

Impressum

**Systematische Synthese, Variation, Simulation
und Bewertung von Mehrgang- und
Mehrantrieb-Systemen rein elektrischer
und hybrider Fahrzeugantriebsstränge**

Autor:

Christoph Danzer

Wichtiger Hinweis:

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

D93 (Diss. TU Chemnitz)

© 2017

Verlag Wissenschaftliche Scripten
<http://www.verlag-wiss-scripten.de/>

ISBN: 978-3-95735-053-4

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen	12
1 Einführung.....	20
1.1 Problemstellung.....	20
1.2 Zielsetzung und Inhalt der Arbeit	22
1.3 Stand der Technik und Wissenschaft.....	24
1.3.1 Antriebssysteme für Elektrofahrzeuge	24
1.3.1.1 Elektromobilität.....	24
1.3.1.2 Allgemeine Klassifizierung.....	26
1.3.1.3 Speicher	26
1.3.1.4 Leistungselektronik.....	27
1.3.1.5 Elektromaschine.....	28
1.3.1.6 Getriebe	29
1.3.1.7 Antriebskonzepte.....	30
1.3.2 Triebstrangoptimierung rein elektrischer Antriebssysteme.....	33
1.3.3 Antriebssysteme für Hybridfahrzeuge.....	35
1.3.3.1 Klassifizierung	35
1.3.3.2 Antriebsstrang Komponenten	37
1.3.3.3 Antriebskonzepte.....	40
1.3.4 Triebstrangoptimierung hybrider Antriebssysteme.....	48
2 Simulationsmodelle der Triebstrangkomponenten	51
2.1 Elektrische Antriebe.....	51
2.1.1 Funktionsweise, Auslegung und Anforderungen.....	51
2.1.2 Wicklungsentwurf und Variantenbetrachtungen.....	55
2.1.3 Magnetkreis- und Rotorauslegung.....	59
2.1.4 Elektrische Maschinengleichungen und Stromregelkonzept.....	62
2.1.5 Verlustmodell für PMSM.....	65
2.2 Leistungselektronik.....	67
2.2.1 Systembetrachtung und Funktionsweise	67
2.2.2 Modellierung der Betriebsverluste	71
2.3 Batterie.....	72
2.3.1 Systembetrachtung und Entwicklungskriterien	72
2.3.2 Entwurfsaspekte von Batteriesystemen.....	73
2.3.3 Modellierung von Betriebsverhalten und Verlusten.....	75
2.4 Getriebe	80
2.4.1 Verzahnungsverluste.....	80

2.4.2	Lagerverluste	83
2.4.3	Verluste in nasslaufenden, reibschlüssigen Schaltelementen.....	83
2.4.4	Verluste von Dichtungen	86
2.4.5	Verluste von Schaltaktorik und Hydraulik.....	86
2.4.6	Gesamtmodell Getriebeverluste	87
2.5	Verbrennungsmotoren.....	89
2.5.1	Ausgewählte Technologiekombination für Variationsstudien	89
2.5.2	VKM-Wiederstart in hybridisierten Antriebssträngen.....	91
2.5.3	Berechnungsvorschrift zum Kraftstoffverbrauch für Hybridfahrzeuge nach ECE-R101	95
2.6	Fahrzeug und Antriebsstrang.....	96
2.6.1	Fahrwiderstände.....	96
2.6.2	Antriebsstrangmodell.....	97
2.6.3	Reifenmodell	98
2.7	Fahrzyklen und Energiebetrachtungen	101
3	Betriebsstrategien.....	104
3.1	Klassifizierung und Funktionen von Betriebsstrategien.....	104
3.2	Betriebsstrategie der systemischen Verlustleistung	107
3.3	Leistungsvektor-Diagramm.....	110
3.4	Ladestrategien.....	112
3.5	Validierung von Online-Betriebsstrategien	114
3.5.1	Zyklussimulation mit allgemeiner Betriebsstrategie	114
3.5.2	Zyklussimulation mit erweiterter Betriebsstrategie	116
3.5.3	Zyklussimulation mit dynamischer Laderegelung.....	118
3.6	Charakteristische Ladeleistung.....	119
3.6.1	Kennwert der charakteristischen Ladeleistung.....	119
3.6.2	Optimierungspotential von Ladestrategien für den Kraftstoffverbrauch	121
3.7	Prädiktive Betriebsstrategie	126
3.7.1	Grundlagen und Funktionsweise	126
3.7.2	Anwendungsbeispiel zum Optimalitätsprinzip.....	129
3.7.3	Validierung einer prädiktiven Betriebsstrategie.....	131
4	Antriebsstrangsynthese	134
4.1	Anforderungen und Optimierungsansätze für hybride Antriebsstränge	134
4.2	Methodik der systematischen Antriebsstrangsynthese.....	136
4.3	Antriebsstrangsimulation	138

4.3.1	Zyklussimulation.....	141
4.3.2	Fahrleistungssimulation.....	145
4.4	Bewertung von Antriebsstrangkonfigurationen.....	148
4.4.1	Einordnung von Bewertungsgrößen	148
4.4.2	Verfahren der Nutzwertanalyse	149
4.4.3	Bewertungsprozess.....	151
5	Kennfeldberechnung und Effizienzvariation.....	154
5.1	Verlustkennfelder von ausgelegten und vermessenen elektrischen Maschinen.....	154
5.2	Systematische Kennfeldvariation elektrischer Antriebe.....	162
5.2.1	Anforderungen an die systematische Kennfeldvariation	162
5.2.2	Methodik, Ansatz und Modell zur systematischen Kennfeldvariation	163
5.2.3	Synthetisierte Verlustkennfelder.....	166
5.2.4	Bewertung von EM-Verlustkennfeldern	167
5.2.4.1	Effizienz- und Flächenkennzahl von EM-Kennfeldern.....	167
5.2.4.2	Kennfeldlagen	169
5.2.5	Beispieldarstellung synthetisch erzeugter Kennfelder.....	170
6	Antriebsstrangsynthese für Elektrofahrzeuge.....	172
6.1	Vorbetrachtungen zum Simulationsprozess.....	172
6.1.1	Optimierungspotentiale elektrischer Antriebsstränge.....	172
6.1.2	Zieltopologien.....	173
6.1.3	Simulationsprozess und Randbedingungen.....	174
6.1.4	Simulation und Bewertung einer Beispielkonfiguration	177
6.2	Fahrleistungsstudien	183
6.2.1	Variationsgrößen und Bedatung	183
6.2.2	Ergebnisdarstellung für Fahrzeug 1 und Topologie 1	184
6.2.3	Gesamtbewertung der Fahrleistungsstudien	187
6.2.4	Übertragung der Fahrleistungsbewertung auf andere Topologien	188
6.3	Gesamtvariationsstudien	188
6.3.1	Stufe 2 – Verbrauchsanalyse.....	188
6.3.2	Topologie 1	189
6.3.2.1	Systembedatung und Variationsgrößen.....	189
6.3.2.2	Ergebnisse der Variationsstudie für NEFZ.....	190
6.3.2.3	Häufigkeitsbewertung der besten Antriebskonfigurationen für NEFZ.....	196
6.3.2.4	Gesamtbewertung und Optimalkonfigurationen für Topologie 1.....	197
6.3.3	Topologie 2	199

6.3.3.1	Systembedatung und Variationsgrößen.....	199
6.3.3.2	Ergebnisse der Variationsstudie für NEFZ.....	201
6.3.3.3	Häufigkeitsbewertung der besten Antriebskonfigurationen für NEFZ.....	205
6.3.3.4	Gesamtbewertung und Optimalkonfigurationen für Topologie 2.....	207
6.3.4	Topologie 3	209
6.3.4.1	Systembedatung und Variationsgrößen.....	209
6.3.4.2	Ergebnisse der Variationsstudie für NEFZ.....	211
6.3.4.3	Häufigkeitsbewertung der besten Antriebskonfigurationen für NEFZ.....	216
6.3.4.4	Gesamtbewertung und Optimalkonfigurationen für Topologie 3.....	217
6.3.5	Topologie 4	219
6.3.5.1	Systembedatung und Variationsgrößen.....	219
6.3.5.2	Ergebnisse der Variationsstudie für NEFZ.....	220
6.3.5.3	Häufigkeitsbewertung der besten Antriebskonfigurationen für NEFZ.....	225
6.3.5.4	Gesamtbewertung und Optimalkonfigurationen für Topologie 4.....	226
6.4	Auswertung der Antriebsstrangsynthese für Elektrofahrzeuge.....	228
6.4.1	Ergebnisauswertung aller Variationsstudien	228
6.4.2	Zusammenfassung, Bewertung und Schlussfolgerungen für Elektrofahrzeug-Antriebsstränge	231
7	Antriebsstrangsynthese für Hybridfahrzeuge.....	234
7.1	Vorbetrachtungen zum Simulationsprozess.....	234
7.1.1	Zieltopologien und Optimierungspotential.....	234
7.1.2	Simulations- und Variationsprozess.....	237
7.1.3	Simulation und Bewertung einer Beispielkonfiguration	238
7.2	Variationsstudien.....	245
7.2.1	Topologie 1	247
7.2.1.1	Systembedatung und Variationsgrößen.....	247
7.2.1.2	Ergebnisse der Variationsstudie für NEFZ.....	249
7.2.1.3	Häufigkeitsbewertung der besten Antriebskonfigurationen.....	256
7.2.1.4	Gesamtbewertung und Optimalkonfigurationen für Topologie 1.....	258
7.2.2	Topologie 2	260
7.2.2.1	Systembedatung und Variationsgrößen.....	260
7.2.2.2	Häufigkeitsbewertung der besten Antriebskonfigurationen.....	263
7.2.2.3	Gesamtbewertung und Optimalkonfigurationen für Topologie 2.....	264

7.2.3	Topologie 3	267
7.2.3.1	Systembedatung und Variationsgrößen.....	267
7.2.3.2	Häufigkeitsbewertung der besten Antriebskonfigurationen	269
7.2.3.3	Gesamtbewertung und Optimalkonfigurationen für Topologie 3.....	270
7.2.4	Topologie 4	273
7.2.4.1	Systembedatung und Variationsgrößen.....	273
7.2.4.2	Häufigkeitsbewertung der besten Antriebskonfigurationen	276
7.2.4.3	Gesamtbewertung und Optimalkonfigurationen für Topologie 4.....	277
7.3	Auswertung der Antriebsstrangsynthese für Hybridfahrzeuge.....	282
7.3.1	Ergebnisauswertung aller Variationsstudien	282
7.3.2	Zusammenfassung, Bewertung und Schlussfolgerungen für hybride Antriebsstränge	285
8	Schlussbetrachtungen	290
8.1	Zusammenfassung.....	290
8.2	Ausblick.....	295
	Literaturverzeichnis	297
	Lebenslauf	305