

Inhaltsverzeichnis

Vorwort des Herausgebers	i
Vorwort des Autors	iii
Kurzfassung	v
Abstract	vii
Abkürzungsverzeichnis	xiii
Symbolverzeichnis	xvii
1 Problemstellung und Zielsetzung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	6
2 Stand der Technik und Wissenschaft – Der Prozess der modellbasierten Kalibrierung	9
2.1 Versuchsplanung	9
2.2 Modellbildung	12
2.3 Optimierung der Kalibrierparameter	16
2.3.1 Definitionen von Optimierungsproblemen der Kalibrierparameter	17
2.3.2 Verbreitete Optimierungsalgorithmen	20
2.4 Kennfeld- und Kennlinienrechnung	30
2.4.1 (Bi)lineare Interpolation von Betriebspunktwerten	30
2.4.2 Berechnung von Kennfeldstützstellenwerten	33
2.5 Bisherige Ansätze zur direkten Optimierung von Kennfeldern in der modellbasierten Kalibrierung	39
2.5.1 Ansätze mit Ersatzfunktion für Kennfelder	40
2.5.2 Direkte Ansätze ohne Ersatzfunktion für Kennfelder	41
3 Neuer Ansatz zur Optimierung von Steuerkennfeldern und -kennlinien	45
3.1 Aufbau der Zielfunktion	45
3.2 Neue Definition der Optimierungsfreiheitsgrade	48
3.3 Verwendete Nebenbedingungen	54
3.3.1 Beschränkungen des Versuchsraums	55

3.3.2	Beschränkungen für modellierte Zielgrößen	61
3.3.3	Beschränkungen der Rauheit der Kalibrierparameterkennfelder und -kennlinien	62
3.4	Analytische Beschreibung des Gradienten und der Hesse-Matrix	62
3.4.1	Herleitung des analytischen Gradienten für das Optimierungsproblem	63
3.4.2	Herleitung der analytischen Hesse-Matrix des Ansatzes	68
3.5	Abschlussbemerkung zur Verwendung des neuen Ansatzes und der Optimierungsalgorithmen	70
4	Neuer multikriterieller Ansatz zur Optimierung von Steuerkennfeldern und -kennlinien	71
4.1	Grundlagen der multikriteriellen Optimierung	72
4.2	Definition des Optimierungsproblems	78
4.3	Verwendete Optimierungsalgorithmen und -methodiken	80
5	Optimierung des Lastwechselverhaltens eines Antriebsstrangs	87
5.1	Softwarestruktur zur Beeinflussung des Lastwechselverhaltens	87
5.2	Skalare Kennwerte zur Beschreibung des Verhaltens, Versuchsplanung und Modellbildung	90
5.3	Optimierung der Steuerkennfelder und -kennlinien mit dem neuen, schnellen Ansatz	92
5.4	Anwendung des neuen multikriteriellen Optimierungsansatzes	97
5.4.1	Untersuchte Optimierungsverfahren und Bewertungsmetriken	98
5.4.2	Vergleich und Bewertung der Ergebnisse	100
6	Zusammenfassung und Ausblick	107
A	Anhang: Ursachen für eine raue Kalibrierung bei der modellbasierten Kalibrierung	111
A.1	Mess- und Prozessrauschen	111
A.2	Messausreißer	114
A.3	Mehrere lokale Optima im Systemverhalten	117
A.4	Geringe Veränderungen des betriebspunktspezifischen Systemverhaltens	118
A.5	Globales betriebspunktübergreifendes Modell mit verschiedenen Optima	119
A.6	Geringe Sensitivität des empirischen Modells in der Region des Optimums	120
A.7	Optimierungsproblem mit Restriktionen	122
A.8	Auswahl der untersuchten Betriebspunkte	124
A.9	Bewertung und Zusammenfassung der Ursachen	126
B	Anhang: Neuer Ansatz zur Optimierung von Stützstellenwerten und -positionen	129
B.1	Ansatz der integralen Modellauswertung	130
B.2	Freiheitsgrade der Stützstellenoptimierung	134

B.3 Zielfunktion der Stützstellenoptimierung	136
B.4 Verwendete Nebenbedingungen der Stützstellenoptimierung	137
B.5 Herausforderungen bei der Stützstellenoptimierung	139
B.6 Anwendung des neuen Ansatzes zur Optimierung von Stützstellenpositionen und -werten	141
C Anhang: Details zur Versuchsplanung und zu Modellierungsansätzen	147
C.1 Weitere Details zu den Versuchsplantypen	147
C.2 Weitere Details zu den Modellierungsansätzen	148
C.2.1 Polynommodelle	148
C.2.2 Künstlich neuronale Netze	150
C.2.3 Lokale Modellnetze	152
C.2.4 Gaußprozessmodelle	156
D Anhang: Pseudocode des Innere-Punkt-Algorithmus	159
E Anhang: Modellqualität der Kennwerte der Kalibrierung des Lastwechselverhaltens	161
F Anhang: Ergebnisse der Kalibrierparameteroptimierung mit niedriger, mittlerer und hoher Glattheit	165
G Anhang: Weitere Ergebnisse der multikriteriellen Optimierungsverfahren	169
Abbildungsverzeichnis	175
Tabellenverzeichnis	179
Literatur	181