsweise Grabenstrukturen, Retentionsräume oder Durchlassbauwerke verringert. Darüber hinaus sind die weiterführenden Maßnahmen für die Ortslagen Nemsdorf und Göhrendorf umzusetzen. Diese dienen überwiegend zur Starkregenrisikominimierung aufgrund von Abflussbildungsprozessen an den angrenzenden Ackerflächen.

Im letzten Schritt sind, sofern erforderlich, die optionalen Maßnahmen umzusetzen. Diese beinhalten Maßnahmen die zur verbesserten Wirksamkeit der zwingend erforderlichen Maßnahmen beitragen.

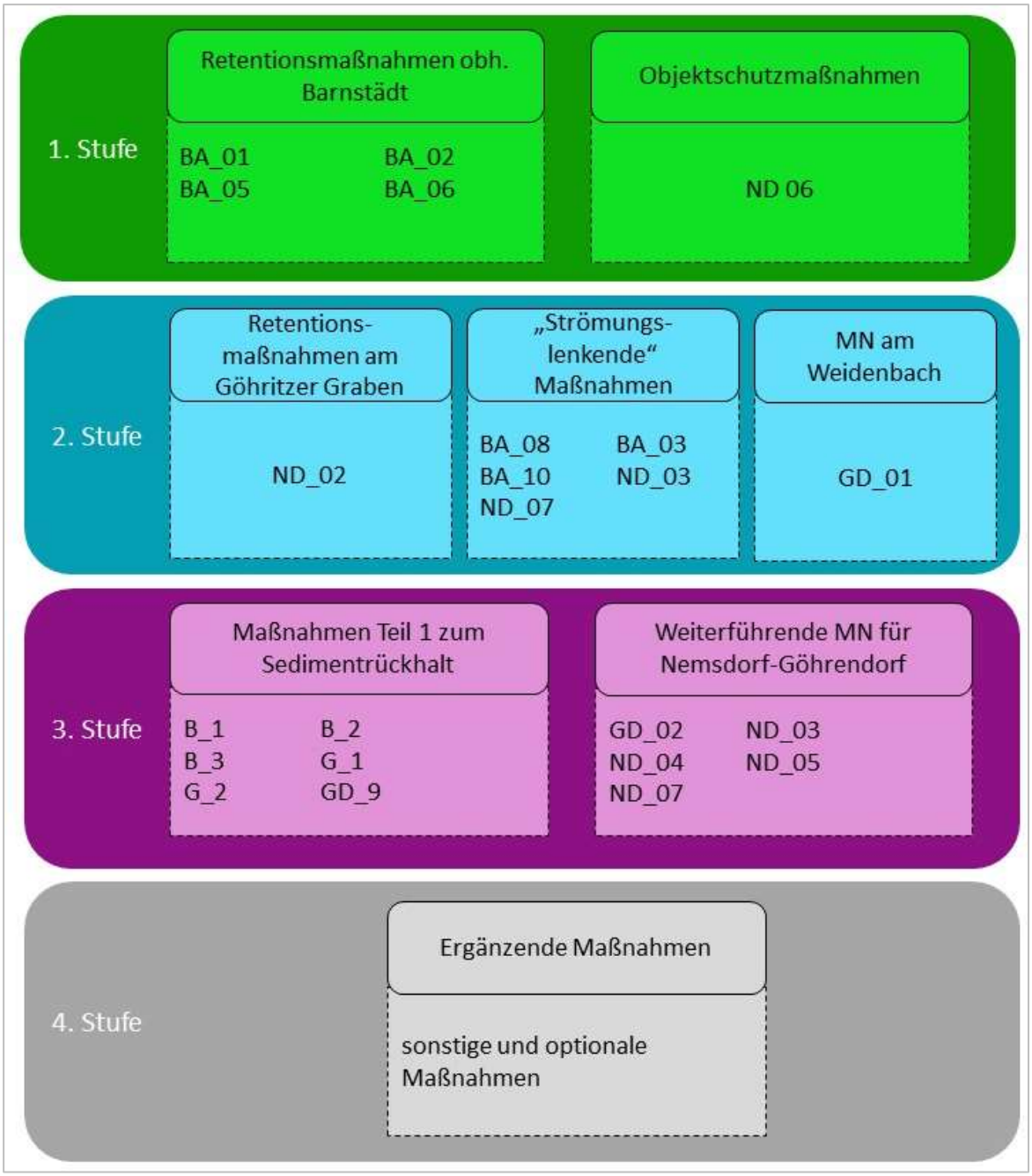


Abbildung 87: Umsetzungsstrategie für das Maßnahmenkonzept zur Starkregenrisikominimierung im Untersuchungsgebiet

# 7 Zusammenfassung und Ausblick

Für die Ortslagen Göhritz, Barnstädt, Nemsdorf und Göhrendorf wurde ein Starkregenkonzept nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik erstellt. Dabei wurden zunächst die örtlichen und topografischen Gegebenheit analysiert und mittels hydraulischer Feingefährdungsanalyse untersetzt.

Grundlage der hydraulischen Feingefährdungsanalyse war ein 2D-HN-Modell [5]. Dieses wurde aktualisiert und in zwei Modellzustände überführt. Der Modellzustand 1 (MZ 1) entspricht den örtlichen Gegebenheiten vor 2017 und diente als Kalibrierungszustand anhand des Starkregenereignisses vom Mai 2017. Dieses wurde anschließend in den Modellzustand 2 (MZ 2) überführt, welches als Bemessungsgrundlage für $N_{50}$ und $N_{100}$ basierend auf den aktuellen topographischen Gegebenheiten herangezogen wurde.

Darüber hinaus wurden Objekte und denkmalgeschützte Gebiete in 4 Schadenspotentialkategorien klassifiziert. Darauf aufbauend erfolgte durch Verknüpfung der Schadenspotentiale mit der modelltechnisch bestimmten Überflutungsgefahr (Feingefährdungsanalyse) die Ermittlung des Starkregenrisikos.

Anschließend wurden Maßnahmen zur Eigenvorsorge, Informationsvorsorge, Flächenvorsorge, Regeneration, Krisenmanagement und Gefahrenabwehr vorgeschlagen. Darüber hinaus wurde ein Maßnahmenkonzept mit technisch-konstruktiven Maßnahmen entworfen, welches das Starkregenrisiko in den Ortslagen minimiert. Weiterführend erfolgte eine qualitative Bewertung hinsichtlich hydraulischer Wirksamkeit, ökologischer Verträglichkeit, dauerhafter Restriktionen, zeitlicher Umsetzbarkeit und zu erwartender Kosten.

Die Ergebnisse der Starkregenrisikoanalyse sind den Anlagen B-6.1 und B-6.2 zu entnehmen und zeigen, dass die Ortslagen Barnstädt und Göhritz überwiegend durch wild abfließendes Oberflächenwasser von den angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen betroffen sind. Die Ortslagen Nemsdorf und Göhrendorf sind hingegen überwiegend durch die Abflussführung im Weidenbach sowie Göhritzer Graben bei Starkregen betroffen.

Darüber hinaus wurden Handlungsempfehlungen für andere Kommunen in Sachsen-Anhalt erörtert, die bei künftigen Untersuchungen berücksichtigt werden sollten.

An das Starkregenrisikomanagementkonzept schließt sich eine Objektplanung mit Detailuntersuchungen an. Hierbei sind beispielsweise Flächenverfügbarkeiten und ggf. erforderliche Trassenoptimierungen zu prüfen sowie eine hydraulische Nachweisführung durchzuführen. Abschließend erfolgen Genehmigungs- und Ausführungsplanungen, bevor die Maßnahmen umgesetzt werden können.

Es wird empfohlen, die vorgeschlagenen Maßnahmen zur Starkregenrisikominimierung in den Hochwasserrisikomanagementplan zu integrieren bzw. auf diese als Teil der Hochwasserrisikomanagementplanung der Gemeinde zu verweisen, denn zur Förderung kommunaler Konzepte und Maßnahmen der Starkregenvorsorge steht im Land Sachsen-Anhalt vorrangig die „Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen für Maßnahmen zur Verbesserung des kommunalen Hochwasserschutzes im

Land Sachsen-Anhalt“ zur Verfügung. Die Fördertatbestände umfassen neben Baumaßnahmen an kommunalen technischen Hochwasserschutzanlagen auch Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserrückhaltes. Hier sind Synergieeffekte zur Lösung der Starkregenproblematik von Kommunen möglich, sofern die zu fördernden Projekte Bestandteil eines Hochwasserrisikomanagementplans sind. Die Durchführung eines von der DWA angebotenen Hochwasseraudits ist ebenfalls grundsätzlich förderfähig. Die Laufzeit dieser Richtlinie endet im Jahr 2023. Förderanträge können beim Landesverwaltungsamt (LVwA) für Maßnahmen gestellt werden, die spätestens 2023 abgeschlossen werden. Genauere Informationen und Beratung bietet das LVwA, Ansprechpartnerin ist dort Frau Zengler (Tel.: 0345 514-2227).

Eine Übersicht zu den verfügbaren Förderrichtlinien zur Thematik Klimawandel/Starkregen ist unter www.klimawandel.sachsen-anhalt.de auf dem Portal des Landes eingestellt. Hier finden sich auch Fördermöglichkeiten für Maßnahmen im landwirtschaftlichen Bereich, die ebenfalls für die Starkregenvorsorge von Bedeutung sind (z.B. Förderung für Hecken- und Feldgehölze). Für die Förderung kommunaler Maßnahmen der Starkregenvorsorge nach 2023 ist eine Folgerichtlinie in Planung, die noch stärker als bisher die Belange des Starkregenrisikomanagements berücksichtigen soll. Sobald eine neue Förderrichtlinie in Kraft tritt, wird diese ebenfalls auf dem Landesportal veröffentlicht.

Sachbearbeiter:
Dipl.-Ing. (FH) Sandra Petersohn
Christian Förster B.Sc.

Erfurt, Dezember 2021

Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt GmbH

ppa. Dipl.-Ing. Sebastian Weichelt