

Time-Resolved Stereo-PIV Messungen im Kopfbereich und Nachlauf eines Kreiszyylinderstumpfes.

M. Jensch, M. Brede, F. Hüttmann, A. Leder
O. Frederich¹, E. Wassen¹, F. Thiele¹

Universität Rostock, Lehrstuhl für Strömungsmechanik,
Albert-Einstein-Str. 2, 18051 Rostock

¹ TU Berlin, Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik
Müller-Breslau-Straße 8, 10623 Berlin

Kurzfassung

Im Mittelpunkt der Untersuchung steht die experimentelle Erfassung der instationären Umströmung eines Kreiszyylinderstumpfes mit einem Längen- Durchmesser Verhältnis ($L/D=2$) von zwei, welcher einseitig durch eine Endscheibe begrenzt ist. Die Umströmung wird mit Hilfe der zeitlich hochauflösenden Stereo-Particle Image Velocimetry untersucht. Darüber hinaus wurden an der TU Berlin numerische Simulationen dieser Konfiguration durchgeführt.

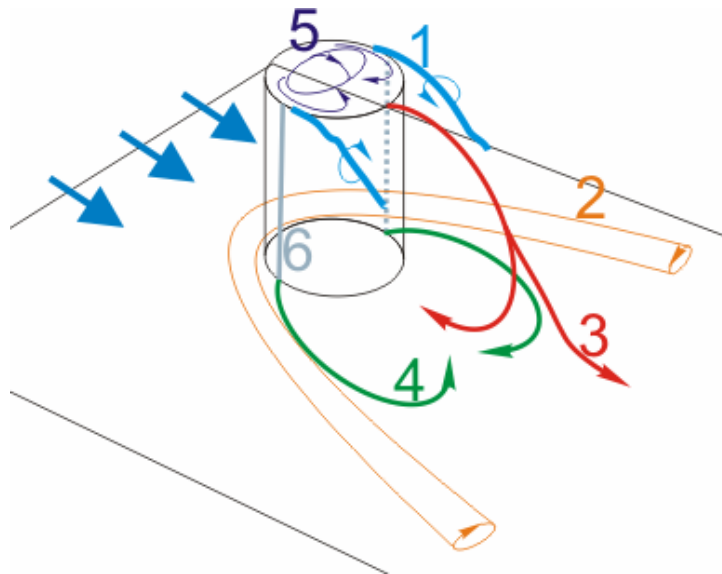
Ziel ist es, im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1147 „Bildgebende Messverfahren“, das Geschwindigkeitsfeld im Nachlauf eines quer angeströmten Kreiszyylinderstumpfes zeitlich- und räumlich hochauflösend zu vermessen. Die so gewonnenen Daten sollen mit LDA Messergebnissen verglichen werden und als Basis für die Evaluation neu entwickelter numerischer und experimenteller Verfahren dienen. Erste Ergebnisse und ein quantitativer Vergleich sollen hier vorgestellt werden.

Einleitung

Die instationäre Umströmung von stumpfen Körpern im Bereich der Transition ist äußerst komplex und weitestgehend unverstanden. Grund hierfür ist die Überlagerung diverser, hochgradig instationärer Strömungsphänomene. Strömungstechnische Probleme an stumpfen Körpern sind in verschiedenen Bereichen von Wissenschaft und Technik, sowie im Bauwesen zu finden. Diverse Publikationen (Leder et. al. 2003, Kappler 2002, Oschatz et. al. 2002, Pattenden et. al. 2005, Richter et. al. 2005, Richter 2005) beschäftigen sich mit diesem Thema und geben für den Fall der stationären Umströmung eines Zylinders mit kleinem Streckungsverhältnis ein Wirbelmodell an. Im Wesentlichen sind sechs dominante Phänomene für den zeitlich gemittelten Fall identifiziert, wie in Abb. 1 schematisch veranschaulicht.

Gegenstand der Untersuchung ist die Umströmung eines einseitig begrenzten Kreiszyylinderstumpfes, mit einem Streckungsverhältnis L/D von zwei Durchmessern. Hierfür steht die zeitlich hochauflösende Stereo-Particle Image Velocimetry zur Verfügung. Parallel dazu wird an der TU Berlin diese Konfiguration mit Hilfe der Grobstruktursimulation (LES) numerisch untersucht.

Globales Ziel des von der DFG geförderten Forschungsprojektes ist es, das Verständnis bezüglich der Umströmung stumpfer Körper durch bildgebende Messverfahren auf den instationären Fall zu erweitern.



1. seitlich ablösende Wirbel im Kopfbereich des Zylinders
2. Hufeisenwirbel im endscheiben-nahen Bereich
3. Wirbel aufgrund der Umströmung des freien Endes und ein Wiederanlegen an die Endscheibe
4. Wirbelpaarbildung aus der Interaktion der vom Zylindermantel ablösenden freien Scherschichten
5. Ablöseblase am freien Zylinderende
6. seitliche Ablöselinie

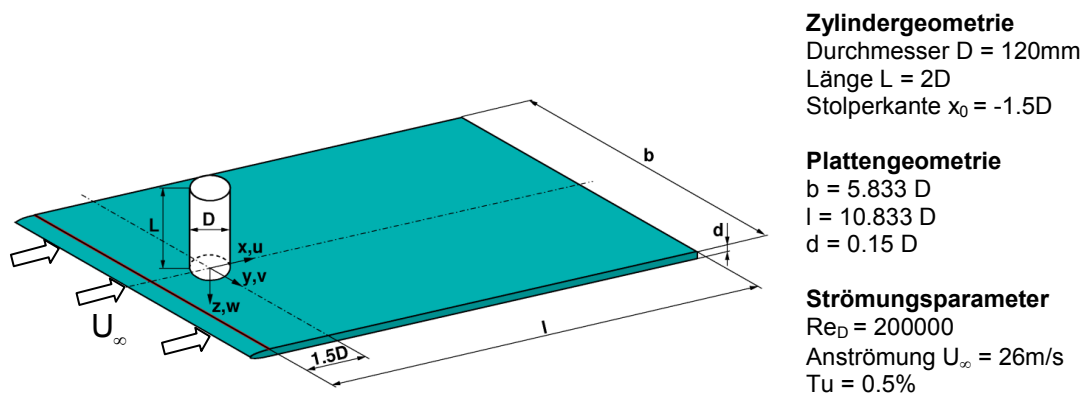
Abb. 1: Topologisches Wirbelmodell der stationären Zylinderumströmung

1 Versuchsaufbau

Zentrales Element des in Abb. 2 dargestellten Versuchsaufbau ist ein Zylinderstumpf mit einem Durchmesser von 0.12m und einer Höhe von 0.24m. Die als Randbedingung gewählte Anströmgeschwindigkeit von 26m/s entspricht einer auf den Zylinderdurchmesser bezogenen Reynoldszahl von 200000. Somit befindet sich die anliegende Zylindergrenzschicht im Bereich der Transition, was sich auf die Lage der Ablöselinie auswirkt. Ein an der profilierten Plattenvorderkante angebrachter Draht fixiert den laminar- turbulente Umschlagspunkt der Plattengrenzschicht. Die beschriebene Konfiguration wird in einem Windkanal Göttinger Bauart mit Hilfe von Laser Doppler Anemometrie (LDA) und der zeitlich hochauflösenden Stereo-Particle Image Velocimetry (TR-PIV) untersucht.

2 Messsystem

Das für die experimentelle Arbeit verwendete Stereo TR-PIV System wurde bereits (Jensch et al. 2006) vorgestellt. Es besteht aus einem frequenzverdoppelten, diodengepumpten Nd-YAG Laser mit zwei Resonatorstrecken. Bei der für die Messung verwendeten Wiederholrate von 1000Hz wird eine Pulsleistung von 16mJ er-



Zylindergeometrie

Durchmesser $D = 120\text{mm}$
 Länge $L = 2D$
 Stolperkante $x_0 = -1.5D$

Plattengeometrie

$b = 5.833 D$
 $l = 10.833 D$
 $d = 0.15 D$

Strömungsparameter

$Re_D = 200000$
 Anströmung $U_\infty = 26\text{m/s}$
 $Tu = 0.5\%$

Abb. 2: Skizze Versuchsaufbau

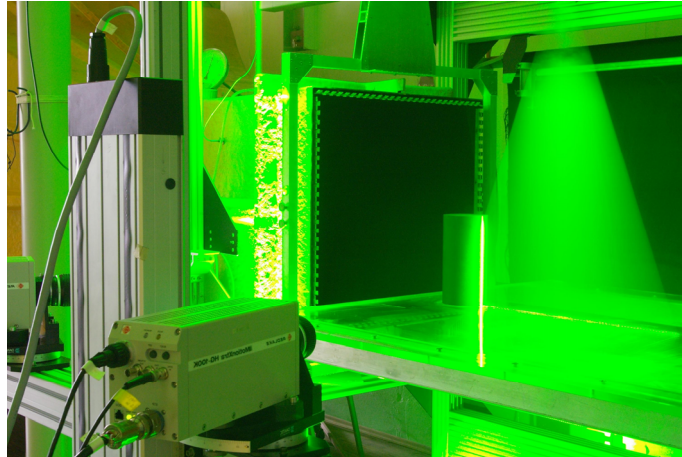


Abb. 3: Experimenteller Aufbau

reicht. Die zweite Komponente des Messsystems bilden zwei Hochgeschwindigkeits-CMOS Kameras, welche bei einer Bildfolgefrequenz von 2000fps eine Auflösung von 1024 x 768 Pixel erreichen.

Der zu einem Lichtschnitt aufgeweitet Laserstrahl wird derart geführt, dass Messungen vertikaler Ebenen im Bereich des freien Zylinderendes und des Nachlaufs möglich sind. In Abb. 3 ist der experimentelle Aufbau veranschaulicht.

Durchgeführt wurden die Messungen bei einer effektiven Messfrequenz von 1kHz. Für die Auswertung wird eine adaptive Korrelation mit Subpixel-Abtastung verwendet. Die Größe der Abtastflecken beträgt 32 x 32 Pixel mit einer Überlappung von 50%. Bei einer ausgewerteten Messfeldgröße von 240mm x 180mm wird eine räumliche Auflösung von bis zu 6mm erreicht.

3 Ergebnisse

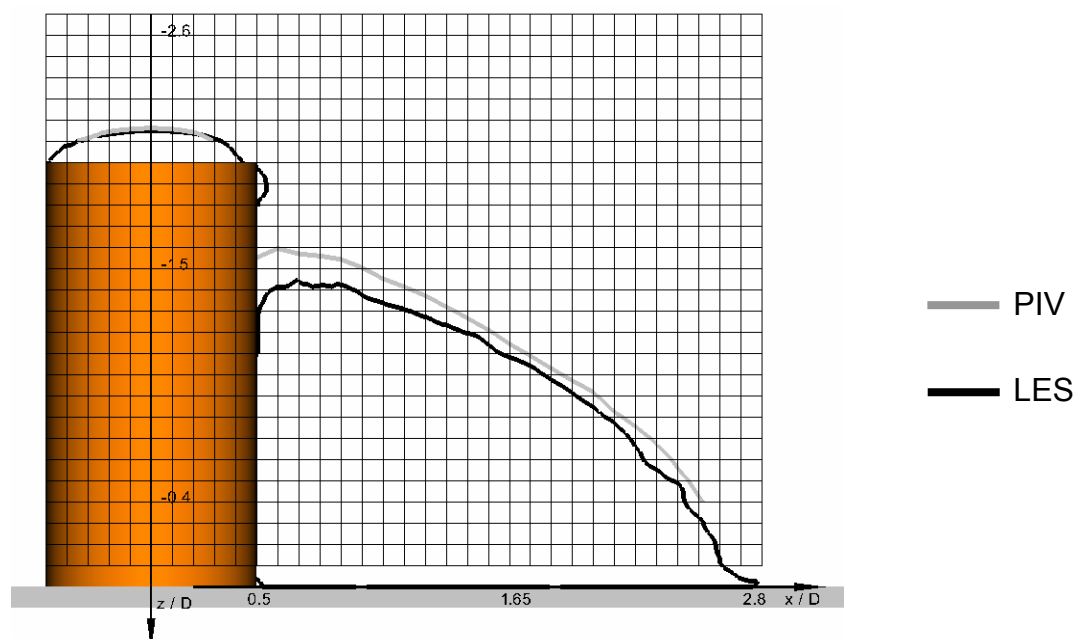


Abb. 4: Vergleich der Grenze des Rückstromgebietes und der Ablöseblase ($\bar{u}/U_\infty = 0.0$) in der Symmetrieebene

19.4

Die hier vorgestellten numerischen Ergebnisse der Grobstruktursimulation wurden von den Kooperationspartnern am Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik der TU Berlin ermittelt. Abb. 4 und Abb. 5 stellen einen quantitativen Vergleich zwischen Numerik und Experiment dar. In Abb. 4 wird die Grenze des Rückströmgebietes beziehungsweise der Ablöseblase der Symmetrieebene verglichen. Die Isotache der Geschwindigkeitskomponente in Hauptströmungsrichtung $\bar{u} / U_\infty = 0.0$ definiert diese Grenze. Es zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Experiment und Numerik im Bereich der Ablöseblase.

In Abb. 5 sind Profile der mittleren Geschwindigkeiten und statistische Momente 2. Ordnung über x bei konstantem $y / D = -0.3$, $z / D = -2.1$ dargestellt. Die mittleren Geschwindigkeiten zeigen generell eine gute Übereinstimmung numerischer und experimenteller Daten. Geringe Abweichungen ergeben sich lediglich für die mit LDA ermittelten Ergebnisse der Geschwindigkeitskomponente in Hauptströmungsrichtung \bar{u} / U_∞ . Ein Vergleich der Autokorrelationen der Schwankungsgrößen zeigt eine

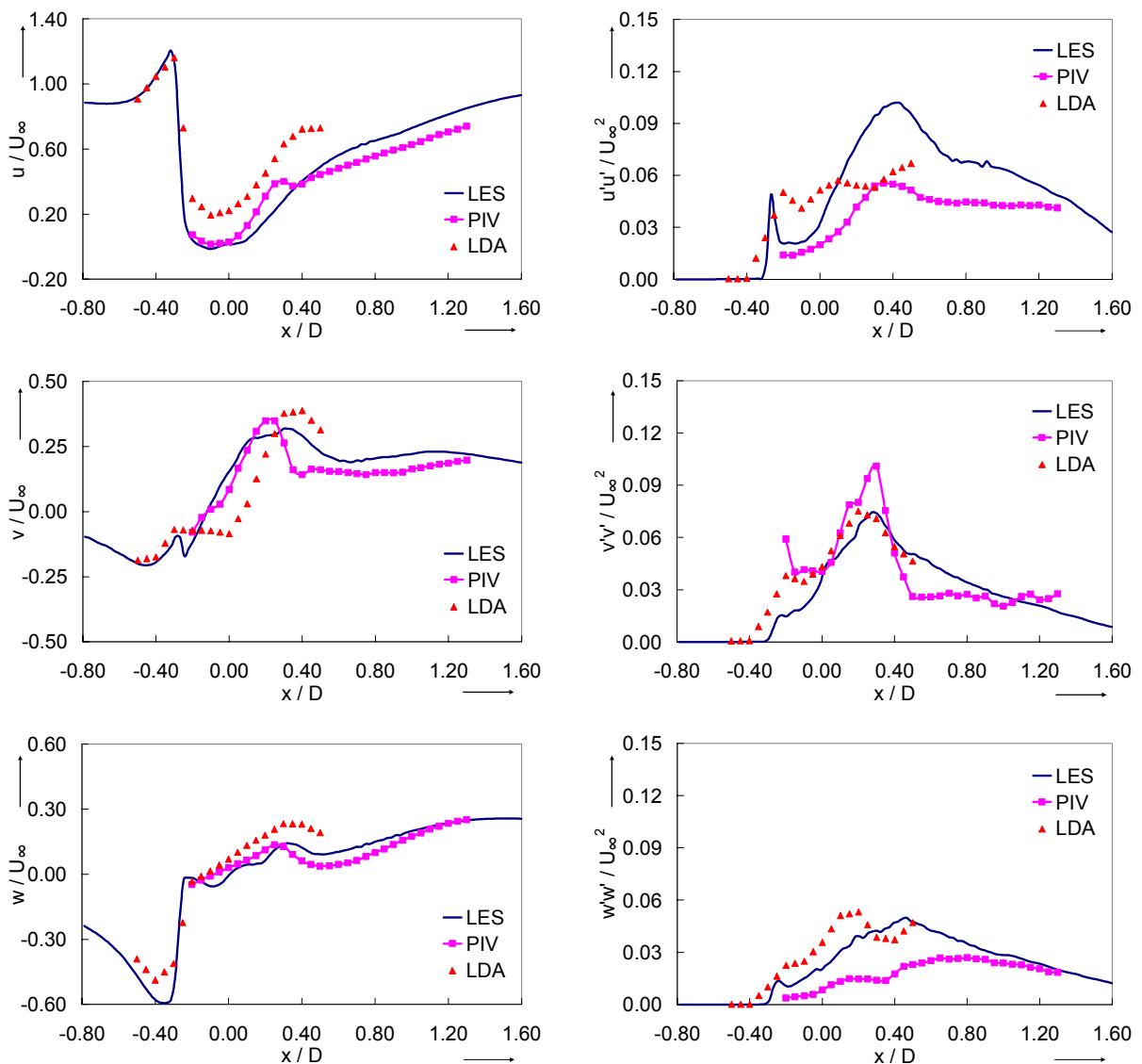


Abb. 5: Quantitativer Vergleich der gemessenen mittleren Größen mit numerischen Ergebnissen bei konstantem $y / D = -0.3$ und $z / D = -2.1$

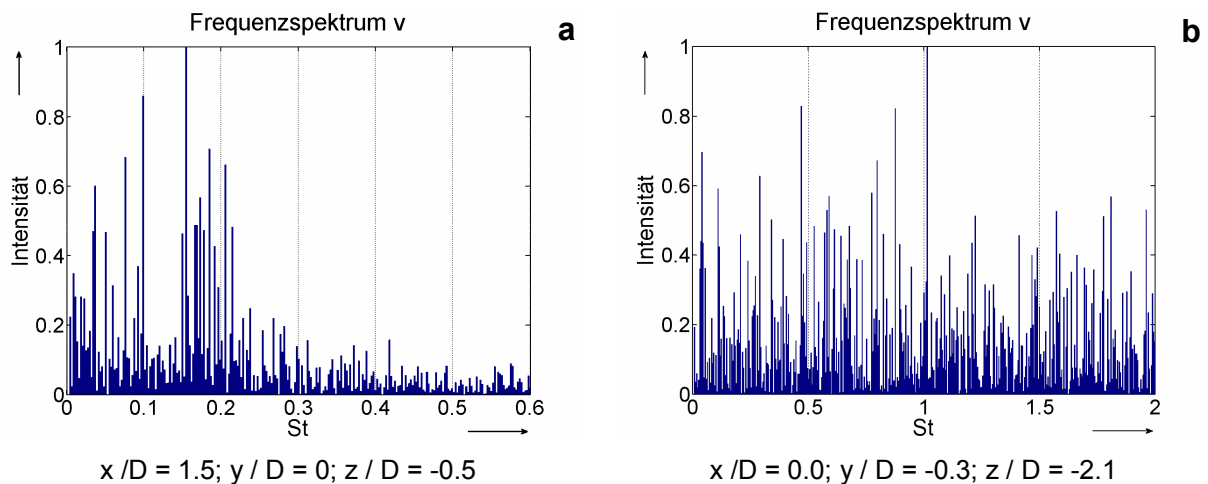


Abb. 6: Normiertes Frequenzspektrum an einem ausgewählten Punkt im Nachlauf

Differenz bezüglich der Maxima von $u'u'$ und $w'w'$ auf. Der Verlauf der numerischen Ergebnisse repräsentiert dennoch gut das Experiment. Als Ursache für die Abweichungen kann angeführt werden, dass bei der Kreuzkorrelation über die Fläche eines Abtastfleckes gemittelt wird und so die kleinskalige Turbulenz nicht ausreichend in das gemessene Vektorfeld eingeht.

Frederich et. al. (2006) vergleichen die mittleren Geschwindigkeiten und Normalspannungen im Nachlauf des Zylinders. Der Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten zeigte dieselbe gute Übereinstimmung wie der Vergleich im Kopfbereich des Zylinders. Bezüglich der Normalspannung im Nachlauf des Zylinders konnte eine signifikant bessere Übereinstimmung zwischen LES und PIV festgestellt werden.

In Abb. 6 sind Frequenzspektren der Geschwindigkeitskomponente senkrecht zur Messebene an ausgewählten Punkten dargestellt. Abb. 6.a repräsentiert das Spektrum eines Punktes im Nachlauf und Abb. 6.b im Bereich der Ablöseblase des freien Zylinderendes. Dargestellt ist die auf das Maximum normierte Amplitude über der Strouhalzahl. Der im Nachlauf ermittelte Peak bei $St=0.16$ ist im Bereich des freien Zylinderendes nicht zu detektieren. Dort dominieren breitbandige Prozesse. Die für den unendlich langen Zylinder über weite Bereiche der Reynoldszahl angegebene Strouhalzahl von 0.2 kann nicht als dominierend identifiziert werden. Dies

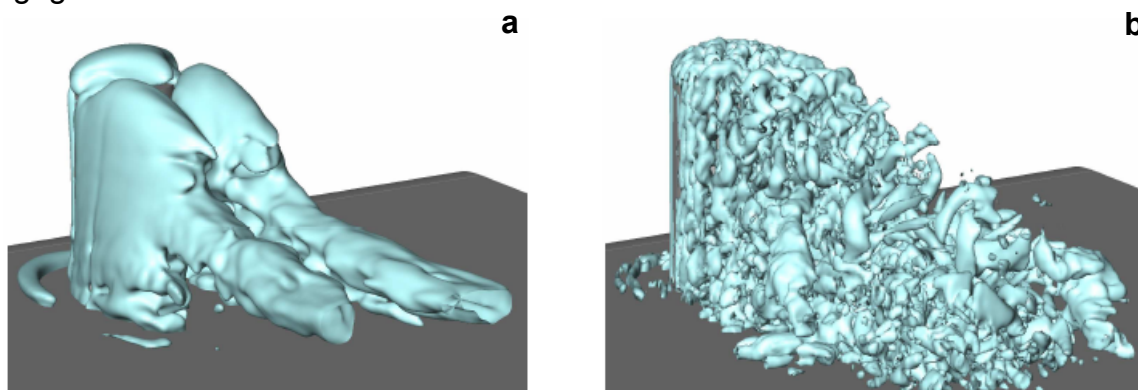


Abb. 7: λ_2 Isoflächenplot eines zeitlich gemittelten (a) und instantanen (b) Geschwindigkeitsfeldes. Ergebnisse der Grobstruktursimulation (Bild Frederich et. al. 2007)

19.6

liegt in der hochgradig dreidimensionalen und instationären Strömungstopologie begründet, was Abb. 7.b veranschaulicht. Abb. 7 vergleicht den zeitlich gemittelten Zustand (a) mit dem instantanen (b) aus Daten der Grobstruktursimulation. Dargestellt ist das λ_2 -Wirbelkriterium als Isofläche. Die Abbildung 7.b verdeutlicht die Komplexität und die Feinskaligkeit der Strömung.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurden an der beschriebenen Konfiguration eines einseitig begrenzten Zylinderstumpfes zeitlich hochauflösende Stereo-PIV Messungen durchgeführt. Parallel dazu wurde an der TU Berlin diese Umströmung numerisch simuliert. Ein Vergleich von Experiment und Numerik zeigt eine gute Übereinstimmung der zeitlich gemittelten Größen. Auch die gemittelten Normalspannungswerte werden durch die Numerik gut bestimmt. Die ermittelten Frequenzspektren sind von der Position abhängig und im Bereich der frei umströmten Zylinderkappe sehr breitbandig.

Geplant ist eine zeitlich- und räumlich hochauflösende Vermessung des gesamten Strömungsfeldes und der Einsatz eines Phasentriggers. Mit Hilfe der Karhunen Loève Zerlegung sollen dominanten Strukturen aus dem Zylindernachlauf extrahiert werden, um so den komplexen instationären Strömungszustand verständlicher zu machen.

Dank

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Projektförderung im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1147 „Bildgebende Messverfahren für die Strömungsmesstechnik“.

Literatur

- Frederich, O., Wassen, E., Thiele, F. 2006 Prediction of the flow around a short wall-mounted finite cylinder using LES and DES. ICNAAM 2006, WILEY-VCH, pp. 131-134,
- Frederich, O., Wassen, E., Thiele, F., Jensch, M., Brede, M., Hüttmann, F., Leder, A. 2007 Numerical simulation of the flow around a finite cylinder with ground plate in comparison to experimental measurements. Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design Vol. 96, Springer, Berlin, Heidelberg, New York
- Leder, A. 1992 Abgelöste Strömungen, Physikalische Grundlagen. Vieweg Verlag, Braunschweig, Wiesbaden.
- Leder, A., Richter, F., Brede, M. 2003 Aerodynamische Untersuchungen an zwei Zylinderstümpfen unterschiedlicher Kopfgeometrie. Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik - 11. Fachtagung der GALA e.V., PTB Braunschweig, S. 15.1-15.8
- Jensch, M., Brede, M., Richter, F., Leder, A. 2006 Verwendung des Time-Resolved Stereo-PIV Messsystems zur Ermittlung zeitaufgelöster Geschwindigkeitsfelder im Nachlauf eines Kreiszyllinders. Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik - 14. Fachtagung der GALA e.V., PTB Braunschweig, S. 39.1-39.8

- Kappler, M. 2002 Experimentelle Untersuchung der Umströmung von Kreiszyylinder mit ausgeprägt dreidimensionalen Effekten. Dissertation, Universität Karlsruhe
- Oschatz, L.-G.; Richter, F; Leder A.; 2002: 3D-Laser-Dopplermessungen im Kopf- und Fußbereich eines Zylinderstumpfes. Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik - 10. Fachtagung der GALA e.V., Universität Rostock, S. 24.1-24.6
- Pattenden, R. J., Turnock, S. R., Zhang, X. 2005 Measurement of the flow over a low-aspect-ratio cylinder mounted on a ground plate. Experiments in Fluids, Vol.39, pp. 10-21
- Richter, F., Leder, A., 2005 Wirbelstrukturen und Kraftwirkungen am Kreiszyylinder in Scherströmungen. Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik - 13. Fachtagung der GALA e.V., Cottbus, S. 23.1-23.8
- Richter, F. 2005 Experimentelle Untersuchungen zur Charakterisierung der Strömungs- und Wirbelstrukturen im Nachlauf eines Kreiszyylinderstumpfes unter Berücksichtigung des Einflusses der Zentrifugalbeschleunigung. Dissertation, Universität Rostock