

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 105 (2013)
Heft: 1

Artikel: Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilungen : Fallbeispiele
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941543>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilungen

Fallbeispiele

KOHS

1. Einleitung

Die im vorhergehenden Artikel (WEL 1-2013, Seite 43–50) vorgestellte Methode zur Bestimmung des erforderlichen Freibordes wird an drei Beispielen angewandt und beschrieben. Die Beispiele repräsentieren Gewässer unterschiedlicher Grösse und in jedem Gewässer bestimmen unterschiedliche Prozesse das erforderliche Freibord.

2. Sagentobelbach in Düben-dorf, Kanton Zürich

Der Sagentobelbach entspringt am Zürichberg Nord in steilem, waldigem Gelände. Sein Einzugsgebiet misst 3.2 km². Er ist dort zum Teil stark verbaut und durch Abschnitte mit Molassefelsen grösstenteils stabilisiert. Zum Dorfteil Stettbach hin flacht er ab; vor allem eingangs des Dorfes ist er eng und hart verbaut, was periodisch zu Verklausungen führt. Ausgangs des Dorfes wurde er im Zuge der Erweiterung des Bahnhofareals Stettbach umgeleitet bzw. auf rund 300 m neu erstellt.

Der neue Bach wurde im kompakten Moränenmaterial ausgehoben. Dieses ist mehrheitlich feinkörnig, aber mit Kies-/Gerölllinsen durchsetzt. Auf dem betrachteten Abschnitt hat der Bach ein Längenprofil zwischen 1.5% und 2.0%. Die Mittelwasserrinne ist 0.5 m bis 1.0 m breit. Vorländer liegen rund 50 cm bis 80 cm über der mittleren Sohle und wechseln sich links- und rechtsufrig ab. Die Breite der oberen Uferumrandung beträgt im Minimum 15 m. Die Böschungsneigungen sind variabel (im Mittel 1:3–1:2). Die Ufer sind im Einschnitt bis zu gut vier Meter hoch. An einigen Stellen erheben sich kleinere Dämme bis etwa 60 cm über das Terrain. Diese sind luftseitig 1:5 geneigt und mit Gras bewachsen, aber rechnerisch nicht als überströmbar gedacht. In diesem oberen Teilstück überquert eine Brücke den Bach (Breite zwischen den Widerlagern 7.0 m, Höhe über der Mittelwassersohle 2.0 m).



Bild 1. Sagentobelbach in der Flachstrecke (1.5%–2.0%). Aufnahme vom November 2012 (nach dem grossen Hochwasser vom 3. Juli 2012) (Quelle: Basler&Hofmann AG).

erforderliches Freibord f_e	berechnet	gerundet (Grenzwerte berücksichtigt)	Bemerkung
Abfluss Q [m ³ /s]	13		
Fließtiefe h [m]	1.1		Staukurvenberechnung
Fließgeschwindigkeit v [m/s]	2.5		Staukurvenberechnung
σ_{wz} [m]	0.20		geschätzt
σ_{wh} [m]	0.12		Gl. (1)
f_w [m]	0.23		Gl. (2)
f_v [m]	0.32		Gl. (3)
f_t [m]	0.50		Schwemmholz einzeln, Brücke mit glatter Untersicht
f_e Einschnitt [m]	0.23	0.3	nach Gl. (1) mit f_w
f_e Damm / Kegel [m]	0.39	0.4	nach Gl. (1) mit f_w, f_v
f_e Brücke [m]	0.64	0.6	nach Gl. (1) mit f_w, f_v, f_t

Tabelle 1. Erforderliche Freiborde im Sagentobelbach für einen Abfluss von 13 m³/s.

Der Bach wurde hydraulisch mittels eindimensionaler Staukurvenrechnung dimensioniert (Rauheitsbeiwert $k=25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$). Der Bemessungsabfluss beträgt 13 m³/s. Es resultieren eine Abflusstiefe von 1.1 m und eine mittlere Fließgeschwindigkeit von 2.5 m/s. Der Geschiebeeintrag im betrachteten Abschnitt wird als gering beurteilt, weil das aus dem Einzugsgebiet herangeführte Material mehrheitlich eingangs des Dorfes liegen bleibt. Hingegen wird kiesiges Material (anstehendes und aus ökologischen Überlegungen einge-

brachtes Fremdmaterial) bei Hochwasser transportiert, so dass die Sohlenlage bei Hochwasser Schwankungen unterliegt. Der Fehler am berechneten Wasserspiegel, aufgrund von Unschärfen in der Prognose der Sohlenlage wird deshalb zu $\sigma_{wz}=0.2$ m geschätzt. Das Holzaufkommen ist wegen der Verklausungen im engen, oberen Dorfteil und wegen der Wildbachverbauungen eher gering. Bäume werden einzeln angeschwemmt.

Es resultieren die erforderlichen Freiborde von Tabelle 1.

3. Schächen bei Altdorf, Kanton Uri

Der Schächen entwässert das westlich des Klausenpasses gelegene Schächental und mündet bei Attinghausen in die Reuss. Das Einzugsgebiet ist 109 km² gross. Auf

den letzten ca. 2 km seines Laufs fliest der Schächen auf seinem Schwemmkegel. Auf diesem Abschnitt wurde das Gerinne nach dem verheerenden Hochwasser von 1911 in eine gemauerte Schale eingefasst (siehe Bild). Das Gefälle beträgt dort 2.2%,

die Sohlbreite 15 m, die Uferneigung 1:1. Wand- und Sohlrauigkeit können durch einen k-Wert nach Strickler von 45 m^{1/3}/s charakterisiert werden.

Im oberen Teil liegt die Schale in einem Einschnitt. Nachher liegt sie auf dem Kegel, d.h. austretendes Wasser fliest nicht mehr ins Gerinne zurück.

Weststaulagen führen immer wieder zu bedeutenden Hochwassereignissen. Am 1. August 1977 und am 23. August 2005 uferete der Schächen oberhalb der SBB-Brücke kurz oberhalb der Mündung aus und führte zu grossen Schäden. Die Reuss konnte den grossen Geschiebeaufall des Schächens nicht bewältigen und die Sohle landete an der Mündung auf. Dies bewirkte bei beiden Ereignissen eine rückschreitende Auflandung in der Schale des Schächens, worauf der Brückenquerschnitt mit Geschiebe und Holz verfüllt wurde. Grundsätzlich gibt es somit zwei Dimensionierungsfälle, nämlich den Fall des Reinwasserabflusses auf glatter Sohle mit hohen Fliessgeschwindigkeiten sowie den Fall des Abflusses auf der rückschreitenden Auflandung. Für den Fall ohne Ablagerungen auf der Schale resultieren die erforderlichen Freiborde von *Tabelle 2*. Sie werden durch die minimal bzw. maximal erforderlichen Freiborde aus Kap. 4.6 bestimmt. Die lichte Weite unter der Brücke und die Höhe der Ufer betragen 3 m. Die Summe von Abflusstiefe und Freibord ergibt 2.8 m. Die Dimensionierung wäre also für diesen Fall ausreichend.

Für den Fall mit Ablagerungen auf der Schale resultieren die erforderlichen Freiborde von *Tabelle 3*. Die Ufer müssen für diesen Fall knapp 4 m hoch sein (Summe von Ablagerung, Fliesstiefe und erforderlichem Freibord). Mit der kürzlich realisierten Erhöhung der Ufermauern ist diese Bedingung erfüllt.

erforderliches Freibord f_e	berechnet	gerundet (Grenzwerte berücksichtigt)	Bemerkung
Abfluss Q [m ³ /s]	120		
Fliesstiefe h [m]	1.3		Normalabflussrechnung
Fliessgeschwindigkeit v [m/s]	7.1		Normalabflussrechnung
σ_{WZ} [m]	0.00		feste Sohle, keine Auflandung
σ_{Wh} [m]	0.14		Gl. (1)
f_w [m]	0.14		Gl. (2)
f_v [m]	2.57		Gl. (3)
f_t [m]	0.50		Schwemmholz einzeln, Brücke mit glatter Untersicht
f_e Einschnitt [m]	0.14	0.3	nach Gl. (1) mit f_w
f_e Damm / Kegel [m]	2.57	1.5	nach Gl. (1) mit f_w, f_v
f_e Brücke [m]	2.62	1.5	nach Gl. (1) mit f_w, f_v, f_t

Tabelle 2. Erforderliche Freiborde im Schächen für einen Abfluss von 120 m³/s auf glatter Sohle ohne Auflandung.

erforderliches Freibord f_e	berechnet	gerundet (Grenzwerte berücksichtigt)	Bemerkung
Abfluss Q [m ³ /s]	120		
Fliesstiefe h [m]	1.36		Normalabflussrechnung auf einer Ablagerungsschicht von 1.5 m, diese wurde durch numerische Simulation ermittelt.
Fliessgeschwindigkeit v [m/s]	4.56		dito
σ_{WZ} [m]	0.30		Die in der Simulation ermittelte Auflandungshöhe ist stark von den gewählten Szenarien abhängig.
σ_{Wh} [m]	0.14		Gl. (1)
f_w [m]	0.33		Gl. (2)
f_v [m]	1.06		Gl. (3)
f_t [m]	0.50		Schwemmholz einzeln, Brücke mit glatter Untersicht
f_e Einschnitt [m]	0.33	0.3	nach Gl. (1) mit f_w
f_e Damm / Kegel [m]	1.11	1.1	nach Gl. (1) mit f_w, f_v
f_e Brücke [m]	1.26	1.3	nach Gl. (1) mit f_w, f_v, f_t

Tabelle 3. Erforderliche Freiborde im Schächen für einen Abfluss von 120 m³/s mit rückschreitender Auflandung.



Bild 2. Schächen bei Altdorf (Quelle: Flussbau AG SAH).



Bild 3. Alpenrhein bei Au/Lustenau. (Foto stimmt nicht mit Ort Hydraulik überein) (Quelle: Hunziker, Zarn & Partner AG).

erforderliches Freibord f_e	linkes Vorland		Hauptgerinne		rechtes Vorland		Bemerkung
	berechnet	gerundet	berechnet	gerundet	berechnet	gerundet	
Abfluss Q [m ³ /s]	715		2080		305		$Q_{total} = 3'100 \text{ m}^3/\text{s}$
Fließtiefe h [m]	3.73		7.36		2.92		Normalabflussrechnung, gew. Mittel 6.10 m
Fliessgeschw. v [m/s]	2.31		3.67		1.96		Normalabflussrechnung
σ_{wz} [m]	0.05		0.05		0.05		geschätzt
σ_{wh} [m]	0.43		0.43		0.43		Gl. (1)
f_w [m]	0.43		0.43		0.43		Gl. (2)
f_v [m]	0.27		0.69		0.20		Gl. (3)
f_t [m]	1.00		1.00		1.00		viel Schwemmholtz, Brücken z.T. mit rauer Untersicht
f_e Einschnitt [m]	0.43	0.4	0.43	0.4	0.43	0.4	nach Gl. (1) mit f_w
f_e Damm / Kegel [m]	0.51	0.5	0.81	0.8	0.47	0.5	nach Gl. (1) mit f_w, f_v
f_e Brücke [m]	1.12	1.1	1.29	1.3	1.11	1.1	nach Gl. (1) mit f_w, f_v, f_t

Tabelle 4. Erforderliche Freiborde im Alpenrhein für einen Abfluss von 3100 m³/s.

Unter der Brücke müsste eine lichte Weite von 4.16 m vorhanden sein. Die im Zug des NEAT-Baus ursprünglich vorgesehene Höhe von 4 m hätte also nicht ausgereicht. Die neue Brücke wurde als Druckbrücke mit einer 3 m hohen Verschalung realisiert. Die rechnerische Dimensionierung erwies sich später im hydraulischen Modellversuch als korrekt.

4. Alpenrhein, Internationale Rheinstrecke

Der Alpenrhein bildet oberhalb des Bodensees die Landesgrenze zwischen St. Gallen (CH) und Vorarlberg (A) und entwässert ein 6119 km² grosses Einzugsgebiet. In diesem Abschnitt queren mehrere Brücken den Talfluss, welcher zwischen hohen, nicht überströmsicheren Dämmen in einem Doppeltrapezprofil fliesst. Die Vorländer sind vom Mittelgerinne mit überströmbarer Wuhren abgetrennt. Das Mittelgerinne ist rund 60 m breit, der Abstand zwischen den Hauptdämmen beträgt rund 255 m. Der Alpenrhein hat ein Gefälle von 0.11%. Die Rauheit der Flussohle wird auf 37 m^{1/3}/s und diejenige der Ufer und des Vorlandes im Mittel auf 32.5 m^{1/3}/s geschätzt. Der Alpenrheinabschnitt oberhalb des Bodensees ist eine Anlandungsstrecke. Weil die Wildbacheinzugsgebiete weit entfernt sind und herangeführtes Geschiebe in der Sohle gespeichert wird, sind die Sohlenveränderungen während eines Hochwasserereignisses gering. Dafür ist das Holzaufkommen bei Hochwasser gross.

Der Freibordanteil f_w wegen der Unschärfe bei der Bestimmung des Wasserspiegels wird für den Gesamtquerschnitt

ermittelt. Ein Fehler bei der Rauheit im Vorland wirkt sich auch auf den Wasserspiegel im Mittelgerinne aus und umgekehrt. Bei einem Abfluss 3100 m³/s (HQ_{100}) fliessen rund 2080 m³/s im Mittelgerinne mit einer mittleren Fließtiefe von 7.36 m und einer mittleren Geschwindigkeit von 3.67 m/s ab. Die entsprechenden Werte für das linke Vorland (CH) sind 715 m³/s, 3.73 m und 2.31 m/s und für das rechte Vorland (A) 305 m³/s, 2.92 m und 1.96 m/s. Die Werte wurden mit einer Normalabflussberechnung in einem idealisierten Querprofil bei Flusskilometer 79.4 bestimmt. Der Fehler aus der Abflussberechnung σ_{wh} kann mit einer an den Teilabflüssen gewichteten mittleren Fließtiefe abgeschätzt werden. Diese lässt sich mit

$$h_{Mittel} = \frac{h_I Q_I + h_m Q_m + h_r Q_r}{Q_{total}} = \\ \frac{3.73 \cdot 715 + 7.36 \cdot 2080 + 2.92 \cdot 305}{3100} \approx 6.10 \text{ m} \quad (6)$$

berechnen. Mit Gleichung (3) resultiert für σ_{wh} ein Wert von 0.43 m. Der Fehler auf den Wasserspiegel σ_{wh} infolge Unsicherheiten bei der Sohlenlage wird auf 0.05 m geschätzt. Im Mittelgerinne besteht die Unsicherheit wegen möglichen Geschiebeablagerungen und im Vorland wegen Schwebstoffablagerungen. Würden die Fehler für die Teilgerinne unterschiedlich geschätzt, könnte ein gewichtetes Mittel mit dem analogen Vorgehen wie bei der Fließtiefe bestimmt werden. Mit Gleichung (2) resultiert schliesslich für f_w ein

Wert von 0.43 m. Dieser ist für die beiden Vorländer und das Mittelgerinne gleich.

Wegen der unterschiedlichen Fliessgeschwindigkeiten in den Teilquerschnitten ist das Teilstreibord f_v für die Berücksichtigung von Wellenbildung und Rückstau an Hindernissen in den Vorländern und im Mittelgerinne nicht gleich. Mit Gleichung (4) resultiert für das Mittelgerinne $f_v = 0.69$ m, für das linke Vorland $f_v = 0.27$ m und für das rechte Vorland $f_v = 0.20$ m. Weil Schwemmholtz in allen Teilquerschnitten transportiert werden kann, wird das Teilstreibord f_v überall auf 1 m festgelegt.

Das erforderliche Freibord wird für alle drei Teilquerschnitte individuell bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Für die Ufer in einem Einschnitt würde sich ein erforderliches Freibord f_e von 0.4 m ergeben. Dies ist ein theoretischer Wert, weil der Alpenrhein nicht in einem Einschnitt fliesst. Im Einschnitt wäre das erforderliche Freibord für alle drei Teilabflussquerschnitte gleich, weil es nur vom Fehler am Wasserspiegel abhängt. Entlang von Dämmen ist das erforderliche Freibord in den Vorländern 0.50 m, im Hauptgerinne wären es 0.8 m, falls dieses von Dämmen eingefasst würde. Der Unterschied wird durch die höhere Fliessgeschwindigkeit im Hauptgerinne verursacht. Bei einer Brücke ist das erforderliche Freibord f_e in den beiden Vorländern mit 1.10 m gleich und im Mittelgerinne mit 1.3 m rund 20 cm höher.

Anschrift des Verfassers

KOHS c/o Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband



Gemeinsam halten Sie sich über Wasser.

Wasser kennt keine Grenzen, insbesondere wenn es in Massen kommt. Lösungen gegen Hochwasser, die zusammen mit Ihrer Nachbargemeinde umgesetzt werden, sind oft wirksamer. Kooperationen sind auch bei der Wasserversorgung, beim Abwasser oder bei der Revitalisierung von Gewässern von Nutzen. Weshalb sie sich lohnen und wie Sie vorgehen können, zeigt der Wasserkompass für Gemeinden. Bestellen Sie ihn unter www.wasser2013.ch