

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort . . . . .	VII
Abbildungsverzeichnis . . . . .	XIII
Tabellenverzeichnis . . . . .	XV
Abkürzungsverzeichnis . . . . .	XVII
Symbolverzeichnis . . . . .	XIX
Kurzfassung . . . . .	XXI
Abstract . . . . .	XXV

## **1 Einleitung . . . . . 1**

## **2 Theoretische Grundlagen und Stand der Technik . . . 3**

2.1 Effizienz auf Fahrzeugebene . . . . .	3
2.2 Getriebe und Triebstränge . . . . .	7
2.2.1 Konventionelle Fahrzeuggetriebe . . . . .	8
2.2.2 Kenngrößen von Getrieben . . . . .	10
2.2.3 Bewegungsgleichungen . . . . .	18
2.2.4 Vereinfachte Darstellung von Getrieben nach Wolf . . . . .	20
2.2.5 Fahrleistungsanforderungen . . . . .	22
2.2.6 Entwicklungsmethodiken für Getriebe . . . . .	23
2.2.7 Mechanische Verluste . . . . .	24
2.3 Hybridfahrzeuge . . . . .	25
2.3.1 Einteilung von Hybridfahrzeugen . . . . .	26
2.3.2 Hybride Betriebsarten . . . . .	30
2.3.3 Kraftstoffeinsparung durch Hybridisierung . . . . .	31
2.3.4 Bekannte Konzepte für Hybridantriebe . . . . .	32
2.3.5 Konzeptentwicklungen für Triebstränge . . . . .	35
2.4 Simulative Methoden für Hybridfahrzeuge . . . . .	37
2.4.1 Betriebsstrategien . . . . .	38

2.5 Handlungsbedarf . . . . .	44
<b>3 Konzepte für hybride Triebstränge . . . . .</b>	<b>47</b>
3.1 Konzeptbildung durch mechanische Kopplungen . . . . .	50
3.1.1 Systemgrenzen und Energiewandler . . . . .	50
3.1.2 Konzeptbildung . . . . .	51
3.1.3 Besonderheiten des Kraftfahrzeugtriebstranges . . . . .	56
3.1.4 Bedeutung des Systemfreiheitsgrades . . . . .	60
3.2 Konzepte in Kopplungsdarstellung . . . . .	61
3.2.1 Drehzahlkopplungen . . . . .	61
3.2.2 Drehmomentkopplungen . . . . .	64
3.2.3 Kombinierte Kopplungen . . . . .	66
3.3 Konzeptbildung durch die Kombination von Betriebsarten . . . . .	70
3.3.1 Systemgrenzen und Übertragungswege . . . . .	70
3.3.2 Konzeptbildung . . . . .	71
3.3.3 Besonderheiten des Kraftfahrzeugtriebstranges . . . . .	73
3.3.4 Darstellung und Verwendung . . . . .	77
3.4 Vergleich und Zusammenhang . . . . .	79
<b>4 Eignung von Konzepten . . . . .</b>	<b>81</b>
4.1 Konzeptvergleich . . . . .	81
4.2 Simulation von Konzepten . . . . .	86
4.2.1 Definition der Simulation und der Parameter . . . . .	87
4.2.2 Iterative Dynamische Programmierung . . . . .	101
4.2.3 Das Fahrzeugmodell . . . . .	109
4.2.4 Einschränkung der Betriebsarten . . . . .	112
4.3 Ergebnisse . . . . .	113
4.3.1 Parameter der iDP . . . . .	113
4.3.2 Benchmark . . . . .	115
4.3.3 Zahl der Elektromaschinen . . . . .	119
4.3.4 Kapazität der Batterie . . . . .	120
4.3.5 Idealer Energiespeicher . . . . .	123

4.3.6 Betriebsarten . . . . .	124
4.3.7 Elektrischer Leistungspfad . . . . .	132
4.3.8 Einschränkung des Leistungsflusses . . . . .	134
4.3.9 Zusammenfassung . . . . .	136
<b>5 Konzeptvarianten . . . . .</b>	<b>139</b>
5.1 Ableitung von Varianten . . . . .	139
5.2 Simulation von Varianten . . . . .	142
5.3 Berechnungsansatz für verbrauchsoptimale Übersetzungen . . .	145
5.3.1 Analogie zum PMP . . . . .	147
5.3.2 Berechnung des Äquivalenzfaktors . . . . .	149
5.4 Ablauf der Simulation . . . . .	151
5.4.1 Übersetzungsberechnung . . . . .	152
5.5 Ergebnisse . . . . .	157
5.5.1 Parallelhybrid mit zwei Antriebsmaschinen . . . . .	157
5.5.2 Konzeptvarianten mit drei Antriebsmaschinen . . . . .	160
<b>6 Schlussfolgerung und Ausblick . . . . .</b>	<b>171</b>
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>173</b>
<b>Anhang . . . . .</b>	<b>183</b>