

Strömungsberechnung mit OpenFOAM

Studienarbeit

für das 5. Semester

der Fachrichtung Maschinenbau Virtual Engineering
an der Berufsakademie Mosbach

von

Michael Wendel

Dezember 2005

Bearbeitungszeitraum	3 Monate
Kurs	TMB2003
Ausbildungsfirma	Comau Heilbronn
Gutachter der Studienakademie	Prof. Dr.-Ing. Uwe Janoske

Inhaltsverzeichnis

Deckblatt.....	
Einleitung.....	3
Vorstellung von OpenFOAM.....	4
Maße der Rückspringenden Stufe	5
Definition der Randbedingungen	5
Berechnung der Reynolds-Zahl für die drei Simulationen.....	6
Ergebnisse von Fluent für die Geschwindigkeit U.....	7
Vergleich der Ergebnisse von Fluent und FoamX im Diagramm	10
Ergebnis des Vergleichs	14
Quellenangaben	15

Einleitung

Die fortschreitende Beschleunigung in der Entwicklung neuer Produkte erfordert es neue Wege einzuschlagen, um im globalen Konkurrenzkampf weiterhin bestehen zu können. Die Notwendigkeit die Entwicklungszeit zu verringern steht im Mittelpunkt für jedes neue Produkt und zwar nicht nur für weit entwickelte Industrien, wie der Automobilbranche, sondern auch für kleine mittelständische Unternehmen, deren Investitionskapital im Vergleich verschwindend gering ist.

Die Automobilindustrie versucht die Entwicklungszeit für ein Produkt auf ein Minimum zu reduzieren, um Kosten zu senken und rechtzeitig auf die Kundenwünsche reagieren zu können. Trotz der Forderung nach gleich bleibender oder sogar steigender Qualität. Virtuelle Simulationen haben gegenüber realen, mit denen auch die Herstellung aller Werkzeuge für deren Produktion verbunden ist, überzeugende Vorteile hinsichtlich der Kosten- und Zeitersparnis. Diese Vorteile haben aus der Verifizierung am Ende einer Entwicklungsphase durch reale Tests eine begleitende Unterstützung für die Konstrukteure durch Virtuelle werden lassen. Diese Arbeitsmethode ermöglicht eine produktivere und kürzere Entwicklung durch eine frühe Erkennung von Problemen und kostengünstigeren, virtuellen Änderungen, trotzdem sind die realen Prototypen nach wie vor unverzichtbar, da noch nicht alles virtuell getestet werden kann, dennoch konnte die Anzahl der benötigten Prototypen sehr stark verringert werden.

Heutige Referenzprogramme für virtuelle Simulationen sind so vielfältig und spezialisiert, dass selbst erfahrene Ingenieure nicht alle Programme beherrschen, geschweige denn ihre Vor- und Nachteile selbstständig erarbeiten können. Man ist auf einen Dienstleister angewiesen, der die Software sowie das Wissen für ihre Handhabung bereitstellt. In dieser Marktlücke haben sich viele große Softwareanbieter fest etabliert und ihre Position durch kontinuierliche Weiterentwicklung ihrer Produkte und Überprüfung mit teuren Experimenten ausgebaut. Diese Ausgangsposition erlaubt es, die Kosten für ein Simulationsprogramm, genauer gesagt dessen Lizenzen, fast willkürlich festzulegen. Diese Kosten sind für mittelständische Unternehmen nicht tragbar, geschweige denn wirtschaftlich, um dennoch mit dem Markt mit zuziehen sind Open-Source-Programme eine wirkliche Alternative.

OpenFOAM

Das CFD Softwarepaket OpenFOAM (Open Field Operation and Manipulation) kann alles von komplexen Fluidströmungen mit chemischen Reaktionen, Turbulenzen und Hitzeübertragungen, bis hin zu dynamischer Körperbelastung und Elektromagnetismus simulieren.

Das Herzstück von OpenFOAM ist eine flexible Sammlung effizienter C++ Module. Diese stellen eine große Bandbreite bereit: Solver für ganz spezifische Ingenieurprobleme; Werkzeuge, für die Vorbereitung und Auswertung von Simulationen und Datenbanken, und für die Erstellung eigener Modelle, auf die die Solver und Werkzeuge zugreifen können, wie z.B. physikalischer Modelle.

OpenFOAM ist mit einer Vielzahl von vorprogrammierten Solver, Werkzeugen und Datenbanken ausgestattet und kann so wie alle typischen Simulationspakete benutzt werden. Es ist nicht nur in Bezug auf den Programmcode frei zugänglich, sondern auch in seiner Struktur und seinem Aufbau, auf diese Weise können die Solver, Werkzeuge und Datenbanken beliebig erweitert werden.

OpenFoam benutzt „finite volume numerics“ zur Lösung von partiellen Differentialgleichungssystemen, die allen dreidimensionalen unstrukturierten Mesh aus Polygonen innewohnt. Die Solver für die Strömungsberechnung basieren auf einem stabilen, impliziten, Druck-Geschwindigkeit und iterativ lösenden Modell, obwohl auch alternative Techniken in einige Solver implementiert sind.

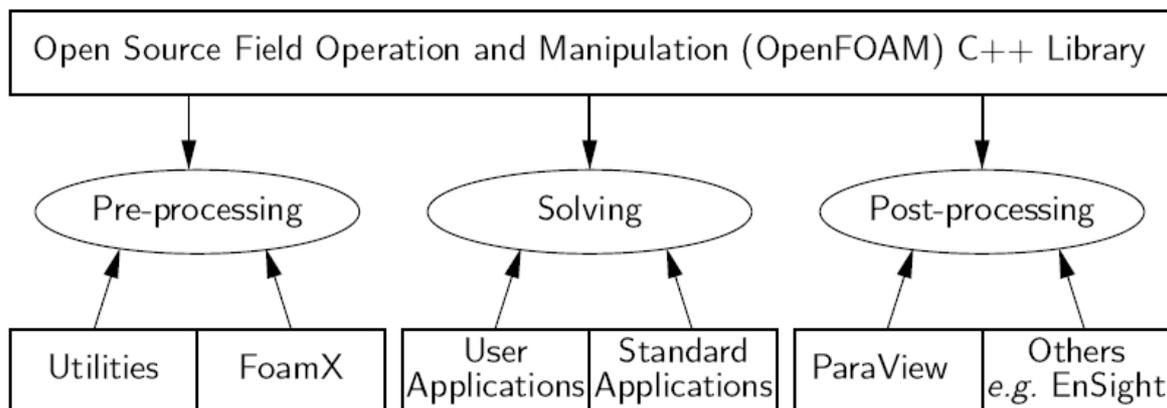


Bild 1.1: Übersicht der Struktur von OpenFOAM

Experiment Rückspringende Stufe

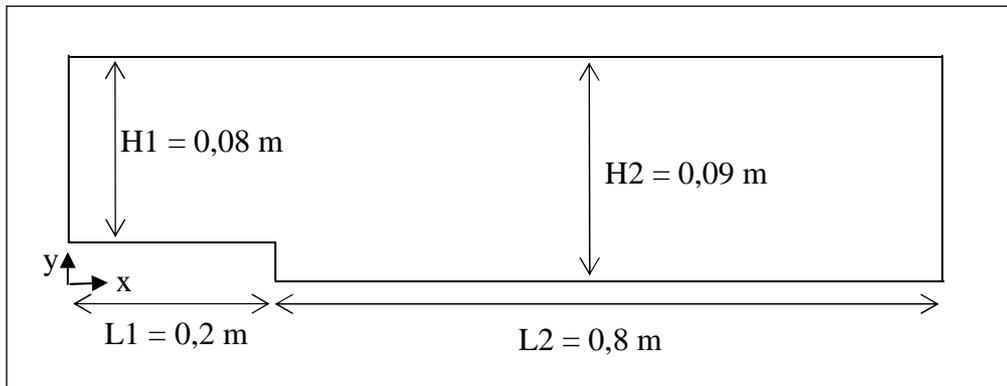


Bild 1.2: Maße des Modells

Definition der Randbedingungen

Das kommerzielle Programm Fluent wird an Hand einer Simulation mit variierender Einflussgeschwindigkeit zu einem Vergleich mit OpenFOAM herangezogen. Voraussetzung dafür sind identische Randbedingungen beim Fluid, den Modellmaßen und der Reynolds Zahl. Die drei Einflussgeschwindigkeiten sind 1 m/s, 10 m/s und 100 m/s. Weitere Parameter hängen von den Eingabemöglichkeiten des Programms ab.

Fluent:	Solver:	turbulent mit k-epsilon
	epsilon:	$1 \text{ m}^2/\text{s}^{-3}$
	k:	$1 \text{ m}^2/\text{s}^2$
	Dichte:	$1000 \text{ kg}/\text{m}^3$
	Dynamische Viskosität:	$1 \cdot 10^{-3} \text{ kg}/\text{ms}$

$$\text{Umrechnung: } \textit{kinematische Visk.} = \frac{\textit{dynamische Visk.}}{\textit{Dichte}}$$

OpenFOAM:

Solver: simpleFoam
epsilon: $1 \text{ m}^2/\text{s}^{-3}$
k: $1 \text{ m}^2/\text{s}^2$
Kinematische Viskosität: $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Berechnung der Reynolds-Zahl

Die sich dadurch ergebenden Reynolds-Zahlen für die drei Versuche nach der rückspringenden Stufe bezogen auf den Querschnitt sind:

$$\text{Berechnung: } \text{Re} = \frac{\rho * d * U}{\eta} = \frac{d * U}{\nu}$$

Fall I:

$$\text{mit } U = 1 \text{ m/s} \quad \text{Re} = 9 \cdot 10^4$$

Fall II:

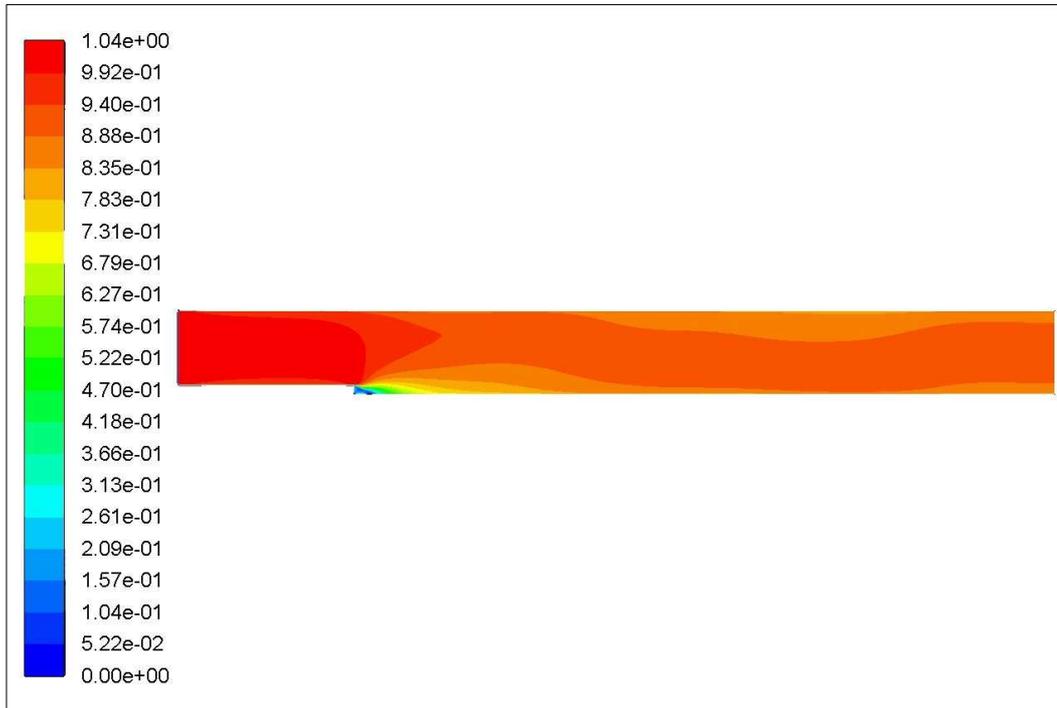
$$\text{mit } U = 10 \text{ m/s} \quad \text{Re} = 9 \cdot 10^5$$

Fall III:

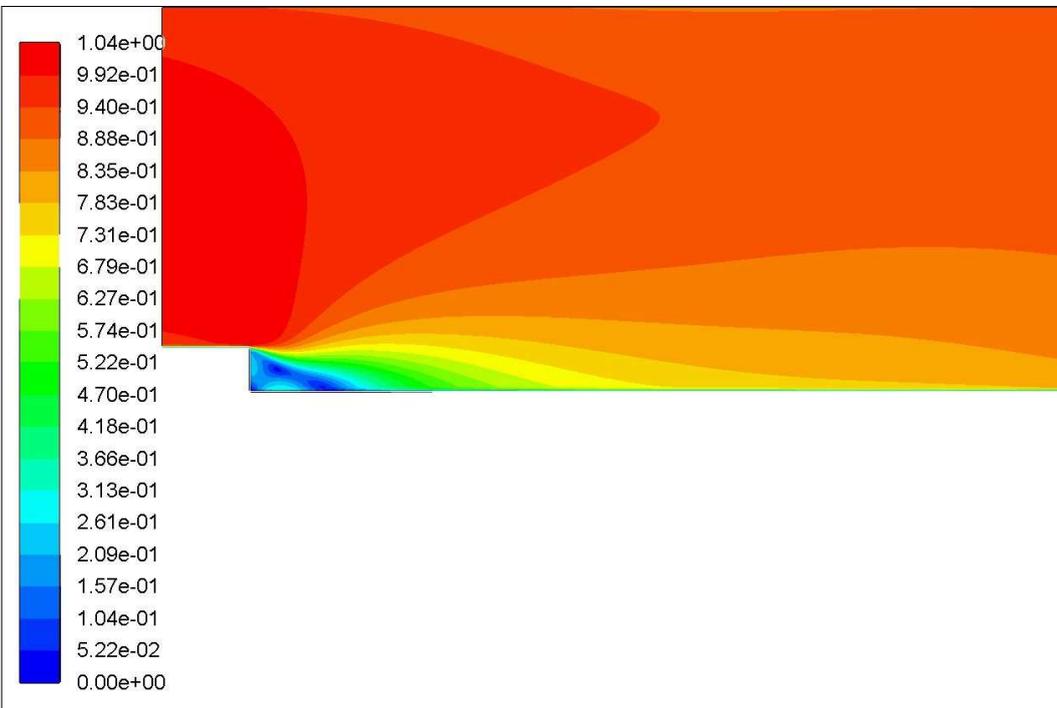
$$\text{mit } U = 100 \text{ m/s} \quad \text{Re} = 9 \cdot 10^6$$

Simulationsergebnisse von Fluent für U

Fall I:

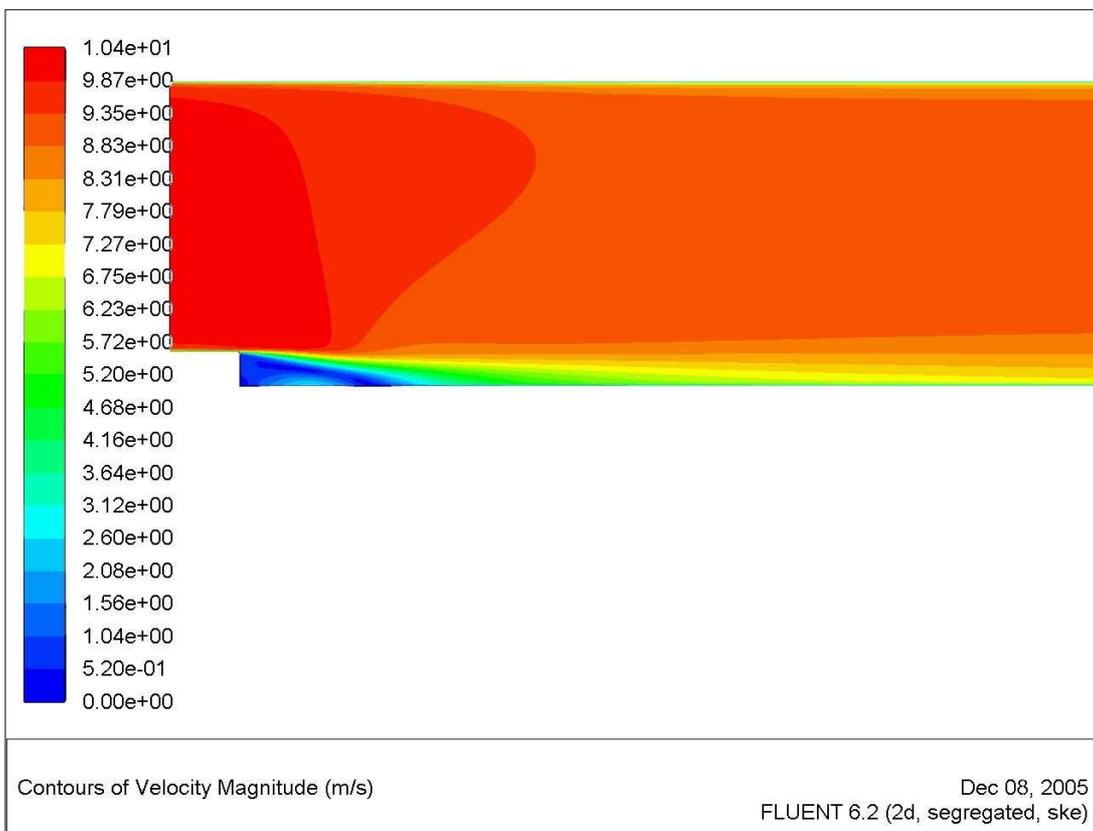
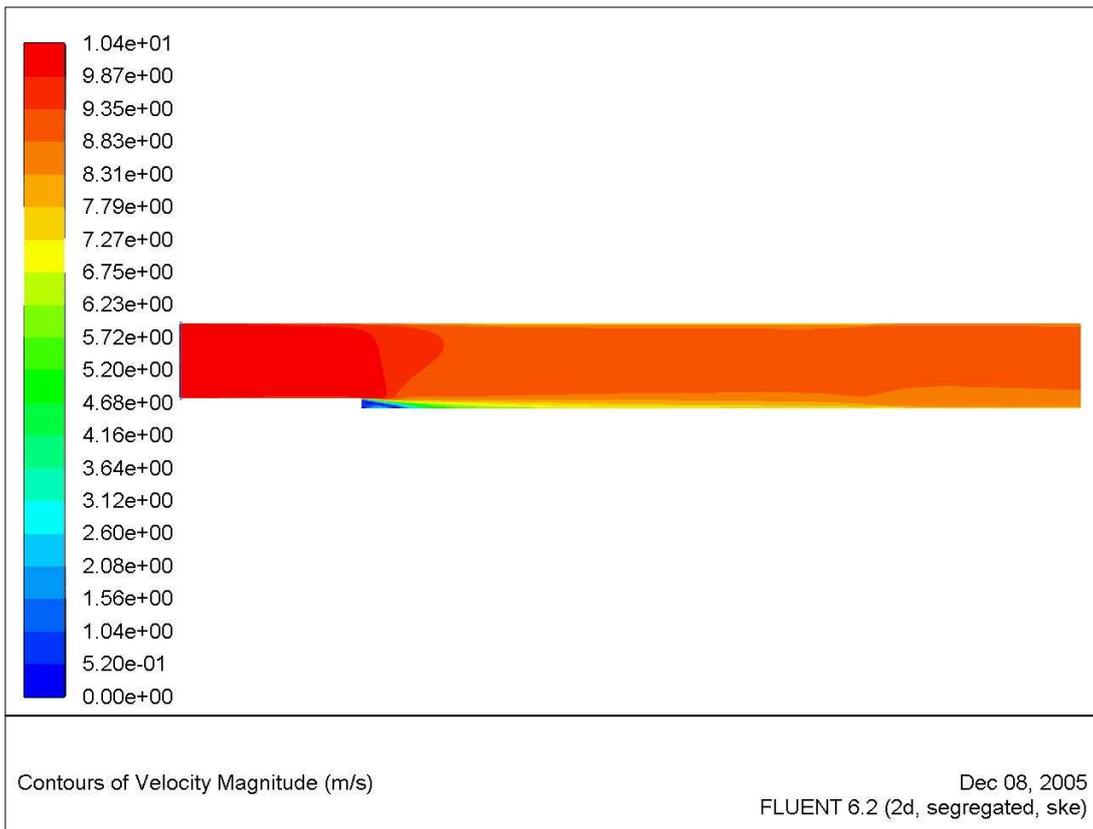


Contours of Velocity Magnitude (m/s) Dec 08, 2005
FLUENT 6.2 (2d, segregated, ske)

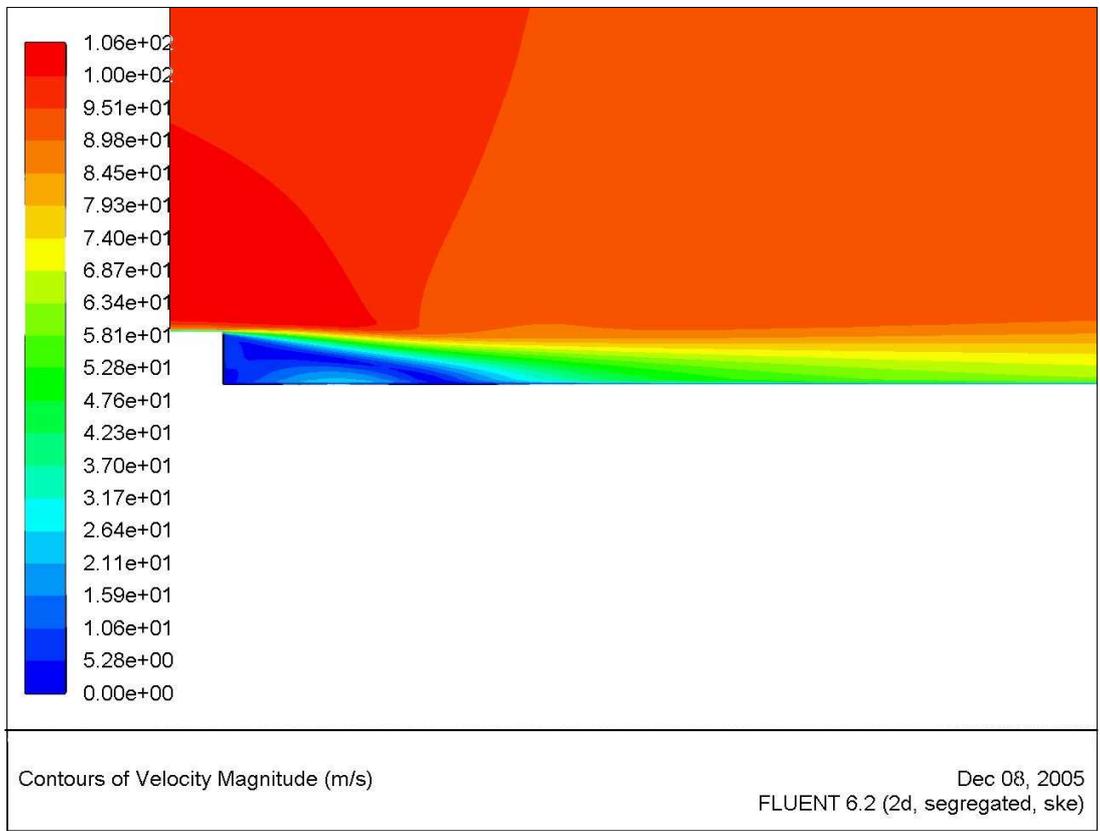
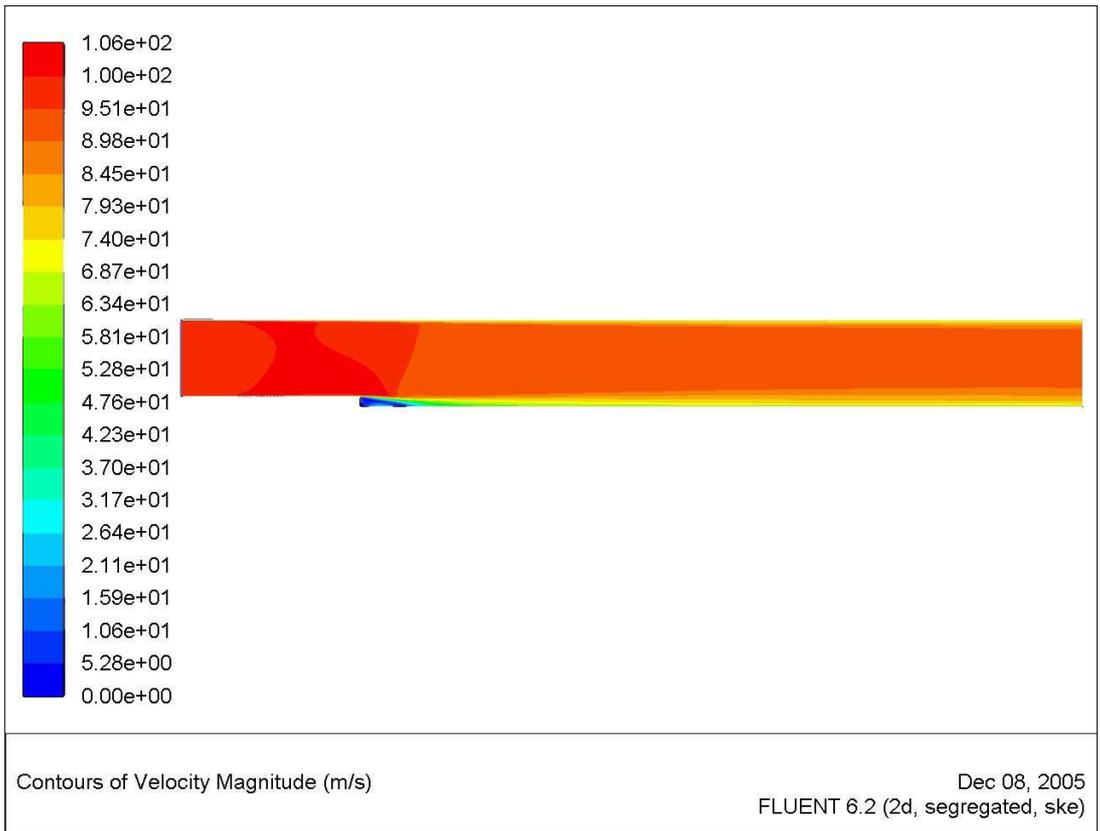


Contours of Velocity Magnitude (m/s) Dec 08, 2005
FLUENT 6.2 (2d, segregated, ske)

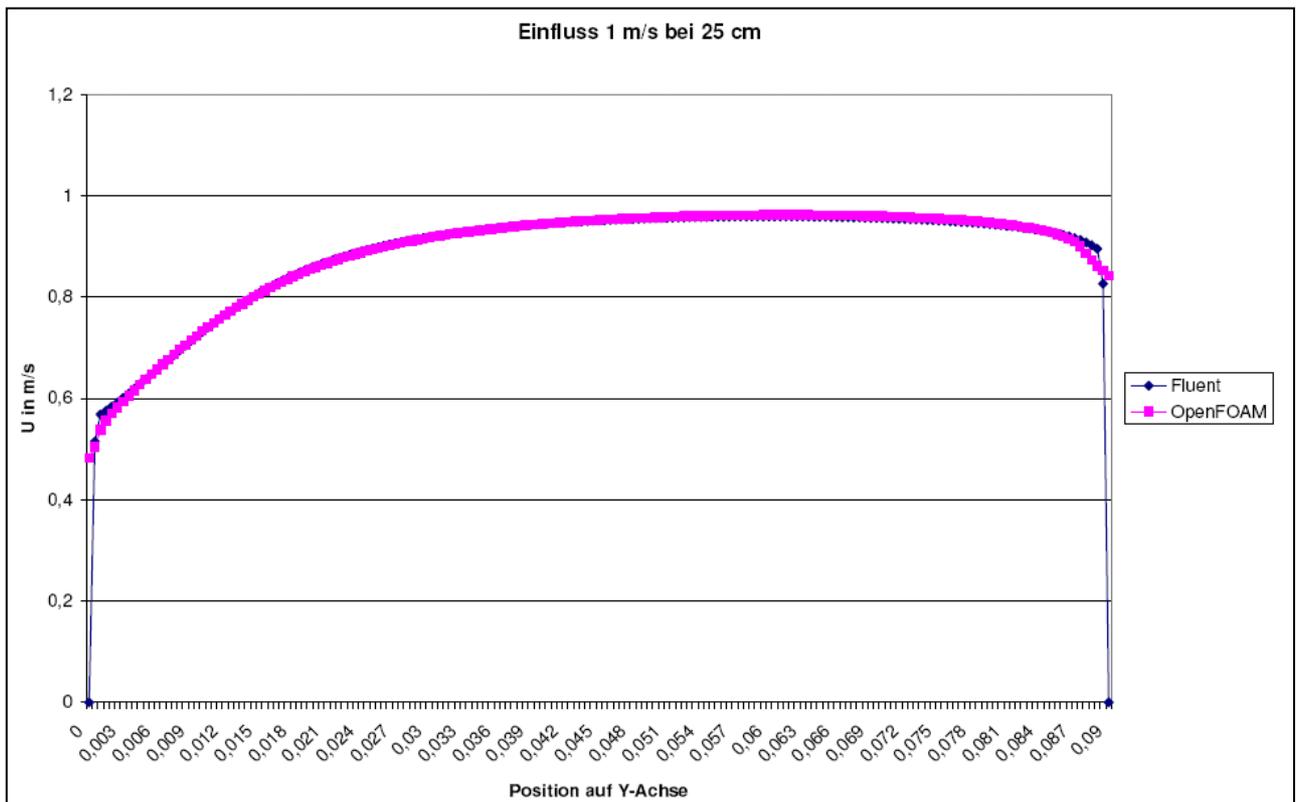
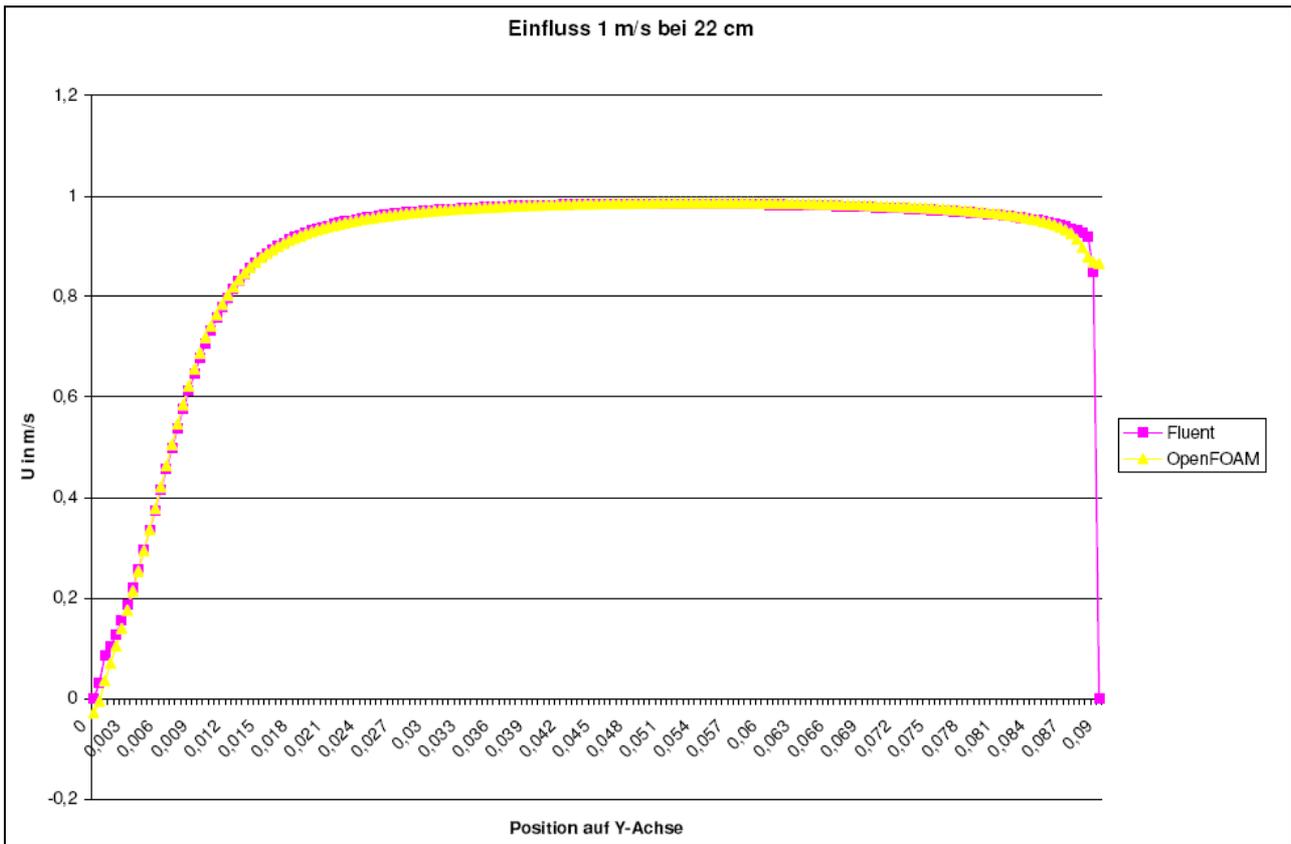
Fall II:

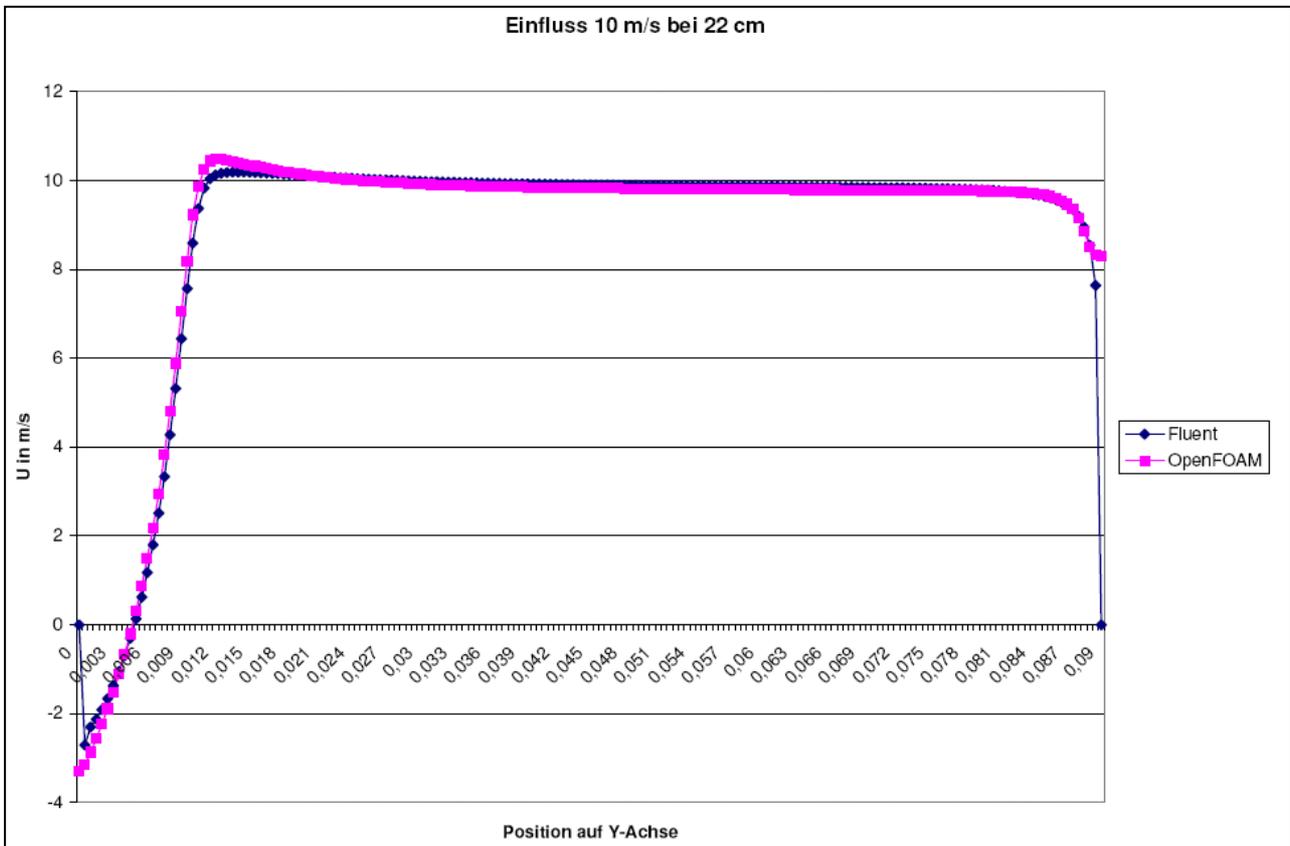
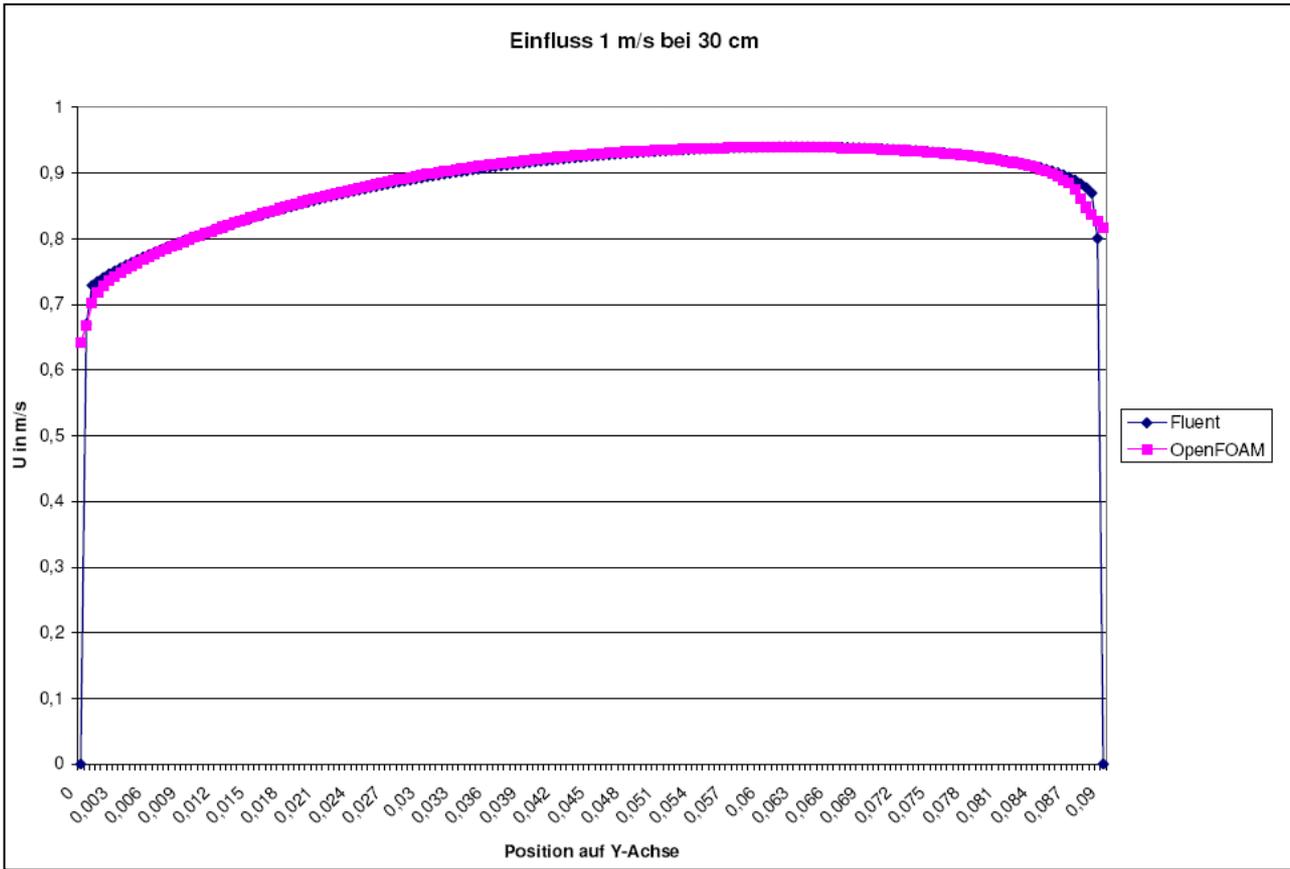


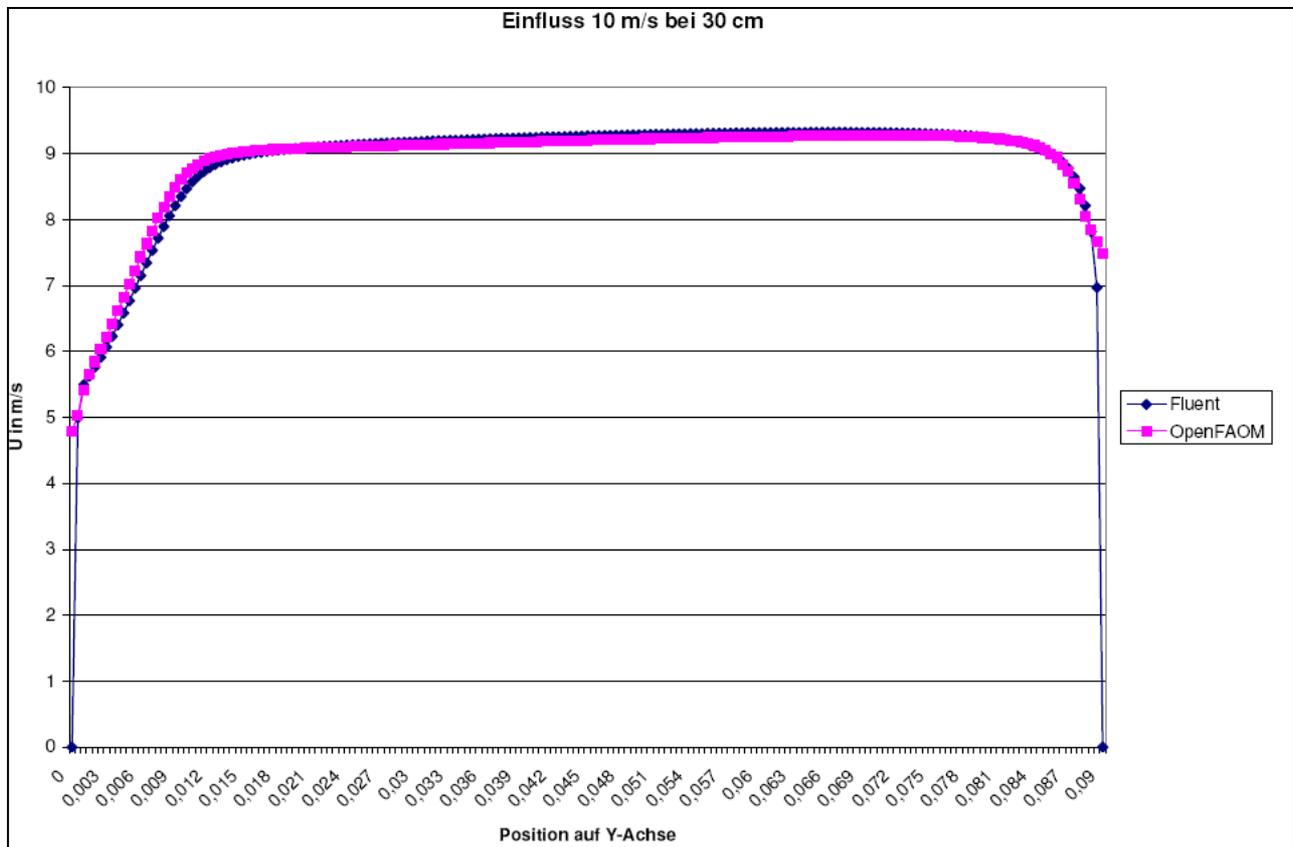
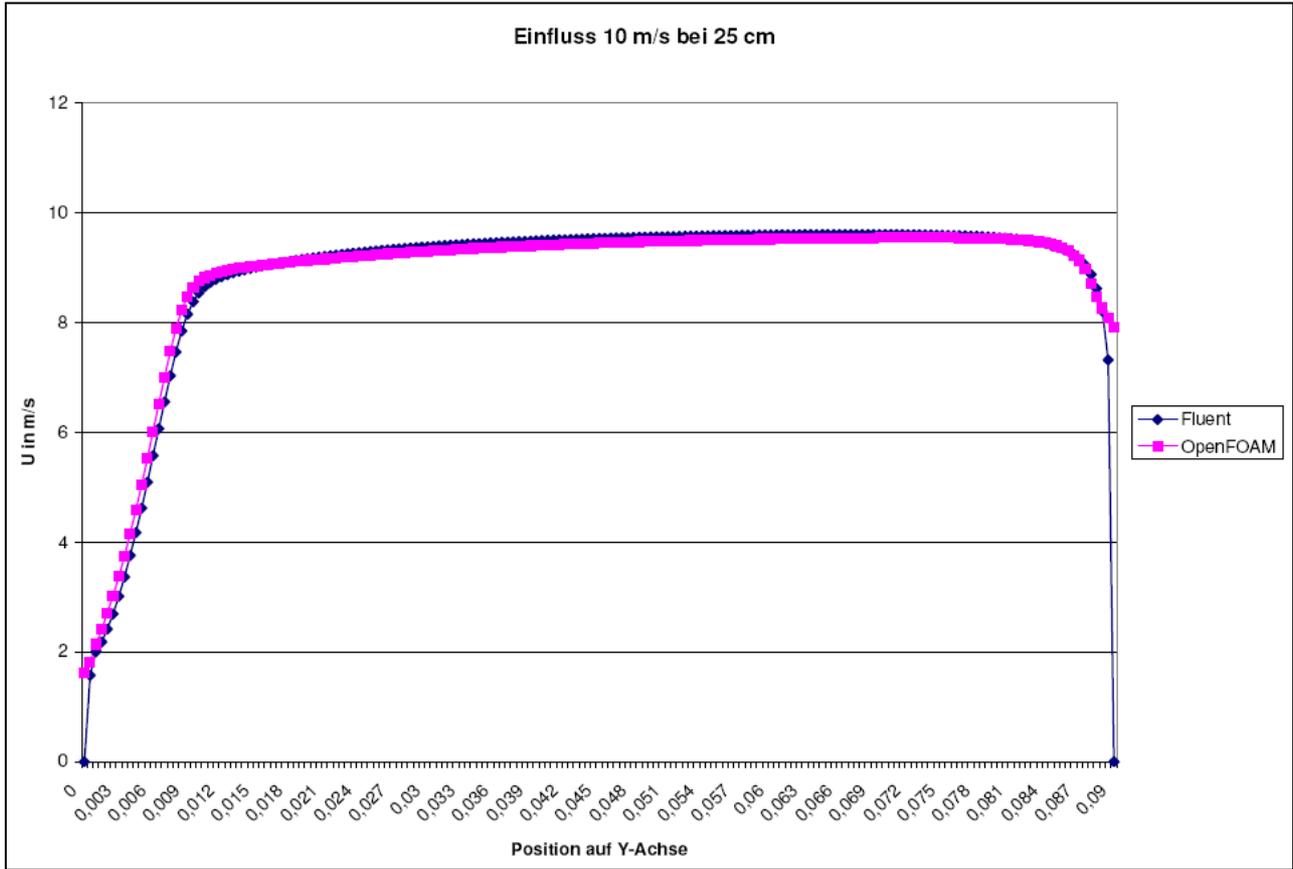
Fall III:

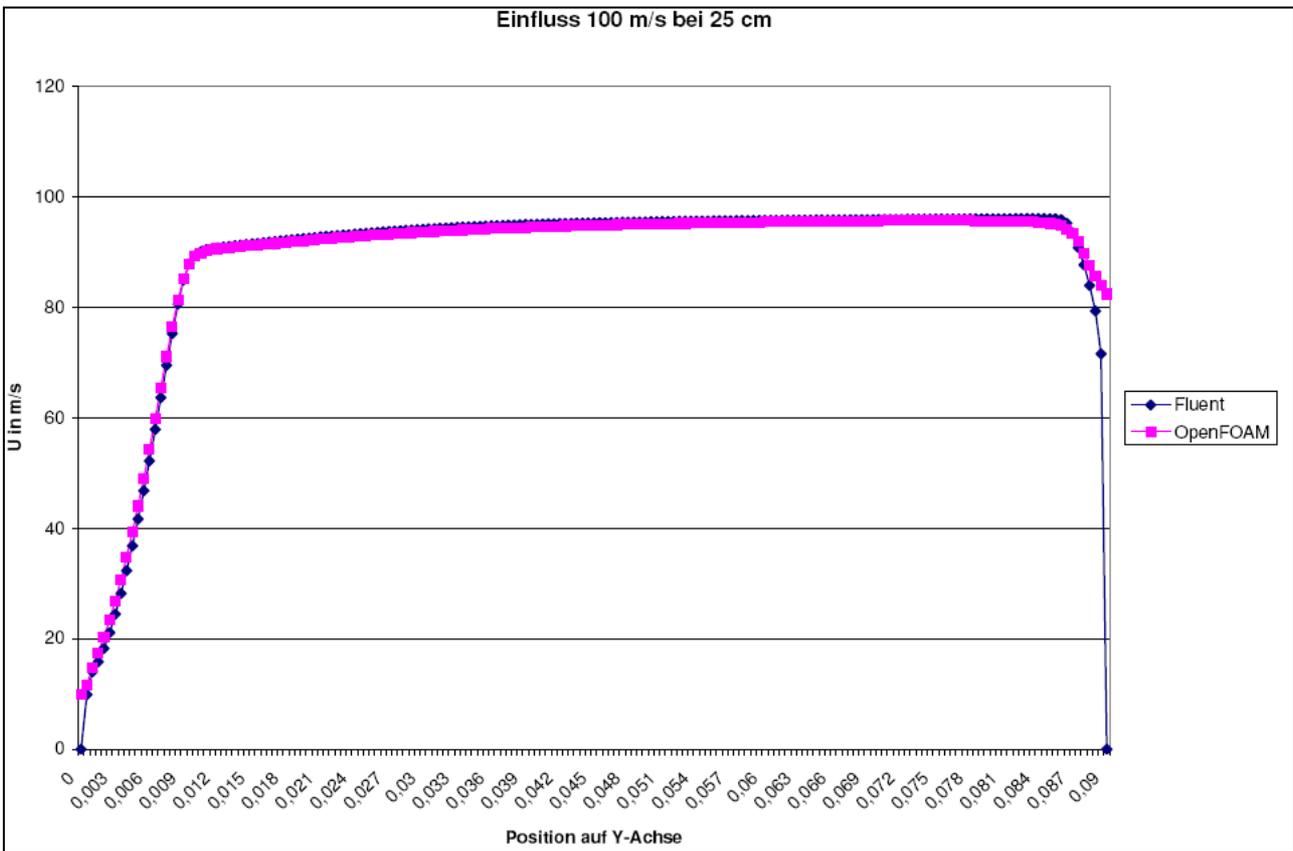
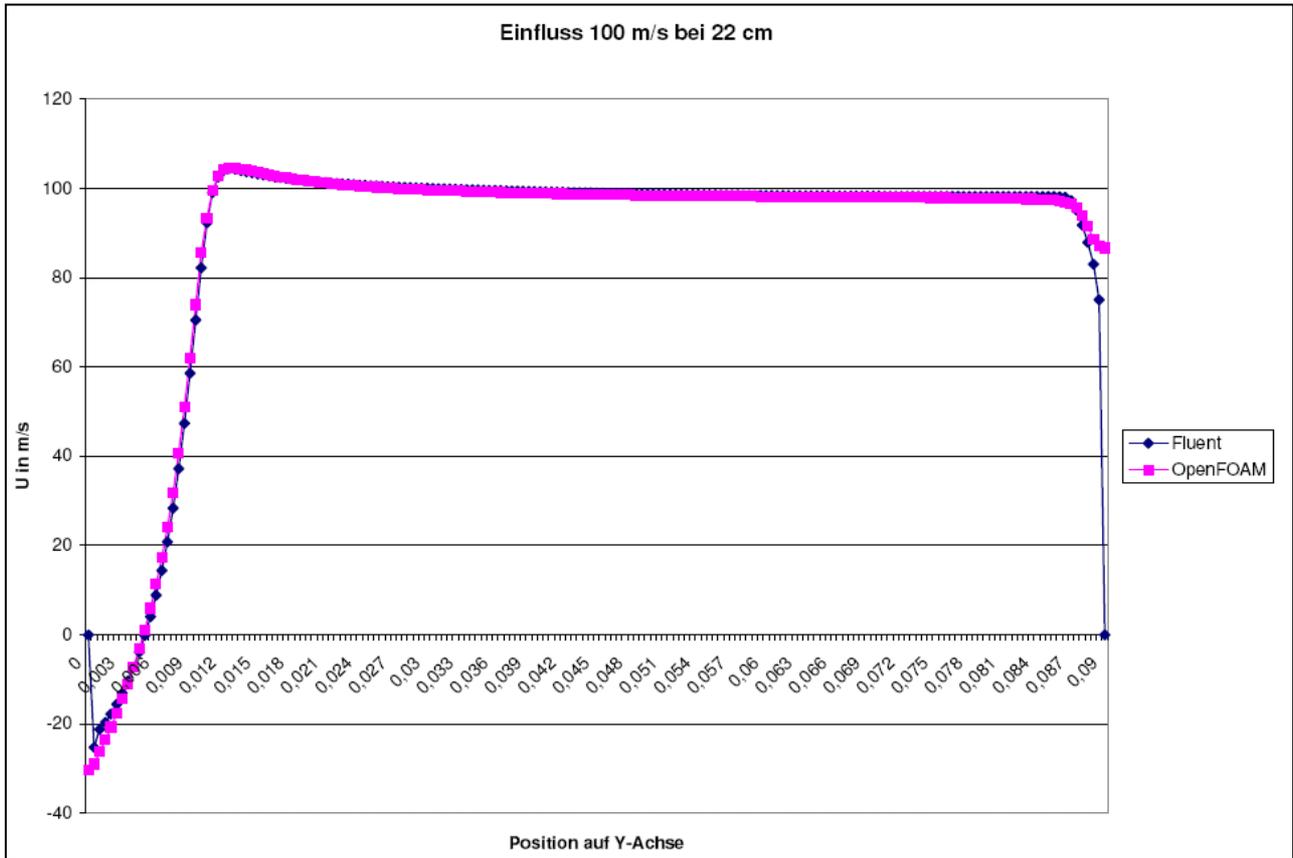


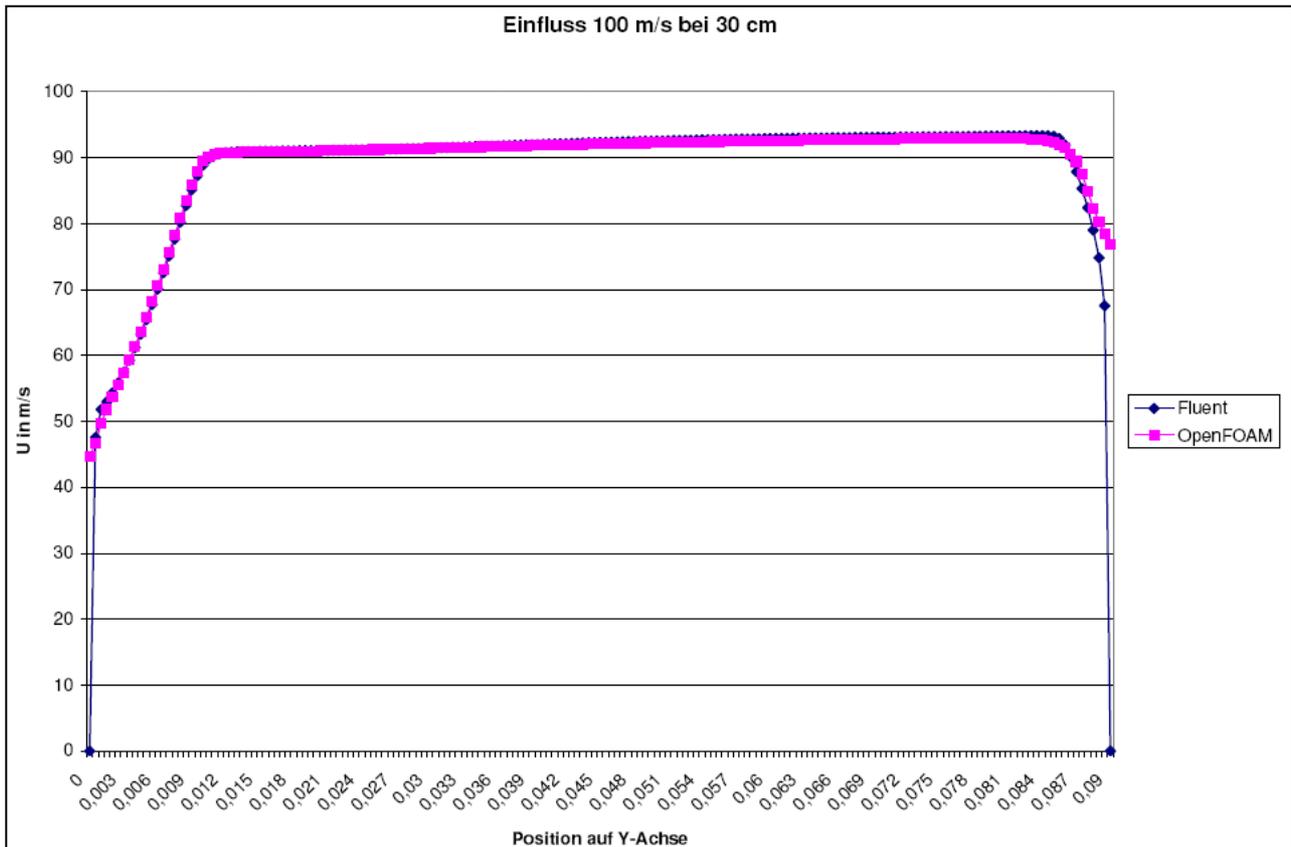
Vergleich der Ergebnisse von Fluent und FoamX im Diagramm











Die neun aufgelisteten Diagramme sind Geschwindigkeitsmessungen des Fluids bei den Positionen 22, 25 und 30 cm in Strömungsrichtung bei den drei Einflussgeschwindigkeiten. Der Abstand von der Rückspringenden Stufe zu den Messebenen beträgt damit 2, 5 und 10 cm. Die x-Achse steht für die Position auf der Y-Achse im Rohr und auf der y-Achse liest man die dazugehörige Geschwindigkeit in m/s ab. Die Messergebnisse von Fluent und OpenFOAM sind leicht zu vergleichen und mit der Legende identifizierbar.

Ergebnis des Vergleichs

Anhand des oben aufgeführten Vergleichs ist zu erkennen, dass zwischen den Ergebnissen von OpenFOAM und Fluent nur geringe Abweichungen vorhanden sind. In den Randbereichen gibt es größere Differenzen, Fluent geht von keiner Geschwindigkeit unmittelbar an den Wänden aus, wohingegen OpenFOAM hier noch eine größer null anzeigt. Die Ursache des Problems liegt vielleicht in einer nicht identischen Messpunktdefinition, der Unterschied ist aber vernachlässigbar klein.

OpenFOAM kann durchaus mit Fluent, dem kommerziellen Programm mithalten, bietet darüber hinaus auch noch die Möglichkeit eigene Formeln für die Strömungsberechnung mit einfließen zu lassen und eine mitgelieferte Beispielsammlung.

Quellenangabe

OpenFOAM und User's Guide:

<http://www.opencfd.co.uk/openfoam/>

NetGen für die Netzgenerierung:

<http://openfoam.cfd-online.com/forum/messages/1/188.html?1123517565>

<http://www.hpfem.jku.at/netgen/index.html?/netgen/download.html>

Anleitung für NetGen:

<http://www.computersim.fh-dortmund.de/index.php?id=49>

http://villacamozzi.marionegri.it/~luca/vmtk/doku.php?id=vmtk:vmtk_tutorials:surface_to_mesh#meshing_with_netgen