

Dominik Christopher Wendland

Einfluss einer nicht-rotationssymmetrischen Seitenwandkonturierung auf Strömung und Wirkungsgrad einer 2-stufigen Axialturbine

**Einfluss einer nicht-rotationssymmetrischen Seitenwandkonturierung auf
Strömung und Wirkungsgrad einer 2-stufigen Axialturbine**

**Influence of Non-Axisymmetric Endwall Contouring on Flow and Efficiency of a
2-Stage Axial Turbine**

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen
Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Dominik Christopher Wendland

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Manfred Christian Wirsum
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Bohn

Tag der mündlichen Prüfung: 07.11.2017

Berichte aus der Energietechnik

Dominik Christopher Wendland

**Einfluss einer nicht-rotationssymmetrischen
Seitenwandkonturierung auf Strömung und
Wirkungsgrad einer 2-stufigen Axialturbine**

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.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2017)

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 978-3-8440-5897-0

ISSN 0945-0726

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

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kraftwerkstechnik, Dampf- und Gasturbinen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

Danken möchte ich an dieser Stelle Herrn Professor Dr.-Ing. habil. Manfred Wirsum für die Möglichkeit diese Arbeit am IKDG abzuschließen und für die Übernahme des Hauptreferats. Ferner gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Dieter Bohn für die Initiierung des Forschungsvorhabens sowie für die Übernahme des Korreferats. Herrn Prof. Dr.-Ing. Lorenz Singheiser danke ich für die Durchführung des Vorsitzes und Herrn Prof. Wolfgang Schröder für die Übernahme des Beisitzes in der Prüfungskommission.

Für die vertiefenden fachlichen Diskussionen und konstruktiven Anregungen im Rahmen des Forschungsvorhabens bedanke ich mich bei Herrn Dr. Michael Sell von Alstom Power sowie bei Herrn Dr. Jochen Gier und Frau Dr. Inga Mahle von MTU.

Weiterhin Danke ich meinen ehemaligen Kollegen am Institut für Kraftwerkstechnik, Dampf- und Gasturbinen, für die stets kollegiale Zusammenarbeit und den studentischen Hilfskräften, den Studien-, Diplom-, Projekt-, Bachelor- und Masterarbeitern ohne deren Engagement diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden. Sie haben durch ihr Verständnis und ihre motivierende Unterstützung während schwieriger Phasen einen großen Anteil am Entstehen dieser Arbeit.

Kurzfassung

In dieser Arbeit werden die Auswirkungen einer nicht-rotationssymmetrischen Seitenwandkonturierung in einer 2-stufigen Axialturbine numerisch untersucht.

Hierzu werden drei verschiedene Beschauelungskonfigurationen diskutiert und analysiert. Als Referenz dient ein seit Jahren industriell bewährtes zylindrisches Schaufelprofil. Die konturierten Beschauelungen besitzen das gleiche Schaufelprofil. Es wird eine Beschauelung mit einer Konturierung an Nabe und Gehäuse betrachtet und eine Beschauelung, die lediglich gehäuseseitig eine Konturierung der Seitenwand aufweist.

Die Simulationen wurden mit zwei verschiedenen Strömungslösern und Turbulenzmodellen durchgeführt.

Weitere Schwerpunkte der Arbeit sind die Analyse der Interaktion von Deckband-Leckage und Hauptströmung auf Basis einer Variation des Radialspaltes und die Analyse der Konturierung in einer Ringgitterkaskade für unterschiedliche Massenströme und Inzidenzwinkel.

I Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsverzeichnis	I
II	Formelzeichen und Abkürzungen	IV
III	Abbildungsverzeichnis	VIII
1	Einleitung und Problemstellung	1
2	Stand der Forschung	3
2.1	Sekundärströmungen in Turbomaschinen	5
2.2	Verlustmechanismen in Turbomaschinen	8
3	Beeinflussung der Sekundärströmungen	11
3.1	Einleitung und Literaturübersicht.....	11
3.2	Grenzschichtzäune	12
3.3	Dreidimensionale Schaufelgestaltung	15
3.4	Seitenwandkonturierung.....	21
3.4.1	rotationssymmetrische Konturierungen	22
3.4.2	nicht-rotationssymmetrische Seitenwandkonturierungen	26
4	Untersuchte nicht-rotationssymmetrische Konturierung	37
4.1	Zielsetzung und Methode.....	42
4.2	Versuchsturbine und numerische Modellbildung	45
4.2.1	Aufbau des Rechengitters.....	48
4.2.2	Randbedingungen.....	50
4.3	Konvergenzbetrachtung	52
5	Bewertungskriterien und Kenngrößen	53
5.1	Statischer polytroper Wirkungsgrad.....	53
5.2	Turbulente kinetische Energie.....	54
5.3	Massenstromdichte.....	54
5.4	Totaldruck und Totaldruckverlustkoeffizient.....	55
5.5	Umfangswinkel α	56
5.6	Koeffizient sekundärer kinetischer Energie (<i>C_{ske}</i>).....	56
5.7	Druckverteilung auf dem Schaufelprofil.....	58

5.8	Reaktionsgrad.....	59
5.9	Enthalpiekenngröße.....	60
6	Validierung des numerischen Simulationsmodells.....	61
6.1	Umfangswinkel	61
6.2	Profildruckverteilungen.....	65
6.3	Wirkungsgrade	70
7	Grundlegende Charakterisierung der Strömung.....	75
7.1	Visualisierung der Strömung.....	75
7.1.1	Betrachtung der Wirbelstrukturen in Ebene $x/l_{ax}=0$	77
7.1.2	Betrachtung der Wirbelstrukturen in Ebene $x/l_{ax}=0,25$	78
7.1.3	Betrachtung der Wirbelstrukturen in Ebene $x/l_{ax}=0,5$	79
7.1.4	Betrachtung der Wirbelstrukturen in Ebene $x/l_{ax}=0,75$	80
7.1.5	Vergleich der Schaufelreihen für BP1 $x/l_{ax}=0,65$ Basis.....	84
7.1.6	Vergleich der Schaufelreihen für BP3 $x/l_{ax}=0,65$ Basis.....	84
7.1.7	Vergleich der Schaufelreihen für BP1 $x/l_{ax}=0,65$: SWK	87
7.1.8	Vergleich der Schaufelreihen für BP3 $x/l_{ax}=0,65$: SWK	89
7.1.9	Strömungsvektoren am Gehäuse bei $x/l_{ax}=0,65$ in Laufrad 1	90
7.1.10	Stromlinien.....	92
7.2	Radiale Verläufe ausgewählter Strömungsparameter	95
7.2.1	Umfangswinkel	95
7.2.2	Totaltemperatur	99
7.2.3	Totaldruck	99
7.2.4	Massenstromdichte.....	102
8	Einfluss der Konturierung auf Strömung und Wirkungsgrad	105
8.1	Betrachtung der einzelnen Stufen	105
8.1.1	Sekundäre kinetische Energie	106
8.1.2	Entropie	109
8.1.3	Umfangswinkel	112
8.1.4	Turbulente kinetische Energie.....	115
8.2	Profildruck-Verteilung	119

8.3	Einfluss der Konturierung auf den Wirkungsgrad	121
9	Untersuchungen zur Interaktion von Hauptströmung und Deckband-Leckage ...	123
9.1	Verluste durch Deckband-Leckage	124
9.2	Einfluss des Betriebspunktes.....	126
9.2.1	Analyse der Interaktion von Deckband-Leckage und Hauptströmung	131
9.3	Einfluss des Radialspaltes	133
9.3.1	Analyse der Interaktion von Deckband-Leckage und Hauptströmung	134
9.4	Zusammenfassung.....	140
10	Ringgitter Strömungskaskade.....	141
10.1	Modellierung der Strömungskaskade.....	141
10.2	Einfluss des Massenstroms.....	145
10.3	Einfluss des Inzidenz-Winkels	149
10.4	Potentialwirkung der Beschau felung	158
10.5	Zusammenfassung.....	160
11	Zusammenfassung und Ausblick.....	161
IV	Literaturverzeichnis.....	165