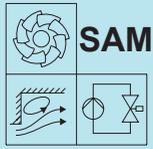




TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
KAISERSLAUTERN

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](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto: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

<b>Vorwort</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>Nomenklatur</b>	<b>X</b>
<b>Abstract</b>	<b>XVII</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>XIX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung . . . . .	1
1.2 Literaturübersicht . . . . .	2
1.3 Ziele der Arbeit . . . . .	7
<b>2 Grundlagen</b>	<b>9</b>
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
<b>3 Experimentelle Untersuchungen</b>	<b>31</b>
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
<b>4</b>	<b>Numerische Untersuchungen und Voruntersuchungen</b>	<b>39</b>
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
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>56</b>
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
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>115</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>121</b>
	<b>Literatur</b>	<b>123</b>

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