

Drallgrenzschicht und Strömungsablösung in koaxial rotierenden Diffusoren und Düsen

Ferdinand-Julius Cloos

Band 19



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

 FLUID
SYSTEM
TECHNIK

Forschungsberichte zur Fluidsystemtechnik

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Peter F. Pelz

Forschungsberichte zur Fluidsystemtechnik

Band 19

Ferdinand-Julius Cloos

**Drallgrenzschicht und Strömungsablösung
in coaxial rotierenden Diffusoren und Düsen**

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Aachen 2018

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2018

Copyright Shaker Verlag 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5900-7

ISSN 2194-9565

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Drallgrenzschicht und Strömungsablösung in koaxial rotierenden Diffusoren und Düsen

Ferdinand-Julius Cloos, M. Sc.

Turbomaschinen arbeiten häufig im Teillastbereich bei einer kleinen Durchflusszahl $\varphi := \bar{U}_z / (\tilde{\Omega} \tilde{R}_0) \ll 1$ mit der zeitlich und über den Strömungsquerschnitt der Zuströmung gemittelten axialen Geschwindigkeit $\bar{U}_z$, dem Radius am Eintritt $\tilde{R}_0$ und der Kreisfrequenz $\tilde{\Omega}$. Im Teillastbereich unterliegt die Turbomaschine einer höheren Belastung aufgrund selbst-stimulierter Schwingungen, eventuell vorliegender Kavitation und arbeitet bei einem kleineren Wirkungsgrad als im Design Point. Für $\varphi < \varphi_c$ löst die Strömung an der Wand ab und reduziert den Wirkungsgrad. Die Erforschung der Strömungsablösung und die Entwicklung des Dralls sowie deren Interaktion mit der axialen Grenzschicht ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Dafür wird bisher ein generisches Modell einer Turbomaschine, eine Strömung durch einen rotierenden Kreiszylinder, verwendet. Für eine systematische Annäherung an eine Turbomaschine wird die Funktion einer Kraft- und Arbeitsmaschine berücksichtigt. Die Funktion einer Kraftmaschine (Turbine) ist es, den Druck zu vermindern, was schematisch bei einem Kreiskegel mit einem negativen Öffnungswinkel $\alpha < 0$ (Düse) erfüllt ist. Die Funktion einer Arbeitsmaschine (Pumpe) ist es, den Druck zu erhöhen. Dies ist schematisch bei einem Kreiskegel mit einem positiven Öffnungswinkel $\alpha > 0$ (Diffusor) erfüllt. Folglich wird das bisherige generische Modell erweitert, indem der Rohradius linear abhängig von der axialen Koordinate $\tilde{z}$ ist.

Als Methode wird die Dimensionsanalyse verwendet, um die Parameteranzahl zu reduzieren. Die Strömung wird mit der Integralmethode der Grenzschichttheorie axiomatisch beschrieben und die Grenzschichtlösung wird mit durchgeführten Experimenten validiert. Hierbei wird der Einfluss des Öffnungswinkels auf die Entwicklung der axialen Grenzschicht und der Drallgrenzschicht quantifiziert. Zusätzlich wird bei der experimentellen Untersuchung das Umfangsgeschwindigkeitsprofil sowie deren Turbulenzintensität analysiert. Der Einfluss der Rauheit auf die Entwicklung des Dralls wird rein experimentell erforscht. Die validierte Grenzschichtlösung wird verwendet, um mit den angewandten Stratford Kriterien die beginnende Strömungsablösung und deren Ausbreitung vorherzusagen. Das angewendete Kriterien für eine laminare Strömung wird ebenfalls mit experimentellen Daten validiert. Abgeschlossen wird die Arbeit mit einer Stabilitätskarte für die kritische Durchflusszahl für die Strömungsablösung abhängig von der Reynoldszahl und dem Öffnungswinkel, $\varphi_c = \varphi_c(Re, \alpha)$.

Abschließend vertieft die vorliegende Arbeit das Verständnis über die Drallentwicklung und die Strömungsablösung. Die gewonnenen Kenntnisse und die Weiterführung der Untersuchung helfen Entwicklern von Turbomaschinen. Die vorliegenden Ergebnisse können direkt bei der Auslegung von Turbomaschinen mit einer Deckscheibe oder einer dreidimensionalen Grenzschicht am Eintritt sowie von Strömungskanälen der Sekundärluftversorgung von Gasturbinen angewendet werden. Damit kann die Belastung der Maschine (selbst-erregte Schwingungen) und der Umwelt (Lärm) reduziert sowie die Effizienz und Zuverlässigkeit der Turbomaschine erhöht werden.