

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis . . . . .	XIX
Tabellenverzeichnis . . . . .	XXIII
Nomenklatur . . . . .	XXV
<b>1 Einleitung . . . . .</b>	<b>1</b>
<b>2 Problemstellung und Zielsetzung . . . . .</b>	<b>5</b>
<b>3 Stand der Technik . . . . .</b>	<b>9</b>
3.1 Abgasturboaufladung von Ottomotoren . . . . .	9
3.1.1 Einführung der variablen Turbinengeometrie beim Ottomotor . . . . .	10
3.1.2 Aerodynamische Weiterentwicklung der Turboladerturbine . . . . .	14
3.2 Niederdruck-Abgasrückführung bei Ottomotoren . . . . .	19
3.2.1 Einfluss der gekühlten ND-AGR auf den Wirkungsgrad des Ottomotors . . . . .	20
3.2.2 Einfluss der gekühlten ND-AGR auf die Aufladung des Ottomotors . . . . .	25
3.3 Schlussfolgerungen . . . . .	27
<b>4 Prüfstände und Versuchsmethoden . . . . .</b>	<b>29</b>
4.1 Versuchsträger . . . . .	29
4.1.1 Abgasturbolader . . . . .	29
4.1.2 Versuchsmotor . . . . .	30
4.2 Heißgasprüfstand . . . . .	31
4.2.1 Aufbau des Heißgasprüfstands und allgemeine Messmethodik . . . . .	31
4.2.2 Messung des Turbinenwirkungsgrads bei konstantem Turbinendruckverhältnis . . . . .	32
4.2.3 Messgenauigkeit des Heißgasprüfstands . . . . .	33
4.3 Motorprüfstand . . . . .	33
<b>5 Numerische Methoden . . . . .</b>	<b>37</b>
5.1 1D-Motorsimulation . . . . .	37
5.1.1 Modellierung der Verbrennung . . . . .	38
5.1.2 Modellierung des Abgasturboladers . . . . .	38
5.2 3D CFD-Simulation der Strömung durch die Turbine . . . . .	40
5.2.1 Modellierung und Diskretisierung der Turbinengeometrie . . . . .	40
5.2.2 Numerik des Strömungslösers . . . . .	43
5.2.3 Fehlerbetrachtung . . . . .	43
5.3 Numerische Optimierung der Turbine . . . . .	45
5.3.1 Parametrisierung der Turbinengeometrie . . . . .	46
5.3.2 Design of Experiments . . . . .	49
5.3.3 Metamodellierung . . . . .	49

5.3.4	Optimierung . . . . .	51
5.4	Numerische Strukturanalyse der Turbinenlaufräder . . . . .	51
5.4.1	Statische Strukturanalyse . . . . .	52
5.4.2	Modalanalyse . . . . .	52
5.5	Brennverfahrensanalyse . . . . .	53
5.5.1	Nulldimensionale Motorprozesssimulation . . . . .	53
5.5.2	Verlustteilung . . . . .	54
<b>6</b>	<b>Ergebnisse . . . . .</b>	<b>57</b>
6.1	Optimierung der VTG-Turbine . . . . .	57
6.1.1	Ermittlung der Randbedingungen für die numerische Optimierung . . . . .	58
6.1.2	Einfluss der Geometrieparameter auf das Betriebsverhalten der Turbine . . . . .	63
6.1.3	Numerische Optimierung der Turbinengeometrie . . . . .	69
6.1.4	Vergleich der aus den Optimierungsschritten resultierenden Turbinenlaufräder . . . . .	71
6.1.5	Strukturmechanische Betrachtung der Turbinenlaufräder . . . . .	75
6.2	Bewertung der optimierten VTG-Turbine . . . . .	78
6.2.1	Bewertung der optimierten Turbine im Komponentenversuch . . . . .	78
6.2.2	Bewertung der optimierten Turbine mittels 3D CFD-Simulation . . . . .	80
6.2.3	Bewertung der optimierten Turbine am Motor . . . . .	84
6.3	Verbrauchspotenzial der optimierten VTG-Turbine . . . . .	93
6.3.1	Einfluss des Millergrads und der ND-AGR-Rate auf den Kraftstoffverbrauch . . . . .	93
6.3.2	Bewertung des Verbrauchspotenzials der optimierten Turbine . . . . .	101
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick . . . . .</b>	<b>107</b>
7.1	Schlussfolgerungen . . . . .	107
7.2	Ausblick . . . . .	110
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>113</b>
	<b>Anhang . . . . .</b>	<b>123</b>
A.1	Berechnung der ATL-Kennfeldgrößen . . . . .	123
A.2	Abgleich der 1D-Motorsimulation . . . . .	124
A.3	Netzauflösung und Qualitätskriterien der 3D CFD-Rechennetze . . . . .	125
A.4	Faktorräume der DoE . . . . .	126
A.5	Darstellung der Zusammenhänge für die Kopplung der VTG-Leitschaufelöffnung an die VTG-Höhe . . . . .	128
A.6	Entstehung von Entropie in den einzelnen Segmenten der Turbinen . . . . .	129
A.7	Studie zu einer radialen Verschiebung der VTG-Leitschaufeln . . . . .	131