



Empfehlungen zur Erstellung von risikobasierten Hochwasserschutzkonzepten in NRW

Ergebnisdokument der
Unterarbeitsgruppe „Hochwasserschutzkonzepte“ zur
Kommission „Hochwasserschutz in Zeiten des Klimawandels“

Anhang

Stand 01.12.2025

Inhalt

Zu 2: Fachliche Grundlagen risikobasierter Hochwasserschutzkonzepte	3
Zu 2.4: Definition des Schutzes vor wirtschaftlichen Schäden (erweiterter Schutz) – Nutzen-Kosten-Verhältnis	3
Zu 3: Methodische Vorgehensweise zur Aufstellung risikobasierter Hochwasserschutzkonzepte	5
Zu 3.1.1.1: Grundsätze der Betroffenheitsanalyse	5
Zu 3.1.1.2: Ermittlung der Gefahren für Leib und Leben (Gefahrenzonen und Risikobereiche)	6
Zu 3.1.1.3: Ermittlung der Schadenspotenziale	10
Zu 3.1.3: Maßnahmenkonzeption	13
Zu 3.1.3.1: Grundsätze - Potenzielle Maßnahmen und Kostenrahmen	13
Zu 3.1.3.2: Identifikation und Modifikation geeigneter Maßnahmen - Maßnahmenkategorien	13
Zu 3.1.3.5.: Ermittlung der Kosten - Methoden zur Aufstellung eines Kostenrahmens	16
Zu 3.1.3.6.: Überprüfung der Einhaltung des Basisschutzes – Umgang mit nicht für eine Überströmung zugelassenen HWS-Anlagen	18
Zu 3.1.4.5: Bewertung der Gewässerökologie - Verbesserung	19
Zu 3.1.4.6: Bewertung der Umsetzbarkeit	20
Zu 3.1.5: Auswahl einer Vorzugsvariante	20
Zu 3.3.: Zusammenfassung der Erkenntnisse der Pilotprojekte	24
Zu 3.2: Räumlicher Umgriff	29

Zu 2: Fachliche Grundlagen risikobasierter Hochwasserschutzkonzepte

Zu 2.4: Definition des Schutzes vor wirtschaftlichen Schäden (erweiterter Schutz) – Nutzen-Kosten-Verhältnis

Bei der Festlegung des erweiterten Schutzzieles (Hochwasserfreiheit) sind der monetäre Nutzen einer Maßnahme und der dafür erforderliche Aufwand gegenüberzustellen (Nutzen-Kosten-Verhältnis).

Der Nutzen einer Maßnahme lässt sich aus den Schadenspotenzialen einer betroffenen Siedlung berechnen. Dazu werden zunächst die Schäden in Abhängigkeit verschiedener hydrologischer Lastfälle (HQ_x) ohne Maßnahme (IST-Zustand) berechnet. Trägt man die berechneten Schäden (in €) grafisch über die Eintrittswahrscheinlichkeit ($1/a$) des zugehörigen Hochwasserereignisses auf (Abbildung 1, blaue Kurve) und integriert die Fläche der Schadenswahrscheinlichkeiten, erhält man die jährliche Schadenserwartung in €/a. Diese Summe entspricht einem „jährlichen Rücklagebetrag“, mit dem theoretisch auf alle Zeit Hochwasserschäden abgegolten werden könnten.

Eine auf ein Hochwasser HQ_{Ziel} bemessene Hochwasserschutzmaßnahme bewirkt in dem Hochwasserschadensdiagramm eine Reduzierung der Schäden bis auf 0 bzw. nahezu 0 (Abbildung 1, rote Kurve). Bei selteneren Hochwasserereignissen als dem Hochwasserschutzziel HQ_{Ziel} nähern sich die Schäden wieder dem ursprünglichen Schaden ohne Hochwasserschutz an, da der Hochwasserschutz bei Ereignissen über der Bemessung an Wirksamkeit verliert. Die Fläche unter dieser Kurve ist das verbleibende monetäre Risiko (monetäres Restrisiko). Die Fläche zwischen den beiden Schadenskurven entspricht dem vermiedenen Schaden (mittlere jährliche Schadensminderung) und somit dem Nutzen einer Maßnahme.

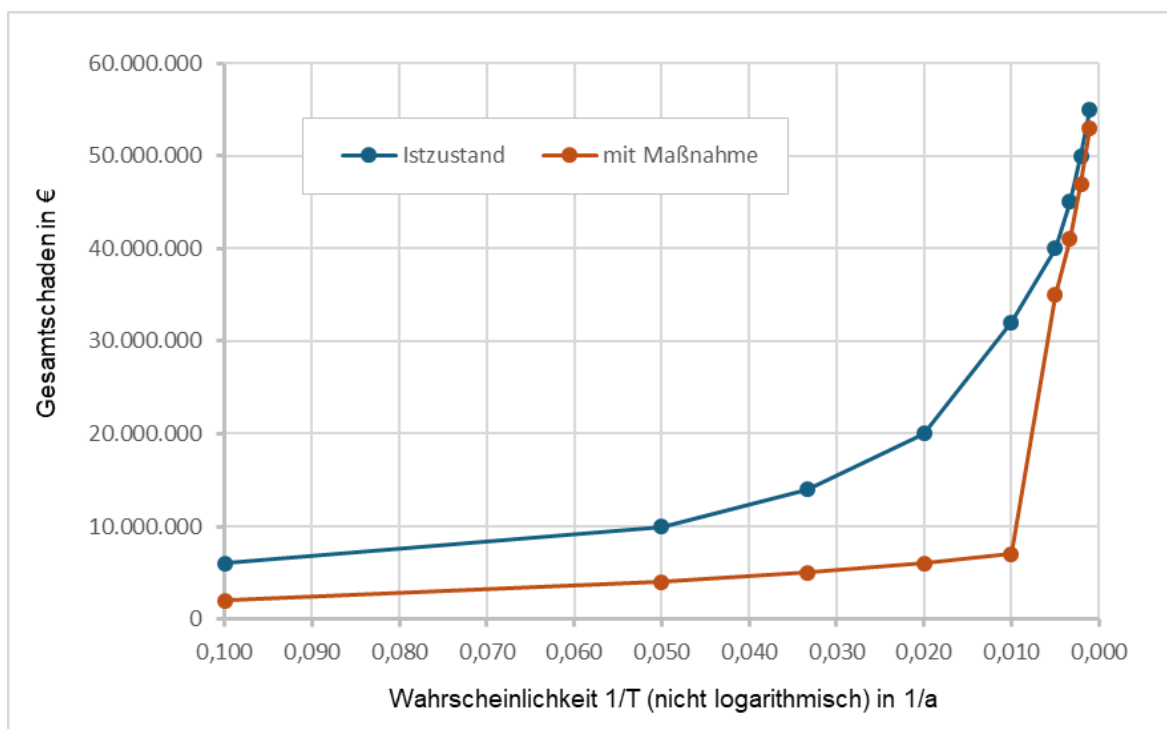


Abbildung 1: Beispielhaftes Hochwasserschadensdiagramm: Gesamtschaden Istzustand (blau) und Schadensminderung (rot) für unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten

Der Aufwand für eine Hochwasserschutzmaßnahme ergibt sich aus den dafür erforderlichen Herstellungs-, Betriebs- und ggf. Wiederbeschaffungskosten. Diese können z. B. anhand einer Projektkostenbarwertberechnung gemäß den Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen der DWA (2012) ermittelt werden, sie berücksichtigt u. a. auch die Lebensdauer des Hochwasserschutzbauwerkes.

Damit die mittlere jährliche Hochwasserschadensminderung mit dem Projektkostenbarwert verglichen werden kann, wird sie über eine Diskontierung unter Berücksichtigung der Lebensdauer der vorgesehenen HWS-Maßnahme in den Projektnutzenbarwert umgerechnet.

Aus dem Quotienten von „Projektnutzenbarwert ÷ Projektkostenbarwert“ ergibt sich schließlich das Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV).

Zu 3: Methodische Vorgehensweise zur Aufstellung risikobasierter Hochwasserschutzkonzepte

Zu 3.1.1.1: Grundsätze der Betroffenheitsanalyse

Besonderheiten für den Bereich A (EZG < 25 km²)

In Kopfgebieten stehen Starkregen- und Hochwasserereignisse in direktem Zusammenhang und treten mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit zeitgleich auf. Daher sind in diesen Gebieten innerhalb des Siedlungsbereichs neben den Überflutungen im Gewässerbereich auch Hauptfließwege hin zum Gewässer zu betrachten.

Gleichzeitig können Teilbereiche des Untersuchungsraums des HWSK auch größere EZG aufweisen, die einen klassischen Ansatz nach der Methodik der Gewässerhydraulik erfordern.

Daher müssen die Berechnungsergebnisse für die weitere Bearbeitung für die Anwendung des risikobasierten Hochwasserschutzkonzeptes folgendermaßen aufbereitet werden:

- Kopfgebiete (EZG < 25 km²)
 - Für das HQ30 werden nur Überflutungen im Gewässerbereich betrachtet. Grund ist, dass in Siedlungsgebieten für HQ30 Abflüsse auf Grund der geringeren Kapazität der Kanalisation kein Basisschutz (Wassertiefe „null“) hergestellt werden kann.
 - Für HQ100 und HQ300 werden Überflutungen im Gewässerbereich sowie Fließwege mit Risikobereichen betrachtet.
- Gebiete mit EZG > 25 km²
 - Für alle HQx sind die Überflutungen im Gewässerbereich für die Betroffenheitsanalyse und die Maßnahmenkonzeption vorrangig zu betrachten.
 - Für die Überprüfung der Binnenentwässerung sind die vorliegend Starkregensimulationen zu beachten.

Da die Modellbelastung in Kopfgebieten flächig erfolgt, liegen im gesamten Modellgebiet Überflutungsflächen vor. Für die spätere Maßnahmenplanung und zur Festlegung der Bereiche, die zum kommunalen Starkregenrisikomanagement bzw. zum gewässerbezogenen Hochwasserschutzkonzept gehören, ist daher eine Abgrenzung der Gewässerbereiche erforderlich.

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 in den Pilotprojekten untersucht wurden.

Zu 3.1.1.2: Ermittlung der Gefahren für Leib und Leben (Gefahrenzonen und Risikobereiche)

Schutz wichtiger Einrichtungen der öffentlichen Daseinsvorsorge

Einrichtungen der öffentlichen Daseinsvorsorge stellen einen weiteren Gefährdungsbereich dar, die einen besonderen Schutzbedarf auslösen können. Im Folgenden wird eine Orientierung für die Kategorisierung der jeweiligen Vulnerabilität gegeben:

1. 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
2. hoch vulnerabel: Objekte, in denen sich potenziell Personen aufhalten, die sich ggf. zum Teil nicht eigenständig aus dem Gefahrenbereich begeben können.
Beispiele: Schule, Jugend- und Freizeitheim, Kindergarten
3. 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 1 zeigt für die drei Unterklassen mögliche Vulnerabilitätsstufen der Einzelobjekte.

Funktion des Objekts	Klasse	Besonders vulnerabel
Ärztehaus, 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
Schwesternwohnheim	2	hoch vulnerabel
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

Tabelle 1: Orientierungshilfe zu besonders vulnerablen Einzelobjekten und einer möglichen Einstufung nach Unterklassen

Die Abbildung 2 zeigt beispielhaft eine Karte, in der diese Einrichtungen abhängig von ihrer Klasseneinstufung farblich gekennzeichnet und im Hinblick auf ihre Funktion beschrieben sind.

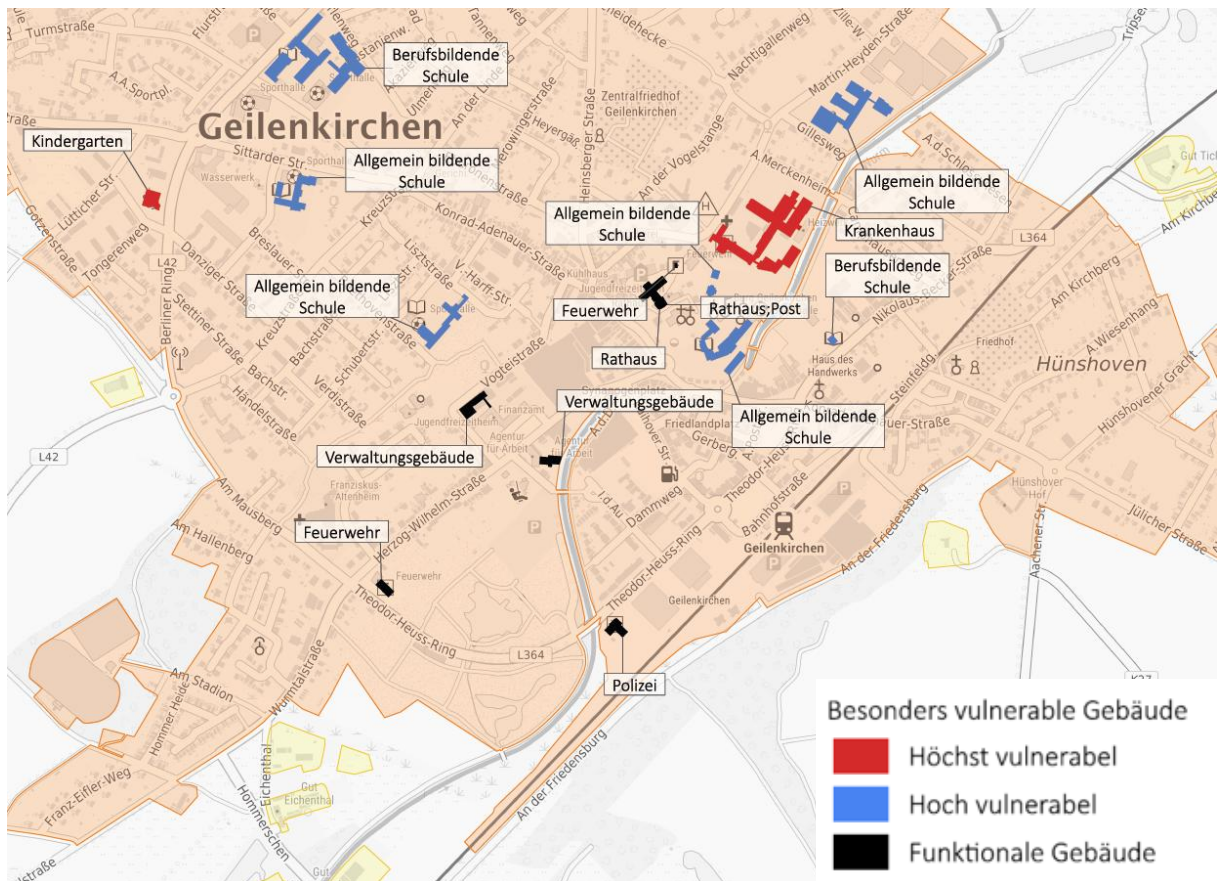


Abbildung 2: Beispielkarte Vulnerabilitätsbereiche

Darüber hinaus können erforderlichenfalls auch weitere relevante Risikopunkte berücksichtigt werden:

- **Industrieanlagen:** Dies sind Anlagen von denen im Hochwasserfall besondere Gefahren ausgehen können (IED-, PRTR- bzw. Störfallanlagen).
- **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), wie z. B.:
 - 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.

Verringerung der Hochwasserbetroffenheit

Ein Hochwasserereignis stellt für jeden Betroffenen eine außergewöhnliche Herausforderung dar, deren Bewältigung großer physischer, psychischer und finanzieller Kräfte bedarf. Die Fähigkeit, ein solches Ereignis erfolgreich bewältigen zu können, hängt stark von der persönlichen Vulnerabilität ab. In schlimmen Fällen können Traumatisierungen oder der Verlust der (wirtschaftlichen) Existenzgrundlage eintreten. Mit steigender Betroffenenzahl bei einem Hochwasserereignis nimmt auch die Anzahl der hochvulnerablen Personen zu, die ein Hochwasserereignis kaum oder gar nicht bewältigen können.

Die Auswirkung von Hochwasserbetroffenheit geht über die Einzelpersonen hinaus. Wird ein Großteil einer Ortschaft oder eines Stadtquartiers überschwemmt, ist eine Vielzahl von Personen durch die eigene Ereignisbewältigung gebunden und kann den (hoch)vulnerablen Nachbarn nicht mehr unterstützen und bedarf womöglich selber der Hilfe. Dies kann, je nach Größe der betroffenen Kommune, auch die eigene Gefahrenabwehr an den Rand der Leistungsfähigkeit oder darüber hinaus bringen. So dürfte bei Überschwemmungen von Innenstadtlagen oder mehrerer Ortsteile gleichzeitig überörtliche Hilfe erforderlich werden.

Die Angabe der Anzahl der hochwasserbetroffenen Einwohnerinnen und Einwohner dient, wie die der besonders vulnerablen Objekte der öffentlichen Daseinsvorsorge, der Einschätzung der Höhe der Hochwasserbetroffenheit einer Ortslage. Sie sollte daher bei der Betroffenheitsanalyse ermittelt und bei der Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit analysiert werden.

Als Datenbasis für die Erfassung der betroffenen Einwohnerinnen und Einwohner können beispielsweise die deutschlandweit vorliegenden ZENSUS-Daten von 2022 (100-x-100-m-Rasterzellen mit Einwohnerwerten) verwendet werden oder, falls vorhanden, örtlich vorliegende genauere Daten.

Es bietet sich an, die Gesamtzahl der betroffenen Einwohnerinnen und Einwohner entsprechend der 5 Gefahrenzonen für Leib und Leben weiter aufzuteilen. Mit der Anzahl der betroffenen Personen je Gefahrenzone kann ein schneller Überblick über die Schwere der Hochwasserbetroffenheit und eine wichtige Grundlage für die Überprüfung der Einhaltung der Basis-schutzziele geschaffen werden.

In der Abbildung 3 ist beispielhaft die Gesamtzahl der hochwasserbetroffenen Personen und ihre Aufteilung in die Gefahrenzonen dargestellt.

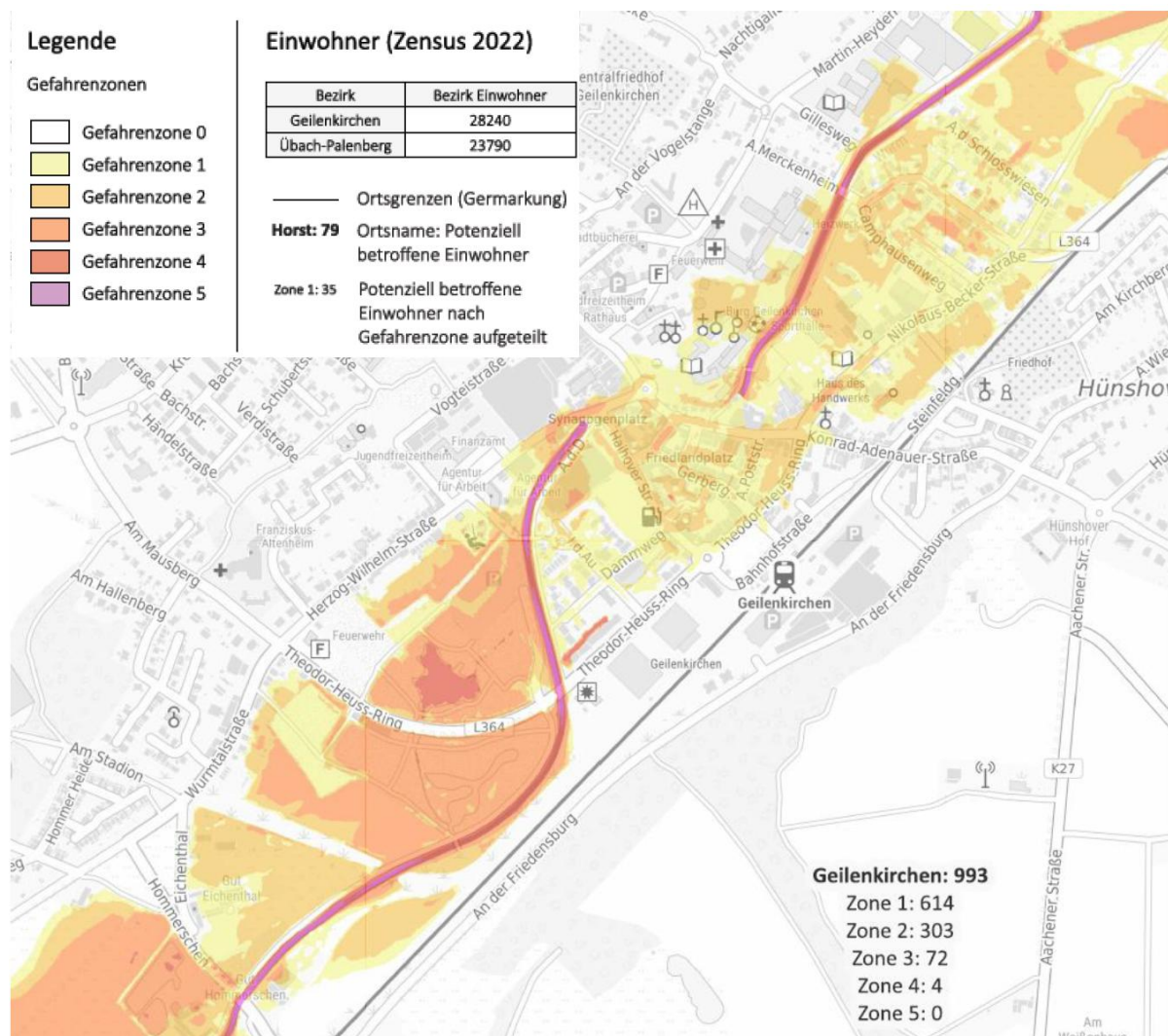


Abbildung 3: Beispiel Kartendarstellung für betroffene Einwohnerinnen und Einwohner (hier: Gefahrenzonenkarte HQ300 Istzustand)

Zu 3.1.1.3: Ermittlung der Schadenspotenziale

Die Ermittlung von Schadenspotenzialen kann auf verschiedene Weisen erfolgen. Es wird insbesondere zwischen einer objektscharfen und einer flächenbezogenen Betrachtung unterschieden. Für die objektscharfe Betrachtung müssen entsprechende Daten für typische Gebäudekategorien vorliegen. Die Genauigkeit der Ergebnisse hängt hier maßgeblich davon ab, wie genau diese Gebäudekategorien erfasst werden und wie aktuell die zugewiesenen Vermögenswerte sind. Bei einer flächenbezogenen Betrachtung werden den verschiedenen Landnutzungen Vermögenswertkategorien zugeordnet, über die der Schaden in Abhängigkeit vom Wasserstand berechnet werden kann. Einen solchen flächenbezogenen Ansatz ermöglicht der BEAM-Datensatz¹ (Basic European Assets Map) (siehe Literaturverzeichnis Ergebnisdokument), der für die gesamte EU und somit auch für Deutschland verfügbar ist. Für die Ermittlung der Schadenspotenziale in risikobasierten Hochwasserschutzkonzepten in NRW wird die Nutzung des flächenbezogenen Ansatzes auf Grundlage des BEAM-Datensatzes

¹ <https://www.wasserblick.net/servlet/is/219256/>;

empfohlen, da dieser sich bereits bewährt hat, einen niederschweligen Zugang und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse bietet und für die betrachtete Skala sachgerecht ist.

Die Landnutzungskategorien des BEAM-Ansatzes basieren auf dem CORINE-Land-Cover (CLC5-2018²) und dem Urban Atlas Land Cover/Land Use 2018 Datensatz³. 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 Schädigungsfunktionen 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.

Im Rahmen der Bearbeitung der Pilotprojekte (siehe Ergebnisdokument, Kapitel 3.3.2) sowie basierend auf den Erfahrungen aus weiteren abgeschlossenen Projekten wurde der Bedarf von sachgerechten Anpassungen am BEAM-Verfahren ermittelt. Die konkreten Anpassungsbedarfe wurden in den Pilotprojekten erarbeitet.

Im Folgenden sind die Empfehlungen zur Verwendung des BEAM-Datensatzes sowie zu den erforderlichen Anpassungen aufgeführt:

- Ausgangsdatenbasis ist der Original BEAM-Datensatz ⁴.
- Der Gewässerschlauch ist von der Schadensberechnung auszuklammern
Erläuterung: Dadurch werden Fehlzusweisungen von Nutzungsflächen in BEAM im Außenbereich vermieden, so wie die Berechnung von großen fehlerhaften Schäden in Gewässern verursacht durch große Fließtiefen und hohe Geschwindigkeiten
- Auf die Schadensfunktionen und Maximalschäden soll ein Multiplikationsfaktor angewandt werden, um die als zu gering bewerteten Schäden bei höheren Hochwasserabflüssen auszugleichen.
Konkretisierung: In durchgeführten Projekten zeigt ein Abgleich mit realen Schadensdaten eine Unterschätzung der Schadensfunktionen im BEAM-Datensatz. Im Pilotprojekt Wurm (siehe Anhang Pilotprojekt Wurm) wurde ein erforderlicher Faktor von 1,5 identifiziert. In anderen Einzugsgebieten kann sich aufgrund anderer Randbedingungen ein anderer Multiplikationsfaktor als zielführend erweisen.
- Bei Verwendung des BEAM-Datensatzes von 2018 sind Preissteigerungen seit dem Zeitpunkt der Herausgabe des jeweils aktuellen BEAM-Datensatzes zu berücksichtigen. Nach aktuellen Informationen (Hochwassertag der DWA am 25.11.2025) wird in Kürze ein überarbeiteter Datensatz veröffentlicht. Dann entfällt dieser Preissteigerungsansatz. Es wird empfohlen, die oben beschriebenen Anpassungen beizubehalten und im Falle vorliegender Schadensdaten ggf. zu überprüfen.
- Impulsschäden können optional berücksichtigt werden
Konkretisierung: Im Rahmen der Erarbeitung der Empfehlungen wurde ein Vorschlag zur Berücksichtigung von Impulsschäden untersucht. Dieser Ansatz besagt, dass bei größeren Wassertiefen bzw. Fließgeschwindigkeiten die potenziellen Schäden in Abhän-

² <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/open-data/corine-land-cover-5-ha-stand-2018-clc5-2018.html>

³ <https://land.copernicus.eu/en/products/urban-atlas/urban-atlas-2018>

⁴ <https://www.wasserblick.net/servlet/is/219256/?highlight=beam>

gigkeit von den Gefahrenzonen höher sein können. Die Gefahr des Teil- bzw. Totalversagens von Gebäuden wird durch einen dreistufigen Impulsfaktor bei den BEAM-Berechnungen berücksichtigt (Faktoren 1,0, 1,5 und 2,0).

Abbildung 4 zeigt diesen Impulsfaktorsansatz.

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

Abbildung 4: Ansatz eines Impulsfaktors für die BEAM-Schadenspotenzialberechnung

Bei der Ermittlung der Schadenpotenziale auf Grundlage des BEAM-Datensatzes eignet sich diese Betrachtung, falls Impulsschäden einen relevanten Einfluss haben. Dies ist insbesondere bei hohen Fließgeschwindigkeiten (z. B. im Mittelgebirge) der Fall. Die Schadenssummen können sich durch Anwendung des Ansatzes bei allen Jährlichkeiten spürbar erhöhen. Die Berücksichtigung des Impulsansatzes kann optional ergänzend angesetzt werden.

Im Zuge der Schadenspotenzialberechnungen sind grafische Darstellungen der berechneten Schäden hilfreich, um die Schadenszuwächse je Hochwasserjährlichkeit zu bewerten.

In Kopfgebieten muss bei der Schadenspotenzialberechnung die Abgrenzung der Überflutungsbereiche berücksichtigt werden. Danach gilt auch für die Schadenspotenzialberechnung (siehe Ausführungen zu den Grundsätzen der Betroffenheitsanalyse in Kapitel 3.1.1 im Ergebnisdokument).

- Kopfgebiete (EZG < 25 km²)

Für das HQ30 werden nur Überflutungen im Gewässerbereich betrachtet.

Für das HQ100 und HQ300 werden Überflutungen im Gewässerbereich sowie außerhalb davon betrachtet.

- Gebiete mit EZG > 25 km²

Für alle HQx werden nur Überflutungen im Gewässerbereich betrachtet.

Zu 3.1.3: Maßnahmenkonzeption

Zu 3.1.3.1: Grundsätze - Potenzielle Maßnahmen und Kostenrahmen

Der technische Hochwasserschutz umfasst alle baulichen und betrieblichen Maßnahmen, die der Abflussverzögerung und Abflussminderung, der Wasserspiegelabsenkung und der Verhinderung von Ausuferungen und somit dem Schutz vulnerabler Bereiche bis zum Erreichen des vereinbarten Schutzziels dienen. Diese Maßnahmen bilden eine zentrale Säule des Hochwasserrisikomanagements in Nordrhein-Westfalen und sind im Maßnahmentypenkatalog des 3. Zyklus der Hochwasserrisikomanagementplanung (HWRM-Plan NRW) verankert. Der sogenannte natürliche Hochwasserschutz umfasst ebenfalls bauliche Maßnahmen, wie naturnah ausgeführte Gewässer- und Auenumgestaltungen. Diese Maßnahmen zielen gleichzeitig auf eine Verbesserung des ökologischen Zustands der Gewässer ab.

In diesem Kapitel werden die grundsätzliche Maßnahmenkategorien sowie die potenziellen Ansatzpunkte zur Risikoreduktion beschrieben. Hochwasserschutzmaßnahmen lassen sich nach verschiedenen Kriterien klassifizieren. Im folgenden Text wird zwischen Maßnahmen in Kopfgebieten (Fall A, siehe Ergebnisdokument, Kapitel 3.2 Räumlicher Umgriff) mit überwiegender Starkregenbetroffenheit (pluviale Ereignisse) und solchen an Gewässern, bei denen aufgrund der Größe des Einzugsgebietes (Fall B/C, siehe Ergebnisdokument, Kapitel 3.2 Räumlicher Umgriff) die fluvialen Hochwasserereignisse dominieren, unterschieden. Darüber hinaus werden Möglichkeiten der Kostenrahmenermittlung erläutert.

Zu 3.1.3.2: Identifikation und Modifikation geeigneter Maßnahmen - Maßnahmenkategorien

Die Maßnahmen orientieren sich am jeweiligen Wirkungsansatz innerhalb des Einzugsgebiets. Grundsätzlich lassen sich zwei übergeordnete Wirkungsebenen unterscheiden.

Kopfgebiete / Starkregeneinzugsgebiete

In Kopfgebieten steht die Reduktion und Verzögerung des oberflächlichen Abflusses im Vordergrund. Ziel ist es, Niederschlagsabfluss frühzeitig zurückzuhalten oder gezielt zu lenken, bevor dieser zu einer Konzentration in tiefer liegenden Ortslagen führt. Mögliche Maßnahmen sind insbesondere:

- Rückhalt durch Mulden, Rigolen oder Retentionsräume
- Entsiegelung und Begrünung zur Erhöhung der Infiltration
- Aufweitung oder Rückbau von Gräben zur Zwischenspeicherung
- Lenkungsmaßnahmen (z. B. Abflussrinnen, Muldenzüge)
- Regenwasserrückhaltung auf Grundstücken und in der Siedlungsentwässerung

Diese dezentralen und präventiven Maßnahmen entfalten ihre Wirkung bereits in der Fläche und können Abflussspitzen bei kleineren bis mittleren Starkregenereignissen abschwächen und somit das Abflussgeschehen im Gewässer verändern.

Einzugsgebiete mit dominantem Gewässerabfluss

In den Gewässerauen liegt der Fokus auf dem Schutz vor Gewässerhochwasser infolge überörtlicher Abflüsse. Ziel ist die Abflusslenkung, der Rückhalt und die Sicherung gefährdeter Bereiche durch:

- Bau und Betrieb von Hochwasserrückhaltebecken
- Neubau oder Erhöhung bzw. Ertüchtigung bestehender Dämme und Deiche
- mobile oder stationäre Hochwasserschutzwände
- Beseitigung von hydraulischen Engpässen
- Profilaufweitungen und Vorlandmanagement
- lokale Objektschutzmaßnahmen.

Diese Maßnahmen werden überörtlich konzipiert und abgestimmt, da sie den Gesamtdurchfluss des Gewässersystems beeinflussen.

Wechselwirkungen zwischen Gewässerhochwasser- und Starkregenmaßnahmen

Maßnahmen in Kopfgebieten und an Gewässern stehen in einem engen funktionalen Zusammenhang. Eine wirksame Rückhaltung oder Lenkung in den Kopfgebieten kann Gewässerhochwasser in Siedlungsbereichen entschärfen. Lokale Schutzmaßnahmen am Gewässer (Deiche, Verwallungen, Schutzmauern) müssen so geplant werden, dass sie durch rückwärtigen Einstau im Starkregenfall nicht die örtlichen Probleme erhöhen. Die Binnenentwässerung muss gewährleistet bleiben.

Bauliche Hochwasserschutzmaßnahmen im Überblick

Die folgende Tabelle fasst die relevanten technischen und naturnahen Hochwasserschutzmaßnahmen zusammen. Dargestellt werden die Wirkungsweise sowie beispielhafte Vorteile und Nachteile als Orientierungshilfe für die Restriktionsanalyse.

Die dargestellten Maßnahmen besitzen eine hohe Relevanz für die Abflussverzögerung und/oder Abflussminderung und sind häufig nur in gemeinsamer überörtlicher Umsetzung wirksam.

Tabelle 2: Übersicht Hochwasserschutzmaßnahmen

Maßnahmenart	Kategorie	Typ	Wirkungsweise	Vorteile	Nachteile
Talsperre	Technischer Hochwasserschutz	Rückhaltung	Reduzierung des Abflusses	Weitere Nutzungen möglich (z. B. Trinkwasser, Energie)	Sehr großer Flächenbedarf
Hochwasserrückhaltebecken (HRB)	Technischer Hochwasserschutz	Rückhaltung	Reduzierung des Abflusses	Kein Retentionsraumverlust	Großer Flächenbedarf

Maßnahmenart	Kategorie	Typ	Wirkungsweise	Vorteile	Nachteile
Deich	Technischer Hochwasserschutz	Linienenschutz	Begrenzung der Überflutungsfläche	Wirksamer Schutz größerer Siedlungsbereiche	Retentionsraumverlust auszugleichen, Deichbruchgefahr bei Überflutung
Mauer	Technischer Hochwasserschutz	Linienenschutz	Begrenzung der Überflutungsfläche	Überflutbar, geringer Flächenbedarf	Retentionsraumverlust auszugleichen
Gewässeraufweitung	Natürlicher Hochwasserschutz	Linienmaßnahme	Lokale Wasserspiegelabsenkung	Kein Retentionsraumverlust, Verbesserung der Gewässerökologie	Flächenbedarf
Renaturierung	Natürlicher Hochwasserschutz	Linienmaßnahme	Lokale Wasserspiegelabsenkung	Ökologische Aufwertung, kein Retentionsraumverlust	Großer Flächenbedarf
Leistungssteigerung (Gerinne, Durchlass, Brücke oder Verrohrung)	Technischer Hochwasserschutz	Linienmaßnahme	Lokale Wasserspiegelabsenkung	Kein zusätzlicher Flächenbedarf	Eingeschränkte ökologische Wirkung, ggf. Ausgleich von Retentionsraumverlust
Mobiler Hochwasserschutz	Technischer Hochwasserschutz	Linienmaßnahme	Begrenzung der Überflutungsfläche	Keine dauerhafte Störung des Landschaftsbildes	Aufbau muss rechtzeitig erfolgen, für kleine EZG meist ungeeignet
Objektschutz	Technischer Hochwasserschutz	Punktmaßnahme	Schutz einzelner Gebäude oder Anlagen	In Eigenregie umsetzbar, kostengünstig	Nur begrenzter Schutz, Restriktionen durch Denkmalschutz oder Gebäudesubstanz

Bewertung und Einordnung

Die dargestellten Maßnahmen besitzen eine hohe Relevanz für die Abflussverzögerung und -minderung und sind häufig nur in Kombination wirksam. Der technische Hochwasserschutz (z. B. Rückhaltebecken, Deiche, Mauern) bildet ein zentrales Instrument der Hochwasservorsorge, während naturnahe Maßnahmen (z. B. Gewässeraufweitungen, Renaturierungen) durch ökologische Verbesserungen ergänzend wirken und mit den Zielen der WRRL weitgehend vereinbar sind. Objektschutzmaßnahmen und mobile Systeme bieten einen lokal wirksamen, flexiblen Ergänzungsschutz, insbesondere in dicht besiedelten Bereichen. Bei der Planung der Maßnahmen sind Ober- und Unterliegereffekte zu berücksichtigen, da es zu keinen Verschlechterungen andernorts kommen darf.

Zu 3.1.3.5.: Ermittlung der Kosten - Methoden zur Aufstellung eines Kostenrahmens

In frühen Konzept- und Vorplanungsphasen werden Kostenrahmen häufig auf Grundlage von Kennwerten oder Referenzprojekten ermittelt. Dabei werden spezifische Kostenkennzahlen (z. B. €/m Deich, €/m³ Retentionsraum, €/m² Schutzmauer) aus realisierten Projekten herangezogen und bei Bedarf über Baupreisindizes auf das aktuelle Preisniveau fortgeschrieben. Diese Verfahren ermöglichen eine schnelle, aber orientierende Einschätzung der Kosten und dienen als Grundlage für die Plausibilisierung oder Variantenbewertung.

Mit zunehmender Planungstiefe kann die Kostenermittlung durch komponentenbasierte Kalkulationen präzisiert werden. Dabei werden die Kosten der einzelnen Bauwerkselemente (z. B. Dichtung, Dammkörper, Pumpwerk, Mess- und Steuertechnik) getrennt erfasst und auf Basis von Mengengerüsten und Einheitspreisen ermittelt. Diese Vorgehensweise erlaubt eine höhere Genauigkeit, setzt jedoch detaillierte Entwurfsdaten voraus.

Alternativ können parametrische Modelle oder statistische Regressionsansätze verwendet werden, um Kosten in Abhängigkeit technischer Parameter abzuschätzen. Für Grobabschätzungen in frühen Konzeptphasen werden häufig Erfahrungswerte und Benchmarks aus vergleichbaren Projekten herangezogen. Eine ergänzende Betrachtung bieten Lebenszykluskostenanalysen (Life Cycle Costing), bei denen neben den Baukosten auch Betriebs-, Instandhaltungs- und Rückbaukosten berücksichtigt werden.

In der Praxis wird zumeist eine kombinierte Vorgehensweise gewählt: Zunächst erfolgt eine kennwertbasierte oder referenzgestützte Grobschätzung, anschließend eine Validierung und Strukturierung nach DIN 276, um eine nachvollziehbare, förderfähige und langfristig fortschreibbare Kostenstruktur zu schaffen.

Kostenermittlung nach DIN 276

Die DIN 276:2018-12 „Kosten im Bauwesen“ stellt das in Deutschland verbindliche Regelwerk zur Ermittlung, Gliederung und Fortschreibung von Baukosten dar. Sie gewährleistet eine einheitliche Vergleichbarkeit der Projektkosten und bildet die Grundlage für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit im Rahmen von Nutzen-Kosten-Untersuchungen nach den KVR-Leitlinien (DVGW/DWA 2012).

Die Kostenermittlung umfasst alle Kostengruppen 100 bis 800 der DIN 276, die bei Planung, Bau und Betrieb von Hochwasserschutzmaßnahmen relevant sind.

Tabelle 3: Kostengruppen der DIN 276

Kosten- gruppe	Bezeichnung	Typische Inhalte im Hochwasserschutz
100	Grundstücke	Flächenankauf, Entschädigungen, Nutzungseinschränkungen
200	Vorbereitende Maßnahmen	Baugrunduntersuchung, Vermessung, Gutachten, Genehmigungen
300	Bauwerk - Baukonstruktion	Dämme, Mauern, Rückhaltebauwerke, Baugruben, Abdichtungen

Kosten- gruppe	Bezeichnung	Typische Inhalte im Hochwasserschutz
400	Bauwerk - Technische Anlagen	Pumpwerke, Schieber, Mess- und Steuertechnik
500	Außenanlagen	Zuwegungen, Begrünung, Rekultivierung
600	Ausstattung und Kunstwerke	Pegel, Infotafeln, Monitoring-Einrichtungen
700	Baunebenkosten	Planung, Ausschreibung, Bauleitung, Projektsteuerung
800	Finanzierung	Zinsen, Reserven, Preissteigerungszuschläge

Die Kosten werden auf Basis von Massenermittlungen, Erfahrungswerten und Baupreisindizes abgeschätzt. Diese Gliederung ermöglicht eine transparente Vergleichbarkeit zwischen Varianten und eine Fortschreibung im Zuge der Entwurfs- und Genehmigungsplanung.

Unsicherheiten und Genauigkeitsbereiche

Der Genauigkeitsgrad der Kostenermittlung ist vom jeweiligen Planungsfortschritt abhängig. Nach DIN 276 gelten die in Tabelle 3-5 dargestellten Bandbreiten.

Tabelle 4: Kostenstufen der DIN 276

Kostenstufe	Beschreibung	Genauigkeit (Bandbreite)
Vorvertraglicher Kostenrahmen	Erste Kostenermittlung auf Basis konzeptioneller Annahmen	$\pm 40 \%$
Kostenschätzung (Vorplanung)	Ermittlung anhand erster Mengengerüste und Kennwerte	$\pm 30 \%$
Kostenberechnung (Entwurfsplanung)	Detaillierte Ermittlung auf Basis technischer Planung	$\pm 20 \%$
Kostenanschlag (Ausschreibung)	Nach Leistungsverzeichnis, vor Vergabe	$\pm 10 \%$
Kostenfeststellung (Abrechnung)	Tatsächliche Projektkosten nach Bauabschluss	$\pm 0 \%$

Im Konzeptionsstadium wird eine Unsicherheitsbandbreite von $\pm 40 \%$ angesetzt. Diese berücksichtigt mögliche Schwankungen durch Preisentwicklungen, Baugrundrisiken, Genehmigungsaufgaben sowie technische Anpassungen.

Die Kombination aus kennwertbasierter Vorabschätzung und strukturierter Kostenermittlung nach DIN 276 hat sich als praxisgerechter Ansatz für Hochwasserschutzbauwerke bewährt. Während Kennwerte eine schnelle, orientierende Einschätzung ermöglichen, schafft die DIN-basierte Gliederung eine nachvollziehbare und förderfähige Kostenstruktur. Durch sukzessive Präzisierung im Planungsverlauf werden Unsicherheiten reduziert und eine belastbare Grundlage für Förderanträge, Genehmigungsverfahren und spätere Ausschreibungen geschaffen.

Im Rahmen der Hochwasserschutzkonzepte erfolgt die Kostenabschätzung auf dem Niveau des „vorvertraglichen Kostenrahmens“ mit den dafür geltenden Unsicherheiten.

Zu 3.1.3.6.: Überprüfung der Einhaltung des Basisschutzes – Umgang mit nicht für eine Überströmung zugelassenen HWS-Anlagen

Hochwasserschutzanlagen werden auf einen für die Anlage festgelegten Bemessungshochwasserabfluss bzw. -wasserstand (BHQ bzw. BHW) bemessen. Dieser entspricht in der Regel dem angestrebten Hochwasserschutzziel HQ_{Ziel} . Zur Überprüfung, ob mit einer geplanten Maßnahme die Basisschutzziele eingehalten werden können, müssen die Hochwasserlastfälle HQ30, HQ100 und HQ300 betrachtet werden. Insbesondere die Lastfälle HQ100 und HQ300 können dabei über dem gewählten Bemessungshochwasserabfluss BHQ(bzw. BHW) der Anlage liegen. Demzufolge ist sicherzustellen, dass diese Überlastfälle nicht zu einem Anlagenversagen und damit zusätzlichem Risiko führen.

Hinsichtlich der Auslegung von Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken ist diese Problematik unkritisch, da die DIN 19700 (2004) „Stauanlagen“, Teile 11 und 12, für die Bemessung solcher Anlagen neben dem eigentlichen Bemessungshochwasserabfluss BHQ3 auch die Bemessungsfälle BHQ1 und 2 vorsieht. Diese beiden Fälle liegen in der Regel deutlich über einem HQ300 (z. B. BHQ2: HQ1.000 bis HQ10.000 je nach Größe der Stauanlage).

Hochwasserschutzwände und überströmungssicher ausgelegte mobile Hochwasserschutzsysteme können aufgrund ihrer Konstruktionsweise einer Überströmung standhalten und stellen damit kein zusätzliches Risiko bei den Lastfällen oberhalb des Bemessungshochwassers BHQ bzw. BHW dar.

Werden Deiche überströmt, so kann es auf der Luftseite durch die überströmenden Wassermengen zu Erosionserscheinungen kommen, die die Standsicherheit des Deiches bis hin zum Versagen beeinträchtigen können. Daher sollte eine Deichüberströmung für die Lastfälle des Basisschutzes (HQ30, HQ100 und HQ300), die über das BHQ bzw. BHW des Deiches hinausgehen, ausgeschlossen werden. Dabei darf jedoch der zwischen BHW und Deichkrone befindliche Freibord in Anspruch genommen werden. Grundgedanke hierfür ist, dass ein bis zur Deichkrone (genauer: wasserseitige Deichschulter) eingestauter Deich nicht versagt, da dieser Zustand als außergewöhnliche Bemessungssituation bei der hydraulischen und geotechnischen Nachweisführung gemäß DIN 19712 (2013)⁵ „Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern“ vorgesehen ist. Mit zunehmender Inanspruchnahme des Freibords sinkt zwar die Sicherheit gegen die Auswirkungen von Windstau und Wellenschlag, allerdings kann diesem Umstand z. B. durch Deichverteidigungsmaßnahmen (Sacksackauflagen o. ä.) entgegengewirkt werden.

Die Überprüfung der Inanspruchnahme des Freibords an geplanten Deichen ist naturgemäß nur für die Lastfälle des Basisschutzes erforderlich, die über dem Bemessungshochwasser BHQ bzw. BHW liegen. Sollte der geplante Freibord dabei überschritten werden, d. h. es käme zu einer Überströmung für einen Lastfall des Basisschutzes, so ist der Freibord entsprechend zu erhöhen. Dies entspricht einer „zusätzlichen Kronenerhöhung“ bei der Festlegung des Freibords gemäß DIN 19712 und bedeutet keine Erhöhung des Bemessungshochwassers BHQ

⁵ DIN 19712 Kapitel 11.2.3.4 Außergewöhnliche Belastungssituation (BS-A) sowie Tabelle 5: Einwirkungen und Bemessungssituationen

bzw. BHW an sich. Die Überprüfung der Lastfälle des Basisschutzes stellen somit keine zusätzlichen Bemessungsfälle gemäß DIN 19712 eines Deiches dar, die hydraulische und geotechnische Nachweisführung für eine geplante Deichanlage erfolgt weiterhin ausschließlich für die in der DIN 19712 vorgesehenen Belastungen.

Grundsätzlich kann bei bestehenden Deichen, die den Anforderungen der DIN 19712 entsprechen, für Lastfälle des Basisschutzes oberhalb des Bemessungswasserstandes (BHW) der Freibord voll in Anspruch genommen werden, soweit es nicht zu einer Überströmung kommt. Im Fall einer Deichüberströmung für einen Lastfall des Basisschutzes ist eine Deicherhöhung vorzusehen.

Die Prüfung der Lastfälle des Basisschutzes bei bestehenden Deichen ersetzt nicht die für einen sicheren Betrieb erforderlichen Standsicherheitsnachweise gemäß DIN 19712 (Statusbericht, Teil A). Die Gewährleistung der Standsicherheit von Hochwasserschutzanlagen ist grundsätzlich unabhängig von der Aufstellung von Hochwasserschutzkonzepten. Sollten sich bei der Überprüfung der Standsicherheit Mängel an Bestandsanlagen zeigen, so können aber die erforderlichen Maßnahmen zur Anpassung oder Ertüchtigung Bestandteil eines Hochwasserschutzkonzeptes werden.

Für nicht zur Überströmung zugelassene (geplante und bestehende) mobile Hochwasserschutzsysteme wird hinsichtlich der Prüfung der Lastfälle des Basisschutzes dasselbe Vorgehen empfohlen wie bei geplanten bzw. bestehenden Deichanlagen.

Zu 3.1.4.5: Bewertung der Gewässerökologie - Verbesserung

Folgende Grundsätze können bei der Bewertung herangezogen werden:

- Elemente des technischen Linienschutzes (Deiche, HWS-Mauern, Objektschutz) wirken negativ, wenn infolgedessen der Entwicklungsraum des Gewässers eingeschränkt wird.
- Technische Rückhaltungen (HRB, Polder, Drosselbauwerke) sind zunächst neutral zu bewerten; bei naturnaher Gestaltung kann ein HRB (sehr) positiv wirken, im Hauptschluss ist die Durchgängigkeit besser zu realisieren als im Nebenschluss
- 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:
 - in Bezug auf die Maßnahmenlänge im Vergleich zum Gewässertyp, mindestens 500 m Länge bei kleinen Fließgewässern oder mindestens 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

Zu 3.1.4.6: Bewertung der Umsetzbarkeit

Im Folgenden sind die Kategorien der Kriterien aufgelistet, die für die Analyse potenzieller Konflikte herangezogen werden. Dies stehen als raumbezogene GIS-Daten zur Verfügung und weisen jeweils eine Großzahl von Unterkriterien auf.

Raumordnungs- und Umweltkriterien

- Gebietsentwicklungsplan
 - Siedlungsraum
 - Freiraum
 - Verkehrsinfrastruktur
- Schutzgebiete
 - internationale Schutzgebiete/IUCN (International Union for Conservation of Nature)
 - nationale Schutzgebiete
 - geschützte Biotop
- örtliche Kriterien (Detaillierung der oben genannten Kriterien)
 - Infrastruktur
 - Verkehr
 - Flächenverfügbarkeit
 - Geologie
 - Freizeit
 - Umsetzung

Die Bewertung findet in der Form statt, dass in einer Matrix, in der die Bewertungskriterien die Zeilen darstellen und jede zu prüfende Variante eine Spalte, jedes einzelne Kriterium auf seine Konfliktrichtigkeit in 4 Intensitätsstufen bewertet wird.

- xxx potenziell sehr relevante Beeinflussung
(Zielkonflikt zu erwarten --> Lösbarkeit prüfen)
- xx potenziell relevante Beeinflussung
(Konflikte voraussichtlich lösbar)
- x potenziell wenig relevante Beeinflussung
(geringe Konflikte, lösbar)
- keine oder sehr wenig relevante Beeinflussung

Zu 3.1.5: Auswahl einer Vorzugsvariante

Die Festlegung einer Vorzugsvariante erfolgt auf Basis eines Bewertungsschemas der fünf zuvor beschriebenen Kriterien. Dabei erhält jede Variante (ggf. mit verschiedenen Umsetzungsvarianten) je Kriterium eine Punktzahl, welche in die Festlegung einer Vorzugsvariante einfließt (vgl. Tabelle).

Tabelle 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
mäßige 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 (siehe Tabelle 6).

Tabelle 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, ist es angezeigt, die Wirtschaftlichkeit und die Finanzierbarkeit getrennt zu ermitteln und ihnen dann jeweils ein Gewicht von 0,5 statt 1 zuzuordnen.

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

Die maßgebliche Verteilung der Gewichtung ist im Rahmen des jeweiligen HWSK-Projektes mit den Beteiligten zu diskutieren und festzulegen. Sensitivitätsuntersuchungen unterstützen dabei die Wahl der verwendeten Gewichtungsverteilung.

In Tabelle 7 sind beispielhaft drei Bewertungsergebnisse für drei fiktive Varianten dargestellt

- Fall 1) Standardgewichtung (gleichverteilt) → Variante 3 am besten bewertet
- Fall 2) Hohe Gewichte bei monetären Kriterien und Umsetzbarkeit) → Variante 3 am besten bewertet
- Fall 3) Hohe Gewichte bei Wirksamkeit und Verbesserung Gewässerökologie → Variante 2 am besten bewertet

Tabelle 7: Beispieltabelle für die Variantenbewertung

1) Standardgewichtung (gleichverteilt)			Var 1	Var 2	Var 3
Kriterium	Bewertung	Gewicht	Bewertung	Bewertung	Bewertung
Wirksamkeit	1, 2, 3	1	2	2	1
Wirtschaftlichkeit	0, 1, 2, 3	0,5	2	0	3
Finanzierbarkeit	1, 2, 3	0,5	1	2	3
Ökologische Verbesserung	0, 1, 2, 3	1	1	3	2
Umsetzbarkeit	1, 2, 3	1	1	1	2
			5,5	7	8

2) Hohe Gewichte bei monetären Kriterien und Umsetzbarkeit			Var 1	Var 2	Var 3
Kriterium	Bewertung	Gewicht	Bewertung	Bewertung	Bewertung
Wirksamkeit	1, 2, 3	1	2	2	1
Wirtschaftlichkeit	0, 1, 2, 3	4	2	0	3
Finanzierbarkeit	1, 2, 3	4	1	2	3
Ökologische Verbesserung	0, 1, 2, 3	1	1	3	2
Umsetzbarkeit	1, 2, 3	3	1	1	2
			18	16	33

3) Hohe Gewichte bei Wirksamkeit und Gewässerökologie			Var 1	Var 2	Var 3
Kriterium	Bewertung	Gewicht	Bewertung	Bewertung	Bewertung
Wirksamkeit	1, 2, 3	3	2	2	1
Wirtschaftlichkeit	0, 1, 2, 3	1	2	0	3
Finanzierbarkeit	1, 2, 3	1	1	2	3
Ökologische Verbesserung	0, 1, 2, 3	5	1	3	2
Umsetzbarkeit	1, 2, 3	1	1	1	2
			15	24	21

Zu 3.3.: Zusammenfassung der Erkenntnisse der Pilotprojekte

Tabelle 8: Übersicht über die Pilotprojekte (siehe auch Anhang)

Pilotprojekt	Emscher
Vorhabensträger	Emschergenossenschaft/Lippeverband
Charakteristik	Typ C, hohes Schutzniveau, extreme potenzielle Gefährdung und Schadenspotenzial im Versagensfall
Besonderer Untersuchungsumfang	Betrachtung verbleibendes Risiko
Pilotprojekt	Wurm
Vorhabensträger	Wasserverband Eifel-Rur
Charakteristik	Typ B, Mittelgebirgsgewässer, hohe potenzielle Gefährdung
Besonderer Schwerpunkt/ Untersuchungsumfang	Variantenuntersuchung, Bewertung der Umsetzbarkeit
Pilotprojekt	Issel
Vorhabensträger	MUNV/BR Münster
Charakteristik	Typ B, Tieflandgewässer, geringe potenzielle Gefährdung, Möglichkeiten zur Kombination naturnaher und technischer Maßnahmen
Besonderer Schwerpunkt/ Untersuchungsumfang	Variantenuntersuchung, gewässerökologische Auswirkungen
Pilotprojekt	Stadt Meckenheim
Vorhabensträger	Erftverband
Charakteristik	Typ A/B, Interaktion Starkregen und Hochwasser in kleinen und urban geprägten Einzugsgebieten
Besonderer Schwerpunkt/ Untersuchungsumfang	Kombination hydrologischer/hydraulischer Modelle
Pilotprojekt	Emscher
Vorhabensträger	Emschergenossenschaft/Lippeverband
Charakteristik	Typ C, hohes Schutzniveau, extreme potenzielle Gefährdung und Schadenspotenzial im Versagensfall von Deichen
Besonderer Schwerpunkt	Betrachtung besonderer Risiken

Die Pilotprojekte Wurm, Issel und Stadt Meckenheim wurden von der Hydrotec Ingenieurgesellschaft mbH bearbeitet. Das Pilotprojekt Emscher wurde von der Emschergenossenschaft in Eigenregie durchgeführt.

Standardisierung

Für alle Bearbeitungsschritte eines risikobasierten Hochwasserschutzkonzeptes (Verweis Abbildung Prozessschritte) wurden standardisierte Methoden erarbeitet.

Dies betrifft insbesondere

- die erforderlichen Modellierungsmethoden in kleinen Einzugsgebieten zur gleichzeitigen Betrachtung der Gefährdungen aus pluvialen und fluvialen Ereignissen (Starkregen und Hochwasser),
- die erforderliche GIS-Datenbearbeitung,
- die Bewertungsmethode für die Kriterien Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit, Finanzierbarkeit, ökologische Verbesserung und Umsetzbarkeit .

Die Abschlussberichte der Pilotprojekte sind diesem Bericht beigelegt (siehe Anhang).

Standardisierung von Methoden

Im Rahmen der Pilotprojekte wurde ein prinzipieller Ablauf der erforderlichen Bearbeitungsschritte entwickelt, der Vorlage für das zu erstellende Musterleistungsverzeichnis ist. Es wurden Methoden erarbeitet und getestet, die als „Best Practice“ für zukünftige HWSK empfohlen werden können. Es wurde darauf geachtet, dass die benötigten Grundlagen weitgehend auf allgemein verfügbaren Geodaten beruhen. Eigene Daten der Maßnahmenträger und beteiligter Dritter können integriert werden. Dazu sollten diese digital und in den üblichen Formaten vorliegen. Vorhandene Modelle und Ergebnisse früherer Untersuchungen sind nach Möglichkeit zu nutzen.

Erarbeitung einer Methodik für kleine Einzugsgebiete mit dominanten pluvialen Ereignissen (Kopfgebiete, Typ A)

- Festlegung einer Methodik zum Abgleich hydrologischer und 2D-hydraulischer Modellierungen in Kopfeinzugsgebieten
 - Erstellen von kombinierten 2D-Modellen (Rastermodell in der Fläche, flexible Netze im Gewässerbereich)
 - Gegenseitige Validierung von Niederschlag-Abfluss-Modellen und 2D-Modellen
 - Anwendung des SCS-Verfahrens zur Abflussbildung in 2D-Modellen
- Abgrenzung eines Gewässerkorridors und separate Simulation der Gewässerabflüsse zur Identifikation der gewässerbezogenen Wirkung von Maßnahmen
- Übertragung und Anpassung des risikobasierten Ansatzes (Gefahrenzonen, Risikobereiche) in die Fläche von kleinen Einzugsgebieten mit Starkregendominanz
 - Keine Betrachtung der HQ30-Überflutungsflächen verursacht durch Starkregen in urbanen Bereichen, da dort wegen der i. d. R. nicht gegebenen Leistungsfähigkeit der Kanalisation ein Basisschutz HQ30 mit „null“ cm Wassertiefe nicht erreicht werden kann

Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen

- Ermittlung und Testen von erforderlichen Maßnahmen zur Verwendung des BEAM-Datensatzes
 - Ausschneiden des 2D-Flussschlauchs aus den Nutzungspolygonen
 - Schadensberechnungen nur für Vulnerabilitätsbereiche ohne Gewässerflächen
 - Optionale Verwendung von Impulsschäden für Gewässer mit hohen zu erwartenden Schäden aufgrund hoher Fließgeschwindigkeiten
 - Verwendung steilerer Schadensfunktionen und Ansatz höherer Maximalschäden
 - Anpassung der Schadensgrößen an Preissteigerungen
- Berechnung der Schäden und Schadensbewertungen
 - Entwickeln von GIS-basierten Skripten
 - Untersuchung des Einflusses der Anzahl der Stützstellen auf die Berechnung der Schadensbewertung und die Wirtschaftlichkeit
- Festlegung der DIN 276 als Basis für die Kostenermittlung
- Ermittlung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses auf Basis standardisierter Methoden der Kostenvergleichsrechnung

Ermittlung der Vulnerabilitäten

- Methode der Identifikation der vulnerablen Objekte, Auswertung von Einwohnerzahlen, Identifikation weiterer Risiko-Hotspots und Darstellung in Karten

Maßnahmenidentifikation

- Erarbeitung einer Methodik wie mit „unqualifizierten Strukturen“, die eine wasserlenkende Funktion haben, umzugehen ist.

Variantenbewertung

- Definition der Kategorien und Entwicklung eines Gewichtungsrahmens zur Bewertung der Varianten
- Entwickeln von Kriterien zur Bewertung der ökologischen Verbesserung einzelner Maßnahmen
- Entwicklung von Bewertungsstufen für die Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit/Finanzierbarkeit und Umsetzbarkeit
- Erarbeitung eines Verfahrens zur Durchführung von Widerstands- und Konfliktanalysen zur Optimierung der Maßnahmenidentifikation und zur Bewertung der Umsetzbarkeit

Überprüfung Basisschutz

- Einführen der Überprüfung der Einhaltung eines Basisschutzes für den Überlastfall
- Begriffliche und Methodische Abgrenzung des Bemessungsfalls von Deichen zum Überprüfungsfall

Standardisierung der GIS-Methoden

- Entwicklung skript-basierter Berechnungsmethoden
- Entwicklung von Layout-Standards für die Kartenerstellung

Bewertung der Pilotprojekte und Erkenntnisse des risikobasierten Ansatzes

Die Durchführung der **Pilotprojekte** führte neben der Standardisierung der Leistungen zu folgende Erkenntnissen:

- Die Arbeitsschritte liefern im Sinne eines nachhaltigen Hochwasserschutzes fachlich sinnvolle Ergebnisse.
- Die Bearbeitungsmethodik ist praxistauglich. Sie kann auf Basis von vorhandenen Standarddatensätzen ohne aufwändige Spezialdatenerhebung durchgeführt werden.
- Die Bearbeitungsmethodik ist skalierbar. Sie kann von räumlich kleinen Projekten bis hin zu großen, komplexen Projekten angewandt werden.
- Die Bearbeitungsmethoden entsprechen dem Stand der Technik. Neue Bearbeitungsstandards können sich potenzielle Bearbeiter von HWSK leicht aneignen.

Inhaltlich lässt sich durch die Anwendung des **risikobasierten Ansatzes** folgendes erkennen:

- Durch die Festlegung von Vulnerabilitätsbereichen wird der Fokus bei den Hochwasserschutzmaßnahmen gezielt auf geschlossene Siedlungsgebiete bzw. Einzelbebauungen gerichtet.
- Die Karten der Risikobereiche zeigen deutlich, für welche vulnerablen Gebiete Hochwasserschutzmaßnahmen aus der Sicht des Schutzes für Leib und Leben erforderlich sind.
- Die Entwicklung von Hochwasserschutzmaßnahmen ist durch den risikobasierten Ansatz zielgerichteter, d. h. die Maßnahmenkulisse unterscheidet sich von herkömmlichen HWSK.
- Es gibt keinen Hinweis darauf, dass es zu nachteiligen Verschiebungen von Maßnahmen innerhalb eines Einzugsgebietes kommt.
- Die nicht-monetären Faktoren, die sogenannten sozioökonomischen Aspekte werden durch das risikobasierte HWSK bei der Bewertung der Maßnahmen berücksichtigt.
- Bei herkömmlichen HWSK wird i. d. R. ein Schutzziel im Vorfeld vorgegeben. Der risikobasierte Ansatz ermöglicht durch die Darstellung der Risikobereiche für den IST-Zustand 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 Ansatz 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.
- 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 rote 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, so dass es z. B. zu einer Maßnahmenkombination aus Linienschutz und Objektschutz kommt.
- Die Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen wird durch die Berücksichtigung von potenziell betroffenen und geschützten Einwohnerinnen und Einwohnern und vulnerablen Objekten 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.
- Das standardisierte Bewertungsverfahren der Varianten zur Auffindung der Vorzugsvariante gewährleistet, dass alle Aspekte hinreichend berücksichtigt sind. Die Verteilung der Gewichte ermöglicht es den Akteuren eines HWSK diese an die örtlichen Gegebenheiten, Prioritäten und Zielstellungen anzupassen.

Prinzipielles Fazit

- Der eingeführte „Basisschutz“, der sich an der Resilienz der Betroffenen orientiert, führt zu einer Abkehr der bis dato geltenden Prämisse, das Hochwasserschutz gleichzeitig eine „Trockenlegung“ (Verhinderung jeglicher Überflutung) ist.
- Dies führt zu einer differenzierteren Maßnahmenidentifikation. Im Bereich von flacheren Gewässern und Siedlungsbereichen können Maßnahmen tendenziell geringer ausfallen, da hier die Ausuferungen dominieren. An steileren Gewässern in Mittelgebirgslagen, bei denen die Geschwindigkeiten dominieren, können die Maßnahmen höher ausfallen.
- Die eingeführte Überprüfung des Überlastfalls auf Einhaltung des Basisschutzes für Jährlichkeiten oberhalb der Bemessungsjährlichkeit, führt zu einer höheren Sicherheit für die Betroffenen. Dies kann zu zusätzlichen oder höher ausgelegten Maßnahmen führen.
- Die Vereinheitlichung der Bearbeitungsmethodik und die Schaffung von Standards führt dazu, dass im Land vergleichbare Schutzkonzepte entstehen.

Weitergehende Erkenntnisse aus dem Pilotprojekt Emscher

Das Pilotprojekt Emscher hatte einen anderen Fokus als die drei weiteren Pilotprojekte. Aufgrund der Besonderheiten des Einzugsgebiets wurde von dem Prozess der Methodik zur Erstellung risikobasierter Hochwasserschutzkonzepte (siehe Abbildung 8 im Ergebnisdokument) abgewichen. Anders als in der Standardvorgehensweise (siehe Kapitel 3.1 im Ergebnisdokument) wurde keine Betroffenheitsanalyse des IST-Zustands durchgeführt, da der Hauptlauf der Emscher im Unterlauf nahezu vollständig mit Deichen für ein HQ200 geschützt ist und somit alle betrachteten Lastfälle (unter Berücksichtigung des Freibords) schadlos abgeführt werden können. Die Ermittlung der Gefahren für Leib und Leben wurden daher innerhalb der geschützten Gebiete hinter den technischen Hochwasserschutzanlagen durchgeführt für ein Szenario, in dem die Deiche versagen.

Die Auswertung zeigt eindrucksvoll, dass ein Deichversagen katastrophale Folgen hätte: In großen Teilen der geschützten Gebiete wird für diesen Fall die höchste Gefahrenzone 5 erreicht. Dies ist begründet durch die eingetretenen Bergsenkungen, die dazu führen, dass das Gewässerbett der Emscher vergleichsweise hoch liegt und sich im Überschwemmungsfall extreme Wassertiefen einstellen können.

Eine wesentliche Erkenntnis aus dem Pilotprojekt Emscher ist, dass besondere Situationen, wie an der Emscher, eine Betrachtung über die in diesem Bericht beschriebene Methodik hinaus erforderlich machen. Auch wenn die Basisschutzziele in dem betrachteten Fall alle eingehalten werden, sind die potenziellen Gefahren für Leib und Leben und auch die potenziellen Sachschäden so extrem, dass das Restrisiko trotz sehr geringer Eintrittswahrscheinlichkeit hoch ist. Zur Reduzierung des Restrisikos sind in diesem Fall über die Methodik des risikobasierten Ansatzes hinaus weitere Maßnahmen angeraten.

Zu 3.2: Räumlicher Umgriff

Zuschnitt von Hochwasserschutzkonzepten unter verwaltungstechnischen Aspekten

Wie oben dargestellt, hängt der räumliche Umgriff eines Hochwasserschutzkonzeptes von der Größe und dem hydrologischen Charakter eines Gewässers ab. Für den räumlichen Zuschnitt eines Hochwasserschutzkonzeptes können aber auch verwaltungstechnische Aspekte, wie z. B. die Anzahl der zu berücksichtigenden Kommunen, und die modelltechnischen Möglichkeiten, wie z. B. die kombinierte Hochwasser- und Starkregenmodellierung, eine Rolle spielen. Vor diesem Hintergrund lassen sich Hochwasserschutzkonzepte in folgender Form bezeichnen und voneinander abgrenzen:

Das kommunale Hochwasserschutzkonzept umfasst ein oder mehrere Kleingewässer der Kategorie A innerhalb einer Kommune. Dabei können zwei Fälle vorkommen:

- Der Hochwasserschutz an den Kleingewässern A wird ohne Starkregenrisikomanagement betrachtet, z. B. wenn bereits eine Starkregenkarte und -vorsorgeplanung vorhanden ist.
- Der Hochwasserschutz und das Starkregenmanagement werden mittels kombinierter HW- und SR-Berechnung gemeinsam betrachtet.

Auftraggeber für ein kommunales HWSK ist in der Regel die betroffene Kommune.

Falls die Kleingewässer der Kategorie A über kommunale Grenzen hinweg verlaufen, ist anzuraten, dass die betroffenen Kommunen die Aufstellung des kommunalen Konzepts gemeinsam auf der Basis eines einheitlichen Modells durchzuführen. In einem örtlichen Hochwasserschutzkonzept werden ein oder mehrere benachbarte Schadensorte an einem Gewässer B oder C üblicherweise in einer Kommune untersucht. Mögliche Schutzmaßnahmen sind Linienmaßnahmen (Deiche, Mauern und mobiler HWS) sowie örtlich wirkende Gewässermaßnahmen (Umfluter, Gerinneaufweitungen, Renaturierungen). Bei der Gewässerkategorie B sind überörtliche Einflüsse, z. B. durch (potenzielle) Hochwasserrückhaltebecken, und Auswirkungen der Schutzplanung auf Unterlieger nicht auszuschließen, sodass eine Verknüpfung mit einer einzugsgebietsweiten Betrachtung anzuraten ist. Bei großen Gewässern C ist die Verknüpfung mit der einzugsgebietsweiten Betrachtung eher nicht erforderlich, ggf. sind aber Randbedingungen (anzusetzender Hochwasserabfluss u. ä.) aus überörtlichen Betrachtungen abzuleiten.

Ein Beispiel für ein großes örtliches Hochwasserschutzkonzept sind die Maßnahmen der Stadt Köln, bei der Deichbauten, Schutzmauern, mobiler Hochwasserschutz und die Retentionsraumschaffung durch Deichrückverlegungen anhand eines durchgehenden Konzepts im Stadtgebiet entlang des Rheins miteinander verknüpft sind.

Auftraggeber für ein örtliches HWSK ist in der Regel die betroffene Kommune.

Das ezugsgebietsweite Hochwasserschutzkonzept umfasst das gesamte Gewässereinzugsgebiet eines mittleren Gewässers B. Gegebenenfalls ist eine Aufteilung in hydrologisch unabhängige Teileinzugsgebiete sinnvoll, z. B. in Gebiete ober- und unterhalb großer Talsperren. Alternativ kann auch der Begriff „Überregionales HWSK“ verwendet werden, wenn z. B. aus hydrologischen oder verwaltungstechnischen Gründen nicht das gesamte Einzugsgebiet eines Gewässers betrachtet wird.

Das einzugsgebietsweite Konzept beinhaltet Hochwasserschutzmaßnahmen, die überörtlich auf den Abfluss wirken, wie z. B. Hochwasserrückhaltebecken und große natürliche Rückhaltungen. Das einzugsgebietsweite HWSK kann der Abflussvorgabe für örtliche HWSK an einem Gewässer B sowohl für die Ist- als auch die Planzustände dienen. Wegen der möglichen gegenseitigen Abhängigkeit von überörtlich und örtlich wirkenden Maßnahmen kann für ihre sachgerechte Dimensionierung ein iteratives Vorgehen zwischen einzugsgebietsweiter und örtlicher Schutzplanung erforderlich werden. In diesem Falle umfasst das einzugsgebietsweite HWSK dann nicht mehr nur die überörtlich wirkende Maßnahmenplanung, sondern auch die verschiedenen örtlichen HWSK.

Auftraggeber für ein einzugsgebietsweites HWSK kann ein (zuständiger) Wasserverband, ein Kreis oder eine Kooperationspartnerschaft der Hochwasserschutzpflichtigen sein.

An der Erft mit einem Einzugsgebiet von 1.850 km² haben der Erftverband, 17 Kommunen und 3 Kreise eine Kooperation gebildet, um ein gemeinsames interkommunales Hochwasserschutzkonzept für das Einzugsgebiet der Erft aufzustellen. Der Erftverband erarbeitet darin die überörtlich wirkenden Maßnahmen für das gesamte Einzugsgebiet. Die lokal wirkenden Maßnahmen werden von den Kommunen in eigenen, örtlichen Hochwasserschutzkonzepten geplant. Der Erftverband prüft im Rahmen der Qualitätssicherung die Kompatibilität aller Maßnahmen und stimmt diese aufeinander ab.

Bei einem integralen Hochwasserschutzkonzept werden die örtlichen und überörtlichen Planungen direkt mit einer gemeinsamen Modelltechnik integral erarbeitet. Es eignet sich daher

insbesondere für mittlere Gewässer der Kategorie B. Die hydrologischen und hydraulischen Berechnungen sowie die örtliche und einzugsgebietsweite HWS-Konzeptplanung werden von einem Auftragnehmer(-konsortium) durchgeführt. Dementsprechend ist ein zentraler Auftraggeber für das gesamte Konzept erforderlich. Durch diese Modellierung und Konzeptplanung aus einer Hand werden Synergien erzeugt und aufwändige Iterationen zwischen verschiedenen Auftraggebern und Fachbüros reduziert. Voraussetzung dafür ist, dass ein zentraler Auftraggeber gefunden wird und die Anzahl der mitwirkenden Kommunen in einer handhabbaren Größenordnung liegt.

Auftraggeber für ein einzugsgebietsweites HWSK kann ein (zuständiger) Wasserverband, ein Kreis oder eine Kooperationspartnerschaft der Hochwasserschutzpflchtigen sein.

Ein Beispiel für ein integrales Hochwasserschutzkonzept ist die Hochwasserschutzplanung für das Einzugsgebiet von Urft und Olef (373 km²) in der Nordeifel. Hier kooperieren sechs Kommunen, der Kreis Euskirchen und der Wasserverband Eifel-Rur miteinander. Der Wasserverband hat die Federführung inne und beauftragt die erforderlichen Fachbüros.

Grundlegende Betrachtungen

Klassischerweise betrachten Hochwasserschutzkonzepte für Fließgewässer fluviale Abflussereignisse, die zu Hochwasserschäden führen, wenn die Abflusskapazität des Gewässers überschritten ist und es zu Ausuferungen kommt, die auch durch lokale hydraulische Engpässe hervorgerufen werden können. Klassische Methoden zum Hochwasserschutz sind

- die lokale Abflusskapazität zu erhöhen (Profilausbau, Vergrößern von Brückenquerschnitten etc.) oder das Wasser an der Ausuferung zu hindern durch die Errichtung von Hochwasserschutzmauern, Dämmen etc. oder
- durch Rückhaltung im Oberlauf die Abflussmengen so weit zu reduzieren, dass sie vor Ort möglichst schadlos abfließen können.

Für die Konzipierung und den Nachweis von HW-Schutzmaßnahmen an Gewässern werden üblicherweise hydrologische Modelle und hydraulische Modelle nacheinander geschaltet eingesetzt. Mit den hydrologischen Modellen werden (neben den Verfahren der Pegelstatistik) Bemessungsabflüsse berechnet und Rückhaltmaßnahmen (Hochwasserrückhaltebecken, Polder etc.) dimensioniert. In das hydraulische Modell werden dann die Abflüsse übernommen und die örtlichen Nachweise mit Bezug auf die sich einstellenden Wasserspiegellagen etc. geführt.

Aktuelle Untersuchungen und Studien (HKC 2021) haben gezeigt, dass dieses Prinzip der modelltechnischen Trennung von Hydrologie und Hydraulik in kleinen Einzugsgebieten nicht aufrechterhalten werden kann. Die dort auftretenden schadensverursachenden Niederschlagsereignisse bedingen gleichzeitig pluviale und fluviale Abflussereignisse.

Wie mit pluvialen Starkregenereignissen umzugehen ist, wie sie berechnet werden können, wie Maßnahmen abgeleitet und konzipiert werden können und wie ein Starkregenrisikomanagement durchzuführen ist, ist für Nordrhein-Westfalen in der Arbeitshilfe Kommunales Starkregenrisikomanagement (MULNV, 2018) festgelegt. Diese Arbeitshilfe wendet sich an die Kommunen, die als Projekt- und Maßnahmenträger für Starkregenuntersuchungen entsprechend gefördert werden können.

In HKC (2021) wird zum ersten Mal am Beispiel des Godesberger Bachs dokumentiert, dass klassische gewässerbezogene Hochwassergefahrenkarten (HWGK) in kleinen Einzugsgebieten mit den Überflutungsflächen am Gewässer ein zu geringes Risiko darstellen. Die Fließpfade der zeitgleichen pluvialen Abflusskomponente hin zum Gewässer, die bereits abseits der Gewässer zu Schäden führen können, werden nicht dargestellt, da diese in HWGK-Projekten nicht berechnet werden.

Daraus abgeleitet ergibt sich die Tatsache, dass in kleinen Einzugsgebieten Maßnahmen nur an Gewässern auch zu kurz gegriffen sind. Hier sind die pluvialen Abflussprozesse mitzuberücksichtigen.

Aus der Erkenntnis, dass es für die Risikokommunikation an Gewässern, insbesondere in kleinen Einzugsgebieten einer umfassenden Zusammenführung von Hochwasser- und Starkregengefahren- und Risikokarten bedarf, wurde die DWA-Arbeitsgruppe ES-2.8 „Integrale Starkregen- und Hochwassergefahrenkarten“ gegründet und ein erster Arbeitsbericht in der Korrespondenz Abwasser, Abfall im Oktober 2023 veröffentlicht (DWA-AG ES-2.8 2023).

Die in der DWA-AG ES-2.8 weiterentwickelten Ansätze des HKC (2021) zur Skalenbetrachtung und zur Modelltechnik sind auch für die Konzeption von Hochwasserschutzkonzepten relevant und werden im Weiteren erläutert.

Skalen

In HKC (2021) wurde eine Abschätzung für kleine Einzugsgebiete entwickelt, die von einer Größe von 25 bis 30 km² ausgeht. In der DWA-G ES-2.8 wurde der Ansatz von 25 km² übernommen und eine weitere Kategorie der mittleren Einzugsgebiete eingeführt.

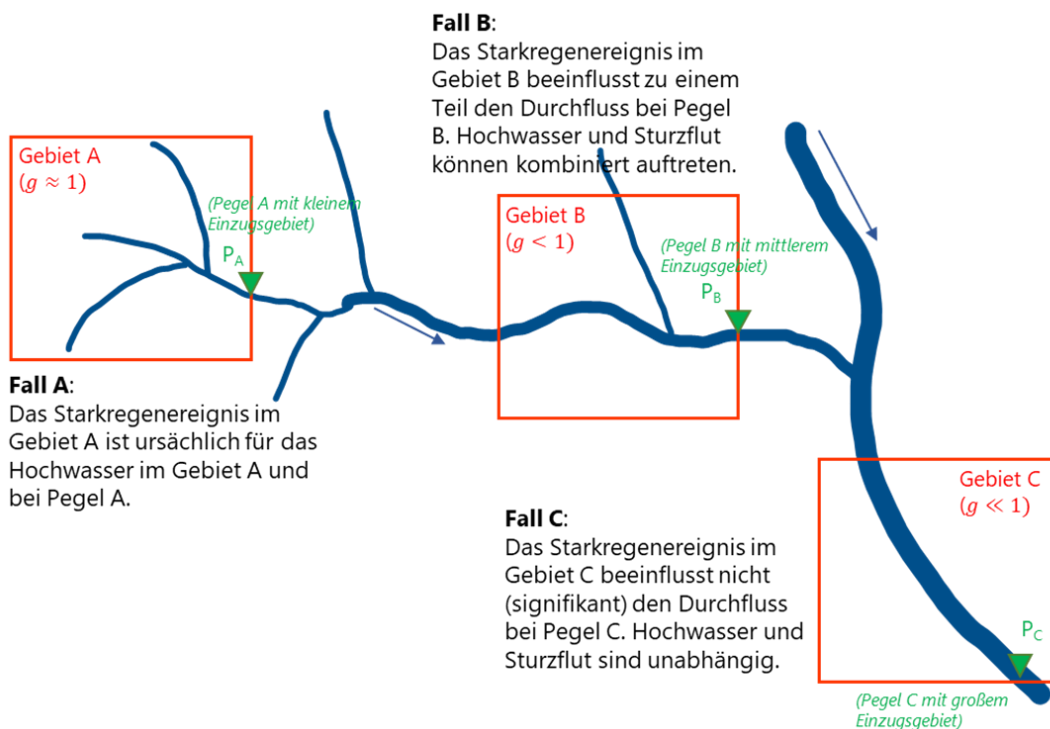


Abbildung 5: Fallunterscheidung für Gebietskategorien zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Starkregenereignis und Durchfluss im Gewässer (DWA AG ES-2.6 2023)

Abbildung 5 zeigt den Ansatz für eine integrale Bewertung. Ein quantitatives Maß zur Beurteilung der integralen Bewertung ist das Größenverhältnis zwischen Untersuchungsgebiet (A_U) und zugehörigem hydrologischen Einzugsgebiet (A_E), ausgedrückt durch den Gebietsquotienten $g = A_U / A_E$.

Im Fall A sind beide Gebiete gleich groß: $A_U \approx A_E$ ($g \approx 1$).

- Eine Überregnung des Untersuchungsgebietes kann gleichzeitig zu einer flächigen Sturzflut und einem Hochwasserereignis im Gewässer führen. Eine modelltechnische Trennung führt zu einem Informationsverlust. Die absolute Größe von A_U spielt eine Rolle. Nach HKC (2021) liegt die Grenze bei ca. 25 km². Bis zu diesem Wert sind pluviale und fluviale Ereignisse nicht voneinander zu trennen.

Fall B, C: $A_U < A_E$ ($g < 1$).

- Die Trennung von fluvialen und pluvialen Ereignissen ist möglich. Es ist eine Methodik zu entwickeln, welche die Prozesse physikalisch und/oder statistisch kombiniert.

Eine Abgrenzung von drei Fällen der Überflutung aus Gewässern ist hydrologisch sinnvoll:

- a) Kleingewässer und Kopfgebiete → „pluvial geprägt“: $g = A_U / A_E \approx 1$
 - zeitgleiches Auftreten von Überflutungen aus Starkregen und Gewässer
 - Abgrenzung der Überflutungsursachen nicht eindeutig möglich, Gefährdungspotenzial durch Starkregen oftmals größer
 - Kriterium: EZG „A“ $< 25 \text{ km}^2$
- b) Mittlere Gewässer → „fluvial geprägt“: $g = A_U / A_E < 1$
 - aufeinanderfolgendes Auftreten von Überflutungen aus Starkregen und Gewässer
 - Abgrenzung der Überflutungsursachen möglich, Gefährdungspotenziale in ähnlicher Größenordnung
 - Kriterium: $25 \text{ km}^2 < \text{EZG „B“} < 1.500 \text{ km}^2$ (oder für Obergrenze: Niederschlag-Dauerstufe $> 1 \text{ Tag}$ oder Wirklänge von Hochwasserschutzmaßnahmen)
- c) Große Gewässer → „fluvial geprägt“: $g = A_U / A_E \ll 1$
 - Überflutungen aus Starkregen und Gewässer treten (völlig) unabhängig voneinander auf
 - Gefährdung durch Flussüberschwemmung kann deutlich größer oder großräumiger als durch Starkregen sein
 - Kriterium: gemäß Obergrenze für EZG „B“

Modelltechnik

Abbildung 6 zeigt die klassische HW-Berechnung (siehe folgende Abbildung linke Seite) im Zusammenspiel von hydrologischen und hydraulischen Modellen. Diese Modelle sind anhand von Pegeldaten und Wasserspiegellagen kalibrierbar. Auf der rechten Seite ist die flächige 2D-Berechnung von Starkregenereignissen dargestellt, die mit einem Modell durchgeführt wird. Diese Starkregenmodelle (SR-Modelle) lassen sich mangels Messdaten und Konzept nicht

kalibrieren. Für die Darstellung der Risiken in Karten ergeben sich mögliche Kombinationen, eine getrennte oder kombinierte Modelltechnik.



Abbildung 6: Gegenüberstellung von Hochwasser- und Starkregenergebnissen und Möglichkeiten der Zusammenführung für kleine Gewässer (Fall A)

In kleinen Einzugsgebieten sind bei der Schutzmaßnahmenentwicklung beide Prozesse (fluvial und pluvial) gemeinsam zu betrachten. Eine getrennte Modelltechnik hätte die Nachteile

- unterschiedlicher Ergebnisse wegen unterschiedlicher Modelltypen
- höherer Modellierungsaufwand wegen doppelter Hydraulik und
- erforderliche Iteration zwischen beiden Modelltypen, um die gegenseitigen Auswirkungen der HW- und Starkregen-Maßnahmen festzustellen.

Ein kombinierter Modellansatz ist daher zu bevorzugen. Dabei ersetzt das Starkregenmodell gemäß der „Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement“ (MULNV, 2018) das hydraulische Modell für die Hochwasserberechnung, indem es um Vermessungsdaten der Flussschläuche ergänzt und anhand eines Niederschlag-Abfluss-Modells (oder Spendenvorgaben) kalibriert wird.

Dadurch wird nur noch ein hydraulisches Modell für Starkregen und Hochwasserberechnung benötigt. Die Defizitanalyse und Maßnahmenplanung werden direkt für beide Gefahrenquellen möglich.

Abbildung 7 zeigt auf der rechten Seite das Prinzip eines kombinierten Modellansatzes für die gemeinsame Berechnung fluvialer und pluvialer Prozesse.

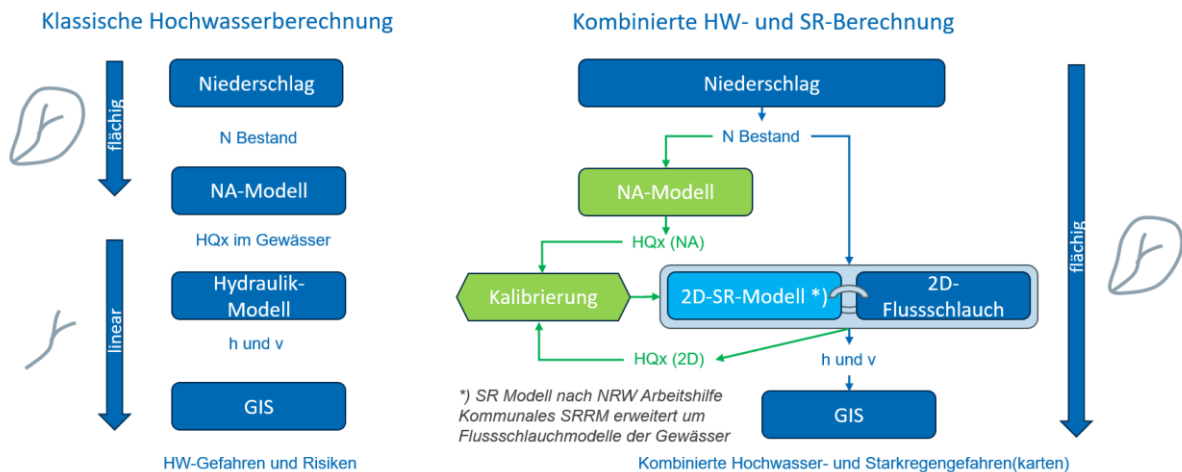


Abbildung 7: Kombinierte Hochwasser- und Starkregengerechnung für kleine Gewässer (Fall A)

Als Fazit kann gezogen werden:

Für große (C) und mittlere (B) Gewässer bzw. Einzugsgebiete wird die klassische Modelltechnik bestehend aus Pegelstatistik bzw. Niederschlag-Abfluss-Modellierung und hydraulischer Modellierung verwendet.

Für kleine Gewässer (A) kann entweder die klassische Modelltechnik oder die kombinierte Modelltechnik verwendet werden.

Da bei Kleingewässern (A) auch der Starkregenabfluss relevant ist, wird die kombinierte Modelltechnik empfohlen. Dazu kann entweder ein bereits bestehendes Starkregenmodell erweitert und kalibriert oder ein neues, kombiniertes Starkregen- und Hochwassermodell aufgebaut werden. Ziel der Kalibrierung ist es, für ausgewiesene Kontrollquerschnitte des 2D-Modells eine Übereinstimmung mit den simulierten HQx des Niederschlag-Abfluss-Modells an diesen Stellen zu erreichen. Im 2D-Modell kann dies über die Anpassung der Rauheiten oder eine Anpassung der Infiltrationseigenschaften (soweit ein Abflussbildungsmodul vorgeschaltet ist) oder durch das Preprozessing zur Bestimmung des effektiven Niederschlags geschehen.

Je nach Untersuchungsgebiet ist der Modellumfang des SR-Modells nicht auf 25 km² begrenzt. Technisch sind Modellgrößen bis 100 km² möglich (Mischform A/B).

Die „Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement“ muss dafür nicht angepasst werden.

Bei der Aufstellung eines Hochwasserschutzkonzeptes (HWSK) für einen oder mehrere Schadensorte ist der räumliche Umgriff so zu wählen, dass zum einen die Überflutungsgefahren aus dem Gewässer und ggf. aus dem Starkregenabfluss vollständig erfasst werden können und zum anderen die Planung potenzieller Maßnahmen inklusive ihrer möglichen gegenseitigen Abhängigkeiten vollumfänglich ermöglicht wird. So hängt z. B. die Dimensionierung eines Hochwasserschutzdeiches unmittelbar von der Größe eines Hochwasserrückhaltebeckens im Oberlauf ab und umgekehrt. Auch ist sicherzustellen, dass sich Maßnahmen nicht nachteilig für Unterlieger auswirken, z. B. durch einen ausreichenden ortsnahe Ausgleich. Kann dies nicht ausgeschlossen werden, so ist der räumliche Umgriff entsprechend groß zu wählen.

Auch die Art und Weise der Durchführung und des Nachweises von Schutzmaßnahmen ist an die Gebietskategorien A bis C gekoppelt. Die Vorgehensweisen sind in Abbildung 8 dargestellt: auf der linken Seite die klassische Methode für die Gebiete B und C und auf der rechten Seite für die kleinen Gebiete der Kategorie A. Beiden Methoden ist gemein, dass die Maßnahmenentwicklung ein iterativer Prozess ist, da die Zielerfüllung der Maßnahmen überprüft werden muss und die gegenseitige Beeinflussung der Maßnahmen berücksichtigt werden muss.

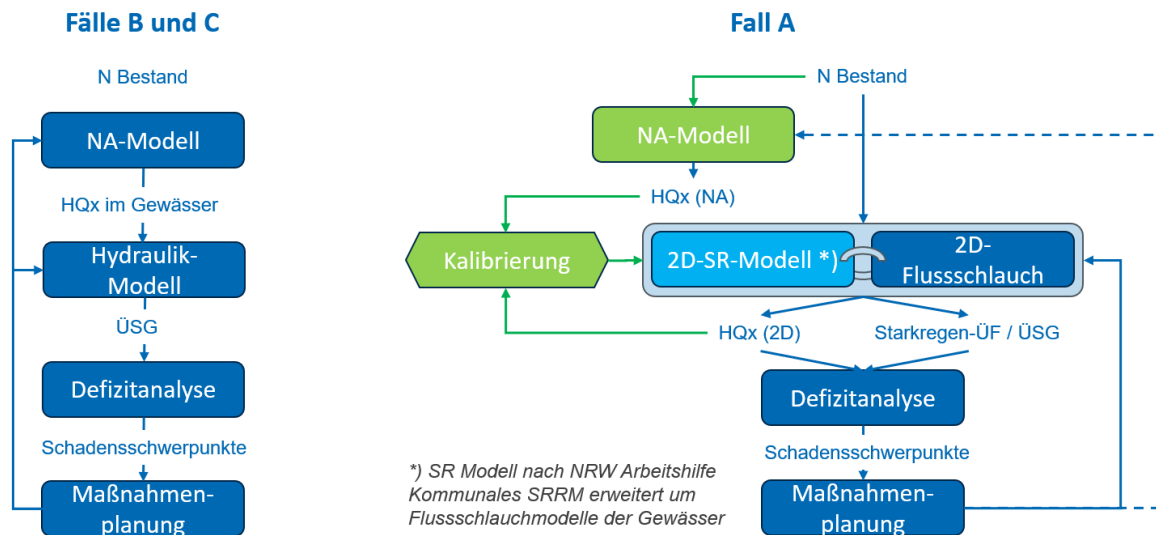


Abbildung 8: Ablaufschema eines HW-Schutzkonzeptes aus modelltechnischer Sicht

Fall A: Kleingewässer

Bei Kleingewässern treten Bachhochwasser und Starkregenabfluss in der Regel zeitgleich auf. Demzufolge können sich entsprechende Schutzmaßnahmen gegenseitig stark beeinflussen. So kann z. B. eine Hochwasserschutzmauer entlang eines Bachlaufes den Starkregenabfluss von den Straßen hin zum Bach behindern. Wegen der Gleichzeitigkeit beider Ereignisse würden hier Öffnungen mit Rückschlagklappe o. ä. keine Abhilfe schaffen können. Anlagen zum Rückhalt von Starkregen wiederum können dazu beitragen, auch das Bachhochwasser abzumindern. Daher sollten die Hochwasser- und Starkregengefahren idealerweise mit der kombinierten Hochwasser- und Starkregenberechnung gemeinsam betrachtet werden. Dabei können potenzielle Schutzmaßnahmen gegen beide Überflutungsursachen integrativ entwickelt und optimiert werden.

Das Berechnungs- und Planungsgebiet erstreckt sich damit über das gesamte Einzugsgebiet eines Kleingewässers A. Als erste Orientierung kann für die maximal zu betrachtende Einzugsgebietsgröße eine Fläche von rd. 25 km² angesetzt werden. Über diese Flächengröße hinaus sinkt die Wahrscheinlichkeit der Gleichzeitigkeit beider Überflutungsursachen. Die genaue Festlegung ist ortspezifisch zu wählen.

Kommunale Starkregenmodelle werden oftmals für ein gesamtes Gemeindegebiet aufgestellt, sodass mehrere nebeneinanderliegende Starkregeneinzugsgebiete und möglicherweise auch Kleingewässer der Kategorie A darin abgebildet sein können. In diesem Fall erstreckt sich der räumliche Umgriff des aufzustellenden Hochwasserschutzkonzeptes auf mehrere Kleingewässer A nebst der zugehörigen Starkregeneinzugsgebiete.

Liegen ein oder mehrere Gewässer der Kategorie B oder C im SR-Modell einer Kommune, so sind diese i. d. R. separat in eigenen Hochwasserschutzkonzepten zu betrachten.

Fall B: Mittlere Gewässer

Bei mittleren Gewässern, wie z. B. der Erft, können sich Hochwasserschutzmaßnahmen auf Unterliegende auswirken, oftmals auch außerhalb der mit der Aufstellung eines HWSK befassenen Kommune. Geht z. B. durch linienhafte HWS-Maßnahmen, wie Deiche und Mauern, Retentionsraum verloren, so ist i. d. R. ein Ausgleich erforderlich, der möglicherweise nicht auf dem Gebiet der zu schützenden Kommune selbst erbracht werden kann. Überörtliche HWS-Maßnahmen (natürlicher Rückhalt, Hochwasserrückhaltebecken) können sich wiederum vorteilhaft auf mehrere Anliegerkommunen an einem Gewässer B auswirken.

Daher wird für den Untersuchungs- und Planungsraum das gesamte Einzugsgebiet des mittleren Gewässers B empfohlen, auch wenn darin mehrere Kommunen liegen. Somit können gegenseitige Auswirkungen und Abhängigkeiten bei der Maßnahmenplanung sachgerecht erkannt und berücksichtigt werden. Voraussetzung dafür ist eine einzugsgebietsweites Niederschlag-Abfluss Modellierung und eine durchgehende hydraulische Modellierung für den gesamten Flusslauf. Falls es die Rechenzeiten erfordern, kann das Modell auch in Berechnungsabschnitte aufgeteilt sein. Idealerweise erfolgt die Konzeption von örtlichen (Linien-) und überörtlichen (Rückhalte-)Maßnahmen integral entlang des gesamten Flusslaufes und im gesamten Einzugsgebiet. Die örtlichen und überörtlichen Maßnahmenplanungen können auch getrennt voneinander durchgeführt werden, sie müssen dann aber in einem iterativen Prozess aufeinander abgestimmt werden.

Liegen am Flusslauf eines Gewässers B eine oder mehrere große Talsperren mit Hochwasserschutzfunktion, wie z. B. an der Eifel-Rur, so wird durch sie eine hydrologische Trennung herbeigeführt. In diesen Fällen genügt u. U. die Betrachtung von Teilabschnitten des Einzugsgebietes bei der Aufstellung eines HWSK.

Örtliche Linienmaßnahmen wie Deiche und Mauern können den Starkregenablauf ins Gewässer behindern, daher ist ein Abgleich der Planung mit einer örtlichen Starkregenmodellierung des Hinterlandes empfehlenswert.

Fall C: Große Gewässer

Bei großen Gewässern, wie z. B. dem Rhein, sind in der Regel Linienschutzmaßnahmen (Deiche, Mauern, mobiler HWS, Entlastungsgerinne u. ä.) zielführend. Wegen der großen Hochwasserabflüsse können Rückhalteräume („Polder“) nur einen Teilbeitrag zur Hochwasserreduzierung an einem Schadensort leisten. Sie sind aber oftmals sehr wichtig für den Ausgleich des durch die Linienmaßnahmen wegfallenden Retentionsvolumens.

Somit ist der Betrachtungsraum eines HWSK für ein Gewässer C in der Regel auf die Schadensorte einer Kommune beschränkt. Wenn Schadensorte von mehreren Kommunen beieinander- oder gegenüberliegen, ist die mögliche gegenseitige Beeinflussung der erforderlichen Maßnahmen in einem gemeinsamen HWSK zu betrachten. Dabei sind auch mögliche Fließwege außerhalb des Gewässerbettes zu beachten, die Hochwassergefahren für Ortschaften vom Hinterland her erzeugen können. Ein kommunenübergreifender Betrachtungsraum kann

auch dann sinnvoll sein, wenn der Ausgleich des wegfallenden Retentionsraumes nicht auf dem Gebiet der planenden Kommune selbst untergebracht werden kann.

Die linienhaften HWS-Maßnahmen können den Starkregenabfluss behindern, der Starkregenabfluss gelangt hier aber oftmals über Gewässer der Kategorie A oder B in den Fluss C. Somit ist der schadlose Abfluss der A- und B-Gewässer in das Gewässer C bei der HWS-Planung für C zu berücksichtigen.

Insgesamt ist zu beachten, dass die Gewässerkategorien A, B und C fließend ineinander übergehen. Eine exakte Abgrenzung wird oftmals nicht möglich sein und die Festlegung des räumlichen Umgriffs des aufzustellenden Hochwasserschutzkonzeptes ist entsprechend der orts- bzw. regionsspezifischen hydrologischen und hydraulischen Gegebenheiten vorzunehmen.