



Kommission Hochwasserschutz des Verbands hydrosuisse (KOHS)

Freibord und das Bemessungskonzept für Hochwasserschutzbauten

Empfehlung der Kommission Hochwasserschutz

Zusammenfassung

Bei der Bemessung von Schutzbauten gegen Hochwasser muss unterschieden werden zwischen Unsicherheiten in den Eingangsgrössen wie dem Abfluss und dem Geschiebeeintrag und der Unschärfe im Ergebnis einer Berechnung. Erstere werden mit einer klugen Wahl von Bemessungsszenarien und Überlastszenarien abgedeckt, letztere durch ein Freibord, welches im Sinne der Empfehlungen der Kommission Hochwasserschutz des Verbands hydrosuisse (KOHS) bestimmt wird. Der Artikel bettet diese Unterscheidung in ein Bemessungskonzept für Hochwasserschutzmassnahmen ein.

Résumé / riassunto

Lors de la conception des ouvrages de protection contre les crues, il convient de distinguer les incertitudes liées aux paramètres d'entrée des imprécisions dans le résultat d'un calcul. Les premières sont prises en compte par un choix avisé de scénarios de dimensionnement et de scénarios de surcharge, tandis que les secondes sont couvertes par une revanche, déterminée conformément aux recommandations de la CIPC.

Lien vers la version française : www.hydrosuisse.ch/freibord

Nella progettazione delle opere di protezione contro le piene occorre distinguere tra le incertezze legate ai parametri di input e le imprecisioni nel risultato di un calcolo. Le prime vengono prese in considerazione attraverso una scelta adeguata degli scenari di dimensionamento e degli scenari di sovraccarico, mentre le seconde vengono coperte da un francobordo, determinato secondo le raccomandazioni della KOHS.

Link alla versione italiana: www.hydrosuisse.ch/freibord

1. Einleitung

Mit ihrer Empfehlung zum Freibord in Flüssen mit morphologischer Dynamik zeigt die KOHS (2026), wie Variabilitäten im Wasserspiegel und in der Fließgeschwindigkeit in ebensolchen Gewässern ermittelt und in der Bestimmung der erforderlichen Freiborde berücksichtigt werden können.

Bei der Bemessung von Schutzbauten gegen Hochwasser stellt sich oftmals die Frage, wie mit herrschenden Unsicherheiten und Unschärfen umgegangen werden soll und welche Rolle die Wahl von Szenarien und das Freibord dabei spielen. Dieser Artikel soll Antworten darauf geben.

2. Abgrenzung zwischen Szenarien und Freibord

2.1 Unsicherheiten und Unschärfen

Das Freibord ist eine hydraulische Grösse und wird für die Bemessung des Gerinnequerschnitts verwendet (KOHS 2026). Es wird zum berechneten Wasserspiegel bei einem Bemessungsszenario Q_{Dim} addiert. Q_{Dim} wird im Rahmen der Projektierung auf der Basis von Kosten-Nutzen-Überlegungen festgelegt. Um genau zu verstehen, was im Freibord enthalten ist und was nicht, müssen die folgenden Punkte unterschieden werden.

Unsicherheiten sind unbekannte Variationen an einer Eingangsgrösse. So enthält zum

Beispiel die Schätzung eines Hochwasserereignisses HQ_{100} zu $150 \text{ m}^3/\text{s}$ hydrologische Unsicherheiten, welche mit einer statistischen Variation geschätzt und mit einem Vertrauensintervall und einer Unsicherheit von z. B. $\pm 10 \text{ m}^3/\text{s}$ beschrieben werden können.

Unschärfen hingegen sind Variationen am Ergebnis einer hydraulischen Berechnung, welche für einen hydrologischen Wert durchgeführt wird, der als genau betrachtet wird. Die Variationen ergeben sich aus dem gewählten Berechnungsmodell und der Unsicherheit der hydraulischen Eingabeparameter. Beispielsweise ist das Ergebnis der Berechnung der Abflusstiefe für einen Abfluss von $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ unscharf, weil die der Berechnung zugrunde liegende Schätzung der Rauheiten mit Unsicherheiten verbunden sind. In diesem Beispiel wird der Abfluss von $150 \text{ m}^3/\text{s}$ nicht als unsicher betrachtet, sondern als feste Eingangsgrösse.

Hydrologische Unsicherheiten werden durch das Schutzkonzept und insbesondere durch den Umgang mit Restrisiken bewältigt. Die hydraulischen Unschärfen werden durch das Freibord abgedeckt. Das Freibord ist also ein Sicherheitsfaktor im Sinne der SIA-Tragwerksnorm.

Natürlich können in der Praxis gelegentlich innerhalb des rechnerisch ermittelten Freibords Abflussmengen grösser als Q_{Dim} abgeleitet werden. Das Freibord kann konzeptionell aber nicht als Sicherheitsreserve für

höhere Abflüsse angesehen werden, weil keine Garantie dafür besteht, dass das Freibord verfügbar ist. In diesem Sinne liefert eine bordvolle Abflussberechnung, welche die erforderliche Reserve ausser Acht lässt, keinen verlässlichen Wert für die Bemessung eines Abflussquerschnitts.

Die Situation ist vergleichbar mit der statischen Bemessung eines Gebäudes. Der Sicherheitsbeiwert erlaubt es, Unschärfen in der Berechnung abzudecken und die Tragfähigkeit für den Lastfall sicherzustellen. Eine Bodenplatte, die für eine Belastung von 200 kg/m^2 ausgelegt ist, kann punktuell möglicherweise auch einer höheren Belastung standhalten, ist jedoch nicht dafür ausgelegt und ihre Tragfähigkeit kann nicht garantiert werden.

2.2 Phänomene, Ereignisabläufe und Szenarien

- **Phänomene** beschreiben natürliche Prozesse in einem Gewässer und seinem Einzugsgebiet.
- **Ereignisabläufe** beschreiben eine mögliche Abfolge von natürlichen Prozessen in einem Gewässer und seinem Einzugsgebiet. Sie werden aufgrund von vergangenen Beobachtungen oder der Analyse von möglichen Entwicklungen identifiziert. Ihnen wird eine Überschreitungswahrscheinlichkeit zugeordnet.
- **Szenarien** sind Kombinationen von Ereignisabläufen mit einer bestimmten

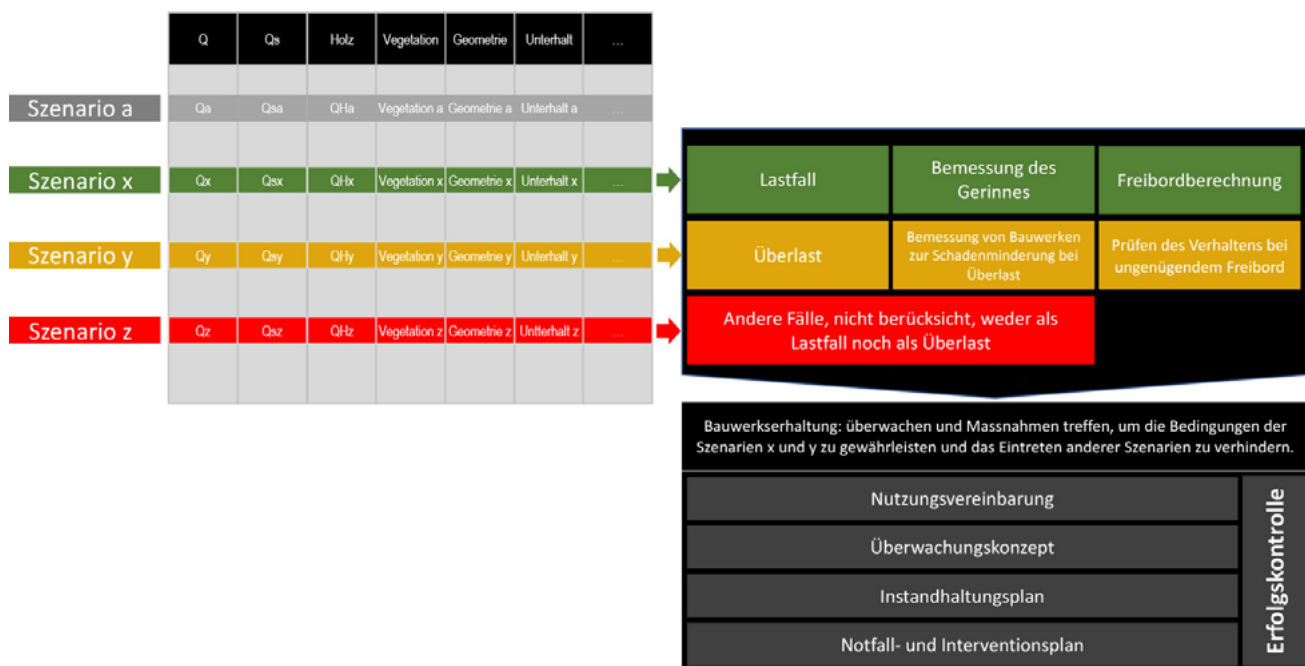


Bild 1: Szenarien und ihre Bedeutung für die Berechnung des Freibords.

Überschreitungswahrscheinlichkeit. Diese Szenarien bilden die Grundlage für eine Gefahrenbeurteilung und die Erarbeitung von Gefahrenkarten.

Das gleiche Prinzip wird bei der Festlegung der Szenarien für die Bemessung von Schutzbauten angewandt. Aus den verschiedenen Szenarien (a...z) wird ein Szenario (x oder eine Szenarienfamilie) als Bemessungsszenario und ein anderes Szenario (y) zur Überprüfung der Überlast ausgewählt. Es ist wichtig, die nicht berücksichtigten Szenarien (z) klar zu definieren (Bild 1).

2.3 Bemessungsszenario x

Die Bemessung eines Gerinnes und damit die Berechnung des erforderlichen Freibords stützt sich auf ein Referenzszenario (Bemessungsszenario x), welches folgende Elemente umfassen kann:

- Abfluss Q_{Dim}
- Sedimentfracht $Q_{S Dim}$
- Schwemmholtzfracht $Q_{H Dim}$ (Volumen und Abmessungen)
- Referenzgeometrie (mittlerer Gerinnequerschnitt, Längsgefälle, Höhe von Längsdämmen)
- Referenzvegetation (Ausdehnung und Durchlässigkeit bzw. Rauheit der entwickelten Vegetation)
- Unterhalt (Überwachung und Konzept zum Unterhalt der Vegetation und/oder des Geschiebes)

Es ist zu beachten, dass es sich dabei nicht nur um ein einzelnes, sondern um eine Gruppe von Bemessungsszenarien mit ähnlichen Werten handeln kann, die unterschiedliche Ereignisabläufe abdecken. Das Ziel besteht nicht darin, die Bemessungsszenarien einzuschränken, sondern sie anhand der Beschreibung des Referenzszenarios klar und transparent zu identifizieren.

Im Sinne der Tragwerksnorm (SIA) entsprechen die Bemessungsszenarien den in der Nutzungsvereinbarung des Bauwerks vereinbarten Lastfällen und das erforderliche Freibord dem Sicherheitsfaktor in Bezug auf diese. Das erforderliche Freibord wird daher nicht nur für einen Bemessungsabfluss (Q_{Dim}), sondern für ein Bemessungsszenario x, das die Bedingungen und den Lastfall des Bauwerks insgesamt definiert, berechnet.

Es wird vorgeschlagen, die für die Dimensionierung eines Bauwerks und die Prüfung des Verhaltens bei Überlast massgebenden Szenarien in einer Nutzungsvereinbarung

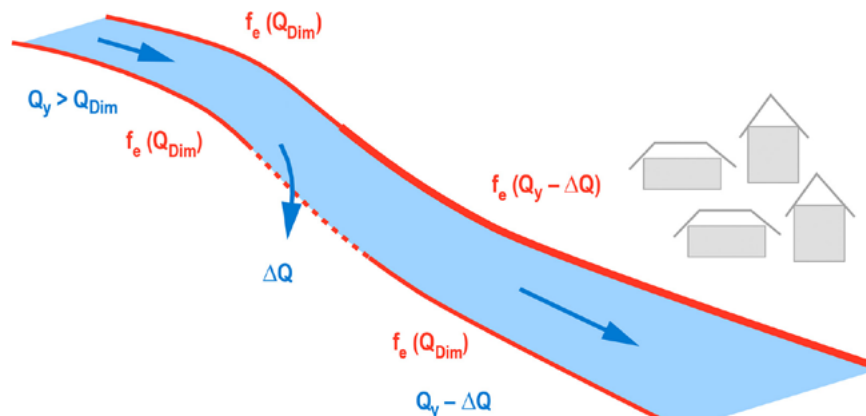


Bild 2: Freibordbedingung auf einem Flussabschnitt mit gezielter Entlastung ΔQ , welche für das Szenario y vorgesehen wird. Das erforderliche Freibord wird links und rechts für unterschiedliche Abflüsse bestimmt.

zwischen Bauherrschaft und Planer festzulegen.

2.4 Überprüfungsszenario y und Verhalten bei Überlast

Das erforderliche Freibord wird für das Bemessungsszenario x und den dazugehörigen Bemessungsabfluss Q_{Dim} bestimmt. Im Rahmen der Projektierung muss aufgezeigt werden, welche Konsequenzen sich ergeben, wenn beim Überprüfungsszenario y oder den Überprüfungsszenarien $y_{1...n}$ das erforderliche Freibord nicht mehr eingehalten wird. Kann mangels Freibord die Abflusskapazität nicht gewährleistet werden, z. B. weil mehr Wasser abfließt, mehr Geschiebe herangeführt wird oder sich die Vegetation stärker entwickelt hat, muss das Überströmen eines Ufers, ein Dammbruch oder die Verklausung eines Brückenquerschnitts angenommen werden, wie das in KOHS (2013) ausführlich beschrieben ist.

Wird bei einem Schutzkonzept mit dem Bemessungsszenario x eine ausreichende Abflusskapazität für den Abfluss Q_{Dim} angestrebt und beim Überprüfungsszenario y beispielsweise eine gezielte Entlastung nach rechts geplant, um hohe Sachwerte linksufzig zu schützen, ändert sich die Anwendung der Freibordkriterien. Für die rechte Begrenzung des Gerinnes wird das erforderliche Freibord immer mit dem Bemessungsszenario und dem Abfluss Q_{Dim} bestimmt. Für die linke Begrenzung wird ab der Entlastung der Abfluss Q_y abzüglich der entlasteten Wassermenge ΔQ zum Bemessungsabfluss. Das erforderliche Freibord für den linken Damm muss also für einen Abfluss

$$Q_{Dim_links} = Q_y - \Delta Q$$

bestimmt werden (Bild 2). Schliesslich muss im Rahmen des Konzepts zum Umgang mit dem Szenario y aufgezeigt werden, welche Konsequenzen der Abfluss $Q_y > Q_{Dim}$ oberstrom der Entlastungsstelle hat.

2.5 Szenario z – nicht berücksichtigt

Das Szenario z beschreibt Situationen, die als zu selten gelten oder deren Auswirkungen auf die Raumplanung unverhältnismässig gross wären, um als Auslegungs- oder Nachprüfungsszenario herangezogen zu werden. Dies kann zum Beispiel ein Szenario mit dem höchstmöglichen Abfluss PMF sein oder ein Szenario, bei welchem die Pflege der Vegetation vollständig vernachlässigt wird. In jedem Fall muss ein solches Szenario ausdrücklich erläutert und aus der Nutzungsvereinbarung ausgeschlossen werden.

2.6 Aufgaben von Planerin, Planer und Bauherrschaft

Im Rahmen der Projektplanung soll ein Bezugsrahmen für die Berechnung des erforderlichen Freibords aufgespannt werden. Darin haben Planer/in und die Bauherrschaft unterschiedliche Aufgaben:

Der Planer/die Planerin

- definiert das Bemessungsszenario und bezieht alles ein, was relevant und angemessen erscheint,
- erstellt auf dieser Grundlage eine Nutzungsvereinbarung,
- bemisst das Projekt und berechnet auf dieser Grundlage das erforderliche Freibord,
- ermittelt, was kontrolliert und beherrscht werden muss, um die Sicherheit des

Bauwerks und damit die Übereinstimmung mit dem Bemessungsszenario zu gewährleisten, indem Folgendes festgelegt wird:

- das Überwachungskonzept, das die zu prüfenden Elemente und die Schwellenwerte definiert, ab denen eine Instandhaltung erforderlich ist;
- der Instandhaltungsplan, der die Einhaltung der grundlegenden Parameter des Bemessungsszenarios gewährleistet;
- der Notfallplan für die Intervention am Bauwerk während Ereignissen.

Die Bauherrschaft genehmigt

- die Nutzungsvereinbarung
- das Überwachungskonzept
- den Instandhaltungsplan
- den Notfall- und Interventionsplan für das Bauwerk

Diese vier Elemente sind Bestandteil der Erhaltung des Bauwerks im Sinne der Norm SIA 469. Sie dienen auch der Erfolgskontrolle des Wasserbauvorhabens.

2.7 Folgerung: Tragweite des Freibords

Aus den obigen Ausführungen lässt sich zusammenfassen, dass das erforderliche Freibord

- die Unschärfe in der Wasserspiegelberechnung für das Bemessungsszenario,
- die physikalischen Prozesse wie Wellenbildung und Rückstau an Hindernissen und
- den für Treibgut benötigten Platz

berücksichtigt (Kapitel 2). Das Freibord dient aber nicht dazu,

- hydrologische Unsicherheiten,
- Veränderungen des Abflusses durch den Klimawandel,

- Szenarien zu Abfluss, Sedimenteintrag, Schwemmhölzeintrag, Gerinnegeometrie und Bewuchs, die nicht durch das Bemessungsszenario abgedeckt sind oder
- die Veränderung des Bauwerks und die Entwicklung der Vegetation ausserhalb der in der Nutzungsvereinbarung festgelegten Zustände abzudecken.

3. Diskussion am Beispiel der Rheinaufweitung Bad Ragaz

Am Alpenrhein ist bei Maienfeld/Bad Ragaz eine Aufweitung in Planung. Die Berechnung des erforderlichen Freibords nach der neuen Empfehlung ist in KOHS (2026) beschrieben. Bereits vor Erscheinen dieser Publikation wurden im Zuge des Aufweitungsprojekts umfangreiche sedimentologische und hydraulische Sensitivitätsrechnungen durchgeführt. Diese zeigten, dass die mittlere Sohle und der Hochwasserspiegel stark auf die Eingangsgrössen reagieren. Variiert wurden insbesondere¹:

- Geschiebeaufkommen v. a. aus der Landquart
- Stärke der eigendynamischen Seitenerosion
- Regimebreite (grösserer oder kleinerer Mittelwert)
- Hydraulischer Einfluss einer örtlichen Einschnürung durch Vegetation, welche im Hochwasserfall nicht rechtzeitig bis zur Ganglinienspitze ausgeräumt wird
- Nicht rechtzeitige Ausräumung von Verengungskolken

Einige dieser Sensitivitätsrechnungen ergaben Wasserspiegellagen, welche örtlich ei-

nen beträchtlichen Teil des nach KOHS (2026) berechneten Freibords beanspruchen würden. Sie fliessen weiterhin nicht in die neue Freibordbestimmung ein, sondern sind mittels einer geeigneter Wahl der für das Dimensionierungsereignis und für die Überlastfälle massgebenden Szenarien abzudecken (Kapitel 2). Ausserdem werden die mit diesen Szenarien verbundenen weiteren Unsicherheiten mit einem robusten überlastfähigen Projektdesign abgefangen. Bestandteil dieses Projektdesigns sind überströmsichere Gerinnebegrenzungen sowie ein um 20 cm zusätzlich erhöhtes Freibord auf der rechten Flussseite, damit die dort verlaufende Autobahn auch bei unwahrscheinlichen Szenarien des Restrisikos vor zu intensiven Überflutungen verschont und befahrbar bleibt.

Ebenfalls nicht im Freibord abgedeckt ist ein Auflaufen des Wasserspiegels entlang des linken Ufers, wo ein Nebengerinne geschaffen wird, welches in der Phase der eigendynamischen Aufweitung vorläufig vom Hauptgerinne isoliert sein wird. Eine Verklausung in diesem schmalen Nebengerinne hätte einen örtlich starken Aufstau des Wasserspiegels und Wasseraustritte zur Folge. Dieses Szenario würde zwar keinen Dammbruch verursachen, ihm ist aber in den Folgejahren nach dem Bau trotzdem mit geeigneter Notfallplanung zu begegnen.

Dank

Die KOHS dankt dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) für die Unterstützung in der Erarbeitung dieser Empfehlung. Die Arbeitsgruppe dankt den Mitgliedern der KOHS sowie den Mitgliedern der Echogruppe (Paul Demuth, Jolanda Jenzer, Antoine Magnollay, Christina Rachelly, Viktor Schmidiger, Jürg Stückelberger, Volker Weitbrecht und Benno Zarn) für die kritische Prüfung der Methodik und für ihre Rückmeldungen. 🌱

Symbole:

- ▷ f_e [m] erforderliches Freibord
- ▷ HQ_x [m³/s] Hochwasserabfluss der Jährlichkeit x
- ▷ Q [m³/s] Abfluss
- ▷ Q_{Dim} [m³/s] Bemessungsabfluss für ein Szenario x
- ▷ $Q_{H Dim}$ [m³/Ereignis] Bemessungs-Schwemmhölzfracht für ein Szenario x
- ▷ $Q_{S Dim}$ [m³/Ereignis] Bemessungs-Geschiebefracht für ein Szenario x

Quellen:

- ▷ KOHS (2026): Freibord in Fliessgewässern mit dynamischer Morphologie. Empfehlungen der Kommission

Hochwasserschutz (KOHS). «hydrosuisse journal» 118/3, Baden, S. 5.

Autoren:

- Die Kommission Hochwasserschutz (KOHS) ist eine Kommission von hydrosuisse. Mitwirkende in der Arbeitsgruppe Freibord in Gerinnen mit Bänken:
- ▷ Lukas Hunzinger (Leitung)
 - ▷ Tony Arborino
 - ▷ Giovanni De Cesare
 - ▷ Roger Kolb
 - ▷ Jürg Speerli

Weitere Informationen unter www.hydrosuisse.ch/freibord

