



Doctoral Thesis

Bed morphology and stability in steep open channels

Author(s):

Weichert, Roman

Publication Date:

2006

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005135522> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 16316

Bed Morphology and Stability in Steep Open Channels

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
DOCTOR OF SCIENCES

presented by
Roman Weichert
Dipl.-Ing. Universität Braunschweig (TH)
born December 1, 1973
citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr.-Ing. Hans-Erwin Minor, examiner
Prof. Dr.-Ing. Andreas Dittrich, co-examiner
Dr. Gian Reto Bezzola, co-examiner

2005

Abstract

Flood events in mountainous regions have caused significant damages in Switzerland during the recent years. Consequently, there is a considerable demand for the quantification of flood risks in mountain streams and torrents. In close connection to the damages in steep open channels are processes that are related to the mobilisation of sediment. In mountainous regions, the main sources for the sediment are the material stored in the channel bed and the hillslopes. As channel bed degradation and hillslope stability are directly linked with each other, the assessment of the bed stability is of special significance.

In cases, where engineering tools are required to stabilise the channel bed, the demand for ecologically oriented structures has been risen. As no general design recommendations exist for these structures, fundamental research is required. An increased knowledge of the bed morphology and stability of naturally developed beds may contribute to this issue.

The present study focusses on these topics. For this purpose, flume experiments were carried out at the Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW) of the Swiss Federal Institute of Technology (ETH) in Zurich. Two sets of experiments were carried out that focussed on naturally developed beds on the one hand and on nature-oriented bed stabilisation measures on the other hand.

Generally, the origin of the bed features, the bed morphology, the flow field and the flow resistance are strongly interrelated with the bed stability. Consequently, an isolated consideration of the stability is not possible.

Within the flume experiments, different geomorphologic scales could be identified that occurred depending on channel width, slope and discharge. As these scales interrelate with each other in a complex way, they must be taken into account when considering the physical processes involved. Within the flume, these geomorphologic scales were characterised by

Reach-scale: a pivot point at the outflow of the flume

Macro-scale: successions of riffles and pools

Meso-scale: successions of steps and pools

Micro-scale: a coarse armour layer.

Recently, the standard deviation of the roughness heights has been introduced as a parameter to describe the bed roughness in steep open channels. The results of the present study confirm its applicability to describe the roughness in the meso-scale. However, depending on the existent geomorphologic scales, it is important over which length the standard deviation is determined and what roughness scale is aimed to be described. In the present study, this issue is discussed in detail.

Besides their influence on the roughness structure, the occurrence of different geomorphologic scales and the appropriate description of the roughness is also of significance for the flow resistance. The experiments showed that the flow resistance is mainly influenced by the meso-scale roughness structure. However, the occurrence of macro-scale bed features influence the meso-scale roughness geometry and hence, indirectly affect the flow resistance. The results of the flume experiments suggest to apply the standard deviation of the roughness heights to describe the meso-scale roughness in combination with a parameter that takes into account the macro-scale influence. In this connection, an extension of an existent flow resistance equation is proposed.

Existing approaches assess the bed stability by the calculation of a critical discharge, i. e. the bed is considered to be in a stable or unstable condition. In case of an unstable bed, no statement can be made about the consequences, e.g. in terms of a channel bed degradations. Within the present investigation, the self-stabilisation potential of the bed in different scales was taken into account to derive a new stability approach. This approach combines the existing stability of the bed with potentially occurring channel bed degradations at larger discharges.

Nature-oriented, man-made bed stabilisation measures gained in importance recently. In this context, structured block ramps that seek to simulate step-pool systems have been variously applied. For these structures, it is important to distinguish between the stability of an individual step and the stability of the whole stabilised river reach. The present study considers both cases. In case of the stability of individual step structures, a design procedure must focus on the prevention of different possible failure mechanisms. The results of the experiments showed that the stability of an individual,

man-made step structure is significantly lower than for a comparable natural step feature.

Contrary, the comparison between natural and man-made steps on a reach-scale gave assimilable results. This can be attributed to the fact that in case of a destabilisation of a step structure, the step-forming boulders in combination with the underground material had the potential to restabilise the channel bed. This result could be used for the design of nature-oriented man-made structures that should be characterised by a gradual rather than a binary failure in case of an overloading.

Besides the possibility to rebuild the step structures, the connection between discharge, slope, bed morphology and the channel bed degradations can be applied to design naturally developed step-pool reaches that have the potential to stabilise the bed.

Zusammenfassung

Schäden durch Hochwasserereignisse in Gebirgsregionen stehen häufig im Zusammenhang mit Prozessen bei denen der Erosion und der Ablagerung von Sedimenten eine bedeutende Rolle zukommt. Als wesentliche Feststoffherde sind hierbei vor allem die Gerinnesohle sowie die Seitenhänge zu nennen. Da die Hangstabilität massgeblich von der Eintiefung der Gerinnesohle beeinflusst wird, kommt der Beurteilung der Sohlstabilität eine besondere Bedeutung zu.

In Fällen, in denen die Stabilität der natürlichen Sohle nicht ausreicht, um ein definiertes Schutzziel einzuhalten, besteht die Möglichkeit, erosionsbegrenzende Sohlenbauwerke zu realisieren. Hierbei ist in den letzten Jahren die Nachfrage an gewässerökologisch verträglichen Lösungen stark gestiegen. Dieser Forderung wird mit der Entwicklung und Realisierung von morphologienahen Sohlenbauwerken (z.B. aufgelöste Blockrampen) entsprochen. Erkenntnisse bezüglich der Sohlenmorphologie und Stabilität natürlicher Strukturen sind daher für die Ableitung von Bemessungsgrundlagen für naturnahe Sohlstabilisierungsmassnahmen von zusätzlichem Interesse.

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist an beiden Themengebieten ausgerichtet. Zu diesem Zweck wurden an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich physikalische Modellversuche durchgeführt. Auch wenn die Sohlstabilität im Blickpunkt der vorliegenden Untersuchung steht, so lässt das komplexe Zusammenspiel zwischen Sohlenmorphologie, Fliessfeld, Fliesswiderstand, sowie der Entstehung der strukturierten Sohle, eine isolierte Betrachtung der Stabilität nicht zu.

Ein wesentliches Resultat der vorliegenden Untersuchung ist die Erkenntnis, dass die massgebenden Prozesse durch das Auftreten verschiedener geomorphologischer Skalen beeinflusst werden. Je nach vorhandenen Randbedingungen treten diese Skalen sowohl in der Natur als auch in der Versuchsrinne auf.

Flussabschnitts-Skala: Sohlenfixpunkte beeinflussen die Entwicklung des Sohlgefälles innerhalb eines gesamten Flussabschnittes. In der Versuchsanlage ist dieser Fixpunkt durch eine Schwelle am Rinnenauslauf gegeben.

Makro-Skala: Die Makro-Skala ist durch Abfolgen von Schnellen-Hinterwasser-Sequenzen (riffles and pools) charakterisiert, die in geraden Gerinnen im Zusammenspiel mit wechselseitig an der Berandung liegenden Schrägbänken auftreten.

Meso-Skala: Die Meso-Skala zeichnet sich durch Sohlenformen aus, die aus der Gruppierung von grösseren Sohlelementen entstehen. Sequenzen dieser Sohlenformen werden häufig als Stufen-Becken-Abfolgen (steps and pools) bezeichnet.

Mikro-Skala: Die Mikro-Skala bezieht sich auf das einzelne Korn. Bei breiten Kornverteilungen ist der massgebende Prozess in der Mikro-Skala die Ausbildung einer Deckschicht.

Bisherige Untersuchungen konnten das Potenzial der Standardabweichung als Rauigkeitsparameter bei groben, strukturierten Deckschichten aufzeigen. Das vorliegende Forschungsprojekt bestätigt diese Ergebnisse für die Beschreibung der Rauigkeitsstruktur in der Meso-Skala. Es hat sich jedoch gezeigt, dass Unsicherheiten auftreten, wenn sich verschiedene Rauigkeitsskalen überlagern. In der vorliegenden Arbeit wird daher auf die Frage eingegangen über welche Länge die Standardabweichung bestimmt werden muss, um die Rauigkeit in der massgebenden Skala zu bestimmen.

Neben der Wirkung auf die Rauigkeitsstruktur besitzen die geomorphologischen Skalen einen Einfluss auf den Fliesswiderstand. Die Ergebnisse zeigen, dass der Fliesswiderstand vorwiegend durch die Rauigkeitsstruktur in der Meso-Skala bestimmt wird. Trotzdem müssen die anderen geomorphologischen Skalen berücksichtigt werden, da sie einen Einfluss auf die mesoskalige Geometrie besitzen. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird eine Fliesswiderstandsbeziehung angegeben, die diesem Umstand Rechnung trägt.

Auch bezüglich der Sohlstabilität wird ein Modell vorgeschlagen, das den Einfluss der verschiedenen geomorphologischen Skalen berücksichtigt. Dieses Modell besagt, dass ein Fliessgewässer in jeder vorhandenen Skala ein Selbststabilisierungspotenzial besitzt. Ausgehend von den Ergebnissen der vorliegenden Studie wird daher eine Beziehung vorgeschlagen, anhand derer der

Zusammenhang zwischen dem Selbststabilisierungspotenzial in jeder Skala sowie den dabei auftretenden Sohleneintiefungen gegeben wird.

Die Nachbildung der natürlichen Morphologie durch gebaute Stufen-Becken-Systeme ist eine Möglichkeit für eine naturnahe Sohlstabilisierung. Die Ergebnisse des vorliegenden Forschungsprojekts haben gezeigt, dass es für eine Beurteilung der Stabilität wichtig ist, ob man eine einzelne Stufenstruktur oder die einen grösseren Flussabschnitt betrachtet. Bemessungskriterien für die einzelne Stufen müssen sich an den vorhandenen Versagensmechanismen orientieren. Diese wiederum sind stark abhängig von der individuellen Beschaffenheit des Bauwerks. Demgegenüber lässt sich die Beurteilung der Stabilität eines Flussabschnittes mit den gleichen Konzepten durchführen, wie sie für die natürlichen Sohlen vorgeschlagen werden.

In diesem Zusammenhang liefert die vorliegende Arbeit einen Vergleich zwischen der Stabilität natürlicher sowie gebauter Strukturen. Hierbei hat sich gezeigt, dass die Stabilität einzelner, nachgebauter Stufenstrukturen nicht die Stabilität ähnlicher, natürlich entwickelter Stufen erreichte. Im Gegensatz dazu konnten bei der Betrachtung eines Flussabschnittes ähnliche Stabilitäten beobachtet werden. Dieses lässt sich darauf zurückführen, dass im Falle einer Zerstörung einer einzelnen Stufenstruktur, Stufen- plus Untergrundmaterial das Potenzial haben eine Restabilisierung durch Ausbildung einer strukturierten Sohle herbeizuführen. Für die Dimensionierung von aufgelösten Blockrampen kann diese Erkenntnis wichtig sein, da der Bau von im Überlastfall gutmütig reagierenden Bauwerken von grosser Bedeutung ist.

Neben der Möglichkeit Stufenstrukturen nachzubauen, lässt sich anhand der Ergebnisse des vorliegenden Forschungsprojekts der gefundene Zusammenhang zwischen Morphologie, Abfluss, Stabilität und Sohleintiefung nutzen, um die Sohle eines Baches zu stabilisieren. Hierbei wird dem entsprechenden Flussabschnitt wildbachtypisches Material zugegeben, so dass sich unter hydraulischer Belastung eigendynamisch eine natürliche Stufen-Becken-Struktur ausbilden kann. Eine Bemessung anhand der Messresultate der vorliegenden Arbeit ist möglich.