



## Doctoral Thesis

# Untersuchung der instationären Strömung eines beschaufelten Radialverdichterdiffusors mit einem Laser-Doppler-Anemometer

**Author(s):**

Stahlecker, Dirk

**Publication Date:**

1999

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-003840599> →

**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 Nr. 13228

Untersuchung der instationären Strömung eines  
beschaufelten Radialverdichterdiffusors mit einem  
Laser-Doppler-Anemometer

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels  
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von

Dirk Stahlecker  
Dipl.-Ing. (RWTH Aachen)  
geboren am 6. Mai 1966  
Deutscher Staatsangehöriger

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. G. Gyarmathy, Referent  
Prof. Dr. Th. Rösgen, Korreferent

Zürich 1999

## Kurzfassung

In dieser experimentellen Arbeit wird die instationäre dreidimensionale Strömung in einem beschauften Radialverdichterdiffusor mit einem Laser-Doppler-Anemometer (LDA) untersucht. Durch die Analyse der umfangreichen Messungen im hochsubsonisch betriebenen Versuchsverdichter wird ein Beitrag zum besseren Verständnis der komplexen Strömungsvorgänge im beschauften Diffusor geleistet. Die Dissertation trägt gleichzeitig durch ausführliche zwei- und dreidimensionale LDA Messungen zum Ausbau der bestehenden experimentellen Datenbasis bei.

Um unter den schwierigen Randbedingungen in einem engen (16.8 mm) Radialverdichterdiffusor LDA Messungen zu ermöglichen, wurde ein kommerziell erhältliches LDA System weiterentwickelt. Die Weiterentwicklung betraf Maßnahmen zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses der LDA Rohdaten. Zusätzlich wurde eine neue effektive und transparente LDA Datenerfassung und -verarbeitung eingesetzt.

In einer weiteren Ausbauphase wurde das Meßsystem auf der Erfassungs- und Auswerteseite erweitert, um als Neuerung Messungen in *instabilen* Betriebspunkten mit Mild-Surge und Rotating Stall durchführen und die Ergebnisse analysieren zu können.

Messungen im *stabilen* Kennfeldbereich wurden im Sollbetriebspunkt und in Teillastbetriebspunkten bei verschiedenen Umfangsmachzahlen durchgeführt. Gemessen wurde die Laufradabströmung und die Strömung entlang einer Diffusormittellinie. Flächige Messungen wurden in mehreren achsnormalen und achsparallelen Schnittebenen durchgeführt. Die Strömung wird in der zeitgemittelten und zeitveränderlichen Darstellung analysiert. Dazu wurden die LDA Messdaten phasengemittelt und für die zeitgemittelte Darstellung anschliessend arithmetisch gemittelt.

Die für Radialverdichterlaufräder typische Jet/Wake Struktur wird bestätigt. Die durch den Wake verursachten verlustbehafteten und zeitveränderlichen Ausmischvorgänge werden dargestellt. Der Ausmischvorgang ist bis zum engsten Querschnitt größtenteils abgeschlossen. Die Flächenmessungen, unter anderem im engsten Querschnitt, zeigen einen deutlichen Sekundärströmungswirbel.

Im *instabilen* Kennfeldbereich wurden Messungen bei Rotating Stall und Mild-Surge durchgeführt. Die Daten wurden durch ein Multiple-Conditional Sampling ausgewertet und anschließend interpretiert.

Im Rotating Stall werden zwei grundsätzlich verschiedene Strömungszustände, eine Zellenströmung mit leichter Rückströmung aus dem Diffusor in das Laufrad und eine gesunde Strömung im Restquerschnitt, unterschieden. Während des Rotating Stalls gelang durch die punktuellen LDA Messungen die Erfassung und zeitaufgelöste Darstellung des Kanalwirbels im hinteren Diffusorbereich.

Im Mild-Surge ist an Hand der Geschwindigkeitsprofile die harmonische Volumenstrompulsation zu erkennen, die bei niedriger Umfangsmachzahl von  $M_u=0.4$  zu Rückströmungen in das Laufrad führt.

Bestandteil dieser Dissertation sind QuickTime Animationen der zeitveränderlichen Diffusorströmung, die einen verständlichen Einblick in die instationäre dreidimensionale Strömung in einem beschauften Radialverdichterdiffusor geben. Die Animationen stehen auf CD-ROM bzw. zum Download ([www.lsm.ethz.ch](http://www.lsm.ethz.ch)) zur Verfügung.

## Abstract

This Ph.D. thesis deals with the experimental investigation of the unsteady three dimensional flow in a centrifugal compressor vaned diffuser by means of the LDV (Laser-Doppler-Velocimeter) measurement technique. By the analysis of extensive measurements carried out in the high subsonic flow regime of the experimental compressor a contribution to a better insight view and understanding of the complex flow in the vaned diffuser is accomplished. Additionally, the performed two and three dimensional LDV measurements complete and extend the existing experimental data base of centrifugal compressor flow.

In order to perform LDV measurements under the difficult conditions in a narrow channel width diffuser (16.8 mm), it has been essential to adapt a commercially available LDV system. These adaptations implied improvements of the signal-to-noise ratio of the raw LDV bursts. Additionally a new sophisticated and transparent data acquisition and processing methodology was established. In a further development phase, the LDV measurement system was extended in order to perform measurements and analysis in *unstable* operating points with Rotating Stall and Mild-Surge.

Measurements in *stable* operating points have been performed at the best point and at part load with different circumferential Mach numbers. The impeller exit flow and the flow along the diffuser midline has been measured. Area measurements have been done in several planes parallel and normal to the impeller axis. The time averaged and time resolved flow has been analysed. Hence LDV data has been phase averaged and in the case of time averaged analysis the data was averaged afterwards arithmetically. The typical Jet/Wake structure of centrifugal compressor impeller flow is confirmed for this impeller. The time resolved viscous wake mixing is presented. The wake mixing is completed mainly behind the diffuser throat. Area measurements in the diffuser throat show already the presence of a secondary flow vortex.

At *unstable* operating points measurements have been performed with Rotating Stall and Mild-Surge. The raw data has been processed with a Multiple-Conditional Sampling data processing method. During Rotating Stall two different flow regions can be distinguished. A cell-flow region with slight backflow from the diffuser into the impeller and a sound-flow region in the remaining impeller exit cross section. With the pointwise measuring LDV system it was possible to capture the channel vortex in the rear part of the diffuser channel during Rotating Stall.

In Mild-Surge the harmonic volume flow fluctuations are shown in the velocity profiles, which results in backflow at the low circumferential Mach number 0.4.

Part of this work are QuickTime animations of the diffuser flow, which give a comprehensive insight into the unsteady three dimensional flow in a vaned centrifugal compressor. The animations are on CD-ROM or may be downloaded from the web ([www.lsm.ethz.ch](http://www.lsm.ethz.ch)).