

Dissertation ETH Nr. 7035

Sekundärströmungen im offenen Gerinne  
über rauhen Längsstreifen

Abhandlung  
zur Erlangung  
des Titels eines Doktors der Technischen Wissenschaften  
der  
Eidgenössischen Technischen Hochschule  
Zürich

vorgelegt von  
Franz Xaver Studerus  
Dipl. Bauingenieur ETH  
geboren am 18. März 1952  
von Waldkirch (SG)

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. T. Dracos, Referent  
Prof. Dr. D. Vischer, Korreferent



1982

**Kurzfassung**

\*\*\*\*\*

In der vorliegenden Arbeit werden Sekundärströmungen untersucht, die durch eine seitliche Variation der Sohlenrauigkeit induziert wurden. Es handelt sich dabei um Sekundärströmungen der 2. Art nach Prandtl. Die theoretischen Grundlagen zur Beschreibung solcher Strömungen und die Abgrenzung gegenüber zweidimensionalen Strömungen werden vorgenommen. Es wird ein Modell vorgeschlagen, wie mit einer Impulsbetrachtung die Grösse der Sekundärströmung aus der Rauigkeitsverteilung und aus der mittleren Strömungsgeschwindigkeit geschätzt werden kann.

Die Untersuchungen wurden in einem 25 m langen, 60 cm breiten Laborkanal durchgeführt. Die Rauigkeitsstreifen bestanden aus aufgeklebtem Quarzsand ( $\varnothing$  2.5 mm), die glatten Streifen aus PVC. Für diese Arbeit wurde ein Messsystem entwickelt, mit welchem alle drei Komponenten des Geschwindigkeitsvektors bestimmt werden können: die Komponente u und v mit Laser - Doppler - Anemometern (LDA) und die Komponente u und w mit Heissfilm - Anemometern. Die beiden Messsysteme und ihre Kombination werden beschrieben und eine Abschätzung der Fehler vorgenommen. Die Steuerung und Auswertung der Messungen erfolgte auf PDP-11 - Computern.

In einer 1. Serie wurde die ausgebildete Strömung an einem Querschnitt mit einer Dreikomponentenmessung erfasst. Mit der gewählten Anordnung der Rauigkeitsstreifen wurden Sekundärströmungen induziert. Deren Geschwindigkeiten betragen 1% bis 2% der mittleren Strömungsgeschwindigkeit. Dadurch wird auch die mittlere Strömung beeinflusst und der spezifische Durchfluss über der Rauigkeit wird erhöht. Um ein Gleichgewicht zwischen dem Gewichtsanteil des Wassers in Strömungsrichtung und der Wandschubspannung herzustellen, wird mit der Sekun-

därströmung Impuls zur rauhen Sohle transportiert. In Sohlen-  
nähe erfolgt ein Uebergang von advektivem zu turbulentem  
Impulstransport, die turbulenten Schubspannungen werden er-  
höht und die Wandschubspannung wird grösser. Aus den Messwer-  
ten wurde der seitliche Impulstransport berechnet und mit den  
Schätzungen aus dem Modell verglichen.

In einer 2. Serie wurde die Entwicklung der Strömung mit und  
ohne Rauheitsstreifen untersucht. Dazu wurden mit LDA auf  
der ganzen Rinnenlänge repräsentative Querschnitte (Rinnen-  
hälften) ausgemessen und die Messwerte dargestellt. Die Ent-  
wicklung der Grenzschicht ohne Rauigkeiten, und die Entwick-  
lung der internen Grenzschicht über den Rauigkeiten wurde  
erfasst. In einem speziellen Abschnitt wurde auf Störungen  
und auf Einflüsse von geänderten Randbedingungen eingegangen.  
Die Strömung über einer beweglichen Sandsohle wurde in einem  
Versuch untersucht.

Diese Arbeit steht im Zusammenhang mit weiteren Untersuchungen  
über Strömungen in Kanälen mit beweglicher Sohle. Sie liefert  
Daten und Grundlagen zum Verständnis von Sekundärströmungen.  
Das Schwergewicht liegt auf Grundlagenerfassung, Rückschlüsse  
auf die Strömungsverhältnisse in Bächen und Flüssen sind je-  
doch möglich.

## Abstract

\*\*\*\*\*

In the present study secondary flows induced by a lateral variation of the bed roughness are analysed. Available theories on two- and threedimensional flows are discussed and compared with the results of the present investigations. A model is proposed for estimating the secondary flow based on the distribution of the wall roughness and of the mean flow velocity.

The experiments were made in a laboratory flume with a length of 25 meters and a width of 60 centimeters. Four 6 centimeter wide strips of quartzsand (diameter 2.5 millimeter) were located on the bottom to modify the bed roughness. The space between the strips was covered with 10 centimeter wide and 2 millimeter thick plastic sheets to produce a flat bed. To measure all three components of the velocity vector, a two-channel laser-doppler anemometer was combined with a two-channel hot-film anemometer which had a horizontally crossed probe. The two measuring systems and their combination are described and an estimate of the accuracy is given. The measurements were controlled by PDP-11 computers.

In a first set of experiments fully developed flow was investigated. The distribution of roughness strips induced a secondary flow of 1% to 2% of the mean flow velocity, which increased the discharge over the rough strips by 3% and decreased it over the smooth strips by 4%. To establish an equilibrium the secondary flow transports momentum to the roughness. With the proposed model, the amount of this momentum-transport can be calculated. The result of the estimate is compared with the measurements.

In a second set of experiments the development of the flow with and without the roughness stripes is analysed. The influence of variable water depth and of disturbances are also presented. The flow over a sand bed is measured and compared with the results of the measurements with fixed roughness strips.