

Parameterstudie eines hydraulischen Sprungs unter Zuhilfenahme eines Zweiphasen-Modells mit Open▽FOAM

Mathias Ehrenwirth
Prof. Dr.-Ing. Konrad Költzsch

Zentrum für Angewandte Forschung – Technische Hochschule Ingolstadt

9. November 2013



Technische Hochschule
Ingolstadt

- ① Einleitung
- ② Theoretische Grundlagen
- ③ Open ∇ FOAM
- ④ Parameterstudie
 - Experimentelle Untersuchung
 - Geometrie
 - Randbedingungen der Simulation
 - Vergleich Simulation / Experiment
 - Netzunabhängigkeitsstudie
 - Parameterstudie
- ⑤ Simulation der *Münchener Floßlände*
 - Geometrie
 - Ergebnisse
- ⑥ Zusammenfassung und Ausblick
- ⑦ Quellen

Einleitung



Abbildung 1: Münchener Floßlande (12. Mai 2013)

Theoretische Grundlagen

Hydraulischer Sprung, Froude-Zahl:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (1)$$

mit:

- v = Strömungsgeschwindigkeit in m s^{-1}
- g = Gravitationskonstante = 9.81 m/s^2
- h = Höhe des Wasserspiegels in m

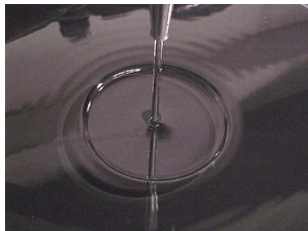


Abbildung 2: Wechselsprung [2]

Beim Übergang von $Fr > 1$ nach $Fr < 1$ entsteht eine hydraulischer Wechselsprung, bei ausreichend hohen Fr - Zahlen entsteht eine stehende Welle.

Open▽FOAM

Hintergrundinformationen zu Open▽FOAM [3]

- C++ – Programm zur Lösung verschiedenster physikalischer Probleme
- Entwickelt in den 1990er-Jahren am Londoner Imperial College
- Verwendung in Industrie und Forschung
- OpenSource → Benutzung ist kostenlos
- Keine grafische Oberfläche → Bedienung über Konsole
- Bedienung klassischerweise unter Linux

Experimentelle Untersuchung I

UniBW¹ – Experimentelle Untersuchung zu stehenden Wellen für den Kanusport [1]:



Abbildung 3: Ergebnisse der Voruntersuchung [1, Abb. 4.1]

Experimentelle Untersuchung II

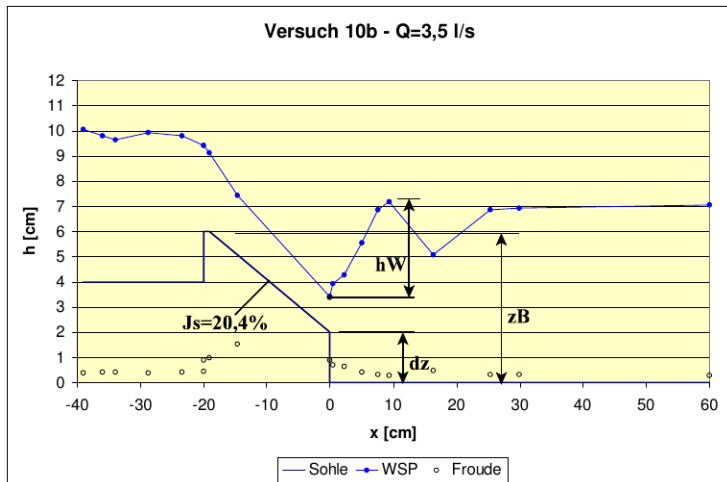


Abbildung 4: Ergebnisse der Voruntersuchung [1, Abb. 4.2]

Geometrie I

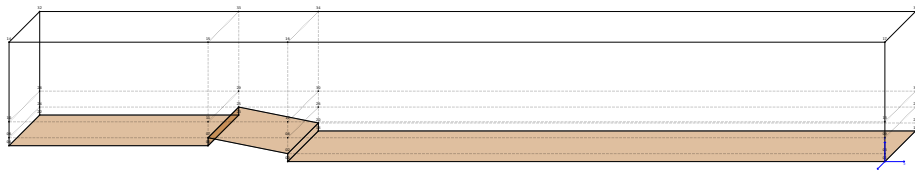


Abbildung 5: Geometrie analog zum Experiment [1]

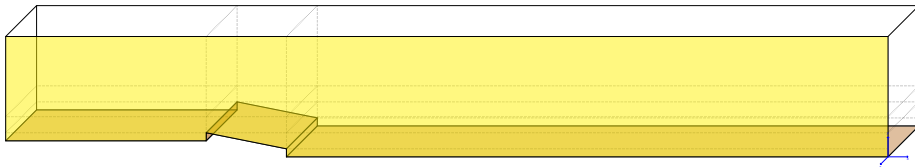


Abbildung 6: Vorderseite

Geometrie II

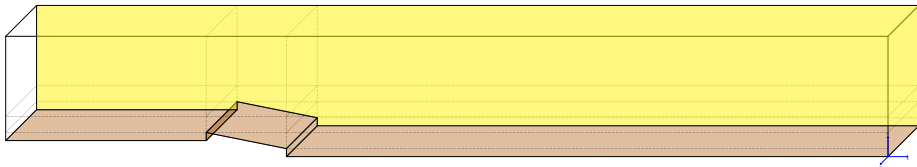


Abbildung 7: Rückseite

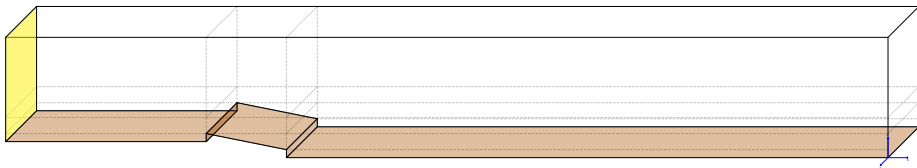


Abbildung 8: Eintritt (Inlet)

Geometrie III

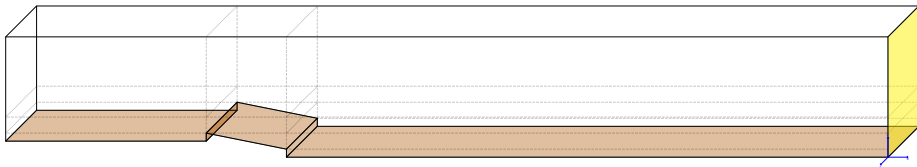


Abbildung 9: Austritt (Outlet)

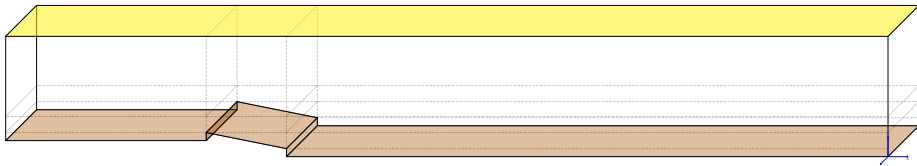


Abbildung 10: Atmosphäre

Randbedingungen der Simulation I

Der Volumenstrom ist mit 3.5 l/s gegeben. Abbildung 4 zeigt, dass die Wasserhöhe im Unterwasser ungefähr 0.07 m beträgt, somit kann die entsprechende Abfluss-Geschwindigkeit ermittelt werden:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{b \cdot h} = \frac{3.5 \text{ l/s}}{0.2 \text{ m} \cdot 0.07 \text{ m}} = \frac{0.0035 \text{ m}^3/\text{s}}{0.014 \text{ m}^2} = 0.25 \text{ m/s} \quad (2)$$

Randbedingungen der Simulation II

	U	p_rgh	alpha1
internalField	uniform (0.175 0 0);	uniform 0;	uniform 0;
water_inlet	type flowRateInletVelocity; volumetricFlowRate constant 3.5e-3; value uniform (0 0 0);	type buoyantPressure; value uniform 0;	type fixedValue; value uniform 1;
air_inlet	type fixedValue; value uniform (0 0 0);	type buoyantPressure; value uniform 0;	type fixedValue; value uniform 0;
outlet	type fixedValue; value uniform (0.25 0 0);	type buoyantPressure;	type zeroGradient;
ground	type fixedValue; value uniform (0 0 0);	type buoyantPressure; value uniform 0;	type zeroGradient;
atmosphere	type pressureInletOutletVelocity; value uniform (0 0 0);	type totalPressure; p0 uniform 0; U U; phi phi; rho rho; psi none; gamma 1; value uniform 0;	type inletOutlet; inletValue uniform 0; value uniform 0;
front	type empty;	type empty;	type empty;
back	type empty;	type empty;	type empty;

Tabelle 1: Randbedingungen

Vergleich Simulation / Experiment I

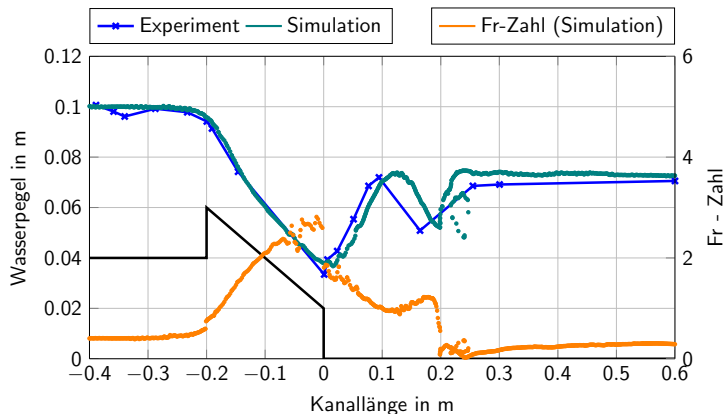


Abbildung 11: Vergleich zwischen Experiment und Simulation, Zeit = 30 s

Vergleich Simulation / Experiment II



Abbildung 12: Animation über 30 s

Netzunabhängigkeitsstudie I

Das Setup des Experiments wurde mit 4 unterschiedlichen Netzen simuliert:

- Grobes Netz: 31370 Zellen
- Mittleres Netz: 95058 Zellen
- Feines Netz: 336184 Zellen
- 3D-Simulation: 439070 Zellen

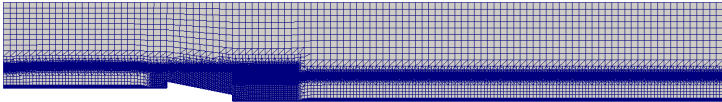


Abbildung 13: Netz (global, mittleres Netz)

Netzunabhängigkeitsstudie II

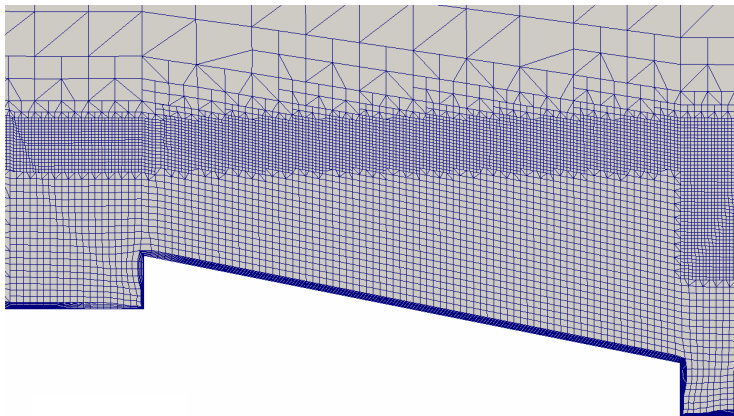


Abbildung 14: Netz (lokal, mittleres Netz)

Netzunabhängigkeitsstudie III

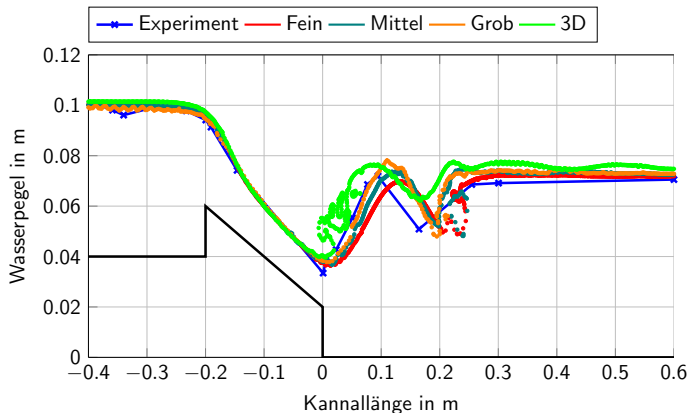


Abbildung 15: Vergleich zwischen unterschiedlichen Netzen, Zeit = 30 s

Parameterstudie I

	Verringerung	Experiment	Zunahme
Tiefe des Beckens im Oberwasser	0 mm	20 mm	40 mm
Tiefe des Beckens im Unterwasser	0 mm	20 mm	40 mm
Massenstrom	1.75 l/s	3.5 l/s	7 l/s
Wasserhöhe am Auslass	50 mm	70 mm	90 mm
Neigungswinkel der Schussstrecke	10°	20.4°	45°
Länge der Schussstrecke	100 mm	203.96 mm	40 mm

Tabelle 2: Parameterstudie

Parameterstudie II

Parameter	Auswirkung auf die Welle
Tiefe des Beckens im Oberwasser vergrößert	→
Tiefe des Beckens im Oberwasser verringert	→
Tiefe des Beckens im Unterwasser vergrößert	↘
Tiefe des Beckens im Unterwasser verringert	↘
Massenstrom vergrößert	↗
Massenstrom verringert	↘
Wasserhöhe am Auslass vergrößert	↘
Wasserhöhe am Auslass verringert	↗
Neigungswinkel der Schussstrecke vergrößert	↘
Neigungswinkel der Schussstrecke verringert	↘
Länge der Schussstrecke vergrößert	↘
Länge der Schussstrecke verringert	→

Tabelle 3: Ergebnisse der Parameterstudie

Parameterstudie III

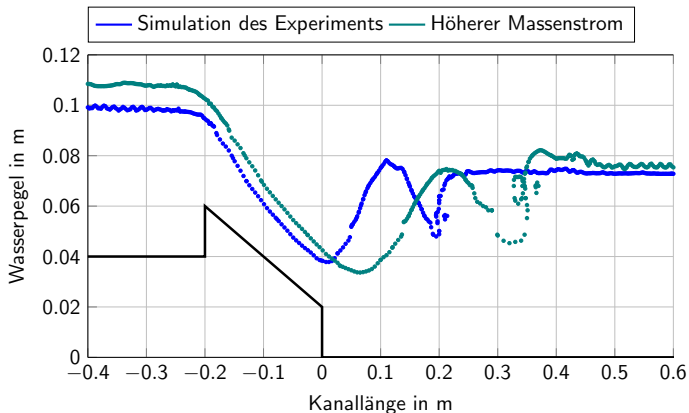


Abbildung 16: Höherer Massenstrom, Zeit = 30 s

Parameterstudie IV

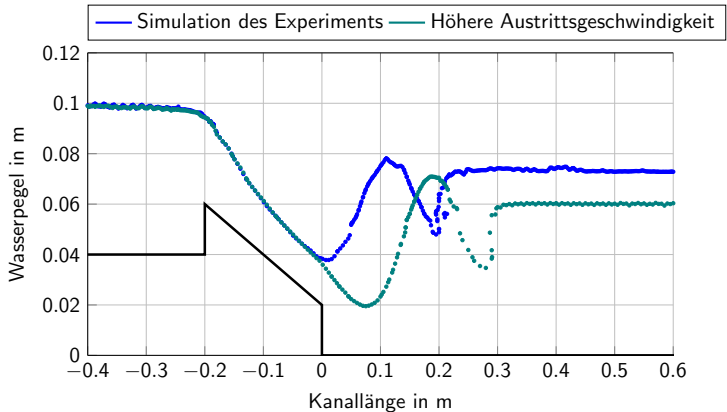


Abbildung 17: Höhere Austrittsgeschwindigkeit, Zeit = 30 s

Geometrie der *Münchener Floßlande* I

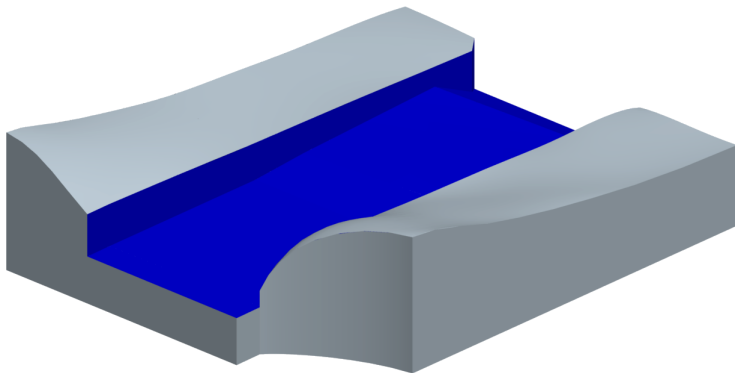


Abbildung 18: 3D-Modell der *Münchener Floßlande*

Geometrie der *Münchener Floßlände* II

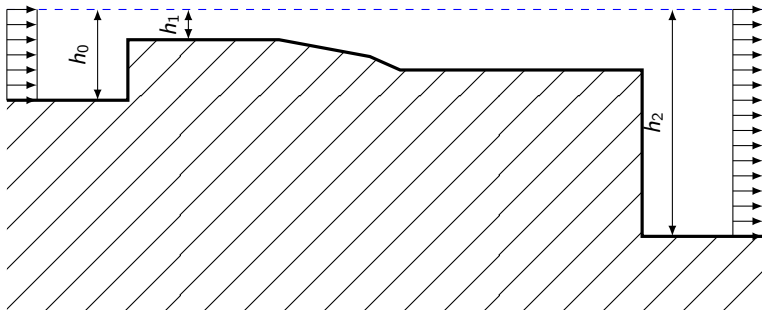


Abbildung 19: Querschnitt durch das Modell der *Münchener Floßlände*

Ergebnisse I

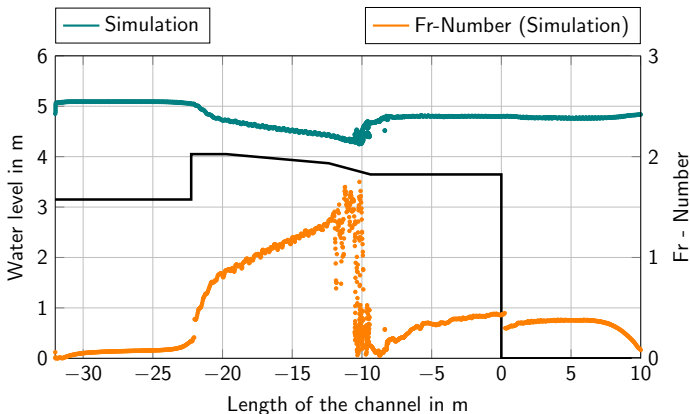


Abbildung 20: Ergebnis der Simulation an der *Münchener Floßlande*, Zeit = 120 s

Ergebnisse II



Abbildung 21: Animation von $t = 90\text{ s}$ – $t = 120\text{ s}$

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- Es wurde ein Simulationsmodell zur Vorhersage von stehenden Wellen auf Flüssen / in Kanälen erarbeitet.
- Das Modell zeigt eine gute Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen der UniBW.
- Bei Anpassung des Modells auf die *Münchener Floßlände* zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit der Realität.

Ausblick:

- Im nächsten Schritt sollte ein Modellversuch der *Münchener Floßlände* durchgeführt werden, um einen Abgleich zwischen Modell und Realität zu erzielen.
- Anschließend können Parameterstudien mit der Geometrie der *Münchener Floßlände* durchgeführt werden.

Quellen

Univ. Prof. Dr.-Ing. W. Bechteler.

Erzeugung von Wellen und Walzen für den Kanusport, 2004.

JOHN W. M. BUSH and JEFFREY M. ARISTOFF.

The influence of surface tension on the circular hydraulic jump.

Journal of Fluid Mechanics, 489:229–238, 7 2003.

Wikipedia, the free encyclopedia.

OpenFOAM, July 2013.

URL <http://en.wikipedia.org/wiki/OpenFOAM>.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Danke an:

Prof. Dr.-Ing. Konrad Költzsch, Matthias Schneider, Philipp Altenhöfer, Wolfrik Fischer und allen anderen Münchener Surfern, die mich bei der Umsetzung dieser Arbeit tatkräftig unterstützt haben!

