



Hydraulische Bemessung von Wehren

Hinweise und Beispiele zur Vorgehensweise

1 Einleitung

Der vorliegende BAWBrief beschreibt die Vorgehensweise bei der hydraulischen Bemessung von Wehren in der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Der Leitfaden berücksichtigt einerseits die Klassifizierung nach der DIN 19700 Stauanlagen-Teil 13: Staustufen (DIN 19700-13:2019-06) als Grundlage für die Festlegung der Bemessungshochwasserzuflüsse, andererseits werden Handlungsempfehlungen zur Darstellung des technischen Sachverhalts im Rahmen der Herstellung des wasserwirtschaftlichen Einvernehmens gegeben, insbesondere während der Revision und für die Wahl der Bemessungshochwasserzuflüsse während der Bauzeit.

Staustufen bestehen aus Wehr und Stauhaltung sowie je nach Nutzung aus weiteren Betriebsanlagen, wie Schleuse, Wasserkraftwerk oder Anlagen zur Herstellung der Durchgängigkeit. Zusätzlich können zu Staustufen auch Stauhaltungsdämme und Deiche gehören, deren Bemessung das BAWMerkblatt zur Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD) (BAW 2011)

sowie die DIN-Norm zu Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern (DIN 19712:2013-01) regeln. In diesem Leitfaden liegt der Fokus auf der hydraulischen Bemessung von Wehren, die in Abhängigkeit von der Fallhöhe bei Mittelwasserabfluss (MQ) und aufgrund des Gefährdungspotenzials in drei Klassen eingestuft werden. Die Klasse hat Auswirkungen auf die anzusetzende Größe des Bemessungshochwasserzuflusses zur Bestimmung der Bemessungswasserstände.

2 Grundlagen für die hydraulische Bemessung

2.1 Klassifizierung von Staustufen

Zu Beginn der Bemessung muss eine Klassifizierung der Staustufe gemäß DIN 19700-13:2019-06 erfolgen. Ziel dieser Klassifizierung ist die Festlegung der anzusetzenden Bemessungshochwasserzuflüsse. Die Klassifizierung erfolgt auf der Grundlage einer Betrachtung quer zur Fließrichtung (laterales Kriterium) und einer

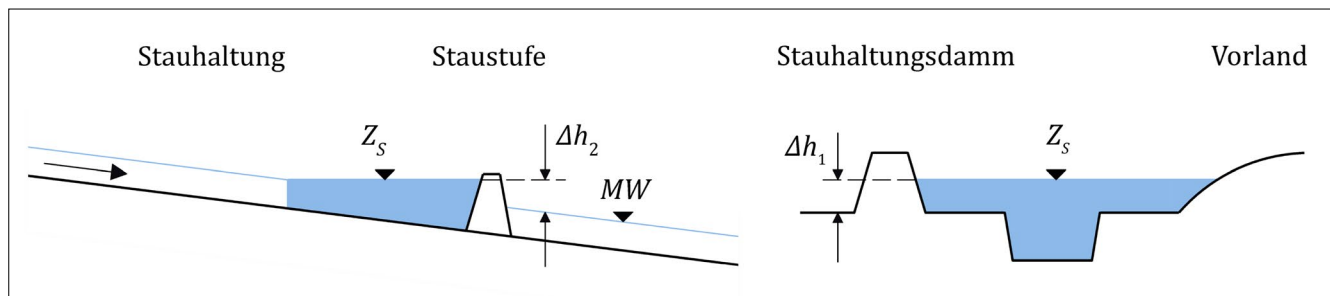


Bild 1: Longitudinales Kriterium (links) und laterales Kriterium (rechts) in Anlehnung an DIN 19700-13:2019-06

Betrachtung in Fließrichtung (longitudinales Kriterium) in Kombination mit dem jeweiligen Schadenspotenzial in der Stauhaltung. Die Vorgehensweise wird in Kapitel 3 der DIN 19700-13:2019-06 beschrieben.

Hinweis: Im Gegensatz zu einem Deich, der dem Hochwasserschutz dient (DIN 19712:2013-01), ist ein Stauhaltungs-damm permanent eingestaut. Das Stauziel Z_s liegt dabei höher als das binnenseitig anschließende Gelände.

2.1.1 Longitudinales Kriterium

Im ersten Schritt wird empfohlen, zunächst die Höhendifferenz Δh_2 am Wehr (Fallhöhe) zwischen dem Stauziel Z_s und dem Unterwasserstand bei Mittelwasserabfluss (MQ) zu bestimmen (Bild 1, links). Hierfür muss das Mittelwasser (MW) bekannt sein oder eine entsprechende Schlüsselkurve im Unterwasser der Staustufe vorliegen, um den Unterwasserstand bei MQ zu ermitteln. Im zweiten Schritt sollte das Schadenspotenzial nach den Objektkategorien in Tabelle 3 in DIN 19700-13:2019-06 bestimmt werden. Da dies nicht immer eindeutig möglich ist, muss die Bewertung abschließend in Abstimmung mit den Wasserbehörden der Bundesländer erfolgen. Sollte sich bereits aus der kombinierten Betrachtung in Tabelle 2 in DIN 19700-13:2019-06 die Klasse I ergeben, muss das laterale Kriterium nicht weiter betrachtet werden.

2.1.2 Laterales Kriterium

Sofern Stauhaltungsdämme vorhanden sind und die Klassifizierung nach dem longitudinalen Kriterium die Klasse II oder Klasse III ergibt, sind Querprofile von der gesamten Stauhaltung heranzuziehen, um die größte Höhendifferenz Δh_1 (Wasserstand über Gelände) zwischen dem Stauziel Z_s und der zugehörigen Höhe des luftseitigen Dammfußes der Stauhaltungsdämme zu ermitteln (Bild 1, rechts). Ergibt sich nach Tabelle 1 in DIN 19700-13:2019-06 im Vergleich zum longitudinalen Kriterium eine höhere Klasse, wird diese maßgebend.

2.2 Bemessungshochwasserzuflüsse BHQ_1 und BHQ_2

In Abhängigkeit von der ermittelten Staustufenklasse ergeben sich die jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten der Bemessungshochwasserzuflüsse BHQ_1 und BHQ_2 nach Tabelle 4 (DIN 19712:2013-01). Die Bemessungswasserzuflüsse werden statistisch ermittelt und von den Landesbehörden festgelegt. Sie können in der Regel bei der Gewässerkunde der Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter (WSA), beim Dezernat für Gewässerkunde, Wasserbewirtschaftung (U12) der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) oder bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) angefragt werden. Sie müssen nicht selbst bestimmt werden.

2.3 Unterscheidung zwischen voll- und teilregelnden Wehren

Für die hydraulische Bemessung von beweglichen Wehren ist eine Unterscheidung in Wehre mit voller und mit begrenzter Regelung des Oberwasserstandes erforderlich. Die Unterscheidung erfolgt anhand des Bemessungshochwasserzuflusses BHQ_1 (Bild 2).

Teilregelnde Wehre regeln den Oberwasserstand planmäßig nur bis zu einem Hochwasserzufluss HQ_x , der kleiner ist als BHQ_1 (Bild 2, links). Der Unterwasserstand beeinflusst in der Regel den Oberwasserstand, das Wehr verliert die Abflusskontrolle und die Abflussverhältnisse

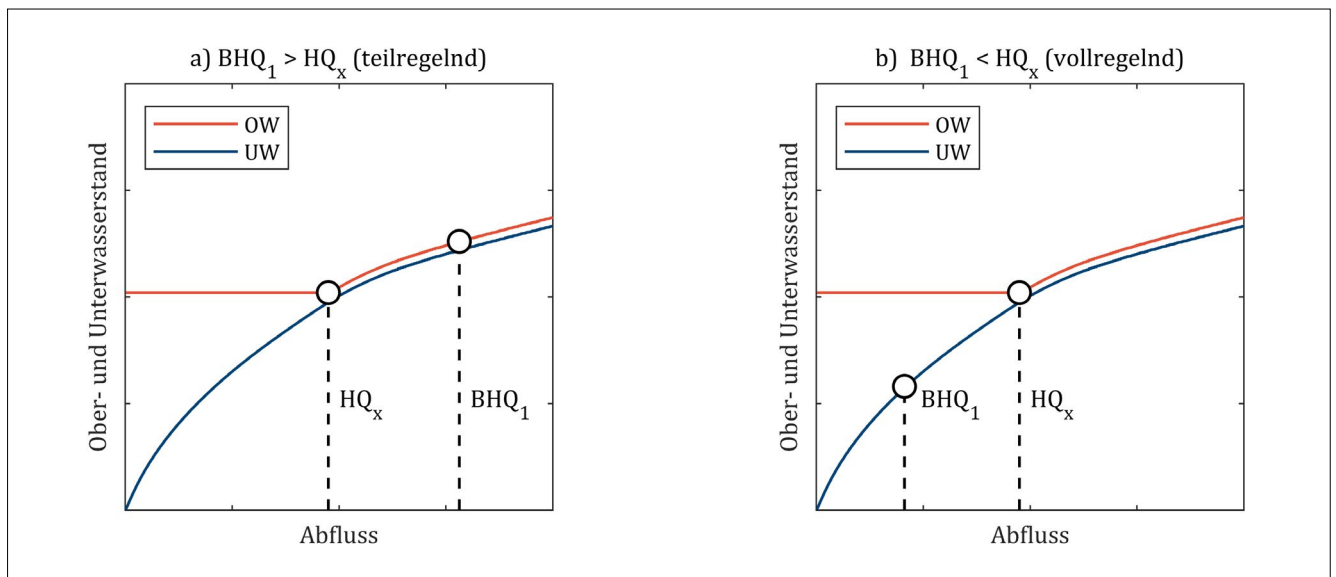


Bild 2: Unterscheidung in teil- und vollregelnde Wehre anhand der Wasserstands-Abflussbeziehungen im Ober- (OW) und Unterwasser (UW) eines Wehrs

nähern sich der freifließenden Situation vor dem Bau der Staustufe an. Dieser Fall ist für Wehre an Bundeswasserstraßen häufig zu erwarten.

Vollregelnde Wehre regeln den Oberwasserstand mindestens bis zum Bemessungshochwasserzufluss BHQ_1 (Bild 2, rechts). Dabei handelt es sich um sehr leistungsfähige Wehre, die auch bei BHQ_1 eine Abflusskontrolle ausüben, sodass der Oberwasserstand das Stauziel Z_S nicht überschreitet. Das Stauziel kann dann möglicherweise bei BHQ_2 überschritten werden, was für die Unterscheidung in voll- und teilregelnde Wehre jedoch nicht relevant ist.

Die Unterscheidung erfolgt vor dem Hintergrund, dass sich bei teilregelnden Wehren für die Bemessungsabflüsse – außer im Stör- oder Revisionsfall – keine Auswirkungen auf den Oberwasserstand ergeben, da der Anstieg im Wesentlichen durch den Querschnitt, die Rauheit und das Gefälle des Gewässers bestimmt wird. Daher entfällt auch der Nachweis für den Hochwasserbemessungsfall 2.

2.4 Stör- oder Revisionsfall beim BHQ_1

Die hydraulische Bemessung basiert auf dem Grundprinzip, dass bewegliche Wehre so ausgelegt werden müssen, dass der Bemessungshochwasserzufluss BHQ_1 bei Ausfall des leistungstärksten Wehrfeldes abgeführt

werden kann. Dieser Ansatz wird als $(n-1)$ -Fall bezeichnet und berücksichtigt die Nichtverfügbarkeit eines Wehrfeldes aufgrund eines Stör- oder Revisionsfalls (Bild 3, siehe Seite 4). Die korrespondierende Wasserspiegelhöhe ist $Z_{H1,n-1}$ und ist in der Regel höher als $Z_{H1,n}$, da der Abflussquerschnitt kleiner ist. Bei teilregelnden Wehren sind die Auswirkungen in der Regel geringer, weil die Verhältnisse sich bereits einem freifließenden Gewässer angenähert haben. In der hydraulischen Bemessung ist einerseits die Wasserspiegelhöhe $Z_{H1,n-1}$ zu ermitteln; andererseits ist nachzuweisen, dass die Stauanlage das BHQ_1 bei $Z_{H1,n-1}$ schadlos abführen kann.

In begründeten Fällen kann von $(n-1)$ abgewichen werden, wie z. B. bei stromlos absenkbaren Aufsatzklappen, Schlauchwehren und durchströmbaren oder schnell entfernbaren Revisionsverschlüssen. Dies wird als $(n-a)$ bezeichnet, wobei a dem Abflussanteil entspricht, der im Wehrfeld nicht der Hochwasserabfuhr zur Verfügung steht. Die Abweichung von $(n-1)$ muss begründet und der entsprechende Bemessungswasserstand $Z_{H1,n-a}$ am Wehr ermittelt werden.

In den meisten Fällen wird der Revisionsfall und damit der $(n-1)$ -Fall für die Ermittlung des Bemessungswasserstandes $Z_{H1,n-1}$ maßgebend sein, da die Revisionsverschlüsse in der Regel nicht rechtzeitig, d. h. beim Eintritt des Bemessungshochwasserzuflusses BHQ_1 , entfernt werden können.

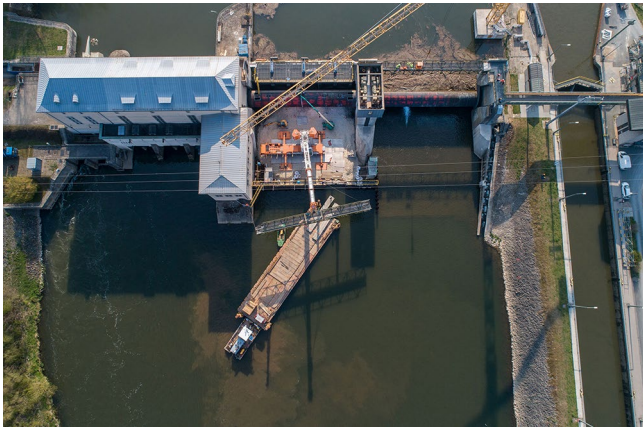


Bild 3: ($n-1$)-Fall durch Umbaumaßnahmen im Wehrfeld (links) und bei gesetzten Revisionsverschlüssen (rechts)

Relevante Hochwasserbemessungsfälle

Gemäß DIN 19700-13:2019-06 ist es erforderlich, den Bemessungshochwasserzufluss BHQ_1 ohne Überschreitung des für diesen Fall festgelegten Wasserspiegels schadlos für die Stauanlage abzuführen. Dies gilt sowohl für den n -Fall als auch für den $(n-a)$ -Fall. Da die Erstausgabe der DIN 19700 im Februar 1953 veröffentlicht wurde und die meisten Wehre in der WSV älter sind, gibt es für BHQ_1 häufig keine festgelegten Wasserspiegel. Für diese Wehre sind die Bemessungswasserstände erstmalig zu ermitteln und bei der Bemessung der Absperrbauwerke (Wehr und Stauhaltungsdämme) zugrunde zu legen.

Im Hochwasserbemessungsfall 1 (BHQ_1) sind sowohl bei teil- als auch bei vollregelnden Wehren die Bemessungswasserstände $Z_{H1,n}$ und $Z_{H1,n-a}$ zu ermitteln. Bei vollregelnden Wehren entspricht der Bemessungswasserstand $Z_{H1,n}$ meist dem Stauziel Z_S . Bei teilregelnden Wehren wird der Unterschied zwischen den Bemessungswasserständen $Z_{H1,n}$ und $Z_{H1,n-a}$ nicht so groß ausfallen wie bei einem vollregelnden Wehr (siehe auch Kapitel 2.4).

Bei vollregelnden Wehren ist außerdem der Hochwasserbemessungsfall 2 (BHQ_2) zu betrachten. Dabei dürfen alle Wehrfelder und alle zusätzlichen Entlastungsmöglichkeiten (Turbinendurchfluss, Schiffschleusen, steuerbare seitliche Umläufe) berücksichtigt werden, sofern die technischen Voraussetzungen dafür gegeben sind. Daraus ergibt sich der Bemessungswasserstand $Z_{H2,n}$ (Bild 4).

Die Bemessungswasserstände $Z_{H1,n}$, $Z_{H1,n-a}$ und $Z_{H2,n}$ in Bild 4 beschreiben die Bemessungssituationen für Stau-stufen mit vollregelnden Wehren. Bei teilregelnden Wehren (Abschnitt 2.3) entfällt $Z_{H2,n}$.

In Bild 4 bedeuten:

Z_S	[m+NHN]	Stauziel, die beim Regelbetrieb zulässige größte Wasserspiegelhöhe
$Z_{H1,n}$	[m+NHN]	Wasserspiegelhöhe bei BHQ_1 im n -Fall
$Z_{H1,n-a}$	[m+NHN]	Wasserspiegelhöhe bei BHQ_1 im $(n-a)$ -Fall
$Z_{H2,n}$	[m+NHN]	Wasserspiegelhöhe bei BHQ_2 im n -Fall

Die Vorgehensweise bei der hydraulischen Bemessung von teil- und vollregelnden Wehren ist in Bild 5 dargestellt. Die Bemessungssituationen sind außerdem im Anhang A der DIN 19700-13:2019-06 aufgeführt.

Bei festen Wehren stellt sich der jeweilige Oberwasserspiegel abhängig vom Abfluss ein. Sie sind nach DIN 19700-13:2019-06 so zu bemessen, dass der Bemessungshochwasserzufluss BHQ_2 sicher abgeführt werden kann.

Wenn Stauhaltungsdämme vorhanden sind, die dem Hochwasserschutz dienen – was häufig bei vollregelnden Wehren der Fall ist –, muss der Freibord im n -Fall und im $(n-a)$ -Fall bewertet werden. Die Mindesthöhenlage der Dammkrone ergibt sich aus den Bemessungswasserständen $Z_{H1,n}$, $Z_{H1,n-a}$ und $Z_{H2,n}$ und dem zugehörigen Freibord. Die jeweils größte Höhe der drei Kombinationen ist

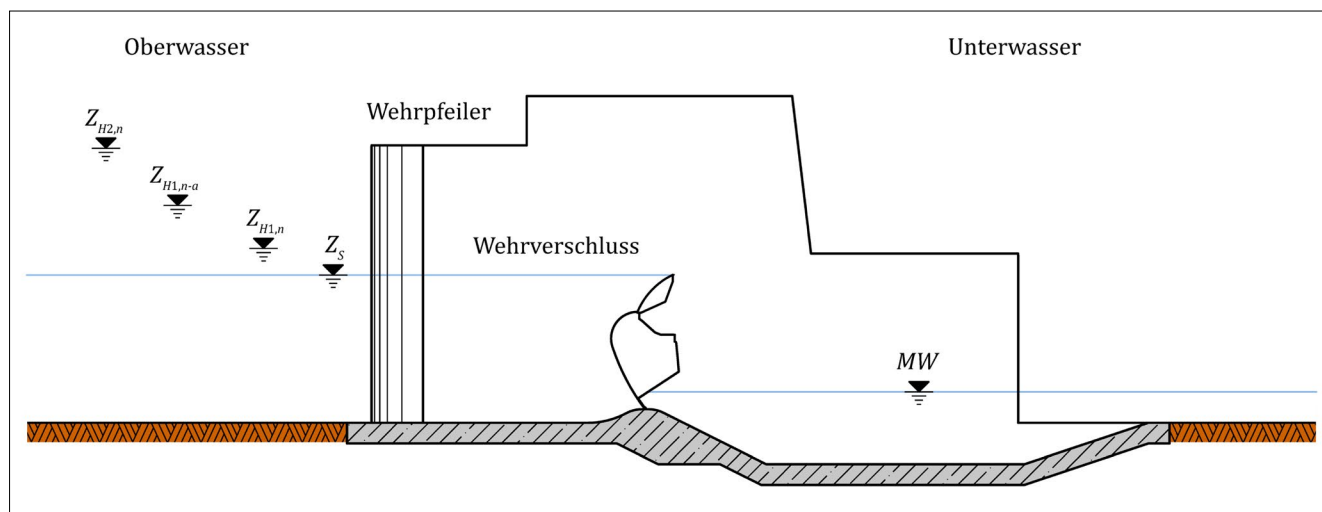


Bild 4: Stauziele im Normalbetrieb und im Hochwasserfall)

maßgebend. Für $Z_{H2,n}$ empfiehlt DIN 19700-13:2019-06 einen Freibord von 0,3 m. Die Höhe von Stauhaltungs-dämmen bei teilregelnden Wehren, die nicht dem Hochwasserschutz, sondern beispielsweise der Gewährleistung der Betriebswasserstände dienen, ist im Einzelfall festzulegen. Dabei ist das Technische Regelwerk – Wasserstraßen (TR-W) zu beachten.

Wenn keine Stauhaltungs-dämme vorhanden sind, was häufig bei teilregelnden Wehren der Fall ist, sollte in einer Risikobetrachtung untersucht werden, wie sich die Bemessungswasserstände $Z_{H1,n}$ und $Z_{H1,n-a}$ auf die Wasserspiegellagen und die Überflutungsflächen in der Stauhaltung auswirken. Dies kann beispielsweise mit den numerischen Modellen der Bundesländer erfolgen, die unter anderem für die Festlegung der Hochwassergefahrenkarten, Hochwasserrisikokarten und Hochwasserrisikobewertungskarten erstellt wurden.

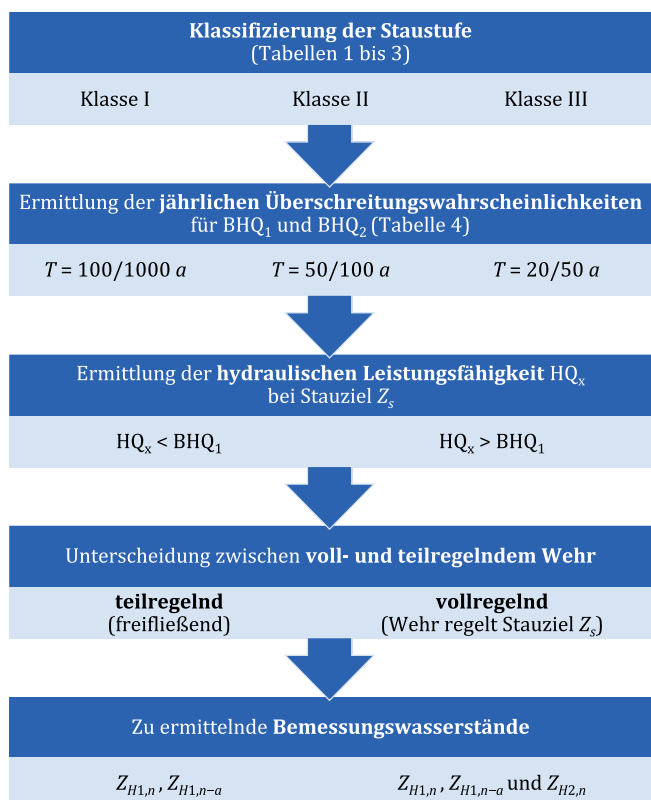


Bild 5: Vorgehensweise bei der hydraulischen Bemessung von teil- und vollregelnden Wehren (Hinweis: Tabellen 1 bis 4 aus DIN 19700-13:2019-06)

3 Auswirkungen auf den Hochwasserschutz

Gemäß DIN 19700-13:2019-06 ist bei einem Neubau für den Bemessungshochwasserzufluss BHQ_1 im n -Fall nachzuweisen, dass keine signifikant größeren nachteiligen Auswirkungen im Vergleich zur Situation ohne Staustufe auftreten. Diese Forderung ist in der Regel nur mit einem teilregelnden Wehr zu erfüllen. Bei vollregelnden Wehren sind die Wasserspiegellagen im Oberwasser bei BHQ_1 höher, in der Folge übernehmen die Anlagenteile der Staustufe auch die Funktion des Hochwasserschutzes. Dies betrifft insbesondere die Stauhaltungs-dämme, deren Dimensionierung in Abschnitt 6 der DIN 19700-13:2019-06 festgelegt ist.

Der Neubau einer Staustufe an einer Bundeswasserstraße ist heute ein Ausnahmefall, üblicherweise handelt es sich um Ersatzneubauten bereits bestehender Anlagen.

Im Zusammenhang mit einem Ersatzneubau wird immer wieder von der „Hochwasserneutralität“ der Maßnahme gesprochen. Dieser Begriff wurde nach dem Elbe-Hochwasser 2002 geprägt. Im Ergebnis sind nach dem Bundeswasserstraßengesetz (WaStrG) Auswirkungen auf den Hochwasserschutz, die mehr als geringfügig sind, zu vermeiden. Maßnahmen, die dies erfüllen, gelten folglich als hochwasserneutral. Dazu ist eine Einzelfallbetrachtung erforderlich und das wasserwirtschaftliche Einvernehmen gemäß § 4 WaStrG herzustellen. Dies gilt sowohl für die Unterhaltung als auch für den Ausbau (vgl. §§ 8 Abs. 1 S. 5 und 12 Abs. 7 S. 4 WaStrG).

Für die hydraulische Bemessung des Ersatzneubaus oder Umbaus ist daher der Nachweis zu erbringen, dass die Wasserspiegellage bei BHQ_1 im n -Fall die der Altanlage nicht mehr als geringfügig überschreitet. Der $(n-1)$ -Fall muss für diesen Nachweis nicht betrachtet werden. Der Nachweis ist nicht erneut zu führen, wenn beispielsweise geänderte hydrologische Randbedingungen, z. B. infolge von Klimaprojektionen, festgestellt werden.

4 Bauzustände

Nach DIN 19700-13:2019-06 sind neben den Betriebszuständen, die bei der Einhaltung des Stauziels auftreten können, auch Zwischenzustände zu prüfen, die sich z. B. aus dem Bauablauf der Staustufe bzw. einer Teilstauerriichtung ergeben können. Eine Grundinstandsetzung oder Bauzustände beim Ersatzneubau stellen hierbei keine regulären Bemessungsfälle nach DIN 19700-13:2019-06 und DIN 19712:2013-01 dar. Wenn dadurch eine zeitlich begrenzte Einengung des Abflussquerschnittes erfolgt, sollte geprüft werden, ob diese Maßnahmen in abflussärmeren Zeiten erfolgen können.

Während des Baus können die Oberwasserstände höher sein als beispielsweise im $(n-1)$ -Fall. Grundsätzlich gilt, je kürzer die Bauzeit, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass währenddessen ein Hochwasser mit einer bestimmten Jährlichkeit eintritt. Wenn sich durch den gleichzeitigen Umbau von mehr als einem Wehrfeld eine Verkürzung der Bauzeit ergibt, so kann die Eintrittswahrscheinlichkeit beispielsweise nach Kirnbauer (1981) mithilfe von Gleichung (1) berechnet werden, die aus der Wahrscheinlichkeitsfunktion einer Binomialverteilung abgeleitet werden kann:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (1)$$

Mit:

R : hydrologisches Risiko (Eintrittswahrscheinlichkeit)

T : Jährlichkeit des Ereignisses

n : Lebensdauer in Jahren (Anlage, Mensch etc.)

Für die Festlegung der Jährlichkeit des Bemessungshochwasserzuflusses ($BauHQ$) während der Bauzeit ist eventuell folgende Überlegung hilfreich: Nach DIN 19700-13:2019-06 ist für eine Staustufe der Klasse 1 für den Bemessungshochwasserzufluss BHQ_1 ein HQ_{100} ($T = 100$ a) anzunehmen. Die Staustufe wird in der Regel ebenfalls für eine Lebensdauer von 100 Jahren bemessen. Der $BauHQ$ kann mithilfe von Gleichung (1) so bestimmt werden, dass dessen Eintrittswahrscheinlichkeit während der Bauzeit ähnlich hoch ist, wie der Eintritt des BHQ_1 über die Nutzungsdauer der Staustufe. Beträgt die Bauzeit beispielsweise 10 Jahre, dann entspricht der $BauHQ$ in etwa einem HQ_{10} oder, vereinfacht ausgedrückt, die Jährlichkeit eines $BauHQ$ entspricht in etwa der Bauzeit.

Gemäß DIN 19712:2013-01 sind die Bau- oder Instandsetzungsmaßnahmen der vorübergehenden Bemessungssituation zugeordnet. Ein bauzeitlicher Bemessungshochwasserstand ($BauHW$) darf unter Berücksichtigung der Dauer der Maßnahme festgelegt werden. In DWA (2011) wird für den $BauHW$ zusätzlich gefordert, dass grundsätzlich geeignete Sicherungsmaßnahmen für den Fall der Überschreitung des $BauHW$ vorzusehen sind.

Die Festlegung des $BauHW$ für die Höhe der Baugrubenumschließung ist somit nicht explizit geregelt und muss unter Berücksichtigung der Bau- und Risikokosten erfolgen. Die Abwägung erfolgt durch den Bauherrn. Die Jährlichkeit ist in der Regel geringer als die Jährlichkeit für die Bewertung des Hochwasserschutzes und liegt typischerweise im Bereich $2 a < T < 20 a$.

Die Staustufen der WSV stehen aufgrund ihrer Größe und ihrer Bedeutung oft im besonderen Fokus der Öffentlichkeit, insbesondere wenn das Schadenspotenzial hoch ist. Daher kann es zur Herstellung des wasserwirtschaftlichen Einvernehmens hilfreich sein, wenn für die Bauzeit eine Risikobetrachtung für ein zusätzlich blockiertes Wehrfeld durchgeführt wird, den sogenannten $(n-2)$ -Fall. Der $(n-2)$ -Fall ist zwar nicht bemessungsrelevant

für die Anlage oder den Hochwasserschutz, er kann aber dazu dienen, die Auswirkungen auf bestehende Alarm- und Einsatzpläne für den Hochwasserfall anzupassen, da die Ausuferungen bereits bei kleineren Abflüssen erfolgen und mobile Hochwasserschutzmaßnahmen unter Umständen früher gestellt werden müssen.

5 Revisionszustände bei Hochwasserzuflüssen kleiner als BH_{Q_1}

Die WSV ist einerseits nach der VV-WSV 2101 (BMDV 2022) verpflichtet, an den Verkehrswasserbauwerken regelmäßig Bauwerksinspektionen durchzuführen. Andererseits müssen regelmäßige Reparaturen durchgeführt und Anlagenteile gewartet werden. Dazu kann es erforderlich sein, die Revisionsverschlüsse zu setzen und ein Wehrfeld außer Betrieb zu nehmen. Revisionen sind unvermeidbar, aber planbar. Im Vorfeld einer Revision ist die Betriebssicherheit der restlichen Verschlüsse zu prüfen und während der Revision zu gewährleisten. Die geplanten Arbeiten sind möglichst zeitlich zu begrenzen und in abflussarme Zeiten zu legen. Gerade bei größeren Grundinstandsetzungen wird dies nicht immer möglich sein und die Revisionszustände können einen längeren Zeitraum andauern.

Im Allgemeinen ist zu beachten, dass durch die reduzierte Leistungsfähigkeit des Wehres die Wasserstände in der Stauhaltung höher sind als im Regelbetrieb und es schon bei kleineren Hochwasserzuflüssen zu Ausuferungen kommen kann. Damit dieser Aufstau für die Anlieger nicht unerwartet kommt, kann es angebracht sein, $(n-1)$ -Fälle auch für Hochwasserabflüsse kleiner als BH_{Q_1} zu untersuchen, damit die Landesbehörden die Anlieger informieren oder entsprechende Vorsorge treffen können, z. B. durch angepasste Hochwasserschutz- und Alarmpläne.

6 Berücksichtigung des Klimawandels

In DIN 19700-13:2019-06 wird der Klimawandel zwar nicht explizit erwähnt, die Norm impliziert aber bereits durch die Berücksichtigung der Extremwertstatistik,

dass alle klimabedingten Abfluss- und Wasserstandsänderungen der Vergangenheit beachtet werden. Die Norm empfiehlt, in angemessenen Zeitabständen von etwa 10 bis 20 Jahren im Rahmen einer vertieften Überprüfung neben den statischen auch die hydrologischen und hydraulischen Bemessungsgrundlagen zu beurteilen.

Für die Berücksichtigung möglicher zukünftiger Folgen des Klimawandels wird auf das Handbuch „WSV-Klimaanpassung: Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels in Planungsprozessen“ (GDWS 2024) verwiesen, das mit der Verfügung vom 3. September 2024 in der WSV eingeführt wurde.

7 Untersuchungsmethoden

Die DIN 19700-13:2019-06 schreibt zwar keine konkrete Untersuchungsmethode vor, empfiehlt jedoch aufgrund der Komplexität hydraulische Modelluntersuchungen zum Nachweis bzw. zur Verbesserung der strömungstechnischen Wirkungsweise. In Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten und von den hydraulischen Erfordernissen können unterschiedliche Methoden, auch in Kombination, eingesetzt werden.

Bei Ersatzneubauten werden aufgrund der komplexen Strömungsvorgänge in der Regel Laboruntersuchungen oder dreidimensionale numerische Untersuchungen (3D-HN-Modelle) für den Nahbereich des Wehres genutzt. Der Auftragsumfang sollte die Klassifizierung, die Ermittlung der Bemessungswasserstände für die relevanten Hochwasserbemessungsfälle und idealerweise auch für die Bauzustände enthalten.

Für bestehende Staustufen kann zumindest die Klassifizierung und im günstigsten Fall der hydraulische Nachweis der Hochwasserbemessungsfälle auf der Basis vorhandener Untersuchungsergebnisse durchgeführt werden. Das Beispiel in Kapitel 8 zeigt das für ein teilregelndes Wehr. Für viele Staustufen liegen bereits Gutachten der BAW oder vergleichbarer Institutionen der Länder mit Ergebnissen hydraulischer Modelluntersuchungen vor, die u. a. für die Erstellung von Wehrkennlinien als Grundlage für die Automatisierung von Wehren erstellt wurden. Hierzu wird auf das Elektronische Wissensarchiv (EWisA) der BAW verwiesen. Nach Rücksprache mit der BAW kann entschieden werden, ob die

Ergebnisse noch gültig bzw. übertragbar sind und welche Untersuchungsmethode(n) für die aktuelle Fragestellung genutzt werden sollte(n).

Eindimensionale numerische Strömungsmodelle (1D-HN-Modelle), bei denen die Strömungsparameter über Breite und Tiefe gemittelt werden, können geeignet sein, um die Wasserspiegellagen der Fließstrecke unterhalb und oberhalb der Staustufe zu ermitteln. Die Berechnung des Aufstaus einer Staustufe kann damit jedoch nicht berechnet werden. In der Regel werden heute 2D-HN-Modelle eingesetzt, bei denen die Strömungsparameter lediglich über die Tiefe gemittelt werden. Die Anwendbarkeit von 2D-HN-Modellen setzt voraus, dass bei dem betrachteten Hochwasserbemessungsfall ein strömender Abfluss in der Wehrachse vorliegt, wie es bei teilregelnden Wehren der Fall ist. Sobald ein Fließwechsel auftritt, muss genau überprüft werden, welche internen Annahmen das verwendete Programm dabei trifft und welche Auswirkungen das auf das Berechnungsergebnis hat. Eine mögliche Lösung kann eine hybride Modellierung sein. Dabei werden die Verluste an einem Ausschnitt des Wehrs in einem Labormodell oder in einem 3D-HN-Modell bestimmt und in das 2D-HN-Modell übertragen.

Naturmessungen sind selten zur Ermittlung der Bemessungswasserstände $Z_{H1,n}$ und $Z_{H1,n-a}$ geeignet, da die beobachteten Abflüsse in der Regel deutlich kleiner sind als die Bemessungshochwasserzuflüsse. Sie können aber eventuell dabei helfen, eine Schlüsselkurve im Unterwasser zu erstellen, die hydraulische Leistungsfähigkeit des Wehres zu bestimmen bzw. die ermittelte Leistungsfähigkeit aus Modelluntersuchungen zu validieren. Zudem können sie dem Nachweis dienen, dass es sich um ein teilregelndes Wehr handelt, weil das Stauziel regelmäßig überschritten wurde.

Der Einsatz von Abflussformeln mit empirisch ermittelten Abflussbeiwerten ist ausschließlich für die Berechnung von vollregelnden Wehren vorgesehen. Hier kann gezeigt werden, dass die Bemessungshochwasserzu-

flüsse mit unter- oder mit überströmten Verschlüssen abgeführt werden können, ohne dass der Oberwasserstand über das Stauziel hinaus ansteigt.

8 Anwendungsbeispiel

8.1 Beschreibung

Zur Staustufe Wieblingen/Schwabenheim gehören neben der Wehranlage zwei Kraftwerke und die Schleuse. Ein Kraftwerk und die Schleuse befinden sich am unteren Ende eines 5 km langen Seitenkanals. Die Länge der Stauhaltung beträgt rund 3,5 km, etwa 2 km oberstrom liegt die Altstadt von Heidelberg. Für den Hochwasserschutz der Altstadt ist der Ausuferungsbeginn von Bedeutung, da Teilbereiche der Uferstraße bereits bei kleineren Hochwasserereignissen überflutet werden. Zur Vermeidung der Überflutungen werden mobile Hochwasserschutzwände gestellt.

8.2 Klassifizierung der Wehranlage

Das Schadenspotential wird als „hoch“ eingestuft, da die Stauhaltung unmittelbar in der Stadt Heidelberg liegt. Im ersten Schritt wird die Höhendifferenz Δh_2 am Wehr (Fallhöhe) ermittelt. Hierfür stehen folgende Informationen zur Verfügung: ein Längsschnitt mit Angabe des Stauziels Z_s , eine Schlüsselkurve im Unterwasser der Staustufe und wasserwirtschaftliche Kennwerte am Standort (Tabelle 1), die beim Dezernat für Gewässerkunde, Wasserbewirtschaftung (U12) bei der GDWS erfragt wurden.

Die Stauzieltoleranz an der Wehranlage liegt zwischen 105,30 m+NNH und 105,42 m+NNH. Für die weitere Betrachtung wird als Stauziel der höhere Wert $Z_s = 105,42 \text{ m+NNH}$ verwendet. Anhand der Schlüsselkurve ist zu erkennen, dass sich bei MQ ein Unterwasser-

Tabelle 1: Mittlerer Abfluss und Hochwasserabflüsse an der Wehranlage

Abfluss	MQ	HQ ₅	HQ ₁₀	HQ ₂₀	HQ ₅₀	HQ ₁₀₀	HQ ₂₀₀	HQ _{Extrem}
$Q \text{ [m}^3/\text{s]}$	150	1575	1885	2175	2545	2820	3100	3960

stand von $MW = 101,10 \text{ m} + \text{NHN}$ einstellt. Daraus ergibt sich eine Fallhöhe von $\Delta h_2 = 4,3 \text{ m}$. Nach Tabelle 2 in DIN 19700-13:2019-06 kann das Wehr unter Berücksichtigung des Schadenspotenzials der Klasse I zugeordnet werden. Aufgrund dieser kombinierten Betrachtung ergibt sich bereits die Klasse I. Das laterale Kriterium muss nicht weiter betrachtet werden, da die höhere Klasse maßgebend ist.

8.3 Bemessungshochwasserzuflüsse

In Abhängigkeit von der ermittelten Staustufenklasse I ergibt sich nach Tabelle 4 in DIN 19700-13:2019-06 eine jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit von $T = 100$ und für den Bemessungshochwasserzufluss $BHQ_1 = 2820 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabelle 1). Aus der Schlüsselkurve geht hervor, dass ab einem Abfluss von etwa $HQ_x = 1650 \text{ m}^3/\text{s}$ der Oberwasserstand mit dem Unterwasserstand ansteigt. Damit handelt es sich um ein teilregelndes Wehr, da der Oberwasserstand planmäßig nur bis zum HQ_x gehalten werden kann und dieser Abfluss kleiner ist als BHQ_1 . Daher entfällt der Nachweis für den Hochwasserbemessungsfall 2.

9 Literatur

BAW (Hg.) (2011): BAWMerkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAWMerkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102478>

BMDV (2022): Verwaltungsvorschrift der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (VV-WSV) 2101 „Bauwerksinspektion“.

DIN 19700-13:2019-06: Stauanlagen – Teil 13: Staustufen.

DIN 19712:2013-01: Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern.

DWA (2011): Deiche an Fließgewässern. Teil 1: Planung, Bau und Betrieb. Dezember 2011. Hennef (Sieg): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall (DWA-Regelwerk, M 507,1).

GDWS (2024): Handbuch „WSV-Klimaanpassung – Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels in Planungsprozessen“. Online verfügbar unter <https://izw.baw.de/wsv/umwelt/anpassung-klimawandel>, zuletzt geprüft am 05.05.2025.

Kirnbauer, R. (1981): Grundlagen und statistische Verfahren für die Ermittlung von Bemessungshochwässern. Technische Universität Wien.

TR-W – Technisches Regelwerk - Wasserstraßen. <https://izw.baw.de/wsv/planen-bauen/tr-w>

WaStrG – Bundeswasserstraßengesetz.

Dr. Michael Gebhardt
Dr. Peter Schmitt-Heiderich
Bundesanstalt für Wasserbau
Abteilung Wasserbau im Binnenbereich
Referat Wasserbauwerke (W3)
Telefon: 0721 9726 3410
E-Mail: michael.gebhardt@baw.de

BAW-Brief 01/2025

Impressum

Herausgeber (im Eigenverlag):
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Telefon: +49 (0) 721 9726-0
E-Mail: info@baw.de
www.baw.de



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Soweit nicht anders gekennzeichnet, stehen die Inhalte der Beiträge unter der Creative Commons Lizenz BY 4.0 (Namensnennung 4.0 International). Bei anderweitiger Kennzeichnung unterliegen die entsprechenden Inhalte dem urheberrechtlichen Schutz und dürfen nicht weiterverwendet werden.

ISSN 2196-5900

Karlsruhe · Juni 2025