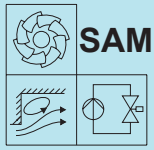




TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

Lehrstuhl für
Strömungsmechanik und
Strömungsmaschinen - SAM



Hrsg. Prof. Dr.-Ing. M. Böhle

SAM - Fortschrittsberichte

Band 20

Anika Theis

**Einfluss des
Schaufelseitenverhältnisses
auf die Performance, die Verluste
und die Sekundärströmungen
eines Axialventilators**

Einfluss des Schaufelseitenverhältnisses auf die Performance, die Verluste und die Sekundärströmungen eines Axialventilators

Vom Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik
der Technischen Universität Kaiserslautern
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

von

Frau

Dipl.-Ing. Anika Theis

geb. in Heidelberg

Tag der mündlichen Prüfung:	11.12.2020
Dekan:	Prof. Dr.-Ing. Tilmann Beck
Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. Jörg Seewig
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Martin Böhle Dr.-Ing. habil. Alexander Wiedermann

SAM-Fortschrittsberichte

Band 20

Anika Theis

**Einfluss des Schaufelseitenverhältnisses
auf die Performance, die Verluste und die
Sekundärströmungen eines Axialventilators**

D 386 (Diss. Technische Universität Kaiserslautern)

Shaker Verlag
Düren 2021

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.: Kaiserslautern, TU, Diss., 2020

Copyright Shaker Verlag 2021

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8064-3

ISSN 2191-8031

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

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

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen der Technischen Universität Kaiserslautern.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Böhle, dem Leiter des Lehrstuhls, für die Möglichkeit diese Arbeit anzufertigen und für die Unterstützung während meiner Zeit am Lehrstuhl. Ebenfalls danke ich Herrn Dr.-Ing. habil. Alexander Wiedermann für seine Tätigkeit als zweiter Berichterstatter sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Jörg Seewig für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Bei meinen Kolleginnen und Kollegen vom Lehrstuhl möchte ich mich für ihre Hilfsbereitschaft, die fachlichen Diskussionen und die gute Zusammenarbeit bedanken. Vor allem möchte ich mich an dieser Stelle bei Frau Dipl.-Ing. Rebecca Schäfer und Herrn Dr.-Ing. Thomas Reviol für die vielen fachlichen Diskussionen und die Hilfsbereitschaft bedanken.

Weiterhin möchte ich allen studentischen Hilfskräften und meinen Studien-, Bachelor-, Master- und Diplomarbeitern, die durch ihre Motivation und Einsatzbereitschaft ihren Beitrag zu der vorliegenden Arbeit geleistet haben meinen Dank aussprechen.

Bei meiner Familie und meinen Freunden möchte ich mich dafür bedanken, dass sie immer verständnisvoll waren und mich motiviert haben. Insbesondere meinen Eltern bin ich für ihre Unterstützung dankbar. Sie haben mir stets die Möglichkeit gegeben meinen Weg zu gehen und dabei immer fest an mich geglaubt. Auch meiner Schwester Meike gilt mein Dank für ihre Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit.

Besonders möchte ich mich noch bei meinem Mann Martin bedanken, der immer für mich da ist, mir immer den Rücken freigehalten und nie an mir gezweifelt hat. Auch seinen Eltern möchte ich für die Unterstützung danken.

Kaiserslautern, im April 2021
Anika Theis

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	IX
Nomenklatur	X
Abstract	XVII
Kurzfassung	XIX
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Literaturübersicht	2
1.3 Ziele der Arbeit	7
2 Grundlagen	9
2.1 Darstellung der Verluste mit der Dissipationsfunktion	9
2.2 Auslegungsverfahren und dimensionslose Kennzahlen	11
2.2.1 Potentialströmungen	11
2.2.2 Martensenverfahren	14
2.2.3 Dimensionsanalyse	16
2.2.4 Auslegung Axialventilator	19
2.3 Sekundärströmungen in einem Axialventilator	23
2.4 Grundlagen der Lasermesstechnik	27
2.4.1 Particle Image Velocimetry	27
2.4.2 Laser-Doppler-Anemometrie	28
3 Experimentelle Untersuchungen	31
3.1 Auslegungsdaten und Modellvarianten	31
3.2 Versuchsaufbau	33
3.3 Ermittlung des Massenstroms	35
3.4 Lasermessungen	36
3.4.1 Particle Image Velocimetry	36

3.4.2	Laser-Doppler-Anemometrie	37
4	Numerische Untersuchungen und Voruntersuchungen	39
4.1	Netzerstellung	39
4.2	Simulationssetup	40
4.2.1	Modellaufbau	40
4.2.2	Solvereininstellungen	42
4.2.3	2D-Simulationsaufbau	42
4.3	Netzeinfluss	44
4.3.1	Rotor	44
4.3.2	Stator	47
4.4	Vergleich Stationär - Transient	50
4.5	Zeitschrittstudie	52
4.5.1	Einfluss des Zeitschritts	52
4.5.2	Einfluss der Zeit auf die Rotorstellung	53
5	Ergebnisse	56
5.1	Fehlerbetrachtung	56
5.2	Vergleich der Performance	57
5.3	Validierung mit der Particle Image Velocimetry	62
5.4	Validierung mit der Laser-Doppler-Anemometrie	69
5.4.1	Untersuchung der Geschwindigkeitskomponenten am Mittenschnitt	70
5.4.2	Einfluss der Sekundärströmungen in der oberen Passagenhöhe und am Gehäuse	71
5.5	Vergleich der dimensionslosen Profile	77
5.5.1	Geschwindigkeitsdifferenzen	78
5.5.2	Rothalpedifferenzen	83
5.6	Verlustbeiwert	85
5.7	Verlustbetrachtung über die Dissipationsfunktion	88
5.8	Visualisierung der Sekundärströmungen mit CFD	95
5.9	Einfluss des Durchmesserhältnisses	107
5.9.1	Verlustbeiwert	108
5.9.2	Turbulente und viskose Dissipation	110
6	Zusammenfassung	115
7	Ausblick	121
	Literatur	123

A Anhang	131
A.1 Netzstudie und Zeitschrittstudie	131
A.2 Kennlinien	132
A.3 Dimensionslose Profile	133
A.4 Sekundärströmungen	143