



Landesanstalt für Umweltschutz  
Baden-Württemberg

# Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes


 Leitfaden

<b>HERAUSGEBER</b>	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) 76157 Karlsruhe · Postfach 21 07 52 poststeller@lfuka.lfu.bwl.de www.lfu.baden-wuerttemberg.de
<b>BEARBEITUNG</b>	Projektbegleitende Arbeitsgruppe auf Grundlage einer Studie des Ingenieurbüros WALD + CORBE, Hügelsheim: Heinz Daucher, Helmut Straub, Bernd Katzenberger, Bernd Karolus, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Konrad Störk, Regierungspräsidium Stuttgart Werner Schultz, Umweltministerium Baden-Württemberg Joachim Wald, Dr. Hans Gerold Göppert, Ingenieurbüro WALD + CORBE
<b>REDAKTION</b>	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) Abteilung 4 Wasser und Altlasten
<b>BEZUG</b>	Verlagsauslieferung der LfU bei JVA Mannheim Druckerei Herzogenriedstraße 111 · 68169 Mannheim Telefax 0621 / 398-370 bibliothek@lfuka.lfu.bwl.de Download unter <a href="http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de">http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de</a>
<b>ISSN</b>	1436-7882 (Bd. 92, 2005)
<b>ISBN</b>	3-88251-288-1
<b>STAND</b>	Juli 2005, 1. Auflage
<b>DRUCK</b>	Kraft Druck und Verlag GmbH, Ettlingen gedruckt auf Recyclingpapier

<b>ZUM LEITFADEN</b>		<b>5</b>
<b>1</b>	<b>ANLASS UND ZIEL</b>	<b>6</b>
1.1	Hochwasserschutzstrategie des Landes Baden-Württemberg	6
1.2	Bemessungshochwasser	8
1.3	Hochwasserschutzziele	9
<b>2</b>	<b>ANWENDUNGSBEREICH DES LEITFADENS</b>	<b>12</b>
2.1	Lokale Schutzmassnahmen am Gewässer	12
2.1.1	Objektschutzmassnahmen	12
2.1.2	Gewässerausbau	13
2.1.3	Flussdeiche und sonstige feste Schutzanlagen	13
2.1.4	Mobile Hochwasserschutzsysteme	14
2.1.5	Flutmulden und Entlastungskanäle	15
2.2	Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren	15
2.2.1	Nachweise zur Anlagensicherheit	17
2.2.2	Hochwasserschutzwirkung	18
2.3	Staustufen	18
2.4	Schöpfwerke	19
2.5	Kreuzungsbauwerke (Durchleitungs- und Mündungsbauwerke)	19
2.6	Einzugsgebietsbezogene Hochwasserschutzkonzepte	20
<b>3</b>	<b>METHODEN ZUR BESTIMMUNG DES BEMESSUNGSHOCHWASSERS</b>	<b>22</b>
3.1	Einführung	22
3.2	Grundlagen	23
3.2.1	Pegeldaten	23
3.2.2	Historische Hochwasserereignisse	23
3.2.3	Niederschlagsdaten	25
3.2.3.1	Bemessungsniederschläge des DWD (KOSTRA)	26
3.2.3.2	Bemessungsniederschläge für hohe Wiederkehrzeiten (Jährlichkeiten)	28
3.2.3.3	Vermutlich größter Niederschlag (PMP, MGN)	29
3.3	Hochwasserregionalisierung ( $HQ_{T_n}$ )	30
3.3.1	Hochwasserscheitelabflüsse mit Wiederkehrzeiten $T_n$ bis 100 Jahre	30
3.3.2	Hochwasserscheitelabflüsse mit Wiederkehrzeiten $T_n$ 200 bis 10.000 Jahre	33
3.4	Flussgebietsuntersuchungen	35
3.4.1	Hydrologisches Flussgebietsmodell (Niederschlag-Abfluss-Modell)	37
3.4.2	Hydraulisches Fließgewässermodell	38


3.4.3	Nutzen-Kosten-Untersuchung	39
3.5	Lastfall Klimaänderung	41
3.5.1	Einführung	41
3.5.2	Erhöhung des Bemessungsabflusses	41
3.5.3	Auswirkung des Lastfalls Klimaänderung auf Hochwasserrückhaltebecken	44
3.5.4	Übertragung der Klimaänderungsfaktoren auf N-A-Modelle	44
3.6	Beurteilung der verschiedenen Methoden	45
<b>4</b>	<b>ARBEITSSCHRITTE ZUR FESTLEGUNG DES BEMESSUNGSHOCHWASSERS</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>BEZUGSQUELLEN UND ANSPRECHPARTNER</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>ANWENDUNGSBEISPIELE</b>	<b>52</b>

# Zum Leitfaden

 Der technische Hochwasserschutz ist einer der drei Bausteine in der Hochwasserschutz-Strategie des Landes. Bei der Planung von technischen Hochwasserschutzanlagen muss ein iterativer Optimierungsprozess unter Berücksichtigung einer Nutzen-Kosten-Betrachtung stattfinden. Ein landesweit einheitliches Vorgehen wird in dem Leitfaden anhand von Ablaufdiagrammen erläutert.

Maßgebliche Datengrundlage für die Festlegung des Bemessungshochwassers ist die  $HQ_{Tn}$ -Regionalisierung der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LFU). Es sind immer die aktuell gültigen Datengrundlagen zu verwenden. Ergänzend zum bisherigen Vorgehen ist bei der Planung neuer Anlagen der Lastfall Klimaänderung zu prüfen. Auf der Grundlage von Klimaänderungsszenarien werden in dem Leitfaden regionale Klimaänderungsfaktoren für die  $HQ_{Tn}$ -Werte zur Verfügung gestellt. Ökonomisch sinnvolle Vorbereitungen auf die wasserwirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels sind hierdurch möglich. Bei der Erstellung von Hochwassergefahrenkarten wird dieser Lastfall jedoch nicht angewendet.

Anhand der im Leitfaden an Beispielfällen eingehend beschriebenen Vorgehensweisen zur Ermittlung und Anwendung der Bemessungsgrößen können die Landesverwaltung und die anderen am Planungsprozess und Zulassungsverfahren beteiligten Stellen Vorgaben und Qualitätskriterien für die von ihnen verantworteten Hochwasserschutzprojekte ableiten. Den für die Prüfung der Anträge zuständigen unteren Wasserbehörden und den nach den Förderrichtlinien Wasserwirtschaft zuständigen Bewilligungsstellen wird empfohlen, den Leitfaden als Arbeitshilfe zu Grunde zu legen. Erfüllen die Hochwasserschutzplanungen die Vorgaben des Leitfadens, so sind diese Maßnahmen förderfähig. Dies trifft auch auf Planungen mit Berücksichtigung des Lastfalls Klimaänderung zu, wenn diese ökonomisch begründet sind. Darüber hinausgehende Schutzmaßnahmen müssen von dem Vorhabensträger eigenständig finanziert werden.

Dieser Leitfaden ist eine Handlungsempfehlung und Arbeitshilfe für Ingenieurbüros, Vorhabensträger und Entscheidungsträger, die Fachverwaltung und Gestattungsbehörden bei der Planung neuer Anlagen sowie bei Sanierungen, Umplanungen, konzeptionellen Änderungen bestehender Anlagen. Er ist keine Verwaltungsvorschrift im Sinne einer technischen Baubestimmung. Bei Anwendung in der Praxis wird der Inhalt des Leitfadens zur allgemein anerkannten Regel der Technik im Sinne des § 44 Wassergesetz Baden-Württemberg. 

# 1 Anlass und Ziel

## 1.1 HOCHWASSERSCHUTZSTRATEGIE DES LANDES BADEN-WÜRTTEMBERG

Hochwasser sind Naturereignisse, die in nicht vorhersehbaren Abständen und in wechselnden Höhen auftreten. Sie sind ein unvermeidbarer Teil des Wasserkreislaufs und besitzen eine natürliche Dynamik. Hochwasser entstehen durch extreme Niederschläge (Starkregen, Dauerregen) mit oder ohne Schneeschmelze. Die Intensität und die Dauer des Niederschlags in Verbindung mit einer hohen Abflussbereitschaft des Einzugsgebiets sind für die Größe des Hochwassers maßgebend und führen in den Flüssen zu Hochwasserwellen, bei denen die Wasserstände über die Uferhöhe ansteigen. Extreme Hochwasser entstehen meist durch das Zusammentreffen, von ungünstigen den oberirdischen Abfluss fördernden Konstellationen aus meteorologischen Ereignissen und Zuständen der Einzugsgebiete (erhöhte Abflussbereitschaft).

Ziel eines zukunftsweisenden Hochwasserschutzes ist es, Hochwasserschäden durch ein gezieltes Hochwassergefahrenmanagement zu reduzieren oder auszuschließen. Dies kann nur durch eine ganzheitliche Betrachtungs- und Vorgehensweise erreicht werden. Hierzu hat das Land Baden-Württemberg eine Hochwasserschutzstrategie entwickelt, die sich aus dem Hochwasserflächenmanagement, der Hochwasservorsorge und dem Technischen Hochwasserschutz zusammensetzt (Abbildung 1).

Im Rahmen des *Hochwasser-Flächenmanagements* werden in Baden-Württemberg zur Flächenvorsorge Überschwemmungsgebiete kraft Gesetz ausgewiesen. Zu Grunde gelegt wird eine Fläche, die bei einem 100-jährlichen Hochwasserereignis überflutet wird. Darüber hinaus sollen mit raumordnerischer Festlegung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten die entsprechenden hochwassergefährdeten Flächen frühzeitig als Retentionsräume und damit vor einer das Schadenspotenzial vergrößernden

Fehlnutzung gesichert werden. In den Regionalplänen werden in hochwassergefährdeten Gebieten im Freiraum „Vorranggebiete für den vorbeugenden Hochwasserschutz“ festgelegt. Diese Vorranggebiete zur

- Vermeidung zusätzlicher Schadensrisiken
- Erhaltung und Aktivierung natürlicher Überschwemmungsflächen oder
- Erhaltung der Möglichkeiten der Gewässerentwicklung und Auenrenaturierung

zielen darauf ab, natürliche Überschwemmungsflächen von hochwassersensiblen Nutzungen sowie von Nutzungen, die den Abfluss beeinträchtigen und/oder zu Retentionsraumverlusten führen, freizuhalten. Darüber hinaus können „Vorranggebiete“ zur raumordnerischen Sicherung von Flächen für Anlagen und Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes (z. B. Hochwasserrückhaltebecken, Deichrückverlegungen) festgelegt werden.

Die Abgrenzung der Vorranggebiete erfolgt auf der Grundlage der wasserwirtschaftlichen Informationen zu den hochwassergefährdeten Gebieten mit einer Wiederkehrzeit von 100 Jahren unter Berücksichtigung von Anlagen zum technisch-infrastrukturellen Hochwasserschutz.

Darüber hinaus werden die übrigen (nicht mit „Vorrang“ belegten) hochwassergefährdeten Gebiete im Freiraum als „Vorbehaltsgebiete für den vorbeugenden Hochwasserschutz“ festgelegt. Sofern eine Festlegung auf Grund der Gefahrenlage sinnvoll und geboten ist, können auch innerhalb von besiedelten Gebieten, die nicht zum Außenbereich gehören, Vorbehaltsgebiete festgelegt und so entsprechende Vorgaben für die Bauleitplanung der betroffenen Gemeinde geschaffen werden. Die Abgrenzung der Vorbehaltsgebiete erfolgt auf der Grundlage eines Hochwasserereignisses mit einer Wiederkehrzeit von 100 Jahren (siehe Leitfaden „Hochwassergefahrenkarten in Baden-Württemberg“ [UM, IM, WM, 2005]).

Zur Vermeidung von Hochwasserschäden in den besiedelten Gebieten haben Maßnahmen des *technischen Hochwasserschutzes* nach wie vor eine wesentliche Bedeutung. Dennoch darf bei allen technischen Schutzanlagen nicht außer Acht gelassen werden, dass sie bei einem extremen Hochwasserereignis nur bis zu einer gewissen Grenze – dem festgelegten Bemessungshochwasser – Schutz bieten können. Auch in Gebieten hinter Schutzanlagen oder unterhalb von Hochwasserrückhaltebecken sind zur Vermeidung von existenzbedrohenden Schäden bei extremen, die Schutzanlage überfordernden Hochwasserereignissen Vorsorgestrategien wichtig.

Ein weiterer wichtiger Baustein zur Vermeidung und Verminderung von Hochwasserschäden ist die *Hochwasservorsorge*. Durch hochwasserangepasstes Bauen, eine entsprechende Nutzung und bewusstes Handeln im Hochwasserfall können Hochwasserschäden deutlich verringert werden. Trotzdem sind Schäden bei Extremhochwasser nicht auszuschließen. Für diesen Fall sollte durch eine Hochwasserversicherung der wirtschaftliche Verlust im Vorfeld begrenzt werden.

Nur alle drei Teilstrategien zusammen bewirken letztendlich eine größtmögliche und nachhaltige Schadensminderung.

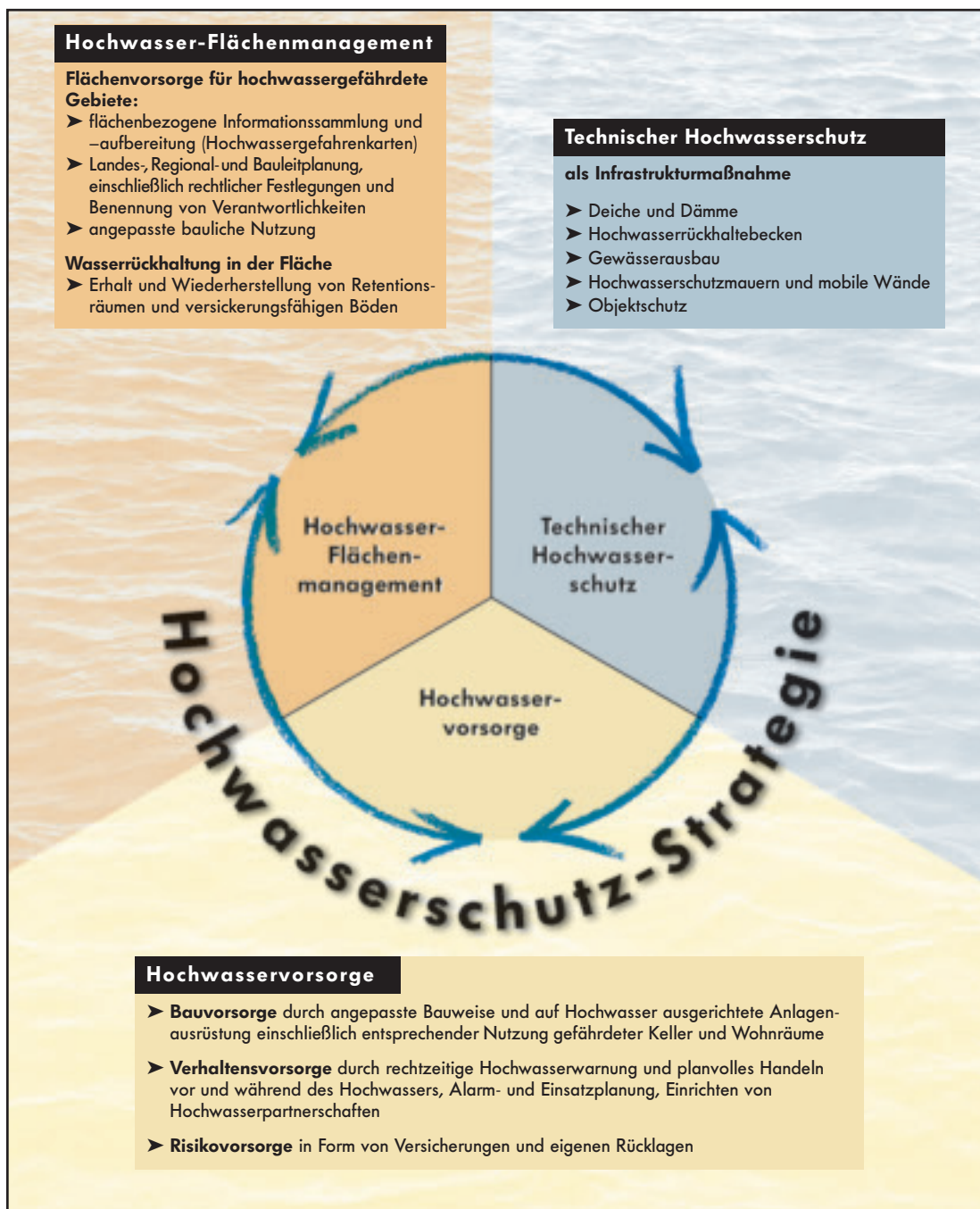


Abbildung 1: Hochwasserschutz-Strategie in Baden-Württemberg

## 1.2 BEMESSUNGSHOCHWASSER

Anlagen des technischen Hochwasserschutzes mit ihren Bauteilen und Betriebseinrichtungen sind auf den ihnen zugeordneten wasserwirtschaftlichen Zweck hin zu bemessen - z. B. auf eine definierte Hochwasserschutzwirkung. Außerdem ist die Anlagensicherheit bei extremen Zuständen für entsprechende Lastfälle nachzuweisen.

Alle Bemessungslastfälle und Dimensionierungen erfolgen auf der Grundlage hydrologischer Daten und Bestimmungsgrößen, aus denen die Bemessungsgrößen abzuleiten sind. Diese Bemessungsgrößen werden als „Bemessungshochwasser“ bezeichnet.

Das „Bemessungshochwasser“ wird je nach Bemessungsfall festgelegt unter Berücksichtigung

- des Scheitelwerts einer Hochwasserganglinie  $HQ_{T_n}$  in Kubikmeter pro Sekunde, der einer bestimmten statistischen Wiederkehrzeit oder Jährlichkeit  $T_n$  zugeordnet ist (z. B.  $T_n = 100$  Jahre)

oder

- der Hochwasserganglinie  $Q_{T_n}(t)$ , der z. B. die Fülle in Kubikmeter mit einer statistischen Wiederkehrzeit oder Jährlichkeit  $T_n$  zugeordnet ist

oder

- des Hochwasserstands  $HW_{T_n}$  in m ü. NN an einer Gewässerstelle bei einem Abfluss  $HQ_{T_n}$  in Kubikmeter pro Sekunde, dem eine bestimmte statistische Wiederkehrzeit oder Jährlichkeit  $T_n$  zugeordnet ist, z. B.  $HW_{100}$  (m ü. NN).

Dieser Leitfaden befasst sich mit den Methoden zur hydrologischen Bestimmung der als „Bemessungshochwasser“ bezeichneten Bemessungsgrößen für die verschiedenen Anlagentypen des technischen Hochwasserschutzes.

Anlass für die Erstellung des Leitfadens sind die bisherigen, z. T. unterschiedlichen Vorgehensweisen bei der Bestimmung des Bemessungshochwassers.

Bis ca. 1970 wurde in Baden-Württemberg das Bemessungshochwasser meistens nach abgelaufenen Hochwassern bzw. historischen Höchstwerten „HHQ“ mit Zu- bzw. Abschlägen festgelegt. Für Hochwasserrückhaltebecken wurden zur Inhaltslinienermittlung Bemessungs-

ganglinien oft nach „Modellkurven“ bzw. ab 1974 nach dem so genannten „Ven-Te-Chow-Verfahren“ ermittelt.

Ab 1970 erfolgten extremwertstatistische Pegelauswertungen, seit 1983 landesweit  $HQ_{T_n}$ -Regionalisierungen. Für Berechnungen mit Niederschlag-Abfluss-Modellen stehen seit 1976 verschiedene Niederschlagsstatistiken wie die „Verteilungskurven der Niederschläge in Baden-Württemberg 1976“ und diverse „KOSTRA“ - Nachfolgeversionen zur Verfügung.

Zeitweise wurde das Bemessungshochwasser für die wasserwirtschaftliche Bemessung dem  $HQ_{100}$  gleichgesetzt. Dies führte allerdings bei Veränderungen der  $HQ_{100}$ -Werte innerhalb kurzer Zeitspannen infolge von Fortschreibungen wegen abgelaufener Hochwasserereignisse zu Verunsicherungen. Auch juristische Probleme wurden aufgeworfen, wenn die wasserrechtliche Zulassung einer Hochwasserschutzanlage das Bemessungshochwasser ausschließlich mit einer Jährlichkeit  $T_n$  definierte.

Für die Bemessung von Anlagen des technischen Hochwasserschutzes mit ihren Bauteilen und Betriebseinrichtungen sind deshalb für die Bemessungshochwasser jeweils feste, von der Fortschreibung der hydrologischen Zeitreihen unabhängige Bemessungsgrößen zu wählen. Die wasserwirtschaftlichen Bemessungsgrößen sind vom Vorhabensträger auf Vorschlag des planenden Ingenieurs und in Abstimmung mit der Wasserbehörde festzulegen. Damit bekennt sich der Antragsteller zu den der Planung zugrunde gelegten Bemessungswerten.

Nach der rechtlichen Zulassung ist auch das Bemessungshochwasser der Hochwasserschutzanlage per Verwaltungsakt rechtsverbindlich festgelegt. Die Überprüfung und Veränderung dieses „Bemessungshochwassers“ findet nach Fertigstellung der Hochwasserschutzanlage dann statt, wenn technische Vorschriften eine Überprüfung der Bemessung erfordern.

Bei einer Änderung des Bemessungshochwassers ist zu prüfen, ob die rechtliche Zulassung der Anlage anzupassen ist.



Der Leitfaden ist eine Handlungsempfehlung für die Festlegung des Bemessungshochwassers für die unterschiedlichen Typen von Anlagen des technischen Hochwasserschutzes. Dabei sind folgende Grundlagen und Randbedingungen zu berücksichtigen:

- die Hochwasserschutzstrategie des Landes Baden-Württemberg
- die besser abgesicherten  $HQ_{T_n}$ -Regionalisierungsergebnisse
- die Anforderungen durch die neue DIN 19700 (Juli 2004) bezüglich der  $HQ_{T_n}$ -Werte bis  $T_n = 10.000$  Jahre
- die Niederschlagsauswertungen „KOSTRA 2005“
- die ersten Ergebnisse aus dem „KLIWA-Projekt“ [Ihringer, 2004c] bezüglich möglicher Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Hochwasserabflüsse
- Nutzen-Kosten-Gegenüberstellung

### 1.3 HOCHWASSERSCHUTZZIELE

Im Vorfeld einer Hochwasserschutzplanung erfolgen als erste Schritte eine Beschreibung des Anlasses und eine Bestandsaufnahme der örtlichen Situation. Es muss geklärt werden, welche Hochwasserschutzvorstellungen die Betroffenen haben und welche Probleme bei abgelaufenen Hochwasserereignissen aufgetreten sind.

Im Zuge einer Risikoanalyse „Was kann passieren?“ sind die Auswirkungen von Hochwasserereignissen auf die Gesellschaft, die Sachwerte und die Umwelt festzustellen. Das Risiko ergibt sich aus der Interaktion von Gefährdung und Vulnerabilität (Verletzbarkeit) [DKKV, 2003]; siehe Abbildung 2.

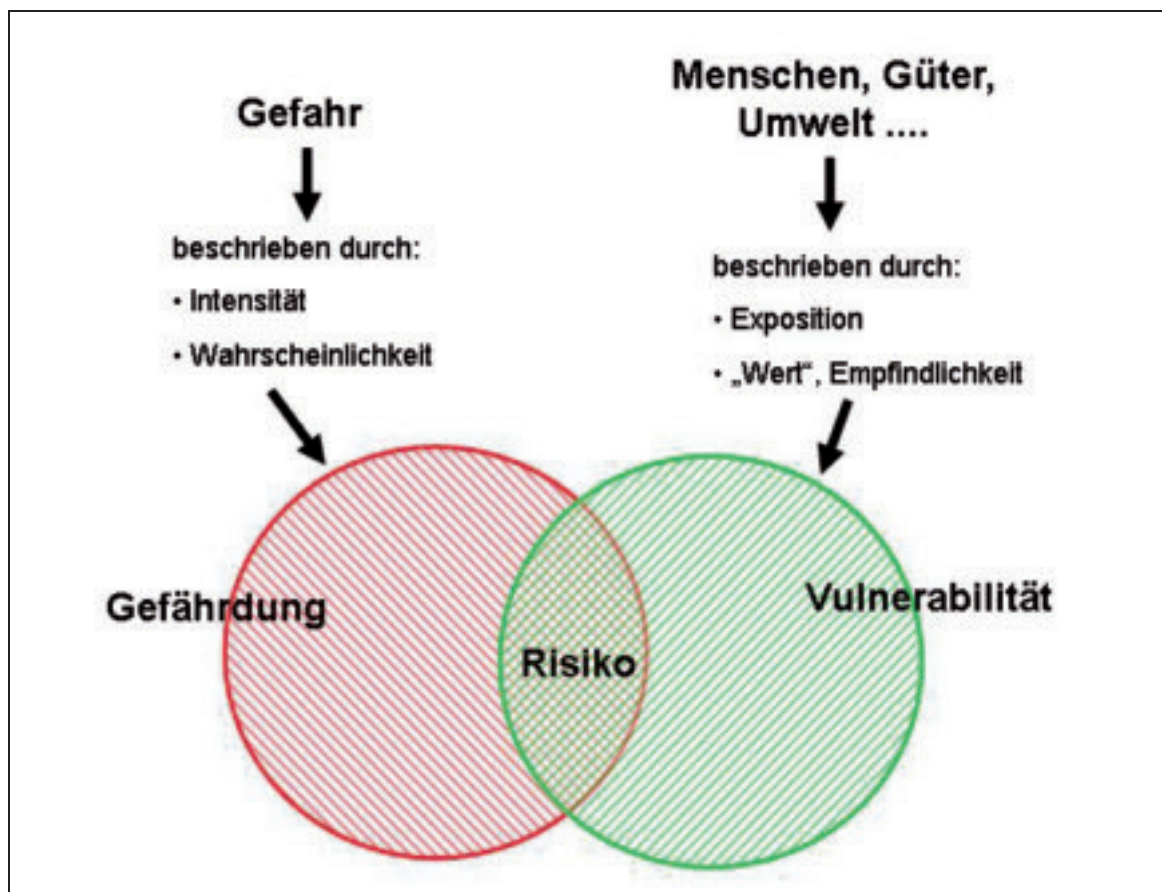


Abbildung 2: Interaktion zum Risiko

Danach erfolgt die Risikobewertung „Was darf passieren? Welcher Schutz für welchen Preis?“. Die Risikobewertung beschäftigt sich mit der Festlegung der Schutzziele und der Risikoakzeptanz. Es erfolgt eine Variantenuntersuchung der drei Hochwasserschutz-Strategien, wobei mit Hilfe einer Nutzen-Kosten-Gegenüberstellung ein optimiertes Hochwasserschutzkonzept iterativ entwickelt wird. In dem optimierten Hochwasserschutzkonzept werden der Hochwasserschutzgrad und die technische Hochwasserschutzvariante festgelegt. Bei der Entscheidung über den angemessenen Schutzgrad muss der Grund-

Grundsatz der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit beachtet werden. Außerdem spielen das Sicherheitsbedürfnis der Öffentlichkeit sowie die Belange von Natur und Landschaft eine Rolle.

Es empfiehlt sich eine Vorantragsberatung in Anspruch zu nehmen und die fachliche Begleitung durch die Wasserbehörden zu suchen.

In Abbildung 3 sind die einzelnen Arbeitsschritte zusammengestellt.

<b>Veranlassung</b>
<input type="checkbox"/> Beschreibung der Gefährdung und der Hochwasserschutzvorstellungen
<b>Bestandsaufnahme</b>
<input type="checkbox"/> Topographie und Gewässerprofile erheben bzw. vermessen
<input type="checkbox"/> hydrologische Daten auswerten
<input type="checkbox"/> vorhandene Landnutzung erheben und grob klassifizieren
<input type="checkbox"/> historische HW-Schäden erheben
<input type="checkbox"/> Umweltgefährdungspotenziale ermitteln
<input type="checkbox"/> Binnenentwässerung erfassen
<input type="checkbox"/> Ziele der Gewässerentwicklungsplanung erheben
<input type="checkbox"/> schutzwürdige Bereiche erheben
<b>Ermittlung der Hochwassergefahr und des Schadenspotenzials (Risikoanalyse)</b>
<input type="checkbox"/> hydrologische und hydraulische Untersuchung (einschließlich des Lastfalls Klimaänderung und eines Extremereignisses) durchführen (Schwachstellenanalyse)
<input type="checkbox"/> hochwassergefährdete Flächen für verschiedene Hochwasserereignisse ermitteln
<input type="checkbox"/> betroffene Nutzungen (Objekte) identifizieren und klassifizieren sowie Schadensanfälligkeit auswerten
<input type="checkbox"/> zu erwartende Schäden monetär bewerten
<input type="checkbox"/> sozio-kulturelle Schäden und Personengefährdung beschreiben (keine monetäre Bewertung)
<b>Untersuchung von Hochwasserschutzvarianten mit Optimierungsprozess (Risikobewertung)</b>
<input type="checkbox"/> Hochwasserschutzvarianten und deren Wirkung ermitteln
<input type="checkbox"/> Nutzen-Kosten-Gegenüberstellung (Kapitalwert)
<input type="checkbox"/> Hochwasserschutzkonzeption entwickeln
<input type="checkbox"/> Hochwasserschutzgrad und technische Hochwasserschutzvariante festlegen
<input type="checkbox"/> Restrisiko darstellen
<b>Risikoumgang</b>
<input type="checkbox"/> Hochwasserschutzkonzeption umsetzen
<input type="checkbox"/> Hochwasseralarmpläne erstellen bzw. aktualisieren
<input type="checkbox"/> Öffentlichkeit informieren (Restrisiko)
<input type="checkbox"/> Katastrophenschutz planen und üben

Abbildung 3: Arbeitsschritte zur Entwicklung ganzheitlicher Hochwasserschutzkonzeptionen

Die Festlegung des Hochwasserschutzgrades erfolgt unter Berücksichtigung der Gefährdung und Vulnerabilität. Eine Entscheidungshilfe hierzu ist in Abbildung 4 gegeben. Dort wird empfohlen, bei welcher Nutzung welche Bandbreite des Schutzgrads anzustreben ist.

Bei der Erarbeitung einer Hochwasserschutzkonzeption sind in einem zusätzlichen Schritt die möglichen wirtschaftlichen Konsequenzen des Klimawandels zu untersuchen. Es ist zu prüfen, ob dies die Hochwasserschutzkonzeption in ihrer Gesamtheit oder in Teilen ändern würde. Unter ökonomischen Gesichtspunkten ist bei den Bauwerken zu prüfen, ob eine Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels („Klimaänderungsfaktor“) schon heute oder erst zu einem späteren Zeitpunkt im Rahmen einer Nachrüstung erfolgen sollte. Sind sinnvolle bauliche Vorkehrungen möglich und verursachen sie nur geringe zusätzliche Kosten, sollten die möglichen Folgen der Klimaänderung schon heute berücksichtigt werden (siehe Anwendungsbeispiel 11 u. 12). Bei Rückhaltemaßnahmen kann sich bei der Berücksichtigung des Klimaänderungsfaktors das erforderliche Rückhaltevolumen

sehr stark erhöhen. Es ist zu prüfen, ob Vorbereitungen zu treffen sind, die eine kostengünstige Nachrüstung ermöglichen.

Der anschließende Risikoumgang: „Wie kann mit dem Risiko bestmöglich umgegangen werden?“ beschreibt die optimale Risikoreduktion und gibt andererseits auch Hinweise auf das bestehende Restrisiko und wie dieses zu behandeln ist.

Beim Integrierten Rhein-Programm (IRP) wurde das Hochwasserschutzziel, abweichend von dem beschriebenen Vorgehen, in Verträgen zwischen den Anrainerstaaten und den beteiligten Ländern festgelegt. Nach Herstellung aller Hochwasserschutzmaßnahmen soll ein Schutzgrad wie vor dem Rheinausbau wieder hergestellt werden. Der dafür festgelegte Hochwasserbemessungsabfluss beträgt beim Pegel Maxau 5.000 m<sup>3</sup>/s und am Pegel Worms 6.000 m<sup>3</sup>/s.

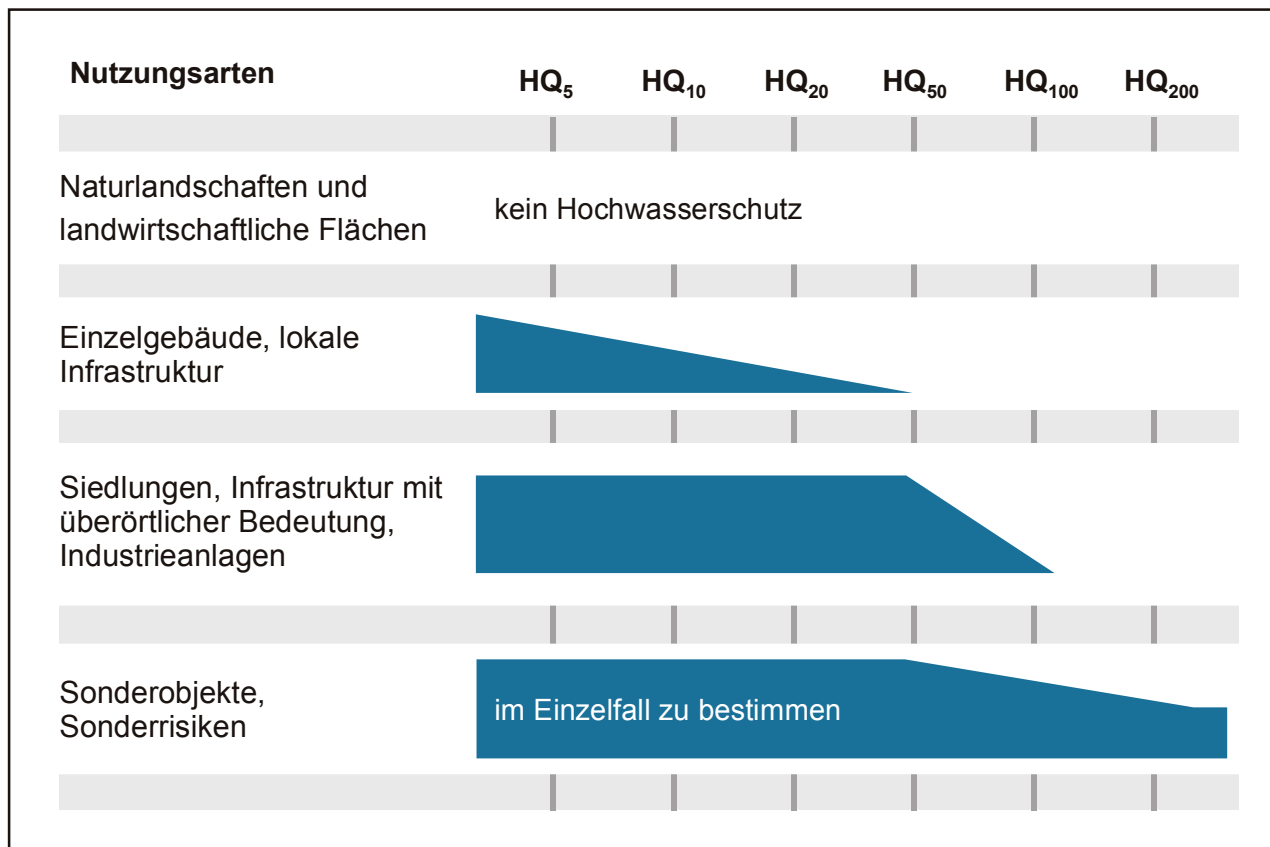


Abbildung 4: Anhaltswerte für die Wahl des Hochwasserschutzgrades (Wiederkehrzeit  $T_n$ ) in Baden-Württemberg für bestehende Nutzungsarten

## 2 Anwendungsbereich des Leitfadens

Der Leitfaden gibt eine Handlungsempfehlung für alle am Planungs- und Entscheidungsprozess Beteiligten, nach der für technische Hochwasserschutzmaßnahmen die Bemessungshochwasser für die hydraulische Bemessung der wasserbaulichen Anlagen bzw. Maßnahmen festzulegen sind.

Betrachtet werden dabei folgende Anlagen des technischen Hochwasserschutzes:

- Schutzmaßnahmen am Gewässer, wie z. B. Objektschutzmaßnahmen, Gewässerausbaumaßnahmen, Flussdeiche und Hochwasserschutzmauern,
  - Hochwasserrückhaltebecken, Talsperren und Stautufen,
  - Schöpfwerke
- sowie sonstige Wasserbauwerke wie
- Kreuzungsbauwerke (Brücken, Durchlässe, Verrohrungen).

Bei der Dimensionierung der Bauwerke bzw. von Bauwerksteilen müssen neben dem Hochwasserschutz auch andere Nutzungszwecke, wie z. B. Wasserkraft, Schifffahrt, Trinkwasserversorgung, Niedrigwasseranreicherung, Freizeitnutzung, etc. berücksichtigt werden. In diesem Leitfaden werden jedoch nur die Bemessungskriterien für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes behandelt.

Bei dem Nachweis der Anlagensicherheit sind unterschiedliche Sicherheitsaspekte, z. B. bei Stauanlagen die Erdbebensicherheit, zu prüfen. In dem vorliegenden Leitfaden wird jedoch ausschließlich der Aspekt Hochwassersicherheit behandelt.

### 2.1 LOKALE SCHUTZMASSNAHMEN AM GEWÄSSER

Schutzmaßnahmen am Gewässer dienen dazu, Schwachstellen des Hochwasserschutzes zu beseitigen und Überflutungen zu verhindern. Die Bemessung erfolgt i. d. R. auf den *Hochwasserscheitelwasserstand* der aus dem *Hochwasserscheitelabfluss* des Bemessungshochwassers abzuleiten ist. Das Bemessungshochwasser ist auf der Grundlage einer Nutzen-Kosten-Gegenüberstellung bzw. bei vereinfachter Vorgehensweise nach den Empfehlungen in Abbildung 4 festzulegen.

„Der Bemessungshochwasserstand BHW ist der höchste Wasserstand, der sich beim Bemessungshochwasser an der betreffenden Stelle einstellt“ [DVWK M 210, 1986]. Bei seiner hydraulischen Berechnung sind Änderungen des Abflussquerschnittes, Rückstau, Einfluss von Flusskrümmungen, Einfluss von Vorländern und der Einfluss von Eisgang zu beachten [DIN 19712, 1997 und DVWK M 210, 1986]. Ferner sind Aspekte, wie Bewuchs und Verlandung zu berücksichtigen.

Der Bemessungshochwasserstand kann i. d. R. mit stationären hydraulischen Berechnungen für den Hochwasserscheitelabfluss berechnet werden.

Auch bei örtlich begrenzten Schutzmaßnahmen muss nachgewiesen werden, dass die Schutzmaßnahme für die Unterlieger keine Verschlechterung des bestehenden Hochwasserschutzes mit sich bringt. Im Bedarfsfall sind instationäre Berechnungen durchzuführen, die die Retentionswirkung entlang des Gewässers berücksichtigen.

#### 2.1.1 OBJEKTSCHUTZMASSNAHMEN

Sind lediglich einzelne Gebäude oder Infrastruktureinrichtungen hochwassergefährdet, so kann ein gezielter Schutz der Einzelobjekte eine geeignete Lösung darstel-

len. Solche Objektschutzmaßnahmen lassen sich mobil (z. B. Tür- und Fensterschutz, Lichtschachtabdeckung) oder fest (z. B. Mauern, Glasbausteine) meist sehr kostengünstig realisieren. Ob mobiler oder fester Objektschutz gewählt wird, hängt insbesondere von den Vorwarnzeiten ab (siehe auch 2.1.4).

### 2.1.2 GEWÄSSERAUSBAU

Sofern die räumlichen Platzverhältnisse und die hydraulischen Randbedingungen es zulassen, sind Gewässerausbaumaßnahmen (Vorlandabgrabungen, Aufweitungen) eine gute Lösung, den Hochwasserschutz bereichsweise zu verbessern. Das Ziel ist es, mit solchen Maßnahmen Schwachstellen zu beseitigen und die Leistungsfähigkeit des Gewässers gezielt zu erhöhen.

Da dadurch die Retentionswirkung reduziert wird, dürfen solche Maßnahmen nur zum direkten Schutz bebauter Gebiete eingesetzt werden. Derartige Maßnahmen lassen sich oft sehr gut in das bestehende Orts- oder Landschaftsbild integrieren und können meist innerorts auch eine Aufwertung des Gewässers bzw. des Ortsbildes mit sich bringen.

Die Auslegung der Maßnahme erfolgt für den Bemessungsabfluss (Scheitelwert des Bemessungshochwassers) auf der Grundlage hydraulischer Berechnungen. Arbeitshilfen hierzu können der LfU-Leitfadenreihe „Hydraulik naturnaher Fließgewässer“ entnommen werden [LfU, 2002, 2003] werden. Eine Sicherheitsüberprüfung der Maßnahme ist nicht notwendig, da ein Überschreiten des Bemessungshochwassers zu einer Überflutung der angrenzenden Überschwemmungsgebiete führt, ähnlich wie vor dem Ausbau [DVWK M 209, 1989].

### 2.1.3 FLUSSDEICHE UND SONSTIGE FESTE SCHUTZANLAGEN

Flussdeiche und sonstige feste Schutzanlagen entlang dem Gewässer dienen dem Schutz des Hinterlandes gegen Hochwasser.

Der Bau von Flussdeichen (siehe Abbildung 5) zählt zu den ältesten Methoden des Hochwasserschutzes. Flussdeiche sind über Jahrhunderte mit der Besiedlung der Talräume durch den Menschen errichtet worden [DIN 19712, 1997]. Im Gegensatz zu Stauhaltungsdämmen werden Deiche nur bei Hochwasser beansprucht.

Aus Platzgründen werden innerhalb von Siedlungsgebieten oftmals auch Hochwasserschutzmauern u. ä. eingesetzt. Diese können durch mobile Schutzanlagen ergänzt werden. Damit können auch die Belange des Landschaftsbildes und des Städtebaus sowie soziale und ökologische Aspekte berücksichtigt werden.

Flussdeiche oder sonstige feste Schutzanlagen trennen einen Teil des natürlichen Überschwemmungsbereiches vom Wasserlauf ab. Dies kann sich ökologisch und hydraulisch auch nachteilig auswirken. Die Deichhöhe bzw. die Mauerhöhe ergibt sich aus dem Bemessungshochwasserstand BHW zuzüglich dem Freibord.

Für die geotechnischen Standsicherheitsnachweise eines Flussdeiches werden der Bemessungshochwasserstand BHW (Lastfall 2, DIN V 1054-100) und ein Wasserstand bis Deichkrone (Lastfall 3, DIN V 1054-100) angesetzt.

Bei festen Schutzanlagen sind die entsprechenden statischen Nachweise zu erbringen.

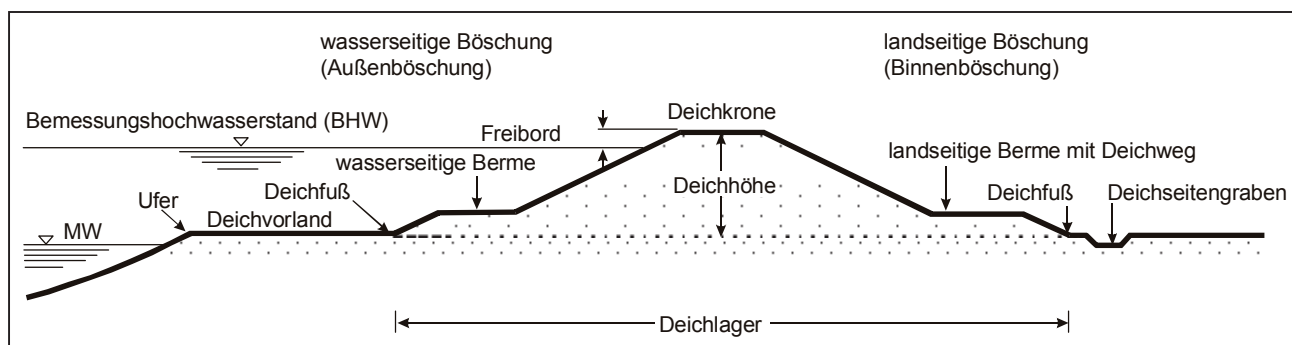


Abbildung 5: Begriffe bei Flussdeichen [DVWK M 210, 1986]

Für die Deichplanung ist von großer Bedeutung, welche Auswirkungen ein über den Bemessungswert hinausgehender Abfluss hat. Bei Überströmung der Flussdeiche besteht Erosionsgefahr und damit die Möglichkeit eines Deichbruchs. Wird bei der Risikobetrachtung ein großes Schadenspotenzial hinter Flussdeichabschnitten festgestellt, so wird empfohlen, Entlastungsmöglichkeiten bereits in der Planung zu berücksichtigen [DVWK M 209, 1989].

Gegen Erosion gesicherte Hochwasserüberlaufstrecken können in günstig gelegenen Flussdeichabschnitten konstruktiv ausgebildet werden, um durch das zusätzliche Retentionsvolumen den Wasserstand im Fluss zu halten bzw. abzusenken und damit stromabwärts liegende hochwertige Bereiche zusätzlich zu schützen. Hierdurch können ergänzende Schlafdeiche erforderlich werden. Hinweise zur Sicherung von Überlaufstrecken sind im LfU-Leitfaden „Überströmbare Dämme und Dammscharten“ [LfU, 2004] zu finden.

Hochwassernotentlastungen können eingesetzt werden, um lokale Deichbrüche zu vermeiden. Bei der Notentlastung, z. B. bei mobilen Verschlüssen, kann eine gezielte langsame Flutung des geschützten Bereichs erfolgen und damit ein Dambruch mit schneller Freisetzung großer Wassermassen vermieden werden.

#### 2.1.4 MOBILE HOCHWASSERSCHUTZSYSTEME

Mobile Hochwasserschutzsysteme sind eine geeignete Ergänzung zu konventionellen, fest in die Umgebung integrierten Hochwasserschutzmaßnahmen, wenn eine ausreichende Reaktionszeit zum Aufbau der Anlage gegeben ist. Sie werden in der Regel nur während des Hochwassers aufgestellt und immer dort eingesetzt, wo die dauerhafte Einrichtung von stationären Hochwasserschutzanlagen das Stadt- und Landschaftsbild auf nicht hinnehmbare Weise stören würde oder bestehende Verkehrsverbindungen unterbrochen werden. Ausführliche Informationen zu mobilen Hochwasserschutzsystemen findet man in dem Merkblatt „Mobile Hochwasserschutzsysteme – Grundlagen für Planung und Einsatz“ des BWK [2004].

Beim Einsatz von mobilen Hochwasserschutzsystemen wird zwischen planmäßigen ortsgebundenen und ortsungebundenen mobilen Schutzanlagen unterschieden:

Ortsungebundene mobile Hochwasserschutzsysteme werden vor allem im Katastrophenschutz eingesetzt, wenn das Bemessungshochwasser des vorhandenen Hochwasserschutzes durch die zu erwartenden Hochwasserabflüsse überschritten wird. Es handelt sich hierbei um Systeme, deren Einsatz nicht an einen bestimmten Ort gebunden ist. Sie können je nach Bedarf flexibel und ortsunabhängig eingesetzt werden.

Dagegen sind planmäßig ortsgebundene mobile Schutzanlagen immer nur für den Einsatz an einem festen Ort vorgesehen. Für diesen Einsatzort und die hier bestehenden Belastungen werden sie geplant und bemessen. Sie werden im Rahmen eines üblichen Gestattungsverfahrens für eine Gesamtanlage des technischen Hochwasserschutzes genehmigt, so dass ihre Konstruktionshöhe im Allgemeinen entsprechend der Planung einer festen Hochwasserschutzanlage für das Bemessungshochwasser auszulegen ist. Die Voraussetzung hierfür ist, dass am Ort ihres Einsatzes permanente Vorkehrungen bzw. Installationen getroffen werden, über die ein gesicherter Kraftschluss mit dem Untergrund gewährleistet werden kann [BWK, 2004].

Mobile Schutzanlagen besitzen trotz weitreichender Sicherungsmaßnahmen gegenüber dem stationären Hochwasserschutz ein höheres Risiko, da ihre Betriebsbereitschaft erst hergestellt werden muss, bevor sie ihre Schutzfunktion übernehmen können. Der Einsatz mobiler Hochwasserschutzsysteme sollte deshalb immer begrenzt bleiben. Insbesondere sollten Vorwarn- und Aufbauzeiten beachtet werden. Abbildung 6 zeigt einen kombinierten Einsatz von Schutzwänden und mobilen Wänden.

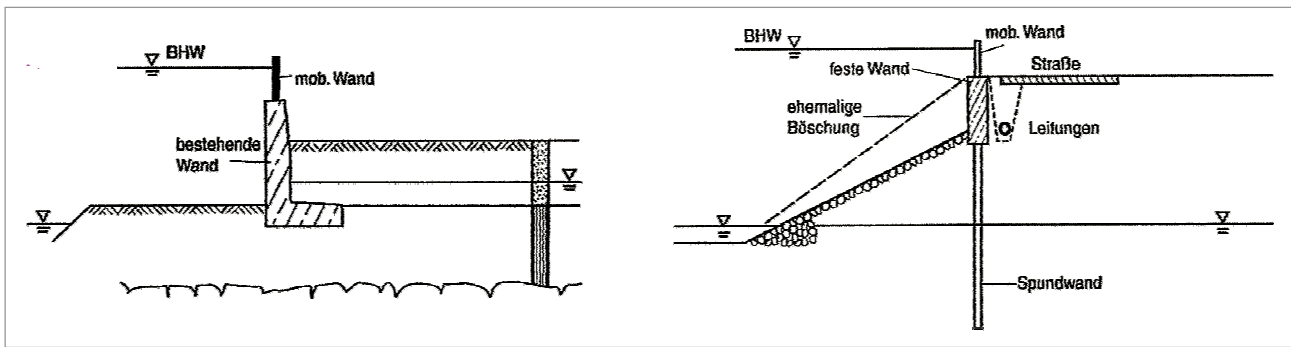


Abbildung 6: Anwendung mobiler Schutzanlagen [BWK, 2004]

Planmäßig ortsgebundene Schutzanlagen lassen sich wiederum in Standardsysteme (Dambalkensysteme, Torsysteme) und Sondersysteme (klappbare Systeme, vertikal aufschwimmende Systeme, Schlauchsysteme...) unterteilen. Zur Zeit liegen jedoch nur für Standardsysteme umfangreiche Erfahrungen vor, aufgrund derer ihre Eignung für den Hochwasserschutz als gesichert betrachtet werden kann. Für den Einsatz von Sondersystemen ist ein Funktionsnachweis erforderlich.

### 2.1.5 FLUTMULDEN UND ENTLASTUNGSKANÄLE

Flutmulden oder Entlastungskanäle dienen dazu, bestehende Gewässer im Hochwasserfall zu entlasten und einen Teil des Wassers abzuleiten. Die Bemessung erfolgt für den Scheitelabfluss des Bemessungshochwassers, wobei die Aufteilung und Ableitung des Hochwassers in Flutmulde oder Entlastungskanal und dem Hauptgewässer mit hydraulischen Berechnungen nachzuweisen ist. Eine ergänzende Risikoabschätzung ist nicht erforderlich, wenn ein Überschreiten des Bemessungshochwassers nur zu einer Überflutung der Überschwemmungsgebiete, ähnlich wie vor der Schutzmaßnahme, führen kann. Bei der Bemessung der Maßnahmen sind die Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse zu beachten.

## 2.2 HOCHWASSERRÜCKHALTEBECKEN UND TALSPERREN

Ein wichtiges Instrument des technischen Hochwasserschutzes sind Hochwasserrückhaltebecken. Sie werden zur Reduzierung der Hochwasserscheitelabflüsse eingesetzt. Häufig stehen auch Teile des Stauraums (gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum) von Talsperren für den Hochwasserschutz zur Verfügung. Die durch ein Hochwasserrückhaltebecken bzw. den gewöhnlichen Hochwas-

serrückhalteraum einer Talsperre bereitzustellende Hochwasserrückhaltungswirkung wird durch die Größe des gewöhnlichen Hochwasserrückhalterumes (siehe Abbildung 7) und die Abgabe an das Unterwasser über den Betriebsauslass bestimmt.

Die Bemessung des erforderlichen Rückhaltevolumens erfolgt auf der Basis der Abflussganglinie des Bemessungshochwassers, die im Allgemeinen mit Hilfe eines Niederschlag-Abfluss-Modells (N-A-Modell) berechnet wird. Eingangsgrößen in das N-A-Modell sind die Bemessungsniederschläge des Deutschen Wetterdienstes (KOSTRA, Niederschläge bestimmter Dauer und Wiederkehrzeiten). Da es für bestimmte Wiederkehrzeiten für unterschiedliche Niederschlagsdauern unterschiedliche Abflussganglinien gibt, müssen für die Bemessung des Rückhalterumes verschiedene Niederschlagsdauern untersucht werden, um die maßgebende Bemessungsabflussganglinie (= maßgebende Niederschlagsdauer) bzgl. des maximal erforderlichen Rückhaltevolumens feststellen zu können.

Bei der Planung von Stauanlagen ist neben der angestrebten Hochwasserschutzwirkung auch die Hochwassersicherheit der Anlage nachzuweisen. Die Anforderungen sind in der DIN 19700 [Juli 2004] „Stauanlagen“ festgelegt. Der Teil 10 ist dabei immer als Grundnorm für Planung, Bau und Betrieb von Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken heranzuziehen. Der Teil 11 gilt für Talsperren, der Teil 12 für Hochwasserrückhaltebecken.

Hochwasserrückhaltebecken sind Stauanlagen, die über keine oder nur kleine Betriebsräume im Vergleich mit dem Hochwasserrückhalteraum verfügen. Wichtig ist, dass der Teil 12 in Verbindung mit DIN 19700 Teil 10 und Teil 11 anzuwenden ist.

Für die Bemessung wurden folgende drei Hochwasserbemessungsfälle eingeführt, mit den Bemessungshochwasserzuflüssen:

- $BHQ_1$  zur Bemessung der Hochwasserentlastungsanlage
- $BHQ_2$  zum Nachweis der Stauanlagensicherheit bei Extremhochwasser
- $BHQ_3$  zur Bemessung des gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraumes.

Zu untersuchen sind alle drei Hochwasserbemessungsfälle, wobei je nach Klassifizierung des Beckens bzw. der Talsperre (Tabelle 1) Hochwasserereignisse mit Wiederkehrzeiten bis zu 10.000 Jahren zugrundegelegt werden müssen.

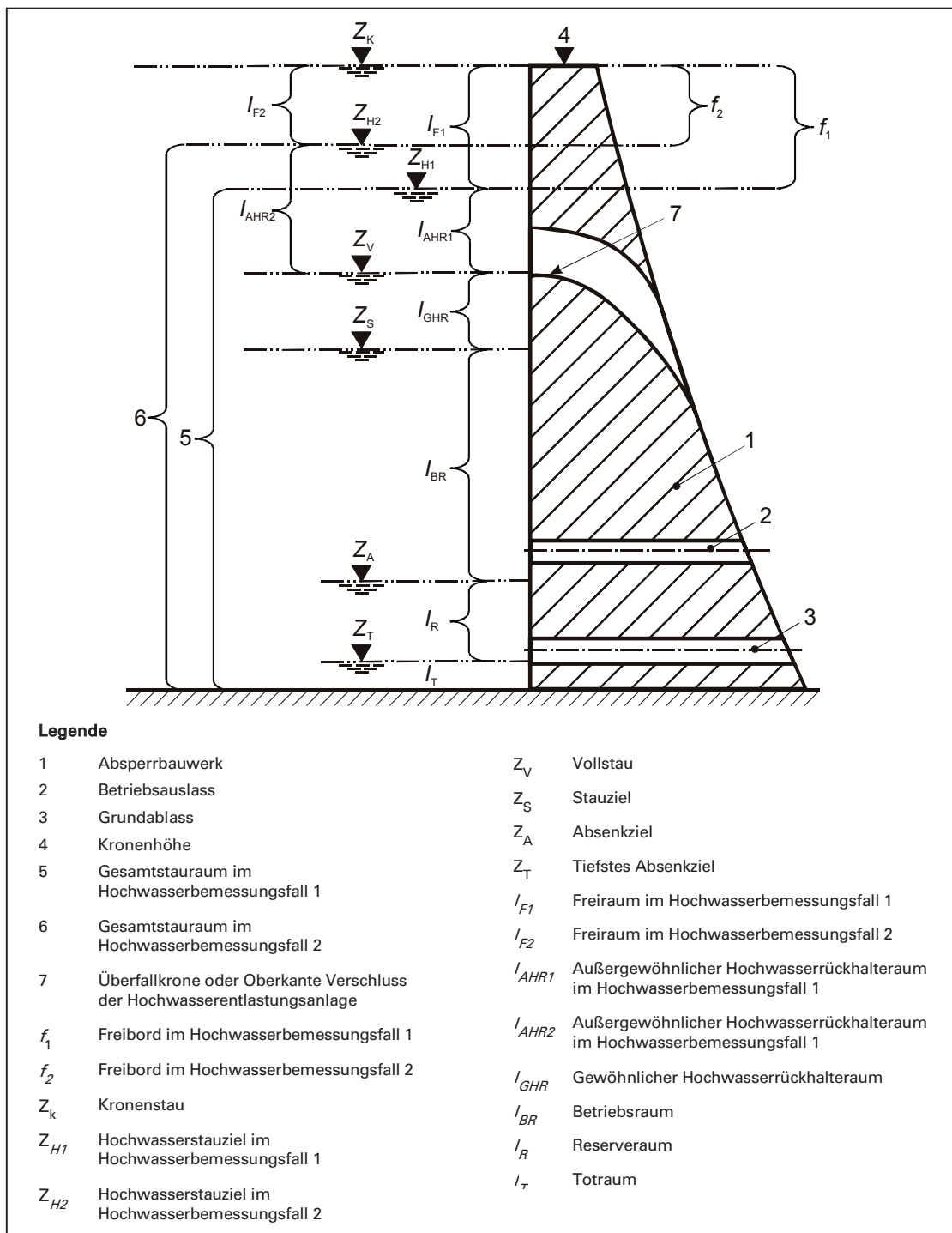


Abbildung 7: Stauräume und Stauziele nach DIN 19700-11:2004-07



Tabelle 1: Vorgaben für die Wahl der Bemessungshochwasserzuflüsse  $BHQ_1$  und  $BHQ_2$  nach DIN 19700:2004-07 für Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren

Talsperrenklassifizierung		Talsperrenklasse 2	Talsperrenklasse 1
Gesamtstauraum oder Höhe des Absperrbauwerks (über dem tiefsten Punkt der Gründungssohle)		$\leq 1.000.000 \text{ m}^3$ $\leq 15 \text{ m}$	$> 1.000.000 \text{ m}^3$ $> 15 \text{ m}$
<b>Beckenklassifizierung</b>	<i>sehr kleine Becken</i>	<i>kleine / mittlere Becken</i>	<i>große Becken</i>
Gesamtstauraum oder Höhe des Absperrbauwerks (über dem tiefsten Punkt der Gründungssohle)	$\leq 50.000 \text{ m}^3$ $\leq 4 \text{ m}$	50.000 $\text{m}^3$ bis 1.000.000 $\text{m}^3$ kleine: 4 m bis 6 m mittlere: 6 m bis 15 m	$> 1.000.000 \text{ m}^3$ $> 15 \text{ m}$
<b>Hochwasserbemessungsfall 1 (<math>BHQ_1</math>)</b>			
Jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit ( $P_{\bar{q}}=1/T_n$ )	$5 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$	$10^{-3}$
Wiederkehrzeit $T_n$ [a]	200	500	1.000
Berücksichtigung der Retentionswirkung oberstrom liegender Stauanlagen	darf berücksichtigt werden		
Retentionswirkung der Stauanlage	in der Regel zu berücksichtigen		
Gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum	leer		
$Q_{\text{Betriebsauslass, Grundablass}}^*$	zu 100 % ansetzbar, wenn n-1 Regel eingehalten wird		
<b>Hochwasserbemessungsfall 2 (<math>BHQ_2</math>)</b>			
Jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit ( $P_{\bar{q}} = 1/T_n$ )	$10^{-3}$	$2 \times 10^{-4}$	$10^{-4}$
Wiederkehrzeit $T_n$ [a]	1.000	5.000	10.000
Berücksichtigung der Retentionswirkung oberstrom liegender Stauanlagen	darf berücksichtigt werden		
Retentionswirkung der Stauanlage	in der Regel zu berücksichtigen		
Gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum	leer		
$Q_{\text{Betriebsauslass, Grundablass}}^*$	zu 100 % ansetzbar		
* Empfehlungen ergänzend zur DIN aufgrund praktischer Überlegungen in Baden-Württemberg:			
<input type="checkbox"/> bei ungesteuerten Becken entsprechend Betriebsvorschrift <input type="checkbox"/> bei gesteuerten Becken bis Vollstau entsprechend Betriebsvorschrift			

### 2.2.1 NACHWEISE ZUR ANLAGENSICHERHEIT

Nach DIN 19700 [2004] darf bei der Ermittlung der anzusetzenden Bemessungshochwasserzuflüsse von einem am Ereignisbeginn leeren Hochwasserrückhalteraumraum ausgegangen und damit dessen Retentionswirkung einbezogen werden. Dies setzt jedoch wiederum voraus, dass die Abflussganglinien für die hierfür zu untersuchenden Extremereignisse vorliegen.

Liegen keine Abflussganglinien vor, ist bei den Nachweisen der Hochwassersicherheit anzunehmen, dass das Becken bzw. der Hochwasserrückhalteraum bei Ereignisbeginn bis zum Vollstau gefüllt ist. Auch die Retentionswirkung des außergewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum darf in diesem Fall nicht berücksichtigt werden [DIN 19700 Teile 10 und 12, 2004].

Folgende Nachweise sind nach DIN 19700 zu führen:

#### *Hochwasserbemessungsfall 1:*

##### *Bemessung der Hochwasserentlastungsanlage*

„Es ist ein Bemessungshochwasserzufluss  $BHQ_1$  für die Bemessung der Hochwasserentlastungsanlage festzulegen (siehe Tabelle 1). Bis zur Größe des  $BHQ_1$  sind die Tragsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit der Stauanlage ohne Einschränkungen sicherzustellen.“

#### *Hochwasserbemessungsfall 2:*

##### *Nachweis der Stauanlagensicherheit bei Extremhochwasser*

„Es ist ein Bemessungshochwasserzufluss  $BHQ_2$  zu bestimmen (siehe Tabelle 1), dessen jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit wesentlich geringer ist als beim

Hochwasserbemessungsfall 1 und der demzufolge größer als der Bemessungshochwasserzufluss  $BHQ_1$  ist. Den Bemessungshochwasserzufluss  $BHQ_2$  muss die Stauanlage ohne globales Versagen überstehen. Insbesondere darf die Tragsicherheit des Absperrbauwerkes nicht gefährdet werden. Neben der Hochwasserentlastungsanlage dürfen gegebenenfalls Notentlastungen für die Hochwasserableitung berücksichtigt werden.“

Eine Erhöhung der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit ist zulässig, wenn bei Versagen der Stauanlage nur Auswirkungen untergeordneter Bedeutung im Unterliegergebiet zu erwarten sind. Die angegebenen Werte werden als Obergrenze empfohlen.

Das Risiko, das infolge einer Überschreitung des  $BHQ_2$  oder des Hochwasserstauzieles 2 ( $Z_{H2}$ ) verbleibt, ist z. B. anhand des PMF (Probable Maximum Flood – vermutlich größtes Hochwasser) oder in der Region bekannter extremer historischer Hochwasserereignisse zu bewerten.

Bei Talsperren muss das Risiko, falls notwendig, durch technische und/oder organisatorische Maßnahmen ausreichend vermindert werden [DIN 19700 Teil 11, 2004].

Bei sehr kleinen und kleinen Becken sowie bei der Talsperrenklasse 2 kann eine Erhöhung der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit beim Bemessungsfall 1 und 2 zugelassen werden, wenn bei Versagen der Talsperre nur Auswirkungen untergeordneter Bedeutung im Unterliegergebiet zu erwarten sind. Als Obergrenze für die Talsperrenklasse 2 wird in der DIN bei  $BHQ_1$   $T_n = 100$  a und  $BHQ_2$   $T_n = 1.000$  a empfohlen. Für Hochwasserrückhaltebecken gibt es keine Angaben.

### 2.2.2 HOCHWASSERSCHUTZWIRKUNG

Für den durch eine Stauanlage für das Unterliegergebiet zu gewährleistenden Hochwasserschutz gilt folgender dritter Hochwasserbemessungsfall [DIN 19700 Teil 10, 2004]:

#### *Hochwasserbemessungsfall 3:*

#### *Bemessung des gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum*

„Maßgebend für die Bemessung dieses Stauraumanteiles ist das Hochwasserschutzbedürfnis der Unterlieger selbst

sowie die Wertigkeit der betroffenen Flächen und Sachgüter. Der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum sollte die Fülle der Hochwasserwelle eines mit einer vorgegebenen jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit definierten Bemessungshochwasserzuflusses  $BHQ_3$  unter Berücksichtigung der Abflussverhältnisse im Unterwasser aufnehmen können. Die jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit des Hochwasserereignisses, dem durch die Hochwasserschutzmaßnahme begegnet werden soll, ist nach technischen, wirtschaftlichen, ökologischen und weiteren Gesichtspunkten festzulegen.“

Bei seltener auftretenden Hochwasserereignissen als  $BHQ_3$  wird die Hochwasserentlastung planmäßig in Anspruch genommen. Die Hochwasserrückhalte- und Hochwasserschutzwirkung der Stauanlage geht dabei zurück und kann vollständig verloren gehen. Insoweit verbleibt bei Überschreiten des  $BHQ_3$  eine Hochwassergefahr für die Unterlieger.

Anhaltswerte zum Hochwasserschutzgrad, d. h. zur Ermittlung des  $BHQ_3$ , können der Abbildung 4 entnommen werden. In der Regel ist der Hochwasserschutzgrad jedoch im Rahmen einer Nutzen-Kosten-Betrachtung festzulegen.

Falls jahreszeitlich unterschiedliche Hochwassergefahren oder -schutzbedürfnisse bestehen, kann es bei Talsperren angebracht sein, differenzierte Anforderungen an die Größe des gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum zu stellen. Indem z. B. die Retentionswirkung bei Einstau in den außergewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum in die Hochwasserschutzbetrachtung mit einbezogen wird, ist es bei bestehenden Talsperren u. U. möglich, die Hochwasserschutzwirkung für das Unterliegergebiet nachzuweisen, obwohl die Hochwasserzuflüsse größer als der ehemals für den Hochwasserbemessungsfall 3 gewählte Zufluss sind [DIN 19700 Teil 11, 2004].

### 2.3 STAUSTUFEN

Staustufen an Gewässern sind Stauanlagen, die den Wasserstand ständig oder zeitweise anheben. Es handelt sich meist um Mehrzweckanlagen, die z. B. zur Wasserkraftnutzung, zur Verbesserung der Schifffahrt usw. dienen.

Zur Bemessung von Staustufen sind die DIN 19700 Teil 10, DIN 19700 Teil 11 und die DIN 19700 Teil 13 heranzuziehen.

Die Klassifizierung von Staustufen richtet sich nach der Fallhöhe bei Mittelwasserabfluss (MQ). Die Bemessungshochwasserabflüsse sind durch hydrologische Untersuchungen und Berechnungen zu belegen und entsprechend den Sicherheitserfordernissen festzulegen. Der Nachweis der Hochwassersicherheit ist nach Nr. 6.3 DIN 19700 Teil 10 für die in Tabelle 2 angegebenen jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten zu erbringen.

der zulässige Binnenwasserstand nicht überschritten wird. Binnenseitige Speichermöglichkeiten sind zu berücksichtigen. Sofern keine Stauräume vorgesehen werden, ist das Schöpfwerk auf den Hochwasserscheitelabfluss des binnenseitigen Bemessungshochwassers auszulegen. Werden Rückhaltebecken angeordnet, ist für die Bemessung des Schöpfwerks und des Beckens die Abflussfülle maßgebend.

Bei der Festlegung der Wiederkehrzeit  $T_n$  des Bemessungszuflusses sind wirtschaftliche Aspekte besonders zu berücksichtigen.

Tabelle 2: Vorgaben für die Wahl der Bemessungshochwasserzuflüsse  $BHQ_1$  und  $BHQ_2$  nach DIN 19700-13:2004-07

Klasse der Staustufe	Fallhöhe $H$ [m]	Jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit $P_{\bar{u}}$ (Wiederkehrzeit $T_n$ )	
		$BHQ_1$	$BHQ_2$
I	$H > 5$	$P_{\bar{u}} = 10^{-2}$ ( $T = 100$ a)	$P_{\bar{u}} = 10^{-3}$ ( $T = 1.000$ a)
II	$3 < H \leq 5$	$P_{\bar{u}} = 2 \cdot 10^{-2}$ ( $T = 50$ a)	$P_{\bar{u}} = 10^{-2}$ ( $T = 100$ a)
III	$H \leq 3$	$P_{\bar{u}} = 5 \cdot 10^{-2}$ ( $T = 20$ a)	$P_{\bar{u}} = 2 \cdot 10^{-2}$ ( $T = 50$ a)

## 2.4 SCHÖPFWERKE

Ein wichtiger Baustein von Hochwasserschutzkonzepten ist die Sicherstellung der Binnenentwässerung bebauter Gebiete. Im Rahmen der Erstellung einer Hochwasserschutzkonzeption sind die bei Hochwasser auftretenden Rückstauerebenen im Kanalnetz und der binnenseits liegenden Gewässer zu überprüfen. Dabei sind auch die Grundwasserverhältnisse zu berücksichtigen. Insbesondere wenn aufgrund der technischen Hochwasserschutzmaßnahmen entlang des Hauptgewässers eine Entwässerung im freien Gefälle nicht mehr möglich ist, müssen das Kanalnetz sowie die binnenseitigen Gewässer gegen Rückstau vom Vorfluter gesichert und die gesamten Zuflüsse des binnenseitigen Gebietes hinter den Hochwasserschutzdeichen oder -mauern über Schöpfwerke (Hochwasserpumpwerke) in den Vorfluter gehoben werden. Angaben zur Bemessung von Schöpfwerken enthält DIN 1184 Teil 1 (Schöpfwerke/ Pumpwerke – Planung, Bau und Betrieb). Die Bemessung des Kanalnetzes ist hiervon nicht betroffen. Hierfür ist DIN EN 752 bzw. ATV-A118 anzuwenden.

Die Pumpen des Schöpfwerks sind so zu bemessen, dass

Das Schöpfwerk ist so auszulegen, dass es den Anforderungen hinsichtlich des Schutzes der sonst schädigend überstauten Flächen genügt.

Die erforderliche Pumpenleistung kann mit einem N-A-Modell in Abhängigkeit der gewählten Wiederholungszeitspanne ermittelt werden. Dabei sollten zukünftige Entwicklungen im Entwässerungsgebiet berücksichtigt werden. Bei durchlässigem Untergrund ist auch der Zufluss von Druckwasser einzubeziehen. Die Förderhöhe orientiert sich an dem Bemessungswasserstand im Vorfluter. Dabei ist zu beachten, ob mit der Gleichzeitigkeit des Eintritts sehr großer binnenseitiger Zuflüsse und sehr hoher Wasserstände im Vorfluter gerechnet werden muss.

## 2.5 KREUZUNGSBAUWERKE (DURCHLEITUNGS- UND MÜNDUNGSBAUWERKE)

Sieht man von Kreuzungsbauwerken ab, die in Stauanlagen und bei Schöpfwerken eingebaut sind, so handelt es sich bei Kreuzungsbauwerken in der Regel um Bauwerke, die nicht für den Zweck des Hochwasserschutzes hergestellt werden. Insofern unterscheiden sich diese Bauwerke von den bisher beschriebenen Anlagen. Da bei der

Bemessung dieser Bauwerke jedoch auch ein Bemessungshochwasser zugrundegelegt werden muss, werden diese Bauwerke hier ebenfalls behandelt.

Gemäß DIN 19661 Teil 1 werden Kreuzungsbauwerke entsprechend ihrer Zweckbestimmung unterschieden in Durchleitungs- und Mündungsbauwerke.

Durchleitungsbauwerke sind Kreuzungsbauwerke, wie Brücken, Überleitungen, Durchlässe, Verrohrungen und Düker, die bei einer Kreuzung von Gewässern mit anderen Anlagen, wie Verkehrswegen, Wasserläufen und Dämmen notwendig werden.

Mündungsbauwerke sind Auslässe und Einlässe, die bei der wasserwirtschaftlichen Nutzung von Gewässern erforderlich werden, um Wasser aus einem Gewässer zu entnehmen oder in ein Gewässer einzuleiten.

Siele sind Mündungsbauwerke mit einem Verschlussorgan, in denen ein Gewässer durch einen Deich geleitet wird.

Grundsätzlich sollen Kreuzungsbauwerke so ausgebildet werden, dass die gekreuzten Anlagen auch bei Hochwasser des kreuzenden Gewässers nur in begründeten Ausnahmefällen überflutet werden. Höhenlage und Querschnittsgröße des Kreuzungsbauwerkes sind entsprechend zu wählen.

Bei Brücken sollte in der Regel ein Freibord von 0,5 m zwischen Brückenunterkante und dem Wasserstand des Bemessungshochwassers eingehalten werden [DIN 19661 Teil 1]. Durchlässe und Verrohrungen sind bei Hochwasser oft eingestaut, so dass kein Freibord verbleibt.

Die Wahl des Bemessungshochwassers für die Dimensionierung des Durchflussquerschnittes von Durchleitungsbauwerken richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten und Erfordernissen. Maßgebend sind dabei die von einem möglichen Rückstau betroffenen Flächen. Bei der Festlegung von Wiederkehrzeiten sind entsprechend der Vorgehensweise bei den technischen Hochwasserschutzmaßnahmen ebenfalls wirtschaftliche Überlegungen einzubeziehen. Anhaltswerte für die Wiederkehrzeiten können Abbildung 4 entnommen werden.

Es ist zu beachten, dass Stauräume und Überflutungsräume vor Durchlassbauwerken auch Retentionsräume sind, die Hochwasserscheitelwerte abmindern. Die Vergrößerung des Querschnittes von bestehenden Durchlassbauwerken kann deshalb auch zu einem Verlust von Retentionsflächen und damit zu einer Erhöhung des Hochwasserscheitelabflusses unterhalb führen. Dies sollte, sofern bebaute Flächen oder sonstige hochwertigen Nutzungen betroffen sind, möglichst vermieden werden.

Bei neu zu erstellenden Durchleitungsbauwerken ist zu prüfen, inwieweit ein Stau bei Hochwasser hingenommen werden kann. Die Genehmigung ist zu versagen, wenn erhebliche Nachteile für Dritte entstehen (§ 76 Abs. 3 WG). Falls ein Stau möglich ist, sollte die Auslegung des Bauwerkes so erfolgen, dass die Hochwasserretention verstärkt wird.

Neben der Bemessung des Durchflussquerschnittes ist für Kreuzungsbauwerke, die einen Stau verursachen, nachzuweisen, ob eine ausreichende Sicherheit gegen Zerstörung bei Überströmung des Bauwerks vorhanden ist. Die Wahl des zugrunde zu legenden Bemessungshochwassers richtet sich dabei nach den Unterliegern, die bei einem Versagen betroffen wären. Bei erhöhten Sicherheitsansprüchen ist entweder der Nachweis für die Sicherheit gegen ein Überströmen des Bauwerks für ein Bemessungshochwasser mit höherer Wiederkehrzeit zu erbringen, oder die Standsicherheit des Bauwerks bei einer Überströmung durch geeignete konstruktive Maßnahmen sicherzustellen.

Bei größeren Stauhöhen ist zu prüfen, ob dadurch ein Retentionsraum entstehen kann, der als Hochwasserrückhaltebecken einzustufen ist. In diesem Fall ist die DIN 19700 anzuwenden.

## 2.6 EINZUGSGEBIETSBEZOGENE HOCHWASSERSCHUTZKONZEPTE

Eine Verbesserung des Hochwasserschutzes sollte nicht mehr nur aus lokaler Sicht betrieben werden. Anzustreben sind ganzheitliche Lösungen, die das gesamte Einzugsgebiet eines Flusses (siehe Abbildung 8) einbeziehen. Dabei ist gemäß der Hochwasserschutzstrategie des Lan-

des Baden-Württemberg neben dem technischen Hochwasserschutz auch das Instrumentarium des Hochwasserflächenmanagements einzusetzen und die Hochwasservorsorge zu verbessern.

Das Ziel von Hochwasserschutzplanungen muss es sein, für gesamte Flusseinzugsgebiete flächendeckende, optimierte Hochwasserschutzkonzepte zu entwickeln. Die technischen Hochwasserschutzmaßnahmen sollten in ihrer Wirkung aufeinander abgestimmt sein und städtebauliche sowie landschaftsplanerische Aspekte und ggf. weitere Belange berücksichtigen. Untersucht werden sollen sowohl mögliche Hochwasserrückhaltungen als auch lokale Hochwasserschutz- und Verbesserungsmaßnahmen an den Gewässern innerhalb der Bebauung sowie Kombinationen sol-

cher Maßnahmen, die zusammen ein Hochwasserschutzsystem bilden. Die Grundlagen für die Entwicklung solcher ganzheitlicher Systeme müssen auf der Basis detaillierter Flussgebietsuntersuchungen erarbeitet werden, die sowohl hydrologische als auch hydraulische Simulationsrechnungen beinhalten und darüber hinaus ökologische und ökonomische Untersuchungen umfassen.

Für die Maßnahmen innerhalb eines Einzugsgebietes sollte i. d. R. ein einheitlicher Hochwasserschutzgrad (Wiederkehrzeit) gewählt werden, wobei ggf. unterschiedliche Nutzungsarten zu beachten sind. Die Wahl des Schutzgrades sollte über eine Nutzen-Kosten-Analyse erfolgen.

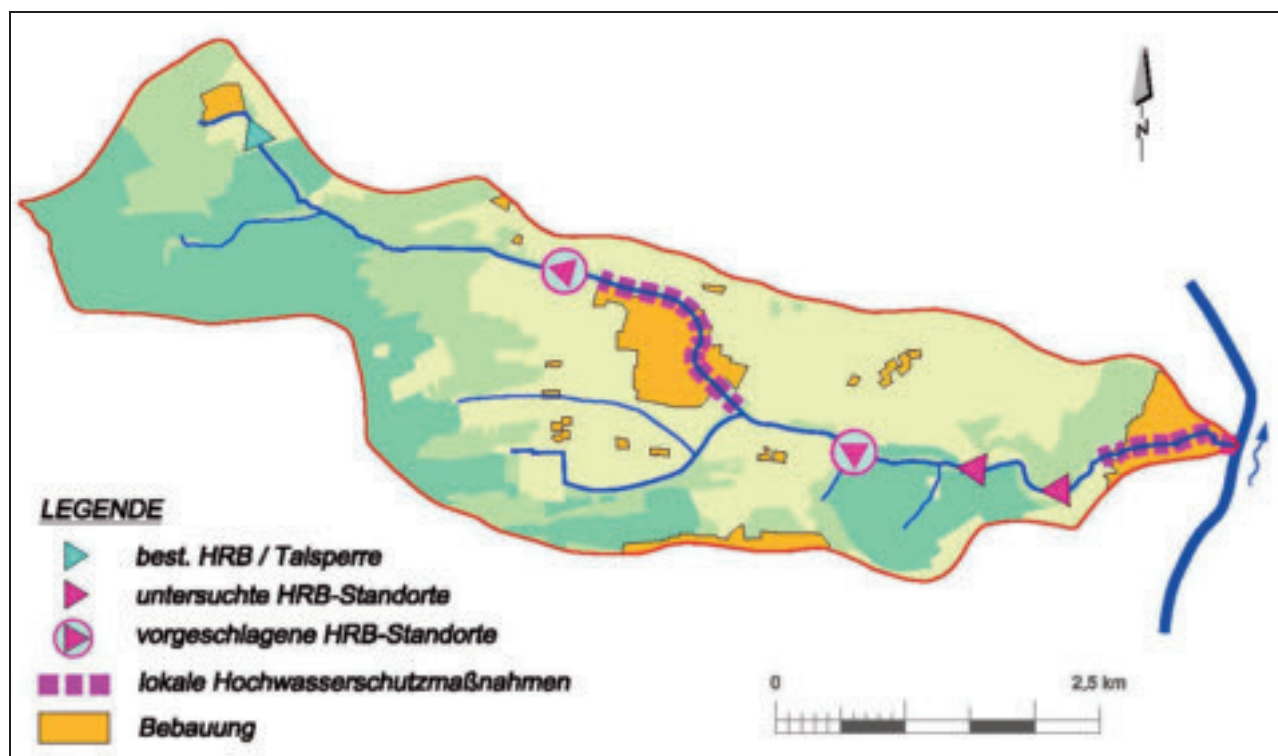


Abbildung 8: Schemazeichnung eines Flusseinzugsgebietes mit einer Kombination von Hochwasserschutzmaßnahmen (einzugsgebietsbezogene Hochwasserschutzkonzeption)

# 3 Methoden zur Bestimmung des Bemessungshochwassers

## 3.1 EINFÜHRUNG

Die Bestimmung des Bemessungshochwassers für die Planung einer technischen Hochwasserschutzanlage erfolgt in zwei Arbeitsschritten:

- die Bestimmung der Hochwasserscheitelabflüsse oder Hochwasserganglinien für unterschiedliche Wiederkehrzeiten (Jährlichkeiten) für den Bereich der Maßnahme,
- die Festlegung der Wiederkehrzeit, auf die die Anlage oder Maßnahme bemessen werden soll.

Im 1. Arbeitsschritt sind geeignete hydrologische Verfahren oder Methoden anzuwenden, mit denen Hochwasserabflüsse oder Hochwasserganglinien bestimmter Wiederkehrzeiten ermittelt werden können.

Sofern für die Bemessung der Anlage nur Hochwasserscheitelwerte gebraucht werden, ist mit der flächendeckenden Bereitstellung von Hochwasserabfluss-Kennwerten und Regionalisierungsmodellen durch die Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Baden-Württemberg [LfU, 2001] ein geeignetes Instrumentarium vorhanden, um Hochwasserscheitelabflüsse mit Wiederkehrzeiten von 2 bis 10.000 Jahren entlang von Gewässern bestimmen zu können. Das Verfahren beruht auf landesweiten Pegelauswertungen und berücksichtigt alle verfügbaren Pegelstatistiken (siehe Kapitel 3.3). Es wurde im Jahre 2005 (Neuaufgabe) aktualisiert.

Niederschlag-Abfluss-Modelle (N-A-Modelle) bzw. hydrologische Flussgebietsmodelle kommen vor allem dann zum Einsatz, wenn die Ermittlung von Hochwasserscheitelabflüssen nicht mehr genügt und die Abflussganglinien von Extremereignissen benötigt werden oder die Hoch-

wasserscheitelabflüsse aus der Hochwasserregionalisierung nicht angewendet werden können, weil die Voraussetzungen für die Anwendbarkeit des Regionalisierungsverfahrens nicht gegeben sind (zu den Anwendungsgrenzen des Regionalisierungsverfahrens vgl. Kapitel 3.3). Um zuverlässige Ergebnisse zu erzielen, müssen hydrologische Modelle kalibriert und verifiziert werden. Hierzu werden gemessene Abflussganglinien abgelaufener Hochwasserereignisse benötigt.

Wenn keine gemessenen Abfluss- oder Wasserstandsdaten für eine Modellanpassung zur Verfügung stehen, sind Regionalisierungsverfahren einzusetzen, mit denen die Parameter des N-A-Modells bestimmt werden können. N-A-Modelle bzw. hydrologische Flussgebietsmodelle können angewendet werden, wenn es möglich ist, gebietsspezifische Modellparameter aus Nachbargebieten zu übertragen. Die Ergebnisse sind durch Vergleich der Hochwasserscheitelwerte mit denen aus der Hochwasserregionalisierung des Landes Baden-Württemberg auf Plausibilität zu prüfen.

Bei der Plausibilitätsprüfung ist jedoch zu bewerten, ob das Abflussverhalten des betrachteten Gebietes infolge lokaler Besonderheiten erheblich beeinflusst ist. Dies ist z. B. dann gegeben, wenn die Hochwasserabflüsse infolge großer Einleitungen aus bebauten Gebieten bestimmt sind. In solchen Fällen sollte die Plausibilitätsprüfung anhand von Modellrechnungen durchgeführt werden, bei denen das quasi natürliche Einzugsgebiet unter Vernachlässigung der bebauten Flächen betrachtet wird.

Für die im 2. Arbeitsschritt festzulegende Wiederkehrzeit für die Bemessung von Maßnahmen gibt es Anhaltswerte (Abbildung 4). Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und

Sparsamkeit ist jedoch die günstigste Relation zwischen dem verfolgten Ziel und den eingesetzten Ressourcen anzustreben. Deshalb ist die Wiederkehrzeit, auf die eine Maßnahme oder eine Hochwasserschutzkonzeption ausgelegt wird, auf der Grundlage einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung (Nutzen-Kosten-Gegenüberstellung) zu bestimmen. Hieraus kann dann das Bemessungshochwasser als ortsbezogen festgelegte Größe in  $m^3/s$  bzw.  $m+NN$  abgeleitet werden (siehe Kapitel 4).

Grundlagen einer Nutzen-Kosten-Gegenüberstellung sind die Ermittlung der Schadenspotenziale sowie die Berechnung des Nutzens, der durch die Hochwasserschutzmaßnahmen bei Auslegung auf eine Wiederkehrzeit entsteht. Dieser Nutzen ist den Kosten der ausgewählten Hochwasserschutzvariante gegenüberzustellen.

In den Förderrichtlinien Wasserwirtschaft Baden-Württembergs wird der Nachweis der Wirtschaftlichkeit für die Investition, den Betrieb und die Unterhaltung gefordert.

Bei den Nachweisen zur Anlagensicherheit sind die Wiederkehrzeiten der Bemessungshochwasserabflüsse in den anerkannten Regeln der Technik (z. B. DIN 19700) vorgegeben. Damit entfällt der II. Bearbeitungsschritt bei diesen Nachweisen.

Im Folgenden werden die Grundlagen und Methoden, die zur Bestimmung des Bemessungshochwassers herangezogen bzw. angewendet werden können, beschrieben.

## 3.2 GRUNDLAGEN

### 3.2.1 PEGELDATEN

Die Grundlage für alle hydrologischen Auswertungen sind die an den Pegeln des Landes Baden-Württemberg gewonnenen Abflüsse. Derzeit umfasst das Pegelnetz des Landes ca. 300 Pegel, davon sind ca. 200 Basis- und ca. 100 Verdichtungspegel. Der überwiegende Teil der Pegel verfügt neben den Einrichtungen zur kontinuierlichen Erfassung des Wasserstandes auch über Geräte zur Daten-

fernübertragung. Weiterhin ist ein großer Teil der Pegel an den größeren Gewässern mit Seilkrananlagen für die Durchführung von Abflussmessungen ausgestattet. Die aktuelle Pegelkarte (siehe Abbildung 9) kann der CD [LfU] „Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg“ entnommen werden.

Auf der Basis der Wasserstände am Pegel erfolgt die Ermittlung der Abflüsse anhand einer Wasserstands-Abfluss-Beziehung (Abflusskurve). Sie wird unter Verwendung von Abflussmessungen erstellt. Die wichtigsten Regelungen zum Bau und Betrieb der Pegel, zur Auswertung und Bereitstellung der Wasserstands- und Abflussdaten sind in der „Pegelvorschrift“ [Länderarbeitsgemeinschaft der Länder und dem Bundesminister für Verkehr, 1997] bzw. in Arbeitsanleitungen des Landes Baden-Württemberg [LfU, 2002] enthalten.

Die während einer längeren Beobachtungsperiode (möglichst > 30 Jahre) gewonnenen Abflussdaten werden zu Zeitreihen zusammengestellt. Für diese Zeitreihen werden u. a. die „Hauptzahlen“ ermittelt; ihnen können z. B. die höchsten Abflüsse der Beobachtungsreihe entnommen werden. Die Abfluss-Zeitreihen, insbesondere die Zeitreihen der jährlichen Höchstabflüsse, sind Grundlage für eine Reihe von so genannten weitergehenden Auswertungen. So werden für die Zeitreihen der jährlich höchsten Abflüsse statistische Analysen durchgeführt. Diese Analysen sind dann eine wichtige Basis zur Regionalisierung der Hochwasserabflüsse (HQ<sub>Tn</sub>-Regionalisierungsmodell des Landes Baden-Württemberg).

### 3.2.2 HISTORISCHE HOCHWASSEREREIGNISSE

Unter „historischen“ Ereignissen werden hier Hochwasser-Ereignisse verstanden, deren Scheitelabflüsse extreme Werte erreicht und zu Überschwemmungen geführt haben. Für solche Ereignisse der letzten Jahrzehnte liegen i. d. R. Angaben zum Abfluss an den Pegeln vor.

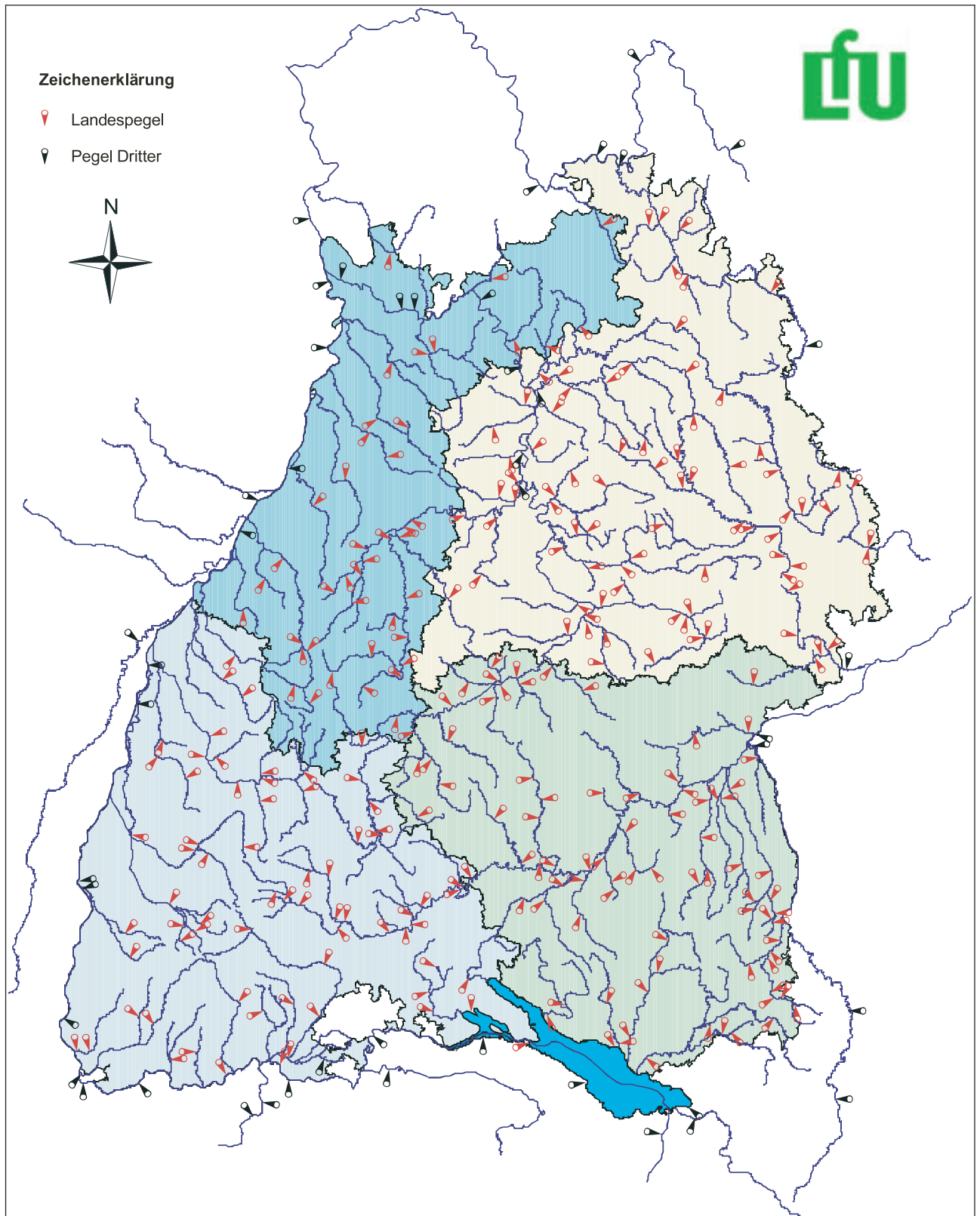


Abbildung 9: Pegelkarte Baden-Württemberg



Für Ereignisse davor, vor allem für Ereignisse vor dem Beginn der regelmäßigen Beobachtung der Pegel, liegen oft nur Angaben zu Höchstwasserständen an bestimmten Gewässerstellen (meist nicht an Pegeln) in Form von Hochwassermarken vor; Angaben zu den Scheitelabflüssen fehlen. Die Ermittlung der Scheitelabflüsse für Ereignisse der älteren Zeit gestaltet sich jedoch oft als schwierig bis unmöglich, weil die dafür erforderlichen Grundlagen (z. B. Abfluss-Querschnitt, Gefälle) fehlen oder nur teilweise vorliegen.

Die Hochwassermarken geben die Wasserspiegelhöhe und die Lage am Gewässer an. Es gibt sie nur an wenigen Gewässern vor Ort (siehe Abbildung 10); die meisten Hochwassermarken sind nur in Verzeichnissen zusammengestellt.

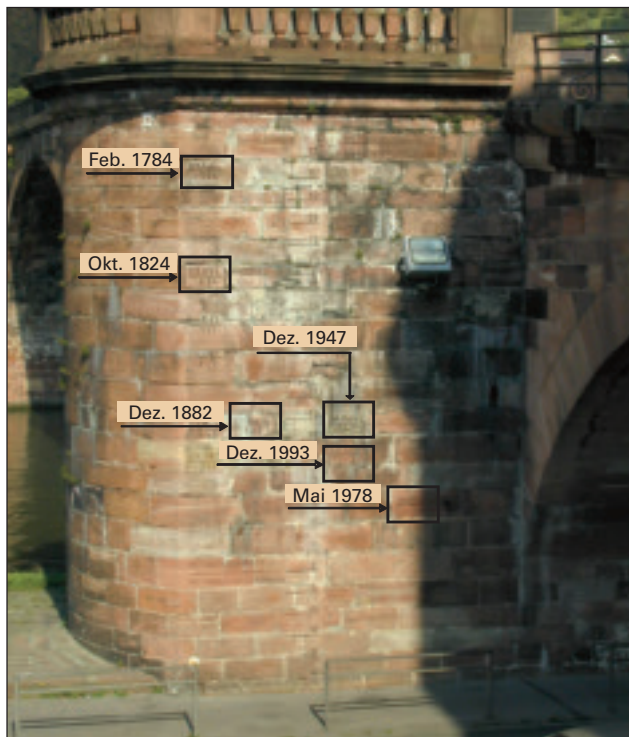


Abbildung 10: Neckar-Hochwassermarken in Heidelberg

Die Marken der ehemals selbstständigen Landesteile Baden (Beiträge zur Hydrographie des Großherzogtums Baden, 13. Heft) und Württemberg („Hochwassermarken an württembergischen Gewässern“) wurden von der LfU Baden-Württemberg auf einer CD „Hochwassermarken Baden-Württemberg“ 2005 veröffentlicht. Die Lage der auf der CD enthaltenen Hochwassermarken ist georeferenziert, also auf das heutige Gewässernetz bezogen (mit Hoch- und Rechtswerten); weiterhin sind die histori-

schen Wasserspiegelhöhen auf das heutige Höhensystem umgerechnet.

Neben den Daten enthält die CD Programm-Module zur Visualisierung der erfassten Daten. Damit können z. B. die Lage der vorhandenen Marken in topografischen Karten und die Höhe der Wasserspiegel längs eines Gewässers dargestellt werden. Ferner sind die Marken nach unterschiedlichen Kriterien (z. B. nach Flüssen, nach verschiedenen Zeitspannen) auswählbar.

Die Wasserstandsinformationen der Hochwassermarken sind grundsätzlich bei der Festlegung von Bemessungsabflüssen zu berücksichtigen, da die Hochwassermarken sich zum Teil auf extreme Hochwasserereignisse beziehen (z. B. Hochwasser vom Oktober 1824, Dezember 1882), deren höchste Wasserstände wesentlich höher waren als die Höchst-Wasserstände an den Pegeln während der bisherigen Beobachtungszeitspanne.

Aus diesem Grund sollten auch für Hochwasser der neueren Zeit an wenigen, auffälligen und repräsentativen Stellen Hochwassermarken angebracht werden. Es empfiehlt sich, Stellen zu verwenden, an denen bereits von früher Hochwassermarken vorliegen. Praktische Arbeitshilfen bezüglich der Dokumentation von Hochwasserereignissen anhand von Hochwassermarken befinden sich in „IKoNE – Heft 3, Dokumentationen von Hochwasserständen“ [Gewässerdirektion Neckar, 2001].

### 3.2.3 NIEDERSCHLAGSDATEN

Gebietsniederschläge sind die maßgebenden Eingangsgrößen für Berechnungen mit einem N-A-Modell bzw. einem hydrologischen Flussgebietsmodell. Zur Nachrechnung historischer Hochwasser können die benötigten Daten (Regenschreiber, Regenmesser) dem amtlichen Messnetz (DWD, Land Baden-Württemberg), ggf. ergänzt um Werte aus Sondermessnetzen, entnommen werden. Ferner liegen seit Mitte der 90er Jahre Niederschlagsdaten aus dem Ombrometermessnetz des Landes vor. Eine weitere Möglichkeit bilden radargemessene Niederschläge, die allerdings erst seit wenigen Jahren beim DWD verfügbar sind.

### 3.2.3.1 BEMESSUNGSNIEDERSCHLÄGE DES DWD (KOSTRA)

Als Bemessungsgrundlage und Eingangsgrößen in die hydrologischen Modelle stehen die Starkniederschlagshöhen des KOSTRA-Atlas des Deutschen Wetterdienstes [DWD, 1997] zur Verfügung.

KOSTRA steht als Abkürzung für KOORDINIERTES STARKNIEDERSCHLAGS - REGIONALISIERUNGS - AUSWERTUNGEN. Der Atlas, der auf den Daten der Jahre 1951-1980 basiert, enthält in Tafeln für das Kalenderjahr, das Sommer- (Mai bis September) und das Winterhalbjahr (Oktober bis April) Starkniederschläge für unterschiedliche Dauerstufen und Wiederkehrzeiten:

- Dauerstufen  $T_D$ : 15 min, 60 min, 12 h, 24 h, 48 h und 72 h als Stützstellen
- Wiederkehrzeit  $T_n$ : 1, 10, 100 Jahre (Jährlichkeiten)

Die Abbildung 11 zeigt beispielhaft die Tafel mit den Rasterpunkten der Niederschlagshöhe im Winterhalbjahr für die Dauerstufe von  $T_D = 24$  h und die Jährlichkeit von  $T_n = 100$  Jahren. Die Größe eines Rasterfeldes beträgt  $8,5 \text{ km} \times 8,5 \text{ km}$  ( $71,5 \text{ km}^2$ ).

Das Spektrum der im KOSTRA-Atlas dargestellten Niederschlagsereignisse (sechs Dauerstufen, drei Jährlichkeiten) reicht als Eingangsgrößen (Modellinput) für hydrologische Modellberechnungen i. d. R. nicht aus. Im Bedarfsfall sind die KOSTRA-Werte mit Hilfe der vom DWD im KOSTRA-Atlas bereitgestellten Interpolationsfunktionen auf weitere Jährlichkeiten (z. B. 5 a, 20 a, 50 a) und Niederschlagsdauerstufen zu interpolieren. Seit dem Jahre 2001 wird der KOSTRA-Atlas als CD-ROM mit einem nutzerfreundlichen Zugriff auf alle Werte vom Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie Hannover (ITWH) unter KOSTRA-DWD vertrieben ([www.itwh.de](http://www.itwh.de)).

Von Seiten des DWD ist vorgesehen, die bisherige Datenbasis der Jahre 1951-1980 bis zum Jahr 2000 zu verlängern. Dadurch soll dem veränderten Niederschlagsgeschehen der letzten Jahrzehnte, vor allem der Langzeitniederschläge (Dauer  $\geq 24$  Stunden) im Winterhalbjahr,

Rechnung getragen werden. Gleichzeitig wurden die punktuell ermittelten Niederschlagshöhen durch Rasterfeldverteilungen der täglichen Niederschlagshöhen des Zeitraums 1951 bis 2000 aus dem sogenannten REGNIE-Archiv ersetzt und somit räumliche Fehlereinflüsse in den Datenkollektiven beseitigt. Wegen des höheren Niveaus der Dauerstufe  $T_D = 24$  h ist anschließend noch eine Anpassung der Stützstellen für die Dauerstufen  $T_D = 60$  min und  $T_D = 12$  h vorgenommen worden.

Die Veröffentlichung des neuen KOSTRA-Atlas ist für Juli 2005 geplant. Die Fortschreibung des KOSTRA-Atlas für 18 Dauerstufen (5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90 min; 2, 3, 4, 6, 9, 12, 18, 24, 48, 72 h) und acht Jährlichkeiten (0,5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 Jahre) erfolgt als CD-ROM unter KOSTRA-DWD-2000 durch das ITWH.

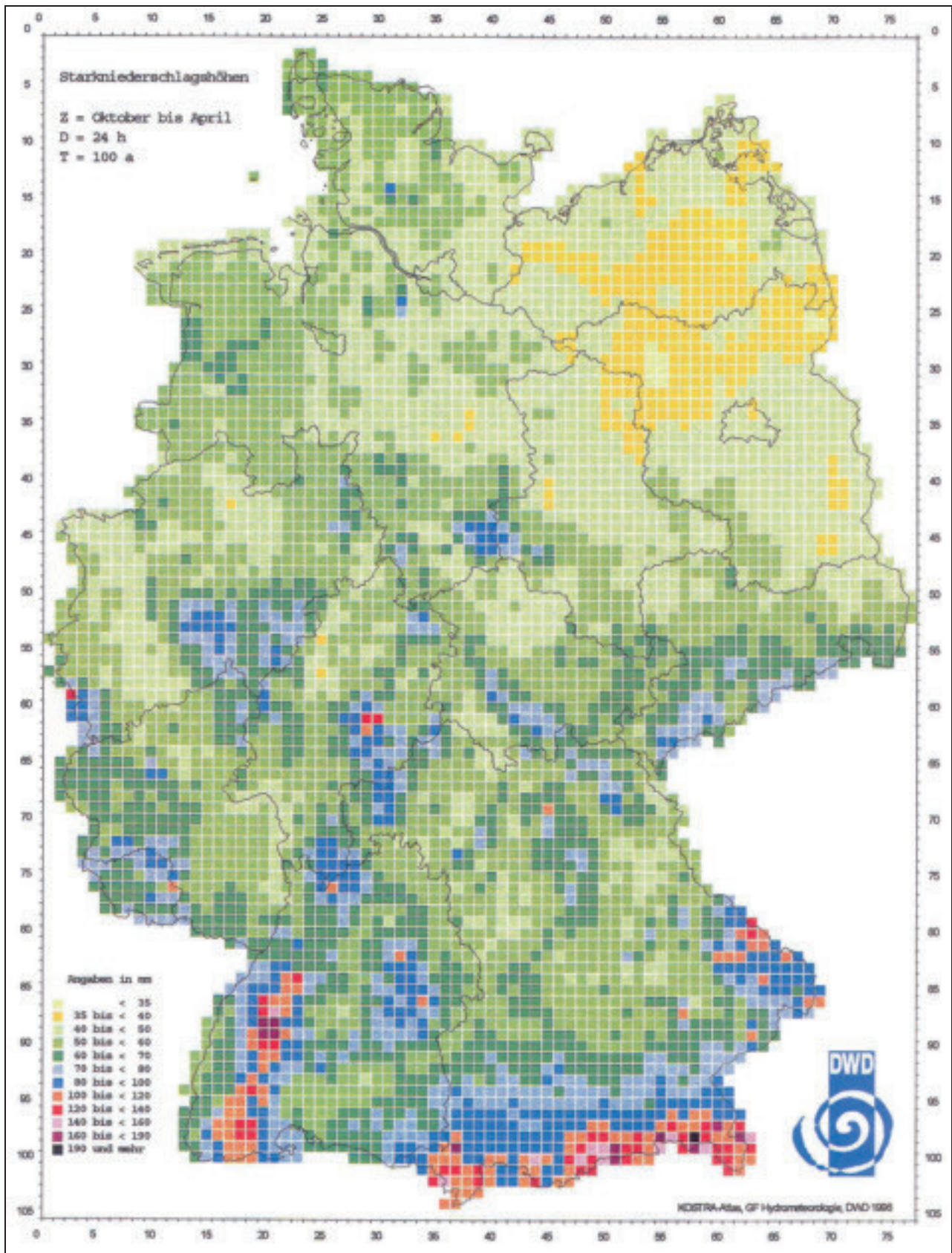


Abbildung 11: Starkniederschlagshöhen (Dauerstufe: 24 h, Wiederkehrzeit 100 a) im Winterhalbjahr (aus KOSTRA-Atlas) in Deutschland [DWD, 1997]

Eine direkte Verwendung der KOSTRA-Werte in N-A-Modellen ist nicht immer sinnvoll. Korrekturen sind beispielsweise erforderlich, wenn das Einzugsgebiet in mehreren KOSTRA-Rasterelementen liegt (Sprung an der Rastergrenze), starke topografische Einflüsse (Bsp. Schwarzwaldrand) vorliegen oder bei größeren Einzugsgebieten Abminderungen der KOSTRA-Niederschläge zu berücksichtigen sind. Zur Vermeidung unrealistischer Sprünge an den Rastergrenzen kann für Einzugsgebiete eine flächengewichtete Mittelung der KOSTRA-Werte erfolgen. Eine Berücksichtigung topografischer Einflüsse ist über räumliche Niederschlagsverteilungen entsprechend dem mittleren Jahresniederschlag möglich. Für größere Einzugsgebiete sind die KOSTRA-Werte z. B. in Anlehnung an Grobe [1977] in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße und der Niederschlagsdauer abzumindern.

Bei der Verwendung von Bemessungsniederschlägen in N-A-Modellen wirkt sich die Festlegung des zugehörigen Abflussbeiwertes entscheidend auf das Berechnungsergebnis aus. Die Wahl der jeweils maßgeblichen Abflussbeiwerte sollte daher nach Möglichkeit auf Auswertungen historischer Hochwasser aufbauen bzw. es sind Abflussbeiwertverfahren nach SCS, Lutz oder vergleichbaren Verfahren zu verwenden. Die Abflussbeiwerte sind so zu

wählen, dass der Scheitelabfluss für die maßgebliche Niederschlagsdauer mit den Scheitelwerten der Hochwasserregionalisierung übereinstimmt. Entsprechendes gilt für die Festlegung der Einheitsganglinie.

### 3.2.3.2 BEMESSUNGSNIEDERSCHLÄGE FÜR HOHE WIEDERKEHRZEITEN (JÄHRLICHKEITEN)

Extremwertstatistische Niederschlagsauswertungen des DWD (KOSTRA) liegen nur bis zu einer Wiederkehrzeit (Jährlichkeit) von  $T_n = 100$  a vor. Bemessungsniederschläge höherer Wiederkehrzeiten sind extremwertstatistisch nicht mehr abgesichert.

Im KOSTRA-Atlas wird die Starkniederschlagsstatistik je Rasterelement über Interpolationsfunktionen beschrieben, die an verschiedene Stützstellen (Jährlichkeit, Dauerstufe) angepasst sind. Mit Hilfe der aus den KOSTRA-Werten  $N(T_n, T_D)$  ableitbaren Interpolationsfunktionen kann eine Extrapolation auf Ereignisse hoher Jährlichkeiten (z. B. 200 a, ..., 10.000 a) durchgeführt werden. Wegen den mit dieser Extrapolation verbundenen Unsicherheiten sollte eine kritische Überprüfung der Werte erfolgen. Dies kann z. B. visuell durch eine grafische Darstellung in Form von Dauer-Intensitäts-Häufigkeitsdiagrammen (siehe Abbildung 12) stattfinden.

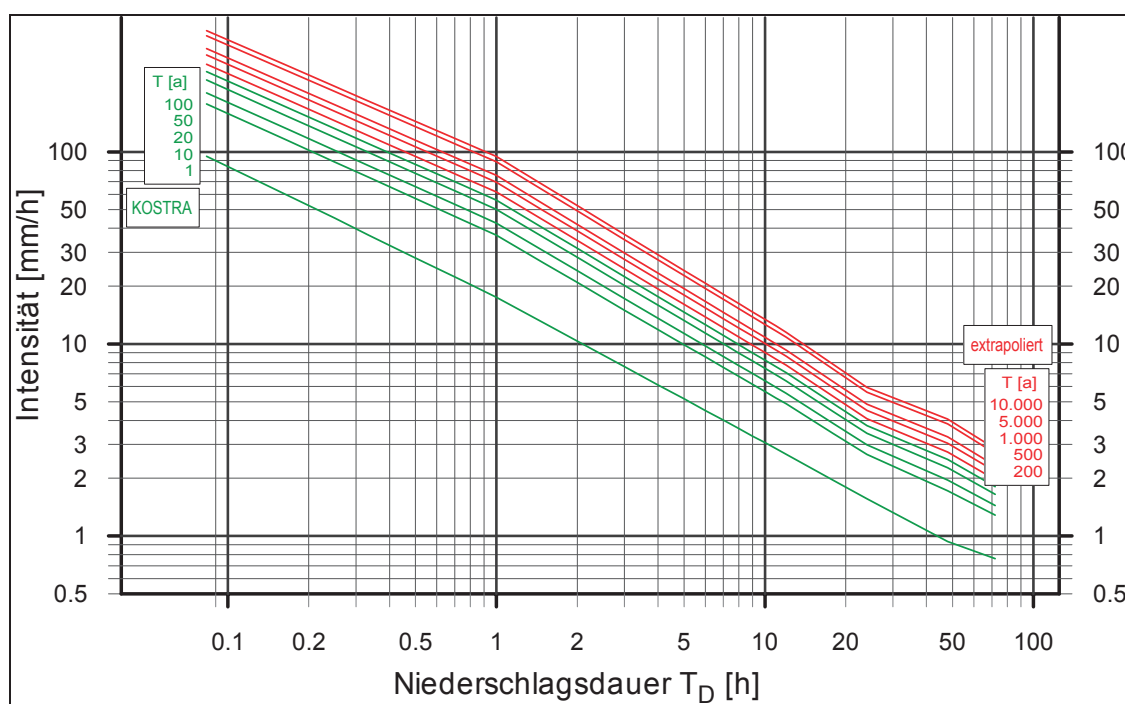


Abbildung 12: Dauer-Intensitäts-Häufigkeitsdiagramm des KOSTRA-Rasterelementes Tübingen (27/88, Januar bis Dezember) [DWD, 1997] mit extrapolierten Werten [LAWA, 2005]

Unterstützend kann das Verfahren PEN (Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags) [Stalman et al. 2004] für die Extrapolation herangezogen werden, indem für den KOSTRA-Bereich eines Ortes für  $T_n = 1$  a der untere und für  $T_n = 100$  a der obere Wert des Bereichs unter Berücksichtigung der Toleranzgrenzen herangezogen wird. Die Ergebnisse der im Auftrag der LAWA am Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover durchgeführten Untersuchungen zur Extrapolation von Niederschlägen oberhalb der KOSTRA-Werte werden von der LAWA in 2005 unter dem Titel „Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN)“ veröffentlicht.

Bisherige Erfahrungen mit extrapolierten KOSTRA-Werten hoher Jährlichkeiten zeigen, dass bei FGM-Berechnungen plausible Ergebnisse erzielt werden (Einordnung in Pegelstatistiken).

### 3.2.3.3 VERMUTLICH GRÖSSTER NIEDERSCHLAG (PMP, MGN)

Die Anlagensicherheit von Stauanlagen ist je nach Klassifizierung für Wiederkehrzeiten von bis zu 10.000 Jahren nachzuweisen. Für den Umgang mit dem Auftreten von noch extremeren Abflüssen und Belastungen ist laut DIN 19700 Teil 11 „das verbleibende Risiko erforderlichenfalls unter Beachtung des PMF (probable maximum flood) zu bewerten und notwendigerweise durch technische und/oder organisatorische Maßnahmen ausreichend zu vermindern“.

Da die DIN 19700 keine Angaben macht, wie das PMF bestimmt werden kann, werden hier mögliche Wege aufgezeigt.

Die Größenordnung des vermutlich größten Abflusses PMF kann über hydrologische Modellberechnungen aus dem vermutlich größten Niederschlag PMP (probable maximum precipitation) abgeschätzt werden. In der Literatur existieren allerdings unterschiedliche Verfahren zur Berechnung des PMP.

Der vermutlich größte Niederschlag PMP kann z. B. durch Maximierung gemessener Extremereignisse unter Berücksichtigung physikalischer Aspekte, jahreszeitlicher und regionaler Einflüsse ermittelt werden. Solch regionale

PMP-Sondergutachten werden z. B. vom DWD (Abteilung Hydrometeorologie) oder von der Universität Leipzig (Prof. Tetzlaff) erstellt.

Für die Bundesrepublik Deutschland wurden vom DWD flächendeckend maximierte Gebietsniederschlagshöhen (MGN) ermittelt und vom DVWK [1997a] publiziert. Die Ergebnisse liegen als Karten für unterschiedliche Jahreszeiten, Dauerstufen und Gebietsgrößen vor. Die MGN-Werte stellen einen oberen Grenzwert dar, der nach menschlichem Ermessen nicht erreicht wird. Sie sollen nicht direkt zur Ermittlung von Bemessungsgrößen verwendet werden, sondern im Rahmen der Bemessungsentscheidungen als Hintergrundinformation bei Sicherheitsüberlegungen und Risikobetrachtungen berücksichtigt werden.

Bei einer Verwendung solch extremer Niederschlagsereignisse in N-A-Berechnungen sind sowohl die Eingangsgrößen Niederschlag, als auch die Berechnungsergebnisse PMF auf Plausibilität zu prüfen. Möglichkeiten hierzu bieten z. B. grafische Einordnungen der PMP-Werte in Niederschlagsstatistiken (extrapolierte KOSTRA-Werte) bzw. Einordnungen des PMF in Hochwasserstatistiken [Ihringer, 2004b].

Erfahrungen bei der Anwendung beider Methoden zeigten, dass bei der Anwendung des „regionalen PMP“ ein hoher Interpretationsspielraum vorliegt. Durch Einordnung der Ergebnisse in Extremwertstatistiken (Niederschlag, Abfluss) können nach Abstimmung der meteorologischen und hydrologischen Eingangsgrößen plausible Ergebnisse erzielt werden.

Eine Verwendung der MGN-Werte kann zu sehr hohen Abflüssen führen, die als obere Grenzwerte der möglichen Hochwasserabflüsse zu betrachten sind. Das aus dem MGN ermittelte PMF lässt sich definitionsgemäß nicht mehr in die im extremen Bereich sehr unsicheren Hochwasserstatistiken einordnen.

### 3.3 HOCHWASSERREGIONALISIERUNG (HQ<sub>T<sub>N</sub></sub>)

Das Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik (IWK) der Universität Karlsruhe hat im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg verschiedene Untersuchungen zur flächendeckenden Bereitstellung von Hochwasserabfluss-Kennwerten durchgeführt, Regionalisierungsmodelle aufgestellt und fortgeschrieben sowie auf die Betrachtung von Extremabflüssen sehr hoher Jährlichkeiten erweitert. In den folgenden Ausführungen wird der aktuelle Stand der Bereitstellung von flächendeckenden Hochwasser-Kennwerten für das Land Baden-Württemberg beschrieben. Es wird ein Ausblick gegeben, welche weitergehenden Informationen von den Dienststellen der Wasserwirtschaftsverwaltung Baden-Württemberg im Laufe des Jahres 2005 zur Umsetzung des Leitfadens "Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes" bereitgestellt werden können [Ihringer, 2004a].

Für die Planung von Anlagen des technischen Hochwasserschutzes sind jeweils die Daten der neuesten CD („Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg“) der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg maßgebend.

#### 3.3.1 HOCHWASSERSCHEITELABFLÜSSE MIT WIEDERKEHRZEITEN T<sub>N</sub> BIS 100 JAHRE

Als hydrologische Grundlage für die Ermittlung von Hochwasserabfluss-Scheitelwerten mit Wiederkehrzeiten (Jährlichkeiten) zwischen T<sub>n</sub> = 2 a und T<sub>n</sub> = 100 a (siehe Abbildung 13) wurde ein Regionalisierungsverfahren an die Abflussstatistiken der Pegel angepasst, in dem der jeweilige Hochwasserabfluss-Kennwert als Funktion von Gebiets-Kenngrößen beschrieben wird. Dabei hat sich die Anpassung des Regionalisierungsverfahrens, das aus einem multiplen Regressionsansatz besteht, an die Pegelstatistiken als sehr gut erwiesen.

Im Regressionsansatz werden die Hochwasserabflusskennwerte MHQ und HQ<sub>T<sub>n</sub></sub> über folgende acht Gebietskenngrößen beschrieben:

□ A <sub>E</sub> [km <sup>2</sup> ]	Einzugsgebietsfläche
□ S [%]	Bebauungsanteil
□ W [%]	Waldanteil
□ I <sub>g</sub> [%]	Gewogenes Gefälle
□ L [km]	Fließlänge entlang des Hauptgewässers (Wasserscheide bis Mündung)
□ L <sub>C</sub> [km]	Fließlänge entlang des Hauptgewässers (Gebietsschwerpunkt bis Mündung)
□ h <sub>NG</sub> [mm]	Mittlerer jährlicher Niederschlag
□ LF [-]	Landschaftsfaktor

Das Regionalisierungsmodell hat die Form:

$$\ln(Y) = C_0 + C_1 \ln(A_E) + C_2 \ln(S+1) + C_3 \ln(W+1) + C_4 \ln(I_g) + C_5 \ln(L) + C_6 \ln(L_C) + C_7 \ln(h_{NG}) + C_8 \ln(LF) \quad (\text{Gl. 3.1})$$

mit:

C<sub>0</sub>...C<sub>8</sub> Regressionskoeffizienten

Y MHQ [m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>] oder HQ<sub>T<sub>n</sub></sub>/MHQ [-]

Die Regressionskoeffizienten C<sub>0</sub>...C<sub>8</sub> können der aktuellen CD [LfU] „Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg“ entnommen werden.

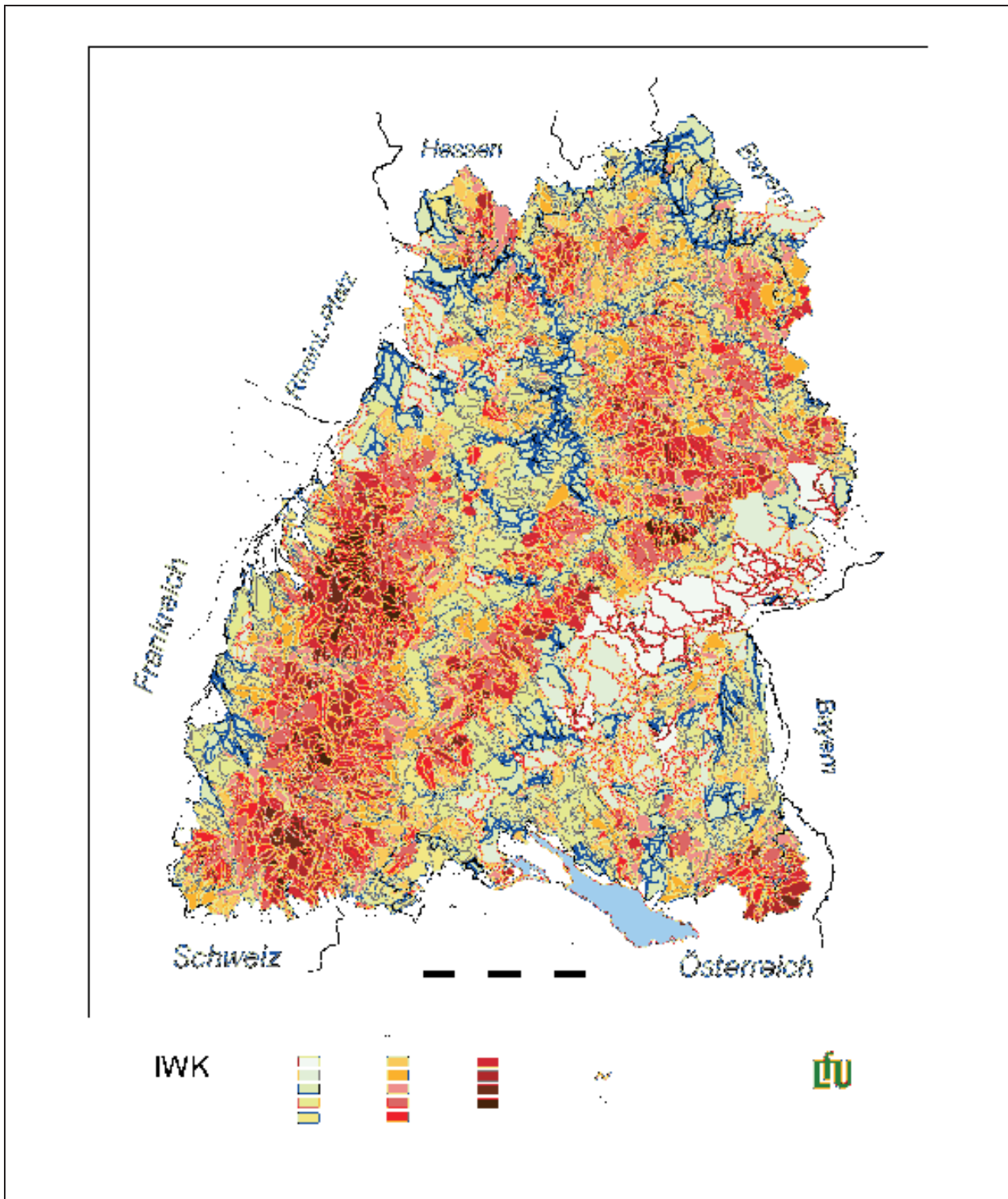


Abbildung 13: Regionalisierte 100-jährliche Hochwasserabfluss-Spenden ( $Hq_{100}$ ) für Baden-Württemberg bezogen auf Gewässerknoten des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses [LfU, 2001]

Die noch fehlenden Angaben im Bereich Bodensee, in Grenz-Bereichen des Hochrheins, des südlichen Oberrheins und der Iller können derzeit nicht bereitgestellt werden, weil für die Einzugsgebiete außerhalb Baden-Württembergs die Grundlagen nicht vorliegen.

Mit der Veröffentlichung im Jahr 1999 "Hochwasserab-

fluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg" [LfU, 1999] und nachfolgend im Jahr 2001 mit der zugehörigen CD [LfU, 2001] wurde daher die flächendeckende Ermittlung von Hochwasserabfluss-Kennwerten auf Grundlage der Basis- und Sammelgebiete des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses Baden-Württemberg möglich.

Aufgrund weitergehender Anforderungen an Hochwasserbemessungswerte (Sicherheitsanforderung der DIN 19700 und Ausweisung der Hochwassergefahrenkarten) und auch aufgrund des fortgeschriebenen Datenstands (Länge der Beobachtungszeitreihen, Abflusskurven der Pegel) liegen aktualisierte Hochwasserabfluss-Kennwerte  $HQ_{T_n}$  für Jährlichkeiten zwischen  $T_n = 2$  a und  $T_n = 100$  a vor (Stand Juni 2004). Diese Ergebnisse stehen für die Pegel- sowie die Basis- und Sammelgebiete des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses auf CD bei der Wasserwirtschaftsverwaltung Baden-Württemberg zur Verfügung.

Auf der CD [LfU, 2001] sowie der geplanten Neuauflage [LfU, 2005] wird die Vorgehensweise (Kapitel 3) und die Anwendung (Kapitel 5) beschrieben.

Grundsätzlich gelten an den Pegeln die regionalisierten  $HQ_{T_n}$ -Werte vorrangig vor den statistisch ermittelten Werten. In folgenden Ausnahmefällen ist die  $HQ_{T_n}$ -Statistik an den Pegeln anzuwenden:

- bei Pegeln in Karsteinzugsgebieten,
- bei Pegeln an oder kurz unterhalb von Quellen,
- bei Pegeln an Flüssen mit flussbaulichen Maßnahmen.

Dies ist in den Ergebnistabellen und in den Längsschnitten der CD „Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg“ jeweils berücksichtigt.

Die  $HQ_{T_n}$ -Werte des Regionalisierungsverfahrens [LfU, 2001] beziehen sich immer auf den quasi natürlichen Hochwasserablauf in den Flussgebieten. Einflüsse wie große Ausuferungen, Retentionsmaßnahmen, große

Hochwasserrückhaltebecken etc. können in den Regionalisierungsansätzen nicht berücksichtigt werden.

Die in LfU [2001] bzw. in der Fortschreibung LfU [2005] angegebenen  $HQ_{T_n}$ -Werte für Pegel sollten bei der Kalibrierung von Flussgebietsmodellen verwendet werden.

Liegen für eine Gewässerstelle keine  $HQ_{T_n}$ -Werte aus dem Regionalisierungsmodell vor, so wird folgende Vorgehensweise empfohlen:

1. Liegt die Gewässerstelle im Nahbereich (geringe Entfernung) zu einem Knoten des Regionalisierungsmodells, so sind die Ergebnisse des Knotens auf die Gewässerstelle zu übertragen.
2. Liegt im Nahbereich der Gewässerstelle kein Knoten des Regionalisierungsmodells, so erfolgt eine Ermittlung der acht im Regionalisierungsmodell benötigten Gebietskenngrößen für die Gewässerstelle und die Ermittlung der  $HQ_{T_n}$ -Werte durch eigene Anwendung der  $HQ_{T_n}$ -Hochwasserregionalisierung. Für diese Anwendung steht auf der CD ein Berechnungsmodul zur Verfügung.

Im Fall 1 wird vorgeschlagen, bei geringer Entfernung zwischen der zu untersuchenden Gewässerstelle und einem Knoten des Regionalisierungsmodells eine Feinabstimmung über die Einzugsgebietsfläche durchzuführen. Die restlichen sieben Gebietskenngrößen werden direkt übernommen. Die Tabelle 3 zeigt exemplarisch einen Ausschnitt aus der Regionalisierungs-CD [2001], der  $HQ_{T_n}$ -Werte und Gebietskenngrößen entnommen werden können.

Tabelle 3: Gebietskenngrößen und  $HQ_{T_n}$ -Werte ausgewählter Gewässerstellen [LFU, 2001]

Nummer	Gewässer-Standort	$A_{E_0}$ [km <sup>2</sup> ]	S [%]	W [%]	$I_g$ [%]	L [km]	$L_C$ [km]	$N_G$ [mm]	LF [-]	MHQ	$HQ_5$	$HQ_{10}$	$HQ_{20}$	$HQ_{50}$	$HQ_{100}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
92389150000	Neckar uh. Mühlbach	12387.47	9.09	36.88	0.13	289.8	86.7	880.151	73.676	1055.68	1406.25	1704.93	1993.09	2372.1	2663.9
92389170000	Neckar uh. Luttenbach	12405.08	9.10	36.88	0.13	294.4	91.4	880.131	73.627	1056.71	1408.03	1705.38	1990.91	2365.5	2653.0
92389190000	Neckar uh. Erlenbächlein	12413.58	9.09	36.90	0.13	295.5	92.4	880.148	73.609	1056.92	1408.39	1705.48	1990.48	2364.1	2650.8
92389213000	Elzbach uh. NN	14.18	2.20	44.29	0.16	7.0	2.6	1023.6	102.67	8.08	14.39	14.39	17.57	21.9	25.4
92389215000	Elzbach uh. Waldhauserbach	38.48	2.48	52.33	1.33	14.6	5.1	972	103.70	16.63	30.62	30.62	38.16	48.8	57.4



Liegt eine große Entfernung zwischen der zu untersuchenden Gewässerstelle und dem nächsten Knoten des Regionalisierungsmodells vor bzw. ist kein sinnvoller Bezugsknoten verfügbar (kleinere Nebengewässer), so muss eine Neuberechnung aller acht Gebietskenngrößen erfolgen (Fall 2). Die Gebietskenngrößen können wie folgt ermittelt werden:

- $A_E, L, L_C, I_g, S, W$  aus TK 1 : 25.000
- $LF, h_{NG}$  über ein GIS aus aktueller Regionalisierungs-CD

Das Regionalisierungsmodell ist in folgenden Fällen nicht oder nur eingeschränkt einsetzbar:

- für die Gewässer in der gesamten Oberrheinebene: Hier gelten andere  $HQ_{T_n}$ -Werte, die aufgrund anderer Verfahren ermittelt wurden. Für die Hochwasserflutkanäle sind die  $HQ_{T_n}$ -Werte ebenfalls nach anderen Methoden berechnet; sie liegen auf der CD als Hochwasserabfluss-Längsschnitte bis zur jeweiligen Mündung in den Rhein vor.
- Karstgebiete (unsichere Einzugsgebietsgröße)
- sehr kleine Einzugsgebiete ( $A_E < 5 \text{ km}^2$ )
- Bereiche mit starkem Einfluss von Rückhaltemaßnahmen (HRB, See, Polder, Retentionsflächen, etc.)
- Niederungssysteme (komplexe Abflussverhältnisse, Verzweigungen, Hochsysteme, Rückstau, niedere Fließgeschwindigkeiten, starker Retentionseinfluss, etc.)
- Bereiche mit hohem Bebauungseinfluss oder inhomogene Bebauung (insbesondere bei kleineren Einzugsgebieten maßgebend)
- Wasserbauliche Maßnahmen (Überleitungen, Verzweigungen, etc.)

Liegt eine dieser Einschränkungen vor, so sollten Berechnungen mit einem Niederschlag-Abfluss-Modell erfolgen.

### 3.3.2 HOCHWASSERSCHEITELABFLÜSSE MIT WIEDERKEHRZEITEN $T_n$ 200 JAHRE BIS 10.000 JAHRE

Zur Umsetzung der Vorgaben der DIN 19700 sind Hochwasserabfluss-Scheitelwerte bis zur Jährlichkeit von  $T_n = 10.000 \text{ a}$  erforderlich. Auch für die Erstellung der Hochwassergefahrenkarten in Baden-Württemberg werden Hochwasserabfluss-Scheitelwerte seltener Extremer-

eignisse ( $T_n$  über 100 Jahre) benötigt. Zur flächendeckenden Bereitstellung dieser Informationen für Baden-Württemberg wurden die Abfluss-Extremwerte auf Grundlage des aktualisierten Hochwasser-Regionalisierungsmodells ( $T_n$  bis 100 Jahre) auf die in der DIN geforderten Jährlichkeiten extrapoliert.

Aufgrund der Tatsache, dass jedes Regionalisierungsmodell immer nur das mittlere Verhalten eines betrachteten Kennwerts beschreiben kann und somit lokale Besonderheiten nur ungenau berücksichtigt werden können, wurde aus den regionalisierten Hochwasserabfluss-Kennwerten der hohen Jährlichkeiten ( $T_n > 100 \text{ a}$ ) jeweils ein Häufigkeitsfaktor  $f_T$  zum  $HQ_{100}$  bestimmt. Dieser Häufigkeitsfaktor beschreibt die Zunahme der sehr hohen  $HQ_{T_n}$ -Werte in Abhängigkeit vom  $HQ_{100}$ -Wert. Diese Zunahme kann als typisch für die landschaftsräumliche Struktur eines Einzugsgebiets angesehen werden und hängt somit weniger von lokalen Besonderheiten des Gebiets ab. Lokale Besonderheiten (z. B. Ausbauzustand des Gewässers, Regenwassereinleitungen aus bebauten Gebieten) können bis zum  $HQ_{100}$ -Ereignis auf der Basis der KOSTRA-Niederschläge [DWD, 1997] sehr gut über eine hydrologische Modellierung berücksichtigt werden. Mit Hilfe der abgeleiteten und regionalisierten Faktoren  $f_T$  kann nach Ermittlung des 100-jährlichen Abflussscheitelwerts eine Abschätzung der höheren Extremwerte erfolgen.

Für die praktische Anwendung der Häufigkeitsfaktoren  $f_T$  sind die Einzugsgebiete in Klassen mit einzelnen Faktoren  $f_{T,g}$  eingeteilt. Mit dieser Klassenbildung soll zusätzlich berücksichtigt werden, dass insbesondere in kleinen Einzugsgebieten sowohl aufgrund der Abflussvariabilität als auch aufgrund der Extrapolation der vorliegenden Datengrundlage in die sehr hohen Jährlichkeitsbereiche Unsicherheiten vorhanden sind. Der Hochwasserabfluss hoher Jährlichkeiten ergibt sich damit zu:

$$HQ_{T_n} = HQ_{100} \cdot f_{T,g} \quad (\text{Gl. 3.2})$$

mit:

$$HQ_{T_n} = \text{Hochwasserabfluss der Wiederkehrzeit } T_n$$

$$f_{T,g} = \text{Häufigkeitsfaktor}$$

Die Abbildung 14 zeigt hierzu exemplarisch die räumliche Verteilung der 1.000-jährlichen Häufigkeitsfaktoren  $f_{T,g}$  in Baden-Württemberg.

Eine Ermittlung der  $HQ_{T_n}$ -Werte für  $T_n = 200$  a bis  $T_n = 10.000$  a kann für die am Ende des Kapitels 3.3.1 aufgeführten Fälle nicht oder nur eingeschränkt erfolgen.

Mit Stand Juni 2004 liegen die Häufigkeitsfaktoren  $f_{T,g}$  zur

Abschätzung der Hochwasserabfluss-Kennwerte  $HQ_{T_n}$  für Jährlichkeiten zwischen  $T_n = 200$  a und  $T_n = 10.000$  a vorläufig als EXCEL-Listen für Pegel, Basis- und Sammelgebiete des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses Baden-Württemberg vor. Mit der Neuauflage der CD (Mitte 2005) wird eine Anleitung zum Gebrauch dieser  $HQ_{T_n}$ -Werte gegeben. Die Ergebnisse werden auf CD von der Wasserwirtschaftsverwaltung Baden-Württemberg bereitgestellt.

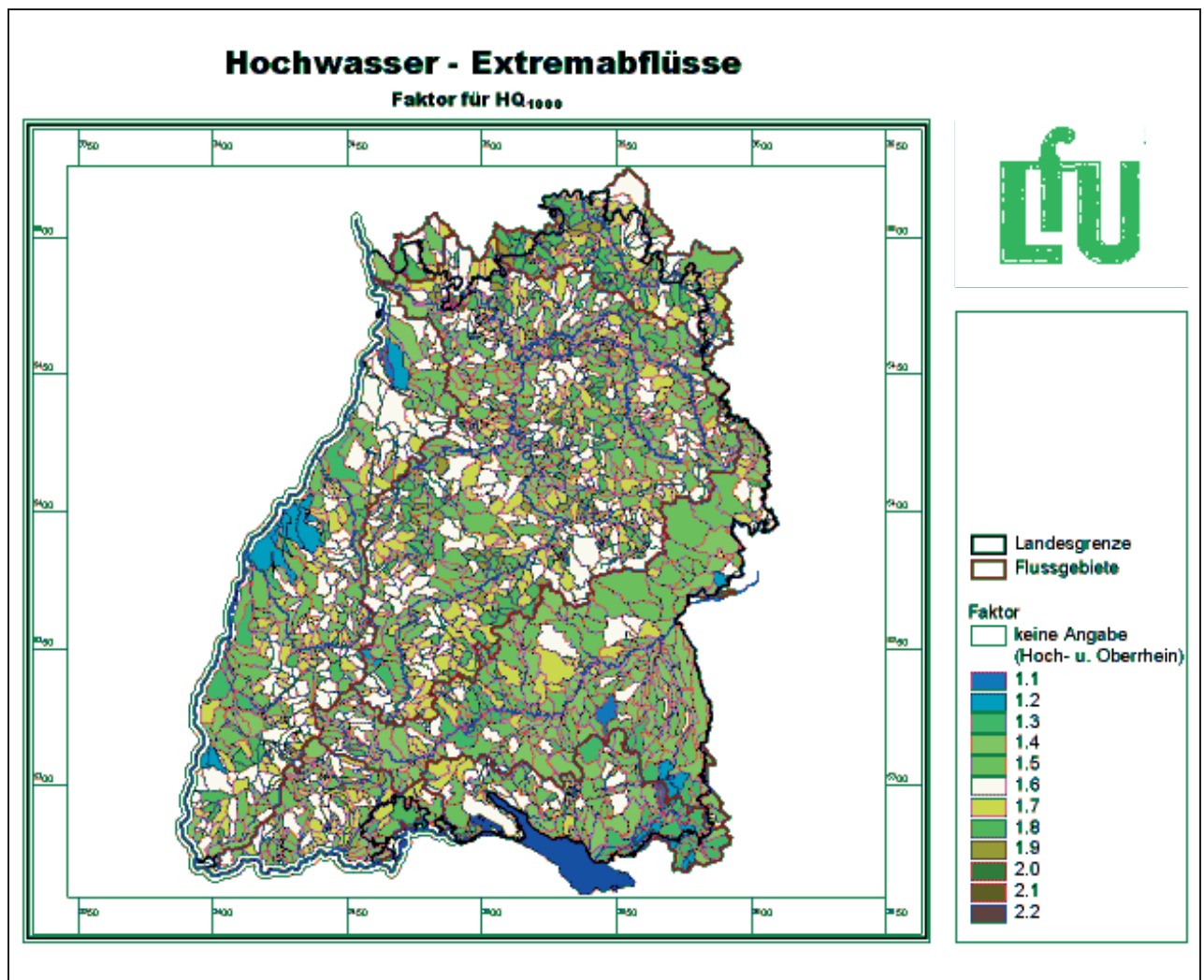


Abbildung 14: Räumliche Verteilung des 1.000-jährlichen Häufigkeitsfaktors  $f_{T,g}$  in Baden-Württemberg [LfU, 2005]

### 3.4 FLUSSGEBIETSUNTERSUCHUNGEN

Das Ziel zeitgemäßer Hochwasserschutzplanungen ist es, für gesamte Flusseinzugsgebiete flächendeckende, optimierte Hochwasserschutzkonzeptionen zu entwickeln. Die Basis hierzu ist in einer umfassenden Flussgebietsuntersuchung (siehe Abbildung 15) zu schaffen, die hydrologische, hydraulische, ökologische und ökonomische Untersuchungen beinhaltet.

Im Rahmen einer Flussgebietsuntersuchung werden die hydrologischen und hydraulischen Abflussverhältnisse mit Hilfe von mathematischen Modellen detailliert beschrieben. Das flächendetaillierte Niederschlag-Abfluss-Modell (hydrologische Modell) erfasst dabei das gesamte betrachtete Flusseinzugsgebiet. Im Falle des hydraulischen Fließgewässermodells genügt es z. T., sich auf die innerörtlichen Gewässerabschnitte zu beschränken.

Der Schwerpunkt von Flussgebietsuntersuchungen besteht im Aufbau, der Anpassung und Anwendung der mathematischen Modelle (hydrologisches Flussgebietsmodell, Fließgewässermodell). Durch Verknüpfung der Simulationsrechnungen beider Modelle erfolgt zunächst eine Analyse der Hochwasserabflussverhältnisse im Untersuchungsgebiet. Die hydraulischen Berechnungen liefern hierzu Aussagen über die Leistungsfähigkeiten der Gewässer (Leistungsband). Durch Einordnung der mit dem hydrologischen Modell ermittelten Hochwasserabflüsse  $HQ_{Tn}$  ist eine Einschätzung der aktuellen Hochwassergefährdung möglich (Bestandsanalyse, Schutzgrad).

Erweist sich der vorhandene Hochwasserschutz als unzureichend, so erfolgt anschließend die Entwicklung einer Hochwasserschutzkonzeption. Dabei werden im Wechsel zwischen hydrologischen und hydraulischen Berechnungen Rückhaltemaßnahmen und lokale Schutzmaßnahmen optimiert. Bei der Optimierung sind neben den wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten auch die ökonomischen (Nutzen-Kosten, Schutzgrad) und ökologischen Belange zu berücksichtigen.

Durch die im Rahmen einer Flussgebietsuntersuchung parallele Anpassung von hydrologischem und hydraulischem

Modell sind gegenseitige Überprüfungen möglich. Dies gilt insbesondere bei der Nachrechnung historischer Hochwasser (Geschwemmsellinien, Hochwassermarken, Retentionsflächen, Abflussmessungen, etc.). Für Gewässerabschnitte mit angepassten hydraulischen Fließgewässermodellen ist im hydrologischen Modell die Nachbildung der Wellenverformung entlang einer Gewässerstrecke an die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen mit dem Fließgewässermodell anzupassen. Die getroffenen Vereinfachungen der hydrologischen Verfahren zur Nachbildung der Wellenverformung entlang einer Gewässerstrecke können zu Grenzen der Modellanwendung führen. So können die Abflussvorgänge entlang einer Gewässerstrecke z. B. in Niederungssystemen und sehr breiten Vorländern (Rückstau, Gewässeraufteilungen, große Retentionsräume, Eindeichungen, etc.) mit hydrologischen Verfahren teilweise nur ungenau nachgebildet werden. In solchen Fällen sind die Abflussvorgänge über instationäre Fließgewässermodelle nachzubilden, die als seitliche Zuflüsse die Berechnungen (Abflussganglinien) aus dem hydrologischen Modell verwenden.

Nach zufriedenstellender Anpassung der hydrologisch-hydraulischen Modelle können Bemessungshochwasser berechnet werden. Widersprüche zu den Daten der Hochwasserregionalisierung müssen aufgeklärt und die daraus folgende Entscheidung begründet und dargestellt werden. Die Ergebnisse sind der LfU mitzuteilen.

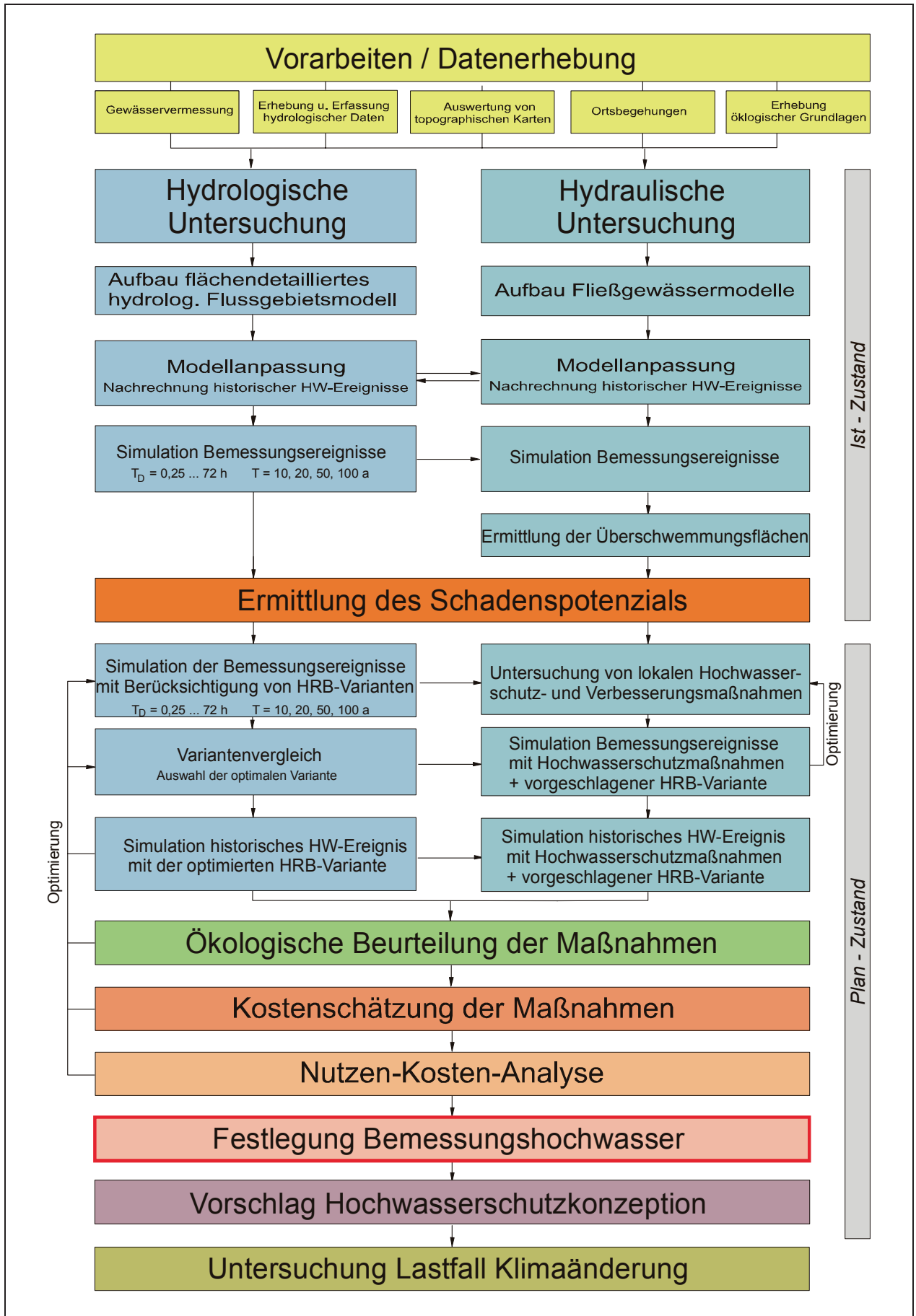


Abbildung 15: Ablauf einer Flussgebietsuntersuchung

### 3.4.1 HYDROLOGISCHES FLUSSGEBIETSMODELL (NIEDERSCHLAG-ABFLUSS-MODELL)

Niederschlag-Abfluss-Modelle haben sich seit vielen Jahren als geeignete Instrumente zur Berechnung von Hochwasserabflüssen und Hochwasserganglinien bewährt. Bei größeren Flusseinzugsgebieten, wo eine stärkere Gliederung in Teileinzugsgebiete (siehe Abbildung 16) zur besseren Erfassung der unterschiedlichen Strukturen erforderlich ist, werden dafür oft auch die Bezeichnungen „hydrologisches Flussgebietsmodell“ oder „flächendetailiertes hydrologisches Flussgebietsmodell“ verwendet. Alle drei Modellbezeichnungen gehen von den gleichen theoretischen Ansätzen und Grundlagen aus. Im weiteren Textverlauf wird deshalb stellvertretend nur noch der Begriff „hydrologisches Flussgebietsmodell“ verwendet.

wässerabschnitten statt. Ausgabe des Modells sind dann Abflussganglinien an den zuvor festgelegten Berechnungsknoten.

Hydrologische Flussgebietsmodelle müssen kalibriert werden. Die Anpassung erfolgt beim Vorliegen von Pegelstellen durch die Nachrechnung abgelaufener Hochwasser (Analyse des N-A-Verhaltens). Im Bedarfsfall werden Pegel-einzugsgebiete hydrologisch vergleichbarer Nachbar-einzugsgebiete bei der Anpassung (Analyse) mit einbezogen. Sind keine Pegel verfügbar, so sind die Parameter über Regionalisierungsmodelle (Abflussbildung, Abflusskonzentration) aus hydrologisch vergleichbaren Gebieten zu übertragen. Die durch Nachrechnung von synthetischen Niederschlagsereignissen ausgewählter Re-

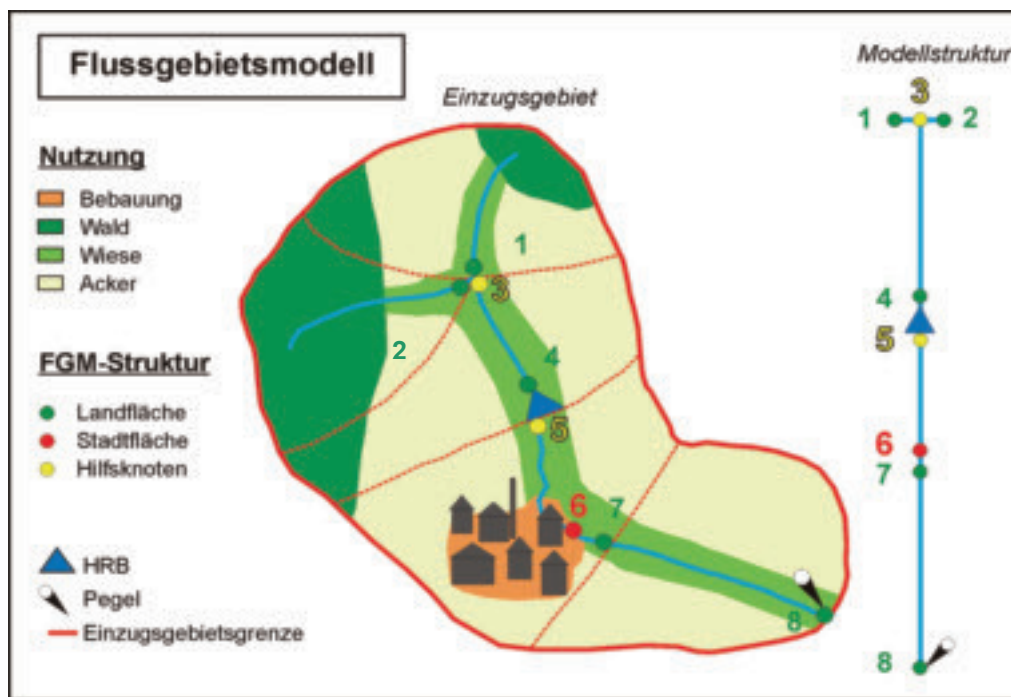


Abbildung 16: Schemazeichnung eines Flussgebietsmodells

In einem hydrologischen Flussgebietsmodell wird der Niederschlag-Abfluss-Prozess eines Einzugsgebietes (Niederschlag, Abflussbildung, Abflusskonzentration, Abflussganglinie) über mathematische Modelle nachgebildet. Modellinput sind die zeitlich und räumlich verteilten Gebietsniederschläge. Durch eine räumliche Gliederung des Einzugsgebietes in Gewässerstrecken und Teileinzugsgebiete findet eine flächendetaillierte Beschreibung des N-A-Prozesses sowie eine Nachbildung der Wellenverformung unter Berücksichtigung der Zuflüsse aus den unbebauten und bebauten Teilgebieten in den einzelnen Ge-

gendauern und Wiederkehrzeiten (KOSTRA) ermittelten Hochwasserscheitelabflüsse  $HQ_{T_n}$  sind durch Einordnung in Pegelstatistiken, Hochwasserregionalisierungswerte, Beobachtungen und „gemessene“ Hochwasserabflüsse auf Plausibilität zu prüfen.

Ein großer Vorteil von hydrologischen Modellen gegenüber Pegelstatistiken und der Hochwasserregionalisierung liegt trotz Modellvereinfachung in einer genaueren Erfassung physikalischer Einflussgrößen und der gebietspezifischen Eigenschaften (Bodennutzung) des Einzugsge-

tes. Es können abflussbeeinflussende Maßnahmen, wie z. B. Hochwasserrückhaltungen, einzeln und als System simuliert und deren Wirkungen auf die Unterlieger aufgezeigt werden. Damit ist das hydrologische Flussgebietsmodell ein unverzichtbares Werkzeug im Zusammenhang mit der Entwicklung von einzugsgebietsbezogenen Hochwasserschutzkonzeptionen.

Ergebnisse des hydrologischen Flussgebietsmodells sind Abflussganglinien, die beispielsweise für Fragen der Bemessung und Sicherheitsüberprüfung von Rückhaltungen [DIN 19700] benötigt werden.

Bei der Bemessung von Hochwasserschutzanlagen sollten zu erwartende abflussverschärfende Aspekte mit berücksichtigt werden. Deren Einfluss kann mit hydrologischen Modellen meist plausibel erfasst werden. Beispiele hierfür sind:

- Flächennutzungsänderungen, insbesondere Zunahme der Versiegelung
- Gewässerausbau, Eindeichung, Wegfall von Retentionsräumen, etc.
- Lastfall Klimaänderung
- neue Datengrundlagen

Ergänzende Hinweise zum Aufbau eines hydrologischen Flussgebietsmodells:

Das Einzugsgebiet soll so unterteilt werden, dass die gebietscharakteristischen Eigenschaften, wie z. B. die Topographie, die jeweilige Landnutzung und der Bewuchs, entsprechend den örtlichen Gegebenheiten in dem Modell möglichst gut berücksichtigt werden können. Die Berechnungsknoten sollen so gelegt werden, dass die Zuflüsse aus bedeutenden Nebengewässern und die Abflüsse an markanten Stellen ausgegeben, sowie vorhandene und potentielle Rückhalteräume hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Hochwasserablauf untersucht werden können.

Bei der Erfassung der Teilflächen sollen bebaute Gebiete aufgrund ihres unterschiedlichen Abflussverhaltens weitestgehend gesondert im Modell erfasst werden, da diese ein unterschiedliches Abflussverhalten aufweisen. Hierzu müssen die angeschlossenen versiegelten Flächen und die

vorhandenen Regenwasserentlastungsanlagen (RÜB, RRB) sowie die Leistungsfähigkeit der Kanalisationsnetze erhoben und berücksichtigt werden.

### 3.4.2 HYDRAULISCHES FLIESSGEWÄSSER-MODELL

Um Bemessungswasserstände aus den hydrologisch ermittelten Bemessungsabflüssen ableiten, die Leistungsfähigkeit von Gewässern bestimmen, Überflutungshöhen berechnen oder die Wirkung von Eingriffen am Gewässer aufzeigen zu können, benötigt man ein hydraulisches Fließgewässermodell, mit dem die Abflussvorgänge im Gewässer selbst unter Berücksichtigung sämtlicher Bauwerke und der vorhandenen Abflussquerschnitte simuliert werden können. Sofern Retentionseffekte auftreten und berücksichtigt werden sollen, sind hierzu instationäre Berechnungen notwendig.

Bei komplexen Strömungsverhältnissen kann möglicherweise bereichsweise der Einsatz eines 2D-Strömungsmodells erforderlich werden, insbesondere dann, wenn starke Abweichungen der Fließrichtung von der Hauptströmungsrichtung (z. B. Querströmungen durch stark wasserführende Nebengewässer oder durch stark gegliederte Topographie) zu erwarten sind.

Der Einsatz eines hydraulischen Fließgewässermodells verlangt eine detaillierte Beschreibung der vorhandenen Gewässergeometrie bzw. des bei Hochwasser wirksamen Abflussquerschnitts. Hierzu sind gegebenenfalls terrestrische Gewässervermessungen (Querprofile, Bauwerke) durchzuführen. Ergänzend kann hier zukünftig auch auf die landesweite Laser-Scanner-Vermessung (Digitales Höhenmodell des Landes Baden-Württemberg) zurückgegriffen werden. Informationen hierzu findet man im Leitfaden „Geodaten für die Wasserwirtschaft“ [LfU, 2003].

Eingangsgrößen des hydraulischen Fließgewässermodells sind berechnete Hochwasserganglinien (bei instationärer Berechnung) oder Hochwasserscheitelwerte (bei stationärer Berechnung) aus dem hydrologischen Modell bzw. aus der Hochwasserregionalisierung, die an den entsprechenden Stellen entlang des Gewässers als Zuflüsse angesetzt werden.

Eine Modellanpassung („Kalibrierung der Rauheitsparameter“) an die örtlichen Abflussverhältnisse und Modellverifikation sollte durch Nachrechnung von historischen Hochwasserereignissen erfolgen. Die Einsatz- und Prognosefähigkeit des Modells muss durch eine möglichst gute Übereinstimmung gemessener und berechneter Wasserstände nachgewiesen werden. Da nicht überall entlang des Gewässers gemessene oder beobachtete Wasserstände für historische Hochwasserereignisse vorliegen, sollten weitere Plausibilitätskontrollen durchgeführt werden. Beobachtete Schwachstellen bzw. Stellen, an denen das Gewässer bei abgelaufenen Hochwassern über die Ufer getreten ist und Überflutungen aufgetreten sind, müssen auch mit dem Modell nachvollzogen werden.

Liegen keine Mess- oder Beobachtungswerte für Hochwasserereignisse vor, die für eine Modellanpassung herangezogen werden können, müssen die Modellparameter anhand von Schätzverfahren oder Erfahrungswerten aus vergleichbaren Gewässern bestimmt werden.

Nachdem die Prognosefähigkeit des hydraulischen Modells nachgewiesen ist, werden statistische Abflüsse ( $HQ_{T_n}$ ) bestimmter Eintrittswahrscheinlichkeiten (Wiederkehrzeiten) mit dem Modell untersucht.

Aus den Ergebnissen dieser Rechenläufe ist der Handlungsbedarf für die notwendige Hochwasserschutzmaßnahmen abzuleiten.

Mit dem hydraulischen Fließgewässermodell kann die Wirkung von abflussreduzierenden Maßnahmen (Hochwasserrückhaltebecken) auf die Wasserstände entlang eines Gewässers detailliert ermittelt und die Wirkung von gewässerbegleitenden Hochwasserschutz- oder Gewässer- ausbaumaßnahmen für beliebige Hochwasserabflüsse aufgezeigt werden. Das hydraulische Modell ist deshalb ein wichtiges Werkzeug bei der Entwicklung von Hochwasserschutzkonzepten.

Aufbauend auf den Ergebnissen der hydraulischen Berechnungen werden die auftretenden Überflutungsflächen und Überflutungstiefen für die maßgebenden Hochwasserereignisse entlang des Gewässers ermittelt, die als Grundlage für die Durchführung einer detaillierten Scha-

denpotenzialanalyse und Nutzen-Kosten-Untersuchung benötigt werden.

### 3.4.3 NUTZEN-KOSTEN-UNTERSUCHUNG

Bei der Planung von technischen Hochwasserschutzmaßnahmen ist die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen nachzuweisen. Es gilt der Grundsatz: „Die Summe der verhin- derten Schäden muss größer sein als die für den Hochwasserschutz aufgewendeten Kosten für Bau und Betrieb“. Die Festlegung des Bemessungshochwassers für die zu planenden Schutzmaßnahmen muss sich deshalb an diesem Leitsatz orientieren.

Auf der Basis einer Nutzen-Kosten-Untersuchung (NKU) ist die Wiederkehrzeit  $T_n$  zu finden, bei der sich der größte Kapitalwert für die Hochwasserschutzmaßnahmen ergibt.

Eine ausführliche Beschreibung der Grundlagen und Vorgehensweise einer solchen nutzen-kosten-analytischen Bewertung findet man bei BWK [2001] oder Schmidtke [2004]. Die finanzmathematischen Grundlagen sind in den LAWA-Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen [LAWA, 2005] beschrieben. Im Folgenden werden die wichtigsten Arbeitsschritte aufgezeigt:

- Ermittlung der Hochwassergefahr (Überflutungsflächen)

Die Überflutungsflächen- und -tiefen sind für eine ausreichende Zahl von Wiederkehrzeiten zu ermitteln, damit der gesamte Schadensverlauf von häufigen bis zu extrem seltenen, katastrophalen Ereignissen ausreichend genau erfasst werden kann.

- Ermittlung des Schadenspotenzials für jede Wiederkehrzeit

Um das Schadenspotenzial ermitteln zu können, müssen bei der üblichen mikroskaligen Vorgehensweise die betroffenen Objekte identifiziert und klassifiziert werden. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, die hochwassergefährdeten Siedlungsgebiete zu bereisen. Dabei sind die Ergebnisse der Bestandsaufnahme zu überprüfen, sowie weitere schadensrelevante Merkmale wie Art und Alter oder angepasste Bauweise und Nutzung der betroffenen

Gebäude zu erfassen. Besonders sensible Objekte, die hohe Schäden erwarten lassen (z. B. Industriebetriebe), sind im Detail zu betrachten. Die Schwellenhöhen der relevanten Gebäudeöffnungen sind aufzunehmen. Bei dieser Erhebung sollten die betroffenen Gemeinden und evtl. auch die Baurechtsbehörden mit einbezogen werden.

Danach können die zu erwartenden, monetär bewertbaren Schäden (Vermögensschäden) sowie weitergehende Schäden wie Wertschöpfungsverluste oder der Katastrophenschutz aufwand ermittelt werden. Von entscheidender Bedeutung sind in der Regel die Vermögensschäden. Diese können objektweise, z. B. mit Hilfe von Wasserstands-Schadensfunktionen, aus der HOWAS-Datenbank der LAWA [IWK, 1999] ermittelt werden. Die objektbezogen ermittelten Einzelschäden werden zu einem Gesamtschaden für jede Wiederkehrzeit aufsummiert.

Eine weitere Möglichkeit zur Quantifizierung der zu erwartenden Schäden ist, insbesondere bei größeren Gebieten, das „vereinfachte Verfahren zur flächenhaften Ermittlung von Hochwasserschadenspotenzialen“ (mesoskalige Vorgehensweise). Dabei werden Flächengrößen mit gleichen Nutzungen ermittelt (z. B. über ALK/ATKIS) und mit spezifischen Vermögenswerten und Schadensfunktionen die zu erwartenden Vermögensschäden berechnet. Dieses Verfahren wurde von der Methodik zur Schadenspotenzial-Abschätzung in großen Einzugsgebieten abgeleitet. Eine Kurzbeschreibung kann bei der IKoNE-Geschäftsstelle im Regierungspräsidium Stuttgart angefordert oder über [www.ikone-online.de](http://www.ikone-online.de) abgerufen werden.

Wertschöpfungsverluste wie z. B. Betriebsausfall aufgrund von Überflutungen können bei entsprechend sensiblen Objekten Bedeutung erlangen und sind separat zu quantifizieren.

#### □ Machbarkeitsstudie

Die möglichen technischen Hochwasserschutzmaßnahmen sind unter Einbeziehung der Möglichkeiten zur Verbesserung des natürlichen Hochwasserrückhalts in einer Variantenuntersuchung aufzuzeigen. Die Auswahl erfolgt unter Würdigung der zu erwartenden Auswirkungen auf Schutzgüter und vorhandene Nutzungen. Wichtig ist,

dass die gesamte Bandbreite erfasst wird und zwar auch in Bezug auf den Schutzgrad. Auch Objektschutz oder die Verlegung einzelner Objekte ist in Betracht zu ziehen. Dies gilt insbesondere für isoliert stehende Gebäude und bei aufgelockerter Bebauung. Bei unterschiedlichen Nutzungen kann eine dem jeweiligen Schutzgut angemessene Staffelung des Schutzgrads sinnvoll sein.

#### □ Optimierungsprozess

In einem ersten Schritt werden von allen Möglichkeiten mit gleichem Schutzgrad durch Kostenvergleichsrechnungen die jeweils günstigsten ermittelt. Die Wahl des angemessenen Schutzgrades erfolgt in einem zweiten Schritt, der dann Nutzen-Kosten-Betrachtungen erfordert.

Die Kosten sind gemäß den „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ [LAWA, 2005] zu ermitteln. Dabei sind die Investitionskosten (Bau- und Baunebenkosten, Grunderwerb) und die laufenden Kosten (Betrieb, Wartung, Unterhaltung, Überwachung sowie Reinvestitionskosten für „Verschleißteile“) zu berücksichtigen. In der Nutzen-Kosten-Berechnung sind die Barwerte oder Jahreswerte (realer Zinssatz 3 %, Zeitraum 80 a) gegenüberzustellen. Diese Betrachtung wird für jede gewählte Variante mit den verschiedenen Schutzgraden durchgeführt.

Der Nutzen (= Schadensminderung) entspricht dem Erwartungswert des jeweils verhinderten Schadens. Dieser ergibt sich aus der Differenz des zu erwartenden Schadens im Fall „ohne Maßnahme“ und im Fall „mit Maßnahme“. In beiden Fällen müssen Prognosen für die zukünftige Nutzung des überschwemmungsgefährdeten Gebietes in einem Zeitraum von üblicherweise 80 Jahren gemacht werden. Bei den Vermögenswerten und der Wertschöpfung kann ein realer jährlicher Zuwachs (von z. B. 1%) berücksichtigt werden. Die Ermittlung der Schadensminderung wird für alle betrachteten Schutzgrade durchgeführt.

Sofern bei abgelaufenen Hochwasserereignissen aufgetretene Schäden für die Betrachtung herangezogen werden, ist zu beachten, dass ein einzelnes Ereignis keine ausreichend belastbare Grundlage für die Ermittlung des Nut-



zens bietet. Hierzu müssen Ereignisse mit unterschiedlichen Jährlichkeiten betrachtet werden.

Ergibt sich ein Kapitalwert als Differenz der Nutzen- und Kostenbarwerte kleiner als Null, so ist zu prüfen, ob mit kleineren oder größeren Hochwasserschutzgraden ein positiver Kapitalwert erreicht werden kann. Die jeweiligen Ergebnisse sind zusammenzustellen und müssen zur Entscheidungsfindung erläutert werden. Sofern signifikante Kostensprünge vorhanden sind, müssen deren Ursache und Nutzen separat dargestellt werden.

### 3.5 LASTFALL KLIMAÄNDERUNG

#### 3.5.1 EINFÜHRUNG

Die bisherigen Untersuchungen des Gemeinschaftsvorhabens der Länder Baden-Württemberg und Bayern sowie dem Deutschen Wetterdienst „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (KLIWA)“ haben gezeigt, dass Hochwasserereignisse in den letzten 30 Jahren häufiger auftraten und zukünftig aufgrund der Klimaänderung von einer Erhöhung der Hochwasserabflüsse auszugehen ist [Ihringer, 2004c]. Wegen den noch bestehenden Unsicherheiten bei den Klimamodellen und den Modellannahmen kann diese Zunahme derzeit nicht ausreichend sicher quantifiziert werden. Die bisherigen Untersuchungen geben jedoch Anlass, den bisherigen Weg bei der Festlegung von Bemessungsabflüssen zu modifizieren und aufgrund des Klimawandels einen „Lastfall Klimaänderung“ zu berücksichtigen.

Anhand von Fallbeispielen aus der Praxis wurde nachgewiesen [Wald, 2004], dass eine Berücksichtigung der Auswirkungen der Klimaänderung in den meisten Fällen zu relativ moderaten Kostenerhöhungen geführt hätte, wenn dieser Lastfall bereits bei der Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen berücksichtigt und beim Bau zumindest entsprechende Vorkehrungen für eine spätere Anpassung getroffen worden wäre. Spätere Anpassungen sind jedoch meist mit sehr hohen Kosten verbunden.

Der Lastfall Klimaänderung soll deshalb zukünftig bei Planungen von technischen Hochwasserschutzmaßnahmen mit untersucht werden. Es ist aufzuzeigen, welche

Konsequenzen sich durch den Lastfall auf die Auslegung der Maßnahmen ergeben und welche Mehrkosten dadurch zu erwarten sind. Aufgrund der dann vorliegenden Erkenntnisse soll entschieden werden, inwieweit, der Lastfall Klimaänderung bereits in der Planung berücksichtigt wird. Dabei sind auch Möglichkeiten für eine spätere Anpassung in Betracht zu ziehen.

Die Anwendung des Lastfalls Klimaänderung ist für Hochwasserschutzkonzeptionen, mit deren Umsetzung bereits begonnen wurde bzw. deren Umsetzung bereits abgeschlossen ist, nicht vorgesehen.

#### 3.5.2 ERHÖHUNG DES BEMESSUNGSABFLUSSES

Bei der Bemessung neuer wasserwirtschaftlicher Anlagen ist es daher aus heutiger Sicht notwendig, die Auswirkungen des Klimawandels im Rahmen der Planung von technischen Hochwasserschutzmaßnahmen zu untersuchen. Dies erfolgt durch einen Zuschlag, d.h. einen Klimaänderungsfaktor, zum Bemessungswert.

Allerdings kann in Baden-Württemberg je Wiederkehrzeit (Jährlichkeit  $T_n$ ) kein einheitlicher  $HQ_{T_n}$ -Klimaänderungsfaktor  $f_{T,K}$  verwendet werden. Untersuchungen des Instituts für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe ergaben regional unterschiedliche Bereiche. Für die Klimaänderungsfaktoren der Hochwasserabflusskennwerte  $MHQ$  ( $f_{MHQ,K}$ ) und  $HQ_{100}$  ( $f_{100,K}$ ) wurden den Regionen mit einheitlichen Faktoren ermittelt (siehe Abbildung 17 und Abbildung 18).

Um die Größe des Klimaänderungsfaktors abschätzen zu können, wurden die Ergebnisse der im Rahmen von KLIWA erstellten regionalen Klimaszenarien als Eingangsgrößen für Wasserhaushaltsmodelle genutzt. Die so ermittelten Abflüsse aus der Wasserhaushaltsmodellierung wurden mit Methoden der Extremwertstatistik aufbereitet. Daraus wurden für verschiedene Jährlichkeiten regionale Klimaänderungsfaktoren festgelegt.

Für den Lastfall Klimaänderung können die aus der Hochwasserregionalisierung oder über hydrologische Modellberechnung vorliegenden Abflüsse  $HQ_{T_n}$  direkt über  $HQ_{T_n}$ -Klimaänderungsfaktoren  $f_{T,K}$  erhöht werden.

Dabei gilt:

$$HQ_{T_n,K} = f_{T,K} \cdot HQ_{T_n} \quad (\text{Gl. 3.3})$$

mit:

$HQ_{T_n}$  = Hochwasserabfluss der Wiederkehrzeit  $T_n$

$f_{T,K}$  = regionaler Klimaänderungsfaktor

Der Klimaänderungsfaktor  $f_{MHQ,K}$  für MHQ (kleinere Hochwasser) wurde in drei Klassen, der Klimaänderungsfaktor  $f_{100,K}$  für das  $HQ_{100}$  (große Hochwasser) in zwei Klassen unterteilt. Zusammengefasst ergeben sich damit für Baden-Württemberg die in der Abbildung 19 dargestellten fünf Regionen mit jeweils unterschiedlichen Klimaänderungsfaktoren. Durch räumliche Zuordnung zu einer der fünf Regionen stehen damit Klimaänderungsfaktoren für beliebige Untersuchungsgebiete Baden-Württembergs zur Verfügung. Die vom IWK im Auftrag des Landes Baden-Württemberg ermittelten Klimaänderungsfaktoren der fünf Regionen sind in der Tabelle 4 zusammengestellt. Diese zeigt, dass die Folgen der Klimaänderung zu einer erheblichen Zunahme kleinerer und

mittlerer Hochwasser führt. Auch bei den für Fragen des Hochwasserschutzes i. d. R. maßgebenden Jährlichkeiten (50-jährlich, 100-jährlich) liegt eine deutliche Erhöhung des Hochwasserabflusses vor. Bei dem im Hinblick auf die Anlagensicherheit (Hochwasserrückhaltebecken, Tal-sperren) zu untersuchenden Hochwasserbemessungslast-fall 2 ( $HQ_{1.000}$  bis  $HQ_{10.000}$ ) sind allerdings keine Erhöhun-gen zu erwarten.

Für praktische Anwendungen des Klimaänderungsfaktors auf Pegel-, Basis- und Sammelgebiete werden die jeweili-gen Faktoren auf der CD "Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg" (Stand: Mitte 2005) flächendetailliert ausgewiesen.

Auf Grund der derzeit noch bestehenden Unsicherheiten bei den Klimamodellen und den Modellannahmen ist eine Fortschreibung der in Tabelle 4 angegebenen Klima-änderungsfaktoren zu gegebener Zeit vorgesehen.

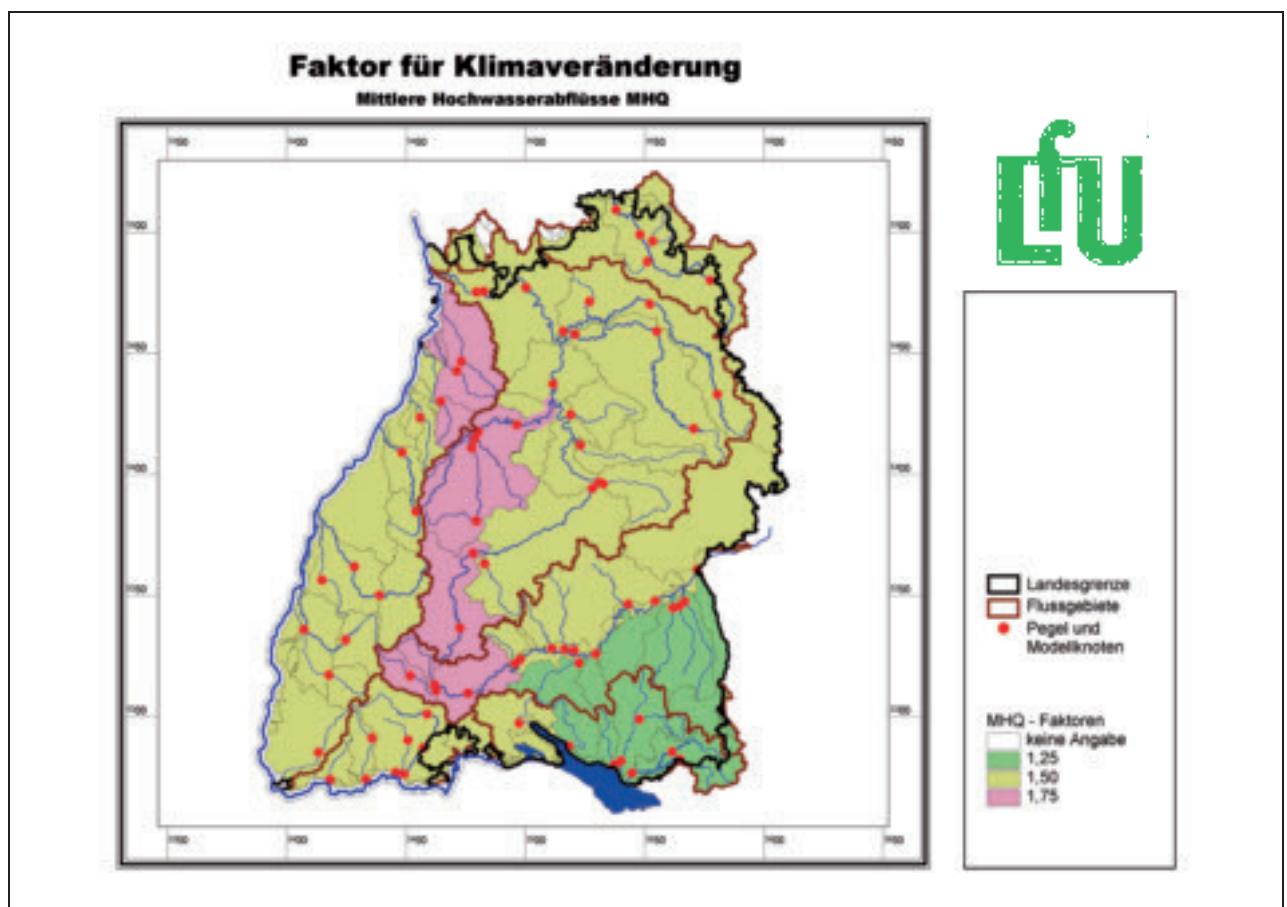


Abbildung 17: Regionen in Baden-Württemberg mit einheitlichen Klimaänderungsfaktoren für MHQ ( $f_{MHQ,K}$ )

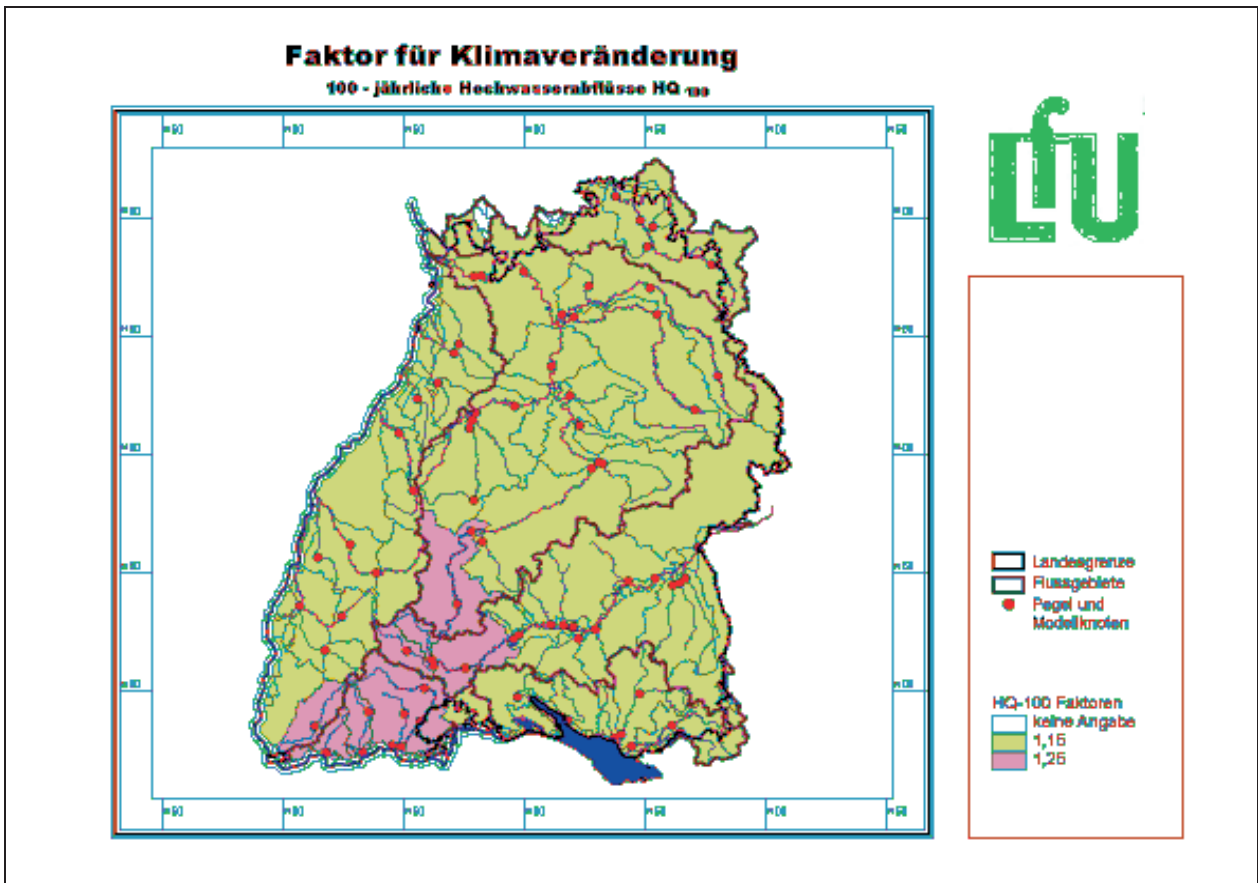


Abbildung 18: Regionen in Baden-Württemberg mit einheitlichen Klimaänderungsfaktoren für HQ<sub>100</sub> ( $f_{100,k}$ )

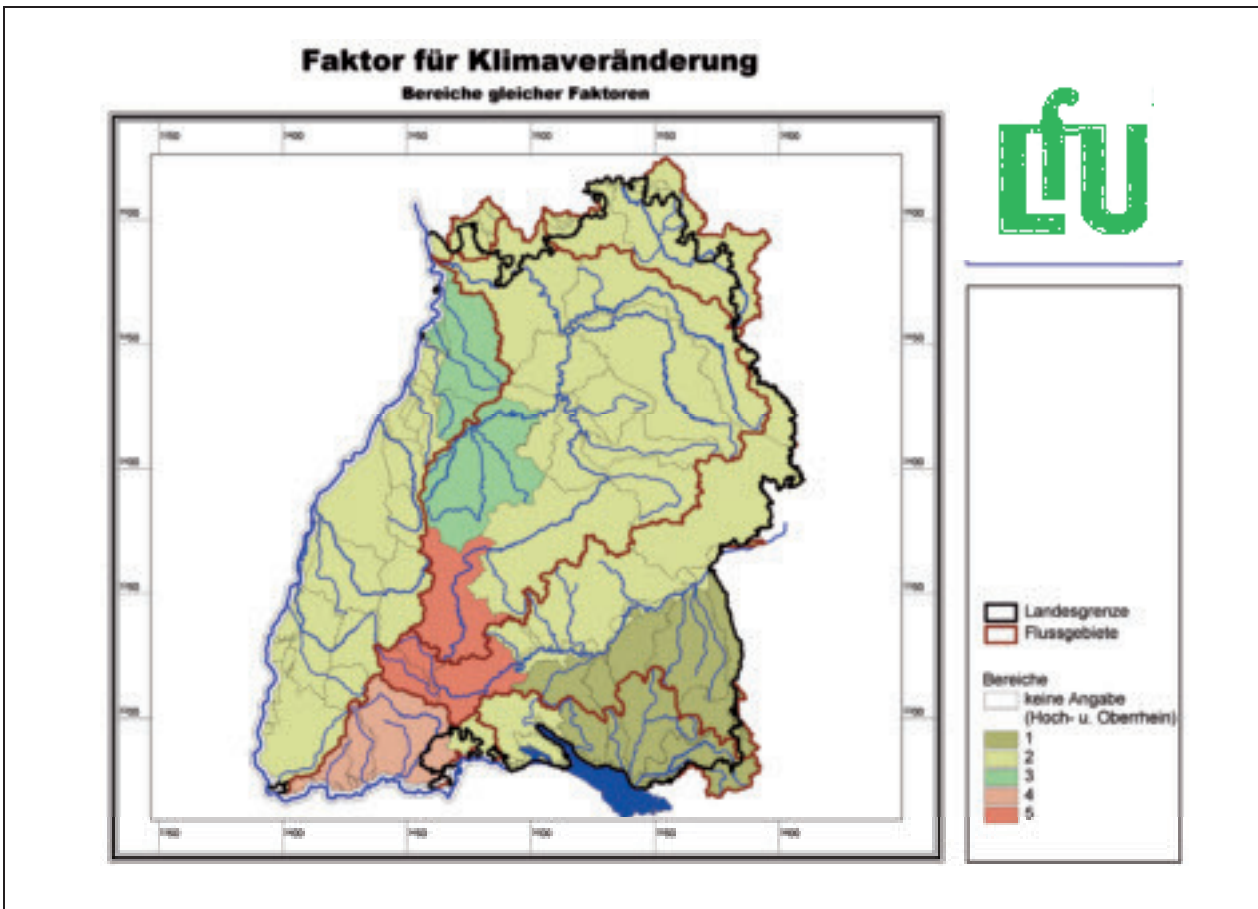


Abbildung 19: Regionen in Baden-Württemberg mit einheitlichen Klimaänderungsfaktoren  $f_{T,k}$

Tabelle 4: Klimaänderungsfaktoren  $f_{T,K}$  in Baden-Württemberg (Stand: März 2005)

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

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

### 3.5.3 AUSWIRKUNG DES LASTFALLS KLIMAÄNDERUNG AUF HOCHWASSERRÜCKHALTEBECKEN

Anwendungen des Lastfalles Klimaänderung auf Testbeispiele zeigen, dass sich neben den Scheitelwerten auch die Füllen der Hochwasserzuflussganglinien erhöhen. Wenn das Schutzziel beibehalten werden soll steigt bei den Hochwasserrückhaltebecken das erforderliche Rückhaltevolumen entsprechend an. Die Sensitivität der Wirkung eines Rückhalterumes auf den Lastfall Klimaänderung hängt dabei sehr stark vom Grad der Drosselung ab. Hochwasserrückhaltebecken die das maßgebende Bemessungshochwasser nur relativ wenig abmindern reagieren sehr empfindlich auf Erhöhungen der Zuflussfülle (siehe Kapitel 6: Anwendungsbeispiel 8). Dagegen reagieren Becken mit starker Abminderung der maßgebenden Bemessungsganglinie wesentlich unempfindlicher auf Erhöhungen der Zuflussfülle (siehe Kapitel 6: Anwendungsbeispiel 9).

### 3.5.4 ÜBERTRAGUNG DER KLIMAÄNDERUNGSAUSWIRKUNGSFAKTOREN AUF N-A-MODELLE

Für hydrologische Berechnungen (N-A-Modell) wäre eine Erhöhung der KOSTRA-Bemessungsniederschläge über ereignisspezifische  $(N_T, T_D)$  Klimaänderungsfaktoren

zweckmäßig. Entsprechende, aus Klimamodellen abzuleitende Faktoren stehen derzeit allerdings noch nicht zur Verfügung.

Werden hydrologische Modellberechnungen mit aufgrund von Klimaänderungen erhöhten Niederschlägen benötigt, so wird vorgeschlagen, über „maßgebende“ Gewässerstellen je Jährlichkeit  $T_n$  einen Klimaänderungsfaktor Niederschlag  $f_{T,N}$  iterativ abzuleiten. Der Faktor ist so zu wählen, dass an den „maßgebenden“ Gewässerstellen die aus den  $HQT_n$ -Klimaänderungsfaktoren abgeschätzten Abflusserhöhungen erreicht werden. Dabei ist für die Modellansätze zu berücksichtigen, dass mit einer Erhöhung der Niederschläge auch ein geändertes Abflussverhalten (u. a. höhere Abflussbeiwerte, rascheres Abfließen) verbunden ist (siehe Kapitel 6: Anwendungsbeispiele 8 und 9).

Bei der beschriebenen Vorgehensweise handelt es sich um einen für die praktische Anwendung entwickelten einfachen Lösungsweg. Dabei ist in jedem Fall zu prüfen, ob die so ermittelten Abflüsse für das jeweilige Gewässer hydrologisch und hydraulisch plausibel erscheinen (Leistungsfähigkeit).

### 3.6 BEURTEILUNG DER VERSCHIEDENEN METHODEN

Die Ermittlung des Bemessungshochwassers kann nach verschiedenen Methoden erfolgen. Eine landesweit einheitliche Vorgehensweise ist jedoch gewünscht. Mit der Bereitstellung der Hochwasserregionalisierung in Baden-Württemberg wurde hierfür eine wesentliche Grundlage geschaffen.

Das Verfahren der Hochwasserregionalisierung hat den Vorteil, dass flächendeckend für Baden-Württemberg Informationen vorliegen, die auf Pegelstatistiken basieren, und auf individuelle, projektspezifische Auswertungen weitgehend verzichtet werden kann. Vorteilhaft ist die einfache, schnelle und sichere Handhabung der Daten. Da die Hochwasserregionalisierung von der Wasserwirtschaftsverwaltung ständig fortgeschrieben wird, ist sichergestellt, dass eine fortlaufende Aktualisierung gegeben ist.

Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass physikalische Randbedingungen wie Rückhaltungen, Eindeichungen, Besonderheiten des Einzugsgebietes, wie Inhomogenitäten (Bebauungen, Bodennutzung, Geologie, Gewässernetz) etc., nicht oder nur stark vereinfacht erfasst werden. Das Verfahren führt z. B. bei sehr kleinen Einzugsgebieten, Einzugsgebieten mit hohem Bebauungseinfluss, dem Vorliegen von Rückhaltungen und Retentionsräumen zu unsicheren Ergebnissen. Bei größeren Einzugsgebieten sind diese Effekte von untergeordneter Bedeutung, so dass sich das Verfahren insbesondere für größere bzw. hydrologisch einfache Gebiete oder Regionen eignet. Allerdings sind aus der Hochwasserregionalisierung keine Angaben zu historischen Hochwassern oder zum PMF ableitbar.

Die Ableitung des Bemessungshochwassers aus N-A-Modellen hat gegenüber Werten aus Pegelstatistiken und der Hochwasserregionalisierung den Vorteil der genaueren Berücksichtigung physikalischer Randbedingungen. Beispiele hierfür sind:

- Rückhaltungen (Wirkung, Überlaufen),
- Bereiche mit starker Retentionswirkung (Niederungssysteme, breite Vorländer) aktiviert mit dem Überschreiten des bordvollen Abflusses (Sonderfall Eindeichungen mit sprunghafter Aktivierung), etc.,

- Gewässernetz (Wellenverformung, Gewässerverzweigung, etc.),
- Räumliche Inhomogenitäten (Überregnung, Geologie, Bodennutzung, Bebauung, etc.),
- Sonstige Besonderheiten.

Auch zeitliche Veränderungen im System können mit hydrologischen Modellen genauer erfasst werden. Typische Beispiele hierfür sind:

- Änderung in der Bebauung,
- Maßnahmen: Gewässerausbau (Deiche, Verlegung, Renaturierung, etc.).

Ein weiterer Vorteil von hydrologischen Modellen liegt in der Möglichkeit der Nachrechnung historischer Hochwasser. Dadurch liegen flächenhafte Informationen zur Hochwassersituation (Scheitel, Fülle) abgelaufener Ereignisse vor, die z. B. als Lastfälle zur Überprüfung einer Konzeption verwendbar sind. Allerdings können meist nur neuere Ereignisse nachgerechnet werden, da für lang zurückliegende Hochwasser Daten (Pegel, Niederschlag, Beckensteuerung, Bebauungszustand, Gewässerausbau, etc.) fehlen.

Die Lastfälle „Klimaänderungen“ (Erhöhung der KOSTRA-Regen) und „Extremniederschlag“ (MGN oder PMP) können mit angepassten hydrologischen Modellen simuliert werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass in den Modellen mögliche Folgen der Klimaänderung sowie Änderungen in der Landnutzung bisher nicht einbezogen werden (hierfür gibt es noch keine Abschätzungsmethoden).

Ein entscheidender Nachteil von hydrologischen Modellen liegt im hohen Bearbeitungsaufwand für den Aufbau und die Anpassung der Modelle. Außerdem sollten Erfahrungen in der Niederschlag-Abfluss-Modellierung vorliegen.

In den letzten Jahren wurden in Baden-Württemberg zahlreiche Flussgebietsmodelle angepasst, so dass in vielen Fällen auf vorhandene hydrologische Modell-Ergebnisse zurückgegriffen werden kann. Bei der Verwendung bereits vorhandener hydrologischer Modelle ist jedoch immer die Aktualität der Datenbasis (KOSTRA,

HW-Schutzmaßnahmen, Hochwasserrückhaltebecken, Bebauungszustand, etc.) zu überprüfen.

Beim Vorliegen komplexer Abflussverhältnisse, z. B. in Niederungssystemen, kann eine Kopplung von hydrologischen Modellen und instationären, hydraulischen Fließgewässermodellen notwendig werden. Sind auch Grundwasserzuflüsse zu beachten, so ist das hydraulische Fließgewässermodell mit einem Grundwassermodell zu koppeln.

Durch Flussgebietsuntersuchungen kann die Qualität und Plausibilität von N-A-Modellen weiter verbessert werden. Ergänzend durchgeführte hydraulische Berechnungen können z. B. durch Nachrechnungen historischer Hochwasserereignisse mit den Beobachtungen (Hochwassermarken, Überflutungsflächen) abgeglichen werden. Dies ermöglicht eine detailliertere Anpassung von N-A-Modellen.

Zusammenfassend wird empfohlen, bei großen Einzugsgebieten oder bei einfachen Abflussverhältnissen (z. B. keine Rückhaltungen) auf die Ergebnisse der Hochwasserregionalisierung zurückzugreifen. Sind die Voraussetzungen für die Anwendung der Regionalisierung nicht erfüllt oder werden Hochwasserganglinien für die Bearbeitung benötigt, sollten die Ergebnisse aus hydrologischen Modellberechnungen bzw. Flussgebietsuntersuchungen verwendet werden.

Sofern keine Daten zur Modellanpassung vorliegen, sollte eine Plausibilisierung der Hochwasserscheitelabflüsse bestimmter Wiederkehrzeiten durch einen Vergleich mit den Werten der Hochwasserregionalisierung erfolgen. In Sonderfällen, wie Gewässern mit komplexen Abflussverhältnissen (Niederungssystem, breite Vorländer, innerstädtischen Verdolungen) oder Bereichen mit hohen Grundwasserzuflüssen, können die Abflussvorgänge über hydrologische Ansätze nur unzureichend nachgebildet werden, so dass die Flussgebietsmodelle mit instationären hydraulischen Fließgewässermodellen und Grundwassermodellen zu verknüpfen sind. Allerdings erfordert diese Kopplung einen wesentlich höheren Bearbeitungsaufwand, und es werden zahlreiche zusätzliche Daten-

grundlagen benötigt. Eine Kopplung des hydrologischen Modells mit Fließgewässermodellen (Grundwassermodellen) sollte daher nur in Ausnahmefällen erfolgen.

## 4 Arbeitsschritte zur Festlegung des Bemessungshochwassers

Die Festlegung des Bemessungshochwassers für die Bemessung von wasserbaulichen Anlagen bzw. Maßnahmen sollte nach folgendem Ablaufschema erfolgen. Welche Methode dabei anzuwenden ist, ergibt sich aus der jeweiligen Frage- bzw. Aufgabenstellung und den verfügbaren hydrologischen Daten. Zunächst ist abzuklären, welche Bemessungswerte für die vorliegende Aufgabenstellung

benötigt werden. Braucht man Ganglinien des Bemessungshochwassers oder reichen Scheitelwerte des Bemessungshochwassers aus?

Das Ablaufschema (siehe Abbildung 20 und Tabelle 5 bis Tabelle 7) zeigt, wie in der praktischen Anwendung vorgegangen werden soll.

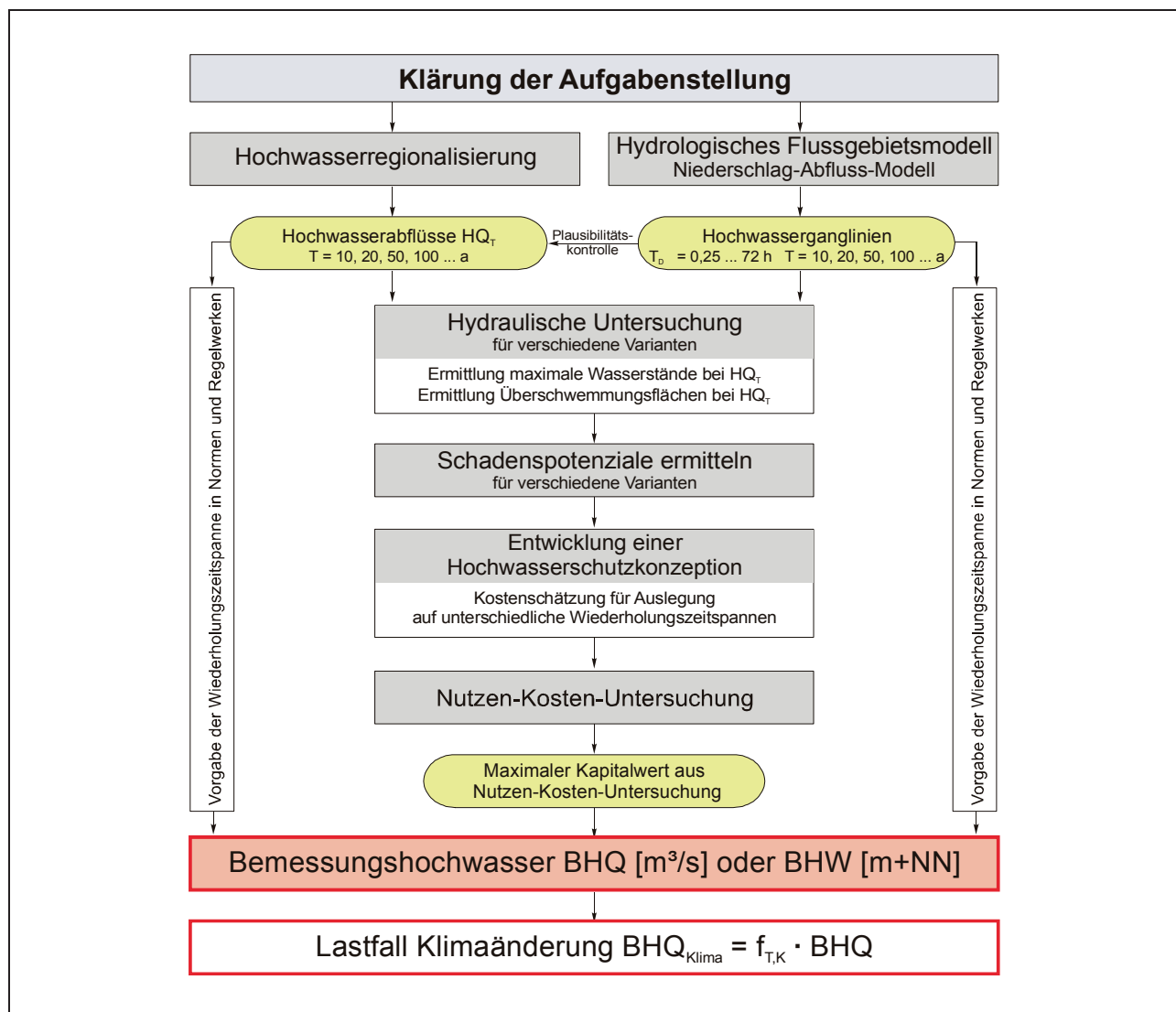


Abbildung 20: Ablaufschema Festlegung Bemessungshochwasser

Tabelle 5: Ablaufschema für die Festlegung des Bemessungshochwassers (Teil 1)

<i>Arbeitsschritte zur Festlegung des Bemessungshochwassers</i>		
<b>A</b>	<i>Klären der Aufgabenstellung (Welche Bemessungsgrößen braucht man ?)</i>	weiter mit Schritt
<b>1</b>	Planung einer lokalen Hochwasserschutzmaßnahme (Hochwasserschutzmauer, Hochwasserschutzdeich, mobiler Hochwasserschutz, Gewässeraufweitung, Flutmulde, ...)	→ 8
<b>2</b>	Planung eines Kreuzungsbauwerkes (Brücke, Durchlass, Verrohrung, Düker oder Überleitung)	→ 8
<b>3</b>	Planung eines Schöpfwerks	→ 8
<b>4</b>	Nachweis der Anlagensicherheit bei Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken und Staustufen  - Bemessung der Hochwasserentlastungsanlage Lastfall BHO <sub>1</sub>  - Nachweis der Standsicherheit bei Extremhochwasser Lastfall BHO <sub>2</sub>	→ 8
<b>5</b>	Planung eines Hochwasserrückhaltebeckens oder des gewöhnlichen Hochwasserrückhalte- raums einer Talsperre	→ C
<b>6</b>	Entwicklung eines Hochwasserschutzkonzepts für ein gesamtes Einzugsgebiet	→ C
<b>7</b>	Sind bei der Aufgabenstellung zukünftige Veränderungen im Einzugsgebiet zu berücksichtigen ?	→ C
<b>8</b>	<i>Ist die Retentionswirkung bei der Bemessung / Planung einzubeziehen ?</i>	
	Ja ⇒	→ 10
	Nein ⇒	→ 9
	<i>Erforderlicher Bemessungswert:</i>	
<b>9</b>	Die Maßnahme ist auf den <i>Hochwasserscheitelwert BHO</i> des Bemessungshochwassers zu bemessen.	→ B
<b>10</b>	Die Maßnahme ist auf die <i>Ganglinie des Bemessungshochwassers</i> zu bemessen.	→ C
<b>B</b>	<i>Ermittlung der Hochwasserscheitelabflüsse HQ<sub>Tn</sub></i>	
	<i>Prüfen der Datenverfügbarkeit / Beschaffen der Daten</i>	
<b>11</b>	Pegel vorhanden im unmittelbaren Planungs- oder Untersuchungsbereich	→ 14
<b>12</b>	Pegel vorhanden, liegt jedoch nicht im unmittelbaren Planungs- oder Untersuchungsbereich	→ 15
<b>13</b>	Kein Pegel vorhanden	→ 16
<b>14</b>	Pegelstatistik bei Landespegeln aus Hochwasserregionalisierung der LfU übernehmen bzw. bei Sondermessnetzen Pegelstatistik (Extremwertanalyse) neu erstellen.  → HQ <sub>10</sub> , HQ <sub>20</sub> , HQ <sub>50</sub> , HQ <sub>100</sub> , ...	→ D
<b>15</b>	Anwendbarkeit des Hochwasserregionalisierungsverfahrens prüfen: Einzugsgebiet sollte nicht kleiner als 5 km <sup>2</sup> sein. Der Anteil der versiegelten Flächen im Einzugs- gebiet sollte nicht dominieren. Es darf sich nicht um ein Gewässer in einem Niederungsgebiet handeln.  Anwendbarkeit des Hochwasserregionalisierungsverfahrens gegeben ?	
	Ja ⇒	→ 16
	Nein ⇒	→ C
<b>16</b>	HQ <sub>Tn</sub> -Werte aus Hochwasserregionalisierung der LfU ermitteln  → HQ <sub>10</sub> , HQ <sub>20</sub> , HQ <sub>50</sub> , HQ <sub>100</sub> , ...	→ D



Tabelle 6: Ablaufschema für die Festlegung des Bemessungshochwassers (Fortsetzung, Teil 2)

<i>Arbeitsschritte zur Festlegung des Bemessungshochwassers (Fortsetzung)</i>		
<b>C</b>	<i>Aufbau und Anwendung eines flächendetaillierten hydrologischen Flussgebietsmodells (N-A-Modell)</i>	weiter mit Schritt
<b>17</b>	Modellaufbau, Modellkalibrierung und Modellverifikation durch Nachrechnung historischer Hochwasserereignisse	→ 18
<b>18</b>	Simulation von Niederschlagsereignissen verschiedener Niederschlagsdauern und unterschiedlicher Wiederkehrzeiten auf der Basis der KOSTRA-Niederschläge (Ist-Zustand)	
	→ Hochwasserganglinien für verschiedene Niederschlagsdauern und Wiederkehrzeiten von $T_n = 5 \text{ a}, 10 \text{ a}, 20 \text{ a}, 50 \text{ a}, 100 \text{ a}, \dots$ für das gesamte Einzugsgebiet (an Berechnungsknoten)	→ 19
<b>19</b>	Handelt es sich bei der Aufgabenstellung um den Nachweis der Anlagensicherheit ?	
	Ja ⇒	→ I
	Nein ⇒	→ D
<b>D</b>	<i>Ermittlung der Überflutungsflächen im Bereich der hochwassergefährdeten Bebauung für den Ist-Zustand (ohne Hochwasserschutzmaßnahmen)</i>	
<b>20</b>	Aufbau hydraulischer Fließgewässermodelle, Modellkalibrierung und Modellverifikation durch Nachrechnung historischer Hochwasserereignisse unter Einbeziehung von Hochwassermarken (Plausibilitätsprüfung)	→ 21
<b>21</b>	Darstellung des Ist-Zustandes Berechnung der maximalen Wasserspiegellagen für unterschiedliche Wiederkehrzeiten. Die Berechnungen sollten instationär durchgeführt werden, wenn Retentionseffekte zu berücksichtigen sind (siehe 8 )	
	→ max. Wasserstände für verschiedene Wiederkehrzeiten (z. B. $T_n = 5 \text{ a}, 10 \text{ a}, 20 \text{ a}, 50 \text{ a}, 100 \text{ a}, \dots 1.000 \text{ a}$ )	→ 22
<b>22</b>	Ermittlung und Darstellung der Überflutungsflächen und Überflutungstiefen für die verschiedenen Wiederkehrzeiten	→ E
<b>E</b>	<i>Ermittlung des Schadenpotentials</i>	
<b>23</b>	Identifizierung und Klassifizierung der durch die Überflutungen betroffenen Objekte (für jede Wiederkehrzeiten)	→ 24
<b>24</b>	Ermittlung der zu erwartenden Gesamtvermögensschäden (für jede Wiederkehrzeit)	→ 25
<b>25</b>	Berechnung der Schadenserwartung pro Jahr	→ F
<b>F</b>	<i>Hochwasserschutzmaßnahmen bzw. Hochwasserschutzkonzepte</i>	
<b>26</b>	Aufzeigen machbarer Varianten von Hochwasserschutzmaßnahmen bzw. Hochwasserschutzkonzepten	→ 27
<b>27</b>	Kostenschätzung für die Hochwasserschutzmaßnahmen/-schutzkonzepte in Abhängigkeit der Hochwasserabflüsse verschiedener Wiederkehrzeiten	→ 28
<b>28</b>	Auswahl einer optimalen Lösungsvariante (= Hochwasserschutzkonzeption)	
	→ Investitionskosten für die Auslegung der Hochwasserschutzkonzeption auf Hochwasserabflüsse bestimmter Wiederkehrzeiten (z. B. 20 a, 50 a, 100 a, ...)	→ G

Tabelle 7: Ablaufschema für die Festlegung des Bemessungshochwassers (Fortsetzung, Teil 3)

<i>Arbeitsschritte zur Festlegung des Bemessungshochwassers (Fortsetzung)</i>		
<b>G</b>	<i>Kosten-Nutzen-Analyse</i>	weiter mit Schritt
<b>29</b>	Ermittlung der Projektkostenbarwerte für die ausgewählte Hochwasserschutzkonzeption (unter Berücksichtigung der Investitionskosten, laufenden Kosten und Reinvestitionskosten für eine Nutzungsdauer von 80 Jahren) nach den KVR-Leitlinien (LAWA) getrennt für eine Auslegung auf die verschiedenen Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Wiederkehrzeiten.	→ 30
<b>30</b>	Ermittlung des Nutzenbarwerts (= Differenz der Schadenserwartung ohne Schutzmaßnahmen und der Schadenserwartung mit Hochwasserschutzmaßnahmen) für eine Nutzungsdauer von 80 Jahren nach den KVR-Leitlinien (LAWA)	→ 31
<b>31</b>	Nutzen-Kosten-Gegenüberstellung und Ermittlung des Kapitalwerts Ermittlung des Nutzenbarwerts und Projektkostenbarwerts für die verschiedenen Hochwasserabflüsse (Wiederkehrzeiten)	→ H
<b>H</b>	<i>Festlegung des Bemessungshochwassers</i>	
<b>32</b>	Als Bemessungshochwasser BHQ (Hochwasserscheitelabfluss oder Hochwasserganglinie) wird der Hochwasserabfluss (Wiederkehrzeit) gewählt, bei dem der Kapitalwert maximal ist.	→ 33
<b>33</b>	Die vorgeschlagene Hochwasserschutzkonzeption bzw. die vorgeschlagenen Hochwasserschutzmaßnahmen werden auf diesen Bemessungsabfluss BHQ ausgelegt.	→ J
<b>I</b>	<i>Festlegung des Bemessungshochwassers nach DIN</i>	
<b>34</b>	Das Bemessungshochwasser BHQ ergibt sich aus der in der DIN vorgegebenen Wiederkehrzeit.	→ J
<b>J</b>	<i>Lastfall Klimaänderung</i>	
<b>35</b>	Dieser Lastfall ist bei der Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen zu untersuchen.	

## 5 Bezugsquellen und Ansprechpartner

Für die Ermittlung des Bemessungshochwassers müssen immer die aktuellen Datengrundlagen verwendet werden.

Dem vorliegenden Leitfaden liegen die bis zum 1.5.2005 verfügbaren Informationen zugrunde. Die aktuellen Bezugsquellen können bei der Landesanstalt für Umwelt-

schutz Baden-Württemberg angefragt werden.

Nachfolgend erfolgt eine Zusammenstellung der Bezugsquellen mit Hinweisen auf geplante Überarbeitungen (siehe Tabelle 8) und Ansprechpartner (siehe Tabelle 9).

Tabelle 8: Bezugsquellen und Ansprechpartner für wichtige Unterlagen

Titel	Herausgeber	Bemerkungen
DIN-19700 Stauanlagen (Teil 10, 11, 12)	[DIN, 7/2004]	
KOSTRA-Bemessungsniederschläge $N(T_n, T_D)$	[DWD, 1997]	Überarbeitung KOSTRA liegt Mitte 2005 vor (Ansprechpartner: DWD)
Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN)	[LAWA, 2005]	Extrapolation der KOSTRA-Niederschläge auf hohe $T_n$ (über 100 Jahre) Abschlussbericht des Instituts für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover (Ansprechpartner: Institut für Wasserwirtschaft)
Hochwassermarken in Baden-Württemberg	[LfU, 2005]	CD
HQ $_{T_n}$ -Regionalisierung einschließlich: Pegelkarte Baden-Württemberg mit Kennwerten Faktoren ( $f_{T,g}$ ) zur Übertragung eines HQ $_{100}$ -Wertes auf hohe $T_n$ (200 a, 500 a, 1.000 a, 5.000 a, 10.000 a) und Klimaänderungsfaktoren ( $f_{T,k}$ ) zu den HQ $_{T_n}$ -Werten	[LfU, 2005]	Die LfU-CD HQ $_{T_n}$ -Regionalisierung 2001 wird überarbeitet und liegt bis Mitte 2005 vor (Ansprechpartner: LfU)

Tabelle 9: Ansprechpartner

Ansprechpartner
Umweltministerium Baden-Württemberg, Abteilung Wasser und Boden, Postfach 10 34 39, 70029 Stuttgart
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Abteilung Wasser und Altlasten, Postfach 21 07 52, 76157 Karlsruhe
Regierungspräsidium Stuttgart, Abteilung Umwelt, Postfach 80 07 09, 70507 Stuttgart
Regierungspräsidium Tübingen, Abteilung Umwelt, Postfach 26 66, 72016 Tübingen
Regierungspräsidium Karlsruhe, Abteilung Umwelt, 76247 Karlsruhe
Regierungspräsidium Freiburg, Abteilung Umwelt, 79083 Freiburg
Untere Wasserbehörden bei den Stadt- und Landkreisen
Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Hydrometeorologie, Postfach 100465, 63004 Offenbach

## 6 Anwendungsbeispiele

Die folgenden Anwendungsbeispiele zeigen exemplarisch ausgewählte Arbeitsschritte auf, die im Rahmen der Festlegung des Bemessungshochwassers durchzuführen sind. Eine vollständige Darstellung der Vorgehensweise für jedes Beispiel ist im Rahmen dieses Leitfadens für die Vielzahl der ausgewählten Beispiele nicht machbar.

Tabelle 10: Anwendungsbeispiele

<b>Beispiel 1:</b>	Ermittlung von Bemessungsabflüssen über Hochwasserregionalisierung $HQ_{Tn}$ - Berechnungsknoten im Nahbereich vorhanden -
<b>Beispiel 2:</b>	Ermittlung von Bemessungsabflüssen über Hochwasserregionalisierung $HQ_{Tn}$ - kein Berechnungsknoten im Nahbereich vorhanden -
<b>Beispiel 3:</b>	Ausarbeitung einer Hochwasserschutzkonzeption für ein Einzugsgebiet ohne Pegel
<b>Beispiel 4:</b>	Entwicklung eines Hochwasserschutzkonzeptes zur Verbesserung des Hochwasserschutzes in M-Stadt
<b>Beispiel 5:</b>	Flussgebietsuntersuchung Wangen (Entwicklung einer Hochwasserschutzkonzeption)
<b>Beispiel 6:</b>	Festlegung des Bemessungsabflusses für lokale Hochwasserschutzmaßnahmen in einer Ortslage
<b>Beispiel 7:</b>	Ermittlung des Bemessungsabflusses für ein Schöpfwerk
<b>Beispiel 8:</b>	Untersuchung der Auswirkungen der Klimaänderung auf ein geplantes Hochwasserrückhaltebecken (mittleres HRB nach DIN 19700)
<b>Beispiel 9:</b>	Untersuchung der Auswirkungen der Klimaänderung auf ein geplantes Hochwasserrückhaltebecken (kleines HRB nach DIN 19700)
<b>Beispiel 10:</b>	Untersuchung der Auswirkungen der Klimaänderung auf lokale Hochwasserschutzmaßnahmen im Bereich Glatt / Glatt (Abgrabung mit Mauer/Verwallung)
<b>Beispiel 11:</b>	Untersuchung der Auswirkungen der Klimaänderung auf lokale Hochwasserschutzmaßnahmen im Bereich Birkenfeld / Enz (HW-Schutzdamm u. -Mauer)
<b>Beispiel 12:</b>	Untersuchung der Auswirkungen der Klimaänderung auf lokale Hochwasserschutzmaßnahmen im Bereich Calmbach / Enz (HW-Schutzmauer)

## Beispiel 1: Ermittlung von Bemessungsabflüssen über Hochwasserregionalisierung (HQ<sub>Tn</sub>)

<b>Veranlassung</b>	Bauvorhaben in Alpirsbach in unmittelbarer Nähe zur Kinzig
<b>Aufgabenstellung</b>	Im Rahmen einer hydraulischen Untersuchung sollen die Auswirkungen des geplanten Bauvorhabens auf die Hochwasserabflussverhältnisse aufgezeigt sowie, im Falle einer negativen Beeinflussung, Vorschläge zu einer Verbesserung der Hochwassersituation ausgearbeitet werden. Es ist vorgesehen, hierzu ein breites Spektrum von Hochwasserereignissen (HQ <sub>10</sub> , HQ <sub>20</sub> , HQ <sub>50</sub> , HQ <sub>100</sub> ) zu untersuchen. Im unmittelbaren Nahbereich des Untersuchungsbereichs befindet sich allerdings kein Pegel.

<p><b>Abflussermittlung</b></p> <p>Die benötigten Hochwasserscheitelabflüsse können direkt aus den Regionalisierungsdaten (HQ<sub>Tn</sub>) der LFU [LFU, 2001] entnommen werden. Da an der Kinzig unterhalb der Aischbacheinmündung ein Regionalisierungsknoten existiert, der in unmittelbarer Nähe zum Untersuchungsgebiet liegt, können die benötigten Bemessungsabflüsse direkt aus der LFU-Untersuchung übernommen werden. Die Scheitelabflüsse für den maßgebenden Gewässerknoten Nr. 92341150000 (Sammelgebiet) sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.</p>	<b>Hochwasserscheitelabflüsse [m³/s]</b>	
		<i>Sammelgebiet (92341150000)</i>
	MHQ	22,6
	HQ <sub>5</sub>	30,7
	HQ <sub>10</sub>	38,7
	HQ <sub>20</sub>	46,9
	HQ <sub>50</sub>	58,2
	HQ <sub>100</sub>	67,2
	HQ <sub>100,Klima</sub> = 1,15 · HQ <sub>100</sub>	77,3
	HQ <sub>200</sub> = 1,16 · HQ <sub>100</sub>	78,0

### Übersichtslageplan

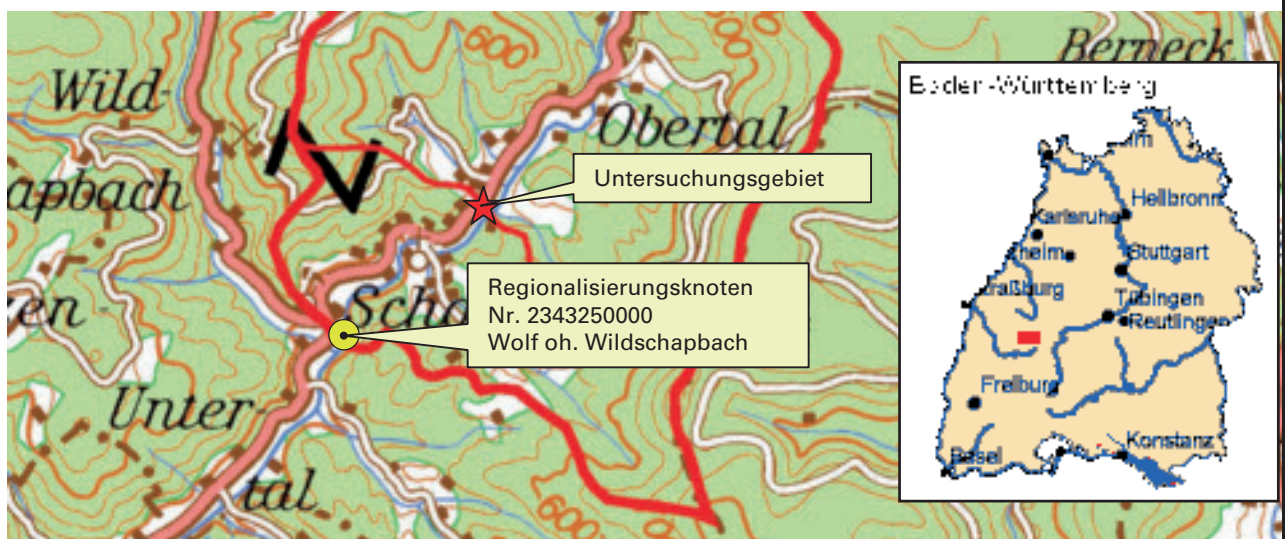


## Beispiel 2: Ermittlung von Bemessungsabflüssen über Hochwasserregionalisierung (HQ<sub>Tn</sub>)

<b>Veranlassung</b>	Ausbau der parallel zur Wolf (Wolfach) verlaufenden Landesstraße L 96 bei Schapbach
<b>Aufgabenstellung</b>	Der Ausbau der L96 oberhalb der Ortslage Schapbach im Bereich Felsenspalt erfordert einen Eingriff in das Abflussprofil der Wolf (Wolfach). Durch eine hydraulische Untersuchung sollen Lösungswege aufgezeigt werden, wie die Straßenplanung realisiert werden kann, ohne dass sich die Hochwasserabflussverhältnisse an der Wolf verschlechtern. Hierzu ist es vorgesehen, 10-, 20-, 50-, und 100- jährliche Hochwasserereignisse an der Wolf hydraulisch nachzubilden. An der Wolf existiert allerdings kein Pegel, der zur Festlegung der Bemessungsabflüsse herangezogen werden kann.

<b>Parameterermittlung</b>  Zur Bestimmung der Hochwasserbemessungsabflüsse an der Wolf im Bereich Felsenspalt werden die LfU-Daten des nur wenig unterhalb gelegenen Regionalisierungsknotens „Wolf / oh. Wildschapbach“ (Basisgebiet, Knoten Nr. 2343250000) herangezogen. Da das Untersuchungsgebiet sehr nah am nächstgelegenen Regionalisierungsknoten liegt, kann eine vereinfachte Übertragung über die Einzugsgebietsfläche erfolgen. Bei der Neuberechnung werden alle Gebietskenngrößen von dem benachbarten Regionalisierungsknoten übernommen und lediglich die Einzugsgebietsfläche für das Untersuchungsgebiet neu bestimmt.	<b>Gebietskenngrößen</b>		
	<i>Kenngröße</i>	<i>Basisgebiet (2343250000)</i>	<i>Untersuchungs- gebiet</i>
	A <sub>E</sub> [km <sup>2</sup> ]	56,650	50,950
	S [%]	1,680	1,680
	W [%]	91,300	91,300
	l <sub>g</sub> [%]	2,050	2,050
	L [km]	17,200	17,200
	L <sub>c</sub> [km]	9,700	9,700
	h <sub>NG</sub> [mm]	1801	1801
	LF [-]	84,3	84,3

### Übersichtslageplan



Abflussermittlung	Hochwasserscheitelabflüsse [m³/s]		
		<i>Basisgebiet (2343250000)</i>	<i>Untersuchungs- gebiet</i>
<p>Mit Hilfe der am Standort Felsenspalt gewählten Regionalisierungsparameter können schließlich über das Regressionsmodell die gesuchten Bemessungsabflüsse an der Wolf berechnet werden.</p> <p><b>Regionalisierungsformel</b></p> $\ln(Y) = C_0 + C_1 \cdot \ln(A_{E0}) + C_2 \cdot \ln(S+1) + C_3 \cdot \ln(W+1) + C_4 \cdot \ln(I_g) + C_5 \cdot \ln(L) + C_6 \cdot \ln(L_C) + C_7 \cdot \ln(hN_G) + C_8 \cdot \ln(LF)$ <p>mit: <math>Y = MHq</math>  <math>Y_T = Hq_T/MHq</math></p>	HO <sub>2</sub>	32,0	29,8
	HO <sub>5</sub>	42,8	39,8
	HO <sub>10</sub>	52,2	48,4
	HO <sub>20</sub>	61,2	56,6
	HO <sub>50</sub>	73,1	67,6
	HO <sub>100</sub>	82,2	75,7
	HO <sub>100,Klima</sub> = 1,15 · HO <sub>100</sub>	94,5	87,1
	HO <sub>200</sub> = 1,12 · HO <sub>100</sub>	92,1	84,8

### Beispiel 3: Hochwasserschutzkonzeption für ein Einzugsgebiet ohne Pegel

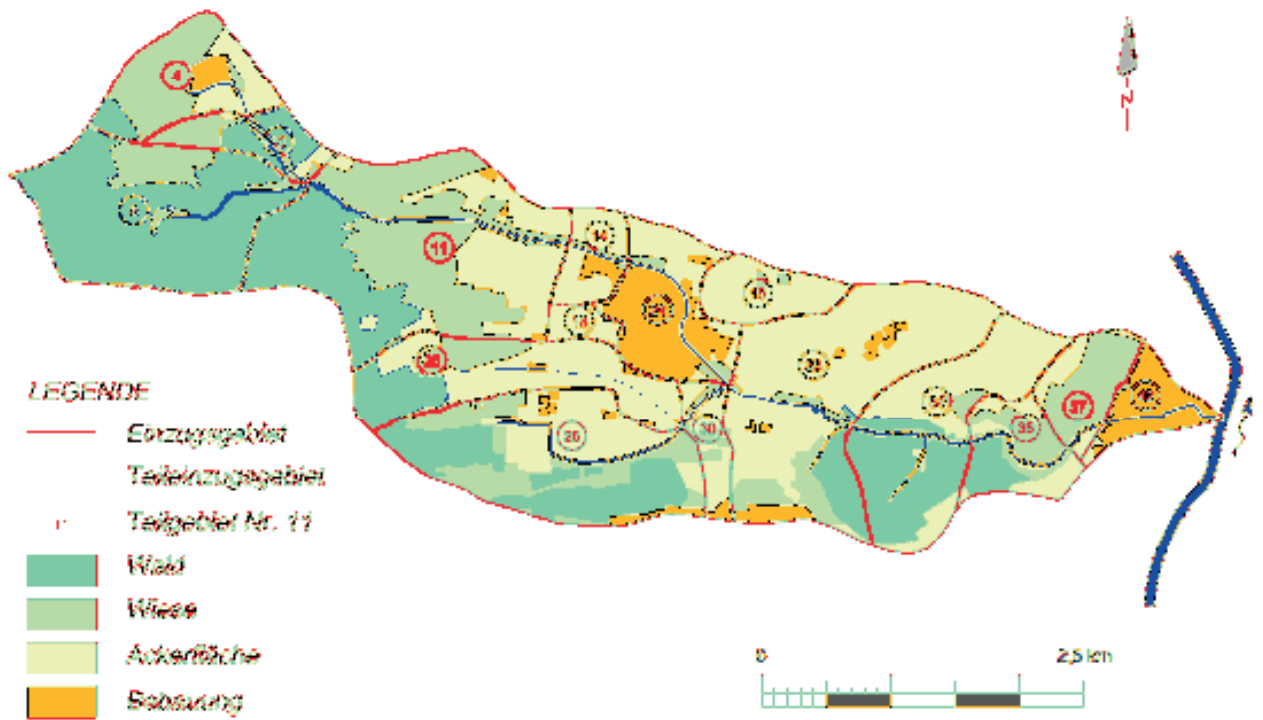
**Veranlassung**

Insbesondere in der im Mündungsbereich des  $A_E=16 \text{ km}^2$  großen Einzugsgebietes gelegenen Ortslage traten in den letzten Jahren mehrfach katastrophale Überflutungen auf.

**Aufgabenstellung**

Im Rahmen einer Flussgebietsuntersuchung sollte zunächst der derzeitige Hochwasserschutzgrad ermittelt (Bestandsanalyse) und ggf. eine Hochwasserschutzkonzeption entwickelt werden.

**Übersichtslageplan**



**Vorgehensweise**

Aufgrund der innerorts beengten Platzverhältnisse kann der Hochwasserschutz nur durch Rückhaltmaßnahmen deutlich verbessert werden. Benötigt werden damit T-jährliche Abflussganglinien unterschiedlicher Niederschlagsdauern. Es ist damit ein flächendetailliertes N-A-Modell (*Flussgebietsmodell*) für das Einzugsgebiet aufzubauen. Im Einzugsgebiet existiert kein Pegel, so dass die Anpassung des N-A-Modells durch Übertragung von Parametern aus hydrologisch (geologisch) vergleichbaren Einzugsgebieten mit Pegelmessungen erfolgt. Eine Nachrechnung historischer HW-Ereignisse entfällt.

Die FGM-Berechnungsergebnisse werden durch Vergleiche mit  $HQ_{Tn}$ -Regionalisierungswerten plausibilisiert.

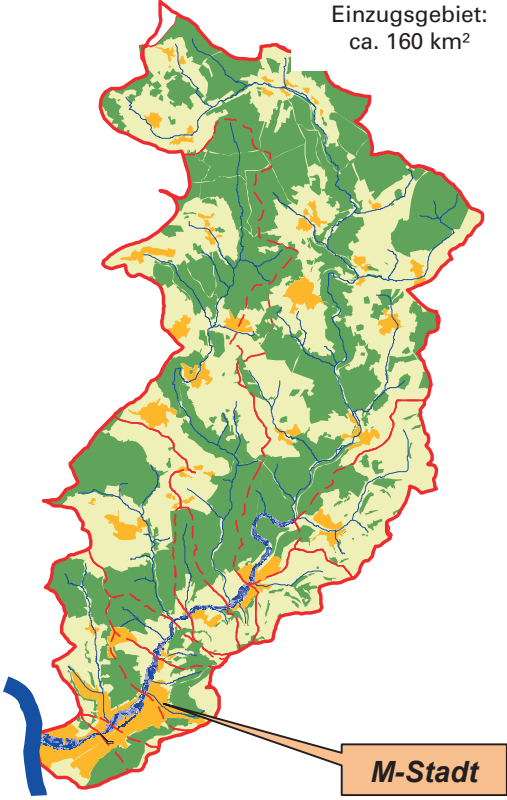
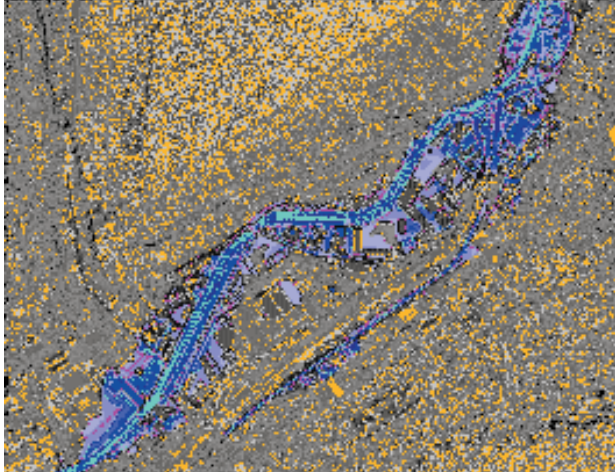
**Gebietskenngrößen**

Kenngrößen		bis Teilgebiet Kn.14	bis Teilgebiet Kn.30
$A_E$	[km <sup>2</sup> ]	6,37	3,38
S	[%]	2,26	3,76
W	[%]	45,54	28,01
$I_\alpha$	[%]	1,66	1,24
L	[km]	4,87	3,18
$L_c$	[km]	2,23	1,17
$h_{NG}$	[mm]	783	750
LF	[-]	66,9	42,1



<p>Im Untersuchungsgebiet existiert nur ein, für die FGM-Anpassung (Plausibilisierung) ungeeigneter Knoten des LfU-Regionalisierungsmodells. Es war daher eine eigene Auswertung des HQ<sub>Tn</sub>-Regionalisierungsmodells erforderlich.</p> <p>Die in den Regressionsansatz einfließenden Gebietskenngrößen wurden wie folgt ermittelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A<sub>E</sub>, L, L<sub>C</sub>, I<sub>g</sub>, S, W aus TK 25</li> <li>▪ LF, h<sub>NG</sub> über GIS aus Regionalisierungs-CD (LFU, 2001)</li> </ul>	<b>Hochwasserabflüsse [m³/s]</b>		
	<i>Untersuchungsgebiet (Kn.14)</i>	<i>Untersuchungsgebiet (Kn.30)</i>	
	HQ <sub>2</sub>	1,7	0,4
	HQ <sub>5</sub>	2,1	0,7
	HQ <sub>10</sub>	2,8	0,8
	HQ <sub>20</sub>	3,5	1,0
	HQ <sub>50</sub>	4,7	1,3
	HQ <sub>100</sub>	5,6	1,6
	HQ <sub>100,Klima</sub> = 1,15·HQ <sub>100</sub>	6,4	1,8
	HQ <sub>200</sub> = 1,16·HQ <sub>100</sub>	6,5	1,9
	$\ln(Y) = C_0 + C_1 \cdot \ln(A_E) + C_2 \cdot \ln(S+1) + C_3 \cdot \ln(W+1) + C_4 \cdot \ln(I_g) + C_5 \cdot \ln(L) + C_6 \cdot \ln(L_C) + C_7 \cdot \ln(h_{NG}) + C_8 \cdot \ln(LF)$ <p>mit: Y = MHq Y<sub>T</sub> = Hq<sub>Tn</sub> / MHq</p>		
	<p><b>Hochwasserschutzkonzeption</b></p> <p>Über hydrologische (HRB) und hydraulische (lokale HW-Schutzmaßnahmen) Modellrechnungen wurden unter Berücksichtigung ökologischer und städtebaulicher Gesichtspunkte <i>Hochwasserschutzkonzeptionen</i> für unterschiedliche Jährlichkeiten entwickelt. Die Festlegung der maßgebenden Jährlichkeit erfolgte über Nutzen-Kosten-Betrachtungen.</p>		

## Beispiel 4: Verbesserung des Hochwasserschutzes in M-Stadt

<p><b>Veranlassung</b></p>	<p>Beim Hochwasser vom Dezember 1993 wurden mehrere Ortschaften im Einzugsgebiet stark von Überschwemmungen im Unterlauf betroffen. Es traten große Schäden auf.</p>	<p>Einzugsgebiet: ca. 160 km<sup>2</sup></p> 																		
<p><b>Aufgabenstellung</b></p>	<p>Erstellung eines Hochwasserschutzkonzeptes für M-Stadt. Aufgrund der Lage der Stadt am Unterlauf des Gewässers erwies sich eine Hochwasserrückhaltung im Einzugsgebiet als wenig sinnvoll. Der Hochwasserschutz in M-Stadt ist ggf. durch lokale Hochwasserschutzmaßnahmen herzustellen.</p> <p>Die Retentionswirkung oder Hochwasserverschärfung kann hierbei vernachlässigt werden.</p>																			
<p><b>Hydrologie</b></p> <p>Die Bemessung erfolgt auf die Hochwasserscheitelwerte BHQ.</p> <p>Die Maximalabflüsse bei HQ<sub>10</sub> bis HQ<sub>200</sub> wurden aus der Pegelstatistik (HQ-Regionalisierung) für den Pegel M-Stadt entnommen.</p>		<p><b>Abflüsse am Pegel M-Stadt</b></p> <table border="1" data-bbox="836 1137 1481 1379"> <thead> <tr> <th>HQ<sub>10</sub></th> <th>HQ<sub>20</sub></th> <th>HQ<sub>50</sub></th> <th>HQ<sub>100</sub></th> <th>HQ<sub>200</sub></th> <th>HW 1993</th> </tr> <tr> <th>[m<sup>3</sup>/s]</th> <th>[m<sup>3</sup>/s]</th> <th>[m<sup>3</sup>/s]</th> <th>[m<sup>3</sup>/s]</th> <th>[m<sup>3</sup>/s]</th> <th>[m<sup>3</sup>/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>94</td> <td>115</td> <td>144</td> <td>167</td> <td>193</td> <td>189</td> </tr> </tbody> </table>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>20</sub>	HQ <sub>50</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>200</sub>	HW 1993	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	94	115	144	167	193	189
HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>20</sub>	HQ <sub>50</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>200</sub>	HW 1993															
[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]															
94	115	144	167	193	189															
<p><b>Hydraulisches Fließgewässermodell</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einsatz eines eindimensionalen stationären Fließgewässermodells</li> <li>▪ Ermittlung der maximalen Wasserspiegellagen entlang des Gewässers für HQ<sub>2</sub>, HQ<sub>5</sub>, HQ<sub>10</sub>, HQ<sub>20</sub>, HQ<sub>50</sub>, HQ<sub>100</sub> u. HQ<sub>200</sub></li> <li>▪ Verschneidung der Wasserspiegellagen mit DGM</li> <li>▪ Ermittlung Überschwemmungsflächen für jede Wiederkehrzeit</li> </ul>		<p><b>bei HQ<sub>100</sub> überschwemmte Flächen in M-Stadt</b></p> 																		

### Ermittlung der Hochwasserschäden

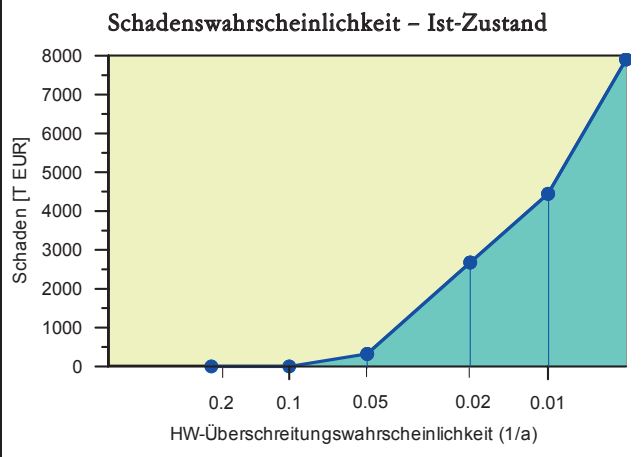
- Ermittlung aller potenziell von Überflutungen betroffenen Gebäude für jede Wiederkehrzeit
- Erfassung und Klassifizierung aller potentiell von Überflutungen betroffenen Gebäude gemäß HOWAS-Datenbank
- (Grundlage: Ortsbegehung)
- Ermittlung der schadensverursachenden Wassertiefe bei  $HQ_{T_n}$  für jedes Gebäude
- Berechnung der Hochwasserschäden bei  $HQ_{T_n}$  für jedes Gebäude
- Ermittlung Gesamtschaden bei  $HQ_{T_n}$

### Hochwasserschäden [T EUR] - Gesamtschäden -

bei			
$HQ_{20}$	$HQ_{50}$	$HQ_{100}$	$HQ_{200}$
320	2675	4444	7901

### Ermittlung von Schadenserwartung – Ist-Zustand

Bestimmung der jährlichen Schadenserwartung für den derzeitigen Zustand durch Integration der Gesamtschäden bei  $HQ_{T_n}$  über die Auftretenswahrscheinlichkeit.



Der Schadenserwartungswert  $S_{ges}$  lässt sich (für praktische Anwendungen vereinfachte intervallweise Berechnung) ermitteln:

$$S_{ges} = \sum (S_i \cdot \Delta P_i)$$

mit:  $S_{ges}$  = Schadenserwartung [EUR/a]

$S_i$  = Schaden [EUR/Ereignis] eines Ereignisses der Eintrittswahrscheinlichkeit  $P_i$

$P_i$  = Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses [Ereignis/a]

### Bestimmung der derzeitigen Schadenserwartung

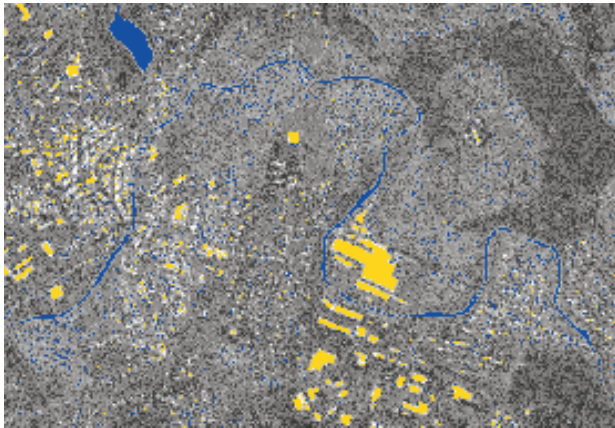
$i$	$T_i$	$P_i = 1/T_i$ [1/a]	$S_i$ [T EUR]	$k$	$S_k$ ar. Mittel $S_i, S_{i+1}$ [T EUR]	$P_{[k]} = P_i - P_{i+1}$ [1/a]	$S_{[k]} = S_k \cdot P_k$ [T EUR/a]	
1	2	0,50	0,--					
				1	0,--	0,30	0,--	
2	5	0,20	0,--					
				2	9,--	0,10	1,--	
3	10	0,10	19,--					
				3	169,--	0,06	8,--	
4	20	0,04	320,--					
				4	1.498,--	0,02	45,--	
5	50	0,02	2.675,--					
				5	3.560,--	0,01	36,--	
6	100	0,01	4.444,--					
				6	6.173,--	0,005	31,--	
7	200	0,005	7.901,--					
<b>Schadenserwartung (mittlerer jährlicher Schaden)</b>							<b><math>S_{ges} =</math></b>	<b>121,--</b>

<p><b>Hochwasserschutzmaßnahmen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Untersuchung von möglichen Hochwasserschutzmaßnahmen (Rückhaltung, lokale Maßnahmen)</li> <li>▪ Untersuchung der Wirksamkeit der Maßnahmen</li> <li>▪ Nachweis der vorgeschlagenen Maßnahmen (ca. 18 Einzelmaßn.) bei Auslegung auf einen 20-, 50- bzw. 100-jährlichen Schutzgrad</li> </ul>	<p><b>Kosten lokaler Maßnahmen bei Ausbau auf [T EUR]</b></p>										
<p><b>Nutzen-Kosten-Vergleich</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ermittlung der jährlichen Kosten der Maßnahmen bei Auslegung auf einen 20-, 50- bzw. 100-jährlichen Schutzgrad (Zinssatz 3%, Nutzungsdauer 80a)</li> <li>▪ Ermittlung Projektnutzenbarwert bei Auslegung auf einen 20-, 50- bzw. 100-jährlichen Schutzgrad</li> <li>▪ Bestimmung Nutzen-Kosten-Verhältnis bei Auslegung auf einen 20-, 50- bzw. 100-jährlichen Schutzgrad</li> </ul>	<p><b>Nutzen-Kosten-Vergleich</b></p>										
<p><b>Festlegung Bemessungshochwasser</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p><b>BHQ = 167 m<sup>3</sup>/s</b></p> </div> <p><i>Anmerkung:</i> Bei der Festlegung des Bemessungshochwassers sind neben ökonomischen Aspekten weitere Gesichtspunkte zu berücksichtigen (z. B. Ortsbild, Ökologie).</p>	<table border="1" style="display: none;"> <caption>Data for Benefit-Cost Ratio vs. Annual Discharge</caption> <thead> <tr> <th>Abfluss (m³/s)</th> <th>Nutzen-Kosten-Verhältnis</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>114.8</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>144.4</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>167.2</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table>			Abfluss (m³/s)	Nutzen-Kosten-Verhältnis	114.8	0.4	144.4	1.6	167.2	2.0
Abfluss (m³/s)	Nutzen-Kosten-Verhältnis										
114.8	0.4										
144.4	1.6										
167.2	2.0										

## Beispiel 5: Flussgebietsuntersuchung Wangen

<b>Veranlassung / Hochwasserproblematik</b>	Das Hochwasser vom Mai 1999 führte in der Ortslage Wangen zu katastrophalen Überschwemmungen. Die Höhe des durch das Hochwasser verursachten Schadens lag bei rund 11 Mio. EUR.
<b>Aufgabenstellung</b>	<p>Im Rahmen einer Flussgebietsuntersuchung sollte zunächst der derzeitige Hochwasserschutzgrad ermittelt werden (Bestandsanalyse). Erweist sich der derzeit vorhandene Schutzgrad als unzureichend, so ist eine Hochwasserschutzkonzeption für die Stadt zu entwickeln.</p> <p>Aufgrund der Lage von Wangen im Unterlauf der Oberen Argen war bei einer Einzugsgebietsgröße (Stadtbereich) von 180 km<sup>2</sup> eine Verbesserung des Hochwasserschutzes über Rückhaltung nicht möglich (Kosten, erf. Dammhöhe, anderes Bundesland). Daher war ein Hochwasserschutzkonzept zu entwickeln, das primär auf lokalen Hochwasserschutzmaßnahmen basiert. Die entwickelte HW-Schutzkonzeption war über Nutzen-Kosten-Betrachtungen ökonomisch zu bewerten.</p>

<p><b>Hydrologie</b></p> <p>Benötigt werden für die Bemessung der lokalen Maßnahmen der Konzeption die innerorts auftretenden Hochwasserscheitelwerte BHQ.</p> <p>Da in den auf Wangen zufließenden Seitengewässern Rückhaltungen vorhanden sind und im Oberlauf gerade ein großes Becken geplant wurde, war zur realistischen Erfassung der Beckenwirkung ein flächendetailliertes N-A-Modell (<i>Flussgebietsmodell</i>) für das Einzugsgebiet aufzubauen. Im Einzugsgebiet existieren 3 Pegelstellen, über die das FGM angepasst werden konnte.</p> <p>Benötigt werden für die hydraulischen Berechnungen neben Ganglinien großer historischer Hochwasser (Anpassung) die T-jährlichen Abflussganglinien unterschiedlicher Niederschlagsdauern. Eingesetzt wurden hierzu die KOSTRA-Niederschläge <math>N(T, T_D)</math> des DWD.</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">Maximalabflüsse am Pegel Epplings/ Obere Argen</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;"><math>HQ_{10}</math> [m<sup>3</sup>/s]</th> <th style="text-align: center;"><math>HQ_{20}</math> [m<sup>3</sup>/s]</th> <th style="text-align: center;"><math>HQ_{50}</math> [m<sup>3</sup>/s]</th> <th style="text-align: center;"><math>HQ_{100}</math> [m<sup>3</sup>/s]</th> <th style="text-align: center;"><math>HQ_{200}</math> [m<sup>3</sup>/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">117</td> <td style="text-align: center;">133</td> <td style="text-align: center;">154</td> <td style="text-align: center;">170</td> <td style="text-align: center;">191</td> </tr> </tbody> </table>	Maximalabflüsse am Pegel Epplings/ Obere Argen					$HQ_{10}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{20}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{50}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{100}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{200}$ [m <sup>3</sup> /s]	117	133	154	170	191
Maximalabflüsse am Pegel Epplings/ Obere Argen																
$HQ_{10}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{20}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{50}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{100}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{200}$ [m <sup>3</sup> /s]												
117	133	154	170	191												

<p><b>Hydraulisches Fließgewässermodell</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einsatz eines eindimensionalen instationären Fließgewässermodells</li> <li>▪ Anpassung des Modells durch Nachrechnung historischer Hochwasserereignisse</li> <li>▪ Bestimmung der Leistungsfähigkeit des Gewässers</li> <li>▪ Ermittlung der maximalen Wasserspiegellagen entlang des Gewässers für <math>HQ_{10}</math>, <math>HQ_{20}</math>, <math>HQ_{50}</math>, <math>HQ_{100}</math> u. <math>HQ_{200}</math></li> </ul> <p><b>Ermittlung der Überschwemmungsflächen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verschneidung der Wasserspiegellagen mit dem DGM</li> <li>▪ Ermittlung Überschwemmungsflächen für jede Wiederkehrzeit <math>T_n</math></li> <li>▪ Ermittlung aller potentiell von Überflutungen betroffenen Gebäude für jede untersuchte Wiederkehrzeit</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>überschwemmte Flächen in Wangen - HW 1999</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Anzahl von Überschwemmung betroffener Gebäude</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">bei</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;"><math>HQ_{10}</math></th> <th style="text-align: center;"><math>HQ_{20}</math></th> <th style="text-align: center;"><math>HQ_{50}</math></th> <th style="text-align: center;"><math>HQ_{100}</math></th> <th style="text-align: center;"><math>HQ_{200}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">224</td> <td style="text-align: center;">321</td> <td style="text-align: center;">331</td> <td style="text-align: center;">368</td> </tr> </tbody> </table>	bei					$HQ_{10}$	$HQ_{20}$	$HQ_{50}$	$HQ_{100}$	$HQ_{200}$	-	224	321	331	368
bei																
$HQ_{10}$	$HQ_{20}$	$HQ_{50}$	$HQ_{100}$	$HQ_{200}$												
-	224	321	331	368												

<p><b>Ermittlung der Hochwasserschäden</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erfassung und Klassifizierung aller potentiell von Überflutungen betroffener Gebäude (Grundlage: Ortsbegehung)</li> <li>▪ Ermittlung der schadensverursachenden Wassertiefe bei <math>HQ_{T_n}</math> (<math>T=10, 20, 50, 100, 200a</math>) für jedes Gebäude</li> <li>▪ Anpassung der Schadensfunktionen anhand beobachteter Hochwasser mit Schadenserhebung (1999)</li> <li>▪ Berechnung der Hochwasserschäden bei <math>HQ_{T_n}</math> <math>T=10, 20, 50, 100, 200a</math>) für jedes Gebäude</li> <li>▪ Ermittlung des Gesamtschadens bei <math>HQ_{T_n}</math></li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Hochwasserschäden [T EUR]</b> - Gesamtschäden -</p> <p style="text-align: center;">bei</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th><math>HQ_{10}</math></th> <th><math>HQ_{20}</math></th> <th><math>HQ_{50}</math></th> <th><math>HQ_{100}</math></th> <th><math>HQ_{200}</math></th> </tr> <tr> <td>-</td> <td>320</td> <td>2.675</td> <td>4.444</td> <td>7.901</td> </tr> </table>	$HQ_{10}$	$HQ_{20}$	$HQ_{50}$	$HQ_{100}$	$HQ_{200}$	-	320	2.675	4.444	7.901																																																																																																														
$HQ_{10}$	$HQ_{20}$	$HQ_{50}$	$HQ_{100}$	$HQ_{200}$																																																																																																																					
-	320	2.675	4.444	7.901																																																																																																																					
<p><b>Ermittlung der Schadenserwartung – Ist-Zustand</b></p> <p>Bestimmung der jährlichen Schadenserwartung für den derzeitigen Zustand durch Integration der Gesamtschäden bei <math>HQ_T</math> über die Auftretenswahrscheinlichkeit.</p> <p>Der Schadenserwartungswert <math>S_{ges}</math> lässt sich (für praktische Anwendungen vereinfachte intervallweise Berechnung) ermitteln:</p> $S_{ges} = \sum (S_i \cdot \Delta P_i)$ <p>mit: <math>S_{ges}</math> = Schadenserwartung [EUR/a]  <math>S_i</math> = Schaden [EUR/Ereignis] eines Ereignisses der Eintrittswahrscheinlichkeit <math>P_i</math>  <math>P_i</math> = Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses [Ereignis/a]</p>	<p style="text-align: center;"><b>Schadenswahrscheinlichkeit – Ist-Zustand</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Bestimmung der derzeitigen Schadenserwartung</b></p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th><math>i</math></th> <th><math>T_i</math></th> <th><math>P_i = 1/T_i</math> [1/a]</th> <th><math>S_i</math> [T EUR]</th> <th><math>k</math></th> <th><math>S_k</math> ar. Mittel <math>S_i, S_{i+1}</math> [T EUR]</th> <th><math>P_{(k)}</math> <math>= P_i \cdot P_{i+1}</math> [1/a]</th> <th><math>S_{(k)}</math> <math>= S_k \cdot P_k</math> [T EUR/a]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>0,50</td> <td>0,--</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>0,--</td> <td>0,30</td> <td>0,--</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>5</td> <td>0,20</td> <td>0,--</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td>0,--</td> <td>0,10</td> <td>0,--</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>10</td> <td>0,10</td> <td>0,--</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3</td> <td>2.752,--</td> <td>0,05</td> <td>137,--</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>20</td> <td>0,05</td> <td>5.505,--</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>4</td> <td>6.634,--</td> <td>0,03</td> <td>199,--</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>50</td> <td>0,02</td> <td>7.764,--</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5</td> <td>8.019,--</td> <td>0,01</td> <td>80,--</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100</td> <td>0,01</td> <td>8.273,--</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6</td> <td>9.060,--</td> <td>0,005</td> <td>45,--</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>200</td> <td>0,01</td> <td>9.846,--</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6"><b>Schadenserwartung (mittlerer jährlicher Schaden)</b></td> <td><b><math>S_{ges} =</math></b></td> <td><b>426,--</b></td> </tr> </tbody> </table>	$i$	$T_i$	$P_i = 1/T_i$ [1/a]	$S_i$ [T EUR]	$k$	$S_k$ ar. Mittel $S_i, S_{i+1}$ [T EUR]	$P_{(k)}$ $= P_i \cdot P_{i+1}$ [1/a]	$S_{(k)}$ $= S_k \cdot P_k$ [T EUR/a]	1	2	0,50	0,--									1	0,--	0,30	0,--	2	5	0,20	0,--									2	0,--	0,10	0,--	3	10	0,10	0,--									3	2.752,--	0,05	137,--	4	20	0,05	5.505,--									4	6.634,--	0,03	199,--	5	50	0,02	7.764,--									5	8.019,--	0,01	80,--	6	100	0,01	8.273,--									6	9.060,--	0,005	45,--	7	200	0,01	9.846,--					<b>Schadenserwartung (mittlerer jährlicher Schaden)</b>						<b><math>S_{ges} =</math></b>	<b>426,--</b>
$i$	$T_i$	$P_i = 1/T_i$ [1/a]	$S_i$ [T EUR]	$k$	$S_k$ ar. Mittel $S_i, S_{i+1}$ [T EUR]	$P_{(k)}$ $= P_i \cdot P_{i+1}$ [1/a]	$S_{(k)}$ $= S_k \cdot P_k$ [T EUR/a]																																																																																																																		
1	2	0,50	0,--																																																																																																																						
				1	0,--	0,30	0,--																																																																																																																		
2	5	0,20	0,--																																																																																																																						
				2	0,--	0,10	0,--																																																																																																																		
3	10	0,10	0,--																																																																																																																						
				3	2.752,--	0,05	137,--																																																																																																																		
4	20	0,05	5.505,--																																																																																																																						
				4	6.634,--	0,03	199,--																																																																																																																		
5	50	0,02	7.764,--																																																																																																																						
				5	8.019,--	0,01	80,--																																																																																																																		
6	100	0,01	8.273,--																																																																																																																						
				6	9.060,--	0,005	45,--																																																																																																																		
7	200	0,01	9.846,--																																																																																																																						
<b>Schadenserwartung (mittlerer jährlicher Schaden)</b>						<b><math>S_{ges} =</math></b>	<b>426,--</b>																																																																																																																		
<p><b>Hochwasserschutzkonzeption</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Untersuchung von möglichen Hochwasserschutzmaßnahmen und deren Wirksamkeit (1-D und 2-D Fließgewässermodell)</li> <li>▪ Kostenschätzung der Einzelmaßnahmen und Ermittlung der jährlichen Kosten</li> <li>▪ Nutzen-Kosten-Untersuchung (ökonomische Beurteilung)</li> <li>▪ Vorschlag einer Hochwasserschutzkonzeption (Auslegung der Konzeption auf 100 Jahre): 5 lokale, stadtbildverträgliche HW-Schutzmaßnahmen</li> <li>▪ Kosten der lokalen Maßnahmen bei einer Auslegung auf <math>HQ_{100}</math> ca. 1,2 Mio. EUR</li> </ul>																																																																																																																								

## Beispiel 6: Festlegung des Bemessungshochwassers für lokale Hochwasserschutzmaßnahmen in einer Ortslage

<b>Veranlassung / Hochwasserproblematik</b>	Die Ortslage liegt direkt an einem Fluss, am Fuß steiler Hanglagen und verfügt derzeit nur über einen rd. 1- bis 2-jährlichen Hochwasserschutz.
<b>Aufgabenstellung</b>	Ausarbeitung einer Gesamtkonzeption für den Hochwasserschutz. Festlegung des Hochwasserschutzgrades über eine Nutzen-Kosten-Untersuchung.

<b>Hydrologie/Hydraulik</b>  Bemessung erfolgt auf Hochwasserscheitelwerte BHW (Maximalwasserstände)	<b>Maximalwasserstände im Gewässer</b>				
	<i>HQ<sub>5</sub></i> [m+NN]	<i>HQ<sub>10</sub></i> [m+NN]	<i>HQ<sub>25</sub></i> [m+NN]	<i>HQ<sub>50</sub></i> [m+NN]	<i>HQ<sub>100</sub></i> [m+NN]
	107,00	107,60	108,45	109,00	109,55
<b>Ermittlung der Überschwemmungsflächen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ermittlung der Überschwemmungsflächen für jede Wiederkehrzeit</li> <li>▪ Ermittlung aller potentiell von Überflutungen betroffenen Gebäude für jede Wiederkehrzeit</li> </ul>	<b>von Überschwemmungen betroffene Gebäude</b>				
	<i>HQ<sub>5</sub></i>	<i>HQ<sub>10</sub></i>	<i>HQ<sub>25</sub></i>	<i>HQ<sub>50</sub></i>	<i>HQ<sub>100</sub></i>
	90	136	163	181	190

Bei HQ<sub>10</sub> betroffene Gebäude



Bei HQ<sub>25</sub> betroffene Gebäude



Bei HQ<sub>50</sub> betroffene Gebäude



### Bei HQ<sub>100</sub> betroffene Gebäude



### Ermittlung der Hochwasserschäden

- Erfassung und Klassifizierung aller potentiell von Überflutungen betroffenen Gebäude gemäß HOWAS-Datenbank
- (Grundlage: Ortsbegehung)
- Ermittlung der schadensverursachenden Wassertiefe bei HQ<sub>Tn</sub> für jedes Gebäude
- Berechnung der Hochwasserschäden bei HQ<sub>Tn</sub> für jedes Gebäude
- Ermittlung Gesamtschaden bei HQ<sub>Tn</sub>

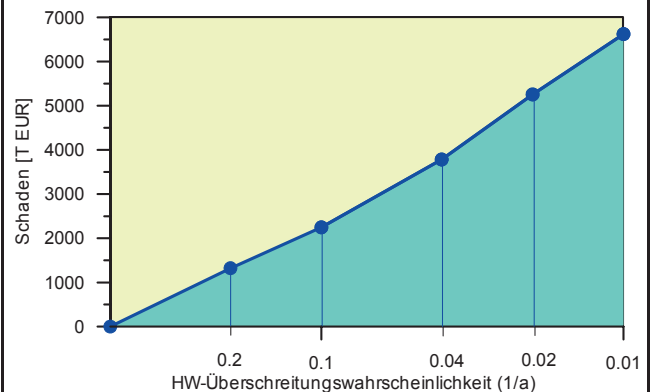
### Hochwasserschäden [T EUR] - Gesamtschäden -

bei				
HQ <sub>5</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>25</sub>	HQ <sub>50</sub>	HQ <sub>100</sub>
1.322	2.247	3.782	5.255	6.622

### Ermittlung der Schadenserwartung – Ist-Zustand

Bestimmung der jährlichen Schadenserwartung für den derzeitigen Zustand durch Integration der Gesamtschäden bei HQ<sub>Tn</sub> über die Auftretenswahrscheinlichkeit.

### Schadenswahrscheinlichkeit – Ist-Zustand



Der Schadenserwartungswert S<sub>ges</sub> lässt sich (für praktische Anwendungen vereinfachte intervallweise Berechnung) ermitteln:

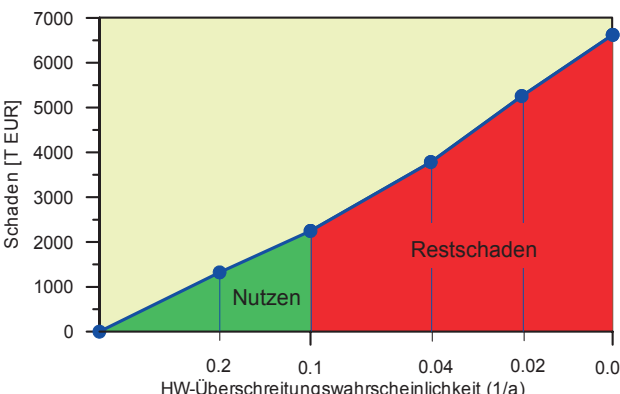
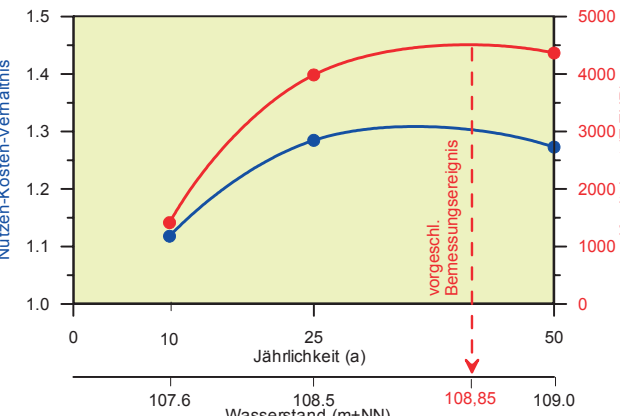
$$S_{ges} = \sum (S_i \cdot \Delta P_i)$$

- mit: S<sub>ges</sub> = Schadenserwartung [EUR/a]  
 S<sub>i</sub> = Schaden [EUR/Ereignis] eines Ereignisses der Eintrittswahrscheinlichkeit P<sub>i</sub>  
 P<sub>i</sub> = Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses [Ereignis/a]

### Bestimmung der derzeitigen Schadenserwartung

i	T <sub>i</sub>	P <sub>i</sub> = 1/T <sub>i</sub> [1/a]	S <sub>i</sub> [T EUR]	k	S <sub>k</sub> ar. Mittel S <sub>i</sub> , S <sub>i+1</sub> [T EUR]	P <sub>[k]</sub> = P <sub>i</sub> - P <sub>i+1</sub> [1/a]	S <sub>[k]</sub> = S <sub>k</sub> * P <sub>k</sub> [T EUR/a]
1	1	1,00	0,--				
				1	0,--	0,50	0,--
2	2	0,50	0,--				
				2	661,--	0,30	198,--
3	5	0,20	1.322,--				
				3	1.785,--	0,10	178,--
4	10	0,10	2.247,--				
				4	3.015,--	0,06	181,--
5	25	0,04	3.782,--				
				5	4.519,--	0,02	90,--
6	50	0,02	5.255,--				
				6	5.938,--	0,01	59,--
7	100	0,01	6.622,--				
<b>Schadenserwartung (mittlerer jährlicher Schaden)</b>						<b>S<sub>ges</sub> =</b>	<b>707,--</b>

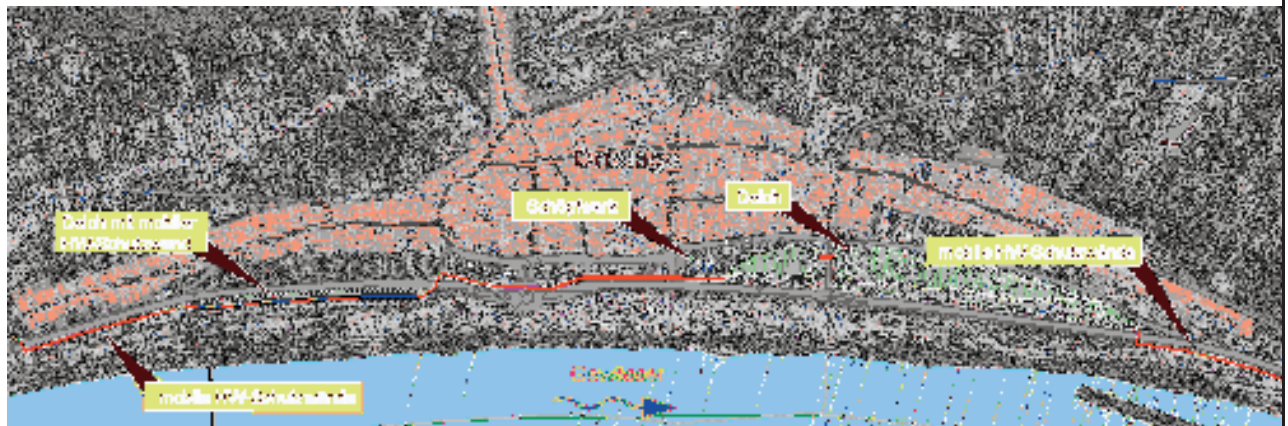


<p><b>Hochwasserschutzmaßnahmen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Untersuchung von möglichen Hochwasserschutzmaßnahmen und deren Wirksamkeit</li> <li>▪ Ermittlung der jährlichen Kosten der Maßnahmen bei Auslegung auf 10-, 25- bzw. 50-jährlichen Schutzgrad (Zinssatz 3%, Nutzungsdauer 80a)</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Kosten lokaler Maßnahmen [T EUR]</b></p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 33%;"><math>HQ_{10}</math></th> <th style="width: 33%;"><math>HQ_{25}</math></th> <th style="width: 33%;"><math>HQ_{50}</math></th> </tr> <tr> <td>12.000</td> <td>14.000</td> <td>16.000</td> </tr> </table>	$HQ_{10}$	$HQ_{25}$	$HQ_{50}$	12.000	14.000	16.000																									
$HQ_{10}$	$HQ_{25}$	$HQ_{50}$																														
12.000	14.000	16.000																														
<p><b>Ermittlung der Schadenserwartung – Plan-Zustand</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bestimmung der jährlichen Schadenserwartung für den Zustand nach Umsetzung der Hochwasserschutzmaßnahmen für die Ausbaugrade <math>HQ_{10}</math>, <math>HQ_{25}</math> und <math>HQ_{50}</math></li> <li>▪ Ermittlung des jährliche Nutzens der Maßnahmen bei Auslegung auf 10-, 25- bzw. 50-jährlichen Schutzgrad</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Nutzen und Restschaden bei Ausbau auf <math>HQ_{10}</math></b></p> 																															
<p><b>Nutzen-Kosten-Vergleich</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ermittlung der jährlichen Kosten der Maßnahmen bei Auslegung auf 10-, 25- bzw. 50-jährlichen Schutzgrad</li> <li>▪ Ermittlung Projektnutzenbarwert bei Auslegung auf 10-, 25- bzw. 50-jährlichen Schutzgrad</li> <li>▪ Bestimmung Nutzen-Kosten-Verhältnis bei Auslegung auf 10-, 25- bzw. 50-jährlichen Schutzgrad</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Nutzen-Kosten-Vergleich</b></p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3"><i>bei Ausbau auf</i></th> </tr> <tr> <th><math>HQ_{10}</math></th> <th><math>HQ_{25}</math></th> <th><math>HQ_{50}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>jährliche Kosten [T EUR / a]</td> <td>397</td> <td>464</td> <td>530</td> </tr> <tr> <td>jährlicher Nutzen [T EUR / a]</td> <td>444</td> <td>595</td> <td>674</td> </tr> <tr> <td>Projektkostenbarwert [T EUR]</td> <td>12.000</td> <td>14.000</td> <td>16.000</td> </tr> <tr> <td>Projektnutzenbarwert [T EUR]</td> <td>13.415</td> <td>17.984</td> <td>20.364</td> </tr> <tr> <td>Nutzen-Kosten-Verhältnis</td> <td>1,12</td> <td>1,28</td> <td>1,27</td> </tr> <tr> <td><b>Kapitalwert [T EUR]</b></td> <td><b>+1.415</b></td> <td><b>+3.984</b></td> <td><b>+4.364</b></td> </tr> </tbody> </table>		<i>bei Ausbau auf</i>			$HQ_{10}$	$HQ_{25}$	$HQ_{50}$	jährliche Kosten [T EUR / a]	397	464	530	jährlicher Nutzen [T EUR / a]	444	595	674	Projektkostenbarwert [T EUR]	12.000	14.000	16.000	Projektnutzenbarwert [T EUR]	13.415	17.984	20.364	Nutzen-Kosten-Verhältnis	1,12	1,28	1,27	<b>Kapitalwert [T EUR]</b>	<b>+1.415</b>	<b>+3.984</b>	<b>+4.364</b>
	<i>bei Ausbau auf</i>																															
	$HQ_{10}$	$HQ_{25}$	$HQ_{50}$																													
jährliche Kosten [T EUR / a]	397	464	530																													
jährlicher Nutzen [T EUR / a]	444	595	674																													
Projektkostenbarwert [T EUR]	12.000	14.000	16.000																													
Projektnutzenbarwert [T EUR]	13.415	17.984	20.364																													
Nutzen-Kosten-Verhältnis	1,12	1,28	1,27																													
<b>Kapitalwert [T EUR]</b>	<b>+1.415</b>	<b>+3.984</b>	<b>+4.364</b>																													
<p><b>Festlegung Bemessungshochwasser</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin: 10px 0;"> <p><b><math>BHW = 108,85 \text{ m+NN}</math></b></p> </div> <p>Anmerkung: Bei der Festlegung des Bemessungshochwassers sind neben ökonomischen Aspekten weitere Gesichtspunkte zu berücksichtigen (z. B. Ortsbild, Ökologie)</p>																																

## Beispiel 7: Ermittlung des Bemessungsabflusses für ein Schöpfwerk

<b>Veranlassung / Hochwasserproblematik</b>	Die Ortslage liegt direkt an einem Fluss, am Fuß steiler Hanglagen und verfügt derzeit nur über einen rd. 1- bis 2-jährlichen Hochwasserschutz.
<b>Aufgabenstellung</b>	Ausarbeitung einer Gesamtkonzeption für den Hochwasserschutz.
<b>Hochwasserschutzkonzept (Teil 1)</b>	Schutz der Ortslage durch Deiche / mobile Schutzwände entlang des Gewässers <i>Folgeproblematik</i> Aufgrund der Eindeichung der Ortslage ist keine Vorflut für Außengebietswasser, Regenwasser der Ortskanalisation sowie den Grundwasserstrom (durch eine erforderliche Untergrundabdichtung) mehr vorhanden. Daher wird eine ergänzende Konzeption zur Binnenentwässerung erforderlich.
<b>Konzeption zur Binnenentwässerung (Teil 2)</b>	Binnenwasserseitige Abflüsse aus dem eingedeichten Einzugsgebiet (das tiefer liegt als der Wasserspiegel bei Hochwasser) müssen über ein Schöpfwerk abgeleitet werden. Die erforderliche Pumpenleistung kann durch einen Speicher reduziert werden. Für die Optimierung von Pumpenleistung und Speichervolumen werden T-jährliche Hochwasserganglinien von Niederschlägen unterschiedlicher Dauern und Jährlichkeiten benötigt.

### Übersichtslageplan



### Hydrologie

Die Zuflussganglinien werden mit einem N-A-Modell ermittelt. Da kein Pegel im Untersuchungsraum existiert sind die anzupassenden Modellparameter aus hydrologisch (geologisch) vergleichbaren Gebieten mit Pegelmessungen zu übertragen. Die Berechnungsergebnisse werden über die HQT-Regionalisierung plausibilisiert (eigene Berechnung da keine LfU-Gewässerstelle im Bereich vorhanden).

Zur Optimierung der Pumpenleistung wurden für unterschiedliche Wiederkehrzeiten die erforderliche Pumpenleistung als Funktion des verfügbaren Speichervolumens über Simulationsrechnungen bestimmt.

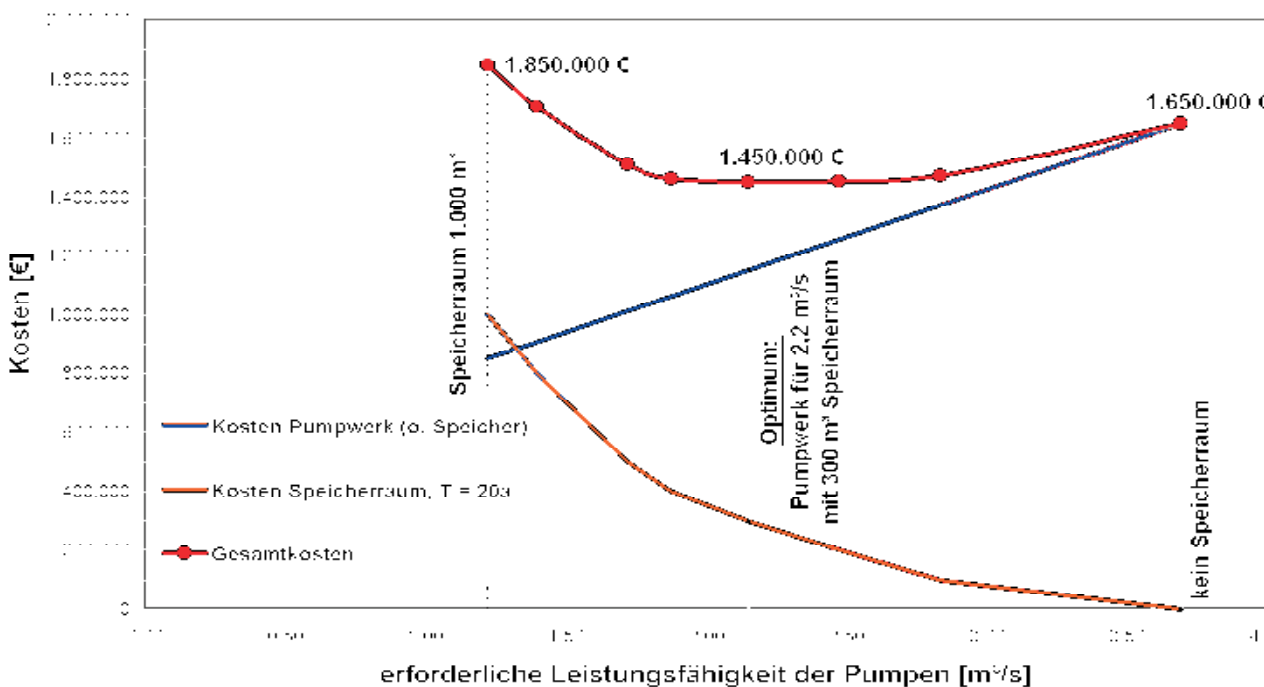
Retentionsvolumen [m <sup>3</sup> ]	$HQ_{PW,1}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{PW,2}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{PW,5}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{PW,10}$ [m <sup>3</sup> /s]	$T_D$ [h]	$HQ_{PW,20}$ [m <sup>3</sup> /s]	$T_D$ [h]	$HQ_{PW,50}$ [m <sup>3</sup> /s]	$HQ_{PW,100}$ [m <sup>3</sup> /s]
0	1,571	2,163	2,701	3,059	0,25	3,690	0,17	4,148	4,518
100	1,018	1,431	2,075	2,495	0,25	2,832	0,25	3,271	3,560
200	0,850	1,216	1,680	2,104	0,25	2,471	0,25	2,910	3,213
300	0,708	1,074	1,465	1,787	0,25	2,148	0,25	2,598	2,900
400	0,581	0,952	1,338	1,592	0,50	1,875	0,25	2,324	2,617
500	0,493	0,835	1,221	1,470	0,50	1,719	0,50	2,070	2,363
800	0,288	0,566	0,923	1,167	0,50	1,396	0,50	1,680	1,890
1000	0,212	0,435	0,752	0,986	0,50	1,221	0,50	1,494	1,699
2000	0,024	0,115	0,322	0,508	1,00	0,693	1,00	0,908	1,055
3000	0,001	0,031	0,093	0,205	1,00	0,361	1,00	0,557	0,693
5000	0,001	0,001	0,001	0,017	6,00	0,049	6,00	0,117	0,205

### Optimierung des Schöpfwerks

*Schritt 1:* Möglichst große Teile des Außengebietswassers (Hangwasser) werden durch Mulden- und Grabensysteme gebündelt und neu herzustellenden Druckleitungen zugeführt. Diese ermöglichen eine direkte Ableitung zum Vorfluter und reduzieren dabei die Zuflüsse zum eingedeichten Talraum bzw. Schöpfwerk.

*Schritt 2:* Die vom Schöpfwerk abzuleitende Restwassermenge (Spitzenzufluss) kann durch einen vorgeschalteten Speicher (z. B. Kanalstauraum) zusätzlich reduziert werden. Über Optimierungsrechnungen sind die Gesamtkosten (Speicher+ Pumpe) zu minimieren. Die nachfolgende Grafik zeigt die Einzel- und Gesamtkosten bei einer Auslegung auf ein 20-jährliches Ereignis. Als kostengünstigste Lösung erweist sich die Herstellung eines 300 m<sup>3</sup> fassenden Kanalstauraums, wodurch die Pumpenleistung von 3,7 m<sup>3</sup>/s auf 2,2 m<sup>3</sup>/s reduziert werden kann.

### Optimierung



Die Festlegung der maßgebenden Jährlichkeit („Bemessungshochwasser“) erfolgt über Nutzen-Kosten-Betrachtungen der Gesamtkonzeption.

## Beispiel 8: Untersuchung der Auswirkungen der Klimaänderung auf ein geplantes Hochwasserrückhaltebecken

### Ausgangslage

Im Rahmen einer Flussgebietsuntersuchung wurde für das Einzugsgebiet der Glatt ein Hochwasserschutzkonzept entwickelt, das zur Verminderung der Hochwasserscheitelabflüsse in den Ortslagen den Bau von drei überörtlich wirkenden Hochwasserrückhaltebecken im oberen Einzugsgebiet vorsieht. Davon ist das HRB Glatt / Hammerschmiede oberstrom der Ortslage Glatten mit rd. 250.000 m<sup>3</sup> Rückhaltevolumen das größte. Es wurde auf Bemessungshochwasser mit einer Wiederkehrzeit von 50 Jahren ausgelegt.

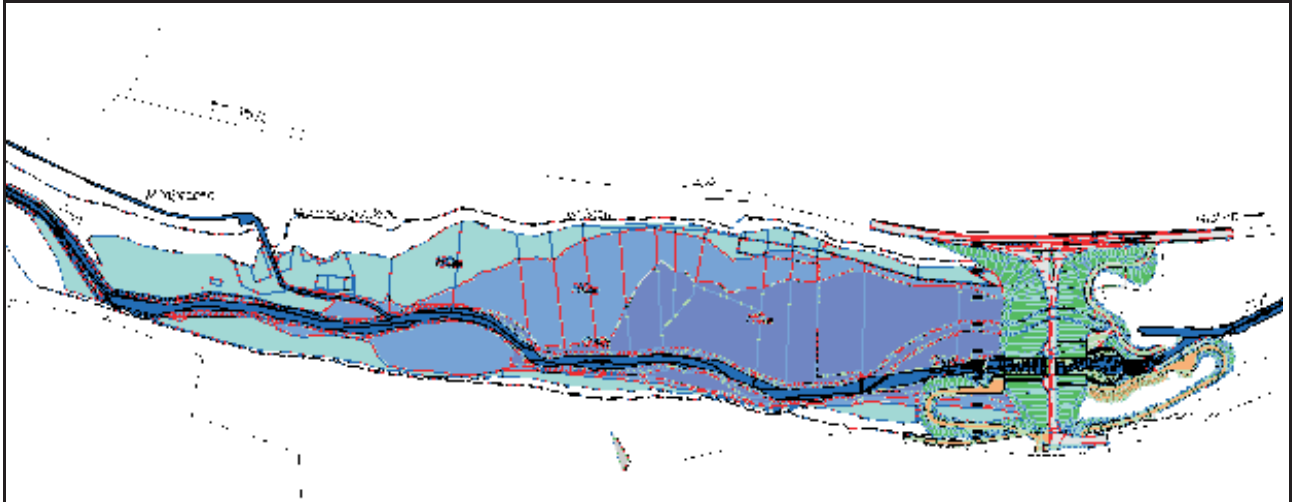


Bild 1: Lageplan des HRB Glatt / Hammerschmiede mit Einstafläichen

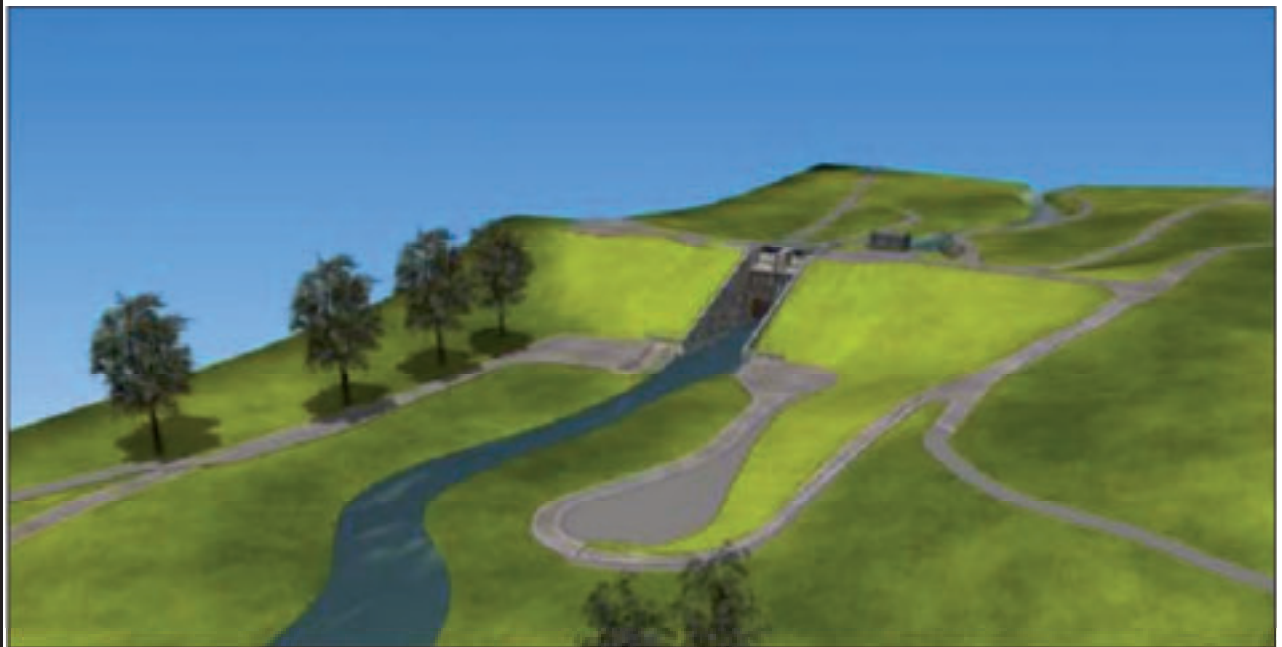


Bild 2: Fotosimulation des HRB Glatt / Hammerschmiede

Technische Daten	Größe des Einzugsgebietes an der Sperrenstelle:	45 km <sup>2</sup>
	Wiederkehrzeit des Bemessungshochwassers:	50 Jahre
	Gewöhnlicher HW-Rückhalteraum (ursprüngliche Planung):	250.000 m <sup>3</sup>
	Max. Dammhöhe:	11 m ü. Tal
	Luftseitige Dammneigung:	1 : 3
	Zufluss HQ <sub>50</sub> :	62,4 m <sup>3</sup> /s
	Regelabgabe:	33,6 m <sup>3</sup> /s
	Hochwasserentlastungsanlage:	2 Klappen 5,0 m x 2,0 m

### Bemessung

Der gewöhnliche HW-Rückhalteraum des Beckens wurde ursprünglich mit 250.000 m<sup>3</sup> auf ein 50-jährliches Bemessungshochwasser (Hydrologischer Ist-Zustand) ausgelegt. In der Planungsphase wurden die Auswirkungen von Erhöhungen der Bemessungsabflüsse aufgrund von Klimaänderungen untersucht. Da zu diesem Zeitpunkt noch keine verbindlichen Faktoren vorlagen, die eine klimabedingte Zunahme der Bemessungsabflüsse berücksichtigen, wurden hydrologische Szenarien simuliert, bei denen eine Erhöhung des Niederschlags um 5%, 10% bzw. 20% angenommen wurde, was Abflusserhöhungen beim 50-jährlichen Hochwasser um 9%, 18% bzw. 35% entspricht. In den Bildern 3 und 4 sind beispielhaft Hochwasserganglinien für ein 4- bzw. 48-stündiges Regenereignis dargestellt. Dabei zeigt sich, dass das erforderliche Rückhaltevolumen (Volumen oberhalb des Regelabflusses) um ein Vielfaches ansteigt.

Gemäß dem vorliegenden Leitfaden beträgt nun der Klimaänderungsfaktor für ein 50-jährliches Hochwasser an der Glatt  $f_{TK} = 1,35$ . Soll der angestrebte 50-jährliche Hochwasserschutzgrad beibehalten werden, so ergeben sich unter Berücksichtigung erhöhter Abflusswerte die in Tabelle 1 dargestellten Änderungen für Planung und Kosten des Hochwasserrückhaltebeckens.

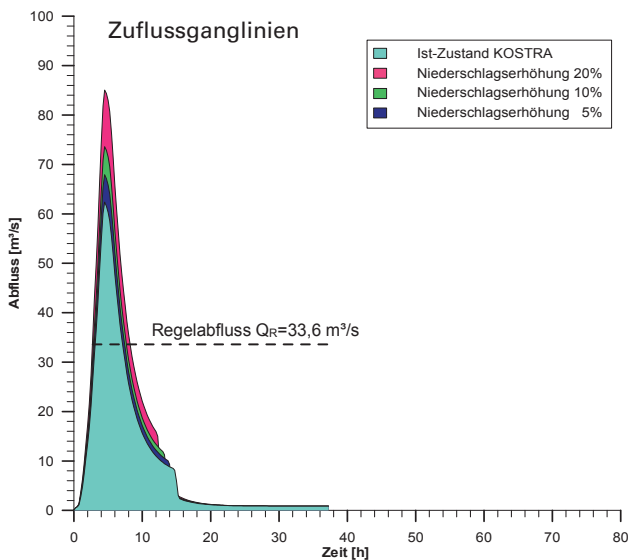


Bild 3: Veränderung einer 50-jährlichen Bemessungsganglinie ( $T_D = 4 \text{ h}$ )

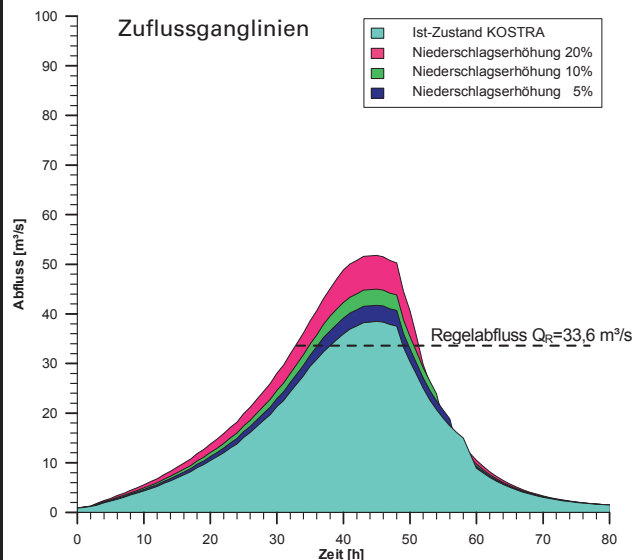


Bild 4: Veränderung einer 50-jährlichen Bemessungsganglinie ( $T_D = 48 \text{ h}$ )

Tabelle 1	Ist-Zustand	Lastfall „Klimaänderung“ Abflusserhöhung um		
		9%	18%	35% maßgebend
Bemessungsabfluss HQ <sub>60</sub> :	62,4 m³/s	67,9 m³/s	73,6 m³/s	85,1 m³/s
gewöhnlicher HW-Rückhalteraum:	250.000 m³	336.000 m³	467.000 m³	807.000 m³
Erforderliche Erhöhung des Rückhaltedamms:	0 m	+0,90 m	+2,30 m	+5,70 m
Mehrkosten bei nachträglicher Anpassung:		Nicht machbar		
Geschätzte Kosten (ca.):	3,2 Mio. EUR	3,3 Mio. EUR	3,6 Mio. EUR	4,6 Mio. EUR
Mehrkosten bei Berücksichtigung in der Planung:	-	+ 4 %	+ 11 %	+ 40-50 %

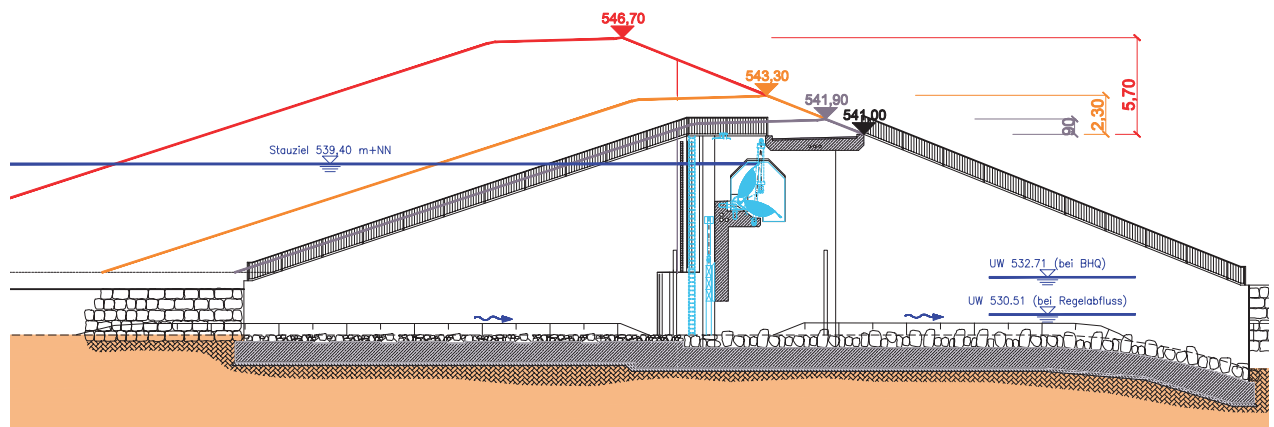


Bild 5: Erforderliche Erhöhungen des Rückhaltedamms und des Auslassbauwerkes beim HRB-Glatt / Hammerschmiede zur Vergrößerung des Rückhaltevolumens (gewöhnlicher HW-Rückhalteraum)

In Bild 5 sind die erforderlichen Anpassungen (Dammerhöhung) im Bereich des Auslassbauwerkes schematisch dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass eine nachträgliche Anpassung des Auslassbauwerkes bei diesem Beckentyp nicht möglich ist. Eine Erhöhung des Beckenvolumens würde den Abriss und Neubau des Auslassbauwerkes erforderlich machen und wäre wirtschaftlich nicht zu vertreten.

Aufgrund der genannten hydrologischen Randbedingungen sowie Überlegungen zur Machbarkeit hinsichtlich Topografie am Standort und Wirtschaftlichkeit wird das HRB schließlich mit einem Rückhaltevolumen von 370.000 m³ realisiert. Ein Ausbau auf das um den Faktor 1,35 erhöhte 50-jährliche Bemessungshochwasser mit einem Rückhaltevolumen von 807.000 m³ war in diesem Fall nicht möglich.

## Beispiel 9: Untersuchung der Auswirkungen der Klimaänderung auf ein geplantes Hochwasserrückhaltebecken

### Ausgangslage

Das Hochwasserrückhaltebecken Bödigheim / Wolfsgrundbach ist Bestandteil der Hochwasserschutzkonzeption für das Einzugsgebiet von Seckach und Kirnau. Der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum von rd. 54.000 m<sup>3</sup> ist gemäß der Hochwasserschutzkonzeption auf ein Bemessungshochwasser mit einer Wiederkehrzeit von 100 Jahren ausgelegt. Das Hochwasserrückhaltebecken ist seit 2001 in Betrieb und nach DIN 19700 T12/01.86 dimensioniert.

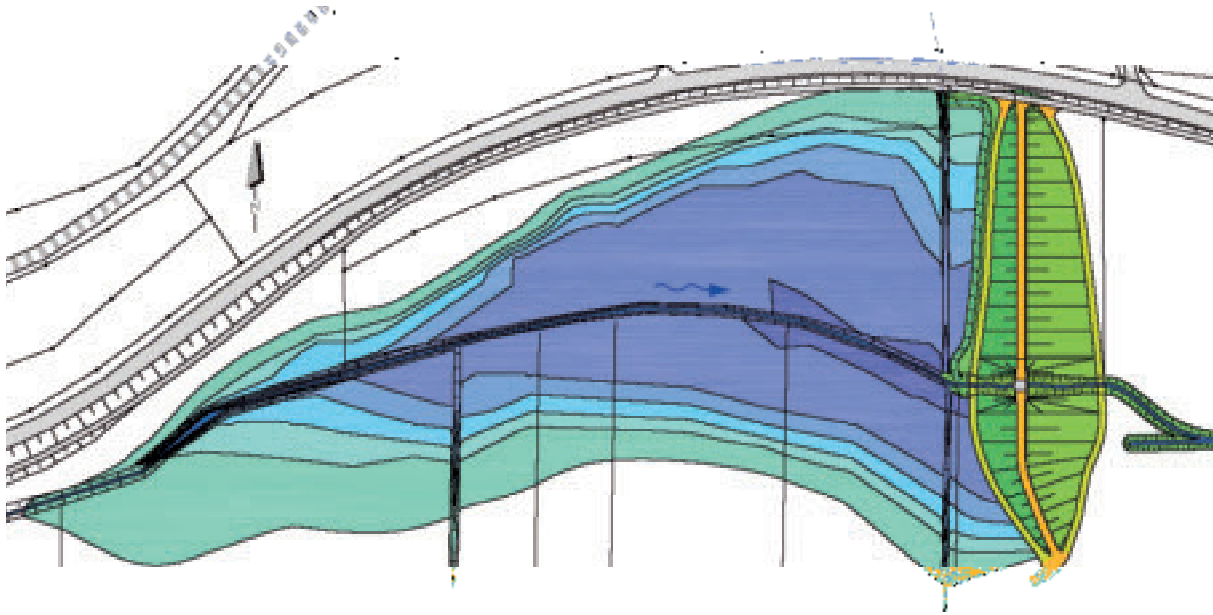


Bild 1: Lageplan des HRB Bödigheim / Wolfsgrundbach mit Einstauflächen



<b>Technische Daten</b>	Größe des Einzugsgebietes an der Sperrenstelle:	4,2 km <sup>2</sup>
	Wiederkehrzeit des Bemessungshochwassers:	100 Jahre
	Gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum:	54.000 m <sup>3</sup>
	Max. Dammhöhe:	3,0 m ü. Tal
	Luftseitige Damrneigung:	1 : 8,0
	Zufluss HQ <sub>100</sub> :	5,5 m <sup>3</sup> /s
	Beckenabgabe bei Erreichen des Vollstaus:	1,7 m <sup>3</sup> /s
	Hochwasserentlastungsanlage:	Überströmbarer Damm

### Bemessung

Der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum wurde mit 54.000 m<sup>3</sup> auf ein 100-jährliches Bemessungshochwasser (Hydrologischer Ist-Zustand) ausgelegt. Im Rahmen der Erstellung des vorliegenden Leitfadens wurde untersucht, welche Anpassungsmaßnahmen zur Beibehaltung des Schutzgrades aufgrund der zu erwartenden Klimaänderungen erforderlich sind und welche Kosten diese nachträglichen Anpassungsmaßnahmen verursachen. Vergleichend wurde untersucht welche Kosten entstanden wären, wenn bereits bei der Planung der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum an die zu erwartenden Klimaänderungen angepasst worden wäre.

Gemäß dem vorliegenden Leitfaden beträgt der Klimaänderungsfaktor  $f_{T,K}$  für ein 100-jährliches Hochwasser im Einzugsgebiet von Seckach und Kirnau 1,15. Dies entspricht einer Niederschlagsenerhöhung von 10 %. Soll der realisierte 100-jährliche Hochwasserschutzgrad beibehalten werden, so ergeben sich unter Berücksichtigung erhöhter Abflusswerte die in Tabelle 1 dargestellten Änderungen für eine nachträgliche Anpassung des Hochwasserrückhaltebeckens bzw. eine direkte Berücksichtigung. In den Bildern 2 und 3 sind die maßgebenden Hochwasserganglinien für ein 2- bzw. 4-stündiges Niederschlagsereignis (Bemessung nach Scheitel bzw. Fülle) dargestellt.

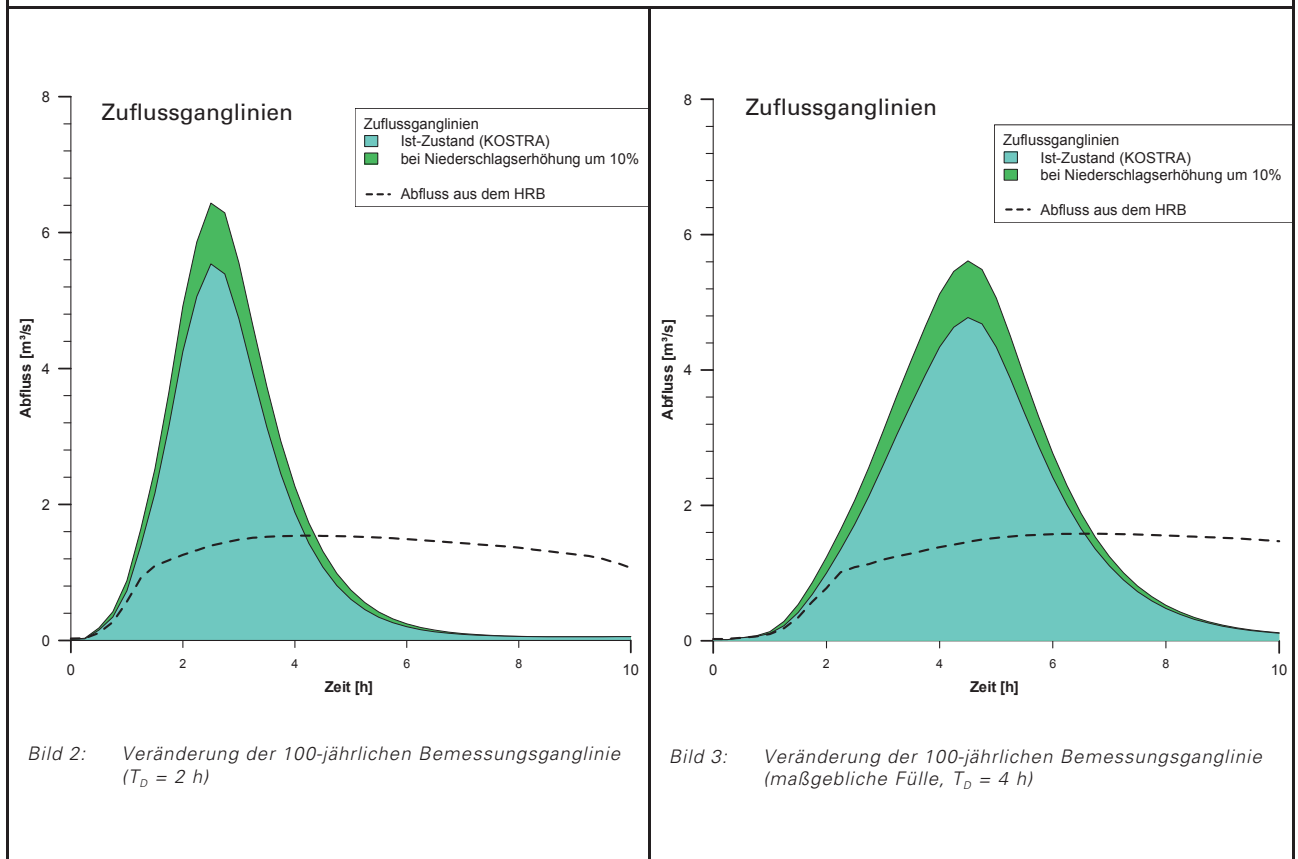




Tabelle 1	Ist-Zustand	Lastfall „Klimaänderung“ Abflusserhöhung um		
		9%	15% maßgebend	35%
Bemessungsabfluss $HQ_{100}$ :	5,5 m <sup>3</sup> /s	6,0 m <sup>3</sup> /s	6,4 m <sup>3</sup> /s	7,4 m <sup>3</sup> /s
erforderlicher gewöhnlicher HW-Rückhalteraum:	54.000 m <sup>3</sup>	60.000 m <sup>3</sup>	66.000 m <sup>3</sup>	80.000 m <sup>3</sup>
Erforderliche Erhöhung des Rückhaltedamms:	0 m	+0,15 m	+0,26 m	+0,56 m
Kosten für die nachträgliche Anpassung:		0,100 Mio. EUR	0,150 Mio. EUR	0,220 Mio. EUR
Mehrkosten bei nachträgl. Anpassung:		+ 13 %	+ 20 %	+29 %
Gesamtkosten bei Berücksichtigung in der Planung:	0,750 Mio. EUR	0,775 Mio. EUR	0,810 Mio. EUR	0,855 Mio. EUR
Mehrkosten bei Berücksichtigung in der Planung:	-	+ 3 %	+ 8 %	+ 14 %

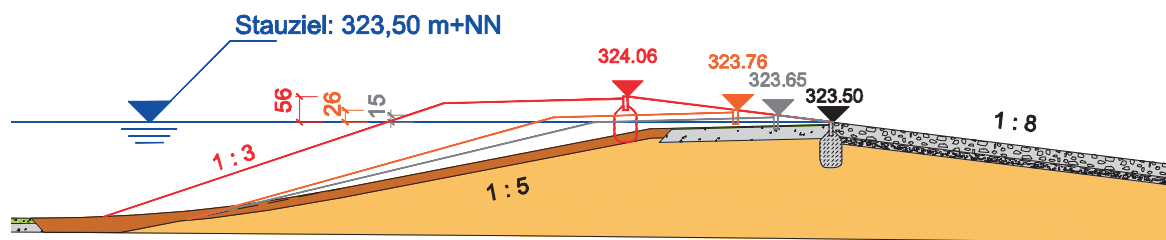


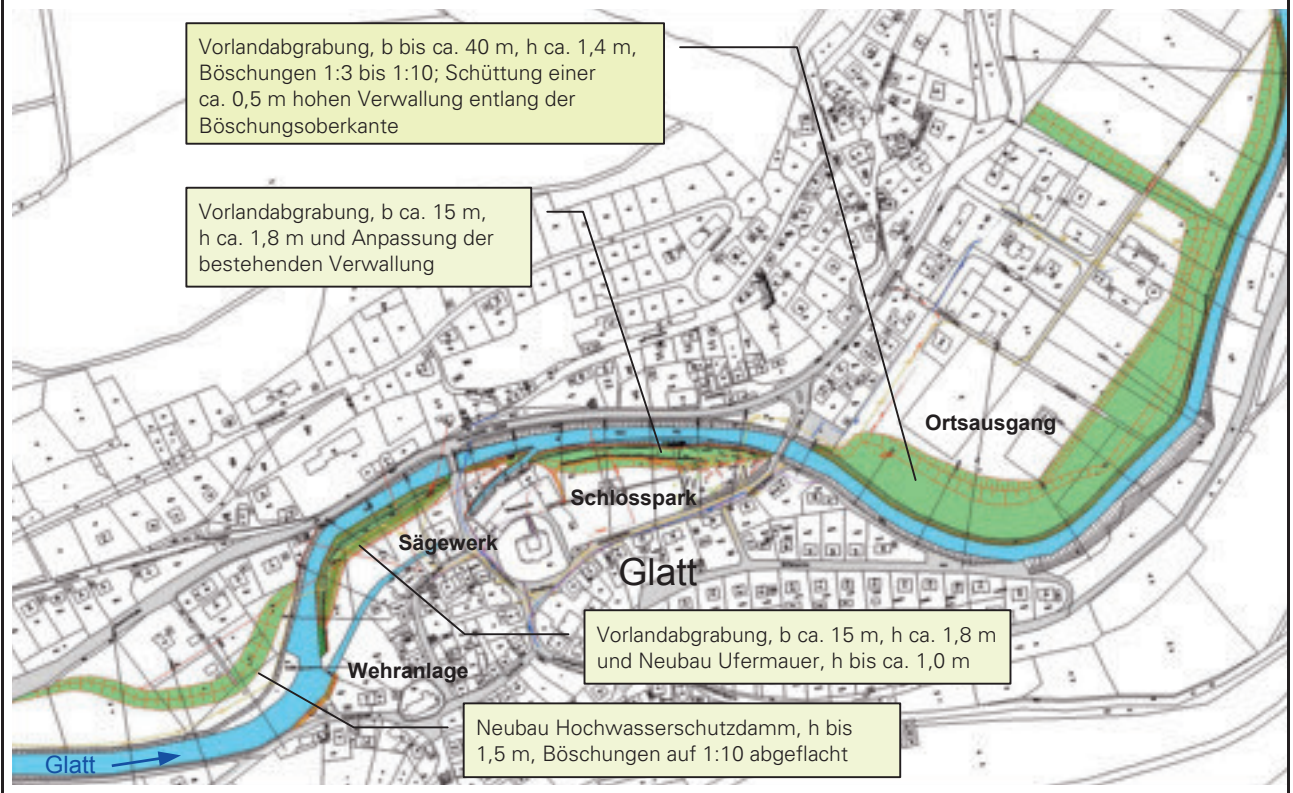
Bild 4: Erforderliche Erhöhungen des Rückhaltedamms beim HRB Bödighelm / Wolfsgrundbach zur Vergrößerung des Rückhaltevolumens (gewöhnlicher HW-Rückhalteraum)

In Bild 4 sind die erforderlichen Anpassungen (Dammerhöhungen) schematisch dargestellt. Es zeigt sich, dass eine Anpassung bautechnisch vergleichsweise einfach zu realisieren wäre und lediglich zu geringen Mehrkosten führen würde. Eine nachträgliche Anpassung wäre möglich, würde allerdings zu deutlich höheren Mehrkosten führen. Das Beispiel zeigt deutlich, dass eine Berücksichtigung des Lastfalles Klimaänderung ökonomisch und wasserwirtschaftlich sinnvoll ist.

## Beispiel 10: Lokale Hochwasserschutzmaßnahmen in der Ortslage Glatt / Glatt

<b>Standort, Einzugsgebietsgröße</b>	Ortslage Glatt an der Glatt, $A_E$ ca. 231 km <sup>2</sup>			
<b>Maßnahmenkonzeption</b>	<p>Verbesserung des Hochwasserschutzes für die Ortslage unter Berücksichtigung eines einheitlichen Freibords von 30 cm. Absenkung der Wasserspiegellagen in der Ortslage durch Vorlandabgrabungen im Bereich der Sportstätten, des Schlossparks und des Sägewerks.</p> <p>Dazu ergänzende uferbegleitende Maßnahmen zur Verhinderungen der Ausuferung der Glatt in Richtung der zu schützenden Bebauungen.</p> <p>Die Gesamtkosten für die geplanten Maßnahmen belaufen sich auf ca. 1,05 Mio. €.</p> <p>Die Konzeption wurde auf 100-jährliche Hochwasserabflüsse ausgelegt (BHQ). Gemäß der vorliegenden Werte für die Klimaänderung ist von einer Erhöhung der <math>HQ_{100}</math>-Werte um <math>f_{T,K} = 1,2</math> auszugehen.</p>			
<b>Hinweise zur Bemessung</b>	<i>Gewässerbereich</i>	<i>Ortsausgang</i>	<i>Schlosspark</i>	<i>Sägewerk / Wehranlage</i>
	Abschnitt [km]	1+420 – 2+190	2+200 – 2+480	2+490 – 3+000
Bemessungshochwasser, Ist	$BHQ_{Ist} (HQ_{100})$ [m <sup>3</sup> /s]	240	235	235
Lastfall Klimaänderung	$BHQ_{Klima} = 1,2 \cdot BHQ_{Ist}$ [m <sup>3</sup> /s]	288	282	282

### Übersichtslageplan



## Beschreibung der Planung

### 1. Bereich Ortsausgang (km 1+420 bis km 2+190)

Abgrabung des linksseitigen Vorlandes im Bereich der Sportstätten in einer Breite von bis zu ca. 40 m und einer Tiefe von bis zu 1,4 m. Abflachung der rückwärtigen Böschung und Schüttung einer flachen uferbegleitenden Verwallung mit einer Höhe von ca. 50 cm.

Initiierung der gewässerdynamischen Eigenentwicklung der Abgrabungsfläche zur gewässermorphologischen Aufwertung der Gewässerstrecke.



Blick nach unterstrom

### 2. Bereich Schlosspark (km 2+200 bis 2+480)

Abgrabung des rechtsseitigen Vorlandes im Bereich des Schlossparks in einer Breite von bis zu ca. 15 m und einer Tiefe von bis zu 1,8 m. Bereichsweise Aufweitung des Hauptgerinnes um bis zu 2,0 m.

Aufgelockerte Gestaltung des Abgrabungsbereiches zur Aufwertung der innerstädtischen Gewässerstrecke. Integration von Naherholung und Aspekten der Gewässerbegegnung.



Blick nach oberstrom

### 3. Bereich Sägewerk / Wehranlage (km 2+490 bis 3+000)

Abgrabung des rechtsseitigen Vorlandes im Bereich des Sägewerks in einer Breite von bis zu ca. 10 m und einer Tiefe von bis zu 2,5 m. Neubau einer bis zu ca. 1,0 m hohen Ufermauer entlang der Böschungsoberkante der Abgrabung bzw. des Unterhaltungsweges.

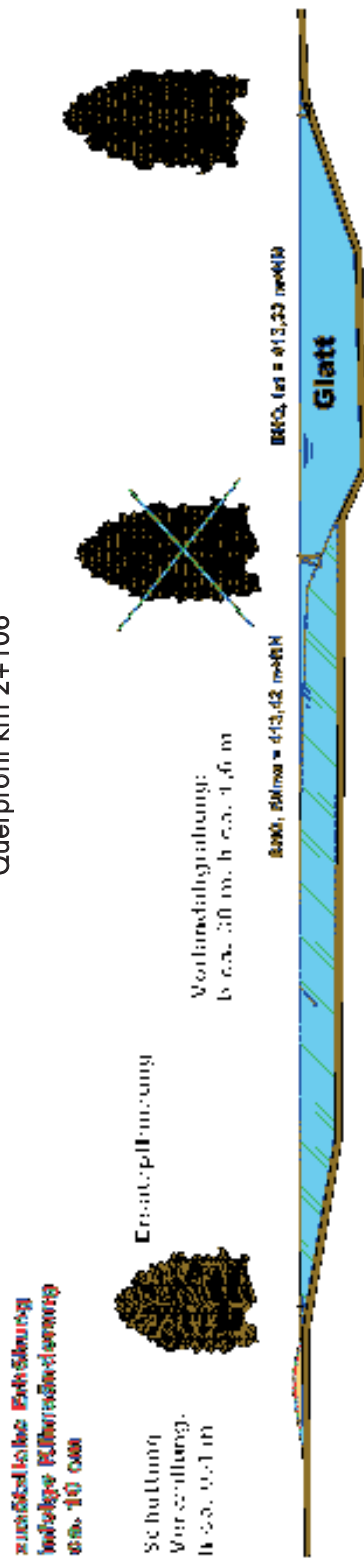
Auf dem linksseitigen Vorland Schüttung eines bis zu 1,5 m hohen Hochwasserschutzdammes. Abflachung der Böschungen des Dammes auf Neigungen von 1:10 zur weiteren Bewirtschaftung als Wiese bzw. Weide.



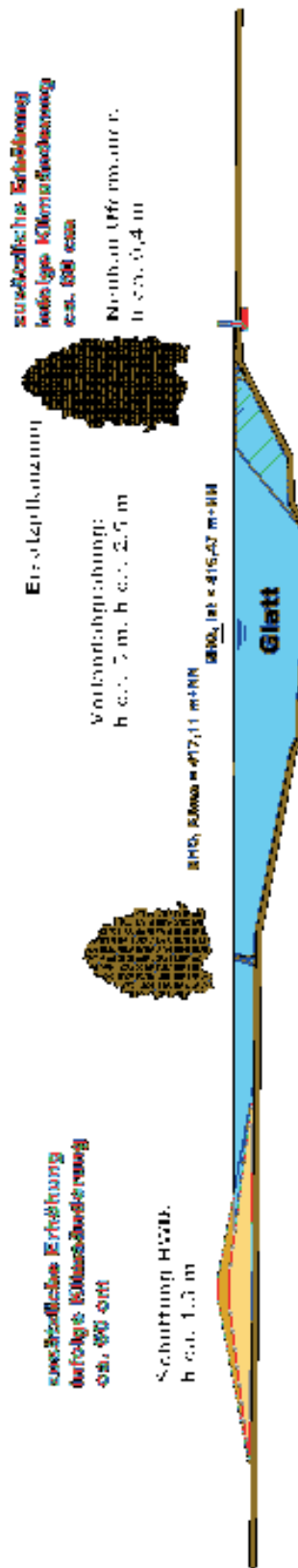
Blick nach oberstrom

# Charakteristische Querprofile

Querprofil km 2+106



Querprofil km 2+687



Anpassung der lokalen Hochwasserschutzmaßnahmen auf den Lastfall Klimaänderung				
Änderungen der Bemessungswasserstände durch Lastfall Klimaänderung	<i>Gewässerbereich</i>	<i>Ortsausgang</i>	<i>Schlosspark</i>	<i>Sägewerk / Wehranlage</i>
	Abschnitt [km]	1+420 – 2+190	2+200 – 2+480	2+490 – 3+000
	Erhöhung der Bemessungswasserstände [m]	+0,09	+0,27	+0,40 bis +0,62
Berücksichtigung der Klimaänderung bei der Planung	Maßnahme	innerhalb des Freibords, Anpassung der Verwaltung	innerhalb des Freibords, Anpassung von Verwallungen und Mauern	Erhöhung Dämme und Ufermauern (evtl. alternativ Brückenneubau)
	Mehrkosten, ca. [EUR]	5.000,-	18.000,-	81.000,-
Nachträgliche Anpassung	Maßnahme	Anpassung der Verwaltung	Anpassung von Verwallungen und Mauern	Erhöhung Dämme, <u>Neubau</u> Ufermauern, evtl. Brückenneubau
	Mehrkosten, ca. [EUR]	12.000,-	30.000,-	325.000,-
Zusammenfassende Bewertung	<p>Im Falle einer nachträglichen Anpassung ergeben sich damit gegenüber der bestehenden Planung für die Gesamtmaßnahme Mehrkosten von insgesamt <i>ca. 34%</i>!</p> <p>Bei Berücksichtigung der Klimaänderung bereits in der Planung belaufen sich die Mehrkosten insgesamt dagegen auf nur 9%.</p> <p>Dies ist vor allem auf die erforderlichen kostenintensiven Anpassungen im Bereich der geplanten Ufermauern zurückzuführen. Nachträgliche Anpassungen sind schwierig und erfordern oftmals aus Standsicherheitsgründen einen Neubau der Mauern.</p> <p>Im Bereich umfangreicher Vorlandabgrabungen fallen die Wasserspiegelerhöhungen geringer aus und es genügen relativ moderate Anpassungen, um den gewünschten Hochwasserschutz zu erzielen.</p> <p>Durch die Erhöhung der Wasserspiegellagen können grundsätzlich zusätzliche Hochwasserschutzmaßnahmen in bisher noch nicht betroffenen Gewässerabschnitten erforderlich werden.</p> <p>Im vorliegenden Fall der Ortslage Glatt ist dies voraussichtlich aber nicht der Fall. Jedoch wird die Grundwasservorflut und die Vorflut der geschützten Bereiche durch die höheren Wasserstände in der Glatt zusätzlich beeinträchtigt.</p>			

## Beispiel 11: Lokale Hochwasserschutzmaßnahmen in der Ortslage Birkenfeld / Enz

<b>Standort, Einzugsgebietsgröße</b>	Ortslage Birkenfeld an der Enz, $A_E$ ca. 326 km <sup>2</sup>		
<b>Maßnahmenkonzeption</b>	<p>Herstellung des Hochwasserschutzes im Bereich des Gewerbegebietes durch Neubau eines ca. 1,2 m hohen Hochwasserdammes in Verbindung mit dem Bau einer Ufermauer. Das Freibord gegenüber dem Bemessungswasserstand beträgt 0,5 m.</p> <p>Zur Gewährleistung des Gewässerzugangs für Unterhaltungszwecke wurde im Bereich der Ufermauer ein ca. 3 m breiter Dammbalkenverschluss vorgesehen.</p> <p>Die Gesamtkosten für die bereits umgesetzten Hochwasserschutzmaßnahmen belaufen sich auf ca. 120.000 €.</p> <p>Die Konzeption wurde auf 100-jährliche Hochwasserabflüsse ausgelegt (BHQ). Gemäß der vorliegenden Werte für die Klimaänderung ist von einer Erhöhung der <math>HQ_{100}</math>-Werte um den Faktor <math>f_{T,K} = 1,2</math> auszugehen.</p>		
<b>Hinweise zur Bemessung</b>	<i>Gewässerbereich</i>	<i>HWS-Damm, links</i>	<i>HWS-Mauer, links</i>
	Abschnitt [km]	63+800 – 63+720 63+550 – 63+520	63+720 – 63+550
Bemessungshochwasser, Ist	$BHQ_{Ist} (HQ_{100})$ [m <sup>3</sup> /s]	252	252
Lastfall Klimaänderung	$BHQ_{Klima} = 1,2 \cdot BHO_{Ist}$ [m <sup>3</sup> /s]	302	302

### Beschreibung der Planung

#### 1. Bereich Hochwasserdamm (km 63+800 bis 63+720)

Schüttung eines bis zu 1,2 m hohen Hochwasserschutzdammes auf den linken Gewässerseite entlang der Böschungsoberkante.



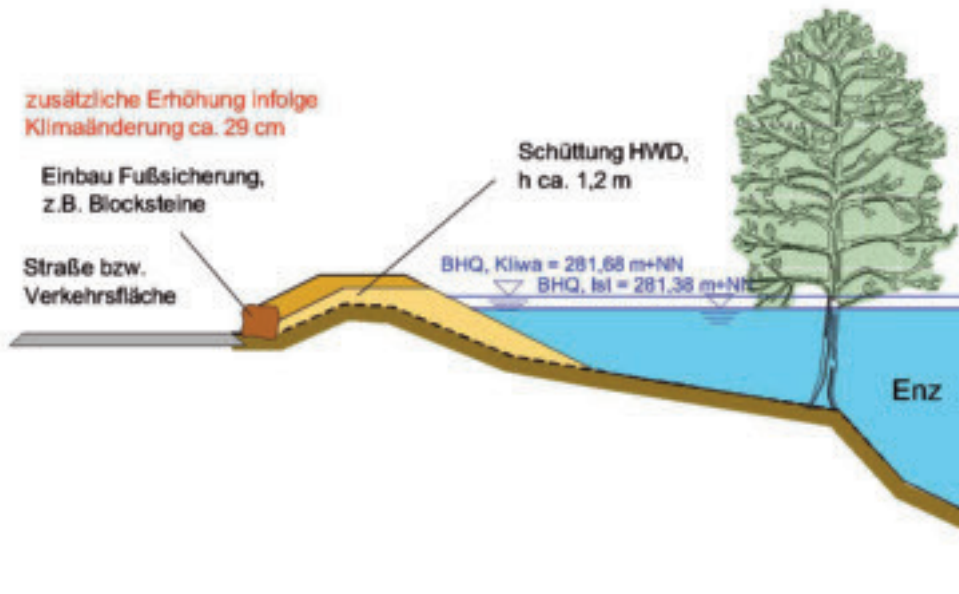
#### 2. Bereich Ufermauer (km 63+720 bis 63+550)

Neubau einer Ufermauer im Bereich mit beengten Platzverhältnissen zur Erhaltung der Verkehrs- und Rangierflächen.



## Charakteristisches Querprofil

Enz-km 63+750



Anpassung der lokalen Hochwasserschutzmaßnahmen auf den Lastfall Klimaänderung			
<b>Änderungen der Bemessungswasserstände durch Lastfall Klimaänderung</b>	<i>Gewässerbereich</i>	<i>HWS-Damm, links</i>	<i>HWS-Mauer, links</i>
	Abschnitt [km]	63+800 – 63+720 63+550 – 63+520	63+720 – 63+550
	Erhöhung der Bemessungswasserstände [m]	+0,30	+0,30
<b>Berücksichtigung der Klimaänderung bei der Planung</b>	Maßnahme	Damm erhöhen	Ufermauer erhöhen
	Mehrkosten, ca. [EUR]	4.000,-	17.000,-
<b>Nachträgliche Anpassung</b>	Maßnahme	innerhalb des Freibords von 50 cm Damm um 30 cm erhöhen, evtl. luftseitige Fußsicherung erforderlich (enge Verhältnisse)	innerhalb des Freibords von 50 cm Anpassung durch mobile Hochwasserschutz Elemente
	Mehrkosten, ca. [EUR]	11.000,-	56.000,-
<b>Zusammenfassende Bewertung</b>	<p>Im Falle einer nachträglichen Anpassung ergeben sich damit gegenüber der bestehenden Planung für die Gesamtmaßnahme Mehrkosten von insgesamt <i>ca. 56%</i>! Der Anteil an den Mehrkosten für die nachträgliche Erhöhung des Dammes beträgt lediglich <i>ca. 9%</i>.</p> <p>Bei Berücksichtigung der Klimaänderung bereits in der Planung belaufen sich die Mehrkosten insgesamt dagegen auf nur <i>18%</i>. Der Kostenanteil für die Erhöhung des Dammes beträgt dabei nur <i>ca. 4 %</i>.</p> <p>Die gesamten Mehrkosten für die oben dargestellten Maßnahmen sind also vor allem auf die erforderlichen kostenintensiven Anpassungen im Bereich der Ufermauer zurückzuführen. Die Erhöhung des Hochwasserschutzdammes um ca. 30 cm ist mit relativ geringem Aufwand durchführbar, wobei die Kosten im Falle einer nachträglichen Anpassung etwa doppelt so hoch liegen wie bei Berücksichtigung der Erhöhung bereits bei der Planung.</p> <p>Im vorliegenden Fall muss der luftseitige Dammfuß aufgrund der beengten Platzverhältnisse an Engstellen durch den Einbau einer Fußsicherung z.B. durch Blocksteine abgefangen werden.</p> <p>Durch die Erhöhung der Wasserspiegellagen können grundsätzlich zusätzliche Hochwasserschutzmaßnahmen in bisher noch nicht betroffenen Gewässerabschnitten erforderlich werden.</p>		



## Beispiel 12: Lokale Hochwasserschutzmaßnahmen in der Ortslage Calmbach / Enz

<b>Standort, Einzugsgebietsgröße</b>	Ortslage Calmbach an der Enz, $A_E$ ca. 209 km <sup>2</sup>		
<b>Maßnahmenkonzeption</b>	<p>Herstellung des Hochwasserschutzes im Bereich der Ortslage durch Neubau von Ufermauern mit einer Höhe von bis zu 1,3 m und ergänzenden Verwallungen. Das gewählte Freibord gegenüber dem Bemessungswasserstand beträgt aus optischen Gründen 0,3 m.</p> <p>Die Gesamtkosten für die geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen belaufen sich auf ca. 291.000 €.</p> <p>Die Konzeption wurde auf 100-jährliche Hochwasserabflüsse ausgelegt (BHQ). Gemäß der vorliegenden Werte für die Klimaänderung ist von einer Erhöhung der <math>HQ_{100}</math>-Werte um den Faktor <math>f_{T,K} = 1,2</math> auszugehen.</p>		
<b>Hinweise zur Bemessung</b>	<i>Gewässerbereich</i>	<i>Neubau Ufermauer, links</i>	<i>Neubau Ufermauer, rechts</i>
	Abschnitt [km]	80+743 – 80+673	80+814 – 80+549
Bemessungshochwasser, Ist	$BHQ_{Ist} (HQ_{100})$ [m <sup>3</sup> /s]	172	172
Lastfall Klimaänderung	$BHQ_{Klima} = 1,2 \cdot BHQ_{Ist}$ [m <sup>3</sup> /s]	206	206

### Beschreibung der Planung

#### 1. Bereich Ufermauer (km 80+743 bis 80+673)

Neubau einer ca. 70 m langen und bis zu 0,5 m hohen Ufermauer entlang des linken Ufers zum Schutz der dahinter liegenden Wohnbebauung vor ausbordenden Wassermassen.

Die Ufermauer soll durch Verwendung von Mauerfertigteilen hergestellt werden.



Blick nach unterstrom

#### 2. Bereich Ufermauer (km 80+814 bis 80+549)

Neubau einer ca. 260 m langen und bis zu 1,3 m hohen Ufermauer entlang des linken Ufers zum Schutz des dahinter liegenden Wohnbebauung vor ausbordenden Wassermassen.

Durch die Nähe der Gebäude zum Gewässer und die Nutzungsansprüche der Anlieger an die Flächen zwischen den Gebäuden und dem Gewässer ist die Schüttung eines Dammes nicht möglich.

Die Ufermauer soll aufgrund der beengten Verhältnisse zweckmäßigerweise mit Mauerfertigteilen hergestellt werden.

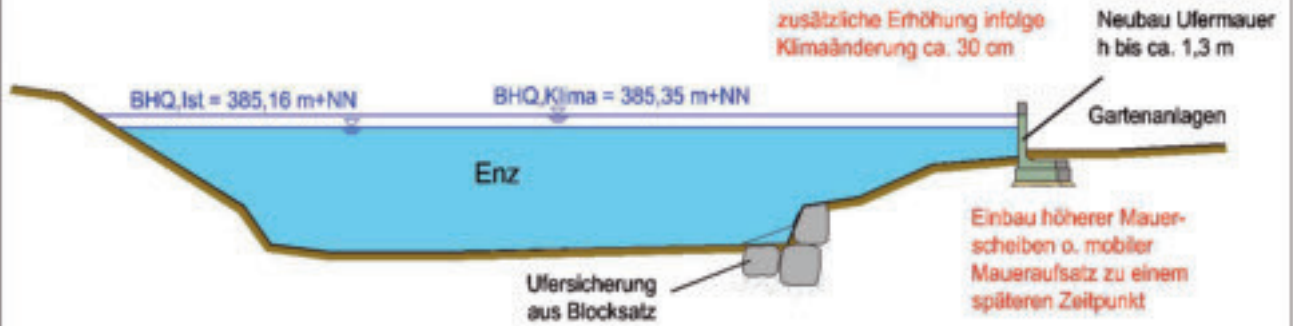


Blick nach oberstrom

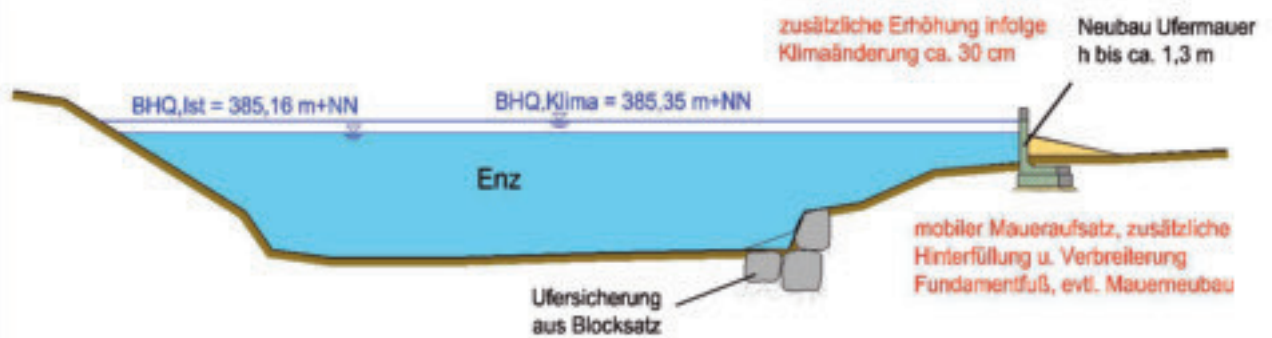
## Charakteristisches Querprofil

Enz-km 80+600

Berücksichtigung bei Planung



Nachträgliche Anpassung



Anpassung der lokalen Hochwasserschutzmaßnahmen auf den Lastfall Klimaänderung			
<b>Änderungen der Bemessungswasserstände durch Lastfall Klimaänderung</b>	<i>Gewässerbereich</i>	<i>Neubau Ufermauer, links</i>	<i>Neubau Ufermauer, rechts</i>
	Abschnitt [km]	80+743 – 80+673	80+814 – 80+549
	Erhöhung der Bemessungswasserstände [m]	+0,30	+0,30
<b>Berücksichtigung der Klimaänderung bei der Planung</b>	Maßnahme	Einbau höherer Mauerscheiben o. spätere Erhöhung mit mobilen Dammbalken	
	Mehrkosten, ca. [EUR]	7.000,-	23.000,-
<b>Nachträgliche Anpassung</b>	Maßnahme	innerhalb des Freibords von 30 cm Erhöhung mit mobilen Dammbalken	innerhalb des Freibords von 30 cm Erhöhung mit mobilen Dammbalken
	Mehrkosten, ca. [EUR]	36.000,-	123.000,-
<b>Zusammenfassende Bewertung</b>	<p>Im Falle einer nachträglichen Anpassung ergeben sich damit gegenüber der bestehenden Planung für die Gesamtmaßnahme Mehrkosten von insgesamt <i>ca. 56%!</i></p> <p>Bei Berücksichtigung der Klimaänderung bereits in der Planung belaufen sich die Mehrkosten insgesamt dagegen auf nur <i>10%</i>. Dabei wird angenommen, dass die Mauer bereits jetzt auf die Höhe infolge Klimaänderung hergestellt wird.</p> <p>Dies ist vor allem auf die erforderlichen kostenintensiven Anpassungen im Bereich der geplanten Ufermauern zurückzuführen. Nachträgliche Anpassungen sind schwierig und können u. Umständen aus Standsicherheitsgründen einen Neubau der Mauern erfordern, sofern luftseitige Anpassungen in Form von zusätzlichen Hinterfüllungen oder Verbreiterung der Gründung nicht möglich sind.</p> <p>Im vorliegenden Fall wird jedoch davon ausgegangen, dass eine nachträgliche mobile Anpassung der geplanten Ufermauern und bereichsweise erforderliche abstützende Maßnahmen auf der Luftseite möglich sind und durch die Anlieger geduldet werden (Beschränkung der Nutzung z.B. durch zusätzliche Hinterfüllungen). Sollte ein kompletter Neubau der bis zu 1,3 m hohen Ufermauer erforderlich werden, würden Mehrkosten von <i>ca. 125 %</i> entstehen.</p> <p>Dieses Beispiel zeigt anhand der möglichen auftretenden Kosten deutlich, dass bereits bei der Planung von Ufermauern die Gründung entsprechend großzügig ausgelegt werden sollte.</p>		

Abbildung 1:	Hochwasserschutz-Strategie in Baden-Württemberg	7
Abbildung 2:	Interaktion zum Risiko	9
Abbildung 3:	Arbeitsschritte zur Entwicklung ganzheitlicher Hochwasserschutzkonzeptionen	10
Abbildung 4:	Anhaltswerte für die Wahl des Hochwasserschutzgrades (Wiederkehrzeit $T_n$ ) in Baden-Württemberg für bestehende Nutzungsarten	11
Abbildung 5:	Begriffe bei Flussdeichen [DVWK M 210, 1986]	13
Abbildung 6:	Anwendung mobiler Schutzanlagen [BWK, 2004]	15
Abbildung 7:	Stauräume und Stauziele nach DIN 19700-11:2004-07	16
Abbildung 8:	Schemazeichnung eines Flusseinzugsgebietes mit einer Kombination von Hochwasserschutzmaßnahmen (einzugsgebietsbezogene Hochwasserschutzkonzeption)	21
Abbildung 9:	Pegelkarte Baden-Württemberg	24
Abbildung 10:	Neckar-Hochwassermarken in Heidelberg	25
Abbildung 11:	Starkniederschlagshöhen (Dauerstufe: 24 h, Wiederkehrzeit 100 a) im Winterhalbjahr (aus KOSTRA-Atlas) in Deutschland [DWD, 1997]	27
Abbildung 12:	Dauer-Intensitäts-Häufigkeitsdiagramm des KOSTRA-Rasterelementes Tübingen (27/88, Januar bis Dezember) [DWD, 1997] mit extrapolierten Werten [LAWA, 2005]	28
Abbildung 13:	Regionalisierte 100-jährliche Hochwasserabfluss-Spenden ( $H_{Q100}$ ) für Baden-Württemberg bezogen auf Gewässerknoten des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses [LfU, 2001]	31
Abbildung 14:	Räumliche Verteilung des 1.000-jährlichen Häufigkeitsfaktors $f_{T,K}$ in Baden-Württemberg [LfU, 2005]	34
Abbildung 15:	Ablauf einer Flussgebietsuntersuchung	36
Abbildung 17:	Regionen in Baden-Württemberg mit einheitlichen Klimaänderungsfaktoren für MHQ ( $f_{MHQ,K}$ )	42
Abbildung 18:	Regionen in Baden-Württemberg mit einheitlichen Klimaänderungsfaktoren für HQ <sub>100</sub> ( $f_{100,K}$ )	43
Abbildung 19:	Regionen in Baden-Württemberg mit einheitlichen Klimaänderungsfaktoren $f_{T,K}$	43
Abbildung 20:	Ablaufschema Festlegung Bemessungshochwasser	47

Tabelle 1:	Vorgaben für die Wahl der Bemessungshochwasserzuflüsse $BHQ_1$ und $BHQ_2$ nach DIN 19700:2004-07 für Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren	17
Tabelle 2:	Vorgaben für die Wahl der Bemessungshochwasserzuflüsse $BHQ_1$ und $BHQ_2$ nach DIN 19700-13:2004-07 für Staustufen	19
Tabelle 3:	Gebietskenngrößen und $HQ_{Tn}$ -Werte ausgewählter Gewässerstellen [LFU, 2001]	32
Tabelle 4:	Klimaänderungsfaktoren $f_{TK}$ in Baden-Württemberg (Stand: März 2005)	44
Tabelle 5:	Ablaufschema für die Festlegung des Bemessungshochwassers	48
Tabelle 6:	Ablaufschema für die Festlegung des Bemessungshochwassers (Fortsetzung)	49
Tabelle 7:	Ablaufschema für die Festlegung des Bemessungshochwassers (Fortsetzung)	50
Tabelle 8:	Bezugsquellen und Ansprechpartner für wichtige Unterlagen	51
Tabelle 9:	Ansprechpartner	51
Tabelle 10:	Anwendungsbeispiele	52

**ATV (1999):** „Arbeitsblatt ATV-A118, Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen“

---

**Beiträge zur Hydrographie des Großherzogtums Baden:** „Die Hochwassermarken im Großherzogtum Baden“; 13. Heft

---

**Buck, W. (2005):** „Festlegung eines angemessenen Hochwasserschutzgrades“; Heft 08.05 Hochwasservorsorge und Schutzkonzepte, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Hrsg. H.-B. Kleeberg, G.Meon, DWA, Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften Hennef

---

**BWG (2001):** „Hochwasserschutz an Fließgewässern“; Wegleitungen des Bundesamts für Wasser und Geologie (BWG), Bern

---

**BWG (2003):** „Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten, Praxishilfe“; Berichte des Bundesamts für Wasser und Geologie (BWG), Serie Wasser Nr. 4, Bern

---

**BWK (2001):** „Hochwasserschadenspotenziale“; Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e. V., Düsseldorf

---

**BWK (2004):** „Mobile Hochwasserschutzsysteme, Grundlagen für Planung und Einsatz“; Entwurf, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e. V., Pfullingen

---

**Daucher, H. (2004):** „Leitfaden Bemessungshochwasser“; Berichtsband zum elften Erfahrungsaustausch „Betrieb von Hochwasserrückhaltebecken in Baden-Württemberg“, 30.Juni 2004 in Rot am See

---

**DIN 1054 (2003):** „Baugrund, Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“; Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutschen Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin

---

**DIN 19661, Teil 1 (1998):** „Wasserbauwerke, Teil 1: Kreuzungsbauwerke, Durchleitungs- und Mündungsbauwerke“; Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutschen Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin

---

**DIN 19661, Teil 2 (2000):** „Richtlinien für Wasserbauwerke, Sohlenbauwerke, Teil 2: Abstürze, Absturztreppe, Sohlenrampen, Sohlengleiten, Stützwälle, Grundschrägen, Sohlenschwellen“; Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutschen Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin

---

**DIN 19700-10:2004-07 (2004):** „Stauanlagen – Teil 10: Gemeinsame Festlegungen“; Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutschen Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin

---

**DIN 19700-11:2004-07 (2004):** „Stauanlagen – Teil 11: Talsperren“; Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutschen Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin

---

**DIN 19700-12:2004-07 (2004):** „Stauanlagen – Teil 12:Hochwasserrückhaltebecken“; Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutschen Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin

---

**DIN 19700-13:2004-07 (2004):** „Stauanlagen – Teil 13:Staustufen“; Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutschen Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin

---

**DIN 19712 (1997):** „Flussdeiche“; Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutschen Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin

---

**DIN EN 752 (1996):** „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“, Deutsche Fassung der europäischen Normenreihe EN 752

---

**DKKV (2003):** „Hochwasservorsorge in Deutschland, Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet“; Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge

---

**DVWK M 202 (1991):** „Hochwasserrückhaltebecken“; Verlag Paul Parey, Hamburg

---

**DVWK M 209 (1989):** „Wahl des Bemessungshochwassers, Entscheidungswege zur Festlegung des Schutz- und Sicherheitsgrades“; Verlag Paul Parey, Hamburg

---

**DVWK M 210 (1986):** „Flussdeiche“; Verlag Paul Parey, Hamburg

---

- DVWK (1991):** „Starkniederschläge in der Bundesrepublik Deutschland. Erläuterungen und Ergänzungen zu KOSTRA“; DVWK-Schriften, Heft 97
- 
- DVWK (1997a):** „Starkniederschläge in der Bundesrepublik Deutschland. Erläuterungen und Ergänzungen zu KOSTRA“; DVWK-Schriften, Heft 97
- 
- DVWK (1997b):** „Maximierte Gebietsniederschlagshöhen für Deutschland“; Mitteilungen des DVWK, Heft 29
- 
- DWD, LfU (1976):** „Verteilungskurven der Niederschläge in Baden-Württemberg“; Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Hydrometeorologie, Offenbach
- 
- DWD (1990):** „Starkniederschlagshöhen für die Bundesrepublik Deutschland“; Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach
- 
- DWD (1997):** „Starkniederschlagshöhen für die Bundesrepublik Deutschland“; Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach
- 
- Gewässerdirektion Neckar (2001):** „Integrierte Konzeption Neckar-Einzugsgebiet, Dokumentation von Hochwasserständen, Arbeitshilfen für Gemeinden, Hochwasservorsorge – Hochwassermarken, Wasserstände“; IKoNE, Heft 3, Reutlingen
- 
- Grobe (1977):** „Die statistische Ermittlung von extremen Punktniederschlägen und deren Abminderung in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße“; Wasser und Boden, Heft 9
- 
- Ihringer, J. (2004a):** „Regionalisierte Hochwasserabflüsse – hydrologische Grundlagen zum Leitfaden Bemessungshochwasser“; Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik (IWK) der Universität Karlsruhe (TH), Rot am See
- 
- Ihringer, J. (2004b):** „Schätzung von extremen Abflüssen aus extremen Niederschlägen“; Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik (IWK) der Universität Karlsruhe (TH)
- 
- Ihringer, J. (2004c):** „Ergebnisse von Klimaszenarien und Hochwasserstatistik“; KLIWA-Berichte, Heft 4, Tagungsband zum 2. KLIWA-Symposium am 3./4.Mai in Würzburg
- 
- IWK (1999):** „Auswertung der HOWAS-Datenbank“; Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik (IWK) der Universität Karlsruhe (TH), HY98/15, Auftraggeber: DVWK und LAWA
- 
- Katzenberger, B. (2004):** „Bisherige Erkenntnisse aus KLIWA - Handlungsempfehlungen“; KLIWA-Berichte, Heft 4, Tagungsband zum 2. KLIWA-Symposium am 3./4.Mai in Würzburg
- 
- LAWA und BMV (1997):** „Pegelvorschrift“; 4. Auflage
- 
- LAWA (2005a):** „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)“; 7. Auflage 2005
- 
- LAWA (2005b):** „Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN)“
- 
- LfU (1999):** „Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg“; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Oberirdische Gewässer/ Gewässerökologie, Heft 54
- 
- LfU (2001):** „Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg CD“; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Oberirdische Gewässer/ Gewässerökologie, Heft 69
- 
- LfU (2002):** „Arbeitsanleitung des Pegel- und Datendienstes Baden-Württemberg“; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, ([http://www2.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt4/oberirdische\\_gewaesser/](http://www2.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt4/oberirdische_gewaesser/))
- 
- LfU (2003):** „Geodaten für die Wasserwirtschaft“; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Oberirdische Gewässer/Gewässerökologie, Heft 80
- 
- LfU (2002, 2003):** „Hydraulik naturnaher Fließgewässer“; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Oberirdische Gewässer/ Gewässerökologie, Heft 74 (Teil 1), 75 (Teil 2), 78 (Teil 3), 79 (Teil 4)
- 
- LfU (2004):** „Überströmbare Dämme und Dammscharten“; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Oberirdische Gewässer/ Gewässerökologie, Heft 90
-

**LfU (2005):** „Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg CD“; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Oberirdische Gewässer/ Gewässerökologie

---

**Mosonyi, E.; Buck, W. (1976):** „Die Auswahl des Bemessungshochwassers“; Wasserwirtschaft, Heft 7/8

---

**Schmidtke, R. (2004):** Praktikerseminar: „Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in Hochwasserschutzplanungen“; Wasserwirtschaftsverband Baden-Württemberg e. V., Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg und Technische Universität Darmstadt, Stuttgart

---

**Schultz, W. (2004a):** „Anforderungen an das Erstellen von Hochwasserschutzkonzepten in Baden-Württemberg“; Praktikerseminar: Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in Hochwasserschutzplanungen“, Wasserwirtschaftsverband Baden-Württemberg e.V., Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg und Technische Universität Darmstadt, Stuttgart

---

**Schultz, W. (2004b):** „Konsequenzen für Verwaltungshandeln“; Berichtsband zum elften Erfahrungsaustausch „Betrieb von Hochwasserrückhaltebecken in Baden-Württemberg“, 30. Juni 2004 in Rot am See

---

**Störk, K. (2004):** „DIN 19700 Teil 12“; Berichtsband zum elften Erfahrungsaustausch „Betrieb von Hochwasserrückhaltebecken in Baden-Württemberg“, 30. Juni 2004 in Rot am See

---

**Stalman, V.; Draschoff, R.; Günther, T. Pfister, A.; Prellberg, D. Verworn, H. Malitz, G. (2004):** „Das Niederschlagsregelwerk für die Deutsche Wasserwirtschaft“; Wasserwirtschaft, Heft 10/2004, S. 8 bis 27

---

**Strähle (2004):** „Zusammenfassung der Ergebnisse des 2. KLIWA-Symposiums mit Schlussfolgerungen für das Vorhaben der KLIWA“; KLIWA-Berichte, Heft 4, Tagungsband zum 2. KLIWA-Symposium am 3./4.Mai in Würzburg

---

**Straub, H. (2004):** „Hydrologische Grundlagen“; Berichtsband zum elften Erfahrungsaustausch „Betrieb von Hochwasserrückhaltebecken in Baden-Württemberg“, 30. Juni 2004 in Rot am See

---

**UVM (2003a):** „Anforderungen an das Erstellen von Hochwasserschutzkonzepten –Arbeitspapier des Ministeriums für Umwelt und Verkehr, Baden-Württemberg“

---

**UVM (2003b):** „Hochwassergefahr und Strategien zur Schadensminderung in Baden-Württemberg“; Eine Leitlinie des Ministeriums für Umwelt und Verkehr, des Innenministeriums und des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, Stuttgart

---

**UM, IM, WM (2005):** „Hochwassergefahrenkarten in Baden-Württemberg“, Stuttgart

---

**Wald, J. (2004):** „Auswirkungen der Klimaveränderungen auf Planungen - Praxisbeispiele“, 2. Symposium“; KLIWA-Berichte, Heft 4, Tagungsband zum 2. KLIWA-Symposium am 3./4.Mai in Würzburg

---



**Veröffentlichungen der Reihe  
Handbuch Wasser 2  
ISSN 0946-0675**

<b>Titel</b>	<b>Band</b>	<b>Jahr der Herausgabe</b>	<b>Preis (falls lieferbar)</b>	<b>Titel</b>	<b>Band</b>	<b>Jahr der Herausgabe</b>	<b>Preis (falls lieferbar)</b>
<b>Gewässerkundliche Beschreibung</b> Abflußjahr 1990	1	1991	vergriffen	<b>Umweltverträglichkeitsprüfung bei Wasserbauvorhaben nach § 31 WHG Leitfaden Teil I: Verfahren</b>	16	1994	vergriffen
<b>Bauweisen des naturnahen Wasserbaus Umgestaltung der Enz in Pforzheim</b>	2	1991	15 €	<b>Morphologischer Zustand der Fließgewässer in Baden-Württemberg</b> Auswertung und Interpretation der Ergebnisse der Übersichtskartierung 1992/93	17	1995	13 €
<b>Gewässerentwicklungsplanung</b> - Leitlinien -	3	1992	15 €	<b>Kontrolle des Japan-Knöterichs an Fließgewässern</b> II. Untersuchungen zu Biologie und Ökologie der neophytischen Knöterich-Arten	18	1995	15 €
<b>Übersichtskartierung der morphologischen Naturnähe von Fließgewässern (Methode)</b> - Vorinformation -	4	1992	vergriffen	<b>Gesamtkonzept Naturnahe Unterhaltung von Fließgewässern</b> Möglichkeiten, Techniken Perspektiven	19	1995	vergriffen
<b>Regionalisierung hydrologischer Parameter für Niederschlag-Abfluß-Berechnungen</b> - Grundlagenbericht - - Programmdiskette -	5	1992	vergriffen	<b>Naturnahe Umgestaltung von Fließgewässern</b> Teil III: Dokumentation der Entwicklung ausgewählter Pilotvorhaben, erste Zwischenberichte der Erfolgskontrolle	20	1995	vergriffen
<b>Ökologie der Fließgewässer</b> Niedrigwasser 1991	6	1992	20 €	<b>Umweltverträglichkeitsprüfung bei Wasserbauvorhaben nach § 31 WHG Leitfaden Teil III: Bestimmung des Untersuchungsrahmens, Untersuchungsmethoden</b>	21	1995	vergriffen
<b>Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung</b> - Arbeitsanleitung - - Programmdiskette -	7	1992	vergriffen	<b>Schadstoffdatei Rhein</b> Dokumentation	22	1996	vergriffen
<b>Verkrautung von Fließgewässern</b> Einflußfaktoren, Wechselwirkungen, Kontrollmaßnahmen - Literaturstudie -	8	1993	vergriffen	<b>Schadstofftransport bei Hochwasser</b> Neckar, Rhein und Donau im Januar 1995	23	1996	15 €
<b>Gewässerkundliche Beschreibung</b> Abflußjahr 1992	9	1993	15 €	<b>Schwermetalle in den Sedimenten der Fließgewässer Baden-Württembergs</b>	24	1996	11 €
<b>Kontrolle des Japan-Knöterichs an Fließgewässern</b> I. Erprobung ausgewählter Methoden	10	1994	vergriffen	<b>Bauweisen des naturnahen Wasserbaus</b> Dokumentation und Bewertung am Pilotprojekt Enz/Pforzheim 1990 - 1995	25	1996	vergriffen
<b>Gewässerrandstreifen</b> Voraussetzung für die naturnahe Entwicklung der Gewässer	11	1994	vergriffen	<b>Entwicklung der Fließgewässerbeschaffenheit - chemisch, physikalisch, biologisch -</b> Stand 1995	26	1996	11 €
<b>Gewässerkundliche Beschreibung</b> Hochwasser Dezember 1993	12	1994	13 €	<b>Das Abflußjahr 1994 - ein Hochwasserjahr</b>	27	1996	vergriffen
<b>Handbuch der stehenden Gewässer in Baden-Württemberg</b> Regierungsbezirke Freiburg, Karlsruhe und Stuttgart	13	1994	vergriffen	<b>Pilotprojekt "Konfliktarme Baggerseen (KaBa)"</b> - Statusbericht -	28	1997	vergriffen
<b>Handbuch der stehenden Gewässer in Baden-Württemberg</b> Regierungsbezirk Tübingen	14	1994	vergriffen	<b>Meßnetz-Zentrale</b> <b>Meßnetzprogramm</b>	29	1996	vergriffen
<b>Übersichtskartierung des morphologischen Zustands der Fließgewässer in Baden-Württemberg 1992/1993</b>	15	1994	13 €				

Titel	Band	Jahr der Herausgabe	Preis (falls lieferbar)	Titel	Band	Jahr der Herausgabe	Preis (falls lieferbar)	
<b>Pappeln an Fließgewässern</b>	30	1996	15 €	<b>Die Reihe „Handbuch Wasser 2“ wird unter der Bezeichnung „Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie“ fortgesetzt ISSN 1436-7882</b>				
<b>Rechtsgrundlagen der Gewässerunterhaltung</b> Teil I Überblick	31	1996	8 €		<b>Naturgemäße Bauweisen</b> Unterhaltungsmaßnahmen nach Hochwasserereignissen	47	1998	vergriffen
<b>Baggerseeuntersuchungen in der Oberrheinebene</b> Auswertung der Sommerbeprobung 1994 und Frühjahrsbeprobung 1995	32	1997	vergriffen		<b>Gewässerentwicklungsplanung</b> Teil I Grundlagen und Faltblatt	48	1998	vergriffen
<b>Nährstoff- und Schadstoffeinträge in Baggerseen (Literaturstudie)</b>	33	1996	15 €		<b>Gewässergütekarte Baden-Württemberg</b>	49	1998	vergriffen
<b>Biologische Freiwasseruntersuchungen Rhein-Neckar-Donau</b> - Planktonentwicklung - Bioaktivitäten - Stoffumsätze - 1994	34	1997	vergriffen		<b>Beschaffenheit der Fließgewässer</b> Jahreskatalog 1997 CD-ROM	50	1998	vergriffen
<b>Untersuchung der gentoxischen Wirkung von Gewässern und Abwässern</b>	35	1997	vergriffen		<b>Fließgewässerversauerung im Schwarzwald</b> Ökologische Bewertung auf der Basis des Diatomeenbenthons	51	1999	vergriffen
<b>Dammscharten in Lockerbauweise bei Hochwasserrückhaltebecken</b>	36	1997	12 €		<b>Ab- und Umbauprozesse in Baggerseen und deren Einfluß auf das Grundwasser</b> Literaturauswertung	52	1999	vergriffen
<b>Ökologische Bewertung von Fließgewässern in der Europäischen Union und anderen Ländern (Literaturstudie)</b>	37	1997	vergriffen		<b>Die Gewässerlandschaften Baden-Württembergs</b>	53	1999	vergriffen
<b>Saisonale, horizontale und vertikale Zooplankton-verteilungsmuster</b> Eine Fallstudie für den Grötzingen Baggersee	38	1997	vergriffen		<b>Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeit in Baden-Württemberg</b>	54	1999	41 €
<b>Methodologische Untersuchungen zur Ermittlung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs des Sediments und des Wasserkörpers in den Baggerseen der Oberrheinebene</b>	39	1997	vergriffen		<b>Unterhaltung und Pflege von Gräben</b>	55	1999	11 €
<b>Biologische Freiwasseruntersuchungen in Rhein, Neckar, Donau.</b> Berichtsjahr 1995-1996	40	1997	6 €		<b>Hydrochemische und biologische Merkmale regionaler Bachtypen in Baden-Württemberg</b>	56	1999	vergriffen
<b>Regionale Bachtypen in Baden-Württemberg</b> Arbeitsweisen und exemplarische Ergebnisse an Keuper- und Gneisbächen	41	1997	18 €		<b>Die heutige potentielle natürliche Vegetation an Fließgewässern in Baden-Württemberg</b>	57	1999	vergriffen
<b>Statistische Untersuchung langfristiger Veränderungen des Niederschlags in Baden-Württemberg</b>	42	1997	vergriffen		<b>Überwachung der Fließgewässerbeschaffenheit in Baden-Württemberg</b> - Vorgehenskonzept -	58	1991	kostenfrei
<b>Studie über ökohydraulische Durchlaufbauwerke für regulierbare Hochwasserrückhalteräume</b>	43	1998	vergriffen		<b>Beschaffenheit der Fließgewässer</b> Jahresdatenkatalog 1998 CD-ROM (ab	59	2000	vergriffen
<b>Gewässerentwicklung in Baden-Württemberg</b> Teil II Gewässerentwicklungskonzept - Loseblattsammlung -	44	1998	vergriffen		<b>Niederschlagsdaten Baden-Württemberg</b>	60	2000	vergriffen
<b>Rauhe Rampen in Fließgewässern</b>	45	1998	vergriffen		<b>Zustand der Baggerseen in der Oberrheinebene</b>	61	2000	9 €
<b>Gewässergeometrie</b>	46	1998	vergriffen					

Titel	Band	Jahr der Herausgabe	Preis (falls lieferbar)
<b>Seenphysikalische Prozesse in Baggerseen</b> Modellgestützte Bewertungs – und Entscheidungshilfen -	62	2000	15 €
<b>Anlagen zur Herstellung der Durchgängigkeit von Fließgewässern</b>	63	2000	16 €
<b>Beschaffenheit der Fließgewässer</b> Jahresdatenkatalog 1999 CD-ROM	64	2001	vergriffen
<b>Das Hochwasser vom Oktober/ November 1998</b>	65	2000	12 €
<b>Fließgewässer in Baden-Württemberg als Lebensraum ausgewählter Artengruppen</b>	66	2001	9 €
<b>Untersuchungen zum Vorkommen von Xenobiotika in Schwebstoffen und Sedimenten Baden-Württembergs</b>	67	2001	9 €
<b>Schadstoff-Informationssystem-Wasser (SIWAS)</b> CD-ROM	68	2001	15 €
<b>Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg</b> CD-ROM	69	2001	vergriffen
<b>Gewässerstruktur-gütekartierung in Baden-Württemberg</b>	70	2001	11 €
<b>Beschaffenheit der Fließgewässer</b> Jahresdatenkatalog 2000 CD-ROM	71	2002	vergriffen
<b>Gewässerentwicklung in Baden-Württemberg</b> <b>Leitfaden Teil 3</b> Arbeitsanleitung zur Erstellung von Gewässerentwicklungsplänen	72	2002	12 €
<b>Aromatische Sulfonate in Oberflächengewässern, Schwebstoffen und Sedimenten Baden-Württembergs</b>	73	2002	9 €
<b>Hydraulik naturnaher Fließgewässer</b> Teil 1 - Grundlagen und empirische hydraulische Berechnungsverfahren	74	2002	11 €
<b>Hydraulik naturnaher Fließgewässer</b> Teil 2 – Neue Berechnungsverfahren für naturnahe Gewässerstrukturen	75	2002	12 €
<b>Beschaffenheit der Fließgewässer</b> Jahresdatenkatalog 2001	76	2003	vergriffen
<b>Erfahrungsaustausch und Zusammenarbeit der Länder zur Verbesserung der Hochwasservorhersage für große Flussgebiete am 14. und 15. Januar 2003 in Karlsruhe</b>	77	2003	kostenfrei
<b>Hydraulik naturnaher Fließgewässer</b> Teil 3 - Rauheits- und Widerstandsbeiwerte für Fließgewässer in Baden-Württemberg	78	2003	11 €

Titel	Band	Jahr der Herausgabe	Preis (falls lieferbar)
<b>Hydraulik naturnaher Fließgewässer</b> Teil 4 – Numerische Modelle zur Strömungssimulation	79	2003	9 €
<b>Geodaten für die Wasserwirtschaft</b> Vermessung bis Datenservice	80	2003	9 €
<b>Zentrales Baggerseeinformationssystem</b> ZeBIS	81	2003	30 €
<b>Entwicklung der Fließgewässerbeschaffenheit in Baden-Württemberg</b> Gütebericht 2002 inklusive Jahresdatenkatalog 1972 – 2002 auf CD-ROM	82	2004	10 €
<b>Arbeitshilfe Baggerseerestaurierung</b> Restaurierungsrelevante Typologie von Baggerseen un Ermittlung von Restaurierungsbedarf und Restaurierungsziel	83	2004	15 €
<b>Technische Verfahren zur Restaurierung von Baggerseen</b> Verfahrensbeschreibung und Leistungsbewertung	84	2004	24 €
<b>Das Niedrigwasserjahr 2003</b>	85	2004	kostenfrei
<b>Mittlere Abflüsse und Mittlere Niedrigwasserabflüsse in Baden-Württemberg</b>	86	2004	35 €
<b>Makrophyten in Baggerseen der Oberrheinebene</b> Kartierung und Bestimmungsschlüssel	87	2004	12 €
<b>Kiesgewinnung und Wasserwirtschaft</b> Empfehlungen für die Planung und Genehmigung des Abbaues von Kies und Sand	88	2004	15 €
<b>Gewässerstrukturkarte Baden-Württemberg 2004</b>	89	2004	22 €
<b>Überströmbare Dämme und Dammscharten</b>	90	2004	9 €
<b>Gewässergütekarte Baden-Württemberg 2004</b>	91	2005	22 €

