



Kommission Hochwasserschutz des Verbands hydrosuisse (KOHS)

Freibord in Fließgewässern mit dynamischer Morphologie

Empfehlungen der Kommission Hochwasserschutz

Zusammenfassung

Die Kommission Hochwasserschutz von hydrosuisse (KOHS) erweitert ihre Empfehlung aus dem Jahre 2013 zum Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilungen. Mit dem erweiterten Ansatz sollen Phänomene berücksichtigt werden, die in breiten Fließgewässern mit einer dynamischen Morphologie auftreten, also z. B. variable Flussbettbreiten oder die Bildung von Kiesbänken und bewachsenen Inseln. Diese Phänomene führen dazu, dass der Wasserspiegel und die Energielinie nicht gleichmässig über den Querschnitt verteilt sind, sondern örtlich und zeitlich variieren. Die Variation ist umso grösser, je stärker ein Gerinne verzweigt ist.

Es wird eine Berechnungsmethode vorgeschlagen, mit welcher die Variation in Funktion der Gerinneform beschrieben und als Teilfreibord bei der Berechnung des erforderlichen Freibords eingesetzt werden kann. Die neue Empfehlung ist mit derjenigen von 2013 vollständig kompatibel.

Résumé / riassunto

La Commission protection contre les crues CIPC complète sa recommandation de 2013 concernant la revanche pour les projets de protection contre les crues et l'évaluation des dangers. Cette méthode élargie prend en compte les phénomènes qui se produisent dans les cours d'eau larges à la morphologie dynamique, comme par exemple, les largeurs variables du lit ou la formation de bancs de gravier. Une méthode de calcul de la revanche nécessaire considérant ces phénomènes est proposée.

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

La Commissione per la protezione dalle piene (KOHS) amplia la propria raccomandazione del 2013 relativa al francobordo nei progetti di protezione dalle piene e alla valutazione dei pericoli. L'approccio ampliato tiene conto dei fenomeni che si verificano nei corsi d'acqua di ampia larghezza con una morfologia dinamica, come ad esempio, le larghezze variabili dell'alveo o la formazione di banchi di ghiaia. Viene proposto un metodo di calcolo del francobordo necessario tenendo conto di questi fenomeni.

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

1. Einleitung

Um die Abflusskapazität eines Gewässers zu bestimmen und um Schutzbauten gegen Hochwasser zu bemessen, wird in der Regel ein Freibord berücksichtigt. In der wasserbaulichen Praxis in der Schweiz haben sich dafür die Empfehlungen der KOHS (2013) etabliert. Das in diesen Empfehlungen definierte erforderliche Freibord berücksichtigt Unschärfen in der Bestimmung der Wasserspiegellage, die Wellenbildung und den Aufstau an Hindernissen sowie den Raum, der benötigt wird, um Treibgut abzuführen. Die Empfehlungen von 2013 wurden für schmale Gewässer mit ebener Sohle entwickelt, welche einen gleichförmigen und flussparallel ausgerichteten Abfluss haben und deren morphologische Dynamik sich auf die Variation der Sohle im Längsprofil beschränkt.

In breiten Gewässern, wie sie beispielsweise mit Flussaufweitungen geschaffen werden, treten hydraulische und dynamische morphologische Prozesse auf, welche die Vorhersage des massgeblichen Wasserspiegels erschweren. Einerseits ist die Unschärfe in der Berechnung der mittleren Wasserspiegellage grösser, andererseits ist der Wasserspiegel nicht gleichmässig über den Gerinnequerschnitt verteilt und kann erheblich von einem berechneten, mittleren Wasserspiegel abweichen. Die KOHS hat deshalb den Ansatz zur Berechnung des erforderlichen Freibords von 2013 erweitert, um darin diejenigen Prozesse zu berücksichtigen, welche die Wasserspiegellage in Gerinnen mit dynamischer Morphologie beeinflussen. Die vorliegende Empfehlung wurde von der KOHS am 1. Juni 2026 verabschiedet. Sie stützt sich auf die umfangreichen Untersuchungen, welche eine Arbeitsgruppe der KOHS zum Thema durchgeführt hat (KOHS, 2026a).

Gegenstand der vorliegenden Empfehlung ist das erforderliche Freibord f_e , das einzuhalten ist, um die zu erwartenden Unschärfen und Unsicherheiten bei der Bestimmung der Abflusskapazität zu berücksichtigen. Sind in einem Hochwasserschutzkonzept noch andere Erfordernisse von Bedeutung, so liegt es im Ermessen der Bauherrschaft oder der Planenden, ein anderes Freibord anzusetzen, welches aber in der Regel f_e nicht unterschreiten sollte.

2. Ein Blick zurück – die Freibordempfehlung von 2013

Die KOHS hat im Jahr 2013 Empfehlungen für die Ermittlung des Freibords bei Hochwasserschutzprojekten und bei der Gefahrenbe-

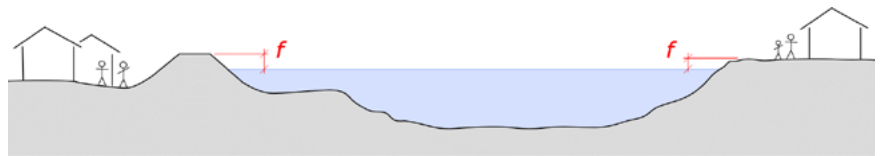


Bild 1: Das Freibord als Abstand zwischen dem Wasserspiegel und der Oberkante des Ufers.

urteilung publiziert (KOHS, 2013). Diese wird in der Praxis weit angewandt. Das Freibord bezeichnet den senkrechten Abstand zwischen dem Wasserspiegel und der Oberkante des Ufers oder eines Wasserbauwerks, wie z. B. eines Längsdammes (Bild 1) oder der Unterkante einer Brücke. Das erforderliche Freibord f_e bezeichnet das Freibord, welches eingehalten werden muss, damit eine rechnerisch bestimmte Abflusskapazität des Gerinnes gewährleistet ist.

Das erforderliche Freibord f_e setzt sich aus mehreren Teilfreiborden zusammen. Diese berücksichtigen einerseits Unschärfen, die bei der Berechnung einer Wasserspiegellage auftreten aufgrund von Unschärfen in der Prognose der Sohlenlage und von Unschärfen in der Berechnung der Abflusstiefe, und andererseits hydraulische Prozesse wie die Wellenbildung, den Rückstau an Hindernissen oder den Platz, welcher unter Brücken für das Abführen von Treibgut benötigt wird. Das erforderliche Freibord wird auf eine beste Schätzung des Wasserspiegels bei Hochwasser angewandt.

Im erforderlichen Freibord werden Unsicherheiten in hydrologischen Szenarien (Abfluss, Geschiebeeintrag), Unsicherheiten in der Bemessung (statisch, geotechnisch) von Schutzbauten sowie das Schadenpotenzial oder Schutzziel entlang des Gewässers nicht berücksichtigt.

Das erforderliche Freibord wird rechnerisch gemäss Formel (1) ermittelt:

$$f_{\min} \leq f_e = \sqrt{f_w^2 + f_v^2 + f_t^2} \leq f_{\max} \quad (1)$$

Darin bezeichnen: f_e = erforderliches Freibord; $f_{\min}$ = minimal erforderliches Freibord, $f_{\min} = 0,3 \text{ m}$; $f_{\max}$ = maximal erforderliches Freibord, $f_{\max} = 1,5 \text{ m}$; f_w = erforderliches Freibord aufgrund von Unschärfen in der Bestimmung der Wasserspiegellage; f_v = erforderliches Freibord aufgrund von Wellenbildung und Rückstau an Hindernissen; f_t = erforderliches Freibord aufgrund von zusätzlich benötigtem Abflussquerschnitt für Treibgut unter Brücken. Für die Berechnung und Anwendung

der Teilfreiborde f_w , f_v und f_t sei auf die Empfehlung von 2013 verwiesen.

3. Prozesse in Gewässern mit dynamischer Morphologie

In Gerinnen mit einer dynamischen Morphologie können die folgenden Prozesse einen Einfluss auf die Sohlenlage und den Wasserspiegel bei Hochwasser haben, welche in Gerinnen mit ebener Sohle nicht oder weniger bedeutend sind:

- a) Die Vegetation kann sich örtlich und zeitlich unterschiedlich entwickeln, womit der durchflossene Gerinnequerschnitt entlang der Fließstrecke variiert.
- b) Schwemmholz kann sich an mit Gehölzen bewachsenen Inseln ansammeln und den Abflussquerschnitt zusätzlich reduzieren.
- c) Die Variation des Gerinnequerschnitts führt zu einer Variation der Sohlenlage und des Wasserspiegels sowohl in Fließrichtung als auch quer dazu.
- d) In lokalen Einschnürungen entstehen Kolke, in lokalen Verbreiterungen Ablagerungen. In Gerinnen mit Bänken kann deshalb eine über die Flussbettbreite gemittelte Sohlenlage örtlich und zeitlich von einem Mittelwert abweichen.
- e) Die Fließgeschwindigkeit ist ungleichmässig über den Querschnitt verteilt. Es können Zonen mit konzentriertem Abfluss auftreten und Zonen mit verzögertem Abfluss. Die Abschätzung der dadurch erzeugten zusätzlichen hydraulischen Energieverluste ist mit einer grösseren Unsicherheit verbunden als bei einem gleichförmigen Abfluss.
- f) Sekundärströmungen in Gerinnen mit Bänken führen zu Energieverlusten. Diese können grösser sein als in Gerinnen mit ebener Sohle.
- g) Ist ein Nebengerinne durch hohe Geschiebebänke oder sehr dichte Vegetation hydraulisch vom Hauptgerinne entkoppelt, gleicht sich der Wasserspiegel im Nebengerinne nicht mehr mit demjenigen im Hauptgerinne ab. Der Hochwasserspiegel kann in Ufernähe lokal höher oder tiefer liegen als im übrigen Gerinnequerschnitt.

Wegen der genannten Prozesse ist die Prognose der Wasserspiegellage als Summe von Sohlenlage und Fliesstiefe in Gerinnen mit Bänken generell mit grösseren *Unsicherheiten* behaftet als in Gerinnen mit einer ebenen Sohle.

Bestehende Ansätze zur Berechnung der Geschiebetransportkapazität und der Abflusskapazität in Gerinnen mit Bänken wurden unter Gleichgewichtsbedingungen und für die unter Gleichgewichtsbedingungen vorherrschende Gerinneform entwickelt. Deshalb können die in Gerinnen mit einer dynamischen Morphologie auftretenden hydraulischen und sedimentologischen Prozesse mit den bei der Projektierung häufig angewandten Modellen zum Teil nur ungenügend abgebildet werden. Häufig fehlen Referenzzustände, um eine Abflussrechnung daran zu kalibrieren. Die Unschärfe in einer prognostizierten Hochwasserspiegellage ist deshalb in einem morphologisch dynamischen Gerinne mit Bänken und insbesondere in grossen Flussaufweitungen grösser als in einem schmalen Gerinne.

4. Abgrenzung zwischen Szenarien und Freibord

Das Freibord ist eine hydraulische Grösse und wird für die Bemessung des Gerinnequerschnitts verwendet. Die Berechnung basiert auf einem Bemessungsszenario, welches die folgenden Elemente enthalten kann (KOHS, 2026b):

- 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 handeln kann.

Das erforderliche Freibord wird zum berechneten Wasserspiegel bei einem Bemessungsszenario Q_{Dim} addiert und berücksichtigt

- die Unschärfe in der Wasserspiegelsberechnung für das Bemessungsszenario,
- die Variabilität von Wasserspiegel und Energielinie im Fliessquerschnitt,

- die physikalischen Prozesse wie Wellenbildung und Rückstau an Hindernissen und
- den für Treibgut benötigten Platz

Das Freibord dient aber nicht dazu,

- hydrologische Unsicherheiten,
- Veränderungen des Abflusses mit dem Klimawandel,
- Szenarien zu Abfluss, Sedimentfracht, Schwemmholtzfracht, 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. Diese müssen mit einer geeigneten Wahl des Bemessungsszenarios berücksichtigt werden.

5. Das Freibord in Gerinnen mit einer dynamischen Morphologie

5.1 Unschärfe in der Berechnung des Wasserspiegels

Nach KOHS (2013) setzt sich die Unschärfe in der Berechnung des Wasserspiegels σ_w aus den Unschärfen in der Prognose der Sohlenlage σ_{wz} und der Berechnung der Abflusstiefe σ_{wh} zusammen und es gilt:

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_{wz}^2 + \sigma_{wh}^2} \quad (2)$$

Dieser Ansatz wird auch in dieser Empfehlung weiterverfolgt. Für σ_{wz} wurde 2013 ein Wertebereich von 0,1...1,0 m empfohlen. In Flüssen mit Bänken soll ein ähnlicher

Wertebereich für σ_{wz} gelten. Allerdings wird eine Untergrenze empfohlen, die mindestens dem Korndurchmesser d_{90} des Sohlenmaterials entspricht.

Die Berechnung der Abflusstiefe in Gerinnen mit Bänken ist mit grösseren Unsicherheiten behaftet als in solchen mit ebener Sohle, weil nicht alle Rauheiten systematisch erfasst werden können. KOHS (2013) postuliert einen linearen Zusammenhang zwischen Abflusstiefe und Fehler an deren Schätzung. Dieser wird für die Anwendung in Gerinnen mit Bänken angepasst (Bild 2) und lautet

$$\sigma_{wh} = 0.06 + 0.10 h \quad (3)$$

5.2 Die Berechnung des erforderlichen Freibords

Das erforderliche Freibord wird für Gerinne mit dynamischer Morphologie analog dem erforderlichen Freibord in Gerinnen mit ebener Sohle bestimmt (s. Kapitel 2). Es wird also je nach Begrenzung des Gerinnes ein Teilfreibord für die Unschärfe in der Bestimmung der Wasserspiegellage, ein Teilfreibord zur Berücksichtigung der Wellenbildung und des Rückstaus an Hindernissen und ein Teilfreibord aufgrund von zusätzlich benötigtem Abflussquerschnitt unter Brücken berücksichtigt. Ein zusätzliches Teilfreibord wird für die Variabilität des Wasserspiegels oder die Variabilität der Energiehöhe berücksichtigt. Ausserdem wird die Unschärfe in der Bestimmung der Wasserspiegellage gegenüber einer Berechnung im kanalisiertem Gerinne erhöht.

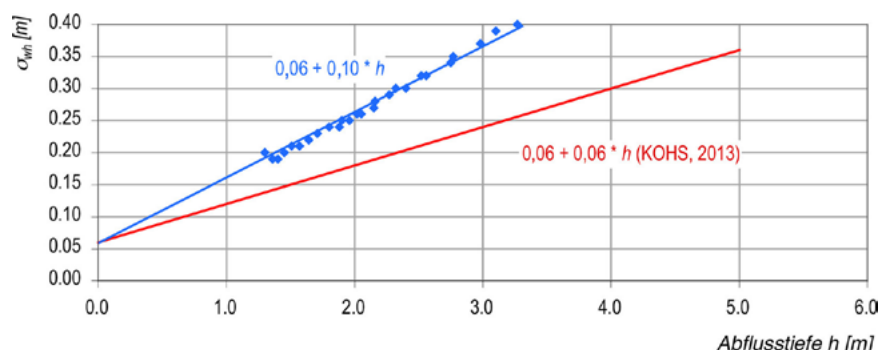


Bild 2: Unschärfe an der Berechnung der Abflusstiefe in Funktion der Abflusstiefe. Rot: Empfehlung KOHS (2013) mit einem mittleren Fehler am Rauheitsparameter von 10 Prozent, blau: neue Empfehlung mit einem mittleren Fehler am Rauheitsparameter von 20 Prozent, blaue Punkte: berechneter Fehler für die untersuchten Gewässer in KOHS (2026a).

In einem Gerinne mit Bänken, welches in einem Einschnitt fliesst oder durch überströmsichere Dämme begrenzt wird, gilt:

$$f_{e_Einschnitt} = \sqrt{f_w^2 + f_{w_morph}^2} \quad (4)$$

mit

$$f_w = \sigma_w = \sqrt{\sigma_{wz}^2 + \sigma_{wh}^2} \quad (5)$$

$$\sigma_{wz} = d_{90_Sohlenmaterial} \text{ bis } 1.0 \text{ m} \quad (6)$$

$$\sigma_{wh} = 0.06 + 0.10 h \quad (7)$$

und

$$f_{w_morph} = \omega_{zw} = 0.0075 W h \quad (8)$$

In einem Gerinne mit Bänken, welches durch nicht überströmsichere Dämme begrenzt wird oder auf einem Schwemmkegel fliesst, gilt:

$$f_{e_Damm} = \sqrt{f_w^2 + f_v^2 + f_{v_morph}^2} \quad (9)$$

mit

$$f_v = \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

und

$$f_{v_morph} = \omega_{ze} = 0.006 W h_e \quad (11)$$

Für einen Brückenquerschnitt über einem Gerinne mit Bänken gilt:

$$f_{e_Bruecke} = \sqrt{f_w^2 + f_v^2 + f_t^2 + f_{v_morph}^2} \quad (12)$$

wobei f_t nach der Empfehlung der KOHS (2013) bestimmt wird.

Der Gerinneform-Parameter W wird aus der Abflusstiefe beim gerinnebildenden Abfluss HQ_2 berechnet:

$$W = \frac{Y}{Z^{0.34}} = \frac{B / h_{HQ2}}{(h_{HQ2} / d_m)^{0.34}} \quad (13)$$

Für die Berechnung des Teilfreibords f_v muss die jeweils massgebliche Fließgeschwindigkeit eingesetzt werden. Das ist in der Regel die mittlere Fließgeschwindigkeit. In der Empfehlung von KOHS (2013) werden Ausnahmen von dieser Regel formuliert, welche in Gerinnen mit dynamischer Morphologie wie folgt umgesetzt werden sollen:

- In einem Doppelprofil (Profil mit Vorland, Berme) ist die mittlere Fließgeschwindigkeit auf dem Vorland massgebend, wenn die Breite des Vorlandes mindestens dem Fünffachen der Abflusstiefe auf dem Vorland entspricht und wenn eine morphologische Dynamik und eine Strömungskonzentration auf dem Vorland ausgeschlossen werden können.
- Bei Brücken gilt die mittlere Fließgeschwindigkeit des jeweiligen Teilquerschnitts (Hauptgerinne oder Vorland) als örtliche Geschwindigkeit.

Eine Strömungskonzentration an der Kurvenaussenseite einer Flusskrümmung muss in der Regel nicht gesondert berücksichtigt werden, sondern ist im Teilfreibord f_{v_morph} enthalten.

6. Anwendungsbeispiele

6.1 Beispiele Sense und Alpenrhein

Der oben beschriebene Ansatz zur Berechnung des erforderlichen Freibords in morphologisch dynamischen Gerinnen wird an zwei Beispielen diskutiert: die Sense oberhalb von Laupen und der Alpenrhein im



Bild 3: Sense bei Laupen im Zustand vor der Revitalisierung (Aufnahme vom März 2010).



Bild 4: Links Projektperimeter der geplanten Rheinaufweitung Maienfeld/Bad Ragaz sowie rechts die unmittelbar flussaufwärts anschliessende Referenzstrecke Mastrils. Die Vegetation letzterer zeigt sich aktuell in einem stark ausgeräumten Zustand (Bildhintergrund Swissimage von 2025).

Abschnitt der geplanten Rheinaufweitung Maienfeld/Bad Ragaz.

Sense bei Laupen

Die Sense als stark geschiebeführender Vor-alpenfluss durchfließt bei Laupen eine flache Talsohle, bevor sie in die Saane einmündet. Rund einen Kilometer vor der Mündung wurden im Rahmen eines Hochwasserschutz- und Revitalisierungsprojekts die Hochwasserschuttdämme zurückversetzt und die bestehende Ufersicherung entfernt. Das Gerinne kann sich über eine Länge von ca. 1 km selbsttätig von 25 auf maximal 100 m verbreitern.

Rheinaufweitung Maienfeld/Bad Ragaz

Im kanalisierten Flussabschnitt nach der Landquartmündung ist eine rund 3,5 km lange Flussaufweitung geplant, wovon die grössere der beiden Teilaufweitungen eine Verbreiterung des Flussbetts um fast das Zweieinhalbfache auf rund 200 m vorsieht. Die Referenzstrecke für den Endzustand der neuen Aufweitung ist die unmittelbar flussaufwärts anschliessende Flussaue bei Mastrils.

Der Alpenrhein ist ebenfalls von einer starken Geschiebeführung und von grossen Hochwasserabflüssen geprägt und liegt in einer vergleichbar flachen Talebene. Er hat aber im Vergleich zur Sense deutlich grössere Dimensionen.

6.2 Erforderliches Freibord in Funktion der Breite

Für die Überprüfung der Freibordberechnung wurde die Abflusstiefe in einem rechteckigen Ersatzgerinne nach Zarn (1997) unter Berücksichtigung von Formrauheit und Wandrauheit berechnet.

Bild 5 und 6 zeigen die erforderlichen Freiborde an der Sense und im Alpenrhein in Abhängigkeit der abflusswirksamen Breite, berechnet nach dem Ansatz von 2013 und nach der aktuellen Empfehlung.

Die mit der Methode 2013 berechneten Freiborde nehmen mit zunehmender Breite kontinuierlich ab, was den geringeren Fliesstiefen und Fließgeschwindigkeiten in den aufgeweiteten Gerinnen geschuldet ist.

Unter Annahme gleicher Unschärfen σ_{wz} und σ_{wh} ist das mit der neuen Methode 2026 berechnete Freibord im schmalen Gerinne noch weitgehend identisch mit den Werten, die nach dem Ansatz von 2013 berechnet werden. Mit zunehmender Breite des abflusswirksamen Querschnitts gewinnen die Teil-

freiborde f_{w_morph} und f_{v_morph} an Bedeutung. Der Einfluss von f_{w_morph} ist in einem Gerinne, welches im Einschnitt verläuft, stärker als derjenige von f_{v_morph} in einem Gerinne, das durch Längsdämme begrenzt ist.

An der Sense muss dort, wo ein 100 m breites Gerinne mit Längsdämmen begrenzt ist, ein Freibord von 0,75 m eingehalten werden gegenüber 0,5 m nach der Methode von 2013. Beim Alpenrhein resultiert für die Breite von 250 m und eine Situation mit Längsdämmen ein erforderliches Freibord von 1,3 m gegenüber 0,9 m nach KOHS (2013).

Dank

Die KOHS dankt dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) für die Unterstützung in der Erarbei-

tung 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. Im Rahmen von studentischen Arbeiten wurden an der Eidgenössischen Technischen Hochschulen in Zürich (ETHZ) und Lausanne (EPFL) und an der OST Ostschweizer Fachhochschule die Variabilität des Hochwasserspiegels in verzweigten Flüssen sowie die Methodik an Fallbeispielen überprüft. Die Arbeit der Studentinnen und Studenten sowie deren Betreuung durch Paul Demuth (ETHZ), Giovanni De Cesare (EPFL) und Davood Farshi (OST) wird verdankt. 🌱

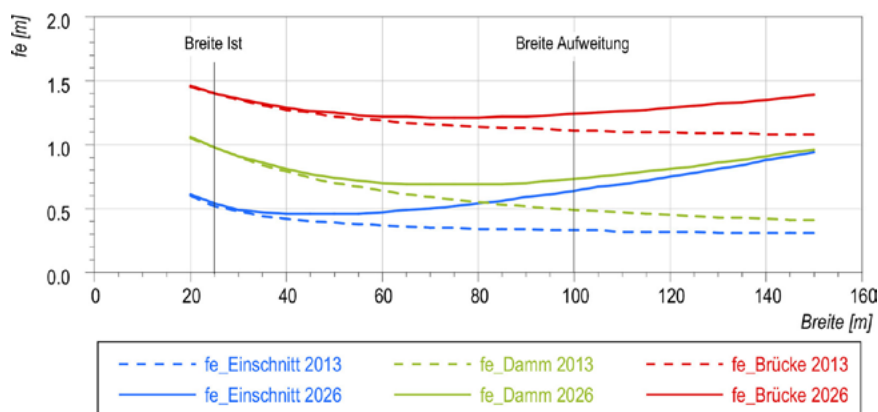


Bild 5: Erforderliches Freibord für einen Abfluss von 400 m³/s in der Sense bei Laupen nach KOHS (2026 und 2013) in Abhängigkeit der abflusswirksamen Gerinnebreite.

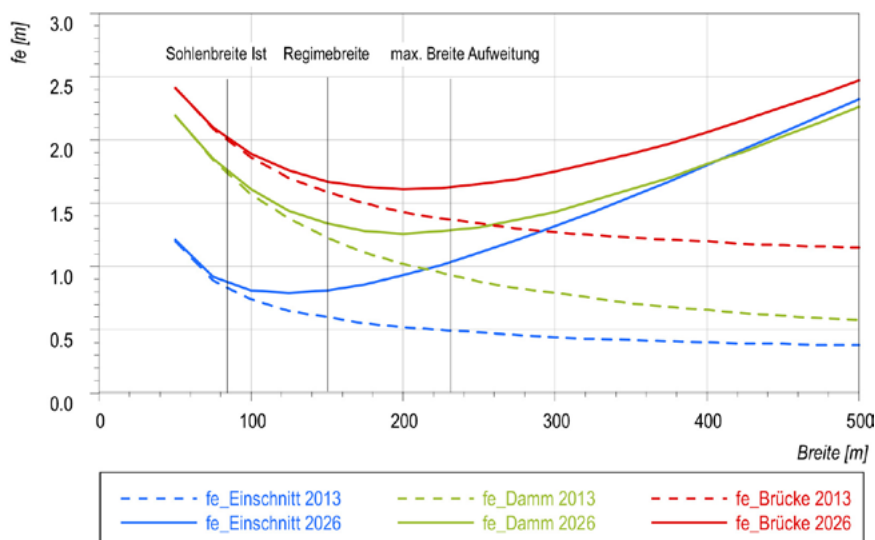


Bild 6: Erforderliches Freibord für einen Abfluss von 3350 m³/s im Alpenrhein nach KOHS (2026 und 2013) in Abhängigkeit der abflusswirksamen Gerinnebreite.

Symbole:

▷ B	[m]	Flussbettbreite
▷ d_{90}	[m]	Korndurchmesser, der von 90 Prozent (Gewichtsprozent) der Körner unterschritten wird
▷ d_m	[m]	mittlerer Korndurchmesser
▷ f_e	[m]	erforderliches Freibord
▷ f_{max}	[m]	Obere Grenze für das erforderliche Freibord
▷ f_{min}	[m]	Untere Grenze für das erforderliche Freibord
▷ f_t	[m]	Teilfreibord aufgrund von zusätzlich benötigtem Abflussquerschnitt für Treibgut
▷ f_v	[m]	Teilfreibord für die Geschwindigkeitshöhe
▷ f_{vmorph}	[m]	Teilfreibord für die Variation der Lage der Energielinie
▷ f_w	[m]	Teilfreibord für die Unschärfe in der Berechnung der Wasserspiegellage
▷ f_{wmorph}	[m]	Teilfreibord für die Variation der Wasserspiegellage
▷ g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
▷ h	[m]	Abflusstiefe
▷ h_e	[m]	Energiehöhe
▷ HQ_x	[m ³ /s]	Hochwasserabfluss der Jährlichkeit x
▷ Q	[m ³ /s]	Abfluss
▷ Q_{Dim}	[m ³ /s]	Bemessungsabfluss für ein Szenario x
▷ $Q_{H Dim}$	[m ³ /Ereignis]	Bemessungs-Schwemmholtzfracht für ein Szenario x

▷ $Q_{s Dim}$	[m ³ /Ereignis]	Bemessungs-Geschiebfracht für ein Szenario x
▷ v	[m/s]	Fließgeschwindigkeit
▷ W	[-]	Gerinneform-Parameter
▷ Y	[-]	Relative Breite
▷ Z	[-]	Relative Abflusstiefe
▷ σ_w	[m]	Unschärfe in der Berechnung der Wasserspiegellage
▷ σ_{wh}	[m]	Unschärfe in der Berechnung der Abflusstiefe
▷ σ_{wz}	[m]	Unschärfe in der Berechnung der Wasserspiegellage aufgrund der Unschärfe der prognostizierten Sohlenlage
▷ ω_{ze}	[m]	Variation der Energielinie
▷ ω_{zw}	[m]	Variation der Wasserspiegellage

Quellen:

- ▷ KOHS (2026a): Freibord in Flüssen mit dynamischer Morphologie. Hintergrundbericht. hydrosuisse. www.hydrosuisse.ch/freibord
- ▷ KOHS (2026b): Freibord und das Bemessungskonzept für Hochwasserschutzbauten. Empfehlungen der Kommission Hochwasserschutz (KOHS). «hydrosuisse journal» 118/3, Baden, S. 11.
- ▷ KOHS (2013): Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilungen. Empfehlungen der Kommission Hochwasserschutz (KOHS). «Wasser Energie Luft» 105/1, Baden, S. 43–50.

- ▷ Zarn B. (1997): Einfluss der Flussbettbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluss, Morphologie und Geschiebetransportkapazität. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 154, Zürich, 242 S.

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

