

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	IX
Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XVI
Zusammenfassung	XIX
Abstract	XXI
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	3
2 Methoden zur Verbesserung des Betriebsverhaltens von Verdichtern	7
2.1 Grundlegendes Betriebsverhalten mehrstufiger Axialverdichter	7
2.1.1 Betriebscharakteristik	7
2.1.2 Verdichterinstabilität	10
2.1.3 Verdichterstabilität als Betriebsgrenze	12
2.2 Beeinflussung durch variable Geometrien	15
2.2.1 Leitgitterverstellung	15
2.2.2 Abblasung	17
2.2.3 Einblasung	19
2.3 Bedeutung und Kontrolle des Schaufelspitzenspalts	23
2.3.1 Änderung des Schaufelspitzenspalts während des Betriebs	23
2.3.2 Einfluss des Schaufelspitzenspalts auf die Verdichterströmung	25
2.3.3 Aktive Spaltkontrolle	27
2.4 Folgerung für die weiteren Untersuchungen	30
3 Konzept des aktiven Verdichters	31
3.1 Aktive Spaltregelung	31
3.1.1 Systemanforderungen	31
3.1.2 Thermische Beeinflussung des Gehäuses	33

3.1.3	Mechanische Beeinflussung des Gehäuses	34
3.1.4	Spaltregelung	37
3.2	Umblasung	38
3.2.1	Systemauslegung	38
3.2.2	Strömungsbedingungen in der Umblasestrecke	42
3.2.3	Regelung der Umblasung	43
4	Modellbildung	47
4.1	Simulation des Betriebsverhaltens	47
4.1.1	Leistungssyntheserechnung	47
4.1.2	Regelungssimulation	49
4.2	Simulation des Wärmeübergangs	50
4.2.1	Überblick über diabate Berechnungsverfahren	50
4.2.2	Ausgewählte Modellierung	52
4.2.3	Einfluss des Wärmeübergangs auf das Verdichter kennfeld	53
4.3	Simulation des Spalteinflusses	55
4.3.1	Abbildung der Spaltänderung im Syntheseverfahren	55
4.3.2	Einfluss des Schaufelspitzenspalts auf das Verdichter kennfeld	58
4.3.3	Modellierung der thermischen Spaltverstellung	60
4.3.4	Modellierung der mechanischen Spaltverstellung	62
4.4	Simulation der Umblasung	65
4.4.1	Abbildung der Umblasung im Synthesemodell	65
4.4.2	Stabilisierung einer Verdichterstufe durch Einblasung	67
4.4.3	Einfluss der Einblasung auf das Verdichter kennfeld	69
4.5	Validierung des Synthesemodells	71
5	Einfluss der aktiven Spaltregelung auf das Betriebsverhalten	75
5.1	Mechanische Spaltverstellung	75
5.1.1	Stationäres Betriebsverhalten mit M-ACC	75
5.1.2	Instationäres Betriebsverhalten mit M-ACC	78
5.2	Thermische Spaltverstellung	82
5.2.1	Stationäres Betriebsverhalten mit T-ACC	82
5.2.2	Instationäres Betriebsverhalten mit T-ACC	85
6	Einfluss der Umblasung auf das Betriebsverhalten	89
6.1	Stationäres Betriebsverhalten	89
6.2	Einfluss auf die Verdichterstabilität	94
6.3	Instationäres Betriebsverhalten	97

7	Bewertung des Technologiepotentials	101
7.1	Reduzierung des Treibstoffverbrauchs	101
7.1.1	Bewertung einer typischen Flugmission	101
7.1.2	Einfluss der Gewichtsänderung	103
7.2	Erhöhung der Verdichterstabilität	104
7.2.1	Bewertung der konventionellen Verdichterstabilität	104
7.2.2	Verbesserung durch aktive Maßnahmen	108
7.3	Verbesserung der Triebwerksdynamik	113
7.4	Optimierung der Triebwerksauslegung	115
7.4.1	Kreisprozessoptimierung	116
7.4.2	Schaufelzahlreduktion	118
7.4.3	Stufenzahlreduktion	120
7.4.4	Ersatz der Verstellleitgitter	120
8	Schlussfolgerung	123
	Literaturverzeichnis	126
A	Berechnung des Wärmeübergangs im Verdichter	147