

**NUMERISCHE SIMULATION VON STOSSWELLEN IN**  
**FREISPIEGELSTRÖMUNGEN**

ABHANDLUNG

Zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Daniel René Näf



Dipl. Bau-Ing. ETH,

Master of Science WPI (Worcester Polytechnic Institute), Mass., USA

geboren am 2. Oktober 1964

von Rüti ZH

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. D. Vischer, Referent

Prof. Dr. F. Valentin, Korreferent

Dr. P. Rutschmann, Korreferent

1997

## ZUSAMMENFASSUNG

In einem ersten Schritt werden die 2-dimensionalen Flachwassergleichungen in eine FE Toolbox eingebaut und getestet. Ein Upwind-Schema reduziert numerische Schwingungen. Die Möglichkeit Elemente mit Ansatzfunktionen höherer Ordnung für jede Variable einzubauen, kann ebenso mithelfen, diese Oszillationen auszudämpfen.

Die Überprüfung des Programms erfolgt sowohl anhand von anderen numerischen Simulationen, als auch durch die Berechnung analytisch lösbarer Probleme. Hierzu wird vor allem das 1-dimensionale Dammbrechproblem mit Strömungswechsel verwendet.

Die Besonderheiten von schießenden Abflüssen, insbesondere das Auftreten von Fließwechseln und Stosswellen, wird am Beispiel einer Schussrinnenkontraktion aufgezeigt, und die erhaltenen Resultate mit Messungen verglichen.

Auch das instationäre Phänomen des anhand von Messungen zu beobachtenden Strömungszusammenbruchs und -ausblasens wird mittels numerischer Simulation geprüft. Gute Übereinstimmung ist erzielt worden.

Da die Tiefenmittelung für die Behandlung von Stosswellen keine ausreichend genauen Resultate liefert, werden Erweiterungen diskutiert, so etwa die Turbulenzmodellierung oder die Einführung von Boussinesqtermen in die Flachwassergleichung.

Ein neuer Ansatz, der den Impuls in der 3. Richtung berücksichtigt, aber trotzdem auf einem 2-dimensionalen Netz arbeitet, wird aus den Reynoldsgleichungen abgeleitet und implementiert. Er erlaubt neben der Berücksichtigung von vertikalen Geschwindigkeiten mit einem quadratischen Ansatz, eine ebenfalls quadratische Druckverteilung sowie eine lineare Verteilung der horizontalen Geschwindigkeit.

Die notwendigen erstmaligen Herleitungen der 2-dimensionalen Gleichungen sind besonders ausführlich dargestellt.

Der neue Ansatz wird am 1-dimensionalen Dammbrech sowohl für strömenden und schießenden Abfluss verifiziert. Die erstmalig durchgeführten 2-dimensionalen Berechnungen erfahren am Beispiel des teilweisen Dammbrech ihre Anwendung.

Die vorhandenen Resultate zeigen, dass mit diesem Berechnungsverfahren speziell an der Front der Schwallwelle Resultate erzielt werden, welche bedeutend verfeinerte Aussagen zulassen. Die numerischen Schwierigkeiten die angetroffen wurden, scheinen lösbar.

## **ABSTRACT**

The solution of shock waves in supercritical flows with a robust numerical tool for the shallow water equations is searched. Further investigations are directed towards the extension of the equations for non-hydrostatic pressure distribution.

In a first step, the two dimensional shallow water equations were implemented and thoroughly tested using a finite element toolbox (FEMTOOL). An upwind scheme was found to reduce the numerical oscillations. Shape functions of higher order for each variable also helped to prevent high frequency oscillations.

The program validation consisted of comparisons with results of other numerical simulations, as well as with examples for which analytical solutions were available.

The effects created on high velocity flows with changing flow properties are shown for a supercritical spillway contraction. These results were compared with experimental observations. The transient phenomenon associated with choking flows as recorded in experiments is tested with the numerical model and good agreement can be reported.

Since the shallow water equations for the investigation of shock waves do not produce satisfactory results, extensions of the basic shallow water equations were sought. Either turbulence modeling or the implementation of Boussinesq terms were examined as improvement options.

A new approach, allowing the use of a two dimensional grid, is derived from the Reynolds equation and implemented in FEMTOOL. Beside the consideration of quadratic distributed vertical velocities and a quadratic pressure distribution additional to the hydrostatic pressure, a linear horizontal velocity distribution is assumed.

It is the first time, that such equations have been derived. To date, only one dimensional equations have been successfully implemented and the two-dimensional equations cannot be found in the literature. The vertically averaged and moment equations together with the kinematic boundary conditions provide the necessary set of equations for the solution of the 10 unknowns defined.

The new set of equations is tested for the one dimensional dambreak for sub- and supercritical flow. The two dimensional equations were validated on the basis of a partial dambreak problem. The influence of the additional parameters is limited to the front of the shock waves.