

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	vi
Nomenklatur	xi
Kurzfassung	xvii
Abstract	xx
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	2
2 Stand der Forschung	5
2.1 Sekundärströmungen in Turbomaschinen	5
2.1.1 Modellbetrachtung und Klassifikation von Sekundärströmungen	5
2.1.2 Hufeisenwirbel	5
2.1.3 Kanalwirbel und Rohrkrümmeranalogie	7
2.1.4 Von Kármán'sche Wirbelstraße und Profilmachlauf	8
2.1.5 Eckenwirbel und Hinterkantenwirbel	9
2.1.6 Mathematische Abgrenzung von Sekundärströmungen	9
2.2 Wirbelinstabilitäten und Wirbelzusammenbruch	10
2.3 Auslegungsaspekte mit Einfluss auf Sekundärströmungen	12
2.3.1 Seitenwandkonturen	12
2.3.2 Schaufelfuß	13
2.3.3 Variation der Auffädelungslinien und integrale 3D Passagengestaltung .	14
2.4 Verluste und Verlustmodelle	14
3 Experimentelle Einrichtung und Methodik	17
3.1 Experimentelle Einrichtungen	17

3.1.1	Flachbett-Wasserkaskade	17
3.1.2	Ringgitterwasserkanal	19
3.2	Numerische Simulation	22
3.3	Visualisierungsmethoden	23
3.3.1	Farbstoffeinspritzung	23
3.3.2	Partikel und Wasserstoffbläschen	24
3.4	Messmethoden	26
3.4.1	Quantifizierung der Streichlinien aus Farbstoffvisualisierung	26
3.4.2	Particle Tracking Velocimetry	29
3.4.3	Methode zur Nachbearbeitung der PTV-Daten	33
3.5	Qualität der PTV-Ergebnisse	36
3.5.1	Genauigkeit der Bestimmung der Partikelpositionen	36
3.5.2	Genauigkeit der zeitlichen und räumlichen Ableitungen im Nachbearbeitungsverfahren	37
3.5.3	Gegenüberstellung quantitativer Ergebnisse	38
3.6	Modelltheorie	41
3.6.1	Reynoldsähnlichkeit	41
4	Ergebnisse	43
4.1	Ermitteltes Strömungsfeld der untersuchten Turbinenstufe	43
4.1.1	Zuströmbedingung und Einlaufgrenzschicht	43
4.1.2	Stationäre Leitgitterdurchströmung	45
4.1.3	Periodisches Druckfeld im Axialspalt	50
4.1.4	Laufgitterdurchströmung	51
4.2	Instationäres Verhalten der Sekundärwirbel im Rotoreintritt	58
4.2.1	Wirbelinstabilitäten in der stationären Kaskadenströmung	58
4.2.2	Wirbelinstabilitäten innerhalb der Rotorumgebung	63
4.2.3	Zusätzliche Störungen durch Sonden	67
4.3	Untersuchung von mit Sekundärwirbeln assoziierten Verlusten	70
4.3.1	Einfluss der Referenzwertbildung auf die Bezifferung der Verluste	70
4.3.2	Euler'sche Arbeit entlang der Partikelpfade	77
5	Zusammenfassung und Diskussion	83
	Literaturverzeichnis	87
	Lebenslauf	95