Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 104 (2012)
Heft: 2

Artikel: Erosion von überströmten Gasböschungen
Autor: Jäggi, Martin
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941879

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: 13.07.2025

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

Erosion von überströmten Grasböschungen

Martin Jäggi

Zusammenfassung

Im Allgemeinen wird in der Schweiz das Überströmen von Grasböschungen auf der Luftseite von Hochwasserschutzdämmen nicht zugelassen, in Einzelfällen aber ohne rechnerischen Nachweis toleriert. Eine direkte Anwendung der einzigen verfügbaren Richtlinie führt zu sehr restriktiven Ergebnissen. Bei leichtem Überströmen mit geringen Fliesstiefen können Fliessformeln für den Makrorauigkeitsbereich angewandt und daraus eine reduzierte Sohlenschubspannung abgeleitet werden, die dann mit der zulässigen Schubspannung aus der Richtlinie verglichen wird. Damit erscheint ein leichtes Überströmen von relativ flachen mit Gras bedeckten Böschungen tolerierbar. In solchen Fällen erhöht sich auch die rechnerische Gerinnekapazität im Vergleich mit den üblichen Annahmen.

Résumé

En général, un écoulement sur le talus extérieur d'une digue servant à la protection contre les crues d'une rivière n'est pas toléré en Suisse. Dans certain cas cependant un tel écoulement est accepté, sans calcul de dimensionnement spécifique. Une application de la seule directive disponible conduit à des résultats très restrictifs. Pour le cas d'un léger déferlement avec des faibles tirants d'eau des formules développées pour le domaine de macrorugosité peuvent être appliquées. On en déduit une force tractrice réduite, qui est comparée aux valeurs de la directive. Pour des talus couverts de gazon à pente relativement faible un certain écoulement peut être toléré d'après cette procédure. Il en résulte aussi une plus grande capacité hydraulique du chenal, comparé aux procédures courantes.

Abstract

Generally in Switzerland flow over the external slope of flood protection dikes along rivers is not accepted. In some cases it is tolerated, however without a proper design calculation. Applying the only directive available leads to very restrictive results. Macro-roughness flow formulas can be used in case of low overflow. A reduced shear stress can be derived which then is compared to the values of the directive. Thus, for grass covered moderately steep slopes a certain overflow may be tolerated. This also results in increased discharge capacities of the channel compared to current procedures.

1. Einleitung

Hochwasserschutzdämme sind auf der Luftseite sehr oft mit Gras bewachsen. Für den Dimensionierungsfall, also die schadlose Abfuhr einer bestimmten Hochwassermenge, wird in der Regel angenommen, dass ein Überströmen des Damms ausgeschlossen werden muss. Es wird ein entsprechendes Freibord berücksichtigt. Vereinzelt gibt es aber Ausnahmen zu dieser Regel. Es werden relativ flache Böschungen von 8–10% angeordnet und darauf gesetzt, dass die Grasnarbe dem überströmenden Wasser standhalten könne (Flazkorrektion, *Bild 1*; Hochwasserrückhaltepolder am Chrouchtalbach, Jordi, 2003). Eine eigentliche Dimensionierungsregel für diesen Fall gibt es aber nicht.

Eigene Beobachtungen nach dem Hochwasser des Rottens von Oktober 2000 bei Niedergampel oder jenem der Lütschine von August 2005 *(Bild 2)* zeigen, dass ein leichtes Überströmen des Damms noch nicht notwendigerweise zur Erosion des Damms führt. Bei Bieudron VS kam es beim Hochwasser der Rhone von Oktober 2000 zu einem Dammbruch, der photografisch gut dokumentiert wurde *(Bild 3)*. Zwar kann man hier eine äussere Erosion der Böschung als Ursache vermuten, doch wird in diesem Fall eher angenommen, dass das überströmende Wasser auch den Damm infiltrierte und vollständig sättigte, worauf die Böschung abgerutscht sei (Bianco und Genolet, 2002). Der Fall Bieudron zeigt, dass steile Böschungen bei voller Sättigung geotechnisch instabil werden können und die entsprechenden Stabilitätsnachweise für den Fall des Überströmens geliefert werden

Bild 1. Flach angeordnete Böschung des Hochwasserschutzdamms am neuen Flaz bei Samaden.

Bild 2. Hochwasserschutzdamm der Lütschine unterhalb von Wilderswil nach dem Hochwasser von August 2005. Der Damm wurde leicht überströmt, der Grasbewuchs hat die Böschung (noch) vor Erosion geschützt.

Bild 3. Dammbruch bei Bieudron VS an der Rhone während des Hochwassers vom 15. Oktober 2000 (Aufnahme Grande Dixence SA).

müssen. Praktisch schliesst dies steilere Böschungen als etwa 1:2 aus. Die nachfolgenden Ausführungen gelten somit nur für das Überströmen von Böschungen mit maximal dieser Neigung.

Piontkowitz et al. (2009) beschreiben eine grossmassstäbliche Versuchsanlage, bei denen das Überschwappen von Wellen über einen mit Gras bewachsenen Deich untersucht wird (Ero-GRASS-Projekt). Solche Deiche sind an der Nordseeküste Dänemarks und Deutschlands häufig. Das Auslaufen der Welle über die luftseitige Böschung ist mit dem Überströmen eines Hochwasserschutzdamms an einem Fluss vergleichbar. Die Untersuchungen laufen noch. In absehbarer Zeit soll ein weiterer Versuchsbericht erscheinen.

Mous (2010) hat einen Teil dieser Versuche ausgewertet. Demnach ist der Erosionswiderstand von Grasböschungen sehr stark von der Qualität des Rasens abhängig. Lücken in der Vegetationsdecke führen schon bei geringen Belastungen zu Erosion. Ist die Böschung dicht mit Gras bedeckt, können aber Fliessgeschwindigkeiten von 4 bis 5 m/s schadlos aufgenommen werden.

2. Dimensionierungsansatz ASF

Das damalige Eidgenössische Amt für Strassen und Flussbau ASF hat 1973 eine Richtlinie herausgegeben, welche die maximale Strömungsbelastung von Rasenböschungen definiert. Es handelt sich allerdings nicht um den Fall des Überströmens, sondern der hangparallelen Strömung im Fliessquerschnitt über der Böschung. Es wird eine maximal zulässige Fliesstiefe definiert *(Bild 4)*, für welche der Erosionswiderstand der Grasböschung noch ausreicht:

$$\tau_{max} = \rho_W g h_{max} J \quad [Pa] \qquad (1)$$

Als maximale zulässige Schubspannung werden 40 bis 50, evt. bis 80 [Pa] angegeben. Darin sind ρ_W die Dichte des Wassers, g die Erdbeschleunigung und J das Längsgefälle des Fliessgewässers. Für den höchsten betrachteten Wasserspiegel H_{max} ergibt sich so die grösste zulässige Abflusstiefe über der Grasböschung h_{max}. Der untere Böschungsbereich muss demnach mit Hartverbau gesichert werden. Obige Grenzwerte wurden von Lichtenhahn (1977) übernommen und wurden seither vielfach zitiert. Wird diese Regel unbesehen auf den Fall des Überströmens angewandt, wären nur Abflusstiefen von wenigen Zentimetern über der Böschung zulässig. Das Überströmen von luftseitigen Grasböschungen von Hochwasserschutzdämmen müsse damit praktisch ausgeschlossen werden.

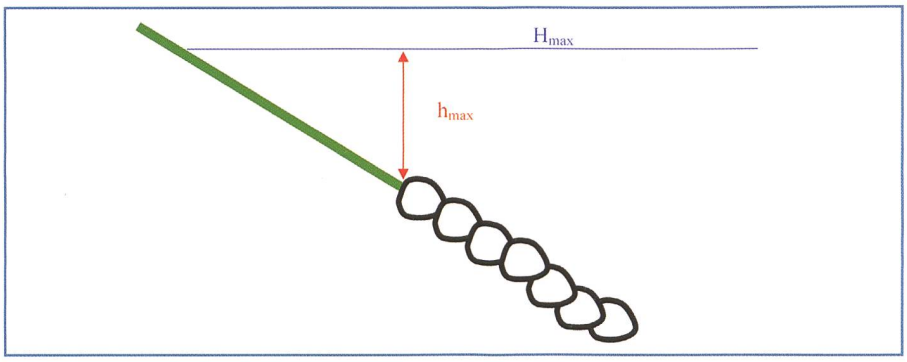


Bild 4. Definition der maximal zulässigen Abflusstiefe über einer Grasböschung an einem Flussufer (nach ASF, 1973).

3. Näherungsverfahren

Bei einem leichten Überströmen und somit einer geringen Fliesstiefe über der Grasböschung befindet man sich im sogenannten Makrorauigkeitsbereich. Abflusstiefe und Rauigkeitselemente, hier zum Beispiel Grasbüschel, liegen in der gleichen Grössenordnung. Zur Berechnung der Fliessgeschwindigkeit über der Dammböschung unter Normalabflussverhältnissen kann eine Raugerinneformel verwendet werden (hier nach Jäggi, 1984).

$$v_m = \sqrt{g \cdot h \cdot J \left(1 - e^{\left[-\alpha \cdot \left(\frac{h}{\varepsilon_0}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{J}}\right]}\right) 2.5 \cdot \ln \frac{12.3 \cdot h}{\varepsilon_0}} \qquad (2)$$

J ist in diesem Falle die Neigung der luftseitigen Dammböschung, h die Abflusstiefe über der Böschung, ε_0 die Höhe des massgebenden Rauigkeitselements an der Böschungsoberfläche, g die Erdbeschleunigung und α ein Formbeiwert, der hier zu 0.05 angenommen wird. Für ein gewähltes h ergibt sich die mittlere Geschwindigkeit v_m und mit $q = h \cdot v_m$ der zugehörige spezifische Abfluss. Unter Verhältnissen wie auf *Bild 4* wird üblicherweise ein k-Wert nach Strickler von etwa 35 $m^{1/3}/s$ angenommen. Dies entspricht einem Rauigkeitselement von ca. 5 cm.

In Untersuchungen mit grossen Rauigkeitselementen (Whittaker et al., 1988) oder Gebirgsbächen (Rickenmann, 1996) wird angenommen, dass grosse Blöcke als Makrorauigkeitselemente ähnlich Dünen Formverluste verursachen und eine reduzierte Strömungsbelastung resp. Schubspannung auf die Sohle wirkt. Bei der Grasböschung würden die Grasbüschel analog den Blöcken die Formverluste verursachen und die Belastung auf die Zwischenräume reduzieren. Es kann aus obiger Formel eine reduzierte Schubspannung abgeleitet werden:

$$\tau' = \rho \cdot g \cdot h \cdot J \left(1 - e^{\left[-\alpha \cdot \left(\frac{h}{\varepsilon_0} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{J}} \right]} \right) \quad (3)$$

Es sei nun postuliert, dass der Grenzwert nach ASF im Fall von Makrorauigkeit für die reduzierte Schubspannung gilt:

$$\tau' \leq 50 \div 80 \quad [Pa] \quad (4)$$

Daraus ergeben sich gemäss Formel (3) Fliessgeschwindigkeiten von etwa

$$v_m \leq 2 \div 2.5 \quad [m/s] \quad (5)$$

4. Gerinnekapazität

Bild 5 zeigt schematisch die Abflussverhältnisse im Querprofil und über dem überströmten Damm. Im Querprofil ist der mittlere Wasserspiegel eben (Wark et. al., 1990). Die mittlere Fliessgeschwindigkeit ist Funktion der örtlichen Wassertiefe. Sie ist somit in der Gerinnemitte am höchsten und wird in der Nähe der Dammkrone immer kleiner. Die Energielinie ist entsprechend in der Gerinnemitte am höchsten und sinkt gegen die Dammkrone auf die Höhe des Wasserspiegels im Gerinne ab. Am luftseitigen Ende der Dammkrone kann eine Überfallrechnung durchgeführt werden, wo die kritische Abflusstiefe hcr und die entsprechende spezifische Energiehöhe H_{cr} erreicht werden. Über dem Damm liegt der Wasserspiegel um die Geschwindigkeitshöhe $v_0^2/2g$ tiefer als die Energielinie, deren Lage H_{cr} und auch etwa der Wasserspiegellage im Gerinne entspricht.

Mit Hilfe der Formeln (3) bis (5) kann der maximal zulässige spezifische Abfluss über der luftseitigen Dammböschung bestimmt werden. Die höchsten Belastungen werden unter Normalabfluss erreicht. Für den berechneten spezifischen Abfluss wird die spezifische Energiehöhe H_{cr} über der Dammkrone bestimmt. Unter Vernachlässigung der Energieverluste über dem Damm kann daraus direkt auf den maximal zulässigen Wasserspiegel im Gerinne geschlossen werden, wobei man auf der sicheren Seite liegt.

5. Beispiel

Eingabedaten

Neigung der luftseitigen Dammböschung J	10%
Rauigkeitselement der Grasböschung ε_0	0.05 m
Koeffizient α	0.05
Gewählt	τ'max = 80 Pa
Berechnet	vm = 2.6 m/s
	q = 0.47 m^3/ms
	H_{cr} = 0.42 m

Der Wasserspiegel im Gerinne darf also 0.42 m höher liegen als die Dammkrone. Die Entlastungsleistung über den Damm ist relativ klein. Es braucht ca. 200 m Dammlänge, um 100 m^3/s zu entlasten. Die so bestimmte Wasserspiegellage bedeutet gegenüber einer konservativen Annahme mit einem Freibord von 0.7 bis 1.0 m einen erheblichen Kapazitätsgewinn.

Mit der unkritischen Anwendung von Formel (1) wird τ = 177 Pa erreicht, was deutlich über dem entsprechenden zulässigen Grenzwert liegt.

6. Wertung

Das vorgestellte Verfahren erlaubt es, näherungsweise die Grenzbelastung für Grasböschungen zu bestimmen. Es beruht im Wesentlichen auf der Analogie zu sogenannten Makrorauigkeitsverhältnissen, also einem kleinen Verhältnis von Abflusstiefe zum massgebenden Rauigkeitselement und der bisher einzigen Richtlinie zu dieser Thematik in der Schweiz (ASF, 1973). Bei flachen Böschungen wie am Flaz oder am Chrouchtalbach dürfte der Stabilitätsnachweis mit dem vorgestellten Verfahren möglich sein.

Wann eine solche Böschung durch die Strömung erodiert wird, ist von einer Reihe von Parametern abhängig, die durch das vorgestellte Näherungsverfahren nicht berücksichtigt werden. Sicher spielen die Art der Pflanzen, die Dichte des Bewuchses, der Untergrund, die Verwurzelung und weitere Elemente eine Rolle. Deshalb ist dieser Artikel auch als Anstoss für weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet gedacht.

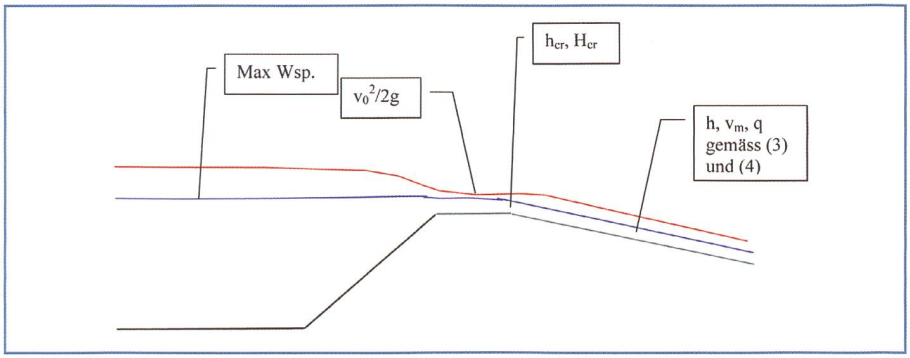


Bild 5. Abflussverhältnisse im Gerinne und bei Überströmen des Damms.

Literatur

Bianco, Ph., Genolet, F. (2002), Rhône, Bieudron, Hochwasser 2000, Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 2, Bern, 223–230.

Eidgenössisches Amt für Strassen- und Flussbau ASF (1973), Lebendverbauung an fliessenden Gewässern, Bern.

Jäggi, M. (1984), Abflussberechnung in kiesführenden Flüssen. Wasserwirtschaft, 24. Jg., Heft 5, 263–267.

Jordi, W. (2003), Das Poldersystem am Chrouchtalbach, Ingenieurbiologie/génie biologique, 3/03, 3–7.

Lichtenhahn, C. (1977), Vorlesung Flussbau, Skript, ETH Zürich

Mous, B.C. 2010, Wave impact on grass covered outer slopes, MSc-thesis C1143360, TU Delft.

Piontkowitz, T., Verhagen, H.J., Verheij, H., Mai Cao, T., Dassanayake, D., Roelvink, D., Zielinski, M., Kont, A., Ploompuu, T. (2009): EroGRASS-Failure of Grass Cover Layers at Seaward and Shoreward Dike Slopes. Design, Construction and Experimental Procedure. EroGRASS User Group. Lemvig (Denmark), pp. 74.

Rickenmann, D. (1996). Fliessgeschwindigkeit in Wildbächen und Gebirgsflüssen. Wasser, Energie, Luft 88 (11/12), 298–304.

Wark, J.B., Samuels, P.C., Ervine, D.A. (1990) A practical method of estimating velocity and discharge in compound channels, International Conference on River Hydraulics, Wiley & Sons, 163–172.

Whittaker, J.G., Hickman, W.E., Croad, R.N. (1988): «Riverbed Stabilisation With Placed Blocks», Central Laboratories Report 3–88/3, Hydraulics Section, Central Laboratories Works Corporation, Lower Hutt, NZ.

Anschrift des Autors
Dr. *Martin Jäggi*
Jäggi Flussbau und Flussmorphologie
Bergholzweg 22, CH-8123 Ebmatingen
jaeggi@rivers.ch, www.rivers.ch

AWEL, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Kanton Zürich

Für die Sektion Bau der Abteilung Wasserbau des AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft suchen wir infolge Pensionierung des jetzigen Stelleninhabers per sofort oder nach Vereinbarung eine/n

Wasserbauingenieur/-in 100 %

Aufgaben

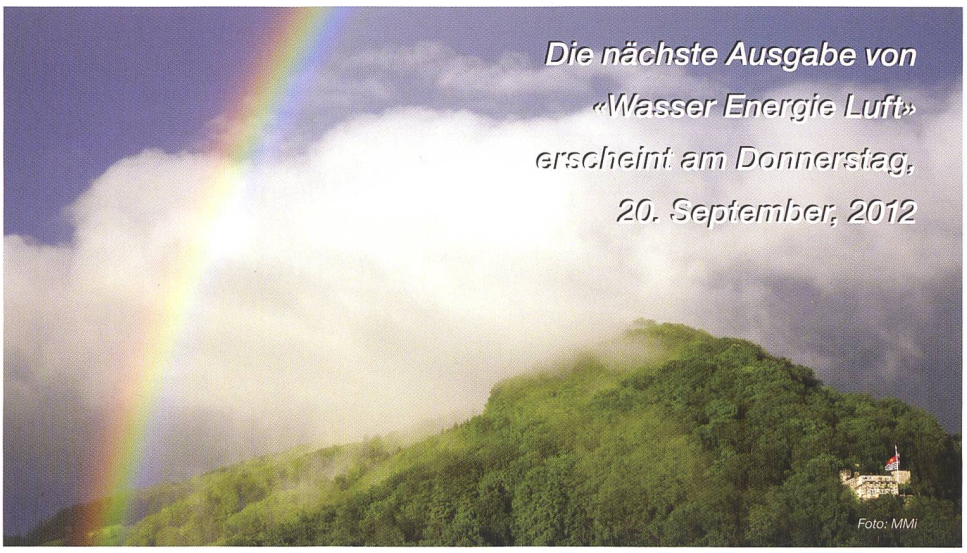
- Planung, Projektierung und Realisierung von Hochwasserschutzmassnahmen als interner Projektleiter (Leitung finanziell, technisch, organisatorisch)
- Prüfen und Veranlassen von technischen Abklärungen im Zusammenhang mit Stauanlagen im Kanton Zürich
- Leitung und Beratung von externen Projektierungsteams
- Beratung von Gemeinden und Fachbehörden
- Unterstützung der Abteilung im Bereich Hochwasserschutz und hydraulischen Fragestellungen, sowie beim Qualitäts- und Projektmanagement
- Öffentlichkeitsarbeiten

Anforderungen

- Dipl. Bau- oder Kulturingenieur/in ETH oder gleichwertige Ausbildung
- Kenntnisse der neuen Berechnungsmethoden in Hydraulik und Flussdynamik
- Praxis im naturnahen Wasserbau
- Erfahrung bei Projektierung und Ausführung sowie beim Qualitäts- und Projektmanagement von Tiefbauarbeiten, vor allem Wasserbau (finanziell, technisch, organisatorisch)
- Gewandtheit im schriftlichen und mündlichen Ausdruck
- Verhandlungsgeschick
- Fähigkeit und Freude für Teamarbeit und interdisziplinäre Arbeitsweise

Wir bieten Ihnen eine vielseitige und spannende Tätigkeit mit hoher Eigenverantwortung. Sie arbeiten mit motivierten Kolleginnen und Kollegen in einem dynamischen Umfeld mit viel Gestaltungsfreiraum. Und Sie profitieren von attraktiven Anstellungsbedingungen, fortschrittlichen Arbeitszeitmodellen und internen Weiterentwicklungsmöglichkeiten. Zudem ist Ihr Arbeitsplatz zentral gelegen und nur wenige Minuten vom Hauptbahnhof entfernt.

Wir freuen uns auf Ihre vollständige Bewerbung: Baudirektion Kanton Zürich, Human Resources, Patricia Ingold, Walcheplatz 2, Postfach, 8090 Zürich. E-Mail: hr3@bd.zh.ch. Für Fragen zu den Anstellungsbedingungen und zum Selektionsprozess wenden Sie sich bitte an Frau Patricia Ingold (Tel. 043 259 27 36), für Fragen zu den Aufgaben und zur Tätigkeit an Herr Dr. Matthias Oplatka, Sektionsleiter, Tel. 043 259 32 11,
E-Mail: matthias.oplatka@bd.zh.ch.

Weitere Stellenangebote beim Kanton Zürich unter www.publicjobs.ch
Weitere Informationen unter www.wasserbau.zh.ch

Baudirektion
Kanton Zürich