

Dissertation ETH Nr.: 16899

# **Morphologie von verzweigten Gerinnen**

**Ansätze zur Abfluss-, Geschiebetransport-  
und Kolkiefenberechnung**

Abhandlung

zur Erlangung des Titels

Doktor der Technischen Wissenschaften

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

**Christian Marti**

**Dipl. Bauing. ETH**

**geboren am 19.03.1971 in Glarus**

Bürger von Engi

Angenommen auf Antrag von:

Hauptreferent: Prof. Dr.- Ing. H.-E. Minor

Korreferenten: Prof. Dr.- Ing. Th. Strobl

Dr. tech. G. R. Bezzola

2006

## Abstract

In the context of this work about the morphology of braided gravel-bed rivers new approaches are worked out to calculate the flow depth, the bed load transport capacity and the structure of the river bed (scour depth and bar height). The investigated slope band is between 0.5 and 3% and river widths up to 200 times the mean flow depth during the channel forming discharge were taken into account.

The background for this work are the experiences from numerous flood events within the last years showing ever and anon, that more space has to be granted for rivers. Besides the improvement in flood protection by providing more space, also some ecological deficits of channeled rivers may be reduced.

If the re-widening of a river section is sufficiently large, in alpine and pre-alpine reaches a braided morphology will develop, which alters dynamically depending on discharge and bed load input again and again. For such conditions in literature only still few approaches can be found, which allow the calculation of discharge and bed load transport capacity. Therefore the processes in braided gravel-bed rivers were examined more exactly by numerous physical experiments. During the experiments the water discharge, the bed load in- and output as well as the water-level and the detailed bed topography were continuously recorded. These measurements together with a new evaluation of the experiments of Zarn and Hunzinger and some data from the literature allow for the derivation of a new approach to calculate the flow depth and the bed load transport capacity of braided gravel-bed rivers.

The new approach is based on a surrogate channel with a form of the cross section, which reproduces approximately the natural distribution of flow depths in braided rivers. Both the data of the experiments as well as the nature data from the literature have shown namely, that the natural distribution of flow depths can be approximated by a gamma distribution very accurately. Knowing the composition of the river bed material, the bankfull width and the mean bed slope it is possible to calculate an adequate gamma distribution parameter for a certain discharge by means of an empirically derived relation. Further, the mean wetted width can be assessed from the same parameters. By the mean wetted width and the gamma distribution parameter the form of the cross section of surrogate channel is specified. Subsequently for the calculation the "*stripe method*" is used. This means, that the cross section of the surrogate channel is subdivided into several stripes of different flow depths. The discharge in each stripe is calculated by a logarithmic flow law and the total discharge is given by summation over all stripes. Iteration for the waterlevel in the surrogate channel until the calculated total discharge equals the given discharge will deliver the mean flow depth searched. The new approach leads to a more detailed recalculation of all measured flow depths during the experiments, than every

## ABSTRACT

other known approach. But also the measurements of some flow depths in braided rivers in New Zealand can be calculated by an accuracy of at least  $\pm 20\%$ .

To calculate the bed load transport capacity the same surrogate channel and the known bed load transport formula of Smart and Jäggi is used. Though, for the transport calculation a reduced bed slope has to be adopted. This can be justified by the fact, that bed load transport can be throughout observed only in 1 to 2 anabranches in a natural braided river and in addition these anabranches are structured by riffles and pools in the lengthways direction. From the data of the experiments a relation can be derived, which permits to estimate the proper slope reduction for an accurate transport capacity. The required parameters for this empirical relation are the densimetric Froude number and the proportion between the entire bankfull width and the mean wetted width.

The measured total bed load of the experiments and of well documented flood events in New Zealand and Switzerland can be recalculated by the new approach astonishingly good.

Basing on the measured bed topography in the experiments, known approaches to estimate the scour depths and bar heights are tested. It turns out that the scour formulae of Zarn, with a slightly modification, can be recommended for application. The approaches to calculate the bar heights, have to be rearranged highly. Besides the derivation of new or modified approaches for the extreme values (scour depth and bar height) it is also shown, that the structure of the river bed of braided gravel-bed rivers can be described by a distribution function.

Finally, the effect of reduced bed load input on the morphology of a braided river will be studied in this work. Reduction of bed load input leads to incising anabranches, and the change from a braided patten to a single meandering channel can be observed often. Under these circumstances less braiding will occur and the new approaches are now longer applicable directly. But using the modification of certain formulae shown, it is still possible to get resonable results even by reduced bed load input.

## Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit zur Morphologie von verzweigten Gerinnen werden neue Berechnungsansätze für die Abflusstiefen, den Geschiebetransport sowie der Sohlenstruktur (Kolke und Bänke) von verzweigten Kiesflüssen erarbeitet. Der betrachtete Gefällsbereich liegt zwischen 0.5 und 3% und es werden Flussbettbreiten, die bis zu 200 mal die mittlere Abflusstiefe bei einem bettbildenden Abfluss betragen, berücksichtigt.

Hintergrund für die Arbeit bilden die Erfahrungen aus den zahlreichen Hochwasserereignissen in den vergangenen Jahren, welche immer wieder eindrücklich vor Augen geführt haben, dass den Gewässern mehr Raum zugestanden werden muss. Neben der Verbesserung des Hochwasserschutzes können durch mehr Flussraum auch ökologische Defizite von kanalisierten Gerinnen reduziert werden.

Bei genügend grosser Verbreiterung eines Gerinnes stellt sich in alpinen und voralpinen Gebieten eine verzweigte Morphologie ein, welche in Abhängigkeit vom Abfluss und Geschiebeaufkommen immer wieder dynamisch umgestaltet wird. Für solche Verhältnisse findet man in der Literatur jedoch nach wie vor wenige Ansätze, die Abfluss- oder Geschiebetransportberechnungen zulassen. Mit Hilfe von zahlreichen physikalischen Modellversuchen wurden daher die Prozesse in verzweigten Kiesflüssen genauer untersucht.

Dabei wurde, neben dem Abflussgeschehen, dem Geschiebeein- sowie dem Geschiebeaustrag, auch die Sohlen- und die Wasserspiegellage räumlich und zeitlich hochaufgelöst aufgezeichnet. Die Messergebnisse aus diesen Modellversuchen, zusammen mit einer Neuauswertung der Versuche von Zarn und Hunzinger, sowie Daten aus der Literatur erlauben die Herleitung eines Ansatzes zur Abfluss- und Geschiebetransportberechnung in verzweigten Gerinnen.

Der neue Abflussansatz basiert auf einem Ersatzgerinne, das eine Querschnittsform aufweist, welche die natürliche Abflusstiefenverteilung von verzweigten Gerinnen annähert. Sowohl die Versuchsdaten als auch Naturdaten aus der Literatur haben nämlich gezeigt, dass sich die gemessenen Abflusstiefenverteilungen durch eine Gammaverteilung gut approximieren lassen. Mittels einer empirisch hergeleiteten Beziehung kann für einen bestimmten Abfluss, eine gegebene mittlere Flussbettbreite, ein mittleres Sohlengefälle sowie bekannter Zusammensetzung des Sohlenmaterials ein Gammaverteilparameter bestimmt werden. Weiter kann aus den gleichen Parametern die mittlere Wasserspiegelbreite abgeschätzt werden. Durch die mittlere Wasserspiegelbreite und den Gammaverteilparameter ist die Querschnittsform des Ersatzgerinnes genügend genau beschrieben. Anschliessend liefert eine Berechnung mit Hilfe der Streifenmethode und einem logarithmischen Fliessgesetz die gesuchte mittlere Abflusstiefe. Dieses Verfahren ermöglicht gegenüber bis jetzt bekannten Ansätzen eine genauere Nachrechnung der ge-

## ZUSAMMENFASSUNG

messenen Abflusstiefen für alle Modellversuche. Auch Abflusstiefenmessungen an Neuseeländischen Flüssen können auf  $\pm 20\%$  genau nachgerechnet werden.

Für die Berechnung der Geschiebetransportkapazität wird das gleiche Ersatzgerinne und die bekannte Geschiebetransportformel von Smart und Jäggi verwendet. Allerdings muss für die Transportberechnung ein reduziertes Gefälle eingesetzt werden. Dies lässt sich damit begründen, dass in verzweigten Gerinnen in der Natur meistens nur in 1-2 einzelnen Gerinnearmen durchgehend Geschiebetransport beobachtet werden kann und diese Transportgerinne in Längsrichtung zudem noch durch Pool- und Riffelabfolgen strukturiert sind. Aus dem zusammengestellten Datensatz lässt sich eine Beziehung herleiten, welche die Bestimmung des massgebenden Transportgefälles erlaubt. Die massgebenden Parameter in dieser Beziehung sind die densimetrische Froudezahl sowie das Verhältnis zwischen gesamter Flussbettbreite und mittlerer Wasserspiegelbreite.

Mit den so bestimmten Transportkapazitäten lassen sich die gemessenen Geschiebefrachten von Ganglinienversuchen und gut dokumentierten Hochwasserereignissen in Neuseeland und der Schweiz erstaunlich genau nachrechnen.

Auf der Basis der in den Modellversuchen gemessenen Sohlentopographien werden bestehende Ansätze zur Bankhöhen- und Kolkiefenbestimmung überprüft. Dabei zeigt sich, dass die Kolkformeln von Zarn mit leichter Modifikation zur Anwendung empfohlen werden können. Die Ansätze zur Bankhöhenbestimmung müssen dagegen stark angepasst werden.

Neben neuen bzw. modifizierten Ansätzen für die Extremwerte (Kolke, Bänke) wird auch aufgezeigt, wie die Sohlenstruktur von verzweigten Kiesflüssen mit einer Verteilfunktion beschrieben werden kann.

Zum Abschluss wird untersucht, wie sich eine reduzierte Geschiebezufuhr auf die Morphologie eines verzweigten Gerinnes auswirkt. Bei stark reduzierter Geschiebezufuhr kann immer eine Entwicklung von einer verzweigten Morphologie hin zu einem leicht mäandrierenden Einzelgerinne beobachtet werden. Unter solchen Umständen ist der neu entwickelte Abflussansatz nicht mehr direkt anwendbar. Durch die aufgezeigten, leichten Modifikationen von einzelnen Gleichungen sind aber auch bei reduzierter Geschiebezufuhr noch zuverlässige Berechnungsergebnisse möglich.