

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	v
1. Einleitung	1
1.1. Einführende Prozessbeschreibung	4
1.2. Problemstellung	6
1.3. Aufbau der Arbeit	8
2. Stand der Technik	13
2.1. Steuerungsstrukturen	13
2.2. Modellbildung	18
2.3. Untersuchung publizierter Füllungssteuerungen	24
3. Exakte Ein-/Ausgangslinearisierung	31
3.1. Einführendes Beispiel	31
3.2. Eingrößensysteme	35
3.2.1. Zustandsregelung	38
3.2.2. Vorsteuerung	39
3.2.3. Nulldynamik und Minimalphasigkeit	41
3.3. Mehrgrößensysteme	42
3.3.1. Zustandsregelung	45
3.3.2. Vorsteuerung	46
3.4. Erweiterte Mehrgrößensteuerung	47
3.5. Beziehung zu weiteren Steuerungsansätzen	48
3.5.1. Exakte Linearisierung eingangsaffiner Systeme	49
3.5.2. Flachheitsbasierte Steuerung	50
3.6. Beispiel	53
4. Modellierung	61
4.1. Prozessbeschreibung	61
4.2. Modellierungsansatz	64
4.3. Statische Teilmodelle	66
4.3.1. Luftfilter	66
4.3.2. Verdichter	67
4.3.3. Drosselklappe	70
4.3.4. Ladeluftkühler	71
4.3.5. Ein- und Auslassventile	71
4.3.6. Turbine	78

4.3.7. Wastegate	79
4.3.8. Katalysator	80
4.3.9. Turboladerleistungen	81
4.4. Dynamische Modelle	83
4.4.1. Isotherme Modelle	84
4.4.2. Saugrohr	84
4.4.3. Saugrohrwandtemperatur und Füllungstemperatur	86
4.4.4. Turboladerdrehzahl	88
4.4.5. Quasistationäre Modelle	88
5. Vorsteuerungsentwurf	93
5.1. Struktur des Entwurfsmodells	93
5.1.1. Stell- und Regelgrößen	94
5.1.2. Steuerungsstrategie	96
5.1.3. Dynamische Entkopplung	99
5.1.4. Durchgriff	100
5.1.5. Relativer Grad	100
5.2. Modellinversion	102
5.2.1. Einfache Mehrgrößensteuerung	103
5.2.2. Erweiterte Mehrgrößensteuerung	109
5.2.3. Inversion der Komponenten	111
5.2.4. Reduzierte Steuerung	117
5.3. Führungsgrößenformung	119
6. Realisierungaspekte	123
6.1. Dynamikanalyse	124
6.1.1. Systemdynamik	124
6.1.2. Nulldynamik	126
6.1.3. Übergangsverhalten	130
6.2. Numerische Differentialgleichungslöser	132
6.2.1. Explizites Euler-Verfahren	133
6.2.2. Semi-implizites Euler-Verfahren	135
6.3. Simulation der Vorsteuerung	138
6.3.1. Vergleich der regulären und erweiterten Mehrgrößensteuerung	139
6.3.2. Führungsverhalten	140
6.3.3. Störverhalten	146
6.4. Automatische Differentiation	151
6.5. Einbindung in eine Regelung	156

7. Experimentelle Ergebnisse	163
7.1. Modellvalidierung	164
7.1.1. Stationäre Modellvalidierung	165
7.1.2. Dynamische Modellvalidierung	167
7.1.3. Einordnung der Ergebnisse	168
7.2. Vorsteuerungsvalidierung	172
7.2.1. Stationäre Vorsteuerungsvalidierung	172
7.2.2. Dynamische Vorsteuerungsvalidierung	177
7.2.3. Einordnung der Ergebnisse	182
7.3. Zusammenfassung	185
8. Zusammenfassung	187
A. Modellidentifikation	191
A.1. Experimenteller Aufbau	191
A.2. Verfahren	192
A.3. Statische Teilmodelle	195
A.4. Dynamische Teilmodelle	209
Literatur	213