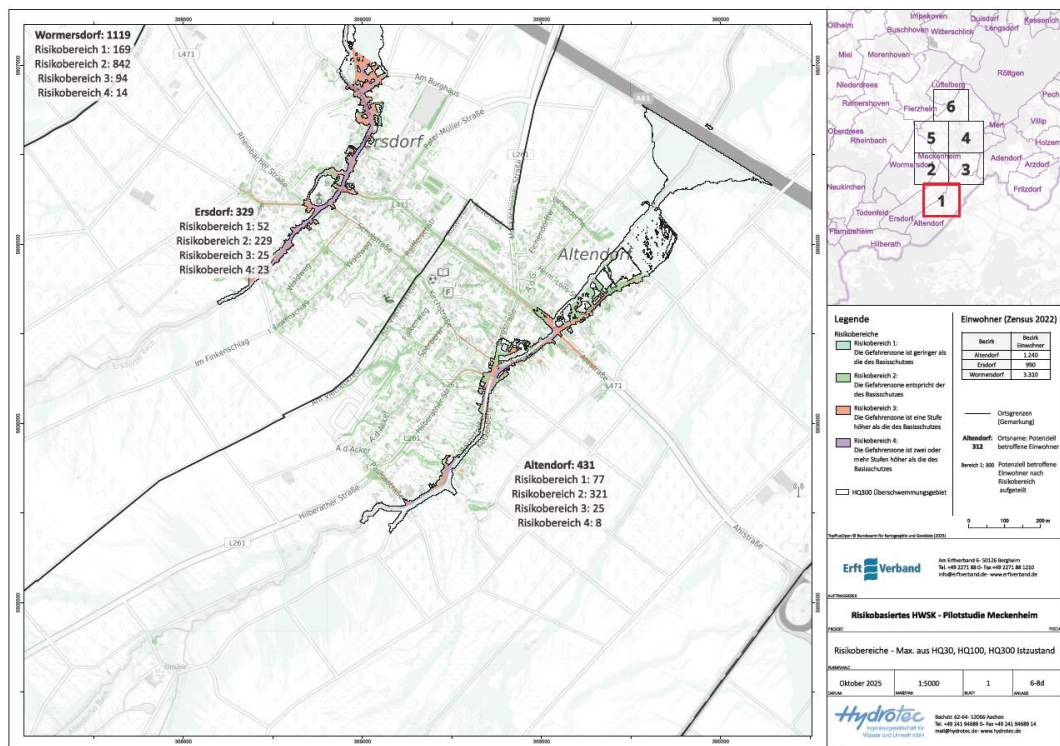


Projektbericht

Evaluierung und Weiterentwicklung des Risikobasierten HWSK für die Hochwasserschutzplanung in NRW – Pilotstudie Meckenheim –



Auftraggeber

Erftverband

Aachen, November 2025

Wir danken allen Beteiligten für die Hilfestellungen bei der Bearbeitung und die jederzeit freundliche und kooperative Zusammenarbeit.

Impressum

Verfasser	Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH Bachstraße 62-64 52066 Aachen +49 241 94689 0 mail@hydrotec.de www.hydrotec.de
Auftraggeber	Erftverband Am Erftverband 6 50126 Bergheim
Projektbetreuung	Herr Thomas Pflugbeil (EV)
Autoren	Dirk Sobolewski (Hydrotec) Dr. Oliver Buchholz (Hydrotec) Michel Heidemanns (Hydrotec)
Bildnachweis	Risikobereiche Istzustand Meckenheim, Maximum aus HQ30, HQ100 und HQ300 (Quelle: Hydrotec)
Stand	November 2025
Projektnummer	P3214

© 2025 Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH

Jegliche anderweitige, auch auszugsweise, Verwertung des Berichtes, der Anlagen und ggf. mitgelieferter Projekt-Datenträger außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Auftraggebers unzulässig. Dies gilt insbesondere auch für Vervielfältigungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Die Vervielfältigung von Teilen des Werkes ist nur zulässig, wenn die Quelle genannt wird.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
Glossar Risikobasiertes HWSK	VII
Anlagen- und Anhangsverzeichnis	IX
1 Veranlassung, Methodik und Aufgabenstellung	1
2 Datengrundlage	4
3 Termine	5
4 Entwicklung einer Methodik zur Anpassung der Starkregensimulationen an die Hochwasserstatistik	6
4.1 Methode N-A-Modell	7
4.2 Methode SCS-Verfahren	7
4.3 Vergleich	9
4.4 Wahl der Niederschlagsverteilung	13
4.5 Wahl der Dauerstufe	14
4.6 Rauheiten Starkregenmodell	15
4.6.1 Sensitivitätsuntersuchung	15
4.6.2 Empfehlung	17
4.7 Fazit.....	17
5 Hydraulische Modellierung	19
5.1 Bemessungsniederschlag	19
5.2 Hydraulische Berechnung	20
5.2.1 Manuelle Abgrenzung des Gewässerbereichs	22
5.2.2 Abgrenzung des Gewässerbereichs anhand zusätzlicher hydraulischer Berechnungen	24
5.2.3 Zusammenhängende Fließwege in Siedlungsbereichen	26
5.2.4 Fazit.....	27

6	Ermittlung von Vulnerabilitätsbereichen, Gefahrenzonen und Risikobereichen nach Risikobasiertem HWSK	29
6.1	Ermittlung Vulnerabilitätsbereiche	29
6.2	Ermittlung betroffener Einwohner	33
6.3	Ermittlung Gefahrenzonen	35
6.4	Ermittlung Risikobereiche.....	38
7	Nutzen-Kosten-Analyse	42
7.1	Schadenspotenzialberechnung	42
7.1.1	Modifikationen BEAM-Ansatz.....	42
7.1.2	Ergebnisse Schadenspotenzialberechnung im Pilotprojekt Meckenheim	46
7.2	Maßnahmenkosten	47
7.3	Nutzen-Kosten-Analyse.....	48
8	Schutzziel und Maßnahmenkonzeption	51
9	Bewertung von Maßnahmenvarianten	52
9.1	Wirksamkeit	52
9.1.1	Erreichen des Basisschutzziels.....	52
9.1.1.1	Auswertung Erreichen des Basisschutzziels.....	53
9.1.1.2	Einhaltung Freibordvorgabe für Deiche	56
9.1.2	Reduzierung der Anzahl der potenziell betroffenen Einwohner	56
9.1.3	Reduzierung der Anzahl der potenziell betroffenen vulnerablen Gebäude.....	58
9.1.4	Gesamtbewertung Wirksamkeit im Pilotprojekt Meckenheim	59
9.2	Wirtschaftlichkeit	60
9.2.1	Kosten für den Basisschutz und Kosten für weitergehenden HWS	60
9.2.2	Schadenspotenziale und Nutzen-Kosten-Verhältnis	60
9.2.3	Berücksichtigung der ökologischen Verbesserung durch Maßnahmen .	60
9.2.4	Gesamtbewertung Wirtschaftlichkeit im Pilotprojekt Meckenheim	61
9.3	Finanzierbarkeit.....	61
9.4	Verbesserung der Gewässerökologie.....	61
9.5	Umsetzbarkeit	65
9.6	Festlegung einer Vorzugsvariante	66
10	Zusammenfassende Bewertung des Risikobasierten HWSK	68
11	Literatur und verwendete digitale Daten sowie EDV-Programmsysteme	70

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1:	Gegenüberstellung von Hochwasser- und Starkregenberechnungen und Möglichkeiten der Zusammenführung für kleine Gewässer	6
Abbildung 4-2:	a) SCS-Bodentypen; b) Landnutzung; c) Abflussbeiwerte (N100)	9
Abbildung 4-3:	Abflussbeiwerte für die Methoden N-A-Modell und SCS-Verfahren mit BFK II.....	11
Abbildung 4-4:	Ganglinienvergleich am Mittellauf des Ersdorfer Bachs^	12
Abbildung 4-5:	Lage Kontrollquerschnitte Ganglinienvergleich.....	13
Abbildung 4-6:	Zeitlicher Verlauf der Niederschlagsverteilungen nach DVWK (1984) und Euler Typ 2.....	14
Abbildung 4-7:	Ansatz zur Ermittlung von fließtiefenabhängigen Rauheiten mit $H_1 = 2$ cm, $H_2 = 10$ cm, k_{st_1} und k_{st_2} entsprechend.....	15
Abbildung 4-8:	Ganglinienvergleich am Mittellauf des Altendorfer Bachs	17
Abbildung 5-1:	Hydrologisches Einzugsgebiet und hydraulisches Modellgebiet.....	19
Abbildung 5-2:	Ganglinien der angesetzten Bemessungsniederschläge	20
Abbildung 5-3:	Geplante Maßnahmen SRRM Meckenheim, Abgrenzung von Überflutungsflächen	21
Abbildung 5-4:	Fließweg, der aus dem Altendorfer Bach austritt und weiter unterhalb wieder in das Gewässer fließt (roter Pfeil) sowie abgeschnittener Fließweg aus dem EZG (schwarz umrandet) mit Darstellung des Abgrenzungsbereichs (pinke Linie)	23
Abbildung 5-5:	Differenzen der maximalen Einstautiefen zwischen Plan- und Istzustand: Geplanter Abfanggraben führt zu einer Vergrößerung des Abgrenzungsbereichs der Überflutungsflächen (pinke Linie).....	24
Abbildung 5-6:	Überflutungstiefen Altendorfer Bach bei Belastung im Gewässerschlauch mit Umring manueller Abgrenzung (schwarze Linie).	25
Abbildung 5-7:	Überflutungstiefen Altendorfer Bach bei flächenhafter Niederschlagsbelastung mit Umring manueller Abgrenzung (schwarze Linie).....	26
Abbildung 5-8:	Unterschiedliche Bereiche nach Größe EZG.....	28
Abbildung 6-1:	Legende der Vulnerabilitätskarte.....	32
Abbildung 6-2:	Ausschnitt Vulnerabilitätskarte (hier: Ersdorf/Altendorf).....	32
Abbildung 6-3:	Zensus 2022 Daten, beispielhafter Ausschnitt.....	34
Abbildung 6-4:	Beispiel Kartendarstellung für betroffene Einwohner (hier: Gefahrenzonenkarte HQ100 Istzustand, Ersdorf/Altendorf).....	35
Abbildung 6-5:	Gefahrenzonen für den Menschen bei Überflutung in Abhängigkeit von der Wassertiefe h und der Fließgeschwindigkeit v	36
Abbildung 6-6:	Legende der Karte für Gefahrenzonen.....	37
Abbildung 6-7:	Beispielkarte für Gefahrenzonen (hier: Gefahrenzonenkarte HQ100 Istzustand, Ersdorf/Altendorf).....	37
Abbildung 6-8:	Basisschutzziele für den Menschen bei Hochwasser in Abhängigkeit von Gefahrenzonen und Lastfällen (Eintrittswahrscheinlichkeit).....	38
Abbildung 6-9:	Legende der Karte für die Risikobereiche	40
Abbildung 6-10:	Beispielkarte für Risikobereiche (hier: Risikobereiche HQ100 Istzustand, Ersdorf/Altendorf).....	40
Abbildung 6-11:	Beispielkarte für Risikobereiche, Maximum aus HQ30, HQ100 und HQ300 (hier: Risikobereiche Istzustand Isselburg).....	41
Abbildung 7-1:	Ansatz eines Impulsfaktors	44
Abbildung 7-2:	Gesamtschaden für berechnete Wahrscheinlichkeiten (oben: logarithmische Darstellung, unten: nicht logarithmische Darstellung)	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Abstimmungstermine und Anlagennummern.....	5
Tabelle 4-1:	SCS-CN-Werte in Abhängigkeit von Realnutzung und Bodentyp	8
Tabelle 4-2:	Verglichene Zustände	10
Tabelle 4-3:	Flächengewichtete Abflussbeiwerte (für Szenario N100)	10
Tabelle 4-4:	Rauheitsbeiwerte für die untersuchten Varianten „Standard“ und „rau“ ...	16
Tabelle 5-1:	Im Planzustand berücksichtigte HWS-Maßnahmen.....	21
Tabelle 6-1:	Besonders vulnerable Einzelobjekte und Einstufung nach Unterklassen.	30
Tabelle 7-1:	Ermittelte Schadenspotenzialwerte Istzustand	46
Tabelle 7-2:	Ermittelte Schadenspotenzialwerte Planzustand.....	46
Tabelle 7-3:	Maßnahmenkosten HWS-Maßnahmen Meckenheim	48
Tabelle 7-4:	Nutzen-Kosten-Analyse im Pilotprojekt Meckenheim	50
Tabelle 9-1:	Erreichte Basisschutzziele Istzustand und Planzustand	55
Tabelle 9-2:	Betroffene Einwohner, Ist- und Planzustand sowie Veränderungen zwischen beiden Zuständen.....	57
Tabelle 9-3:	Potenziell betroffene vulnerable Objekte	59
Tabelle 9-4:	Bewertung der Auswirkung auf die Gewässerökologie je Maßnahme	64
Tabelle 9-5:	Punkteverteilung Bewertungskriterien	66
Tabelle 9-6:	Standardgewichte der Bewertungskriterien	67
Tabelle 9-7:	Gesamtbewertung für den Planzustand	67

Abkürzungsverzeichnis

AG	Auftraggeber
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
AN	Auftragnehmer
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
Basis-DLM	Digitales Basis-Landschaftsmodell
BEAM	Basic European Assets Map
BR	Bezirksregierung
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
EMP Wurm	Entwurf Masterplan Wurm (Hydrotec 2023)
EW	Einwohnerinnen und Einwohner
EZG	Einzugsgebiet
EV	Erftverband
GIS	Geografisches Informationssystem
HQx	Hochwasserereignis mit einer statistischen Eintrittswahrscheinlichkeit von x Jahren
HRB	Hochwasserrückhaltebecken
HWRM	Hochwasserrisikomanagement
HWS	Hochwasserschutz
HWSK	Hochwasserschutzkonzept
IED-Anlagen	Anlagen nach Industrieemissionsrichtlinie
IUCN	International Union for Conservation of Nature
KG V09	Kleingruppe der UAG
MUNV	Ministerium für Umweltschutz, Naturschutz und Verkehr des Landes NRW
N-A-Modell	Niederschlag-Abfluss-Modell
NKA	Nutzen-Kosten-Analyse
NKV	Nutzen-Kosten-Verhältnis
PKBW	Projektkostenbarwert
PNBW	Projektnutzenbarwert
PRTR-Anlagen	Anlagen nach European Pollutant Release and Transfer
SCS	Soil Conservation Service
SR	Starkregen
SR-Modell	Starkregen-Modell
SRRM	Starkregenrisikomanagement
UAG HWSK	Unterarbeitsgruppe Hochwasserschutzkonzepte des MUNV
Var.	Variante
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie, Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik
WVER	Wasserverband Eifel-Rur

Glossar Risikobasiertes HWSK

Basisschutzziel	Schutzziel zur Abwendung von Gefahren für Leib und Leben
Bereich A	hydrologisch sinnvolle Abgrenzung der Überflutung aus Gewässern gem. UAG Hochwasserschutzkonzepte: Bereich A, Kleingewässer und Kopfgebiete, EZG < 25 km ² Übergangsbereich B, Mittlere Gewässer
Erweiterter Schutz	über Basisschutz hinausgehender Schutz, der volkswirtschaftlich gerechtfertigt ist (positives Nutzen-Kosten Verhältnis)
Gefahrenzone	Überflutete Bereiche, die auf Basis des Impulses nach der möglichen Auswirkung auf den Menschen klassifiziert werden. Insgesamt werden 6 Gefahrenzonen definiert (0 bis 6).
Hochwassergefährdung	Kombination von Hochwassergefahr (definiert über Gefahrenzone) und Eintrittswahrscheinlichkeit (definiert über Jährlichkeit)
Impuls	Produkt aus Fließgeschwindigkeit und Fließtiefe [m ² /s]
Lastfall	Beschreibt das betrachtete Ereignis (Jährlichkeit oder Niederschlags-Szenario)
Maßnahme	Eine Maßnahme kann aus mehreren (mindestens einer) Teilmaßnahmen bestehen, die zusammenwirken
Risiko	Kombination aus Eintrittswahrscheinlichkeit/Gefährdung und Schadensausmaß/Vulnerabilität
Risikobereich I	höherer Schutzgrad als beim Basisschutzziel, entspricht allen Gefahrenzonen unterhalb des Schutzziels und allen Gefahrenzonen in unbebautem Gelände (da hier keine Zielvorgabe besteht)
Risikobereich II	Schutzgrad stimmt mit dem Basisschutzziel überein und entspricht der für den Basisschutz erforderlichen Gefahrenzone
Risikobereich III	niedrigerer Schutzgrad als beim Basisschutzziel, entspricht der ersten Gefahrenzone oberhalb des Schutzziels
Risikobereich IV	deutlich niedrigerer Schutzgrad als beim Basisschutzziel, entspricht allen weiteren Gefahrenzonen oberhalb des Schutzziels
Risikobereich	Vier Risikobereiche für die Lebensgefahren bei Hochwasser zur Prüfung des Basisschutzes, welche in Karten dargestellt werden können
Schutzziel	Erforderliche Kombination von Vulnerabilität , Lastfall und Gefahrenzone zur Erreichung des Basisschutzziels
Teilmaßnahme	Eine bauliche Maßnahme, z. B. HW-Schutzmauer, Deich
Übergangsbereich B	hydrologisch sinnvolle Abgrenzung der Überflutung aus Gewässern gem. UAG Hochwasserschutzkonzepte: Bereich A, Kleingewässer und Kopfgebiete, EZG < 25 km ² Übergangsbereich B, Mittlere Gewässer
Variante	Hochwasserschutz-/Planungs-/Maßnahmenvariante. Eine Variante besteht aus mehreren (mindestens einer) Maßnahme, dies wird auch als Maßnahmenkombination bezeichnet.
Variantenuntersuchung	Untersuchung zur Ermittlung der Vorzugsvariante
Vorzugsvariante	Bestmögliche Lösung (Maßnahme oder Maßnahmenkombination) zur Erreichung eines Hochwasserschutzziels

Vulnerabilität	Allgemein: Anfälligkeit gegenüber Hochwasser. Hier: Differenziert über die Flächennutzung in 3 Stufen: geschlossenen Siedlungen (hohe Vulnerabilität) Einzelgebäuden außerhalb geschlossener Siedlungen (geringe Vulnerabilität) unbebautes Gelände (keine Vulnerabilität)
Zustand	Istzustände oder Planzustände

Anlagen- und Anhangsverzeichnis

Anlage 3-1:	Präsentationsfolien Abstimmungstermin 01.07.25
Anlage 3-2:	Präsentationsfolien Abstimmungstermin 10.07.25
Anlage 3-3:	Präsentationsfolien Abstimmungstermin 29.07.25
Anlage 3-4:	Präsentationsfolien Abstimmungstermin 15.08.25
Anlage 3-5:	Präsentationsfolien Abstimmungstermin 29.08.25
Anlage 3-6:	Präsentationsfolien Abstimmungstermin 16.09.25
Anlage 4-1:	Ganglinienvergleich
Anlage 6-1:	Gebäude ALKIS NRW Einzelbebauung
Anlage 6-2:	Gebäude ALKIS NRW Einzelbebauung „besonders vulnerabel“
Anlage 6-3:	Karten Vulnerabilitätsbereiche Istzustand, Planzustand (1 : 5.000) – nur digital
Anlage 6-4:	Potenziell betroffene vulnerable Objekte für den Istzustand und die Maßnahmenalternativen je Unterklasse, Bereich und HQ
Anlage 6-5:	Potenziell betroffene Einwohner für den Istzustand und die Maßnahmenalternativen je Bereich und HQ
Anlage 6-6:	Karten HQ30, HQ100, HQ300, Gefahrenzonen, Istzustand (1 : 5.000) – nur digital
Anlage 6-7:	Karten HQ30, HQ100, HQ300, Gefahrenzonen, Planzustand (1 : 5.000) – nur digital
Anlage 6-8:	Karten HQ30, HQ100, HQ300, Maximum, Risikobereiche, Istzustand (1 : 5.000) – nur digital
Anlage 6-9:	Karten HQ30, HQ100, HQ300, Maximum, Risikobereiche, Planzustand (1 : 5.000) – nur digital
Anlage 7-1:	Beschreibung des BEAM-Verfahrens im Entwurf Masterplan Wurm (2023)
Anlage 7-2:	Tabelle: Einheitspreise und Leistungsbeschreibung der Maßnahmen im Entwurf Masterplan Wurm (2023)
Anlage 9-1:	Matrix Widerstands- und Konfliktanalyse

Anhänge

Anhang 1:	Grundlagen der hydrologischen Berechnungen
Anhang 2:	Grundlagen der 2D-Berechnungen der Gewässer
Anhang 3:	Grundlagen der 2D Berechnung von Starkregen
Anhang 4:	Grundlagen der GIS-Bearbeitung
Anhang 5:	Grundlagen der Ermittlung des Schadenspotenzials
Anhang 6:	Grundlagen der Ermittlung der Maßnahmenkosten
Anhang 7:	Grundlagen der Nutzen-Kosten-Analysen
Anhang 8:	Formularvorlage Nutzen-Kosten-Analyse

1 Veranlassung, Methodik und Aufgabenstellung

Die Bearbeitung der Pilotstudie in Meckenheim soll gemäß den aktuellen Empfehlungen der von der Hochwasserkommission des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr NRW (MUNV) einberufenen Unterarbeitsgruppe „Hochwasserschutzkonzepte“ (UAG HWS-Konzepte) erfolgen.

Die Unterarbeitsgruppe erarbeitet zurzeit die Grundlagen und Methodiken zur Erstellung von Risikobasierten Hochwasserschutzkonzepten (HWSK). Die Arbeiten werden im Laufe des Jahres abgeschlossen sein. Ende 2025 soll der Hochwasserkommission über den aktuellen Stand berichtet werden. Neben Meckenheim wird die Methodik an drei weiteren Pilotprojekten getestet und optimiert.

Die Pilotstudie Meckenheim baut auf den Ergebnissen des Handlungskonzepts Starkregenrisikomanagement (Hydrotec 2024) sowie den Zwischenergebnissen sowohl des kommunalen Hochwasserschutzkonzeptes und der Interkommunalen Hochwasserschutzkooperation Erft (hwsErft) (vgl. <https://hws-kooperation.erftverband.de/>) auf. Darüber hinaus liegen sowohl die hydraulischen Modellgrundlagen, einschließlich einer detaillierten Abbildung der Risikogewässer, als auch die hydrologischen Modell- und Datengrundlagen vor.

Die Pilotstudie zielt darauf ab, eine Methodik zu erarbeiten und zu testen, wie die statistischen Wahrscheinlichkeiten von Starkregen- und Hochwasserbemessungsereignissen gemeinsam betrachtet und zur Beurteilung von technischen Schutzmaßnahmen herangezogen werden können. Das Konzept soll in einem hydraulischen Modell durch Randbedingungen abgebildet werden und somit als Grundlage zur Anwendung des aktuell in Erarbeitung befindlichen Risikobasierten HWSK dienen. Das Risikobasierte HWSK wird dabei auf bestehende und neu zu konzipierende Schutzmaßnahmen angewendet und die dabei auftretenden Auswirkungen werden analysiert. Zusätzlich erfolgt eine Überprüfung methodischer Ansätze zur Auswahl der Maßnahmenvarianten. Zur Umsetzung dieser Aufgaben sind hydrologische und hydraulische Modellierungen, GIS-gestützte Analysen, sozioökonomische Bewertungen sowie Nutzen-Kosten-Analysen erforderlich.

Die Ergebnisse der Pilotstudie sollen zum einen in die Empfehlungen für die landesweite Anwendung des Risikobasierten HWSK der Hochwasserkommission einfließen und zum anderen weitergehende Erkenntnisse für die zielgerichtete Erstellung des Interkommunalen Hochwasserschutzkonzeptes Erft liefern.

Von Hydrotec wurden im Rahmen der Pilotstudie folgende Untersuchungsleistungen durchgeführt:

- Entwicklung der Methodik zur Anpassung von Starkregensimulationen an die Hochwasserstatistik
- hydrologische und hydraulische Simulationen
- Ermittlung von Gefahrenzonen und Risikobereichen nach neuem Ansatz für die vorhandenen und neuen 2D-Simulationen für HQ30, HQ100 und HQ300
- Schadenspotenzialberechnungen mit Nutzen-Kosten-Analyse
- Anwendung des Risikobasierten HWSK
- Anwendung und Überprüfung der von der Kleingruppe V.09 der UAG HWSK vorzuschlagenden methodischen Ansätze für die Alternativenauswahl
- Durchführung von methodischen Untersuchungen zur Optimierung des Risikobasierten HWSK sowie zur Definition von Mindeststandards

Die Arbeiten von Hydrotec erfolgten in enger Abstimmung mit dem EV und in Koordination mit der UAG HWS-Konzepte sowie der Kleingruppe KG V09. Zwischenergebnisse wurden in der UAG präsentiert und abgestimmt.

Im Rahmen der Untersuchung wurden regelmäßig Jour-Fixe-Termine mit dem EV durchgeführt. Meilensteintermine zum Abschluss einzelner Leistungspositionen wurden unter zusätzlicher Beteiligung der Stadt Meckenheim durchgeführt. Im Pilotprojekt Meckenheim waren folgende Personen beteiligt:

- Erftverband:
 - Thomas Pflugbeil als Projektleiter des AG
 - Dr. Daniel Bittner
 - Alexander Ley
- Stadt Meckenheim:
 - Marcus Witsch, Fachbereichsleiter Verkehr und Grünflächen (FB 66)
 - Mike Brüggemann, Fachbereich Verkehr und Grünflächen (FB 66)
- Hydrotec:
 - Michel Heidemanns als Projektleiter des AN
 - Dr. Oliver Buchholz
 - Dirk Sobolewski
 - Sandy Jeroma
 - Diane Kaiser
 - Damian Stawinoga
 - Matthias Webering
 - Christina Zorenböhmer
- UAG, KG V09:
 - Dr. Fabian Gier, MUNV
 - Daniel Posanski, MUNV
 - Rudolf Wergen, BR Köln
 - Prof. Schüttrumpf, RWTH Aachen
 - Dr. Julian Hofmann, RWTH Aachen
 - Dr. Daniel Bittner, Erftverband
 - Dr. Gerd Demny, WVER
 - Susanne Kozerke, WVER
 - Dr. Oliver Buchholz, Hydrotec

Im Rahmen der Pilotprojekte wurde eine Handlungsanleitung für die Durchführung eines Risikobasierten HWSK erarbeitet. Diese ist in einem separaten Bericht dokumentiert.

- „Empfohlener Ablauf zur Erstellung Risikobasierter Hochwasserschutzkonzepte auf Basis von drei Hydrotec-Pilotstudien“ (Hydrotec 2025)

Weiterhin sind diesem Dokument die technischen Umsetzungen als Anhänge 1 bis 8 beige-fügt:

- Grundlagen der hydrologischen Berechnungen
- Grundlagen der 2D-Berechnungen der Gewässer
- Grundlagen der 2D Berechnung von Starkregen
- Grundlagen der GIS-Bearbeitung
- Grundlagen der Ermittlung des Schadenspotenzials
- Grundlagen der Ermittlung der Maßnahmenkosten
- Grundlagen der Nutzen-Kosten-Analysen
- Formularvorlage Nutzen-Kosten-Analyse

Diese haben i. d. R. jeweils den Aufbau

- Ziel und Methodik
- Grundlagendaten
- Bearbeitungsschritte
- Ergebnisse

Weitergehende Informationen zum Risikobasierten HWSK und zu den Technischen Umsetzungen sind somit den o. g. Dokumenten zu entnehmen.

Ergänzend sind diese Dokumente dem vorliegenden Bericht zum Pilotprojekt Meckenheim als Anhänge beigelegt.

2 Datengrundlage

Aus dem Projekt „Untersuchung der Auswirkungen von Überflutungen infolge von Starkregen auf dem Gebiet der Stadt Meckenheim“ (Hydrotec 2025, im Auftrag der Stadt Meckenheim) wurden folgende Daten übernommen:

- Starkregenmodell Meckenheim für den Ist- und Planzustand
- GIS-Daten
- Maßnahmenkonzept

Folgende Daten wurden ergänzend vom Erftverband übergeben:

- Niederschlag-Abfluss-Modell (N-A-Modell) des Swist-Oberlaufs (sqlite)
- offizieller hydrologischer Längsschnitt der Swist und Nebengewässer (png)
- Übersichtskarte Maßnahmenvorschläge HWSK Meckenheim vom Ingenieurbüro Björnsen (pdf)

Darüber hinaus wurden eigenständig folgende Daten des Landes NRW recherchiert und verwendet:

- Nutzungsdaten aus ALKIS, ATKIS (WFS-Dienst)
- Niederschlagsdaten KOSTRA-DWD 2020 (Junghänel et al. 2022, hrsg. vom DWD)
- Gewässerstationierungskarte NRW, Einzugsgebiete (GSK3E)
- digitale Orthofotos (WMS-Dienst)
- weitere Kartendienste des Landes NRW (WMS-Dienste)

Alle zur Verfügung gestellten Daten wurden gesichtet und auf Verwendbarkeit, Vollständigkeit und Plausibilität geprüft.

Daten zu „unqualifizierten Strukturen“ (nicht unterhaltene Deiche und Verwallungen ohne offizielle Hochwasserschutzfunktion) liegen im Untersuchungsgebiet nicht vor.

3 Termine

Im Rahmen des Pilotprojekts wurden zwei Meilensteintermin sowie regelmäßige Jour-Fixe-Termine mit den Beteiligten durchgeführt. Für die Termine hatte Hydrotec entweder Power-Point-Vorträge vorbereitet, anhand derer die Methodiken, Ergebnisse und die weitere Vorgehensweise besprochen wurden oder die Besprechung der inhaltlichen Fragestellungen erfolgte anhand einer Live-Anwendung im GIS System. Tabelle 3-1 listet die Termindaten auf und die zugehörigen Anlagen.

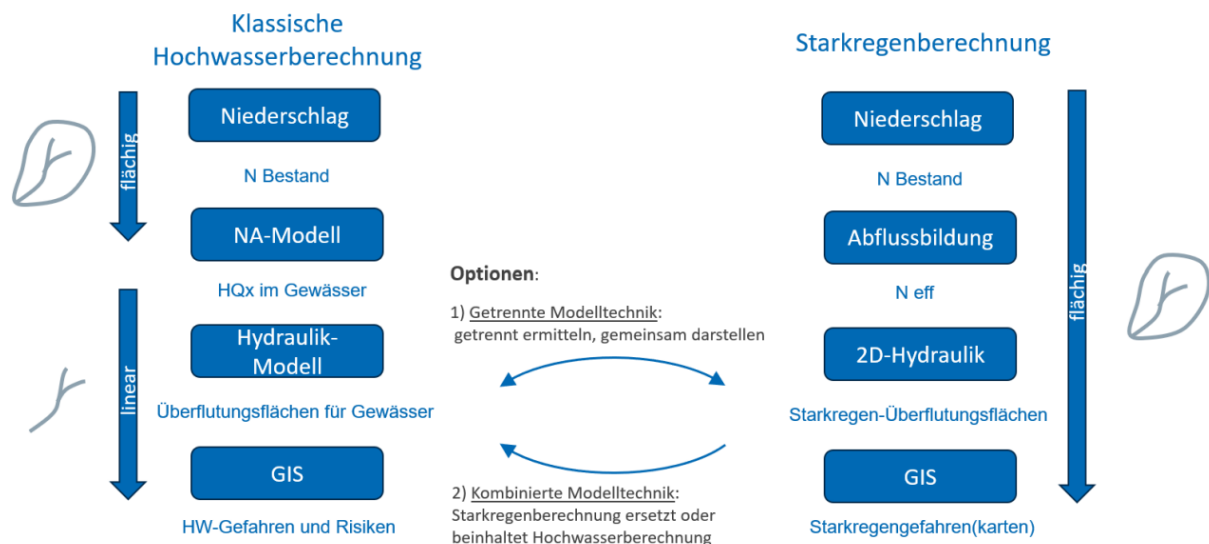
Tabelle 3-1: Abstimmungstermine und Anlagennummern

Datum Abstimmungstermin	Hydrotec Präsentation als Anlage
01.07.2025	Anlage 3-1
10.07.2025	Anlage 3-2
29.07.2025	Anlage 3-3
15.08.2025	Anlage 3-4
29.08.2025	Anlage 3-5
16.09.2025	Anlage 3-6

Die jeweiligen Präsentationsfolien zeigen Bearbeitungszustände, Berechnungsvarianten, Zwischenergebnisse, offene Fragen und Abstimmungen. Im Rahmen der Pilotstudie wurden eine Vielzahl von Sensitivitätsuntersuchungen, Kartendarstellungen und Berechnungsmethoden durchgeführt bzw. angewendet. Die Terminfolien dokumentieren die Bearbeitungschronologie, bei der die „Best Practice“ festgelegt wurde, die in die Handlungsempfehlung mündete.

4 Entwicklung einer Methodik zur Anpassung der Starkregensimulationen an die Hochwasserstatistik

Die Besonderheit in der Pilotstudie Meckenheim lag darin, eine Methodik zu erarbeiten, wie die statistischen Wahrscheinlichkeiten von Starkregen- und Hochwasserbemessungsereignissen in kleinen Einzugsgebieten (EZG) gemeinsam betrachtet werden kann. Erforderlich ist diese Methodik, da in kleinen EZG fluviale und pluviale Prozesse zeitgleich ablaufen. Entsprechend dem Ergebnisdokument der Unterarbeitsgruppe „Hochwasserschutzkonzepte“ (Hochwasserkommission 2024) ist daher ein kombinierter Modellansatz zu wählen (vgl. Abbildung 4-1).



Quelle: Hochwasserkommission 2024

Abbildung 4-1: Gegenüberstellung von Hochwasser- und Starkregensimulationen und Möglichkeiten der Zusammenführung für kleine Gewässer

Zur Entwicklung einer solchen Methodik wurden zunächst grundlegende Fragestellungen formuliert und mögliche Herangehensweisen diskutiert. Folgende Aspekte wurden berücksichtigt:

- Wie kann der abflusswirksame Niederschlag ermittelt werden?
- Kann ein an Pegeln mit großem EZG kalibriertes N-A-Modell auf kleine EZG in Kopfgebieten übertragen werden?
- Wie wirkt sich die räumliche Niederschlagsverteilung auf die 2D-Ergebnisse aus?
- Welchen Einfluss haben die Rauheitsbeiwerte des Starkregenmodells?
- Wie können aus den Berechnungsergebnissen des Starkregenmodells Überflutungsflächen abgegrenzt werden?

In Abstimmung mit dem EV wurden zwei methodische Ansätze ausgewählt und umgesetzt:

- Berechnung des abflusswirksamen Niederschlags mithilfe eines N-A-Modells. Anschließend Belastung des Starkregenmodells auf Basis dieser Niederschlagszeitreihen aus dem N-A-Modell.
- Berechnung des abflusswirksamen Niederschlags mit dem SCS-Verfahren (Soil Conservation Service). Anschließend Belastung des Starkregenmodells mit flächendifferenzierten Niederschlägen.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass sowohl das N-A-Modell als auch das zweidimensionale hydraulische Modell (2D-Modell) jeweils spezifische Vor- und Nachteile aufweisen.

Die systematische Untersuchung beider Methoden erfolgte anhand der Modelle für den Istzustand. Mit der final ausgewählten Variante wurden dann alle Jährlichkeiten für den Ist- und Planzustand berechnet.

Im Folgenden werden die Vorgehensweise sowie die Ergebnisse der beiden methodischen Ansätze kurz vorgestellt. Anschließend folgt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse mit Fazit.

4.1 Methode N-A-Modell

Das N-A-Modell zeichnet sich insbesondere durch seine kurzen Rechenzeiten aus. Dies macht es besonders geeignet für Anwendungen, bei denen zahlreiche Varianten berechnet werden müssen, wie zum Beispiel bei der Bemessung von Hochwasserrückhaltebecken (HRB).

Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass - sofern ein Pegel im Einzugsgebiet vorhanden ist - das Modell auf Grundlage der gemessenen Abflüsse kalibriert werden kann. Diese Kalibrierung erhöht die Aussagekraft der Simulationen deutlich. Sie stellt jedoch nur einen „integralen“ Wert für das gesamte Einzugsgebiet dar. Durch eine flächendifferenzierte Modellerstellung und räumlich differenzierte Parametrisierung erheben die Modelle den Anspruch, auch für die Teilgebiete im Pegelinzugsgebiet gültige Aussagen zu treffen. In den sogenannten Kopfgebieten, die im Fokus dieser Untersuchung stehen, können die Abflusscharakteristika deutlich anders ausgeprägt sein, was die generelle Gültigkeit der Kalibrierung hier einschränkt. Der Pegel Morenhoven an der Swist ist der erste Kalibrierpegel (von oben geschaut) mit einem Einzugsgebiet von 109 km². Die relevanten Kopfgebiete (Einzugsgebiete von Ersdofer Bach und Altendorfer Bach) in Meckenheim haben mit 6,2 km² bzw. 10,4 km² wesentlich kleinere Einzugsgebiete.

Sollte kein Pegel zur Verfügung stehen, muss die Plausibilisierung des N-A-Modells stattdessen auf Erfahrungswerten (Abflussspenden, Abflussbeiwerte, Regionalisierung) basieren. Wie die Versuchsergebnisse von Sokollek in Mendel (2000) zeigen, sind für Gebiete wie beispielsweise Meckenheim (dominiert von tonig-schluffigen Böden, landwirtschaftlicher Nutzung, mittleren Gefälleverhältnissen, Lage im Mittelgebirgsvorland) abflusswirksame Niederschlagsereignisse in der Größenordnung von 50 % als realistisch anzusehen (Mendel 2000).

4.2 Methode SCS-Verfahren

Eine alternative Methode zur Bestimmung des effektiven Niederschlagsanteils eines Regenereignisses ist das SCS-Verfahren (Soil Conservation Service Curve Number Method), das sich seit Jahrzehnten in der hydrologischen Modellierung bewährt hat. Es handelt sich um ein weit verbreitetes Verfahren, das insbesondere durch seine einfache Anwendbarkeit überzeugt. Die Methode basiert auf standardisierten Kennwerten (Curve Numbers), die aus Bodenart, Landnutzung und Bodenvorfeuchte abgeleitet werden. Ein großer Vorteil ist die einfache Anpassung an lokale Gegebenheiten, beispielsweise durch Anpassung der Curve Numbers auf Basis regionaler Erfahrungswerte oder örtlicher Beobachtungen. Zudem erlaubt das SCS-Verfahren eine räumlich hochdifferenzierte Modellierung, insbesondere wenn es mit geographischen Informationssystemen (GIS) kombiniert wird. Dadurch können heterogene Flächen realitätsnah abgebildet und differenziert bewertet werden.

Der abflusswirksame Niederschlag für die durchzuführenden Starkregensimulationen wurde folgendermaßen mithilfe des SCS-Verfahrens bestimmt (Maniak 2017):

$$N_{eff} = \frac{\left(N - \frac{1270}{CN} + 12,7\right)^2}{N + \frac{24130}{CN} - 241,3}$$

Der Gesamtniederschlag (N) entspricht dem jeweiligen Bemessungsniederschlag (vgl. Kapitel 5.1). Die Gebietskenngröße (CN-Wert) wurde durch die Verschneidung der hydrologischen

Bodenklassen (ermittelt anhand des Durchlässigkeitsbeiwerts (kf-Wert) aus der Bodenkarte BK50) (s. Abbildung 4-2 a) mit der Landnutzung (ermittelt anhand von ALKIS-Landnutzungsdaten) (s. Abbildung 4-2 b) bestimmt.

Zu Berücksichtigung der Bodenvorfeuchte können die CN-Werte entsprechend folgenden Formeln modifiziert werden:

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

$$CN_{III} \approx \frac{CN_{II}}{0,43 - 0,0059 * CN_{II}}$$

mit:

- CN_I : CN-Werte Bodenfeuchtekategorie BFK I (trocken)
- CN_{II} : CN-Werte Bodenfeuchtekategorie BFK II (mittel)
- CN_{III} : CN-Werte Bodenfeuchtekategorie BFK III (feucht)

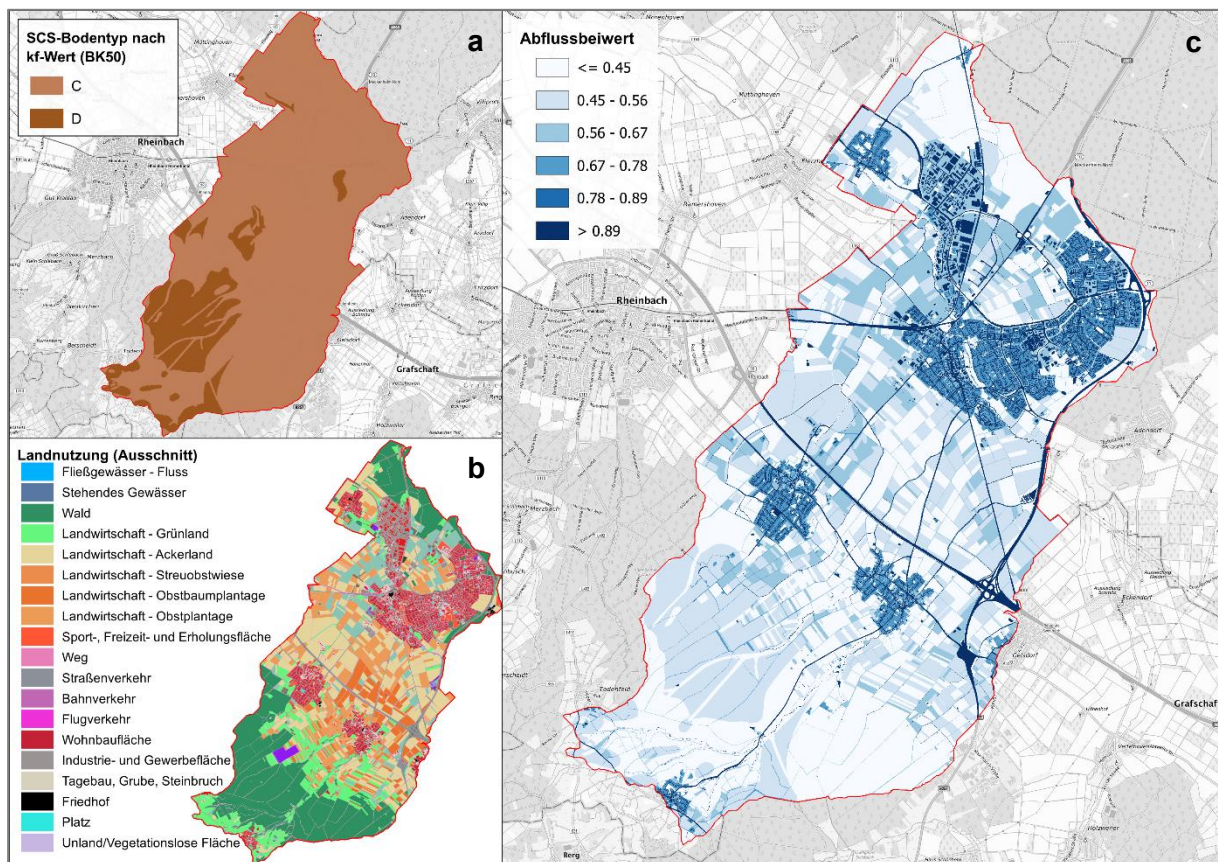
Im Laufe der Projektbearbeitung wurden mehrere Rechenläufe mit verschiedenen Bodenfeuchtekategorien durchgeführt. Nach Abgleich der Ergebnisse mit den Ergebnissen aus dem N-A-Modell und Erfahrungswerten wurde festgelegt, zur Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlags den Mittelwert aus BFK II und BFK III zu verwenden.

Die finalen CN-Werte können Tabelle 4-1 entnommen werden. Resultierende Abflussbeiwerte bzw. Effektivniederschläge sind abhängig vom eingehenden Bemessungsniederschlag. Die flächenhafte Niederschlagsverteilung ist in Abbildung 4-2 c beispielhaft für das außergewöhnliche Szenario (T = 100 a) dargestellt.

Tabelle 4-1: SCS-CN-Werte in Abhängigkeit von Realnutzung und Bodentyp

Nutzung	Bodentyp	CN-Wert BFK II	CN-Wert BFK III
Ackerland	C-D	84-88	91-93
Bahnverkehr	C	100	100
Baumschule	C-D	87-90	92-94
Bach	C-D	100	100
Brachland	C-D	91-94	94-95
Dachflächen	C-D	100	100
Fläche besonderer funktionaler Prägung	C-D	91-94	94-95
Fläche gemischter Nutzung	C-D	91-94	94-95
Fließgewässer	C	100	100
Friedhof	C-D	79-84	88-91
Gehölz	C-D	77-83	87-90
Graben	C-D	100	100
Grünland	C-D	79-84	88-91
Halde	C	91	94
Industrie- und Gewerbefläche	C-D	91-93	94-95
Obstbaumplantage	C-D	73-79	85-88
Obstplantage	C-D	73-79	85-88
Obststrauchplantage	C	73	85
Platz	C-D	100	100
Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche	C-D	79-84	88-91

Nutzung	Bodentyp	CN-Wert BFK II	CN-Wert BFK III
Stehendes Gewässer	C-D	100	100
Straßenverkehr	C-D	100	100
Streuobstwiese	C-D	73-79	85-88
Sumpf	C-D	100	100
Unland/Vegetationslose Fläche	C-D	77-91	88-94
Wald	C-D	77-83	87-90
Weg	C-D	90-92	94-95
Wohnbaufläche	C-D	94-95	95-96



Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2025

Abbildung 4-2: a) SCS-Bodentypen; b) Landnutzung; c) Abflussbeiwerte (N100)

Die Ermittlung der abflusswirksamen Niederschläge ergibt sich je Zeitschritt aus dem Produkt des Abflussbeiwertes mit dem Bemessungsniederschlag. Die Abminderung der Niederschlagsbelastung erfolgt somit als kontinuierliche Abminderung über die ganze Niederschlagsdauer.

4.3 Vergleich

Zur Bewertung der beiden untersuchten Methoden wurden verschiedene Aspekte analysiert:

- Höhe und räumliche Verteilung der Abflussbeiwerte
- Ganglinien an ausgewählten Kontrollquerschnitten

Im Verlauf der Bearbeitung wurden viele Zustände ausgewertet, dem EV vorgestellt und diskutiert. In diesem Bericht werden die Ergebnisse für die in der folgenden Tabelle aufgeführten Zustände verglichen.

Tabelle 4-2: Vergleichene Zustände

Nr.	Name	Niederschlagsbelastung	Abflussganglinie
1	N-A-Modell	N-A-Modell	N-A-Modell
2	N-A-Modell / 2D	N-A-Modell	2D-Modell
3	SCS / 2D (BFK II)	SCS (BFK II)	2D-Modell
4	SCS / 2D (BFK III)	SCS (BFK III)	2D-Modell
5	SCS / 2D (BFK II / BFK III)	SCS (BFK II / BFK III)	2D-Modell

Abflussbeiwerte

Zum Vergleich der Abflussbeiwerte wurden für jeden untersuchten Zustand die flächengemittelten Abflussbeiwerte ermittelt (vgl. Tabelle 4-3). Die Ermittlung der Abflussbeiwerte erfolgte dabei stets für das Gesamtgebiet unter Einbeziehung aller natürlichen und versiegelten Flächen.

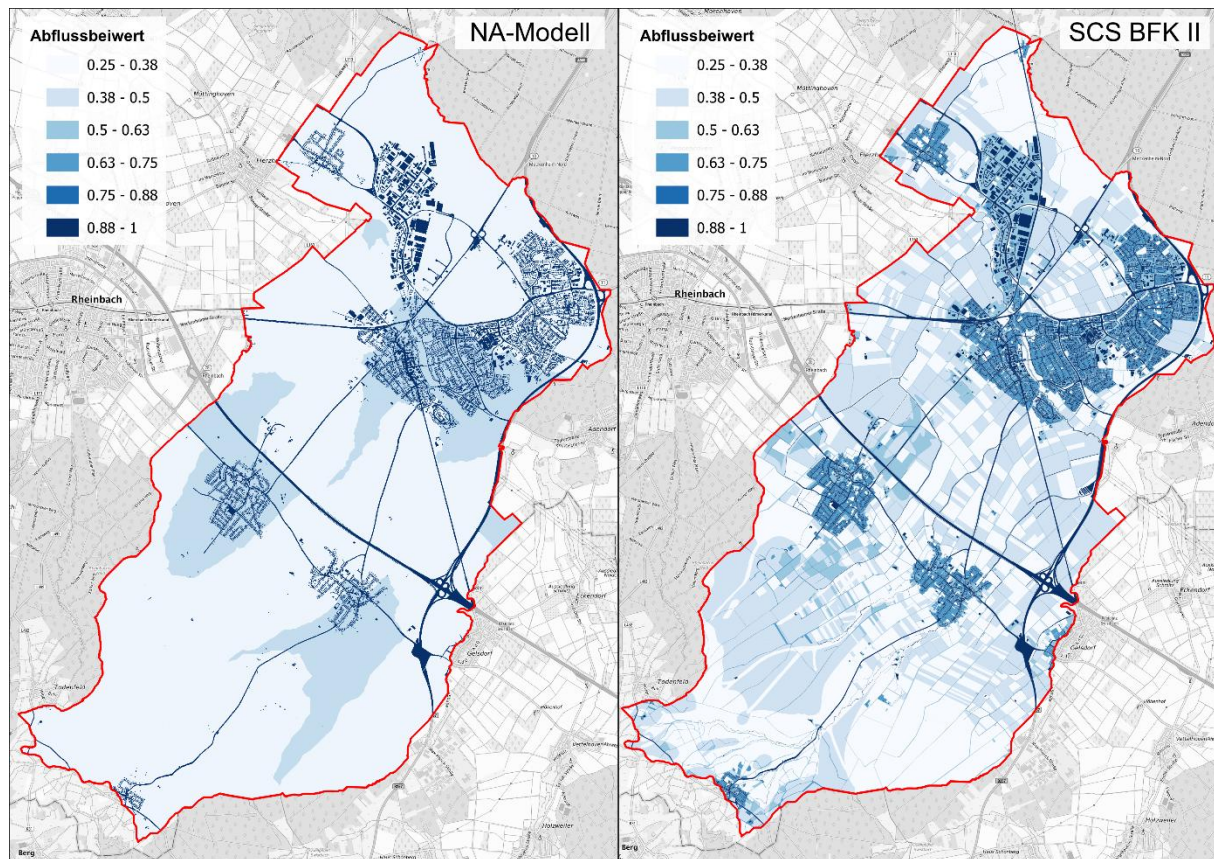
Tabelle 4-3: Flächengewichtete Abflussbeiwerte (für Szenario N100)

Nr.	Name	Gemittelter Abflussbeiwert	Minimaler Abflussbeiwert
2	N-A-Modell / 2D	0,51	0,41
3	SCS / 2D (BFK II)	0,45	0,25
4	SCS / 2D (BFK III)	0,61	0,44
5	SCS / 2D (BFK II / BFK III)	0,53	0,35

Die Werte in Tabelle 4-3 zeigen, dass die Abflussbeiwerte, die sich aus dem kalibrierten N-A-Modell ergeben haben, zwischen den Werten für die Bodenfeuchteklassen II und III aus dem SCS-Verfahren liegen.

In Abbildung 4-3 ist die räumliche Verteilung der Abflussbeiwerte entsprechend den Ergebnissen aus dem N-A-Modell sowie aus dem SCS-Verfahren für die Bodenfeuchtekategorie II dargestellt. In der Darstellung ist zu erkennen, dass es räumlich starke Unterschiede gibt. Folgende Punkte sind festzuhalten:

- Die Ermittlung der Abflussbeiwerte erfolgt für das SCS-Verfahren auf Basis der ALKIS-Nutzungen, die deutlich feiner aufgelöst sind als die Systemelemente aus dem N-A-Modell. Somit ist auch die räumliche Verteilung beim SCS-Verfahren differenzierter.
- Die Einzugsgebiete im Oberlauf der Gewässer Ersdorfer Bach und Altendorfer Bach weisen einige bewaldete Flächen auf. Dies führt bei der Anwendung des SCS-Verfahrens zu niedrigeren Abflussbeiwerten. Die Ergebnisse des N-A-Modells zeigen hier höhere Abflussbeiwerte.
- Auch wenn die gemittelten Abflussbeiwerte für das Gesamtgebiet in einer ähnlichen Größenordnung liegen, können die Abflussbeiwerte für Teileinzugsgebiete aufgrund der räumlichen Verteilung stärker voneinander abweichen. Dies ist beispielsweise im Einzugsgebiet des Ersdorfer Bachs der Fall.



Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2025

Abbildung 4-3: Abflussbeiwerte für die Methoden N-A-Modell und SCS-Verfahren mit BFK II

Ganglinienvergleich

Zur Bewertung der Auswirkung der Niederschlagsbelastung auf die Abflüsse wurden die Abflussganglinien der einzelnen Varianten an ausgewählten Kontrollquerschnitten im Ober-, Mittel- und Unterlauf des Ersdorfer und Altendorfer Bachs ausgewertet (vgl. Anlage 4-1). Beispielsweise ist in Abbildung 4-4 ein Ganglinienvergleich für den Mittellauf des Ersdorfer Bachs dargestellt. Die Lage der Querschnitte ist in Abbildung 4-5 dargestellt. Aus dem Ganglinienvergleich lassen sich folgende Zusammenhänge ableiten:

- Die aus dem N-A-Modell abgeleitete Ganglinie ist deutlich breiter und weniger steil.
- Der kleine Knick im ansteigenden Ast der Varianten 2 bis 5 deutet auf einen Retentionseffekt hin, der vom N-A-Modell nicht erfasst wird.
- Die Wahl der Bodenfeuchtekategorie hat erheblichen Einfluss auf Abflussscheitel und -volumen.
- Die Ganglinie von Variante 2 steigt früher an. Dies ist auf die höheren Abflussbeiwerte im Oberlauf des Ersdorfer Bachs im N-A-Modell zurückzuführen.
- Trotz eines höheren flächengemittelten Abflussbeiwertes von Variante 5 gegenüber 2 für das gesamte Modellgebiet (vgl. Tabelle 4-3) ist der Scheitel von Variante 5 niedriger. Dies zeigt die lokalen Unterschiede in den Abflussbeiwerten zwischen N-A-Modell und SCS-Verfahren in den einzelnen Teileinzugsgebieten.

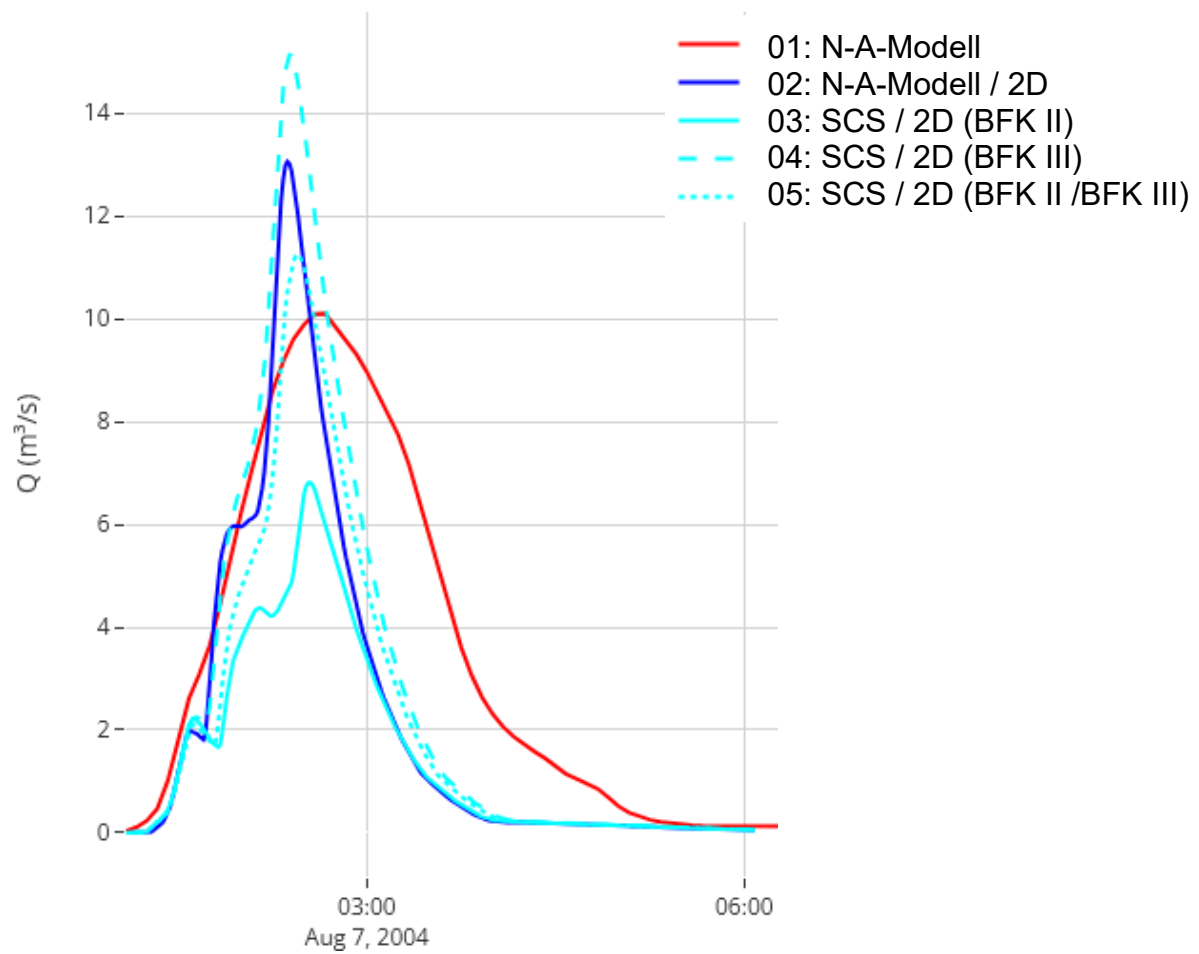


Abbildung 4-4: Ganglinienvergleich am Mittellauf des Ersdorfer Bachs^

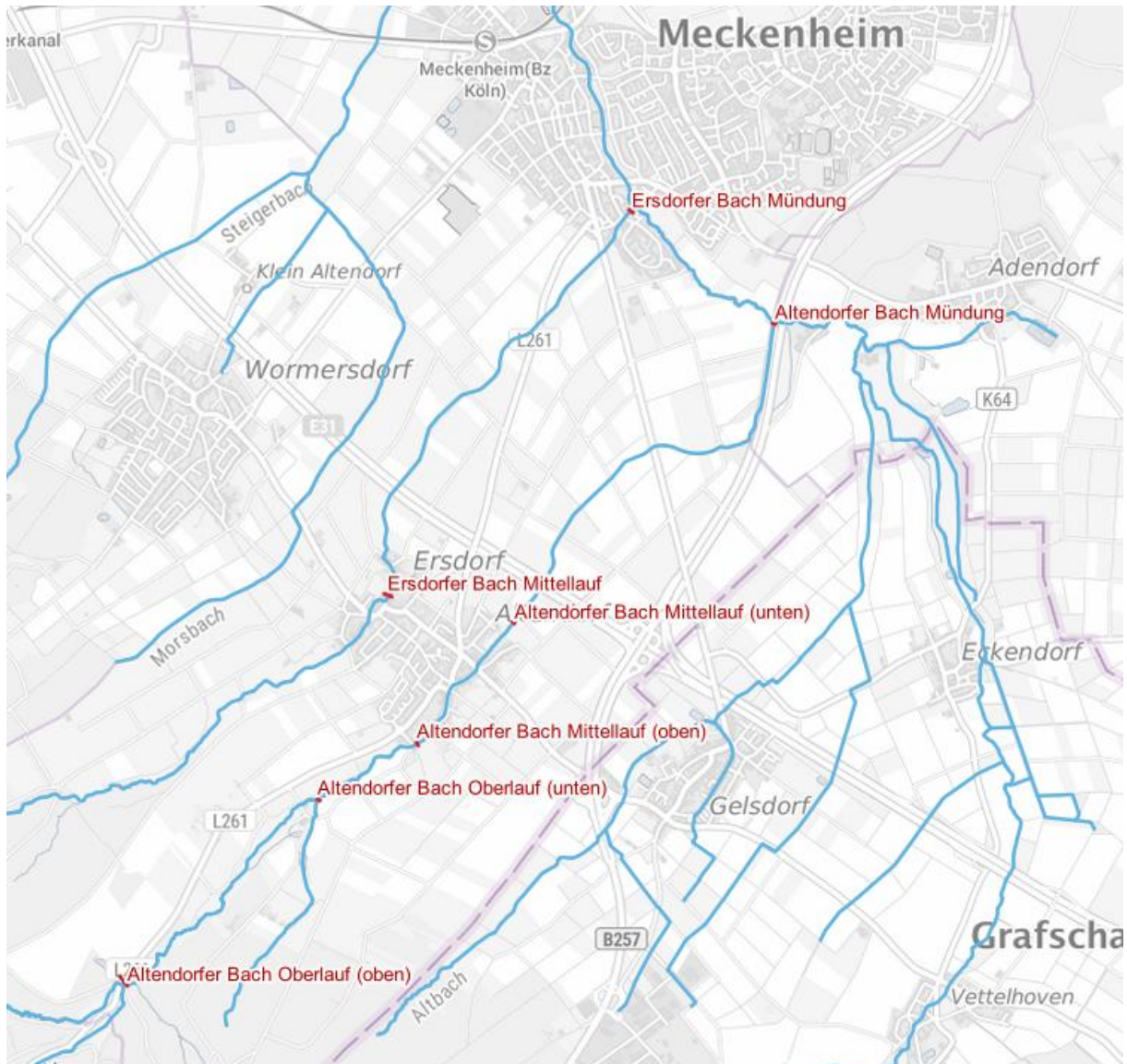


Abbildung 4-5: Lage Kontrollquerschnitte Ganglinienvergleich

4.4 Wahl der Niederschlagsverteilung

Die Wahl der Niederschlagsverteilung sollte zeitlich und räumlich gut abgewogen werden. Da hier Einzugsgebiete von max. 25 km² betrachtet werden, darf von einer räumlich gleichmäßigen Überregnung des gesamten Einzugsgebiets ausgegangen werden.

Die Wahl der zeitlichen Verteilung des Niederschlags während des Ereignisses hat entscheidenden Einfluss auf den resultierenden Spitzenabfluss. Es ist empfehlenswert, Vergleichsrechnungen mit einem Blockregen, einem anfangs-, mitten- und endbetonten Niederschlag durchzuführen (vgl. Abbildung 4-6). Dabei sollte die Niederschlagsverteilung gewählt werden, die die obere mittlere Abflussspitze generiert. In der Regel ist dies bei Wahl eines mittenbetonten Niederschlags (nach DVWK (1984) oder Euler Typ 2) der Fall.

Zur Verifizierung der Niederschlagsverteilung können Zeitreihen nahegelegener Niederschlagsstationen hinsichtlich der Ereignisse ausgewertet werden, die die größten Abflussergebnisse im Gewässer erzeugt haben. Sie können ebenfalls einen Hinweis auf die maßgebliche Dauerstufe im Gebiet liefern (vgl. Kapitel 4.5).

Für die Untersuchungen im Pilotprojekt Meckenheim wurde auf Basis von Erfahrungswerten aus vergangenen Projekten eine mittenbetonte DVWK-Verteilung gewählt. Ein detaillierter Vergleich verschiedener Niederschlagsverteilungen erfolgte nicht.

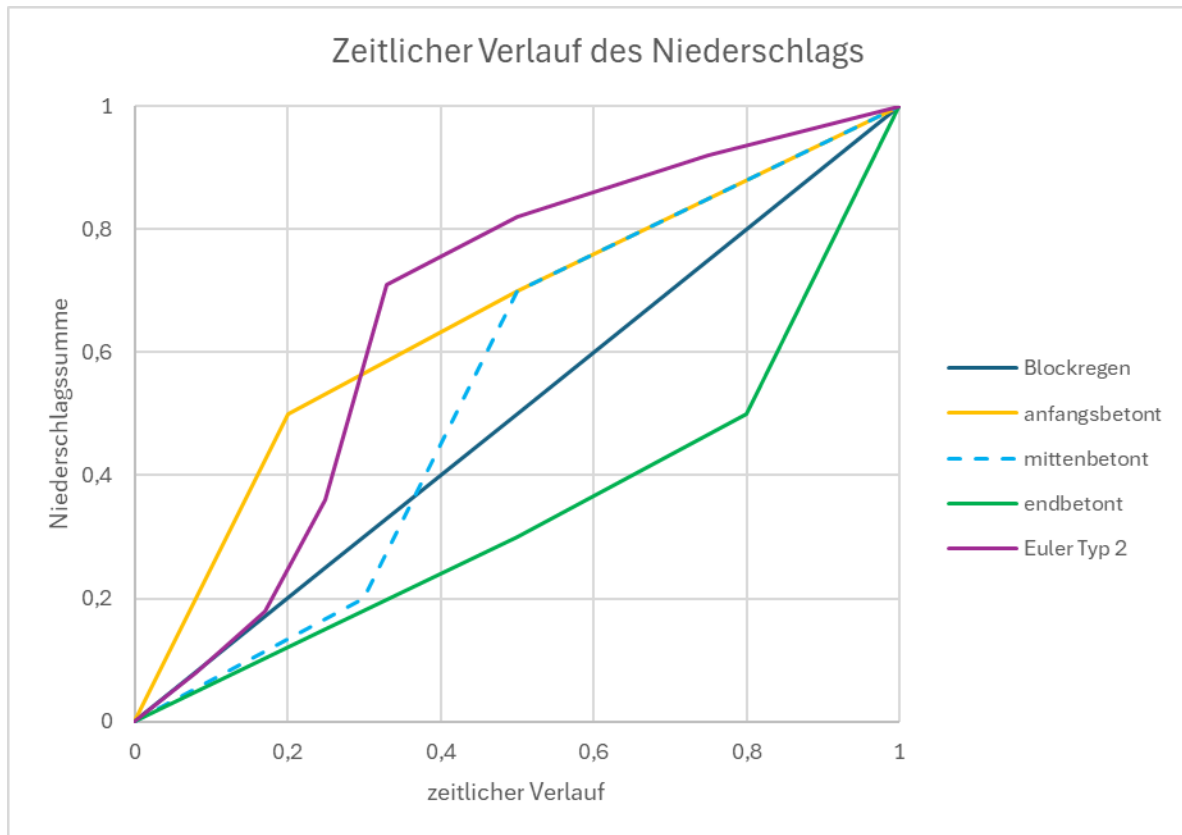


Abbildung 4-6: Zeitlicher Verlauf der Niederschlagsverteilungen nach DVWK (1984) und Euler Typ 2

4.5 Wahl der Dauerstufe

Die Niederschläge nach KOSTRA-DWD 2020 liegen für verschiedene Dauerstufen vor. Mittels eines N-A-Modells sind pro Jährlichkeit alle Dauerstufen zu simulieren. Die maßgebliche Dauerstufe ist jene, bei der die größte Abflussspitze bzw. das größte Abflussvolumen erzeugt wird. Weichen die Dauerstufen für Spitze und Volumen voneinander ab, ist abzuwägen, welche Dauerstufe für den vorliegenden Untersuchungsfall höhere Priorität besitzt. Sollen beispielsweise Beckenstandorte im weiteren Verlauf des Projekts untersucht werden, sollte das Abflussvolumen prioritär behandelt werden.

Liegt kein N-A-Modell vor, muss die maßgebliche Dauerstufe abgeschätzt werden oder das Starkregenmodell mit Niederschlägen unterschiedlicher Dauerstufen belastet werden. Hierfür sollte jedoch eine Vorauswahl getroffen werden.

In kleinen Einzugsgebieten herrschen kurze Konzentrationszeiten des Abflusses vor, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die kurzen Dauerstufen mit hohen Niederschlagsintensitäten maßgeblich sind. Im Starkregenrisikomanagement (SRRM) hat sich die Wahl des 60-minütigen Niederschlags bewährt.

Die Berechnungen mit dem N-A-Modell haben gezeigt, dass der Niederschlag mit einer Dauer von 60 Minuten für die betrachteten Gewässer Erzdorfer Bach und Altendorfer Bach insgesamt die besten Ergebnisse mit Blick auf das größte Abflussvolumen und den größten Abfluss darstellt. Ein weiteres Kriterium für die Wahl der Dauerstufe war die analoge Vorgehensweise im SRRM, weshalb die Dauerstufe von 60 Minuten als maßgebende Dauerstufe für die weitere Bearbeitung ausgewählt wurde.

4.6 Rauheiten Starkregenmodell

Im Verlauf des Projekts stellte sich die Frage, welchen Einfluss die Definition der Rauheiten auf die Abflusswellen in den Gewässern hat. Zur Beurteilung dieser Fragestellung wurde daher eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

4.6.1 Sensitivitätsuntersuchung

Die Sensitivitätsuntersuchung wurde anhand von Zustand 2 (vgl. Tabelle 4-2) durchgeführt. Dabei wurden die Rauheiten für den Standardfall auf Basis von Erfahrungswerten im Wertebereich der im „Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg, Anhang 1a, b, c“ in Tabelle 1 „Empfehlungen für Rauheitswerte zur Modellierung von Starkregengefahrenkarten“ (LUBW 2020) gewählt. Anschließend wurde eine Variante „rau“ mit den unteren Grenzen ebendieser Tabelle berechnet (vgl. Tabelle 4-4).

Die Rauheitsbeiwerte wurden, gemäß dem Ansatz in Abbildung 4-7, fließtiefenabhängig definiert, um möglichst realistische Überflutungstiefen und Fließgeschwindigkeiten zu erzielen. Im Einzelnen bedeutet dies, dass bis zu einer Wassertiefe von 2 cm (H1) der Strickler-Wert k_{st_1} und ab einer Wassertiefe von 10 cm (H2) der Strickler-Wert k_{st_2} verwendet wird. Zwischen H1 und H2 wird der Strickler-Wert linear interpoliert.

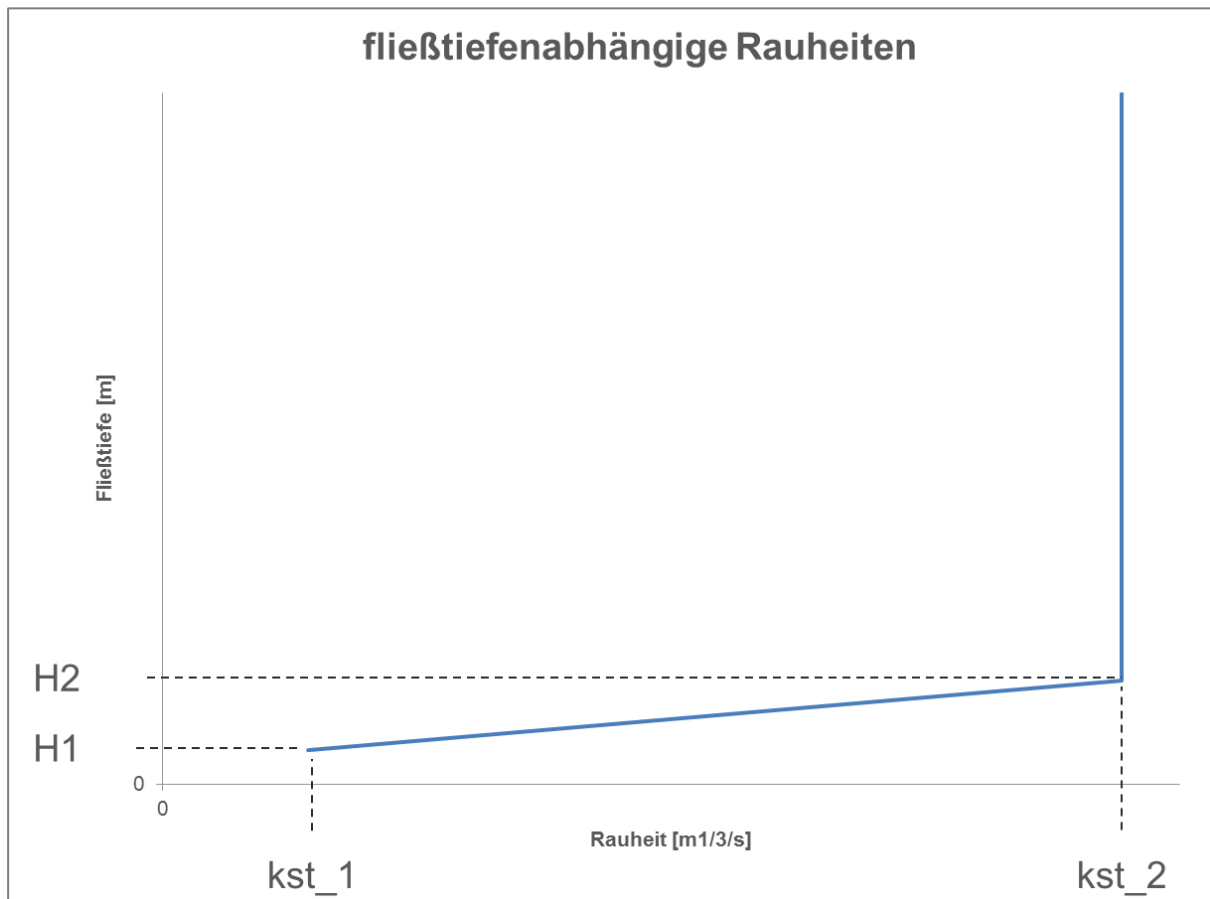


Abbildung 4-7: Ansatz zur Ermittlung von fließtiefenabhängigen Rauheiten mit H1 = 2 cm, H2 = 10 cm, k_{st_1} und k_{st_2} entsprechend

Tabelle 4-4: Rauheitsbeiwerte für die untersuchten Varianten „Standard“ und „rau“

Nutzung	kst (konstant) in $m^{1/3}/s$		kst1 in $m^{1/3}/s$		kst2 in $m^{1/3}/s$	
	Standard	rau	Standard	rau	Standard	rau
Bahnverkehr	40	20				
Dachflächen	50	50				
Fläche besonderer funktionaler Prägung			6	6	20	10
Fläche gemischter Nutzung			6	6	15	10
Fließgewässer – Bach	20	15				
Fließgewässer – Graben	15	5				
Friedhof			6	3	20	5
Gehölz			5	3	10	5
Halde			6	6	20	10
Industrie- und Gewerbefläche			6	6	20	10
Landwirtschaft – Ackerland			10	8	20	15
Landwirtschaft – Baumschule			5	3	10	5
Landwirtschaft – Brachland			10	8	20	15
Landwirtschaft – Grünland			8	5	20	20
Landwirtschaft – Obstbaumplantage			6	3	15	5
Landwirtschaft – Obstplantage			6	3	15	5
Landwirtschaft – Obststrauchplantage			6	3	15	5
Landwirtschaft – Streuobstwiese			8	5	20	15
Platz	40	40				
Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche			6	3	20	10
Stehendes Gewässer	30	15				
Straßenverkehr	40	40				
Sumpf	20	15				
Unland/Vegetationslose Fläche			6	3	20	5
Wald			5	3	10	5
Weg	30	30				
Wohnbaufläche			6	6	15	6

Zur Bewertung der Auswirkung der Rauheiten auf die Abflüsse wurden die Abflussganglinien an ausgewählten Kontrollquerschnitten im Ober-, Mittel- und Unterlauf des Erzdorfer und Altendorfer Bachs ausgewertet. Beispielhaft ist in Abbildung 4-8 ein Ganglinienvergleich für den Mittellauf des Altendorfer Bachs dargestellt. Aus den Vergleichen lassen sich folgende Zusammenhänge ableiten:

- Die Wahl der Rauheiten im SR-Modell hat großen Einfluss auf den Wellenscheitel und mäßigen Einfluss auf die Wellenform.
- In Variante „rau“ wird der Abfluss stärker zurückgehalten, dadurch ist der Wellenanstieg flacher und verzögert.
- Die Steigung im ansteigenden Ast ist unterschiedlich.
- Es erfolgt eine Reduktion des Wellenscheitels in der Variante „rau“ um bis zu 60 %. Im Beispiel des Altendorfer Bachs (Abbildung 4-8) beträgt die Reduktion ca. 40 %.

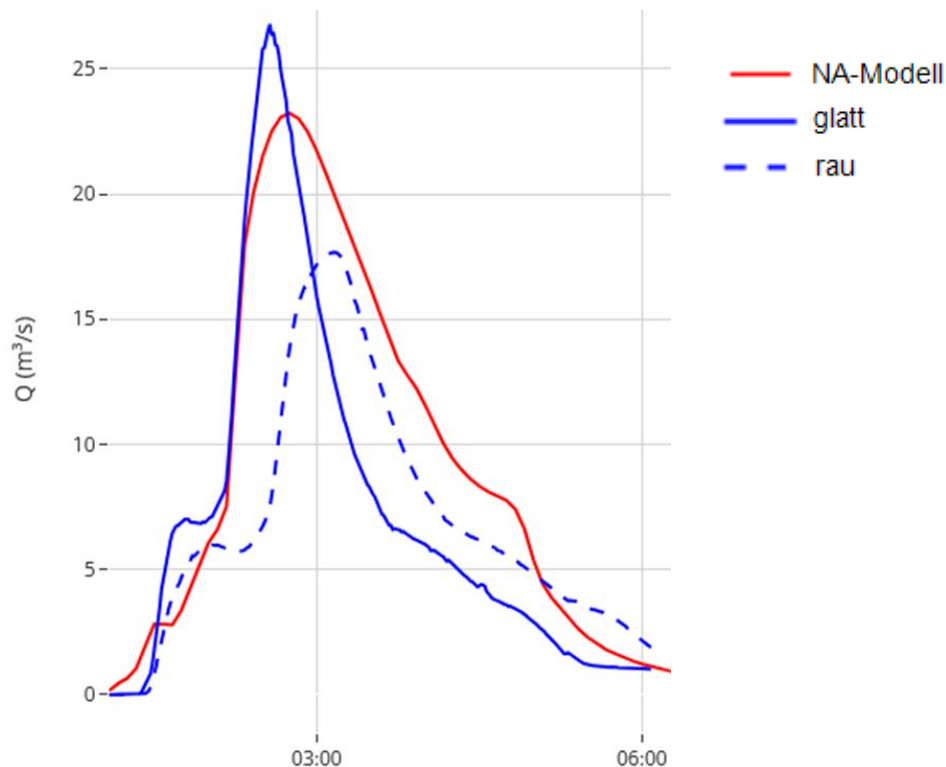


Abbildung 4-8: Ganglinienvergleich am Mittellauf des Altendorfer Bachs

4.6.2 Empfehlung

Die Sensitivitätsuntersuchung der Rauheiten hat gezeigt, dass diese einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse nehmen können. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist jedoch zu beachten, dass in der Variante „rau“ für alle Flächen zeitgleich der niedrigste k_{st} -Wert gewählt wurde. Dieser Zustand ist als unrealistisch einzustufen. Weiterhin ist der Einfluss der Niederschlagsbelastung auf die Ergebnisse deutlich sensibler. Daher wird für die Ermittlung von Überflutungsflächen in Kopfgebieten empfohlen, die Rauheitsbeiwerte auf Basis von Literaturwerten festzulegen, siehe auch Leitfaden des LUBW (2016). Im Detail sollte ein Abgleich mit den lokalen Gegebenheiten erfolgen. So kann zum Beispiel anhand von Luftbildern oder Ortsbegehungen die Beschaffenheit der Waldflächen bewertet werden und ein passenderer Rauheitsbeiwert vergeben werden.

4.7 Fazit

Im Gegensatz zur reinen Berechnung der Abflussganglinien mittels eines N-A-Modells bietet das 2D-Modell den Vorteil, dass es komplexe Abflussprozesse auf der Erdoberfläche detailliert und räumlich differenziert abbilden kann. Es ermöglicht die Berücksichtigung von lokalen Retentionseffekten, wie sie beispielsweise durch Straßen in Dammlage entstehen können, die dann wie kleine Rückhaltebecken wirken. Solche Effekte spielen insbesondere im urbanen Raum eine große Rolle, da die Topografie und die Bebauung das Abflussverhalten stark beeinflussen können. Darüber hinaus erlaubt das 2D-Modell die Simulation von Wasserbewegungen aus verschiedenen Richtungen und berücksichtigt dadurch auch komplexe Fließpfade sowie Überflutungs dynamiken, die in einem eindimensionalen oder vereinfachten Modell nicht adäquat erfasst werden können.

Um dennoch die Vorteile des N-A-Modells nutzen zu können, sollten beide Modell voneinander lernen. Lokale Effekte, welche auf die Topografie zurückzuführen sind, können im 2D-Modell identifiziert und anschließend im N-A-Modell berücksichtigt werden. Ebenso bietet das Ergebnis aus dem N-A-Modell eine weitere Größe, um die Ergebnisse aus der Berechnung mittels

SCS-Verfahrens zu überprüfen und zu bestätigen. Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Wahl der Bodenfeuchteklasse einen erheblichen Einfluss auf die Ganglinien hat, obwohl die Differenzen im flächengemittelten Abflussbeiwert gering erscheinen.

5 Hydraulische Modellierung

Für die Swist inklusive Nebengewässer im Bereich Meckenheim liegt ein 2D-hydraulisches Starkregenmodell vor (vgl. Abbildung 5-1). Das Starkregenmodell wurde von Hydrotec im Rahmen des Projekts „Untersuchung der Auswirkungen von Überflutungen infolge von Starkregen auf dem Gebiet der Stadt Meckenheim“ (Hydrotec 2025) im Auftrag der Stadt Meckenheim erstellt.

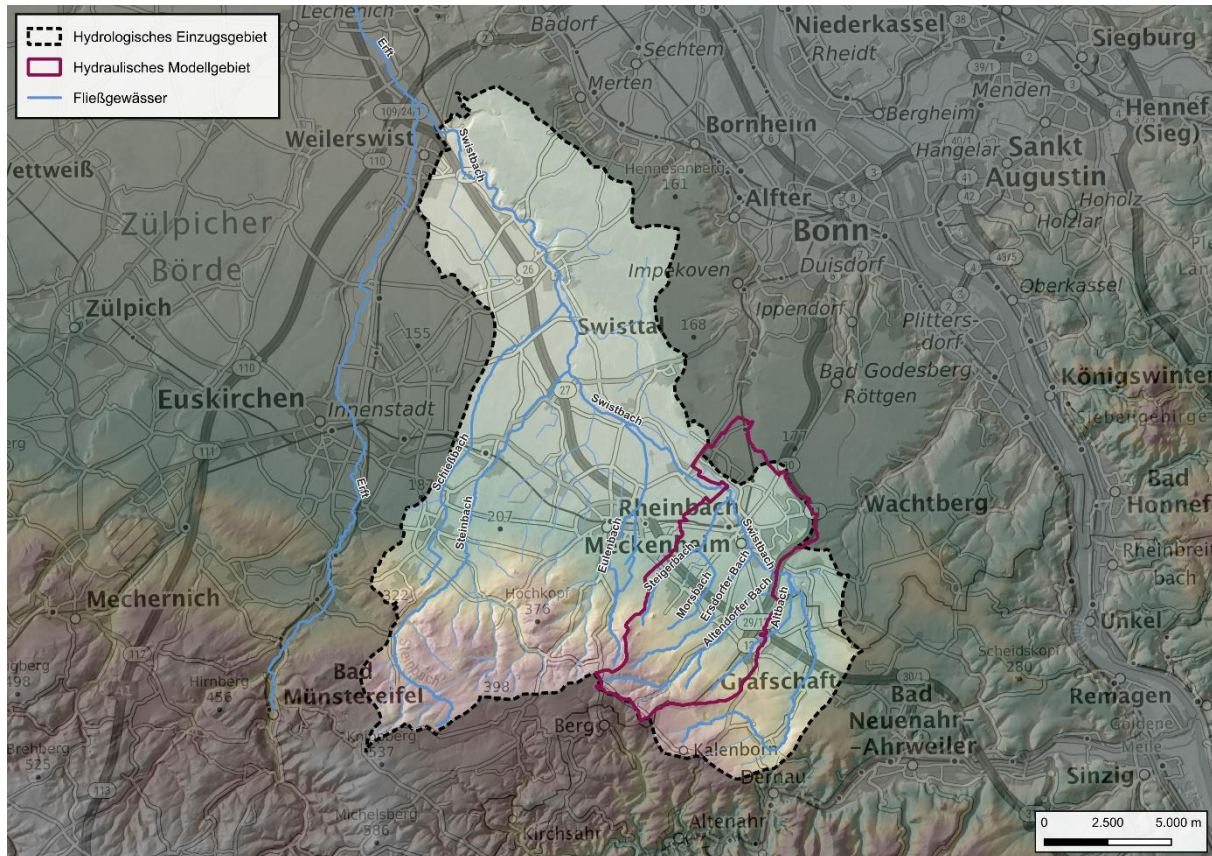


Abbildung 5-1: Hydrologisches Einzugsgebiet und hydraulisches Modellgebiet

5.1 Bemessungsniederschlag

Die für das Risikobasierte HWSK erforderlichen Jährlichkeiten sollten aus den Niederschlagsereignissen gleicher Jährlichkeit abgeleitet werden:

- HQ30: N30
- HQ100: N100
- HQ300: N300

Datengrundlage für die Definition der Bemessungsniederschläge ist der Atlas DWD-KOSTRA-2020 (Junghänel et al. 2022, hrsg. vom DWD). Als Niederschlagsverteilung wurde eine DVWK-Verteilung gewählt (vgl. Kapitel 4.4 und Abbildung 5-2).

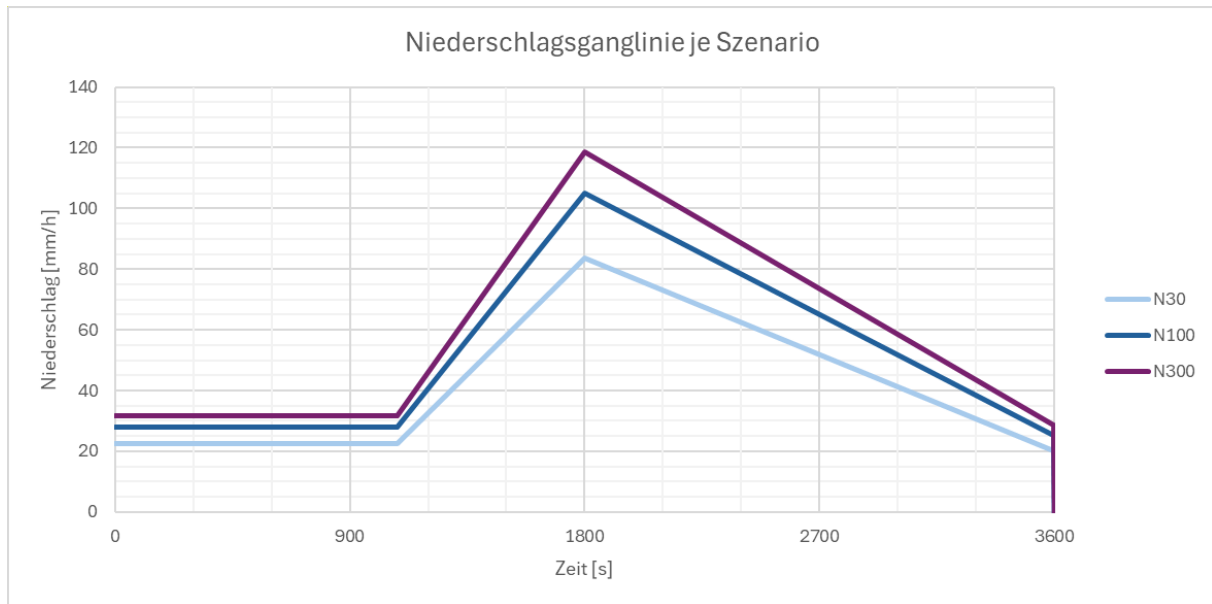


Abbildung 5-2: Ganglinien der angesetzten Bemessungsniederschläge

Die maßgebende Dauerstufe ergibt sich aus der Fließzeit im relevanten Untersuchungsgebiet und wurde aufgrund der Simulationsergebnisse (maximales Volumen und maximaler Abfluss) des N-A-Modells auf $D = 60$ Minuten festgelegt (vgl. Kapitel 4.5).

Für die Untersuchung ergaben sich folgende Bemessungsniederschläge:

- N30 33,5 mm in 60 Minuten
- N100 42,0 mm in 60 Minuten
- N300 47,5 mm in 60 Minuten

Die Überführung der Bemessungsniederschläge in abflusswirksame Niederschläge zur Modellbelastung erfolgte mittels SCS-Verfahren (vgl. Kapitel 4.2). Dabei wurden in Anlehnung an die Ergebnisse aus der N-A-Berechnung ein Mittelwert der Bodenvorfeuchteklassen II und III gewählt.

5.2 Hydraulische Berechnung

Die vorliegenden hydraulischen 2D-Modelle für den Ist- und Planzustand wurden in die aktuelle HydroAS-Version 6.2.5 konvertiert.

Die zuvor skalierten Niederschlagszeitreihen wurden in die jeweiligen 2D-Modelle übernommen (vgl. Kapitel 4).

Um versionsbedingte Unterschiede auszuschließen, wurden anschließend Berechnungen für alle Zustände und Jährlichkeiten durchgeführt:

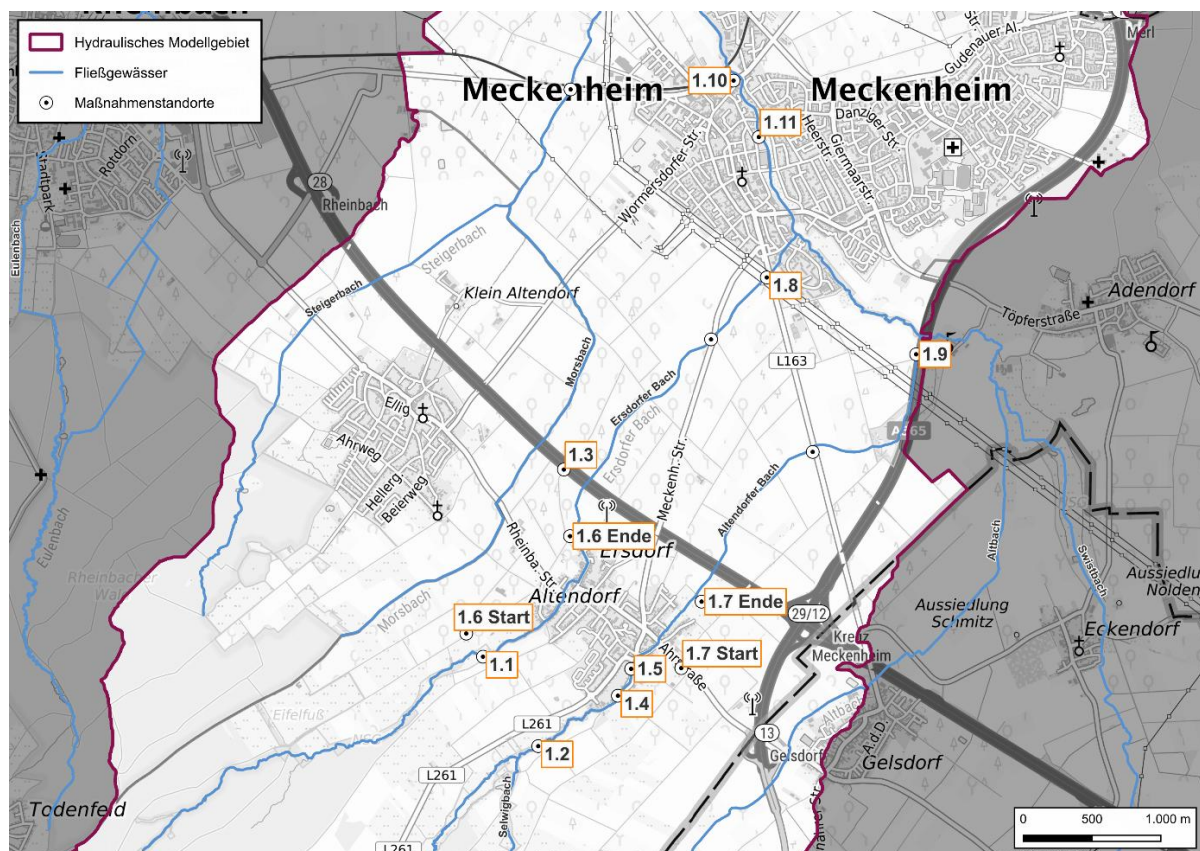
- Istzustand: HQ30, HQ100 und HQ300
- Planzustand: HQ30, HQ100 und HQ300

Für die Jährlichkeiten HQ30, HQ100 und HQ300 wurden aus den 2D-Ergebnissen die Rasterdaten der Wassertiefen, Fließgeschwindigkeiten und Impulse für den Ist- und Planzustand erarbeitet.

Die im Projekt „Untersuchung der Auswirkungen von Überflutungen infolge von Starkregen auf dem Gebiet der Stadt Meckenheim“ (Hydrotec 2025) erarbeiteten und im Planzustand abgebildeten Maßnahmen sind in Tabelle 5-1 und Abbildung 5-3 dargestellt.

Tabelle 5-1: Im Planzustand berücksichtigte HWS-Maßnahmen

Nr.	Name der Maßnahme	Beschreibung der Maßnahme
1.1	HRB Ersdorfer Bach	Dammbauwerk mit Drosseldurchlass (1,5 m³/s)
1.2	HRB Altendorfer Bach	Dammbauwerk mit Drosseldurchlass (3,0 m³/s)
1.3	HW-Rückhalt Unterführung Bundesautobahn A61	2 Flügeldämme/-deiche zur Entlastung des Durchlasses und Rückhalt im Gelände
1.4	HW-Rückhalt Durchlass Bachstraße/Kutzenberg	Verwallung/Mauer linksseitig des Durchlasses entlang der Straße inkl. Entlastungsöffnung im Damm oberhalb des Durchlasses
1.5	HW-Schutzmauer Bachstraße	HWS-Maßnahme an Böschungskante, kein absoluter Schutz
1.6	Abfanggraben Ersdorfer Bach	Abfanggraben parallel zum Ersdorfer Bach durch Ausbau des vorhandenen Grabenprofils
1.7	Abfanggraben Altendorfer Bach	Abfanggraben parallel zum Altendorfer Bach durch Ausbau des vorhandenen Grabenprofils
1.8	Retentionsraum Ersdorfer Bach/ Querung Landstraße L163	Erweiterung des Rückhalterums am Bachdurchlass, Verwallung
1.9	Retentionsraum Altendorfer Bach Bundesautobahn A565	Retentionsraum Altendorfer Bach parallel zur Bundesautobahn A565
1.10	Entlastungskanal Bonner Straße	Kanal bestehend aus Einlaufbauwerk, Kanalstrecke und Auslaufbauwerk in die Swist
1.11	Rückführung Wasser Mühlenstraße in Swist	Rückführung durch Flutmulde/Retentionspolder KiTa-Gelände mit Gefälle zur Swist, Ausbau Straßenprofil, Verwallung Schutzmauer parallel zur Swist



Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2025

Abbildung 5-3: Geplante Maßnahmen SRRM Meckenheim, Abgrenzung von Überflutungsflächen

Im Gegensatz zur klassischen Gewässerhydraulik, bei der Überflutungen nur durch Ausuferungen aus dem Gewässer entstehen, wenn dessen Abflusskapazität überschritten ist, treten bei der Starkregenmodellierung im gesamten Untersuchungsgebiet durch den flächigen Abfluss überflutete Bereiche auf.

Für Hochwasserschutzkonzepte in kleinen Einzugsgebieten kann es für Analysezwecke und die gewässerseitige Maßnahmenidentifikation sinnvoll sein, die Überflutungsbereiche, die im direkten Zusammenhang mit dem Gewässer stehen, abzugrenzen.

Prinzipiell ist in Kopfgebieten (bis 25 km² Größe, Bereich A gem. UAG HWSK) jedoch darauf zu achten, dass die Risiken, die durch flächigen Abfluss in den Siedlungsbereichen und durch ausufernden Gewässerabfluss immer parallel betrachtet werden, da für diese Gebietsgröße die Abflüsse auf der Oberfläche und im Gewässer gleichzeitig auftreten.

In Meckenheim an der Swist im Bereich der Kernstadt (Brücke Merlerstraße) ist das Gewässereinzugsgebiet durch den seitlichen Zufluss der Swist bereits 56,0 km² groß und gehört damit zum Übergangsbereich B (der prinzipiellen Größenunterscheidung gem. UAG HWSK), in dem nicht mehr unbedingt von einem gleichzeitigen Auftreten von starkregeninduzierten Flächenabflüssen und Gewässerhochwasser auszugehen ist.

Da im SR-Modell ganz Meckenheim modelliert wurde, ist für die Swist eine Abgrenzung der Gewässerbereiche für die Maßnahmenplanung und der Festlegung der Bereiche, die zum kommunalen Starkregenmanagement bzw. zum gewässerbezogenen Hochwasserschutzkonzept gehören, relevant.

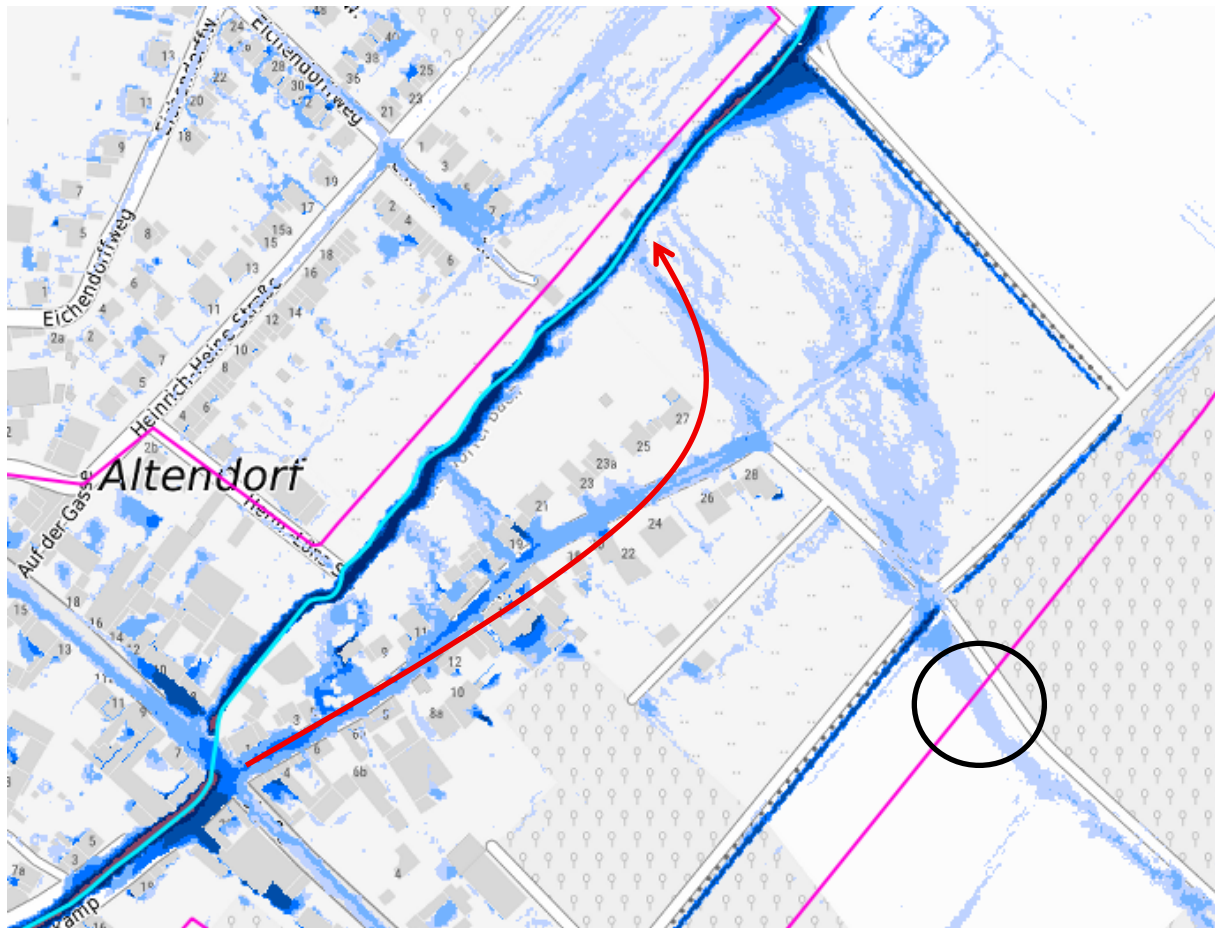
Zudem hat eine Abgrenzung pragmatische Vorteile, da sich eine Schadenspotenzialberechnung auf die relevanten, potenziell von Maßnahmen des HW-Schutzkonzeptes beeinflussbaren Bereiche beschränken kann.

Für die Abgrenzung des Gewässerbereichs stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, die im Folgenden vorgestellt werden.

5.2.1 Manuelle Abgrenzung des Gewässerbereichs

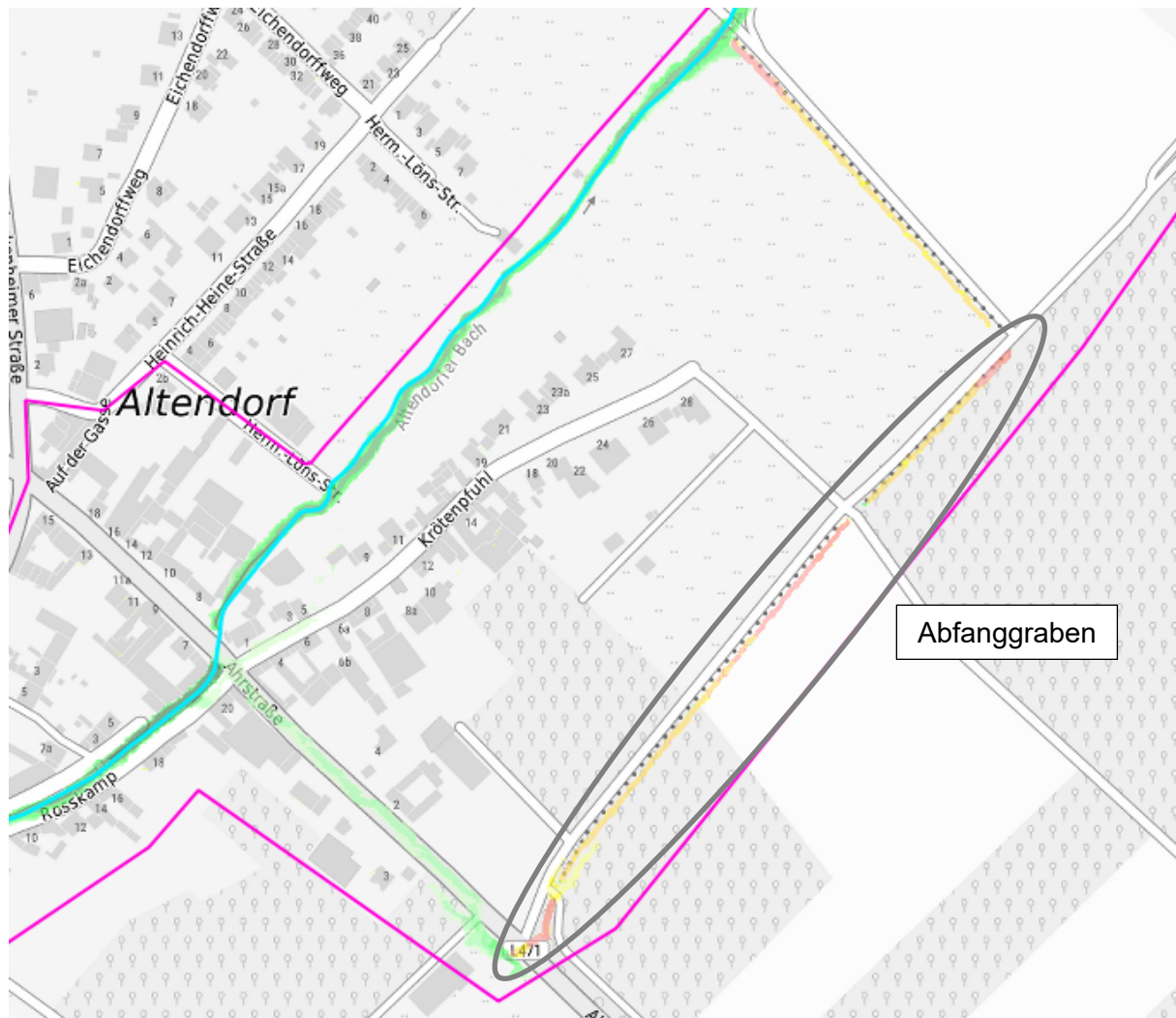
Aufgrund der komplexen Abflussverhältnisse und Fließwege erfolgt die Abgrenzung der Überflutungsflächen nicht automatisiert, sondern mit ingenieurmäßigem Sachverstand. Bei der manuellen Abgrenzung wurden folgende Aspekte und Grundsätze berücksichtigt:

- Alle Wasserflächen, die direkt mit dem Wasserkörper zusammenhängen, wurden berücksichtigt.
- Alle Fließwege, die aus dem Gewässer austreten und zu einem späteren Zeitpunkt wieder ins Gewässer fließen, müssen ebenfalls vollständig berücksichtigt werden (vgl. Abbildung 5-4).
- Von außen zuströmende Fließwege, welche nicht zuvor aus dem Gewässer ausgetreten sind, werden am Rand der Gewässerüberflutungsfläche abgeschnitten (vgl. Abbildung 5-4).
- Zusätzlich ist der Wirkungsbereich der geplanten Maßnahmen zu ermitteln und vollständig in die Abgrenzung der Überflutungsflächen einzubeziehen. Dadurch können auch Bereiche mit in die Betrachtung einbezogen werden, welche gegebenenfalls unter reiner Betrachtung des Istzustandes nicht Teil der Überflutungsflächen gewesen wären. Hier ist gegebenenfalls ein iteratives Vorgehen erforderlich (vgl. Abbildung 5-5).
- Nach Möglichkeit sollten zusammenhängende Überflutungsflächen nicht durchschnitten werden und auch keine Schnittgrenzen durch Häuser verlaufen. Dies zu berücksichtigen ist gegebenenfalls nicht immer möglich.



Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2025

Abbildung 5-4: Fließweg, der aus dem Altendorfer Bach austritt und weiter unterhalb wieder in das Gewässer fließt (roter Pfeil) sowie abgeschnittener Fließweg aus dem EZG (schwarz umrandet) mit Darstellung des Abgrenzungsbereichs (pinke Linie)



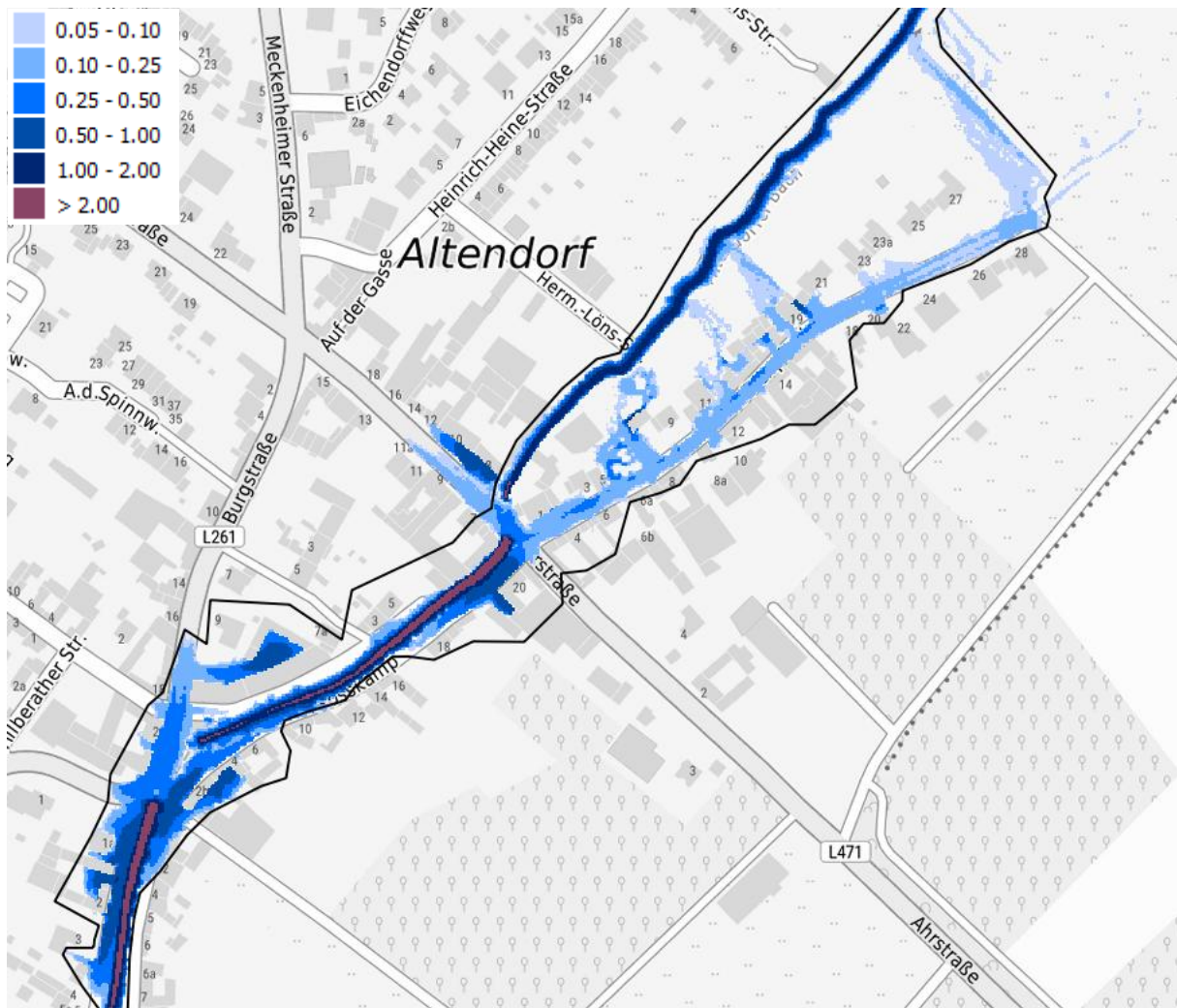
Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2025

Abbildung 5-5: Differenzen der maximalen Einstautiefen zwischen Plan- und Istzustand: Geplanter Abfanggraben führt zu einer Vergrößerung des Abgrenzungsberreichs der Überflutungsflächen (pinke Linie)

5.2.2 Abgrenzung des Gewässerbereichs anhand zusätzlicher hydraulischer Berechnungen

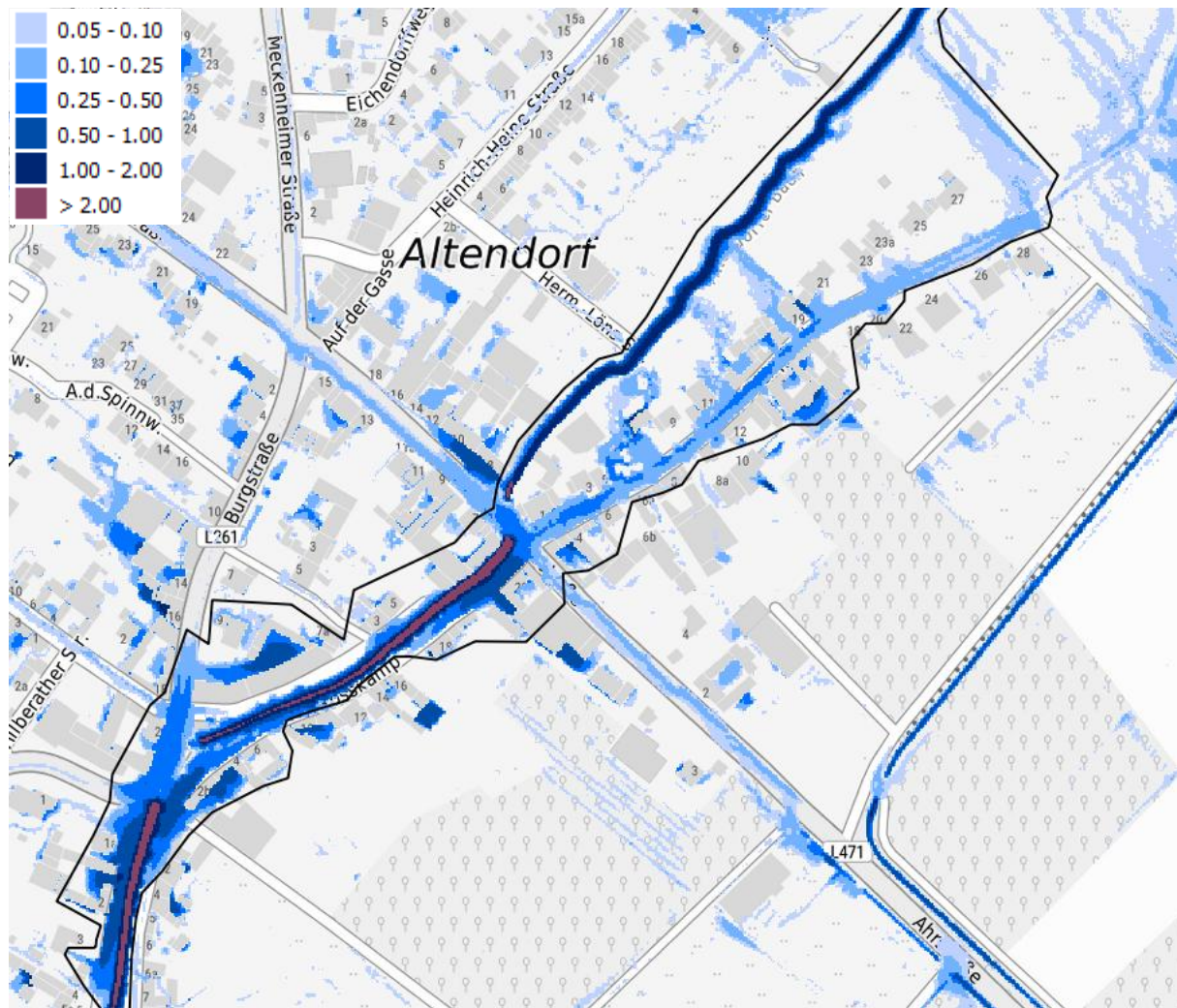
Eine weitere Methode zur Abgrenzung des Gewässerbereichs ist die Durchführung eines weiteren Rechenlaufs, der auf der Methodik der klassischen Gewässerhydraulik beruht. Oberhalb von Ortslagen wird im Gewässer eine Zuflussrandbedingung definiert. Bei größeren Siedlungsbereichen sind ggf. weitere Randbedingungen (Zuflüsse) erforderlich. Die dafür erforderlichen Abflussganglinien werden aus den zuvor durchgeführten Berechnungen des flächigen 2D-Starkregenmodells abgeleitet.

Durch diese Methodik kann der durch Überflutungen aus dem Gewässer entstehende Überflutungsbereich eindeutig ermittelt werden (vgl. Abbildung 5-6). Die Auswertung der manuellen Abgrenzung und dieser Methodik zeigt, dass beide Methoden vergleichbare Ergebnisse erzielen, es jedoch an einzelnen Stellen zu Abweichungen kommen kann. Dies ist zum Beispiel in Abbildung 5-6 an der Ausuferung in der Ahrstraße zu erkennen, welche bei der manuellen Abgrenzung nicht ermittelt wurde, da sie Teil eines Fließweges von außen war. Vorteil des zusätzlichen Rechenlaufs ist die Eindeutigkeit der Ergebnisse sowie das Nichtvorhandensein von durch Niederschlag aufgefüllten Senken (vgl. Abbildung 5-7).



Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2025

Abbildung 5-6: Überflutungstiefen Altendorfer Bach bei Belastung im Gewässerschlauch mit Umring manueller Abgrenzung (schwarze Linie)



Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2025

Abbildung 5-7: Überflutungstiefen Altendorfer Bach bei flächenhafter Niederschlagsbelastung mit Umring manueller Abgrenzung (schwarze Linie)

5.2.3 Zusammenhängende Fließwege in Siedlungsbereichen

Die reine Betrachtung der Überflutungen aus dem Gewässer ist in Kopfgebieten nicht ausreichend. Fließwege zum Gewässer hin treten in Kopfgebieten zeitgleich mit Hochwasserereignissen auf und müssen daher ebenfalls im Hochwasserschutzkonzept berücksichtigt werden. Zur Abgrenzung rein starkregeninduzierter Überflutungen (Auffüllen von Senken) wurde daher eine Methode basierend auf dem Risikobasierten HWSK ermittelt.

Innerhalb von Siedlungsbereichen sind abseits der Überflutungsflächen aus dem Gewässer, (Berechnung s. Kapitel 5.2.1 und 5.2.2), auch Hauptfließwege zum Gewässer hin zu berücksichtigen. Diese treten vorwiegend im Bereich von Straßen und Trockenrinnen auf. Die Risikobereiche 3 und 4 sind nur für die Jährlichkeiten HQ100 und HQ300 auszuwerten. Ein Basischutz für HQ30 (keine Überflutungsflächen) kann in Siedlungsgebieten nicht erreicht werden, da die Kanalisation i. d. R nicht für diese Jährlichkeiten ausgelegt ist. Die relevanten Abflussbahnen können der Karte der maximalen Risikobereiche entnommen werden (vgl. Abbildung 6-11 und Anlage 6-8).

5.2.4 Fazit

In Kopfgebieten stehen Starkregen- und Hochwasserereignisse in direktem Zusammenhang und treten oft zeitgleich auf. Daher sind in diesen Gebieten innerhalb des Siedlungsbereichs neben den Überflutungen im Gewässerbereich auch Hauptfließwege hin zum Gewässer zu betrachten. Dies trifft im Pilotprojekt Meckenheim auf die Gewässer Altendorfer Bach und Ersdorfer Bach zu.

Gleichzeitig können Teilbereiche des Untersuchungsraums des HWSK auch größere EZG aufweisen, die einen klassischen Ansatz nach der Methodik der Gewässerhydraulik erfordern. Im Pilotprojekt Meckenheim trifft dies auf die Swist im Bereich der Ortslage Meckenheim, unterhalb der Einmündungen von Altendorfer Bach und Ersdorfer Bach, zu.

Daher müssen die Berechnungsergebnisse für die weitere Bearbeitung für die Anwendung des Risikobasierten HWSK folgendermaßen aufbereitet werden:

- Kopfgebiete ($EZG < 25 \text{ km}^2$)
 - Für das HQ30 werden nur Überflutungen im Gewässerbereich betrachtet.
 - Für das HQ100 und HQ300 werden Überflutungen im Gewässerbereich sowie Abflussbahnen mit Risikobereichen betrachtet.
- Gebiete mit $EZG > 25 \text{ km}^2$
 - Für alle HQx sind die Überflutungen im Gewässerbereich für die Defizitanalyse und Maßnahmenkonzeption vorrangig zu betrachten.
 - Für die Überprüfung der Binnenentwässerung sind die vorliegend Starkregensimulationen zu beachten.

Die Abgrenzung der verschiedenen Bereiche erfolgt über das EZG (vgl. Abbildung 5-8).

Im Pilotprojekt Meckenheim wurden die Berechnungsergebnisse entsprechend diesen Vorgaben zu einem Gesamtdatensatz zusammengeführt, welcher in jedem Bereich die jeweils gültigen Flächen enthält. Mit diesen Datensatz wurden anschließend die weiteren Auswertungen durchgeführt, dazu zählen insbesondere:

- die Ermittlung von Gefahrenzonen
- die Ermittlung von Risikobereichen
- die Auswertung der betroffenen Einwohner und vulnerablen Gebäude
- die Ermittlung des Schadenspotenzials

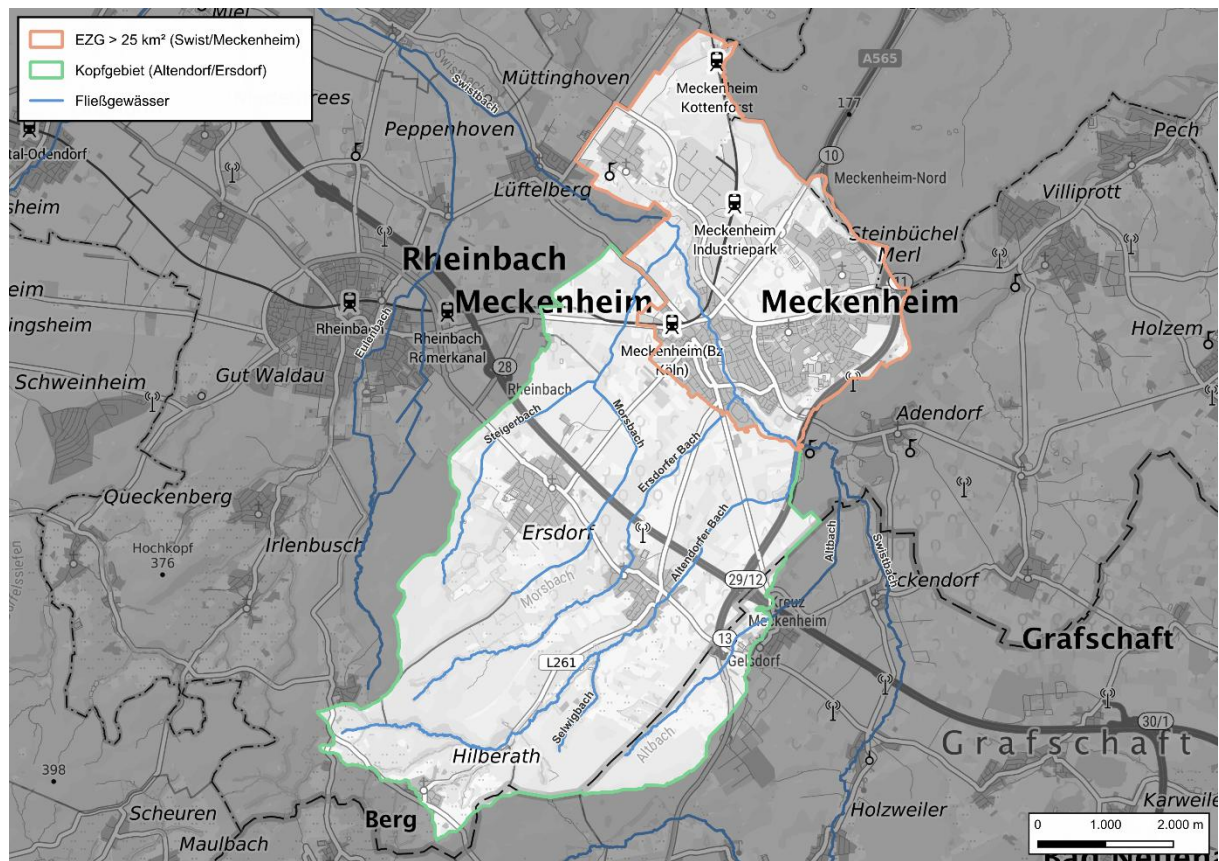


Abbildung 5-8: Unterschiedliche Bereiche nach Größe EZG

6 Ermittlung von Vulnerabilitätsbereichen, Gefahrenzonen und Risikobereichen nach Risikobasiertem HWSK

Gemäß den „Empfehlungen zur Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten in NRW“ (Hochwasserkommission 2024) ergibt sich das Risiko für die Unversehrtheit von Menschen bei Hochwasser aus der Definition

$$\text{Risiko} = \text{Gefährdung} \times \text{Vulnerabilität}$$

Somit sind für die Risikoeinschätzung (vgl. Kapitel 6.4) die Gefährdung (Gefahrenzonen, vgl. Kapitel 6.3) sowie die vulnerablen Bereiche (vgl. Kapitel 6.1) zu ermitteln und zu verschneiden.

Ergänzend werden im Rahmen der Pilotstudie die potenziell betroffenen Einwohnerinnen und Einwohner aus vorliegenden Grundlagendaten je Hochwasserjährlichkeit (vgl. Kapitel 6.2) berechnet.

Alle abgestimmten und festgelegten GIS-Ermittlungen der Flächen sind in Anhang 4 dargestellt.

6.1 Ermittlung Vulnerabilitätsbereiche

Die Vulnerabilität von Menschen in Überflutungsgebieten wird über die Flächennutzung ermittelt. Dafür werden in den „Empfehlungen zur Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten in NRW“ (Hochwasserkommission 2024) folgende Vulnerabilitätsbereiche definiert:

- In **geschlossenen Siedlungen** sind viele Menschen betroffen und es wird grundsätzlich von einer hohen Vulnerabilität ausgegangen. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um Innenstadtkerne, Siedlungen mit einer hohen Dichte an medizinischen und sozialen Einrichtungen oder um reine Wohnbereiche handelt.
- Bei **Einzelgebäuden** außerhalb geschlossener Siedlungen sind wenige Menschen betroffen, damit ergibt sich eine geringe Vulnerabilität.
- Bei **unbebautem Gelände** liegt praktisch keine Vulnerabilität vor. Dass sich dort während eines Hochwasserereignisses Menschen aufhalten, die sich nicht rechtzeitig in Sicherheit bringen können, ist äußerst unwahrscheinlich.

Bei allen Ermittlungen der Vulnerabilitätsbereiche wurden alternative GIS-Vorgehensweisen untersucht und diese mit den Beteiligten bewertet, abgestimmt und festgelegt.

Geschlossene Siedlungsgebiete

Als GIS-Datengrundlage für geschlossene Siedlungsgebiete wurden die GIS-Daten des Basis-DLM genutzt. Im GIS-Layer sind fünf unterschiedliche Polygone für Siedlungsklassen enthalten (sie01_f bis sie05_f). Die unterschiedlichen Siedlungsklassen wurden auf Inhalt und Verwendbarkeit geprüft. Die Klasse „sie01“ enthält eine Objektart („AX_Ortslage“). In Abstimmung mit dem Auftraggeber (AG) wurde die Klasse „sie01__f“ als Vorgabe für ein geschlossenes Siedlungsgebiet im Hinblick auf den Vulnerabilitätsbereich verwendet. Die Auswahl von Klasse „sie01“ entspricht auch dem Vorgehen für die Untersuchung zum „Deichkataster“, die Hydrotec 2025 für das MUNV bearbeitet hat.

Einzelgebäude

Als GIS-Datengrundlage für Einzelgebäude wurden die Gebäude des ALKIS-Datensatzes verwendet. Die Anlage 6-1 dokumentiert die abgestimmten und festgelegten Objekte für die Definition von Einzelgebäuden.

Unbebautes Gelände

Flächen außerhalb von geschlossenen Siedlungsgebieten und außerhalb der ermittelten Einzelgebäude werden als unbebaut definiert.

Besonders vulnerable Einzelobjekte

Ergänzend wurde in der Pilotstudie Wurm ein weiterer Gefährdungsbereich untersucht, der Bereiche bzw. Objekte mit besonderer Vulnerabilität berücksichtigen soll. In Abstimmung mit den Beteiligten wurde festgelegt, dass kein ergänzender Gefährdungsbereich zu den o. g. drei Bereichen definiert wird.

Als zusätzliche Information in den Karten werden jedoch „besonders vulnerable Einzelobjekte“ dargestellt. In Abstimmung mit dem AG wurden hier drei Unterklassen festgelegt, die verschiedene Vulnerabilitätsstufen berücksichtigen:

- höchst vulnerabel
 - Objekte, in denen sich potenziell Personen aufhalten, die nicht mobil sind und sich somit nicht eigenständig aus dem Gefahrenbereich begeben können.
 - Beispiele: Krankenhaus, Seniorenheim, Kindergarten
- hoch vulnerabel
 - Objekte, in denen sich potenziell Personen aufhalten, die sich ggf. zum Teil nicht eigenständig aus dem Gefahrenbereich begeben können.
 - Beispiele: Schulen, Jugend- und Freizeitheim
- funktionale Gebäude
 - Objekte, in denen sich Personen aufhalten, die im Rahmen der Gefahrenabwehr, des Katastrophenschutzes und der Soforthilfe bei Hochwasserereignissen eingesetzt werden.
 - Beispiele: Feuerwehr, Technisches Hilfswerk (THW), Polizei, Rathaus

Die Tabelle 6-1 zeigt für die drei Unterklassen die festgelegte Vulnerabilitätsstufe der Einzelobjekte. Diese sind ergänzend in der Anlage 6-2 dokumentiert.

Tabelle 6-1: Besonders vulnerable Einzelobjekte und Einstufung nach Unterklassen

Funktion Objekt	Unterklasse	Vulnerabilitätsstufe
Ärztelhaus, Poliklinik	1	höchst vulnerabel
Heilanstalt, Pflegeanstalt, Pflegestation	1	höchst vulnerabel
Kinderheim	1	höchst vulnerabel
Kinderkrippe, Kindergarten, Kindertagesstätte	1	höchst vulnerabel
Krankenhaus	1	höchst vulnerabel
Seniorenfreizeitstätte	1	höchst vulnerabel
Seniorenheim	1	höchst vulnerabel
Allgemeinbildende Schule	2	hoch vulnerabel
Berufsbildende Schule	2	hoch vulnerabel
Hochschulgebäude (Fachhochschule, Universität)	2	hoch vulnerabel
Jugendfreizeitheim	2	hoch vulnerabel
Jugendherberge	2	hoch vulnerabel
Justizvollzugsanstalt	2	hoch vulnerabel
Obdachlosenheim	2	hoch vulnerabel
Schullandheim	2	hoch vulnerabel
Schwesterwohnheim	2	hoch vulnerabel

Funktion Objekt	Unterklasse	Vulnerabilitätsstufe
Studenten-, Schülerwohnheim	2	hoch vulnerabel
Rathaus	3	funktionale Gebäude
Rathaus; Post	3	funktionale Gebäude
Verwaltungsgebäude	3	funktionale Gebäude
Feuerwehr	3	funktionale Gebäude
Gebäude für Fernmeldewesen	3	funktionale Gebäude
Gebäude für Sicherheit und Ordnung	3	funktionale Gebäude
Kreisverwaltung	3	funktionale Gebäude
Polizei	3	funktionale Gebäude

In den Karten werden diese Gebäude abhängig von ihrer Klasseneinstufung farblich gekennzeichnet und im Hinblick auf ihre Funktion gelabelt.

In den Karten werden als nachrichtliche Darstellung ergänzend folgende Risikopunkte mit aufgenommen:

- **Industrieanlagen:**
Dies sind Anlagen nach der Industrieemissionsrichtlinie (IED-, PRTR- bzw. Störfallanlagen). Die Darstellungen entsprechen denen in der HWRK (Quelle: WasserBLICK.).
- **Risiko-Hotspots:**
Dabei handelt es sich um öffentlich zugängliche Punkte, bei denen Personen in Gefahr geraten können, weil sie überrascht und eingeschlossen werden können (keine Möglichkeiten zur Flucht):
 - Geländetiefpunkte, Unterführungen, Senken
 - Abgänge zu Unterführungen
 - öffentliche Tiefgaragen
 - tiefliegende Fußgängerpassagen

Diese können in Anlehnung an das DWA Merkblatt 119 „Risikomanagement kommunale Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen“ (DWA 2016) bzw. an die nordrhein-westfälische „Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement“ (MUNLV 2018) identifiziert werden.

Die Risiko-Hotspots wurden im Rahmen der Pilotstudie Meckenheim nicht erhoben.

Die Abbildung 6-1 zeigt die Legende der Vulnerabilitätskarte, Abbildung 6-2 zeigt eine Beispielkarte.

Legende

Besonders vulnerable Gebäude

- Höchst vulnerabel
- Hoch vulnerabel
- Funktionale Gebäude

Nachrichtliche Darstellung

-  Industrieanlagen (IED-, PRTR- bzw. Störfallanlagen)
-  Risiko-Hotspots

Vulnerabilitätsbereiche

- Geschlossene Siedlung
- Einzelgebäude
- Unbebaute Fläche



TopPlusOpen © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2025)

Abbildung 6-1: Legende der Vulnerabilitätskarte



Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2025

Abbildung 6-2: Ausschnitt Vulnerabilitätskarte (hier: Ersdorf/Altendorf)

Ergebnis

Alle o. g. Vulnerabilitätsbereiche wurden abschließend um die 2D-Gewässerschlauch-Fläche verkleinert. Dies berücksichtigt, dass sich im Bachbett generell keine Personen aufhalten. Die querenden Brücken wurden jedoch über eine GIS-Abfrage nicht ausgestanzt, da sich hier potenziell Personen bei Hochwasserereignissen befinden können.

Weiterhin ist zu prüfen, ob **größere Wasserflächen** in den Vulnerabilitätsbereichen liegen. Dies können Seen, Teiche, Baggerlöcher, Burggräben oder Mündungsbereiche von Nebengewässern sein. Diese sollten aus den Vulnerabilitätsbereichen ebenfalls entfernt werden. Diese Flächen ergeben bei den Schadenpotenzialberechnungen hohe unplausible Schäden (vgl. Kapitel 7.1).

In Anlage 6-3 sind die im Rahmen dieser Untersuchung erarbeiteten Karten der Vulnerabilitätsbereiche in Pilotgebiet Meckenheim im Maßstab 1 : 5.000 dargestellt.

In der Anlage 6-4 sind die besonders vulnerablen Gebäude bzw. Objekte für den Ist- und Planzustand je Vulnerabilitätsstufe, Stadt und HQ dargestellt.

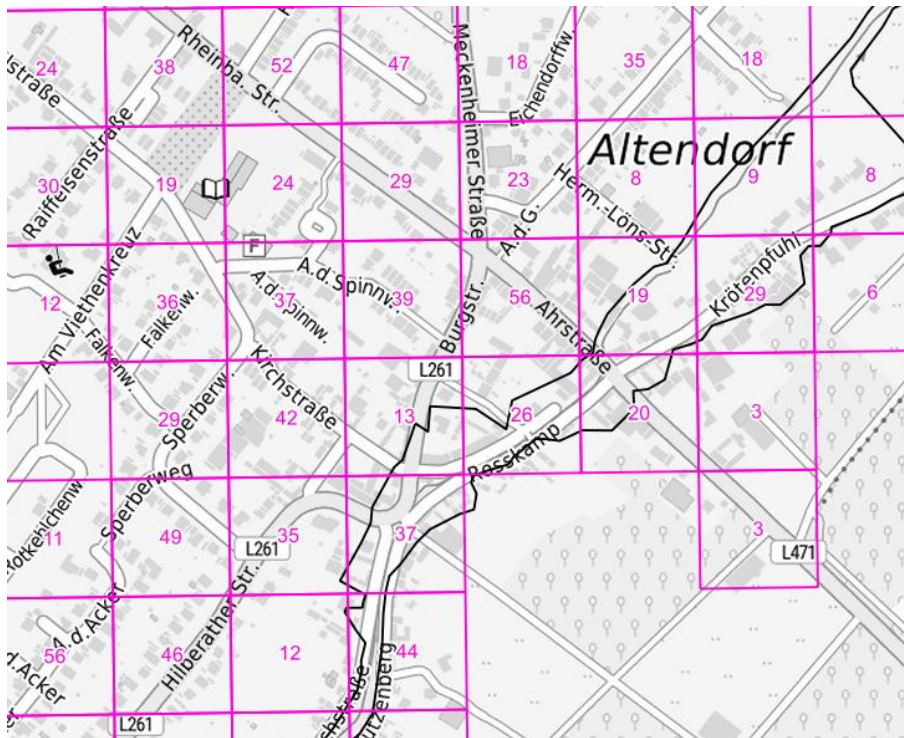
6.2 Ermittlung betroffener Einwohner

Im Rahmen des Pilotprojektes Meckenheim wurden die potenziell durch Hochwasser betroffenen Einwohner (EW) ermittelt. Dies erfolgte je Variante und Jährlichkeit auf der Grundlage der Überschwemmungsgebietsflächen.

Die Anzahl der Einwohner kann nur überschläglich auf der Basis vorliegender Grundlagendaten ermittelt werden. Folgende Datensätze wurden als mögliche Bewertungsgrundlage recherchiert:

- Einwohnerzahlen lt. WasserBLICK-Daten NRW (EW je Kommune)
- Zensus 2022 (100-m-x-100-m-Rasterzellen mit Einwohnerwerten)
- Kommunale Einwohnerdaten

Die Werte aus WasserBLICK liegen als Gesamtwert je Kommune vor. Lokale Unterschiede in der Bevölkerungsdichte werden hier nicht abgebildet, sodass diese als eher ungenau eingestuft werden. Die EW-Daten aus dem Zensus 2022 liegen als Kacheln von 100 m x 100 m mit je einer EW-Zahl vor (vgl. Abbildung 6-3). Damit sind diese räumlich deutlich höher aufgelöst als die Daten aus WasserBLICK. Kommunale EW-Daten bieten meist die höchste Genauigkeit, sind jedoch nicht immer und flächendeckend verfügbar.



Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2025

Abbildung 6-3: Zensus 2022 Daten, beispielhafter Ausschnitt

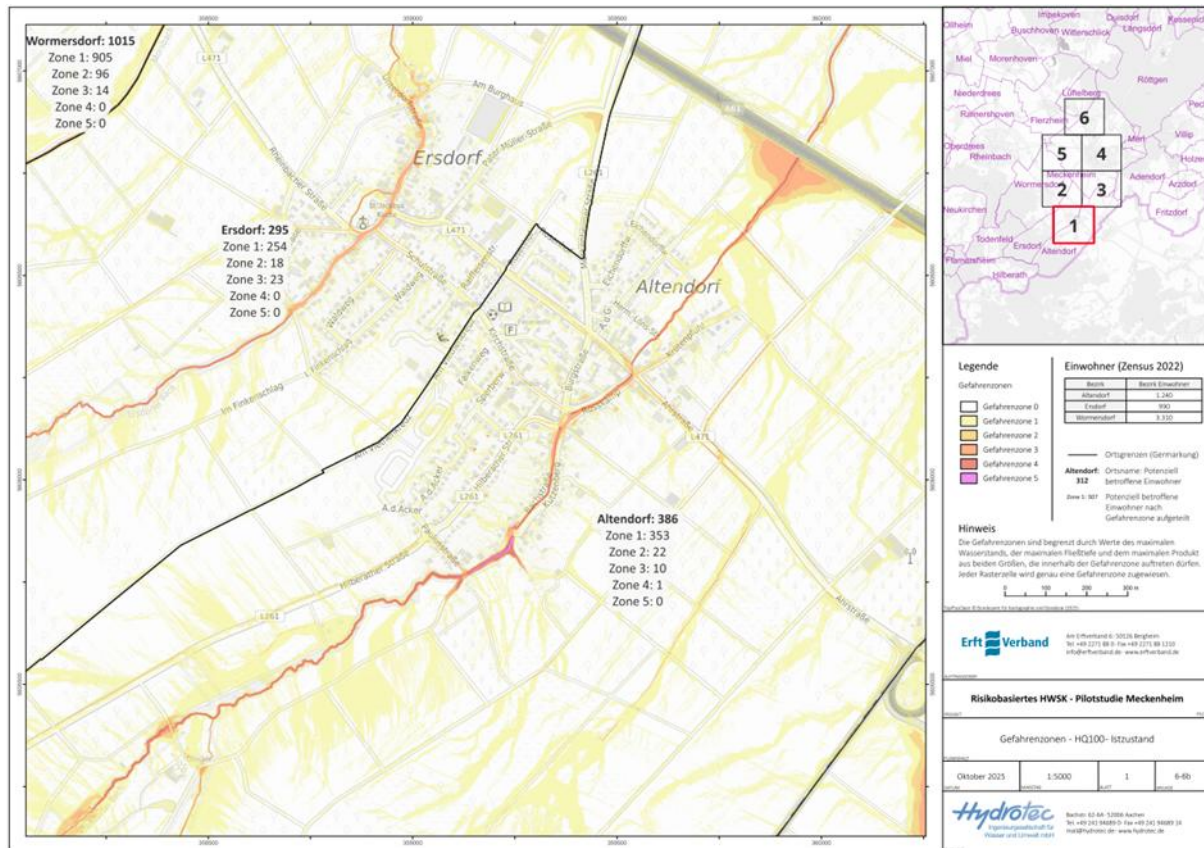
Im Pilotprojekt Wurm wurde ein Variantenvergleich zwischen den drei oben angegebenen Datenquellen durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass die Zensusdaten gut zu den Daten des Melderegisters passen. Die WasserBLiCK-zahlen ergaben größere Abweichungen. Daher wird empfohlen, die ZENSUS-Daten für die Ermittlung der potenziell vom Hochwasser betroffenen Einwohner zu verwenden.

Es werden die Gesamtzahlen je Ortsteil als Wert in den Karten der Gefahrenzonen und Risikobereiche dargestellt. Dabei wird eine weitere Aufteilung von potenziell betroffenen Personen in die jeweiligen Gefahrenzonen und Risikobereiche durchgeführt.

Die potenziell betroffenen Einwohner werden für das HQ30 nur für die Ergebnisse im Gewässerbereich ermittelt, während für das HQ100 und HQ300 die Gesamtergebnisse herangezogen werden (vgl. Kapitel 5.3).

In der Anlage 6-5 sind die auf der Grundlage der ZENSUS-Daten ermittelten potenziell betroffenen Einwohner für den Ist- und Planzustand je Ortsteil und HQ dargestellt. Aus den Ergebnissen können die Wirkungen der Maßnahmen auf potenzielle Personenschäden abgeleitet werden. Die Werte können für die Bewertung und Festlegung einer Vorzugsvariante genutzt werden (vgl. Kapitel 9.6).

Die Abbildung 6-4 zeigt ein Beispiel einer Kartendarstellung mit der Angabe der betroffenen Einwohner und der Gesamtzahl der Einwohner in der Legende.



Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2025

Abbildung 6-4: Beispiel Kartendarstellung für betroffene Einwohner (hier: Gefahrenzonenkarte HQ100 Istzustand, Ersdorf/Altendorf)

6.3 Ermittlung Gefahrenzonen

Für die Jährlichkeiten $T = 30$ a, 100 a und 300 a wurden aus den 2D-Ergebnissen die Rasterdaten der Wassertiefen, die Fließgeschwindigkeiten und Impulse für den Ist- und Planzustand abgeleitet.

Im Zuge des Pilotprojektes wurden die Impulsgrößen (Fließtiefe x Geschwindigkeit) je Zeitschritt für ein 1-x-1-m-Raster berechnet.

Die Gefahrenzonen für den Menschen werden aus den Ergebnissen der 2D-Berechnungen für das HQ30, HQ100 und HQ300 abgeleitet. Grundlage sind für das HQ30 die Ergebnisse im Gewässerbereich, während für das HQ100 und HQ300 die Gesamtergebnisse herangezogen wurden.

Dabei werden jeweils folgende Größen je Rasterfläche ermittelt:

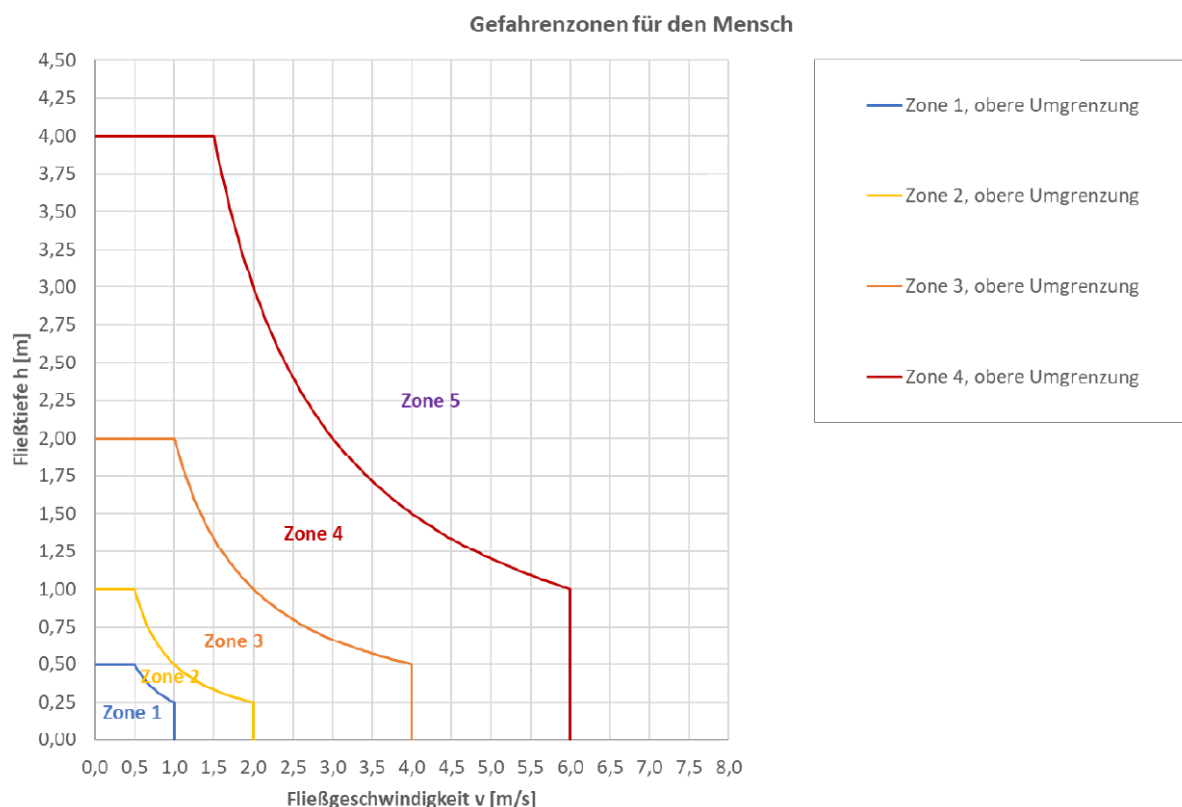
- maximale Wassertiefe h in m, maximaler Wert im Simulationszeitraum
- maximale Fließgeschwindigkeit v in m/s, maximaler Wert im Simulationszeitraum
- maximale Impulskräfte $v \times h$ in m^2/s , maximaler Wert im Simulationszeitraum (Produkt aus Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe in der Rasterzelle im jeweiligen Zeitschritt)

Die drei oben angegebenen Maxima können dabei zu unterschiedlichen Simulationszeitpunkten auftreten.

In den „Empfehlungen zur Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten in NRW“ (Hochwasserkommission 2024) werden folgende Gefahrenzonen definiert:

- Gefahrenzone 0
 - mit überflutungsfreier Fläche
- Gefahrenzone 1
 - mit oberer Begrenzung $h \leq 0,5 \text{ m}$ und $v \times h \leq 0,25 \text{ m}^2/\text{s}$ und $v \leq 1,0 \text{ m/s}$
- Gefahrenzone 2
 - mit oberer Begrenzung $h \leq 1,0 \text{ m}$ und $v \times h \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ und $v \leq 2,0 \text{ m/s}$
- Gefahrenzone 3
 - mit oberer Begrenzung $h \leq 2,0 \text{ m}$ und $v \times h \leq 2,0 \text{ m}^2/\text{s}$ und $v \leq 4,0 \text{ m/s}$
- Gefahrenzone 4
 - mit oberer Begrenzung $h \leq 4,0 \text{ m}$ und $v \times h \leq 6,0 \text{ m}^2/\text{s}$ und $v \leq 6,0 \text{ m/s}$
- Gefahrenzone 5
 - ohne Begrenzung mit $h > 4,0 \text{ m}$, $v \times h > 6,0 \text{ m}^2/\text{s}$ und/oder $v > 6,0 \text{ m/s}$

Die Abbildung 6-5 zeigt die Gefahrenzonen 1 bis 5 mit den oberen Grenzen.



Quelle: Hochwasserkommission 2024, Abbildung 6

Abbildung 6-5: Gefahrenzonen für den Menschen bei Überflutung in Abhängigkeit von der Wassertiefe h und der Fließgeschwindigkeit v

In den Anlagen 6-6 und 6-7 sind die erarbeiteten Karten der Gefahrenzonen für das Pilotgebiet Meckenheim im Maßstab 1 : 5.000 dargestellt:

- Istzustand: für HQ30, HQ100 und HQ300
- Planzustand: für HQ30, HQ100 und HQ300

Die Abbildung 6-6 zeigt die Legende der Karten für die Gefahrenzonen, Abbildung 6-7 eine Beispielkarte.

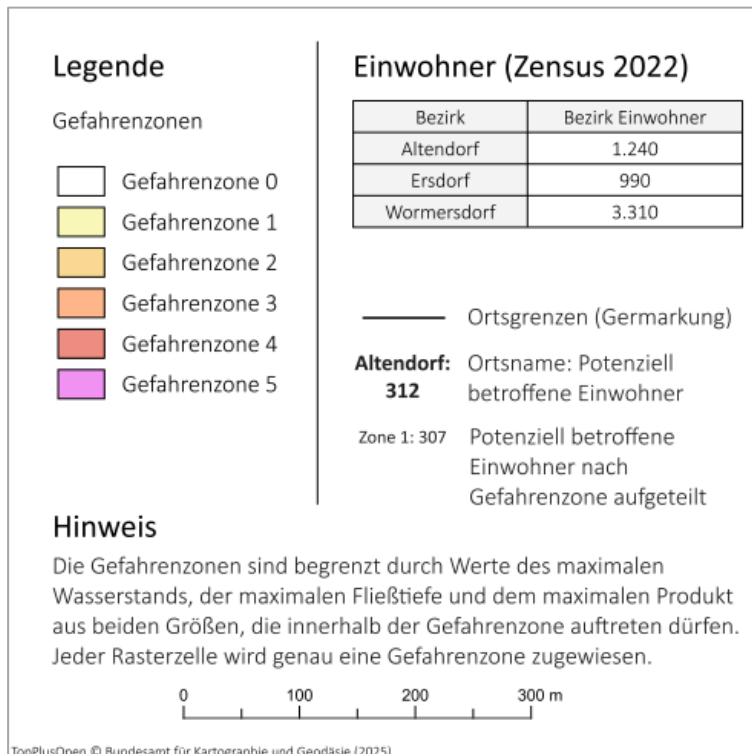
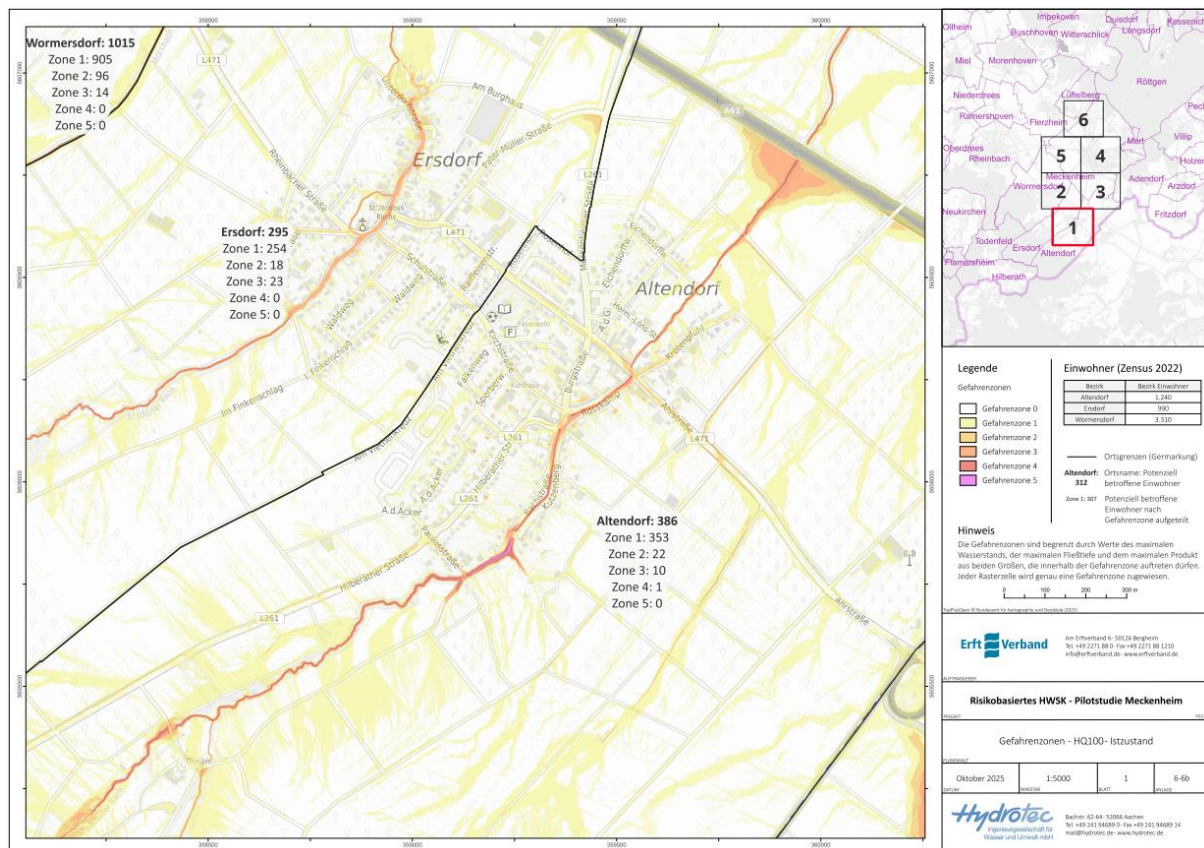


Abbildung 6-6: Legende der Karte für Gefahrenzonen



Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2025

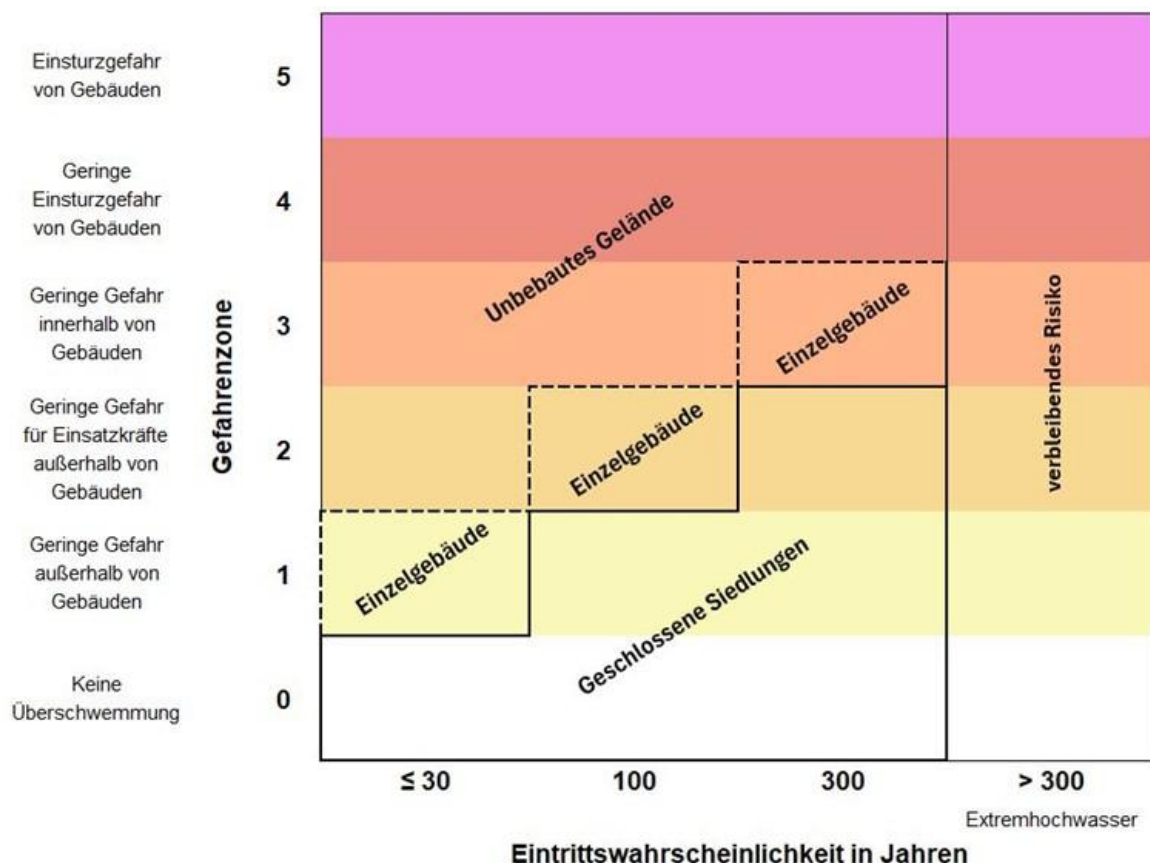
Abbildung 6-7: Beispielkarte für Gefahrenzonen (hier: Gefahrenzonenkarte HQ100 Istzustand, Ersdorf/Altendorf)

6.4 Ermittlung Risikobereiche

Gemäß den „Empfehlungen zur Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten in NRW“ (Hochwasserkommission 2024, S. 26) ergeben sich für den Basisschutz zur Abwehr von Lebensgefahren bei Hochwasser folgende Schutzziele:

- geschlossene Siedlungen
 - bei HQ30 Gefahrenzone 0
 - bei HQ100 Gefahrenzone 1
 - bei HQ300 Gefahrenzone 2
- Einzelgebäude außerhalb geschlossener Siedlungen
 - bei HQ30 Gefahrenzone 1
 - bei HQ100 Gefahrenzone 2
 - bei HQ300 Gefahrenzone 3
- unbebautes Gelände
 - bei HQ30 kein Schutzbedarf
 - bei HQ100 kein Schutzbedarf
 - bei HQ300 kein Schutzbedarf

In der Abbildung 6-8 sind die Basisschutzziele für den Menschen bei Hochwasser in Abhängigkeit von der jeweiligen Gefahrenzone und den jeweiligen Lastfällen (Eintrittswahrscheinlichkeiten HQ30, HQ100, HQ300) dargestellt.



Quelle: Hochwasserkommission 2024, Abbildung 8

Abbildung 6-8: Basisschutzziele für den Menschen bei Hochwasser in Abhängigkeit von Gefahrenzonen und Lastfällen (Eintrittswahrscheinlichkeit)

Zum Verständnis der Abbildung ist folgende Erläuterung gemäß den „Empfehlungen zur Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten in NRW“ (Hochwasserkommission 2024, S. 27) ergänzend angegeben:

„Die Prüfung des Basisschutzes lässt sich über eine geeignete Kartendarstellung realisieren. Dazu werden vier Risikobereiche für die Lebensgefahren bei Hochwasser definiert:

- Risikobereich I:
höherer Schutzgrad als beim Basisschutzziel, entspricht allen Gefahrenzonen unterhalb des Schutzziels und allen Gefahrenzonen in unbebautem Gelände (da hier keine Zielvorgabe besteht)
- Risikobereich II:
Schutzgrad stimmt mit dem Basisschutzziel überein und entspricht der für den Basischutz erforderlichen Gefahrenzone
- Risikobereich III:
niedrigerer Schutzgrad als beim Basisschutzziel, entspricht der ersten Gefahrenzone oberhalb des Schutzziels
- Risikobereich IV:
deutlich niedrigerer Schutzgrad als beim Basisschutzziel, entspricht allen weiteren Gefahrenzonen oberhalb des Schutzziels

Die Risikobereiche werden durch die Verschneidung der Gefahrenzonen und der Vulnerabilitätsbereiche je Hochwasserlastfall ermittelt.“

Die Risikobereiche für das HQ30 wurden dabei nur für die Ergebnisse im Gewässerbereich ermittelt, während für das HQ100 und HQ300 die Gesamtergebnisse herangezogen wurden (vgl. Kapitel 5.2.4).

In den Anlagen 6-8 und 6-9 sind die erarbeiteten Karten der Risikobereiche für das Pilotgebiet Meckenheim im Maßstab 1 : 5.000 dargestellt:

- Istzustand: für HQ30, HQ100, HQ300 und max. über HQ30, HQ100 und HQ300
- Planzustand: für HQ30, HQ100, HQ300 und max. über HQ30, HQ100 und HQ300

Die Abbildung 6-9 zeigt die Legende der Karten für die Risikobereiche, Abbildung 6-10 eine Beispielkarte.

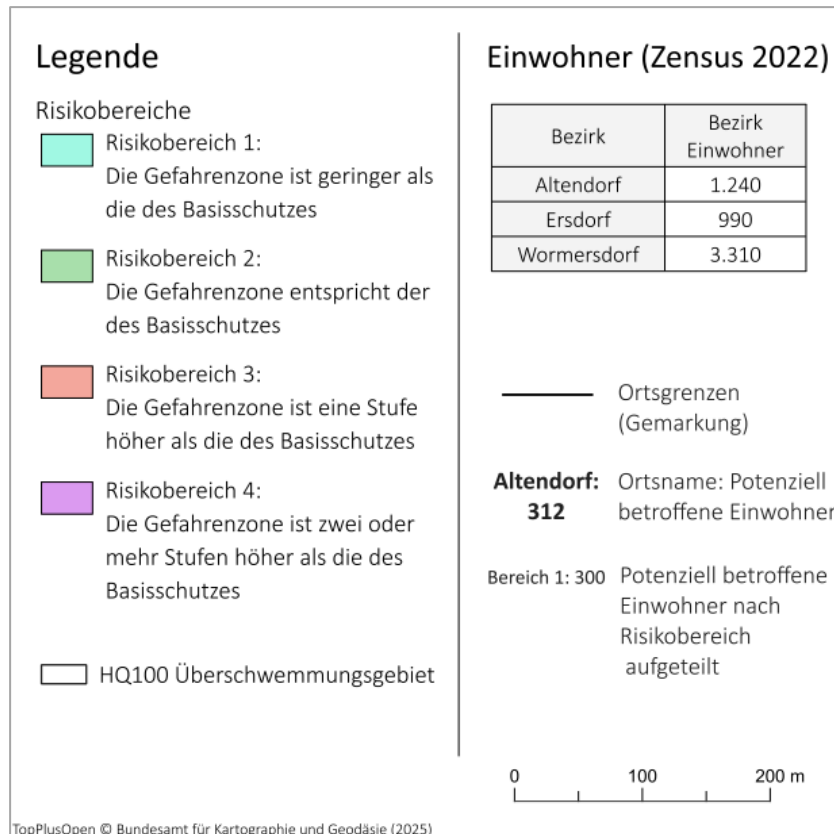
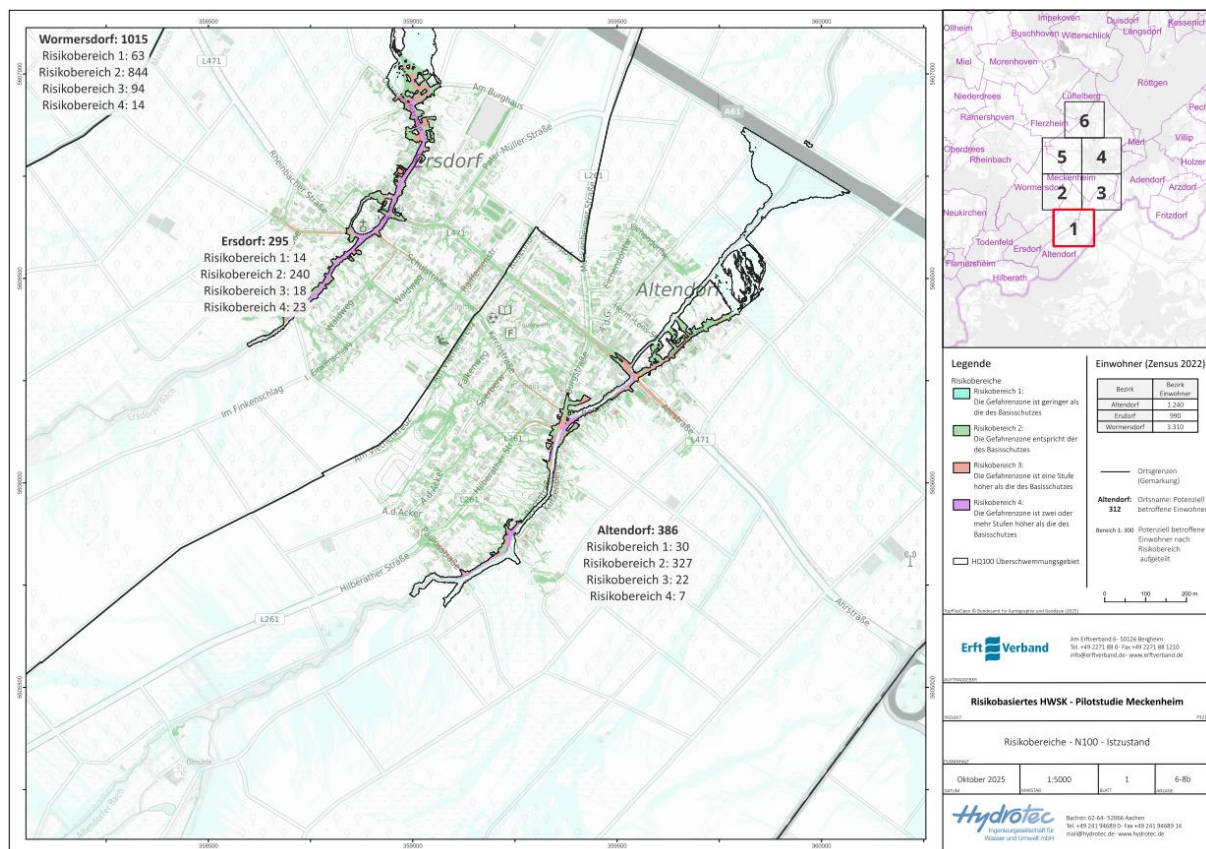


Abbildung 6-9: Legende der Karte für die Risikobereiche



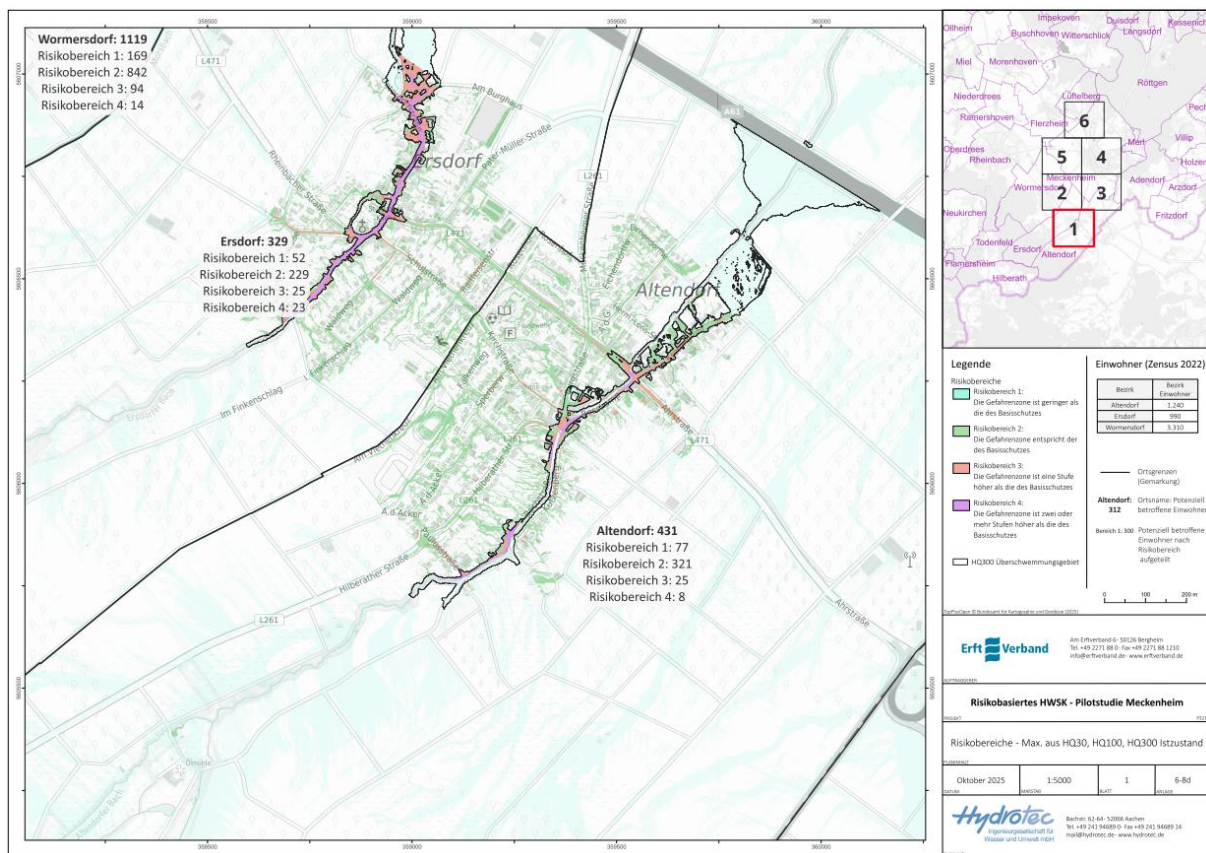
Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2025

Abbildung 6-10: Beispielkarte für Risikobereiche (hier: Risikobereiche HQ100 Istzustand, Ersdorf/Altendorf)

Maximale Risikobereiche aus HQ30, HQ100 und HQ300

Der jeweils maßgebliche höchste Risikobereich in den Überschwemmungsgebieten kann durch unterschiedliche Jährlichkeiten hervorgerufen werden. In einigen vulnerablen Teilflächen ist das HQ30, in anderen das HQ100 oder HQ300 für die höchste Risikoklasse verantwortlich. Für den Ist- und Planzustand wurde jeweils eine resultierende Risikobereichskarte erstellt (vgl. Anlagen 5-8 und 5-9). Diese fügt die jeweiligen Karten der Jährlichkeiten $T = 30$ a, 100 a und 300 a in einer Karte zusammen, wobei generell der größte Risikobereich der 3 Szenarien dargestellt wird. Dies vereinfacht die Beurteilung der Überflutungsgebiete auf der Grundlage des Risikobasierten HWSK und die Ableitung des Schutzbedarfs. Da abseits vom Gewässer nur Risikobereiche der Jährlichkeiten HQ100 und HQ300 dargestellt werden, eignet sich die Karte auch zur Ermittlung der Abflussbahnen mit Risikobereich 3 und 4.

Die Abbildung 6-11 zeigt eine Beispielkarte für die Risikobereiche, die das Maximum aus HQ30, HQ100 und HQ300 darstellen.



Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2025

Abbildung 6-11: Beispielkarte für Risikobereiche, Maximum aus HQ30, HQ100 und HQ300 (hier: Risikobereiche Istzustand Isselburg)

7 Nutzen-Kosten-Analyse

7.1 Schadenspotenzialberechnung

Schadenspotenziale beschreiben den Verlust von Vermögenswerten bei einem entsprechenden Hochwasserereignis. Die Ermittlung der Schadenspotenziale beruht auf der Berechnung der Schäden an Gebäude- und Flächennutzungen in hochwassergefährdeten Gebieten. In der Untersuchung Entwurf Masterplan Wurm (Hydrotec 2023) wurde der BEAM-Datensatz (Basic European Assets Map), der für die gesamte Europäische Union und somit auch für Deutschland vorliegt, verwendet.

Die Grundlagen der Landnutzungskategorien basieren auf dem CORINE-Land-Cover und dem Urban Atlas. Als Ergebnis wurde der BEAM-Datensatz mit Stand 2021 erstellt und unter der Internetseite <https://www.wasserblick.net/servlet/is/219256/?highlight=beam> inklusive Handbuch veröffentlicht. Dabei handelt es sich um einen flächendeckenden Vektordatensatz, in dem auch Linienstrukturen, wie die Infrastruktur (z. B. Straßen), als Flächendatensätze enthalten sind.

Die Vermögenswerte sind bei diesem Verfahren regional angepasst. Der BEAM-Datensatz beinhaltet die räumlich verorteten Daten zur Landnutzung und -bedeckung sowie deren zugeordnete Vermögenswerte. Er nutzt über 90 Landnutzungskategorien. Je Landnutzungskategorie sind 16 Vermögenswertkategorien enthalten. Mittels Schadensfunktionen wird in Abhängigkeit von der Wassertiefe eine prozentuale Schädigung anhand von spezifischen Vermögenswerten jeder Vermögenswertkategorie (€/m²) ermittelt. Die sozioökologische Betrachtung bezieht sich auf Sachgüter und ihre Schädigung.

Trägt man die berechneten Schäden (in €) grafisch über die Jährlichkeit (Wahrscheinlichkeit in 1/a) der zugehörigen Abflüsse auf und integriert die Fläche der Schadenswahrscheinlichkeiten, erhält man eine jährliche Schadenserwartung in €/a. Diese Summe entspricht einem „jährlichen Rücklagebetrag“, mit dem theoretisch auf alle Zeit Hochwasserschäden abgegolten werden könnten.

Die Schäden werden für Wasserstände unterschiedlicher Jährlichkeiten berechnet. Als Eingangsgrößen dienen die mittels 2D-Hydraulik berechneten Wassertiefen als GIS-Raster (1 x 1 m). Für die Schadenspotenzialberechnung sind mögliche 2D-Modelllücken (z. B. „disabled“ oder „ausgestanzte“ Bauwerke) zu füllen, damit dort Schäden berücksichtigt werden.

7.1.1 Modifikationen BEAM-Ansatz

Die Anwendung des BEAM-Verfahrens wurde im Pilotprojekt Wurm ausführlich untersucht, da in diesem Projekt detaillierte Schadensdaten aus einem abgelaufenen Ereignis vorlagen. Dabei wurde festgestellt, dass das Original-BEAM-Verfahren für das untersuchte Hochwasserereignis nicht die vorliegenden Schadensgrößen erreicht. Daher wurden Anpassungen am BEAM-Verfahren vorgenommen, welche auf der einen Seite belastbare Größen für die Schadenswerte liefern, auf der anderen Seite jedoch den Aufwand im Vergleich zur herkömmlichen Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten auf das Wesentliche reduzieren.

Die Ergebnisse wurden mit den bekannten Schadenswerten aus dem Projekt „Entwurf Masterplan Wurm. Hydraulische Berechnung von Maßnahmen, Schadenspotenzialanalysen und Risikoermittlung“ (Hydrotec 2023) (kurz: EMP Wurm) als belastbare Zielgröße verglichen.

Nachfolgend werden die untersuchten Anpassungen aufgelistet und die jeweilige Bewertung dargestellt.

Nutzung Original BEAM

Es ergeben sich große Differenzen bei HQ10 bis HQ200 (vgl. Anlage 7-1).

Fazit: → So nicht zu verwenden.

Ausschneiden des 2D-Flussschlauchs aus den Nutzungspolygonen

Es ergeben sich große Verbesserungen bei kleinen und mittleren Jährlichkeiten. Dadurch wird vermieden, dass große fehlerhafte Schäden im Gewässer durch große Fließtiefen berechnet werden.

Fazit: → Ist zu berücksichtigen. Die Schadensermittlung durch diese Anpassung ergibt plausible Ergebnisse.

Schadensberechnungen nur für Vulnerabilitätsbereiche

Durch die Reduzierung der Schadenspotenzialberechnungen auf die vulnerablen Gebiete werden die zum Teil fehlerhaften urbanen BEAM-Nutzungsflächen in den Bereichen Wald, Wiese und Acker korrigiert. Im Rahmen der Untersuchung EMP Wurm wurde festgestellt, dass 95 % der Schäden in den urbanen Gebieten liegen, die unbebauten Nutzungen im Agrarsektor haben somit nur einen geringen Einfluss. In den Vulnerabilitätsbereichen ist der 2D-Gewässerschlauch bereits ausgeschnitten. Die oben beschriebene Anpassung „Ausschneiden des 2D-Flussschlauchs aus den Nutzungspolygonen“ ist somit nicht mehr separat erforderlich. Im Rahmen des Risikobasierten HWSK sind die Vulnerabilitätsbereiche für die Risikoermittlung zwingend zu ermitteln. Diese können für die Schadensberechnungen ohne weiteren Aufwand übernommen werden.

Fazit: → Ist zu berücksichtigen. Die Schadensermittlung durch diese Anpassung ergibt plausible Ergebnisse.

Ausschneiden von weiteren Gewässerflächen aus den Nutzungspolygonen (sollte bereits im Rahmen der Ermittlung der Vulnerabilitätsbereiche erfolgen)

Im Rahmen der iterativen Untersuchungen zeigte es sich, dass die noch in den Vulnerabilitätsbereichen vorliegenden Wasserflächen einen großen Einfluss auf die Schadenshöhen bereits bei kleinen Jährlichkeiten besitzen. Größere Wasserflächen wie Seen, Teiche, Baggerlöcher, Burggräben oder Mündungsbereiche von Nebengewässern sind daher bereits im Rahmen der Ermittlung der Vulnerabilitätsbereiche aus den Flächen auszuschneiden. Es ergeben sich große Verbesserungen bei kleinen und mittleren Jährlichkeiten. Dadurch wird vermieden, dass große fehlerhafte Schäden im Gewässer durch große Fließtiefen berechnet werden.

Fazit: → Ist zu berücksichtigen (sollte bereits im Rahmen der Ermittlung der Vulnerabilitätsbereiche erfolgen). Die Schadensermittlung durch diese Anpassung ergibt plausible Ergebnisse.

Berücksichtigung von Kellerschäden

Durch eine ergänzende Berücksichtigung von Kellerschäden ergeben sich konstante Erhöhungen bei allen Jährlichkeiten. Das im Pilotprojekt Wurm angestrebte Ziel, die Schäden bei kleineren HQ zu verringern und bei größeren zu erhöhen, konnte nicht erreicht werden.

Fazit: → Ist nicht zu berücksichtigen. Die Schadensermittlung durch diese Anpassung ergibt keine besseren Ergebnisse.

Berücksichtigung von Impulsschäden

Im Rahmen der UAG HWS-Konzepte bzw. der Kleingruppe KG V09 wurde ein Vorschlag zur Berücksichtigung von Impulsschäden diskutiert und erarbeitet. Dieser Ansatz besagt, dass bei größeren Wassertiefen bzw. Fließgeschwindigkeiten die potenziellen Schäden in den Gefahrenzonen höher sein können. Die Gefahr des Teil- bzw. Totalversagens von Gebäuden wird durch einen dreistufigen Impulsfaktor bei den BEAM-Berechnungen einbezogen (Faktoren 1,0, 1,5 und 2,0).

Die Abbildung 7-1 zeigt den Impulsfaktoransatz.

Optimierter Impulsfaktor-Ansatz für BEAM basierend auf NRW-Gefahrenzonen

Wissenschaftliche Grundlage: Integration der Erkenntnisse aus JONKMAN & PENNING-ROWSELL (2008) und den NRW-Gefahrenzonen zur Berücksichtigung von Impulskräften ($v \times h$) in BEAM-Schadensfunktionen.

1. Impulsfaktor-Schwellenwerte basierend auf NRW-Gefahrenzonen

Impulsfaktor-Stufe	Produkt $v \times h$ [m ² /s]	Fließgeschwindigkeit v [m/s]	Entspricht Gefahrenzone	Risikobewertung	Impulsfaktor F
1	$v \times h \leq 0,5$	$v \leq 2,0$	Zone 1-2	Geringes bis moderates Impulsrisiko	1,0
2	$0,5 < v \times h \leq 2,0$	$2,0 < v \leq 4,0$	Zone 3	Erhöhtes Impulsrisiko (Stabilitätsgrenze Mensch)	1,5
3	$v \times h > 2,0$	$v > 4,0$	Zone 4-5	Extremes Impulsrisiko (Strukturschäden möglich)	2,0*

*Bei Impulsfaktor-Stufe 3 sind Totalschäden an Gebäuden möglich

Kritische Schwellenwerte aus der Forschung:

- $v \times h = 0,5$ m²/s: Beginn der Instabilität für Menschen im Wasser
- $v \times h > 2,0$ m²/s: Keine Person kann den Strömungskräften widerstehen
- Ab $h = 2$ m und $v = 3$ m/s: Irreparable Gebäudeschäden möglich

Quelle: Julian Hofmann 11.06.2025: 20250611_UAG_KG_Hofmann_Impulskräfte_Update_v2.pdf

Abbildung 7-1: Ansatz eines Impulsfaktors

Bei der BEAM-Berechnung wurde dieser Ansatz implementiert und im Pilotprojekt Wurm wurden Schadensberechnungen für den Istzustand durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen eine Erhöhung der Schadenssumme von rund 8 % bei allen Jährlichkeiten.

Testweise wurde eine 2. Testvariante mit erhöhten Faktoren geprüft (Faktoren 1,0, 2,0 und 3,0). Diese ergab ca. 15 % höhere Schäden bei allen Jährlichkeiten.

Das Ziel, die Schäden bei größeren Jährlichkeiten im Vergleich zu kleineren zu erhöhen, konnte nicht erreicht werden.

Bei der Wurm hat der originäre Impulsansatz geringe Auswirkungen auf die Schadenshöhen. Die Wurm ist im Untersuchungsbereich ein Flachlandfluss. Im Mittelgebirge kann der Impulsansatz jedoch aufgrund eines höheren Gewässer- und Vorlandgefälles einen stärkeren Einfluss besitzen. Die Berücksichtigung des Impulsansatzes ist bei der von Hydrotec entwickelten automatisierten BEAM-Schadensberechnung implementiert und kann optional angesetzt werden. In Meckenheim wurde der Impulsansatz nicht weiter berücksichtigt.

Fazit: → Kann berücksichtigt werden. Der Impulsfaktor kann bei anderen Gewässern bzw. Gewässertypen einen maßgeblichen Einfluss auf die Schadenshöhen haben und dadurch belastbarere Ergebnisse ergeben. Der Impulsansatz kann optional ergänzend bei der Schadensberechnung angesetzt werden.

Steilere Schadensfunktionen

Bereits im Rahmen der Untersuchung für den Entwurf Masterplan Wurm wurden für einige Schadensfunktionen im Rahmen der Validierung die Steigungen erhöht. Dieser Ansatz wurde durch eine Dissertation (Kutschera 2008) bestätigt (s. Anlage 7-1). Diese Anpassung wurde hier durch einen generellen Faktor von 1,5 auf alle Schadensfunktionen berücksichtigt. Der Endwert von 100 % wird somit jeweils früher erreicht, aber nicht überschritten.

Durch die steileren Funktionen ergeben sich insbesondere bei größeren HQ höhere Schäden, was den Ergebnissen des EMP Wurm näher kommt.

Fazit: → Ist zu berücksichtigen. Die Schadensermittlung durch diese Anpassung ergibt plausible Ergebnisse.

Höhere Maximalschäden

Bereits im Rahmen der Untersuchung für den Entwurf Masterplan Wurm wurden für einige urbane Nutzungstypen im Rahmen der Validierung die Maximalschäden erhöht. Diese Anpassung wurde durch einen generellen Faktor von 1,5 auf alle Nutzungen berücksichtigt. Da die Berechnung nur für die Vulnerabilitätsbereiche durchgeführt wird, sind auch hier lediglich die urbanen Nutzungstypen von der Anpassung betroffen.

Durch die höheren potenziellen Maximalschäden ergeben sich insbesondere bei größeren HQ höhere Schäden, was den Ergebnissen des EMP Wurm näher kommt.

Fazit: → Ist zu berücksichtigen. Die Schadensermittlung durch diese Anpassung ergibt plausible Ergebnisse.

Jährlichkeitsdifferenzierte Faktoren auf die Schadenssummen

Im Rahmen der iterativen Schadensberechnungen wurde kurzfristig der Ansatz verfolgt, unterschiedliche jahresdifferenzierte Faktoren auf die Schadenssummen zu ermitteln. Diese sollten dann für alle Alternativen gelten. Es zeigte sich, dass diese im Istzustand ermittelten Faktoren keine plausiblen Ergebnisse bei den weiteren Varianten ergaben. Dies verdeutlicht, dass die Schadensgrößen nicht HQ-abhängig, sondern wassertiefenabhängig sind. Auch konstante Faktoren auf die Schadenssummen ergaben keine Verbesserungen.

Fazit: → Ist nicht zu berücksichtigen. Die Schadensermittlung durch diese Anpassung ergibt keine besseren Ergebnisse.

Preissteigerungen seit 2018

Die Datengrundlage der BEAM-Schadensgrößen ist gültig für das Jahr 2018. Seitdem wurden die Eingangsdaten für die Schadenswerte nicht angepasst. Laut statistischem Bundesamt liegt seitdem jedoch eine Preissteigerung von rund 30 – 50 % vor.

Für eine BEAM-Berechnungsvariante wurde ein Preissteigerungsindex von 40 % angesetzt, mit dem alle Schadensgrößen entsprechend erhöht wurden. Dies hat große Auswirkungen auf die ermittelten Gesamtschäden.

Im Pilotprojekt Meckenheim wurde aus Gründen der Homogenität analog zu den beiden Pilotprojekten Wurm und Issel die Kostenfortschreibung nicht berücksichtigt.

Für zukünftige Untersuchungen ist dies aber zu berücksichtigen. Die Größenordnung von 30 - 50 % ist zu validieren und im Hinblick auf die unterschiedlichen Vermögenswertkategorien jeweils plausibel anzupassen.

Fazit: → Ist zu berücksichtigen. Eine Schadenssteigerung sollte für zukünftige Untersuchungen angesetzt werden. Die Größenordnung ist für die Vermögenswertkategorien zu validieren.¹

Basierend auf den Erkenntnissen aus dem Pilotprojekt Wurm wurde der Original-BEAM-Ansatz mit folgenden Anpassungen verwendet:

- Schadensberechnungen nur für Vulnerabilitätsbereiche
- Ausschneiden von weiteren Gewässerflächen aus den Nutzungspolygonen
- steilere Schadensfunktionen

¹ Nach Auskunft der Firma Geomer am 25.11.25 auf dem DWA-Hochwassertag wird in Kürze eine Überarbeitung des BEAM-Datensatzes veröffentlicht, welche die Preissteigerungen der letzten Jahre enthält.

- höhere Maximalschäden
- optional: Berücksichtigung von Impulsschäden (nicht angewendet)
- optional: Preissteigerungen seit 2018 (nicht angewendet)

7.1.2 Ergebnisse Schadenspotenzialberechnung im Pilotprojekt Meckenheim

Mit dem modifizierten BEAM-Verfahren (vgl. Kapitel 7.1.1) wurden die Schadenspotenziale für den Ist- und Planzustand berechnet.

Die berechneten Überschwemmungsgebiete des Ist- und Planzustands wurden für die Jährlichkeiten HQ30, HQ100 und HQ300 mit dem im Rahmen des Pilotprojektes Wurm entwickelten BEAM-Verfahren verschnitten. Daraus können die Gesamtschadenssummen je Jährlichkeit und die Schadenssummen für unterschiedlich definierte Flächenbereiche (Städte, Ortslagen, Teilbereiche) ermittelt werden.

Die Auswertung erfolgte im Kopfgebiet (Altendorf und Ersdorf) beim HQ30 auf Basis des aus dem Gewässer entstehenden Überflutungsbereichs, während beim HQ100 und HQ300 die Gesamtergebnisse verwendet wurden. Dies erklärt den starken Schadenszuwachs zwischen HQ30 und HQ100 für Altendorf und Ersdorf. Im Übergangsbereich B (Meckenheim) wurden jeweils nur die Überflutungen im Gewässerbereich ausgewertet.

Die ermittelten Werte für die berechneten Jährlichkeiten sind in Tabelle 7-1 für den Ist- und in Tabelle 7-2 für den Planzustand dargestellt.

Tabelle 7-1: Ermittelte Schadenspotenzialwerte Istzustand

Ortschaft	Schadenspotenzial Istzustand		
	HQ030	HQ100	HQ300
Altendorf	377.955,06 €	2.081.326,50 €	2.732.941,50 €
Ersdorf	757.884,75 €	2.051.493,13 €	2.562.884,50 €
Meckenheim	5.857.658,50 €	11.612.272,00 €	19.198.532,00 €
Summe	6.993.498,31 €	15.745.091,63 €	24.494.358,00 €

Tabelle 7-2: Ermittelte Schadenspotenzialwerte Planzustand

Ortschaft	Schadenspotenzial Planzustand		
	HQ030	HQ100	HQ300
Altendorf	72.456,80 €	1.139.474,63 €	1.269.872,25 €
Ersdorf	69.771,02 €	1.091.547,38 €	1.260.596,50 €
Meckenheim	3.364.231,00 €	5.283.046,50 €	11.274.638,00 €
Summe	3.506.458,82 €	7.514.068,50 €	13.805.106,75 €

Die in den Tabellen dargestellten Schadenssummen fließen in die Nutzen-Kosten-Berechnung ein (Kapitel 0).

Im Zuge der Schadenspotenzialberechnungen sind grafische Darstellungen der berechneten Schäden hilfreich, um die Schadenszuwächse je Hochwasserjährlichkeit zu bewerten. Abbildung 7-2 zeigt für den Planzustand die Gesamtschäden (y-Achse) in Abhängigkeit von den Wahrscheinlichkeiten 1/T (x-Achse). In der oberen Grafik sind die Werte logarithmisch, in der unteren äquidistant dargestellt.

Die obere Grafik zeigt einen nahezu linearen Verlauf der Schadenswerte. In der unteren Grafik ist erkennbar, dass das Integral der Schadenssummen bei kleinen Jährlichkeiten (Wahrscheinlichkeiten von 0,1 (HQ10) bis 0,01 (HQ100)) für die statistische Auswertung einen maßgeblichen Einfluss besitzt.

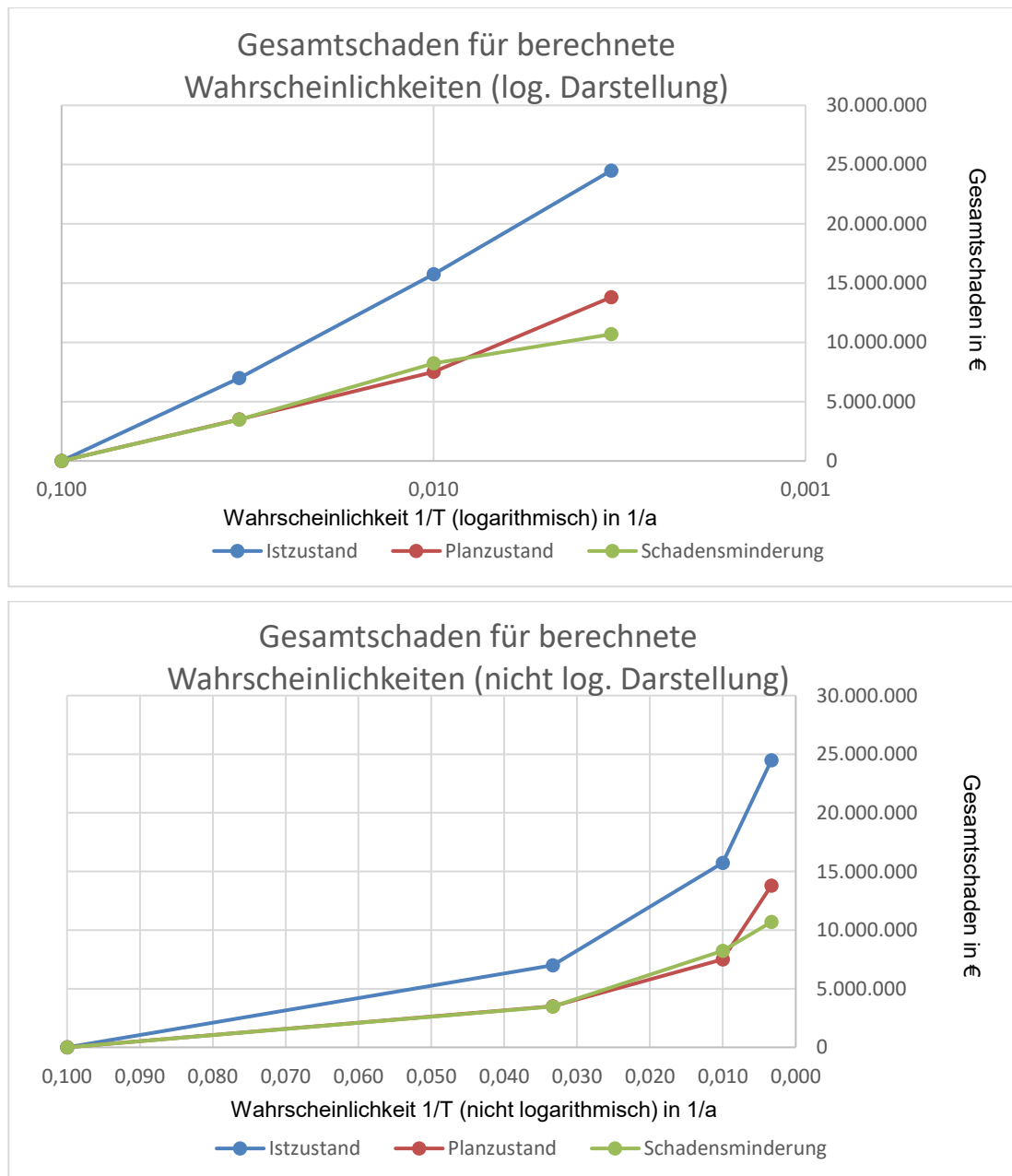


Abbildung 7-2: Gesamtschaden für berechnete Wahrscheinlichkeiten (oben: logarithmische Darstellung, unten: nicht logarithmische Darstellung)

7.2 Maßnahmenkosten

Die Kostenberechnungen erfolgten auf Basis von Einheitspreisen, die im EMP Wurm ermittelt wurden (vgl. Anlage 7-2) sowie auf Basis von Erfahrungswerten. Für die im Planzustand angesetzten Maßnahmen ergeben sich Gesamtkosten in Höhe von ca. 9.257.000,- € (vgl. Tabelle 7-3).

Tabelle 7-3: Maßnahmenkosten HWS-Maßnahmen Meckenheim

Nr.	Name	Art/Beschreibung	Maßnahmentyp für Kostenschätzung	Gesamt-Kosten
1.1	HRB Ersdorfer Bach	Dammbauwerk mit Drosseldurchlass (1,5 m³/s)	HRB	3.455.000 €
1.2	HRB Altendorfer Bach	Dammbauwerk mit Drosseldurchlass (3,0 m³/s)	HRB	3.366.000 €
1.3	HW-Rückhalt Unterführung A61	2 Flügeldämme/-deiche zur Entlastung des Durchlasses und Rückhalt im Gelände	Neubau Damm/Deich	250.000 €
1.4	HW-Rückhalt Durchlass Bachstraße / Kutzenberg	Verwallung/Mauer linksseitig des Durchlasses entlang der Straße inkl. Entlastungsöffnung im Damm oberhalb des Durchlasses	Neubau HWS-Mauer (im/am Gewässer)	314.000 €
1.5	HW-Schutzmauer Bachstraße	HWSM an Böschungskante - kein absoluter Schutz	Neubau HWS-Mauer (im/am Gewässer)	257.000 €
1.6	Abfanggraben Ersdorfer Bach	Abfanggraben parallel zum Ersdorfer Bach durch Ausbau des vorhandenen Grabenprofils	Abgrabung	94.000 €
1.7	Abfanggraben Altendorfer Bach	Abfanggraben parallel zum Altendorfer Bach durch Ausbau des vorhandenen Grabenprofils	Abgrabung	149.000 €
1.8	Retentionsraum Ersdorfer Bach / Querung Landstraße L163	Erweiterung des Rückhalterums am Bachdurchlass - Verwallung	Neubau Verwallung/Deich	228.000 €
1.9	Retentionsraum Altendorfer Bach Bundesautobahn A565	Retentionsraum Altendorfer Bach parallel zur Bundesautobahn A565	Neubau Verwallung/Deich	314.000 €
1.10	Entlastungskanal Bonner Straße	Kanal bestehend aus Einlaufbauwerk, Kanalstrecke und Auslaufbauwerk	Neubau Kanal	430.300 €
1.11	Rückführung Wasser Mühlenstraße in Swist	Rückführung durch Flutmulde/Retentionspolder KiTa-Gelände mit Gefälle zur Swist, Ausbau Straßenprofil, Verwallung Schutzmauer parallel zur Swist	Kombinationsmaßnahme (Abgrabung, Verwallung)	400.000 €
Summe				9.257.300 €

Die angegebenen Kosten enthalten keine Kosten für Flächenerwerb, Ausgleichszahlungen und Einzelobjektschutz.

7.3 Nutzen-Kosten-Analyse

Ein zentrales Kriterium für die Bewertung der Vorteilhaftigkeit einer Hochwasserschutzmaßnahme ist ihre ökonomische Effizienz. Diese wurde auf Grundlage der „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)“ (DWA 2012) berechnet.

Für die Nutzen-Kosten-Berechnungen wurde die digitale Vorlage der Kalkulationstabelle (HochWasserSchadenPotenzialAnalyseSystem, HWSPAS-Ansatz) der „Arbeitshilfe zur Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen in Baden-Württemberg“ (BW 2019) genutzt.

Eine Maßnahme bzw. die Summe von Teilmaßnahmen ist in der Regel dann wirtschaftlich, wenn das Nutzen-Kosten-Verhältnis mindestens 1 oder größer ist. Der Nutzen wird ökonomisch durch die verhinderten Schäden beschrieben. Diese wurden mittels Schadenspotenzialberechnungen für den Ist- und Planzustand ermittelt (vgl. Kapitel 7.1).

Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen,

- dass die ermittelten Gesamtkosten der jeweiligen Maßnahmen als erste Annäherungswerte anzusehen sind (vgl. Kapitel 7.2) und
- dass auch die Schadensermittlungen auf einer Abschätzung mit regionalen Schadensgrößen und -verteilungen basieren (vgl. Kapitel 7.1).

Die Nutzen-Kosten-Analyse ist somit ein Annäherungswert für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen.

In Anlehnung an die „Arbeitshilfe zur Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen in Baden-Württemberg“ (BW 2019) wurden für die Nutzen-Kosten-Analyse folgende Randbedingungen angesetzt:

- Nutzungsdauer 80 Jahre für alle Maßnahmen
Dieser Ansatz wurde lt. Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (DWA 2012) geprüft. Für die im Rahmen dieser Untersuchung entwickelten Maßnahmen kann die Nutzungsdauer von 80 Jahren angesetzt werden.
- Zinssatz 2 % für alle Maßnahmen
In der Arbeitshilfe von Baden-Württemberg wird dieser Zinssatz als „Standardfall“ empfohlen. Er variiert lt. Arbeitshilfe zwischen 1,5 und 3,5 %.
- Laufende Kosten
 - Bei allen untersuchten Maßnahmen (außer HRB, s. u.) werden 0,5 % der Investitionskosten als laufende Kosten pro Jahr angesetzt.
 - Bei Hochwasserrückhaltebecken (HRB) fallen erfahrungsgemäß höhere laufende Kosten an, diese wurden mit 1,0 % der Investitionskosten pro Jahr angesetzt.

In Tabelle 7-4 sind die Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse detailliert aufgeführt. Folgende Werte sind angegeben:

- Maßnahmenkosten
 - Nutzungsdauer in Jahren (s. o.)
 - mittlerer Zinssatz in Prozent (s. o.)
 - Investitionskosten als Summe von Bau- und Planungskosten plus Zuschlag für Unwägbarkeiten in Euro (vgl. Kapitel 7.2)
 - laufende Kosten in Euro/Jahr (s. o.)
 - Projektkostenbarwert in Euro
Der Projektkostenbarwert (PKBW) ergibt sich aus der Summe der Investitionskosten, der Barwerte der laufenden Kosten und der Barwerte der Reinvestitionskosten. Der Projektkostenbarwert beschreibt alle zu einem Bezugszeitpunkt entstehenden Kosten.
 - Jahreskosten in Euro/Jahr
Die Jahreskosten sind die Summe der laufenden jährlichen Kosten plus der über die Nutzungsjahre verteilten Investitionskosten.
- Schadensminderung
 - Schadensminderung je HQ in Euro
Für jede Wiederkehrhäufigkeit wird die Schadensminderung in Euro angegeben. Die Schadensminderung ergibt sich aus der Differenz der berechneten Schäden „Istzustand – Planzustand“. Ein positiver Wert dokumentiert somit eine Verbesserung durch die geplanten Maßnahmen im Hinblick auf die ermittelten Schadenspotenziale. Negative Werte zeigen, dass durch die geplante Maßnahme potenziell ein höherer Schaden hervorgerufen werden kann.

- Schadensminderung in Euro/Jahr
Die Schadensminderung ist die Differenz der aufsummierten Schadenserwartungswerte „Istzustand – Planzustand“ über alle Wiederkehrintervalle. Die Schadensminderung beschreibt den jährlich gleichbleibenden Nutzen (durchschnittlich jährlich verhin- derter Schaden) über die gesamte Lebensdauer einer Hochwasserschutzmaßnahme.
- Projektnutzenbarwert in Euro
Der Projektnutzenbarwert (PNBW) ergibt sich aus der Diskontierung der mittleren jährlichen Schadensminderung. Er beschreibt alle zu einem Bezugszeitpunkt ver- meidbaren Gesamtschäden jeder Maßnahme.
- Nutzen-Kosten-Analyse
 - Kapitalwert in Euro
Der Kapitalwert einer Maßnahme ergibt sich aus der Differenz von monetarisier- tem Nutzen und den Kosten („Projektnutzenbarwert – Projektkostenbarwert“). Eine Maß- nahme mit einem positiven Kapitalwert ist aus rein ökonomischer Sicht der Nutzen- Kosten-Analyse immer durchzuführen, solange die Durchführung keine negativen Aus- wirkungen auf andere Maßnahmen oder Bereiche hat.
 - Nutzen-Kosten-Verhältnis
Das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Maßnahme ergibt sich aus dem Quotienten von „Projektnutzenbarwert / Projektkostenbarwert“ (NKV = PNBW / PKBW).

Tabelle 7-4: Nutzen-Kosten-Analyse im Pilotprojekt Meckenheim

Pilot Meckenheim		
Planzustand		
Maßnahmenkosten		
Nutzungsdauer (für alle Maßnahmen)	80	Jahre
Mittlerer Zinssatz	2	%
Investitionskosten	9 257 000	Euro
laufende Kosten	80 390	Euro/Jahr
Projektkostenbarwert	12 452 061	Euro
Jahreskosten	313 303	Euro/Jahr
Schadensminderung		
Wiederkehrhäufigkeit	Schadensminderung (Ist-Plan)	
5 Jahre	0	Euro
30 Jahre	3 487 000	Euro
100 Jahre	8 231 000	Euro
300 Jahre	10 689 000	Euro
Schadensminderung ("Ist - Plan"), Nutzer	351 644	Euro/Jahr
Projektnutzenbarwert	13 975 912	Euro
Nutzen-Kosten-Analyse		
Kapitalwert	1 523 850	Euro
Nutzen-Kosten-Verhältnis	1.12	-

Maßgeblichen Einfluss auf das Nutzen-Kosten-Verhältnis hat die Jährlichkeit, die schadensfrei abfließen kann. Da keine Ergebnisse für hydraulische Berechnungen kleiner Jährlichkeiten vorlagen, wurde HQx schadensfrei aus den HWGK abgeleitet. Dort treten für ein häufiges Hochwasserereignis (HQ10 - HQ50) in Meckenheim keine signifikanten Überflutungen auf. Da bei der Berechnung des HQ30 bereits erhebliche Betroffenheiten vorliegen, wurde als schaden- sfreies HQx das HQ10 gewählt.

8 Schutzziel und Maßnahmenkonzeption

Die Maßnahmenkonzeption erfolgte im Rahmen des SRRM der Stadt Meckenheim. Dabei wurden die Maßnahmen unter Beteiligung aller Akteure erarbeitet. Die beiden HRB am Altdorfer und Erzdorfer Bach wurden vom Erftverband im laufenden Projekt der „Interkommunalen HW-Schutzkooperation Erft“ identifiziert und bemessen. Da zum Zeitpunkt der Bemessung keine aktuellen HQ100-Kennwerte vorlagen, wurden diese mit einem KOSTRA-2010R-Regen der Jährlichkeit 100 und Dauerstufe 6h und einem Faktor von 1,5 (insgesamt 94 mm) bemessen (Junghänel et al. 2017, Datensatz: KOSTRA-DWD 2010R, hrsg. vom DWD).

Alle weiteren Maßnahmen wurden, den lokalen Gegebenheiten entsprechend, für einen maximal möglichen Schutz dimensioniert.

Dabei standen entsprechend einer Maßnahmenkonzeption im Rahmen eines SRRM neben Schutzmaßnahmen am und im Gewässer auch Maßnahmen in der Fläche im Fokus. Die im Planzustand abgebildeten Maßnahmen sind in Tabelle 5-1 aufgeführt.

Grundsätzlich sollen in Kopfgebieten SR- und HW-Risiken synergetisch betrachtet, die Maßnahmen jedoch getrennt ermittelt werden:

- HWSK-Maßnahmen sind solche, die eine Auswirkung auf das Gewässer haben und eine Reduzierung des Abflusses oder der Wassertiefen bewirken,
 - z. B. Rückhaltemaßnahmen in der Fläche, im Außenbereich oder im Siedlungsbereich.
- Alle anderen Maßnahmen sind SRRM-Maßnahmen,
 - z. B. Umlenkungsmaßnahmen, Notwasserwege etc.
 - Dies sind Maßnahmen, die das Risiko außerhalb des Gewässers minimieren, aber nicht als HWSK-Maßnahme förderfähig sind.

Nur HWSK-Maßnahmen sind in der Schadenspotenzial- und Wirtschaftlichkeitsberechnung zu betrachten.

9 Bewertung von Maßnahmenvarianten

Zur Ermittlung einer Vorzugsvariante sind die verschiedenen Maßnahmenvarianten, welche im Rahmen eines Hochwasserschutzkonzeptes erarbeitet werden, zu bewerten. In dieser Pilotstudie wurde zwar nur ein Planzustand betrachtet, jedoch sollte das grundsätzliche Vorgehen zur Bewertung von Maßnahmenvarianten exemplarisch durchgeführt werden.

In Abstimmung mit der UAG soll die Bewertung in 5 verschiedenen Kategorien erfolgen:

- Wirksamkeit (vgl. Kapitel 9.1)
- Wirtschaftlichkeit (vgl. Kapitel 9.2)
- Finanzierbarkeit (vgl. Kapitel 9.3)
- Verbesserung der Gewässerökologie (vgl. Kapitel 9.4)
- Umsetzbarkeit (vgl. Kapitel 9.5)

In Kapitel 9.6 erfolgt die zusammenfassende Bewertung der Varianten auf der Grundlage o. g. Kategorien.

9.1 Wirksamkeit

Die Bewertung der Wirksamkeit von Maßnahmenvarianten erfolgt auf der Basis der Ergebnisse des Risikobasierten HWSK:

- Erreichen des Basisschutzziels
- Reduzierung der Anzahl der potenziell betroffenen Einwohner
- Reduzierung der Anzahl der potenziell betroffenen vulnerablen Gebäude

Basierend auf den Ergebnissen wird anschließend jede Maßnahmenvariante in Bezug auf die Wirksamkeit in folgenden Klassen bewertet:

- hohe Wirksamkeit
- mittlere Wirksamkeit
- geringe Wirksamkeit

9.1.1 Erreichen des Basisschutzziels

Das primäre Ziel des Risikobasierten HWSK ist der Schutz von Leib und Leben. Auf der Grundlage der Darstellungen in den Gefahrenzonenkarten (Anlagen 6-6 bis 6-7) und Risikobereichskarten (Anlagen 6-8 bis 6-9) wurde das Erreichen des Basisschutzziels für den Ist- und Planzustand ausgewertet und bewertet.

Bei der Bewertung der Ergebnisse in den Karten der Risikobereiche ist zu prüfen, ob in den Bereichen, in denen die Basisschutzziele nicht erreicht werden, gefährdete Objekte liegen. Die Vulnerabilitätsbereiche (vgl. Kapitel 6.1) beinhalten die Flächen der geschlossenen Siedlungsgebiete. In diesen sind auch größere Garten- und sonstige Nutzflächen enthalten, z. B. können tiefliegende Gärten am Gewässer überflutet werden, ohne dass Objekte bzw. Personen in den Objekten betroffen sind. Daher können Überschreitungen des Basisschutzziels bereichsweise zugelassen werden. Dies ist generell in den Karten zur Bewertung der Basisschutzziele zu beachten.

Weiterhin ist im Rahmen eines zukünftig durchzuführenden Risikobasierten HWSK zu prüfen, wie mit geringfügigen Überschreitungen des Basisschutzziels in geschlossenen Ortschaften umgegangen wird, wenn z. B. in einer größeren Ortschaft nur kleinste rot gefärbte Risikoflächen vorliegen. Hier müssten ggf. nicht unbedingt umfangreiche Maßnahmen erforderlich sein, die die gesamte Ortschaft schützen würden. Es ist sinnvoller und wirtschaftlicher hier Objektschutzmaßnahmen zu entwickeln, sodass es z. B. zu einer Maßnahmenkombination aus Linienschutz und Objektschutz kommt.

Dies ist im Rahmen der Bearbeitung zu prüfen und zu bewerten.

9.1.1.1 Auswertung Erreichen des Basisschutzziels

Das Erreichen des Basisschutzes wurde systematisch für alle Ortslagen für den Ist- und Planzustand ausgewertet (vgl. Tabelle 9-1). Anschließend wurde überprüft, ob sich Unterschiede in Bezug auf die erforderlichen Maßnahmen zwischen dem angestrebten Schutzziel und der Zielerreichung Basisschutz ergeben. Im Folgenden werden die einzelnen Inhalte der Tabelle erläutert.

Block 1 der Tabelle 9-1: Maßnahmenplanung SRRM Meckenheim

Die Tabelleninhalte dokumentieren die im HWSK geplanten Maßnahmen sowie deren Schutzfunktionen. Ob das angesetzte Schutzziel erreicht wird, zeigen die Zellenfarben Grün (erreicht) und Rot (nicht erreicht).

Folgende Spalten sind in der Tabelle 9-1 enthalten:

- maßgebliche Betroffenheiten Istzustand ab:
Hochwasserjährlichkeit, ab der im Istzustand Betroffenheiten in den bebauten Gebieten zu erwarten sind
- Nr. Maßnahmen:
Nummer der im Bereich der Ortslagen liegenden Maßnahmen
- gepl. HWS-Maßnahmen:
Kurzdarstellung der im SRRM Meckenheim geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen
- Schutzziel:
Angesetztes Schutzziel: wurde nicht definiert (vgl. Kapitel 8)
- Schutzgrad HWSK:
Bis zu welcher Jährlichkeit wurde ein Schutz durch die Maßnahme für den zu schützenden Bereich erzielt?
- Kommentar zur Wirkung der Maßnahme

Block 2 der Tabelle 9-1: Betroffenheiten Istzustand

Die Tabelleninhalte zeigen, ob für den Istzustand die Basisschutzziele in den betrachteten Ortsbereichen erreicht werden oder nicht. Falls im Istzustand das Basisschutzziel erreicht ist, sind entsprechend dem Risikobasierten HWSK keine Maßnahmen in dem jeweiligen Ortsbereich erforderlich. Es wurde untersucht, ob das Basisschutzziel erreicht (Grün) oder nicht erreicht (Rot) wird und in den Tabellenfeldern unterschieden in „erreicht mit Überflutungen“ (Hellgrün) bzw. „erreicht ohne Überflutungen“ (Dunkelgrün). Das Erreichen des Basisschutzziels wird für die Hochwasserabflüsse HQ30, HQ100 und HQ300 und insgesamt dargestellt.

Folgende Spalten sind in der Tabelle 9-1 enthalten:

- Basisschutzziel Ist (gesamt):
Wird das Basisschutzziel im Istzustand insgesamt erreicht (für HQ30, HQ100 und HQ300)?
- Basisschutzziel HQ30:
Wird das Basisschutzziel im Istzustand erreicht für HQ30?
- Basisschutzziel HQ100:
Wird das Basisschutzziel im Istzustand erreicht für HQ100?
- Basisschutzziel HQ300:
Wird das Basisschutzziel im Istzustand erreicht für HQ300?
- Betroffene Bereiche:
Kurzdarstellung der betroffenen Bereiche

- Maßnahmen:
Sind auf der Grundlage des erreichten Basisschutzziels Maßnahmen für die Ortslage in den Maßnahmenbereichen erforderlich? Falls das Basisschutzziel bereits im Istzustand erreicht ist, sind keine Maßnahmen nach dem Risikobasierten HWSK zu entwickeln.

Block 3 der Tabelle 9-1: Betroffenheiten Planzustand

Die Tabelleninhalte zeigen, ob für den Planzustand die Basisschutzziele durch die angesetzten Maßnahmen in den betrachteten Ortsbereichen erreicht werden oder nicht. Falls nun im Planzustand das Basisschutzziel erreicht wird, wird ergänzend geprüft, ob Maßnahmen ggf. entfallen können. Falls im Planzustand das Basisschutzziel nicht erreicht wird, sind entsprechend dem Risikobasierten HWSK weitere Maßnahmen in dem jeweiligen Ortsbereich erforderlich. Es wurde untersucht, ob das Basisschutzziel erreicht (Grün) oder nicht erreicht (Rot) wird und in den Tabellenfeldern unterschieden in „erreicht mit Überflutungen“ (Hellgrün) bzw. „erreicht ohne Überflutungen“ (Dunkelgrün). Das Erreichen des Basisschutzziels wird für die Hochwasserabflüsse HQ30, HQ100 und HQ300 und insgesamt dargestellt. Im Rahmen der Auswertungen wird weiterhin dokumentiert, ob die Maßnahmenkulisse des SRRM Meckenheim der erforderlichen Maßnahmenkulisse des Risikobasierten HWSK entspricht. Unterschiedliche Maßnahmenkulissen können auf folgenden Aspekten beruhen:

- Maßnahmen können entfallen.
- Zusätzliche Maßnahmen bzw. Linienschutzmaßnahmen sind erforderlich.

Diese Auswertung zeigt, ob man mit der Anwendung des Risikobasierten HWSK die gleiche Maßnahmenkulisse erhält, wie beim SRRM Meckenheim.

Folgende Spalten sind in der Tabelle 9-1 enthalten:

- Basisschutzziel Plan (gesamt):
Wird das Basisschutzziel insgesamt erreicht (für HQ30, HQ100 und HQ300)?
- Basisschutzziel HQ30:
Wird das Basisschutzziel im Planzustand erreicht für HQ30?
- Basisschutzziel HQ100:
Wird das Basisschutzziel im Planzustand erreicht für HQ100?
- Basisschutzziel HQ300:
Wird das Basisschutzziel im Planzustand erreicht für HQ300?
- Betroffene Bereiche:
Kurzdarstellung der trotz Maßnahmen noch betroffenen Bereiche
- Können Maßnahmen entfallen:
Sind die im Rahmen des SRRM Meckenheim erarbeiteten Maßnahmen auch für das Erreichen des Basisschutzziels im Risikobasierten HWSK erforderlich oder können Maßnahmen entfallen („ja“, „nein“, „ggf.“ falls andere Maßnahmen mit Blick auf das Risikobasierte HWSK zielführender wären)?
- Sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich:
Sind ergänzend zu den im Rahmen des SRRM Meckenheim erarbeiteten Maßnahmen weitere Maßnahmen für das Erreichen des Basisschutzziels im Risikobasierten HWSK erforderlich („ja“, „nein“)?
- Maßnahmenkulisse SRRM vs. Risikobasiertes HWSK:
Ergibt sich beim Risikobasierten HWSK die gleiche erforderliche Maßnahmenkulisse wie die, die im SRRM Meckenheim angesetzt wurde oder ist sie unterschiedlich („gleich“, „nicht gleich“, „ungefähr gleich“)?
- Anmerkung zu Unterschieden:
Worauf sind die unterschiedlichen Maßnahmenkulissen zurückzuführen?

Tabelle 9-1: Erreichte Basisschutzziele Istzustand und Planzustand

Bewertung Planzustand SRRM Meckenheim			
Parameter	Ortsbereiche		
	Altendorf	Ersdorf	Meckenheim
Maßnahmenplanung SRRM Meckenheim			
Maßgebliche Betroffenheiten Istzustand ab	HQ30	HQ30	HQ30
Nr. Maßnahmen	1.2, 1.4, 1.7	1.1, 1.3, 1.5, 1.6	1.8, 1.9, 1.10, 1.11
Gepl. HWS-Maßnahmen	HRB, Abfanggraben, HW-Rückhalt	HRB, Abfanggraben, Rückhaltebereich, HWS-Mauer	Retentionsräume, Entlastungskanal, Rückführung Wasser
Schutzziel	nicht definiert	nicht definiert	nicht definiert
Schutzgrad HWSK	erreicht bis HQ300	nicht vollständig erreicht	nicht vollständig erreicht
Kommentar zur Wirkung	Wirkung nur im Gew.-Bereich, keine Maßnahmen für Abflussbahnen geplant	Wirkung nur im Gew.-Bereich, keine Maßnahmen für Abflussbahnen geplant	-
Betroffenheiten Istzustand			
Basisschutzziel Ist (ges.)	nicht erreicht	nicht erreicht	nicht erreicht
Basisschutzziel HQ30	nicht erreicht	nicht erreicht	nicht erreicht
Basisschutzziel HQ100	nicht erreicht	nicht erreicht	nicht erreicht
Basisschutzziel HQ300	nicht erreicht	nicht erreicht	nicht erreicht
Betroffene Bereiche	Bachstraße, Krötenpfuhl, Burgstraße, Abflussbahnen SR	Oberdorfstraße, Unterdorfstraße, Am Burghaus, Abflussbahnen SR	Ruhrstr., Schützenstr., Adolf-Kolping-Str., Mühlenstr., Bonner Str.
Maßnahmen	erforderlich	erforderlich	erforderlich
Betroffenheiten Planzustand			
Basisschutzziel Plan (ges.)	erreicht ohne Überfl.	nicht erreicht	nicht erreicht
Basisschutzziel HQ30	erreicht ohne Überfl.	nicht erreicht	nicht erreicht
Basisschutzziel HQ100	erreicht ohne Überfl.	nicht erreicht	nicht erreicht
Basisschutzziel HQ300	erreicht ohne Überfl.	nicht erreicht	nicht erreicht
Betroffene Bereiche	Abflussbahnen SR weiterhin betr.	Oberdorfstraße, Unterdorfstraße, Am Burghaus, Abflussbahnen SR	Ruhrstr., Schützenstr., Adolf-Kolping-Str., Mühlenstr., Bonner Str.
Können Maßnahmen entfallen	ggf.	nein	nein
Sind zus. Maßnahmen erforderl.	nein	ja	ja
Maßn-kulisse SRRM vs. Risikob. HWSK	ja	nein	ungefähr gleich
Anmerkung zu Unterschieden		Überflutung deutlich reduziert, Ortslage jedoch nicht überflutungsfrei, daher weitere bzw. andere M. nach risikobasiertem HWSK erf.	Überflutung deutlich reduziert, Ortslage jedoch nicht überflutungsfrei, daher weitere bzw. andere M. erf.

9.1.1.2 Einhaltung Freibordvorgabe für Deiche

Auf der Grundlage des Risikobasierten HWSK gilt für die Freibordberücksichtigung („Wasserstandsachweise“) bei Deichen zur Überprüfung des Basisschutzes für den Überlastfall:

- Schutzziel HQ30: Bei HQ100 darf der Freibord (50 cm) zu 50 % ausgenutzt werden.
- Schutzziel HQ100: Bei HQ300 darf der Freibord (50 cm) zu 100 % ausgenutzt werden.

Im SRRM Meckenheim wurden keine Deiche geplant, sodass eine Überprüfung nicht erforderlich ist.

9.1.2 Reduzierung der Anzahl der potenziell betroffenen Einwohner

Die angesetzten Hochwasserschutzmaßnahmen reduzieren im Vergleich zum Istzustand die überfluteten Gebiete. Für den Ist- und Planzustand wurden die potenziell betroffenen Einwohner ermittelt (vgl. Kapitel 6.2 und Anlage 6-5).

In Tabelle 9-2 werden die Verbesserungen des Planzustands im Vergleich zum Istzustand dargestellt. Die Ergebnisse werden durch prozentuale Größen angegeben und verdeutlichen durch die Länge der Balken den Grad der Verbesserungen.

Tabelle 9-2: Betroffene Einwohner, Ist- und Planzustand sowie Veränderungen zwischen beiden Zuständen

HQ	Kartenbasis	Ist	Plan	Verbesserung Plan zu Ist
HQ30	Gefahrenzone_1	121	76	 37%
	Gefahrenzone_2	84	48	 43%
	Gefahrenzone_3	52	29	 44%
	Gefahrenzone_4	5	1	 80%
	Gefahrenzone_5	0	0	 0%
	Risikobereich_1	64	56	 13%
	Risikobereich_2	0	0	 0%
	Risikobereich_3	104	61	 41%
	Risikobereich_4	94	37	 61%
	Summe betr. EW	262	154	 41%
HQ100	Gefahrenzone_1	775	748	 3%
	Gefahrenzone_2	130	88	 32%
	Gefahrenzone_3	123	47	 62%
	Gefahrenzone_4	7	5	 29%
	Gefahrenzone_5	0	0	 0%
	Risikobereich_1	156	154	 1%
	Risikobereich_2	676	645	 5%
	Risikobereich_3	114	68	 40%
	Risikobereich_4	89	21	 76%
	Summe betr. EW	1035	888	 14%
HQ300	Gefahrenzone_1	860	836	 3%
	Gefahrenzone_2	138	116	 16%
	Gefahrenzone_3	176	95	 46%
	Gefahrenzone_4	15	6	 60%
	Gefahrenzone_5	0	0	 0%
	Risikobereich_1	923	898	 3%
	Risikobereich_2	126	95	 25%
	Risikobereich_3	132	56	 58%
	Risikobereich_4	8	4	 0%
	Summe betr. EW	1189	1053	 11%

Tabelle 9-2 zeigt, dass die Anzahl der potenziell betroffenen Einwohner durch die Maßnahmen gesenkt wird. Bei HQ30 liegt die Verbesserung mit 41 % deutlich höher als bei HQ100 und HQ300. Dies ist auf die reine Betrachtung der Überflutungsflächen im Gewässerbereich beim HQ30 zurückzuführen.

Die im Rahmen des Risikobasierten HWSK untersuchte Wirkung der Maßnahmen auf die potenziell betroffenen Einwohner zeigt, dass durch die Maßnahmen eine Verbesserung erzielt wird. Dieser Aspekt ist bei der Bewertung von Maßnahmen zu berücksichtigen.

9.1.3 Reduzierung der Anzahl der potenziell betroffenen vulnerablen Gebäude

Die angesetzten Hochwasserschutzmaßnahmen reduzieren im Vergleich zum Istzustand die überfluteten Gebiete. Für den Ist- und Planzustand wurden die potenziell betroffenen vulnerablen Gebäude ermittelt (vgl. Kapitel 6.1 und Anlage 6-4).

In Tabelle 9-3 werden die Verbesserungen des Planzustands im Vergleich zum Istzustand dargestellt. Die Ergebnisse werden durch prozentuale Größen angegeben und verdeutlichen durch die Länge der Balken den Grad der Verbesserungen.

Tabelle 9-3 zeigt, dass insgesamt wenig Gebäude betroffen sind. Lediglich in Meckenheim kann die Anzahl der potenziell betroffenen vulnerablen Objekte durch die Maßnahmen gesenkt werden.

Tabelle 9-3: Potenziell betroffene vulnerable Objekte

HQ	Stadt	Vulnerabilitätsstufe	Ist	Plan	Verbesserung Plan zu Ist
HQ30	Altendorf	Anzahl 'höchst vulnerabel'	0	0	
		Anzahl 'hoch vulnerabel'	0	0	
		Anzahl 'funktionale Gebäude'	0	0	
	Ersdorf	Anzahl 'höchst vulnerabel'	0	0	
		Anzahl 'hoch vulnerabel'	0	0	
		Anzahl 'funktionale Gebäude'	0	0	
	Meckenheim	Anzahl 'höchst vulnerabel'	0	0	
		Anzahl 'hoch vulnerabel'	1	1	0%
		Anzahl 'funktionale Gebäude'	0	0	
	Gesamt	Anzahl 'höchst vulnerabel'	0	0	
Anzahl 'hoch vulnerabel'		1	1	0%	
Anzahl 'funktionale Gebäude'		0	0		
HQ100	Altendorf	Anzahl 'höchst vulnerabel'	1	1	0%
		Anzahl 'hoch vulnerabel'	1	1	0%
		Anzahl 'funktionale Gebäude'	1	1	0%
	Ersdorf	Anzahl 'höchst vulnerabel'	1	1	0%
		Anzahl 'hoch vulnerabel'	0	0	
		Anzahl 'funktionale Gebäude'	0	0	
	Meckenheim	Anzahl 'höchst vulnerabel'	0	0	
		Anzahl 'hoch vulnerabel'	1	1	0%
		Anzahl 'funktionale Gebäude'	0	0	
	Gesamt	Anzahl 'höchst vulnerabel'	2	2	0%
		Anzahl 'hoch vulnerabel'	2	2	0%
		Anzahl 'funktionale Gebäude'	1	1	
HQ300	Altendorf	Anzahl 'höchst vulnerabel'	1	1	0%
		Anzahl 'hoch vulnerabel'	1	1	
		Anzahl 'funktionale Gebäude'	1	1	
	Ersdorf	Anzahl 'höchst vulnerabel'	1	1	0%
		Anzahl 'hoch vulnerabel'	0	0	
		Anzahl 'funktionale Gebäude'	0	0	
	Meckenheim	Anzahl 'höchst vulnerabel'	0	0	
		Anzahl 'hoch vulnerabel'	1	1	0%
		Anzahl 'funktionale Gebäude'	1	0	100%
	Gesamt	Anzahl 'höchst vulnerabel'	2	2	0%
		Anzahl 'hoch vulnerabel'	2	2	0%
		Anzahl 'funktionale Gebäude'	2	1	50%
Hinweise:					
Betroffene vulnerable Objekte					
Verbesserungen durch die Maßnahmen im Vergleich zum Istzustand					
Nicht aufgelistete Städte haben keine betroffenen vulnerablen Gebäude/Obj					

9.1.4 Gesamtbewertung Wirksamkeit im Pilotprojekt Meckenheim

Zusammenfassend wird die Wirksamkeit der Maßnahmen im Pilotprojekt Meckenheim als „mittel“ bewertet. Das Basisschutzziel wird zwar nicht flächendeckend erreicht, jedoch reduziert sich die Betroffenheit deutlich. Gleichzeitig reduziert sich die Anzahl der betroffenen Einwohner und vulnerablen Gebäude geringfügig.

9.2 Wirtschaftlichkeit

Jede betrachtete Maßnahmenvariante wird hingehend ihrer Wirtschaftlichkeit bewertet. Grundlage für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit bilden die ermittelten Nutzen-Kosten-Verhältnisse. Dabei muss unterschieden werden, ob die Maßnahmen zur Erreichung des Basisschutzes erforderlich sind oder einem weitergehendem HWS dienen.

- NKV größer 1,6: **sehr gut** im Sinne einer Nutzen-Kosten-Analyse
- NKV zwischen 0,8 und 1,6: **gut** im Sinne einer Nutzen-Kosten-Analyse
- NKV zwischen 0,2 und 0,8: **prüfungswürdig** im Sinne einer Nutzen-Kosten-Analyse; hier sind weitergehende Untersuchungen erforderlich und ggf. weitere Kriterien zu berücksichtigen.
- NKV bis 0,2 **schlecht** im Sinne einer Nutzen-Kosten-Analyse

Sehr niedrige NKV kleiner 0,2 können als Ausschlusskriterium für die Maßnahme dienen. Wenn eine solche Maßnahme dennoch weiter betrachtet werden soll, ist dies zu begründen, z. B.

- weil sie alternativlos ist oder
- weil sie zu einem übergeordneten Konzept gehört.

9.2.1 Kosten für den Basisschutz und Kosten für weitergehenden HWS

Auf Basis des Risikobasierten HWSK ergeben sich ggf. unterschiedliche Anforderungen an die HWS-Maßnahmen zur Erreichung des Basisschutzes und zur Erreichung des definierten Schutzziels.

Um die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen gezielt bewerten zu können und auch im Hinblick auf mögliche Förderungen sollte für jede erarbeitete Maßnahmenvariante überprüft werden, ob zur Erreichung des definierten Schutzziels aufwändigere Maßnahmen als zur Erreichung des Basisschutzes erforderlich sind. Dies kann zum Beispiel eine höhere Oberkante eines Linienschutzes oder ein größeres Rückhaltevolumen eines HRB sein.

Falls bei der Überprüfung festgestellt wird, dass aufwändigere Maßnahmen zur Erreichung des Schutzziels erforderlich sind, sollte für die betreffenden Maßnahmenvarianten für beide Umsetzungsvarianten eine Nutzen-Kosten-Analyse durchgeführt werden. Dazu sind die Kosten für beide Umsetzungsvarianten zu ermitteln und die jeweiligen Überflutungsflächen im hydraulischen Modell zu ermitteln. Anschließend kann jeweils das Schadenspotenzial und das Nutzen-Kosten-Verhältnis ermittelt werden (vgl. Kapitel 7).

Das Ergebnis der Nutzen-Kosten-Analyse ist in der Bewertung der Wirtschaftlichkeit für die jeweilige Umsetzungsvariante zu berücksichtigen.

9.2.2 Schadenspotenziale und Nutzen-Kosten-Verhältnis

Die Ermittlung der Schadenspotenziale und Nutzen-Kosten-Verhältnis wurde in Kapitel 7 ausführlich beschrieben.

9.2.3 Berücksichtigung der ökologischen Verbesserung durch Maßnahmen

Ökologische Maßnahmen, die sich positiv auf die Zielerreichung der WRRL auswirken, sind oft mit höheren Kosten verbunden. Da die Verbesserung der Gewässerökologie als eigenständige Kategorie in die Gesamtbewertung einfließt, sind zusätzliche Kosten durch ökologische Maßnahmen bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit nicht gesondert zu betrachten. Vielmehr wirken sich zusätzliche Kosten direkt auf die Nutzen-Kosten-Analyse aus.

9.2.4 Gesamtbewertung Wirtschaftlichkeit im Pilotprojekt Meckenheim

Die NKA in Kapitel 0 hat gezeigt, dass sich für den Planzustand ein positives NKV von 1,12 ergibt. Damit ist die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmenkonzeption als „gut“ einzustufen.

9.3 Finanzierbarkeit

Die Finanzierbarkeit der erarbeiteten Maßnahmenvarianten spielt eine wesentliche Rolle bei der Festlegung einer Vorzugsvariante. Maßgebend für die Bewertung der Finanzierbarkeit ist der nach Abzug möglicher Förderungen verbleibende, vom Maßnahmenträger zu tragende Eigenanteil. Höchst wirksame und wirtschaftliche Maßnahmenvarianten sind nicht zielführend, wenn sie durch den Maßnahmenträger nicht finanziert werden können. Die Bewertung erfolgt in den folgenden Klassen:

- sehr gut finanzierbar
- gut finanzierbar
- schwierig finanzierbar

Maßnahmen, die aufgrund eines zu hohen Eigenanteils für den Maßnahmenträger nicht finanzierbar sind, werden aus der Bewertung ausgeschlossen.

Folgende Aspekte sind bei der Finanzierbarkeit von Maßnahmen zu berücksichtigen bzw. zu bewerten:

- die Gesamtkosten (geschätzter Kostenrahmen)
- der Fördersatz
- der aufzubringende bzw. maximal mögliche Eigenanteil der Kommune

Die Bewertung der Finanzierbarkeit einer Maßnahme ist insbesondere vom aufzubringenden bzw. maximal möglichen Eigenanteil der Kommune abhängig. Die beiden in der Maßnahmenkonzeption vorgesehenen HRB können ggf. im Rahmen des überörtlichen Hochwasserschutzes mit Unterstützung des Erftverbands realisiert werden. Falls eine Beteiligung durch den EV nicht möglich ist, werden die zu tragenden Kosten als hoch eingestuft. Eine eindeutige Aussage zur Finanzierbarkeit ist im Pilotprojekt nicht möglich. Für die beispielhafte Festlegung einer Vorzugsvariante wird daher eine schwierige Finanzierbarkeit angenommen.

9.4 Verbesserung der Gewässerökologie

Ein weiteres Kriterium bei der Bewertung der Maßnahmenvarianten ist die ökologische Verbesserung des Gewässers durch die geplanten Maßnahmen. Zur Ermittlung der ökologischen Verbesserung werden alle Maßnahmen hinsichtlich ihres Einflusses auf die Gewässerökologie bewertet. Die Bewertung der einzelnen Maßnahmen erfolgt in den Klassen

- sehr positiv
- positiv
- neutral
- negativ

Folgende Grundsätze können bei der Bewertung herangezogen werden²:

- Technischer Linienschutz (Deich, HWS-Mauer, Objektschutz) wirkt negativ, wenn infolgedessen der Entwicklungsraum des Gewässers eingeschränkt wird.
- Technische Rückhaltung (HRB, Polder, Drosselbauwerk) ist zunächst neutral zu bewerten.

² Mittelung BR Münster, Frau Hiller vom 26.09.2025, ergänzt

- Ein HRB kann bei naturnaher Gestaltung (sehr) positiv wirken.
- Ein HRB im Hauptschluss ist ggf. negativer zu bewerten als ein HRB im Nebenschluss.
- Die Durchgängigkeit für Organismen, Geschiebe und Fische ist sicherzustellen. Dies ist eine Planungsaufgabe. Dabei können örtliche Restriktionen die Durchgängigkeit verhindern.
- Die Vertiefung eines Stillgewässers ist neutral, wenn dadurch keine Beeinträchtigung des Fließgewässers erfolgt.
- Für die Differenzierung zwischen positiv und sehr positiv sind die Kriterien für einen Strahlursprung geeignet, z. B.
 - mind. 500 m Länge bei kleinen Fließgewässern bzw. mind. 1.000 m bei mittelgroßen Fließgewässern ($EZG < 1.000 \text{ km}^2$)
 - naturnah gestaltetes und/oder sich eigendynamisch entwickelndes Mittelwasserbett in Primär- oder Sekundäraue
 - naturnaher Entwicklungskorridor, der für die Erreichung von mindestens dem guten ökologischen Zustand (GÖZ) oder dem guten ökologischen Potenzial (GÖP) erforderlich ist
 - naturnahe Überflutungsdynamik innerhalb der Sekundär- oder Primäraue
 - sehr positive Wirkung, wenn o. g. Kriterien und/oder ein Strahlursprung erreicht wird

Unter Berücksichtigung dieser Kriterien wurden die im HWSK angesetzten Teilmaßnahmen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Gewässerökologie bewertet (vgl. Tabelle 9-4). Im Folgenden werden die einzelnen Inhalte der Tabelle erläutert.

- Technischer Linienschutz:
Enthält die Maßnahme technischen Linienschutz und wird dabei das Gewässer eingengt?
- Technischer Rückhalt:
Enthält die Maßnahme Bauwerke des technischen Rückhalts?
- Vertiefung Stillgewässer:
Enthält die Maßnahme die Vertiefung eines Stillgewässers?
- Ökologische Aufwertung:
Ist in der Maßnahme eine ökologische Aufwertung des Gewässerabschnitts geplant?
- Strahlursprung:
Bündelt die Maßnahme Kriterien, die zur Erfüllung eines Strahlursprungs erforderlich sind.
 - Länge:
Länge des beplanten Gewässerabschnittes
 - Mittelwasserbett:
Enthält die Maßnahme ein naturnah gestaltetes und/oder sich eigendynamisch entwickelndes Mittelwasserbett in Primär- oder Sekundäraue?
 - Entwicklungskorridor:
Enthält die Maßnahme einen naturnahen Entwicklungskorridor?
 - Überflutungsdynamik Auen:
Ermöglicht die Maßnahme eine naturnahe Überflutungsdynamik innerhalb der Sekundär- oder Primäraue?
- Umfluter bzw. Flutrinne:
Wird bei der Maßnahme eine Flutrinne oder ein Umfluter angelegt?
- Bewertung:
Bewertung der Teilmaßnahme auf Basis der vorherigen Spalten.

Die Bewertung der Maßnahmenbereiche kann entsprechend Tabelle 9-4 folgendermaßen zusammengefasst werden:

- sehr gut: 0 Maßnahmenbereiche
- gut: 0 Maßnahmenbereiche
- neutral: 8 Maßnahmenbereiche
- negativ: 3 Maßnahmenbereiche

Acht der Maßnahmen erzielen somit keine Verbesserung der Gewässerökologie und drei haben negative Auswirkungen. Wird für jede Maßnahme die Punktzahl entsprechend Tabelle 9-5 angesetzt und der Mittelwert gebildet, ergibt sich ein Mittelwert von 0,73. Nach diesem Verfahren läge die Maßnahmenvariante SRRM zwischen der negativen und neutralen Klasse. Da die Mittelwertbildung auf der Anzahl der Teilmaßnahmen beruht, jedoch nicht Umfang und Größe (z. B. Länge eines Linienschutzes oder einer Renaturierung) berücksichtigt, kann die reine Mittelwertbildung nur als Orientierung dienen. Insgesamt wird durch keine einzige Maßnahme eine Verbesserung der Gewässerökologie erzielt, sodass aufgrund der vorliegenden negativen Bewertungen als ökologische Gesamtbewertung die Klasse „negativ“ angesetzt wurde. Die abschließende Bewertung der Varianten sollte immer individuell geprüft und ggf. angepasst werden.

Tabelle 9-4: Bewertung der Auswirkung auf die Gewässerökologie je Maßnahme

Nr. M.	Name Maßnahme	Geplante Maßnahmen	Techn. Linienschutz	Techn. Rückhalt	Vertiefung Stillgew.	Ökol. Aufwertung	Strahlursprung				Umfluter, Flutrinne	Bewertung
							Länge (> 500 m / 1.000 m)	Mittelwas-serbett	Entw.-korridor	Überflutung Auen		
1.1	HRB Ersdorfer Bach	Querriegel mit Drosseldurchlass (1,5 m³/s)	-	ja, HRB	-	-	-	-	-	-	-	neutral
1.2	HRB Altendorfer Bach	Querriegel mit Drosseldurchlass (3,0 m³/s)	-	ja, HRB	-	-	-	-	-	-	-	neutral
1.3	HW-Rückhalt Unterführung A61	2 Flügeldämme/deiche zur Entlastung des Durchlasses und Rückhalt im Gelände	-	ja, abseits vom Gewässer	-	-	-	-	-	-	-	neutral
1.4	HW-Rückhalt Durchlass Bachstraße / Kutzenberg	Verwallung/Mauer linksseitig des Durchlasses entlang der Straße inkl. Entlastungsöffnung im Damm oberhalb des Durchlasses	ja, Gew. eing.	-	-	-	-	-	-	-	-	negativ
1.5	HW-Schutzmauer Bachstraße	HWSM an Böschungskante - kein absoluter Schutz	ja, Gew. eing.	-	-	-	-	-	-	-	-	negativ
1.6	Abfanggraben Ersdorfer Bach	Abfanggraben parallel zum Ersdorfer Bach durch Ausbau des vorhandenen Grabenprofils	-	-	-	-	-	-	-	-	ja	neutral
1.7	Abfanggraben Altendorfer Bach	Abfanggraben parallel zum Altendorfer Bach durch Ausbau des vorhandenen Grabenprofils	-	-	-	-	-	-	-	-	ja	neutral
1.8	Retentionsraum Ersdorfer Bach / Querung L163	Erweiterung des Rückhalterums am Bachdurchlass - Verwallung	-	ja	-	-	-	-	-	-	-	neutral
1.9	Retentionsraum Altendorfer Bach A565	Retentionsraum Altendorfer Bach parallel zur A565	-	ja	-	-	-	-	-	-	-	neutral
1.10	Entlastungskanal Bonner Straße	Kanal bestehend aus Einlaufbauwerk, Kanalstrecke und Auslaufbauwerk	-	-	-	-	-	-	-	-	ja	neutral
1.11	Rückführung Wasser Mühlenstraße in Swist	Rückführung durch Flutmulde/Retentionspolder mit Gefälle zur Swist, Ausbau Straßenprofil, Verwallung Schutzmauer parallel zur Swist	ja, Gew. eing.	ja	-	-	-	-	-	-	ja	negativ

9.5 Umsetzbarkeit

Zur Bewertung der Umsetzbarkeit ist eine umfangreiche Widerstands- und Konfliktanalyse durchzuführen. Die im Folgenden dargestellten Aspekte sind für jede geplante Maßnahme zu prüfen und zu bewerten. Anschließend werden die Ergebnisse der Widerstands- und Konfliktanalyse in einer Tabelle dargestellt und je Maßnahmenvariante eine Gesamtbewertung für die Umsetzbarkeit in den Klassen

- hohes Umsetzungspotenzial,
- mittleres Umsetzungspotenzial und
- geringes Umsetzungspotenzial

durchgeführt.

Für alle im HWSK Meckenheim betrachteten Maßnahmenbereiche wurde eine detaillierte Widerstands- und Konfliktanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der Anlage 9-1 dargestellt.

Im Rahmen der Widerstands- und Konfliktanalyse werden folgende Aspekte durch eine Vielzahl von Einzelkriterien bewertet:

- Gebietsentwicklungsplan (Datenquelle: Regionalpläne NRW)
 - Siedlungsraum
 - Freiraum
 - Verkehrsinfrastruktur
- Schutzgebiete (Datenquelle: Landschaftsinformationssammlung NRW (LINFOS))
 - Internationale Schutzgebiete/IUCN (International Union for Conservation of Nature)
 - IUCN-II Nationalpark
 - IUCN-IV Biotop-/Artenschutzgebiet
 - IUCN-V Geschützte Landschaft
 - nationale Schutzgebiete
 - geschützte Biotope
- örtliche Kriterien (Detaillierung der oben genannten Kriterien)
 - Infrastruktur
 - Verkehr
 - Flächenverfügbarkeit
 - Geologie
 - Freizeit
 - Umsetzung

Die jeweiligen Bewertungskriterien der o. g. Aspekte sind in der Anlage 9-1 dargestellt. Die Kriterien Infrastruktur, Flächenverfügbarkeit und Geologie konnten anhand der vorliegenden Daten nicht bewertet werden.

Auf Basis der untersuchten Kriterien wird dem Pilotprojekt Meckenheim insgesamt ein **mittleres Umsetzungspotenzial** zugesprochen.

9.6 Festlegung einer Vorzugsvariante

Die Festlegung einer Vorzugsvariante erfolgt anhand eines Bewertungsschemas der fünf zuvor beschriebenen Kriterien. Dabei erhält jede Maßnahmenvariante (ggf. mit verschiedenen Umsetzungsvarianten) je Kriterium eine Punktzahl, welche in die Festlegung einer Vorzugsvariante einfließt (vgl. Tabelle 9-5). Die Variante, die summiert die meisten Punkte aufweist, ist als Vorzugsvariante weiter zu verfolgen. Dabei können die einzelnen Kriterien, in Abhängigkeit von den projektspezifischen Besonderheiten unterschiedlich gewichtet werden.

Tabelle 9-5: Punkteverteilung Bewertungskriterien

Wirksamkeit	
Bewertung	Punkte
hohe Wirksamkeit	3
mittlere Wirksamkeit	2
geringe Wirksamkeit	1
Wirtschaftlichkeit	
Bewertung	Punkte
sehr gute Wirtschaftlichkeit (NKV größer 1,6)	3
gute Wirtschaftlichkeit (NKV zwischen 0,8 und 1,6)	2
prüfungswürdige Wirtschaftlichkeit (NKV zwischen 0,2 und 0,8)	1
schlechte Wirtschaftlichkeit (NKV kleiner 0,2)	0
Finanzierbarkeit	
Bewertung	Punkte
sehr gut finanzierbar	3
gut finanzierbar	2
schwierig finanzierbar	1
Verbesserung der Gewässerökologie	
Bewertung	Punkte
sehr positiv, deutliche Verbesserung der Gewässerökologie	3
positiv, Verbesserung der Gewässerökologie	2
neutral, weder positive noch negative Auswirkungen	1
negative Auswirkung auf die Gewässerökologie	0
Umsetzbarkeit	
Bewertung	Punkte
hohes Umsetzungspotenzial	3
mittleres Umsetzungspotenzial	2
geringes Umsetzungspotenzial	1

Dabei können die einzelnen Kriterien in Abhängigkeit von den projektspezifischen Besonderheiten unterschiedlich gewichtet werden. Folgende Gewichte erhalten die Kriterien in der Standardgewichtung (s. Tabelle 9-6).

Tabelle 9-6: Standardgewichte der Bewertungskriterien

Bewertungskriterium	Gewicht
Wirksamkeit	1
Wirtschaftlichkeit	0,5
Finanzierbarkeit	0,5
Verbesserung der Gewässerökologie	1
Umsetzbarkeit	1

Damit die „monetäre Bewertung“ im Vergleich zu den weiteren Bewertungskategorien nicht überbewertet wird, wird die Wirtschaftlichkeit und die Finanzierbarkeit getrennt ermittelt und bei der Gewichtungungsverteilung 1 („gleichmäßige Gewichtung“) jeweils mit einem Gewicht von 0,5 angesetzt.

Die Variante, die summiert die meisten mit den Gewichten multiplizierten Punkte erreicht, ist als Vorzugsvariante weiter zu verfolgen.

In Tabelle 9-7 wurde die Gesamtbewertung für den Planzustand beispielhaft durchgeführt.

Tabelle 9-7: Gesamtbewertung für den Planzustand

Kriterium	Bewertungsbandbreite	Gewicht	Bewertung Planzustand
Wirksamkeit	3, 2, 1	1	2
Wirtschaftlichkeit	3, 2, 1, 0	0,5	2
Finanzierbarkeit	3, 2, 1	0,5	1
Ökologische Verbesserung	3, 2, 1, 0	1	0
Umsetzbarkeit	3, 2, 1	1	2
Summe			5,5

10 Zusammenfassende Bewertung des Risikobasierten HWSK

Im Pilotprojekt Meckenheim wurden die entwickelten Verfahrensweisen und die zugehörigen Ergebnisse für den Planzustand im Hinblick auf das Risikobasierte HWSK detailliert dargestellt. Es wird gezeigt, dass die Anwendung „funktioniert“. Im Rahmen der Pilotprojekte wurden durch unterschiedliche Sensitivitätsanalysen die sinnvollsten Verfahrensweisen und Ergebnisdarstellungen ermittelt („Best Practice“).

Im Rahmen des Verfahrens werden Karten, Daten und Ergebnisse ermittelt, auf deren Basis das Erfordernis von Maßnahmen und deren Wirkung sehr gut beurteilt werden kann. Folgende Ergebnisse werden ermittelt und sind Grundlage für das Risikobasierte HWSK:

- hydrologische Berechnungen zur Ermittlung von Hochwasserwellen unterschiedlicher Jährlichkeiten
- hydraulische 2D-Berechnungen als Basis für die Ermittlung von Gefahrenzonen und Risikobereichen:
 - Ausuferungen
 - Wassertiefen
 - Fließgeschwindigkeiten
- Karten:
 - für Vulnerabilitätsbereiche
 - für Gefahrenzonen
 - für Risikobereiche
- Schadenspotenziale auf der Grundlage eines modifizierten BEAM-Ansatzes
- Maßnahmenkosten
- Nutzen-Kosten-Analysen
- Bewertungskriterien für Varianten:
 - Umsetzbarkeit
 - Wirksamkeit
 - Wirtschaftlichkeit
 - Finanzierbarkeit
 - ökologische Verbesserung
- Gesamtbewertung zur Festlegung einer Vorzugsvariante

Nachfolgend werden die Aspekte dargestellt, die durch die Anwendung des Risikobasierten HWSK im Vergleich zu den herkömmlichen HWSK eine deutliche Verbesserung der Verfahrensweise darstellen:

- Die zusätzlich erforderlichen Grundlegendaten sind in NRW alle frei verfügbar.
- Maßgebliche Verfahrensweisen wurden im Rahmen des Pilotprojektes detailliert untersucht und ein „Best Practice“ für folgende Arbeitsinhalte erarbeitet:
 - Schadenspotenzialberechnung
 - Ermittlung von Maßnahmenkosten
 - Nutzen-Kosten-Analyse
 - Variantenbewertungen
- Durch die Festlegung von Vulnerabilitätsbereichen wird der Fokus bei den Hochwasserschutzmaßnahmen auf geschlossene Siedlungsgebiete bzw. Einzelbebauungen gerichtet.
- Die Karten der Risikobereiche zeigen deutlich, für welche vulnerablen Gebiete Hochwasserschutzmaßnahmen aus der Sicht des Personenschutzes erforderlich sind.

- Die Entwicklung von Hochwasserschutzmaßnahmen ist durch das Risikobasierte HWSK zielgerichteter, d.h. die Maßnahmenkulisse unterscheidet sich von herkömmlichen HWSK.
- Durch das Zulassen von Überflutungen in den Bereichen, in denen der Basisschutz eingehalten ist, können Maßnahmen z. T. entfallen.
- Durch das Zulassen von Überflutungen in den Bereichen, in denen der Basisschutz eingehalten ist, können Maßnahmen z. T. einen geringeren Umfang besitzen bzw. weniger hoch ausfallen.
- Zum Teil wird das Basisschutzziel trotz Überschwemmungen bei HQ100 und HQ300 erreicht, obwohl Überflutungen in den Siedlungsgebieten vorliegen. Dies zeigt, dass das Risikobasierte HWSK somit im Vergleich zu standardmäßigen HWSK, die auf überflutungsfreie Gebiete zielen, durch alternative Schutzziele ggf. kleinere Maßnahmen erfordert. Bei herkömmlichen HWSK war eine Überflutung von bebauten Gebieten für das Schutzziel generell nicht erlaubt.
- Bei herkömmlichen HWSK wird i. d. R. ein Schutzziel im Vorfeld vorgegeben. Das Risikobasierte HWSK ermöglicht es, durch die Darstellung der Risikobereiche für den Istzustand ein bereichsweise erforderliches Schutzziel zu definieren. Diese kann auch ein HQ30 sein, wenn beim HQ100 und HQ300 der Basisschutz bereits besteht.
- Bei herkömmlichen HWSK liegt das Schutzziel i. d. R. bei HQ100. Ein Überlastfall war nicht zwingend zu betrachten. Beim Risikobasierten HWSK wird ergänzend ein höherer Hochwasserabfluss untersucht (HQ300). Daher können die erforderlichen Maßnahmen z. T. umfangreicher oder höher ausfallen. Dies erhöht gleichzeitig die Sicherheit der potenziell betroffenen Personen.
- Die Vorgabe, dass Deiche (auch im Überlastfall) nicht überströmt werden dürfen, kann dazu führen, dass die geplanten Deiche trotz 50 cm Freibord erhöht werden müssen.
- Weiterhin ist im Rahmen eines zukünftig durchzuführenden Risikobasierten HWSK zu prüfen, wie mit geringfügigen Überschreitungen des Basisschutzziels in geschlossenen Ortschaften umgegangen wird, wenn z. B. in einer größeren Ortschaft nur kleinste rot eingefärbte Risikoflächen vorliegen. Hier müssten ggf. nicht unbedingt umfangreiche Maßnahmen erforderlich sein, die die gesamte Ortschaft schützen würden. Es ist sinnvoller und wirtschaftlicher hier Objektschutzmaßnahmen zu entwickeln, sodass es z. B. zu einer Maßnahmenkombination aus Linienschutz und Objektschutz kommt.
- Durch die Berücksichtigung von potenziell betroffenen und geschützten Einwohnern wird die Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen weitergehend sinnvoll ergänzt.
- Durch die Berücksichtigung von potenziell betroffenen und geschützten vulnerablen Objekten wird die Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen weitergehend sinnvoll ergänzt.
- Durch die Berücksichtigung von weiteren „Risiko-Hotspots“ kann die Defizitanalyse und Maßnahmenplanung zielgerichteter durchgeführt werden.
- Durch die Ermittlung eines Nutzen-Kosten-Verhältnisses kann die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme bzw. Maßnahmenkombination bewertet werden. Das NKV ist jedoch nur ein Aspekt zur Beurteilung von sinnvollen Hochwasserschutzmaßnahmen. Daher ist dieser Wert im Einzelfall zu bewerten.
- Die nicht-monetären Faktoren, die sogenannten sozioökonomischen Aspekte werden durch das Risikobasierte HWSK bei der Bewertung der Maßnahmen berücksichtigt.
- Durch standardisierte Bewertungsmatrizen können für die fünf Kategorien Umsetzbarkeit, Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit, Finanzierbarkeit und ökologische Verbesserung belastbare Bewertungen der Varianten bzw. Maßnahmen erfolgen.
- Die Gesamtbewertung aus den fünf Kategorien erfolgt ebenfalls durch ein standardisiertes Bewertungsschema, sodass eine Vorzugsvariante benannt werden kann.
- Das Ergebnis der Gesamtbewertung und somit die Beurteilung einer Vorzugsvariante kann abhängig von der angesetzten Gewichtung variieren.

11 Literatur und verwendete digitale Daten sowie EDV-Programmsysteme

- BW Land Baden-Württemberg (Hrsg.) 2019: Arbeitshilfe zur Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen in Baden-Württemberg. Wiesbaden & München
- DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (Hrsg.) 1984: Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluß-Modellen in kleinen Einzugsgebieten, Teil II: Synthese. (DVWK Regel 113) Hamburg, Berlin
- DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (Hrsg.) 1985: Ökonomische Bewertung von Hochwasserschutzwirkungen. (DVWK-Mitteilungen, Heft 10) Bonn
- DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.) 2012: Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). 8. überarbeitete Auflage, Hennef
- DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.) 2016: Merkblatt DWA-M 119. Risikomanagement kommunale Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen. Hennef
- Geomer GmbH & Rodriguez, Zeisler, Blank Ingenieurgesellschaft für Wasserbau und Wasserwirtschaft 2018: Anwendungsanleitung. Bewertung des Hochwasserrisikos auf der Grundlage von Schadenspotenzialen. Anwendung von Schadensfunktionen in repräsentativen Beispielsregionen. Heidelberg & Wiesbaden
- Geomer GmbH 2018: BEAM-DE Basic European Assets Map 2018. Nutzerhandbuch. Heidelberg
- Hochwasserkommission Kommission „Hochwasserschutz in Zeiten des Klimawandels“ (Hrsg.) 2024: Empfehlungen zur Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten in NRW. Ergebnisdokument der Unterarbeitsgruppe „Hochwasserschutzkonzepte“. Stand 29.11.2024. Düsseldorf
- Hofmann, Julian 2025: 20250611_UAG_KG_Hofmann_Impulskräfte_Update_v2.pdf. Zugelassen am 11.06.2025
- Hydrotec 2023 (auch EMP Wurm): Entwurf Masterplan Wurm. Hydraulische Berechnung von Maßnahmen, Schadenspotenzialanalysen und Risikoermittlung. Aachen. Studie im Auftrag des Wasserverbands Eifel-Rur, Düren
- Hydrotec 2024: Handlungskonzept Kommunales Starkregenrisikomanagement für die Stadt Meckenheim. Aachen. Studie im Auftrag der Stadt Meckenheim
- Hydrotec 2025: Empfohlener Ablauf zur Erstellung Risikobasierter Hochwasserschutzkonzepte in NRW. Aachen. Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen
- Hydrotec 2025: Hochwasserrisikomanagementplanung in NRW 2022-2027. GIS-Auswertungen HWSA-Kataster. Aachen. Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
- Hydrotec 2025: Untersuchung der Auswirkungen von Überflutungen infolge von Starkregen auf dem Gebiet der Stadt Meckenheim. Aachen. Studie im Auftrag der Stadt Meckenheim
- Kutschera, Gesa 2008: Analyse der Unsicherheiten bei der Ermittlung der Schadenspotentiale infolge Überschwemmung. [Dissertation an der Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen] Aachen

- Junghänel, T.; Bär, F.; Deutschländer, T.; Haberlandt, U.; Otte, I.; Shehu, B.; Stockel, H.; Stricker, K.; Thiele, L.-B.; Willems, W. 2022: Methodische Untersuchungen zur Novellierung der Starkregenstatistik für Deutschland (MUNSTAR). Synthesebericht. 95 pp
- Junghänel, T.; Ertel, H. & Deutschländer, T. 2017: KOSTRA-DWD 2010R. Bericht zur Revision der koordinierten Starkregenregionalisierung und -auswertung des Deutschen Wetterdienstes in der Version 2010. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main
- LAWA Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.) 2022: Empfehlungen für die Überprüfung der vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos und der Risikogebiete nach EG-HWRM-RL. (Handlungsempfehlung. Hochwasserschutz und Hydrologie) München - https://www.wasserblick.net/servlet/is/219256/20220927_Empfehlung-PFRA-Anlage.pdf
- LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) 2016: Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg. Karlsruhe.
- LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) 2020: Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg. Anhänge 1 a, b, c zum Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement. Karlsruhe
- Maniak, Ulrich 2017: Hydrologie und Wasserwirtschaft: Eine Einführung für Ingenieure. Heidelberg
- Mendel, H. G. (2000): Elemente des Wasserkreislaufs: eine kommentierte Bibliographie zur Abflussbildung. Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.), Berlin
- MUNV Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (Hrsg.) 2018: Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement. Hochwasserrisikomanagementplanung in NRW. Düsseldorf

Verwendete digitale Daten

Basis-DLM (ATKIS) Siedlung Daten

- Name: sie01_f.shp
- Quelle <https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/lm/akt/basis-dlm/>

BEAM Datensatz (2021): Schadenspotenzial auf der Grundlage der bereitgestellten Version des BEAM (Basic European Assets Map) Datensatzes für Deutschland mit Stand 2021. Verfügbar unter <https://www.wasserblick.net/servlet/is/219256/>, abgerufen September 2022

DBD-Baupreise für STLB-Bau, Version 2022-10: Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen (GAEB), Bonn; umgesetzt von Dr. Schiller & Partner GmbH, Dresden

Gebäude Daten (ALKIS)

- Name: ave_GebaeudeBauwerk.shp
- Quelle: NRW ALKIS WFS Dienst (https://www.wfs.nrw.de/geobasis/wfs_nw_alkis vereinfacht)

Industrieanlagen HWRM („IED-, PRTR- bzw. Störfallanlagen“)

- Name: umweltrelevante_industrieanlagen.shp
- Quelle: WasserBLick

Ortschaften (ALKIS)

- Name: ave_Gemarkung.shp
- Quelle: NRW ALKIS WFS Dienst (https://www.wfs.nrw.de/geobasis/wfs_nw_alkis vereinfacht)

Planungskosten: gemäß HOAI §44 Honorarzone III Basissatz für die LP 1-9 auf der Grundlage der abgeschätzten Baukosten

STLB-Bau, Version 2022-10: Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen (GAEB), Bonn; umgesetzt von Dr. Schiller & Partner GmbH, Dresden

Zensus 2022 (100x100 m Rasterzellen mit Einwohnerwerten)

- Name: Zensus2022_Bevölkerungszahl_100m-Gitter_Nordrhein-Westfalen
- Quelle: Destatis (https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Zensus2022/_inhalt.html#1403950)

Verwendete EDV-Programmsysteme

ArcGIS Desktop®, Version 10.8	-	ESRI, Redlands (CA), USA
ArcGIS Pro®, Version 3.0	-	ESRI, Redlands (CA), USA
HydroAS, Version 6.2.5	-	Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen
HydroAS MapView, Version 1.5	-	Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen
HydroAS MapWork, Version 6.1	-	Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen
QGIS, Version 3.40 LRT	-	QGIS.org, QGIS Geographic Information System, QGIS Association
SMS, Version 13.3	-	AQUAVEO, Provo (Utah), USA