



Doctoral Thesis

## Flood discharge estimation for complex river geometries by inverse numerical modelling

**Author(s):**

Sulzer, Sabine Claudia

**Publication Date:**

2001

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004232231> →

**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 14383

**Flood Discharge Estimation for Complex River Geometries by  
Inverse Numerical Modelling**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH  
for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by

Sabine Claudia Sulzer  
Dipl. Kultur-Ing ETH Zurich  
born October 14, 1971  
citizen of Schaffhausen (SH)

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Wolfgang Kinzelbach, examiner  
Dr. Peter Rutschmann, co-examiner  
Prof. Dr. Franz Valentin, co-examiner

2001

# Abstract

A new approach to estimate flood discharges in complex river geometries is presented. Discharges are here determined through the combination of non-intrusive measurements of surface velocities and water levels with an inverse numerical model. This inverse numerical model consists of an inverse problem formulation, coupled with a Computational-Fluid-Dynamics (CFD) model. The CFD-model provides the connection between the flow field in the river section, where measurements are available, and the inflow of the modelled section, where the discharge is defined as boundary condition. Both a 2D CFD-model that computes a vertical section, or a full 3D CFD-model, were used. Both CFD-models solved the Reynolds averaged Navier-Stokes equations and applied the  $k$ - $\epsilon$  turbulence model for closure. The free surface was calculated with the Volume-of-Fluid method for the 3D computations and with an adaptive grid approach for the 2D computations. The inverse method uses the Levenberg-Marquardt minimizing algorithm to adjust the flow field to the measurements, by altering the discharge and eventually its distribution.

The inverse numerical model was applied to two different case-studies. One test-case was a straight rectangular channel with two sills allowing for computations with the 2D CFD-model, whereas the other case required a full 3D CFD-model because of a  $90^\circ$  bend in its geometry. For both cases, laboratory measurements were available for flood situations with Froude numbers  $Fr \geq 0.89$  to verify the CFD-models. The forward results of both case-studies showed acceptable agreement between the computed free-surface flow and the measurements (i.e., the average relative error in water depths was between 6 and 11% for the 2D-computations, and 6.2% for the 3D-computations). The CFD-models used were able to capture complex flows with separation zones. A sensitivity analysis was performed for different roughness values. However, the influence of different realistic roughness values on water level and surface velocity was negligible in the cases analyzed.

The inverse method was validated regarding uniqueness and stability using synthetically generated series-of-measurements. The discharge could be estimated uniquely, if the inflow velocity distribution and the river bed geometry were assumed to be known. One measurement was enough to predict the discharge with a high accuracy (i.e., within 2% for both case-studies), when no error in water level and surface velocity data was assumed. The sensitivity of water level data to discharge changes was small in the entire computed river section for both case-studies. It was even smaller for higher discharges. Therefore, the estimation of flood discharge should be combined with velocity data and not only be based on stage measurements.

The influence of random errors on the estimated discharge was reduced by increasing the number of measurement points. However, the improvement of the reliability of the discharge was small for more than 10 measurements in the two presented cases. The proposed non-intrusive Particle-Tracking-Velocity (PTV) technique provides water level and surface velocity data of several particles and is therefore particularly suited for the estimation of discharge.

The stability of the proposed method to estimate discharge depended considerably on the measurement location in the river section. The discharge estimation was more stable, when measurements were taken at locations where the sensitivity of the measurements to discharge changes was higher. By optimizing measurement locations, the relative discharge error was around 1.5 times the magnitude of the relative velocity data error. If the measurement locations were poorly selected, the relative discharge error exceeded the magnitude of the relative velocity error 4-6 fold in the 2D computations. River sections with complex flow fields may feature particularly sensitive locations, which can be computed since complex flow fields can be captured with the presented CFD-models. The information on suitable measurement locations can be obtained a priori.

# Zusammenfassung

Innerhalb der hier vorgelegten Arbeit wird eine neue Methode der Durchflussbestimmung bei Hochwasser in komplexen Flussgeometrien vorgestellt. Dabei wird der Durchfluss mit einem inversen numerischen Modell ermittelt, welches auf berührungslosen Messungen der Oberflächenlage und -geschwindigkeiten, wie sie beispielsweise durch Particle Tracking Velocimetry (PTV) Messungen gewonnen werden können, basiert. Das inverse numerische Modell besteht aus einer inversen Problemformulierung, kombiniert mit einem numerischen Strömungsmodell. Dieses liefert die Verbindung zwischen Strömungsfeld im Bereich der Messungen und dem zu ermittelndem Zufluss des modellierten Bereichs, wobei entweder ein 2D Vertikalschnitt oder ein vollständiges 3D Modell verwendet wurde. Beide Strömungsmodelle lösen die Reynolds-gemittelten Navier-Stokes Gleichungen und wenden das  $k-\epsilon$  Turbulenzmodell an. Die freie Wasseroberfläche wurde in den 3D Berechnungen mit der Volume-of-Fluid Methode bestimmt und in den 2D Berechnungen mit adaptiven Netzen angepasst. Die inverse Methode basiert auf dem Levenberg-Marquardt Minimierungsalgorithmus und bewirkt, dass die berechneten Oberflächenlagen und Fließgeschwindigkeiten durch Verändern des Durchflusses am Zuströmrand den Messungen angepasst werden.

An zwei verschiedenen Fallbeispielen wurde das inverse numerische Modell getestet. Zum einen wurde mit dem 2D Programm ein gerader Kanal mit zwei Schwellen berechnet, und zum anderen erforderte ein weiteres Fallbeispiel mit einer 90°-Kurve in der Gerinnegeometrie ein 3D Modell. Für beide Fallbeispiele standen Labormessungen für Hochwassersituationen mit Froudezahlen  $Fr \geq 0.89$  zur Verfügung, um die Strömungsmodelle zu verifizieren. Die Vorwärtsresultate von beiden Fallbeispielen zeigten akzeptable Übereinstimmungen zwischen der berechneten freien Wasseroberfläche und den Messungen (d.h. der durchschnittliche, relative Fehler der Wassertiefe war zwischen 6 und 11% innerhalb der 2D Berechnungen und 6.2% innerhalb der 3D Berechnungen). Demzufolge sind die verwendeten Programme in der Lage, komplexe Strömungsverhältnisse mit Ablösezone zu berechnen.

Die inverse Problemformulierung wurde hinsichtlich Eindeutigkeit und Stabilität validiert, wobei synthetisch generierte Messdaten verwendet wurden. Der Durchfluss konnte eindeutig bestimmt werden, falls die Geschwindigkeitsverteilung am Zuflussrand und die Gerinnebettgeometrie als bekannt angenommen wurden. Bereits eine Messung war ausreichend, um den Durchfluss mit einer hohen Genauigkeit zu bestimmen (d.h. auf 2% genau in beiden Fallbeispielen), wenn fehlerfreie Daten der Oberflächenlage und -geschwindigkeit angenommen wurden. Die Sensitivität der

Oberflächenlage auf Durchflussveränderungen war im gesamten simulierten Flussabschnitt für beide Fallbeispiele gering. Eine Durchflussbestimmung bei Hochwasser sollte daher mit Geschwindigkeitsmessungen kombiniert werden und nicht nur auf Messungen der Oberflächenlage basieren.

Der Einfluss von zufälligen Fehlern auf die Durchflussbestimmung konnte durch Verwendung einer grösseren Anzahl Messungen minimiert werden. Die Verbesserung der Zuverlässigkeit des Durchflusses ist aber gering für mehr als 10 Messungen in beiden vorgestellten Fällen. Die vorgeschlagene PTV-Messmethode eignet sich daher besonders, da die Oberflächenlage und -geschwindigkeit von mehreren Partikeln gemessen werden können.

Die Stabilität der vorgeschlagenen Methode zur Durchflussbestimmung hängt stark von den Messstandorten im Flussabschnitt ab. Die Durchflussbestimmung war stabiler bei Berücksichtigung von Standorten mit einer höheren Sensitivität der Messvariablen auf Durchflussveränderungen. Bei einer optimalen Auswahl der Messstandorte pflanzt sich ein relativer Fehler der Oberflächengeschwindigkeiten mit dem Faktor 1.5 auf die Grössenordnung des relativen Durchflussfehlers fort. Im Fall ungünstig gewählter Messpunkte kann der relative Fehler der Durchflusses die Grössenordnung des relativen Geschwindigkeitsfehlers innerhalb der 2D Berechnungen um den Faktor 4-6 übersteigen. Eventuell weisen komplexe Flussabschnitte besonders sensitive Messstandorte auf, welche dann aufgrund der nachgewiesenen Anwendbarkeit auf komplexe Strömungsgebiete ausgenutzt werden können. Mittels der vorgestellten Berechnungen können optimale Messstandorte a priori bestimmt werden.