

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen XII

- 1 Einleitung und kurze Geschichte der Aufladung 1
- 2 Grundlagen und Ziel der Aufladung 6
- 2.1 Zusammenhang von Zylinderladung und Zylinderarbeit sowie von Ladungsmassenstrom und Motorleistung 6
 - 2.1.1 Zusammenhang von Zylinderladung und Zylinderarbeit 6
 - 2.1.2 Zusammenhang von Ladungsmassenstrom und Motorleistung 7
- 2.2 Einfluss der Ladeluftkühlung 9
- 2.3 Begriffsbestimmung und Aufladeverfahrensüberblick 10
- 2.4 Aufladung mittels gasdynamischer Effekte 10
 - 2.4.1 Schwingsaugrohr-Aufladung 10
 - 2.4.2 Resonanzaufladung 12
- 2.5 Aufladung mittels Aufladeaggregaten 14
 - 2.5.1 Lader-Druck-Volumenstrom-Kennfeld 14
 - 2.5.2 Verdrängerlader 15
 - 2.5.3 Strömungslader 16
- 2.6 Zusammenwirken von Lader und Verbrennungskraftmaschine 18
 - 2.6.1 Druck-Volumenstrom-Kennfeld des Kolbenmotors 18
 - 2.6.2 Zusammenwirken von Zwei- und Viertaktmotoren mit verschiedenen Ladern 21
- 3 Thermodynamik der Aufladung 24
 - 3.1 Berechnung der Lader- und Turbinenleistung 24
 - 3.2 Energiebilanz des Arbeitsprozesses aufgeladener Motoren 25
 - 3.2.1 Motor-Hochdruckprozess 25
 - 3.2.2 Gaswechselschleifen-Niederdruckprozesse 25
 - 3.2.3 Abgasenergienutzung 26
 - 3.3 Aufladung als Mittel zur Wirkungsgradsteigerung 27
 - 3.3.1 Kennzahlen zur Beschreibung der Ladungswechsel- und Motorwirkungsgrade 27
 - 3.3.2 Beeinflussung des Motorgesamtwirkungsgrades durch Aufladung 31
 - 3.4 Einfluss der Aufladung auf Abgasemissionen 32
 - 3.4.1 Ottomotor 34
 - 3.4.2 Dieselmotor 34
 - 3.4.3 Abgasnachbehandlungsverfahren 35
 - 3.5 Thermische und mechanische Beanspruchung der Verbrennungskraftmaschine im Aufladebetrieb 35

3.5.1	Thermische Beanspruchungen	35
3.5.2	Mechanische Beanspruchungen	36
3.6	Modellierung und rechnergestützte Simulation aufgeladener Motoren	37
3.6.1	Einführung in numerische Prozesssimulation	37
3.6.2	Kreisprozesssimulation des aufgeladenen Motors	38
3.6.3	Numerische dreidimensionale Simulation von Strömungsvorgängen	49
3.6.4	Numerische Simulation des aufgeladenen Motors im Verbund mit Verbrauchersystem	50
4	Mechanische Aufladung	52
4.1	Einsatzgebiete der mechanischen Aufladung	52
4.2	Energiebilanz der mechanischen Aufladung	53
4.3	Regelungsmöglichkeiten des Förderstromes mechanischer Lader	54
4.3.1	Viertaktmotoren	54
4.3.2	Zweitaktmotoren	56
4.4	Bauformen und Systematik mechanisch angetriebener Verdichter	56
4.4.1	Verdrängerlader	56
4.4.2	Strömungslader	60
5	Abgasturboaufladung	61
5.1	Ziele und Einsatzgebiete der Abgasturboaufladung	61
5.2	Strömungstechnische Grundlagen der Turboladerkomponenten	61
5.2.1	Energieumsetzung in Strömungsmaschinen	61
5.2.2	Verdichter	62
5.2.3	Turbinen	66
5.3	Energiebilanz des Aufladesystems	75
5.4	Anpassung des Turboladers	76
5.4.1	Abgasenergienutzungsmöglichkeiten und resultierende Auspuffsystemgestaltung	76
5.4.2	Turbinenauslegung und -regelung	83
5.4.3	Verdichterauslegung und -regelung	91
5.5	Dimensionierung und Optimierung der Gasführungs- und Aufladekomponenten mittels Kreisprozess- und CFD-Simulationen	94
5.5.1	Auslegungskriterien	94
5.5.2	Beispiele zur numerischen Simulation von Motoren mit Abgasturboaufladung	98
5.5.3	Verifikation der Simulation	101
6	Besondere Arbeitsverfahren mit Nutzung der Abgasturboaufladung	107
6.1	Zweistufige Aufladung	107
6.2	Geregelte zweistufige Aufladung	108
6.3	Registeraufladung	109
6.3.1	Einstufige Registeraufladung	110
6.3.2	Zweistufige Registeraufladung	112
6.4	Turbokühlung und Millerverfahren	115
6.4.1	Turbokühlung	115
6.4.2	Millerverfahren	116

6.5	Turbocompound-Verfahren 118
6.5.1	Mechanische Rückspeisung in den Motor 119
6.5.2	Elektrische Energierückgewinnung 123
6.6	Kombinierte Auflade- und Aufladesonderverfahren 124
6.6.1	Differential-Verbundaufladung 124
6.6.2	Mechanische Zusatzaufladung 125
6.6.3	Unterstützte Abgasturboaufladung 126
6.6.4	Comprex-Druckwellenaufladeverfahren 128
6.6.5	Hyperbar-Aufladeverfahren 130
6.6.6	Auslegung kombinierter Aufladeverfahren mittels thermodynamischer Kreisprozesssimulationen 131
7	Betriebsverhalten aufgeladener Motoren 135
7.1	Lastaufnahme und Beschleunigungsverhalten 135
7.2	Drehmomentverhalten und Drehmomentenverlauf 136
7.3	Höhenverhalten aufgeladener Motoren 137
7.4	Stationär- und Großmotoren 139
7.4.1	Generatorbetrieb 140
7.4.2	Propellerbetrieb 141
7.4.3	Beschleunigungshilfen 142
7.4.4	Besondere Probleme bei Aufladung von Zweitaktmotoren 143
7.5	Instationärbetrieb eines Schiffsmotors mit Registeraufladung 144
8	Betriebsverhalten aufgeladener Motoren im Fahrzeugeinsatz 146
8.1	Anforderungen im Personenwageneinsatz 146
8.2	Anforderungen im Nutzfahrzeugeinsatz 147
8.3	Sonstige Fahrzeugeinsätze 148
8.4	Instationärverhalten des abgasturboaufgeladenen Motors 148
8.4.1	Personenwageneinsatz 150
8.4.2	Nutzfahrzeugeinsatz 152
8.5	Abgasturboladerauslegung für Fahrzeugeinsatz 153
8.5.1	Stationärauslegung 153
8.5.2	Instationärauslegung 156
8.5.3	Numerische Simulation des Betriebsverhaltens des Motors im Zusammenwirken mit Fahrzeuggesamtsystem 161
8.6	Sonderprobleme aufgeladener Otto-Benzin- und -Gasmotoren 161
8.6.1	Klopfende Verbrennung 161
8.6.2	Probleme der Quantitätsregelung 164
9	Laderregeleingriffe und Regelungsphilosophien für Starrgeometrie- und VTG-Lader 165
9.1	Grundsatzprobleme der Abgasturboladerregelung 165
9.2	Starrgeometrie-Abgasturbolader 166
9.2.1	Regelungseingriffsmöglichkeiten für stationäre Betriebszustände 166
9.2.2	Transient-Regelungsstrategien 169
9.2.3	Teillast- und Emissionsregelgrößen und Regelungseingriffe 173
9.3	Abgasturbolader mit variabler Turbineneintrittsgeometrie 176

9.3.1	Generelle Regelungsmöglichkeiten und -strategien für Lader	176
9.3.2	Regeleingriffe zur Verbesserung des Stationärverhaltens	177
9.3.3	Regeleingriffe zur Verbesserung des Instationärverhaltens	178
9.3.4	Regelsondereingriffe zur Erhöhung der Motorbremsleistung	181
9.3.5	Sonderprobleme bei aufgeladenen Otto-Benzin- und Gasmotoren	182
9.3.6	Schematischer Aufbau leistungsfähiger elektronischer Waste-Gate- und VTG-Regelsysteme	182
9.3.7	Bewertung von VTG-Regelstrategien mittels numerischer Simulationsmodelle	185
10	Messtechnische Erfassung der Betriebsdaten aufgeladener Motoren am Motorprüfstand	188
10.1	Messstellenplan	189
10.2	Motormoment	190
10.3	Motordrehzahl	191
10.4	Turboladerdrehzahl	191
10.5	Motorluftmassenstrom	192
10.6	Brennstoffmassenstrom	193
10.7	Motor-Blow-By	193
10.8	Druck- und Temperaturdaten	193
10.9	Emissionswerte	195
11	Mechanik von Aufladegeräten	198
11.1	Verdrängerlader	198
11.1.1	Gehäuse und Rotoren: Dichtung und Kühlung	198
11.1.2	Lagerung und Schmierung	199
11.2	Abgasturbolader	199
11.2.1	Kleinlader	199
11.2.1.1	Gehäuse: Aufbau, Kühlung und Dichtung	199
11.2.1.2	Laufzeug: Materialauswahl und -beanspruchung	202
11.2.1.3	Lagerung, Schmierung und Wellendynamik	203
11.2.1.4	Fertigung	205
11.2.2	Großlader	206
11.2.2.1	Aufbau, Gehäuse, Kühlung, Dichtung	207
11.2.2.2	Laufzeug	210
11.2.2.3	Fertigung	211
12	Ladeluftkühler und Ladeluftkühlsysteme	212
12.1	Grundlagen und Kennzahlen	212
12.2	Ladeluftkühlerbauarten	213
12.2.1	Wassergekühlte Ladeluftkühler	215
12.2.2	Luft-Luft-Ladeluftkühler	216
12.2.3	Ganzaluminium-Ladeluftkühler	216
12.3	Ladeluftkühlsysteme	217
13	Aussichten und Weiterentwicklung der Aufladung	219
13.1	Status und Perspektiven der Aufladetechniken	219
13.2	Weiterentwicklungstrends der einzelnen Aufladesysteme	219

13.2.1	Mechanische Lader	219
13.2.2	Abgasturbolader	220
13.2.3	Aufladesysteme und -kombinationen	222
13.3	Zusammenfassung	225
14	Beispiele ausgeführter Auflademotoren	227
14.1	Aufgeladene Ottomotoren	227
14.2	Pkw-Dieselmotoren	236
14.3	Nfz-Dieselmotoren	244
14.4	Flugmotoren	248
14.5	Hochleistungs-Schnellläufer (Lokomotiv- und Bootsmotoren)	249
14.6	Mittelschnellläufer (Gas- und Schwerölbetrieb)	250
14.7	Langsamläufer (Stationär- und Schiffs-Größtmotoren)	252
	Anhang	257
	Literatur	261
	Namen- und Sachverzeichnis	267