BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Cross-Bar Block Ramps

Flow Regimes – Flow Resistance – Energy Dissipation – Stability

Habilitationsschrift

zur Erlangung der Lehrbefähigung
für das Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft

von
Dr.-Ing. Mario Oertel

Submitted:	06. October 2011
Examination:	25. May 2012
First reviewer:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Schlenkhoff LuFG Wasserwirtschaft und Wasserbau Bergische Universität Wuppertal
Second reviewer:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Torsten Schlurmann Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen Leibniz Universität Hannover
Third reviewer:	Prof. Dr. sc. techn. Robert Boes Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Chairman:	Univ.-Prof. Dr. agr. Jörg Rinklebe LuFG Boden- und Grundwassermanagement Bergische Universität Wuppertal
Other committee members:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. U. Janoske, Universität Wuppertal Univ.-Prof. Dr.-Ing. A. Niemann, Universität Duisburg-Essen Univ.-Prof. Dr. A. Seyfried, Universität Wuppertal Jun.-Prof. Dr.-Ing. A. Wittmann, Universität Wuppertal Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. W. Zahlten, Universität Wuppertal

Bericht – Lehr- und Forschungsgebiet
Wasserwirtschaft und Wasserbau

Band 20

Mario Oertel

Cross-Bar Block Ramps

Flow Regimes – Flow Resistance – Energy Dissipation – Stability

Shaker Verlag
Aachen 2012

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at http://dnb.d-nb.de.

Zugl.: Wuppertal, Univ., Habil.-Schr., 2012

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-1225-5
ISSN 0179-9444

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen
Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9
Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Für Kathrin, Helga, Bianca und Hardy.

"The wise rejoice in water."

Confucius (551 BC – 479 BC)

Danksagungen – Acknowledgments

Ich möchte mich bei allen Personen bedanken, die mir auf dem Weg zur Fertigstellung dieser Arbeit behilflich waren. Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Andreas Schlenkhoff, der mich über viele Jahre hinweg beruflich begleitet, unterstützt und gefördert hat. Die von ihm übertragenen Verantwortungen und Freiheiten waren ein Schlüssel für meine berufliche Entwicklung. Neben zahlreichen Projektarbeiten sind auch viele gemeinsame Veröffentlichungen ein Indiz für eine fruchtbare Zeit. Ein großer Dank geht an Prof. Dr. Torsten Schlurmann. Er hat mich über all die Jahre stets unterstützt und aufgebaut; es braucht einen Menschen, der einem den Weg weist und Optionen aufzeigt. Weiterhin danke ich allen Gutachtern und Mitgliedern der Kommission: Prof. Dr. Robert Boes, Prof. Dr. Jörg Rinklebe, Prof. Dr. Uwe Janoske, Prof. Dr. André Niemann, Prof. Dr. Armin Seyfried, Jun.-Prof. Dr. Andreas Wittmann, sowie Prof. Dr. Wolfhard Zahlten. Viele fruchtbare Diskussionen sowie eine freundschaftliche und kollegiale Zusammenarbeit haben mir die Arbeit stets erleichtert. Ich danke meinem geschätzten Freund und Kollegen Prof. Dr. Daniel Bung für wöchentliche Telefonate, fachliche Diskussionen und eine enge Verbindung seit Beginn unseres Studiums. Ungeahnte Entwicklungen beginnen manchmal auf einer hölzernen Bank. Mein Dank gilt zudem vielen Kolleginnen und Kollegen; u. a. Prof. Dr. Gerd Morgenschweis, B. Sc. Svenja Peterseim, B. Sc. Tobias Motz, Andrea Mayer, Jan Balmes, Melanie Sichelschmidt.

Ein großer Dank geht an meine Familie; an meine Mutter Helga sowie Hardy, meine Schwester Bianca sowie Frank, meine Nichten und Patenkinder Lea sowie Kim und an meine Schwiegereltern Waldi sowie Margit. Es ist wichtig Menschen zu haben, die einem den Rücken stärken und einen Ausgleich zum Job schaffen; sei es freundschaftlich, geistig oder sportlich. Mein tiefster Dank gilt meiner Frau Kathrin. Danke für die Unterstützung und die Absorption meiner Launen. Ich liebe dich.

Wuppertal, Mai 2012 *Dr. Mario Oertel*

Kurzfassung

Die vorliegende Forschungsarbeit befasst sich mit Blocksteinrampen in Riegelbauweise. Diese Art von rauen Rampen kann als Instrument des naturnahen Wasserbaus angewendet werden und ermöglicht den schrittweisen Abbau großer Längsgefälle mit Hilfe von stufenartigen Beckenkonstruktionen. Querriegel unterteilen das Bauwerk dabei in die einzelnen Becken, wobei ergänzend niedrig liegende Öffnungen in den Riegeln zum Abführen von Mindestwassermengen sowie für den Fischaufstieg angeordnet werden.

Neben der Strömungsvisualisierung für unterschiedliche geometrische und hydraulische Randbedingungen – wie Neigung, Riegelabstand, Riegelhöhe und Durchfluss – erfolgt die Entwicklung neuer Berechnungsformeln für die Energiedissipation und Reibungsbeiwerte auf dem Bauwerk. Somit ist es u. a. möglich, die zu erwartenden mittleren Abflusstiefen für variierende Strömungszustände zu berechnen und beispielsweise die Höhe einer anzuordnenden Uferböschung zu ermitteln. Ergänzende Untersuchungen befassen sich mit angreifenden Strömungskräften auf große Störsteine in den Riegeln sowie mit der Stabilität des Sohlmaterials innerhalb der Becken. Auch hier werden neue Berechnungsformeln zur Verfügung gestellt, um die zu erwartenden Kräfte abschätzen und die Durchmesser unterschiedlicher Kornfraktionen des Sohlmaterials dimensionieren zu können.

Eine Beispielberechnung am Ende des Dokuments zeigt dabei die einzelnen Rechenschritte zur Dimensionierung einer Blocksteinrampe in Riegelbauweise auf. Die aufgeführte Vorgehensweise ermöglicht schlussfolgernd eine grundlegende hydraulische Planung derartiger Bauwerke.

Abstract

The present study deals with cross-bar block ramps. This kind of rough ramp can be used as an instrument for nature-like hydraulic engineering and allows a stepwise decrease of large longitudinal river bottom slopes via stepped basin structures. Cross-bars divide the structure into the basins, where additionally arranged lower openings within the cross-bars allow the flow for minimum discharge events and fish climbing.

Next to general flow visualizations for varying geometric and hydraulic boundary conditions – like slope, cross-bar distance, cross-bar height and discharge – new formulas are developed to determine the energy dissipation and friction factors on the structure. Hence, it is possible to calculate mean flow depths for varying discharges and e. g. to identify necessary bank slope heights. Additional investigations deal with drag forces impacting on large boulders within the cross-bars, as well as with the stability of the bed material. Again, formulas are provided to estimate drag forces on single boulders and to dimension diameters for the bed material within the basins for various particle fractions.

An example calculation at the end of the document shows the separate calculation steps to design a cross-bar block ramp. The given procedure allows a general hydraulic design of these structures.

Contents

List of figures

List of tables

Notations

Symbol	Description	Unit
α	ramp angle	–
$a_{1,2,\ldots i}$	parameter	–
a_B	boulder form parameter	–
a_x	boulder distance in x direction	m
a_y	boulder distance in y direction	m
A	flow area	m^2
A_B	boulder flow area	m^2
C_D	drag coefficient	–
C_D^*	modified drag coefficient	–
C_p	packing factor	–
C_w	overfall coefficient	–
ΔE	energy dissipation	m
ΔE_r	relative energy dissipation	–
Δh_b	basin height difference	m
D	equivalent sand roughness	m
D_B	boulder width	m
D_{CB}	cross-bar width	m
D_{xx}	material/rock size of which xx % is finer	m
E	energy head	m
f	friction factor	–
f_B	boulder friction factor	–
F	force	N
F_D	drag force	N
F_L	force due to local losses	N
F_R	resistant force	N

Symbol	Description	Unit
F_s	hydrostatic force	N
F_y	lift force in y-direction	N
F_z	lift force in z-direction	N
F	Froude number	–
F_d	particle densimetric Froude number	–
$\mathsf{F}_{d,c}$	critical particle densimetric Froude number	–
g	acceleration due to gravity	$\mathrm{m/s^2}$
G	proper weight	N
Γ	boulder placement density	–
h	mean water depth	m
h_B	boulder height	m
h_c	critical water depth	m
h_L	energy loss height	m
$h_{L,c}$	continuously losses	m
$h_{L,l}$	local losses	m
h_s	scour depth	m
h_w	overfall height small boulders	m
H	ramp height	m
I	impulse force	N
λ	model scale	–
L	flow length	m
L_m	model length	m
L_b	basin length	m
L_R	ramp length	m
LC	load cell	–
ν	kinematic viscosity	$\mathrm{m^2/s}$
N	number of boulders	–
N_b	number of basins, cross-bar construction	–
N_{CB}	number of cross-bars	–
p	pressure	Pa
p_d	dynamic pressure	Pa
p_s	hydrostatic pressure	Pa

Symbol	Description	Unit
P_D	power density of energy dissipaion	W/m^3
q	specific discharge	$m^3/(sm)$
q_c	critical specific discharge	$m^3/(sm)$
q_P	specific discharge in prototype	$m^3/(sm)$
Q	discharge	m^3/s
ρ	water density	kg/m^3
ρ_p	particle density	kg/m^3
r	hydraulic radius	m
R	Reynolds number	–
R_p	particle Reynolds number	–
S	ramp slope	–
σ	air content parameter	–
τ	shear stress	N/m^2
θ	Shields parameter	–
U	mean flow velocity	m/s
U^*	shear velocity	m/s
U_c	critical flow velocity	m/s
U_p	flow perimeter	m
U_P	flow velocity in prototype	m
V_b	basin water volume	m^3
w	small boulder height	m
W	channel width	m
W_B	boulder width	m
W_w	opening width small boulders	m
W_y	displacement width small boulders	m
z	geodetic height	m
ζ	resistance coefficient	–