Abflussinstabilitäten in Treppengerinnen mit eingetieften oder rückwärts geneigten Stufen

Autor(en): **Knellwolf, Christoph / Schleiss, Anton**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **102 (2010)**

Heft 3

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-941665

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Abflussinstabilitäten in Treppengerinnen mit eingetieften oder rückwärts geneigten Stufen

Christoph Knellwolf, Anton Schleiss

Zusammenfassung

Zur Beherrschung von Abflüssen auf steilen Gefälle werden oft Treppengerinne mit eingetieften Stufen verwendet. Die Schwellen auf den Stufen erhöhen den Abflusswiderstand und reduzieren die Kavitationsgefahr, können aber auch Abflussinstabilitäten verursachen. Diese wurden von Thorwarth (2008) ausführlich untersucht und beschrieben. Basierend auf Versuchen mit Gerinneneigungen von 8.9°, 14.6° und 18.6°, stellt er ein semi-analytisches Modell zur Vorhersage des Auftretens der Instabilitäten auf. In diesem Beitrag werden die Vorhersagen des Modells mit Testresultaten von zwei weiteren Gerinneneigungen verglichen (6.3° und 9.9°). Zusätzlich wird der Einfluss einer Gegenneigung der Stufen beschrieben. Es wird eine geometrische Transformation vorgeschlagen, welche es erlaubt das Modell von Thorwarth auch auf rückwärts geneigte Stufen anzuwenden. Am Schluss wird in einem Beispiel gezeigt wie für ein gegebenes Treppengerinne der Auftretensbereich von Abflussinstabilitäten des Typs «Jump-Waves» bestimmt wird.

Abstract

Pooled stepped spillways are commonly used to govern flows on step slopes. Endsills on stepped spillways increase the loss of energy of the flow and reduce the risk of cavitation. Nevertheless, pooled steps may lead to flow instabilities. Thorwarth (2008) described and analysed these unsteady flow phenomena. Based on measurements for channel slopes of 8.9°, 14.6° and 18.6°, he proposed a semi-analytical model to predict these instabilities, depending on the geometry of the steps and discharge. In this contribution the paper of Thorwarth is enhanced with two other tested slopes. Furthermore, the effects of backwards inclined steps regarding these instabilities are studied. A geometrical transformation is proposed which allows using the model of Thorwarth also for prediction on backward inclined stepped channels. At the end an example explains how discharges, who lead to instabilities for a given geometry, can be determined.

Résumée

Les évacuateurs des crues en marches d'escaliers équipés avec des seuils sont souvent utilisés pour maitriser des écoulements sur fortes pentes. Par rapport au coursier à marches en escaliers simples, les marches avec des seuils augmentent la perte de charge mais des instabilités de l'écoulement peuvent se produire. Thorwarth (2008) décrit et analyse ces phénomènes d'instabilité de l'écoulement. Basé sur des essais mesures sur des coursiers avec des pentes entre 8.9°, 14.6° et 18.6°, un modeèle semi-analytique en fonctions de la géométrie des marches a été proposé pour prédire les débits qui conduisent à ces instabilités. Dans cette contribution les résultats de deux autres géométries sont comparés avec les prévisions faite avec le modèle de Thorwarth. En plus, l'influence des marches avec des contrepentes est étudiée. Une transformation géométrique est proposée qui permet d'utiliser le modèle de Thorwarth également pour des marches avec des contrepentes. A là fin un exemple montre comment faire pour déterminer les débits qui conduisent à des instabilités pour une géométrie donnée.

1. Einführung

Treppengerinne werden häufig eingesetzt um grosse Höhendifferenzen zu überwinden. Die Treppengeometrie führt zu erhöhten Energieverlusten entlang der Fliessstrecke sowie zur Reduzierung der Kavitationsgefahr. Oftmals werden zusätzliche Schwellen an der Stufenkante angebracht. Diese erhöhen den Abflusswiderstand (André, 2004, Thorwarth, 2008), können jedoch zu beträchtlichen Abflussinstabilitäten führen (Thorwarth, 2008). Solche Instabilitäten wurden beispielsweise in der Hochwasserentlastungsanlage der Sorpetalsperre sowie an mit Sohlschwellen verbauten Wildbächen, wie an der Ruetz in Österreich (Ganz, 2002) und an der kleinen Schliere in der Schweiz (Premstaller, 2006) beobachtet. Die Abflussinstabilitäten können vom seitlichen Überlauf der Gerinne bis zum Versagen der Schwellen führen.

Thorwarth (2008) hat in einer Forschungsarbeit die mit «Jump Waves» bezeichneten Abflussinstabilitäten untersucht (*Bild 1* und *2*). Diese bilden sich bei konstanter Kanalgeometrie periodisch über die gesamte Fliessstrecke aus. Die Abflussinstabilitäten (Jump Waves) entstehen durch plötzliches Ausblasen eines Wassersprunges auf einer eingetieften Stufe. Dadurch wird kurzfristig der Abfluss vergrössert, der dann wiederum den Wassersprung auf der unterliegenden Stufe ausbläst. Es entsteht eine Abfolge von vergrösserten und verringerten Abflüssen. Die Wellenfront «springt» von einem Becken zum anderen und erreicht Wellenamplituden mit Höhen bis zum 2.2-fachen Wert der Stufenhöhe.

Im Rahmen einer Masterarbeit wurden drei zusätzliche Treppenneigungen sowie Stufen mit Gegenneigungen untersucht. Durch eine geometrische Transformation kann das Modell von Thorwarth auch für Treppengerinne mit rückwärts geneigten Stufen angewendet werden. In treppenartig verbauten Wild- und Gebirgsbächen entstehen am Fuss der Abstürze Kolke, welche den Wassersprung beeinflussen. Diese Kolke können bei der Beurteilung den Abflussinstabilitäten berücksichtigt werden, indem sie durch eine rückwärts geneigte Treppengeometrie angenähert werden.

Bild 1. Abflussinstabilitäten (Jump Waves) auf einem Treppengerinne mit Neigung von $\theta = 13.6°$ und einer Stufenneigung von $\alpha = -5.0°$, einer Schwellenhöhe von w = 60 mm bei einem Abfluss von q = 0.018 m^2/s (LCH Versuch; Foto Ch. Knellwolf).

2. Physikalisches Modell und Versuchsprogramm

Die Laborversuche wurden am Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH) an der EPFL in einem 7.7 m langen und 0.5 m breitem, geneigten Versuchsgerinne durchgeführt. Die Seitenwände sind 0.6 m hoch und aus durchsichtigem Acrylglas. Das Modell wird durch ein zentrales Pumpensystem versorgt. Eine Jetbox am Kanalanfang erlaubt eine gleichmässige Ver-

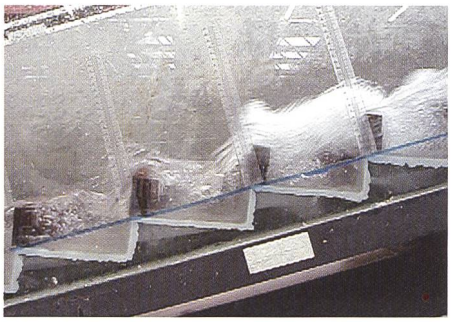


Bild 2. Abflussinstabilitäten (Jump Waves) auf einem Treppengerinne mit Neigung von $\theta = 13.6°$ und einer Stufenneigung von $\alpha = -5.0°$, einer Schwellenhöhe von w = 60 mm bei einem Abfluss von q = 0.018 m^2/s (LCH Versuch; Foto Ch. Knellwolf).

teilung des Durchflusses über die ganze Breite. Der Kanal hat eine Basisneigung von $\theta = 18.6°$ und umfasst 42 Stufen. Die Stufenhöhe beträgt s = 0.06 m und demnach die Stufenlänge l = 0.178 m. Für geringere Gerinneneigungen wird der Kanal gekippt. Dadurch ergeben sich rückwärts geneigte Stufen, welche bei Bedarf durch Einlegen von PVC Platten zu horizontalen Stufen aufgefüllt werden können. Um die Stufen einzutiefen, wurden an den Stufenkanten Schwellen mit einer Breite von l_w = 26 mm aus PVC oder geleimtem Holz angeschraubt.

Untersucht wurden die Gerinneneigungen 6.3° und 9.9° mit jeweils rückwärts geneigten (mit Stufenwinkel α = -12.3° resp. -8.7°) oder horizontalen Stufen (Stufenwinkel α = 0°). Für die Gerinneneigung von 13.6° wurde aufgrund der geringen Stufenneigung α = -5.0° nur rückwärts geneigte Stufen untersucht. Bei allen fünf Konfigurationen wurden Endschwellen mit einer Höhe von w = 0, 15, 30, 45, 60 mm an den Stufen befestigt. Für jede Stufengeometrie wurde der Durchfluss ab Q = 3 l/s schrittweise um etwa 1 l/s erhöht, bis sich nach den Instabilitäten wieder ein stabiles Abflussmuster einstellte. Alle Versuche wurden frontal und seitlich (bei Stufen 26, 27, 28) mit einer digitalen Kamera gefilmt.

Als untere Grenze des Auftretensintervalls gilt der Mittelwert zwischen dem Abfluss, bei dem gerade noch keine und demjenigen bei dem die ersten «Jump Waves» beobachtet wurden. Als obere Grenze gilt der Mittelwert des Abflusses, bei dem gerade noch Jump Waves auftreten und demjenigen, der als erstes wieder ein stabiles Abflussmuster aufweist.

3. Kurzbeschreibung des semi-analytischen Modells Thorwarths

Mit Hilfe des semi-analytischen Modells lässt sich der Abflussbereich bei dem sich Jump Waves ausbilden, in Abhängigkeit der Treppengeometrie, vorhersagen. Ausgelöst werden die «Jump Waves», wenn ein Wechselsprung auf einer eingetieften Stufe ausgeblasen wird. Die Endschwelle staut den Wechselsprung zurück, so dass diesem als einziger Freiheitsgrad bei erhöhtem Abfluss nur das vertikale Austreten übrigbleibt. Damit der Wechselsprung ausreichend von der Schwelle fixiert werden kann, müssen folgende drei Kriterien erfüllt sein:

- Kriterium 1: Der Wechselsprung muss genügend gross sein (minimaler Abfluss)
- Kriterium 2: Der Wechselsprung darf nicht ausgeblasen werden und er muss sich ausbilden können (maximaler Abfluss).
- Kriterium 3: Die Endschwelle muss

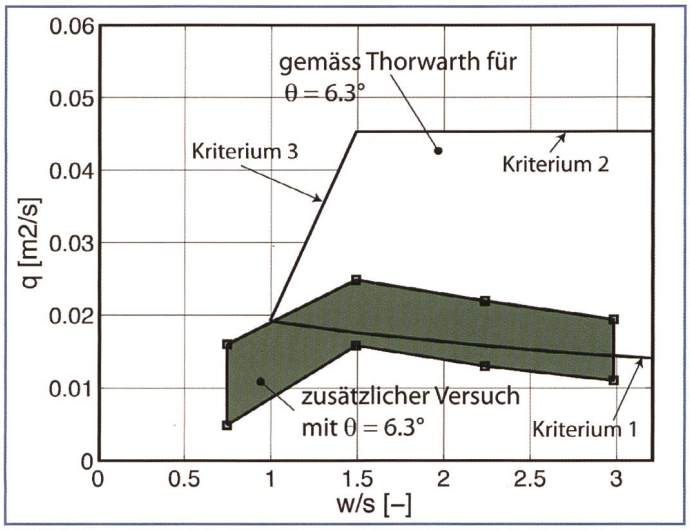


Bild 3. Auftretensbereich der Jump Waves gemäss Thorwarth (2008) für Gefälle zwischen 8.9° und 14.6° im Vergleich zu den zusätzlichen Versuchen für $\theta = 6.3°$.

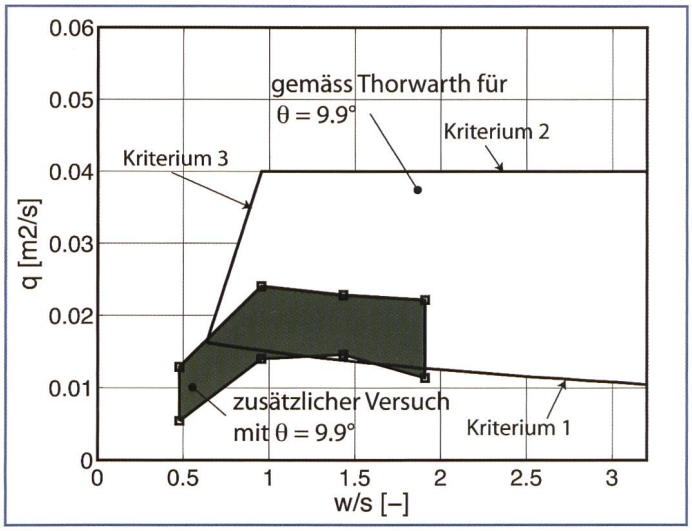


Bild 4. Auftretensbereich der Jump Waves gemäss Thorwarth (2008) für Gefälle zwischen 8.9° und 14.6° im Vergleich zu den zusätzlichen Versuchen für $\theta = 9.9°$.

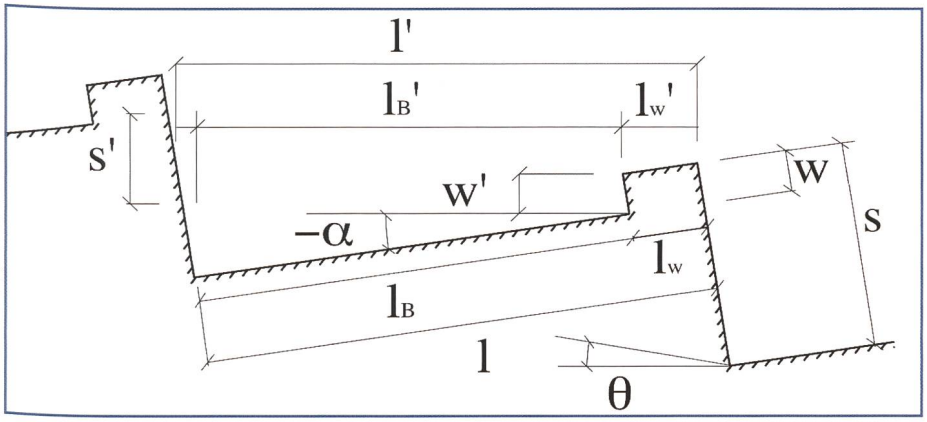


Bild 5. Definition der Geometrie von Stufen mit Gegenneigung und Endschwelle.

genügend hoch sein (minimale Wehrhöhe).

Diese Kriterien können mit Formeln der klassischen Hydraulik quantifiziert werden. Um diese Kriterien in den Laborversuchen zu beobachten, wurde mit Hilfe von Fotoaufnahmen die Abflussgeometrie gemessen und daraus für jede berechnete Länge ein Korrekturfaktor bestimmt, der dem Verhältnis zwischen berechneten und gemessenen Werten entspricht. Der im Modell verwendete Korrekturfaktor entspricht dem Mittel der in den Messungen über die Gefälle von 8.9° und 14.6° bestimmten Verhältnissen. Im Folgenden werden die Resultate der Versuche mit den zusätzlichen Gerinneneigungen sowie den rückwärts geneigten Stufen mit den Kriterien für die Entstehung der Abflussinstabilitäten von Thorwarth verglichen.

4. Resultate für eingetiefte horizontale Treppenstufen

In den *Bildern 3* und *4* werden die Grenzen für den Auftretensbereich der Abflussinstabilitäten (Jump Waves) gemäss Thorwarth mit den Messresultaten für eine Gerinneneigung von 6.3° und 9.9° verglichen. Für die Gerinneneigung von 9.9° *(Bild 4)*, welche im Anwendungsbereich des Vorhersagemodells von Thorwarth liegt, stimmen die zusätzlichen Messresultate gut mit diesem überein, mit Ausnahme des Versuches mit der kleinsten Wehrhöhe w/s = 0.5. Bei einer Gerinneneigung von 6.3° *(Bild 3)* treten die Jump Waves schon bei kleineren Abflüssen als gemäss Thorwarth erwartet auf. Bei beiden Gerinneneigungen ergibt sich eine grosse Differenz zwischen den zusätzlichen Versuchen und den durch das Kriterium 2 gegebenen oberen Begrenzungen. Dies lässt sich auf die im Modell von Thorwarth verwendeten Korrekturfaktoren zurückführen (siehe Kapitel 3). Verwendet man anstelle des Mittelwertes der Korrekturfaktoren pro Länge jeweils den kleinsten Wert, welcher der kleineren Gerinneneigung entspricht, verschieben sich die Kriterien 1 und 2 nach unten. Nach dieser Anpassung decken sich die unteren und oberen Abflussgrenzen mit den Messresultaten der zusätzlichen Versuche weitgehend. Für kleine Gerinneneigungen ($\theta < 9.9°$) überschätzt das semi-analytische Modell von Thorwarth die Abflussgrenze der Instabilitäten eher. Das Kriterium 3 wird bei beiden zusätzlich untersuchten Neigungen unterschritten. Dabei fällt auf, dass Jump Waves bei weitaus kleineren Abflüssen beobachtet werden, als eine Verlängerung der Kriterien 1 und 2 erwarten lässt.

5. Resultate für eingetiefte, rückwärts geneigte Treppenstufen

Die Versuche für Gerinneneigungen von 6.3° und 9.9° lassen einen direkten Vergleich zwischen rückwärts geneigten und horizontalen eingetieften Stufen zu. In einem ersten Schritt kann die rückwärts geneigte Stufe in eine entsprechende horizontale Stufe wie folgt übergeführt werden. Die verwendeten geometrischen Grössen sind in *Bild 5* dargestellt.

$$s' = s - l \cdot \tan(-\alpha) \quad (1)$$

$$l' = \frac{l}{\cos\alpha} \quad (2)$$

$$l_w' = l_w \cdot \cos\alpha \quad (3)$$

$$l_B' = l' - l_w' \quad (4)$$

$$w' = w \cdot \cos\alpha \quad (5)$$

Wobei l der Stufenlänge, s der Stufenhöhe, l_w der Länge der Schwellenkrone, l_B der Beckenlänge, w der Wehrhöhe und α der Gegenneigung der Stufen entspricht.

Bei rückwärts geneigten Stufen werden Jump Waves, im Gegensatz zu horizontalen Stufen, auch für Stufen ohne Endschwelle beobachtet. Eine Gegenneigung der Stufe reicht also für die Ausbildung von Jump Waves aus. Um die Ge-

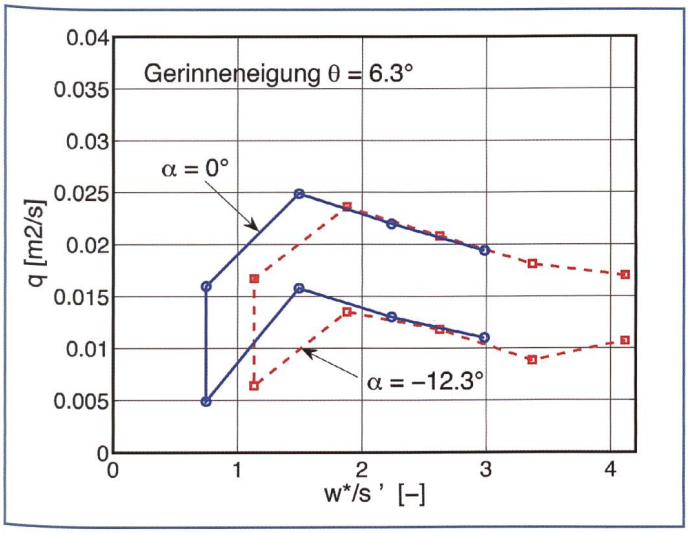


Bild 6. Grenzbereich der Abflussinstabilitäten auf horizontalen (Stufenneigung α = 0°) und rückwärts geneigten (α = -12.3°) eingetieften Stufen bei einer Gerinneneigung von θ = 6.3°.

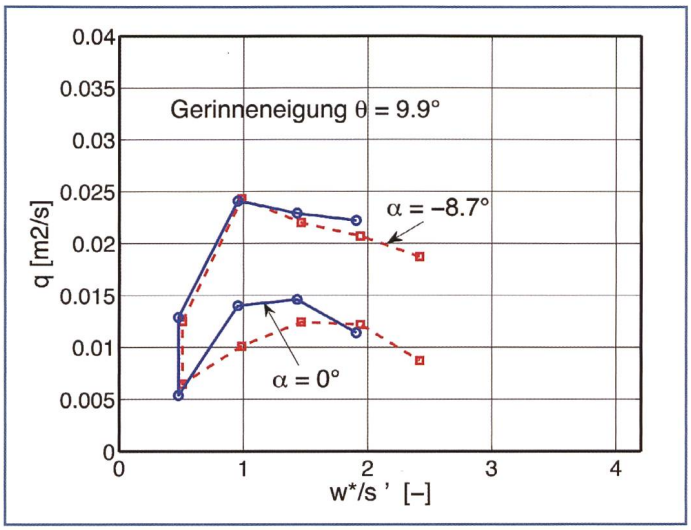


Bild 7. Grenzbereich der Abflussinstabilitäten auf horizontalen (Stufenneigung α = 0°) und rückwärts geneigten (α = -8.7°) eingetieften Stufen bei einer Gerinneneigung von θ = 9.9°.

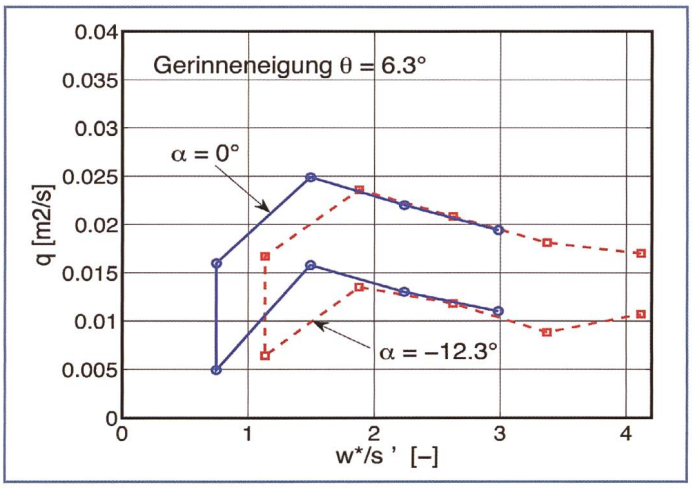


Bild 6. Grenzbereich der Abflussinstabilitäten auf horizontalen (Stufenneigung α = 0°) und rückwärts geneigten (α = -12.3°) eingetieften Stufen bei einer Gerinneneigung von θ = 6.3°.

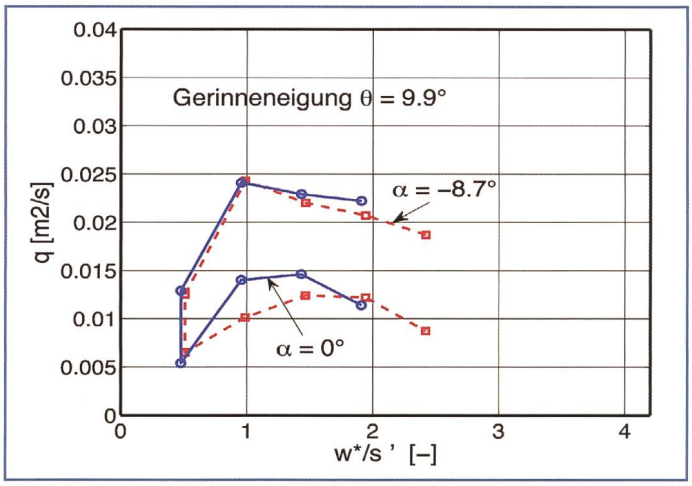


Bild 7. Grenzbereich der Abflussinstabilitäten auf horizontalen (Stufenneigung α = 0°) und rückwärts geneigten (α = -8.7°) eingetieften Stufen bei einer Gerinneneigung von θ = 9.9°.

genneigung der Stufen zu berücksichtigen wird eine equivalente Schwellenhöhe w* eingeführt. Eine Stufe mit Gegenneigung hat die gleiche Auswirkung auf die Jump Waves wie eine horizontale eingetiefte Stufe mit einer equivalenten Schwellenhöhe w*. Die equivalente Schwellenhöhe ist wie folgt definiert:

$$w^* = \frac{\frac{l^2}{2}\tan(-\alpha) + w(l - l_w)}{l - l_w} \qquad (6)$$

Dabei entspricht das Beckenvolumen einer horizontalen, eingetieften Stufe mit einer equivalenten Schwellenhöhe w* jenem einer rückwärts geneigten Stufe mit Wehrhöhe w. In den *Bildern 6* und *7* sind die Abflussgrenzen für das Auftreten der Instabilitäten, in Abhängigkeit der dimensionslosen equivalenten Schwellenhöhe w*/s, für horizontale und rückwärts geneigte Stufen dargestellt. Für horizontale Stufen (α = 0) entspricht die equivalente Schwellenhöhe w* der Schwellenhöhe w und die Stufenhöhe s' der Stufenhöhe s.

6. Empirische Grenzbereiche des Auftretens von Jump Waves

Um die aus den Laborversuchen gewonnenen Erkenntnisse allgemein verwenden zu können, führt Thorwarth (2008) eine dimensionslose Darstellung, mit dem Quotienten aus kritischer Fliesstiefe und Beckenlänge h_c/l_B (y-Achse) und dem Quotienten aus Wehrhöhe und Beckenlänge w/l (x-Achse), ein. Um das Auftreten von Jump Waves für rückwärts geneigte Stufen einzugrenzen, wählt man sinngemäss die Verhältnisse der in Kapitel 5 neu eingeführten geometrischen Grössen hc/lB' respektive w*/l'. Der in diesem Beitrag definierte Auftretensbereich von Jump Waves schliesst alle Auftretensintervalle von den zusätzlich und denen von Thorwarth durchgeführten Versuche ein. Der Auftretensbereich ist in *Bild 8* dargestellt.

7. Berechnungsbeispiel

7.1 Problemstellung

Für ein Treppengerinne mit rückwärts geneigten Stufen, einmal ohne und einmal mit Endschwelle, sollen die kritischen Abflüsse, bei denen Jump Waves entstehen, für folgende geometrischen Grössen abgeschätzt werden: Stufenhöhe s = 30 cm, Stufenlänge l = 100 cm, Schwellenhöhe w = 0 cm (15 cm), Breite der Schwellenkrone l_w = 0 cm (10 cm), Stufenneigung α = -10°.

Anhand der dimensionslosen Grenzen für das Auftreten von Jump Waves, wie sie in *Bild 8* dargestellt sind, können die kritischen Abflüsse für die gegebene Geometrie bestimmt werden. Zuerst wird die Gerinneneigung bestimmt, um die Gültigkeit des Modells abzuklären. Aus der Länge und der Höhe der Stufen sowie der Gegenneigung ergibt sich im Beispiel eine Gerinneneigung von θ = 7° welche im Gültigkeitsbereich des Grenzbereich gemäss *Bild 8* liegt.

Da es sich um rückwärts geneigte Stufen handelt, müssen vorerst die equivalenten geometrischen Grössen bestimmt werden. Dies geschieht anhand der Formeln 1 bis 5. Für unser Beispiel gilt: s' = 12 cm, l'=101 cm, l_w'= 0/10 cm und l_B' = 101/91 cm. Die equivalente Wehrhöhe berechnet sich nach Formel 6. Für die Stufengeometrie ohne Wehr (w = l_w = 0) erhalten wir w* = 8.81 cm und mit Wehr (w = 15 cm, l_w = 10 cm) ist w* = 24.8 cm.

7.2 Resultate

Für den Fall der Treppe ohne Endschwelle ist das Verhältnis von w*/l' = 0.087. Damit ist das Kriterium 3 erfüllt und Jump Waves für gewisse Abflüsse möglich. Nach *Bild 8* gilt für Kriterium 1 h_c/l_B' = 0.08, für Kriterium 2 gilt h_c/l_B' = 0.21.

Mit der kritischen Fliesstiefe $h_c = \sqrt[3]{q/g}$ ergibt sich als untere Grenze für die Entstehung der Jump Waves ein spezifischer Abfluss von:

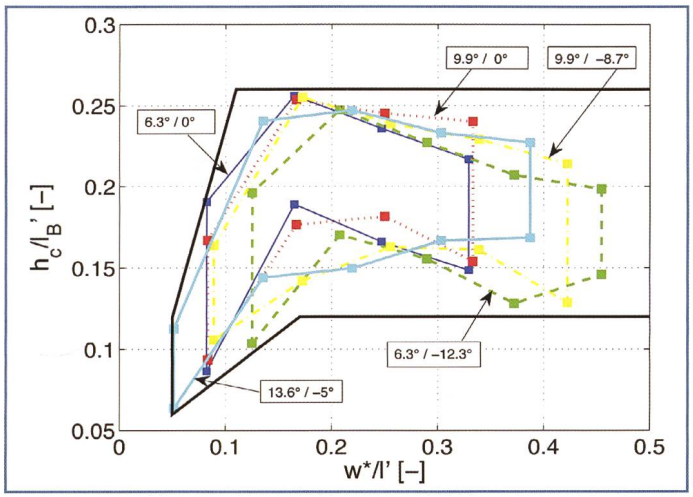


Bild 8. Dimensionslose Darstellung des Grenzbereichs von Jump Waves für rückwärts geneigte sowie horizontale Stufen.

$q = h_c^3 \cdot g = (0.08 \cdot l_B')^3 \cdot g = 0.005\ m^2/s$
und für die obere Grenze ein spezifischer Abfluss von:
$q = h_c^3 \cdot g = (0.21 \cdot l_B')^3 \cdot g = 0.093\ m^2/s$

Für den Fall mit Endschwelle erhöht sich das Verhältnis equivalente Stufenhöhe zu der angepassten Stufenlänge auf $w^*/l' = 0.245$. Da es kein geometrisches Kriterium gibt, welches das Auftreten der Jump Waves gegen oben beschränkt, sind auch hier Jump Waves für gewisse Abflüsse möglich. Aus dem *Bild 3* ergibt sich für $w^*/l' = 0.24$ gemäss Kriterium 1 $h_c/l_B' = 0.12$ und für Kriterium 2 $h_c/l_B' = 0.26$.

Daraus ergeben sich folgende Abflussgrenzen für die Entstehung der Jump Waves:
Untere Grenze: $q = h_c^3 \cdot g = (0.12 \cdot l_B')^3 \cdot g = 0.013\ m^2/s$
Obere Grenze: $q = h_c^3 \cdot g = (0.26 \cdot l_B')^3 \cdot g = 0.13\ m^2/s$

8. Schlussfolgerungen

Wendet man das semi-analytische Modell von Thorwarth auf Gerinneneigungen unter $\theta = 9.9°$ an, werden eher zu hohe Abflussgrenzen für die Entstehung der Abflussinstabilitäten vorausgesagt. Wenn anstatt des gemittelten Korrekturfaktors ein angepasster Korrekturfaktor verwendet wird, werden die Aussagen des Modells besser.

Bei beiden zusätzlichen Versuchen mit horizontalen und rückwärts geneigten Stufen (Neigungen von 6.3° und 9.9°) wurde die vorhergesagte Schwellenhöhe unterschritten.

Eine rückwärts geneigte Stufensohle kann ausreichen um Abflussinstabilitäten zu bewirken. Durch Einführung einer equivalenten Schwellenhöhe w^* lassen sich horizontale mit rückwärts geneigten Stufen miteinander vergleichen. Dadurch kann das semi-analytische Modell von Thorwarth auch bei Stufen mit Gegenneigung angewendet werden.

Die dimensionslose Darstellungsform des Grenzbereiches des Auftretens von Jump Waves erlaubt eine einfache Abschätzung der für Jump Waves kritischen Abflüsse für ein Treppengerinne mit gegebener Geometrie.

Verdankung
Dr. Jens Thorwarth hat die Masterarbeit mit wertvollen Anregungen unterstützt.

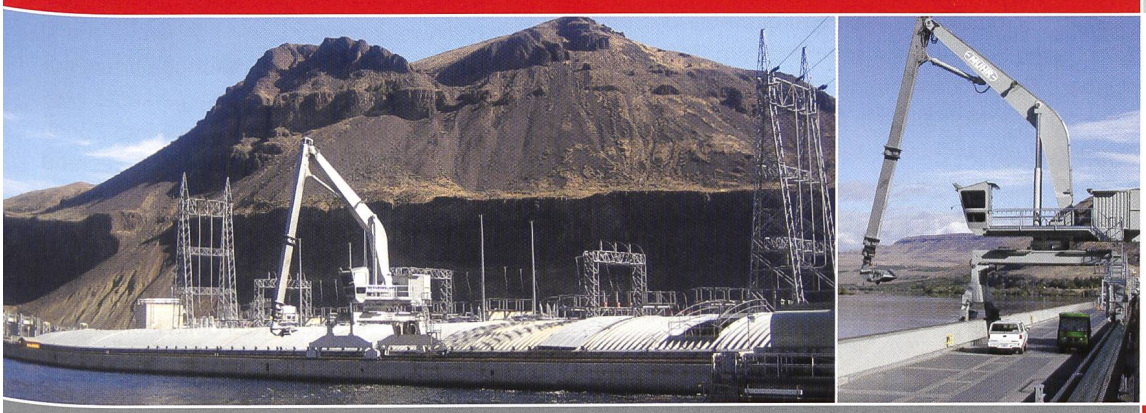
Literaturverzeichnis

Andre, S., (2004): High velocity aerated flows on stepped chutes with macro-roughness elements, Communication 20 du Laboratoire de construction hydrauliques LCH-EPFL, Ed. *A. Schleiss,* Lausanne, 2004, ISSN 1661–1179
Ganz, T.F. (2002): Abflussinstabilitäten bei Absturztreppen. 4. Juwi-Treffen, 2002, pp. 13–17
Knellwolf, Ch. (2009): Instabilités d'écoulement sur des évacuateurs de crues en marches d'escalier. Travail de master, LCH-EPFL.
Premstaller, G., (2006). Hybrid investigation of wave formation in steep, stepped channels. Dissertation Universität Innsbruck, Österreich.
Thorwarth, J., (2008): Hydraulisches Verhalten von Treppengerinnen mit eingetieften Stufen, selbstinduzierte Abflussinstationaritäten und Energiedissipation. Dissertation Rheinisch Westfälische Technische Hochschule Aachen, Deutschland.

Anschrift der Verfasser
Anton Schleiss, Prof. Dr. Dipl. Bauing. ETHZ
Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH)
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Station 18, CH-1015 Lausanne
anton.schleiss@epfl.ch

Christoph Knellwolf, Dipl. Bauing. EPFL
CSD Ingenieure AGn
Grammetstrasse 14, CH-4410 Liestal/BL
c.knellwolf@csd.ch

Rechenreiniger und Rechensysteme
www.muhr.com



MUHR

Rock Island, USA
Muhr HYDRONIC M-5000: 41 m Auslegerlänge, 9 to Hubkraft, 34 m Reinigungstiefe, 180 m Verfahrweg. Leistungssteigerung des Kraftwerks durch die Muhr HYDRONIC M-5000: Bis zu 8 MW pro Stunde.

Flexizient.

Mehr Flexibilität. Mehr Effizienz.

Muhr Rechenreiniger und Rechensysteme
HYDRONIC CATRONIC

Profitieren auch Sie mit Muhr vom weltweit umfangreichsten Programm an Rechensystemen: Für mehr Flexibilität und perfektes Realisieren Ihrer individuellen Anforderungen vor Ort. Für mehr Effizienz: Kostensenkend durch 100% vollautomatischen wärterlosen Betrieb. Zuverlässig, langlebig und nahezu wartungsfrei. Mit weltweit über 800 installierten Anlagen steht Muhr als einer der weltweit führenden Hersteller von Rechensystemen nicht nur für höchste Sicherheit und Kompetenz sondern zusätzlich für mehr Flexibilität und mehr Effizienz von Anfang an.

Rechenreiniger - Stahlwasserbau

Mehr Infos. Jetzt anrufen.
+49 (0)8034 9072-0

Muhr GmbH
Grafenstraße 27
D-83098 Brannenburg

info@muhr.com
www.muhr.com

4E Erfahren. Einfallsreich. Effizient. Exakt. Das Muhr 4E Konzept.