

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Zielsetzung der Arbeit . . . . .	2
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>5</b>
2.1 Energiebedarf von Elektrofahrzeugen . . . . .	5
2.1.1 Energiebedarf durch Fahrwiderstände . . . . .	6
2.1.2 Energiebedarf durch Antriebsstrangverluste . . . . .	10
2.1.3 Energiebedarf durch Nebenverbraucher . . . . .	17
2.2 Getriebeverluste durch Reibung . . . . .	18
2.2.1 Grundlagen der Tribologie . . . . .	20
2.2.2 Verzahnungsverluste . . . . .	23
2.2.3 Lagerverluste . . . . .	27
2.2.4 Dichtungsverluste . . . . .	28
2.2.5 Schaltelementverluste . . . . .	29
2.2.6 Sonstige Verluste . . . . .	31
2.3 3F-Methodik . . . . .	32
2.4 Elektrische Antriebskonzepte . . . . .	33
2.4.1 Getriebe in Elektrofahrzeugen . . . . .	36
2.4.2 Zweigängige elektrische Achsantriebe . . . . .	37
2.5 Dimensionierung und Auslegung von Getriebewellen . . . . .	40
2.6 Einordnung und Bewertung der vorhandenen Methoden . . . . .	41
<b>3 Ansätze zur Verlustberechnung in Getrieben</b>	<b>45</b>
3.1 Verzahnungsverluste . . . . .	45
3.1.1 Lastabhängige Verzahnungsverluste . . . . .	45
3.1.2 Lastunabhängige Verzahnungsverluste . . . . .	47

3.2	Lagerverluste . . . . .	52
3.2.1	Berechnungsansatz nach INA/FAG . . . . .	53
3.2.2	Berechnungsansatz nach SKF . . . . .	54
3.3	Dichtungsverluste . . . . .	56
3.4	Schaltelementverluste . . . . .	59
3.4.1	Kupplungsverluste . . . . .	59
3.4.2	Synchronierungsverluste . . . . .	64
3.5	Luftreibungsverluste . . . . .	64
<b>4</b>	<b>Getriebeeverlustberechnungsmodelle</b>	<b>67</b>
4.1	Bauteilindividuelle Verlustberechnung . . . . .	67
4.1.1	Aufbau der Bauteilindividuellen Verlustberechnung . . . . .	68
4.1.2	Optimierung der Kupplungsverlustberechnung . . . . .	69
4.2	Kennfeldbasiertes Simulationsmodell . . . . .	75
4.2.1	Optimierungsbedarf . . . . .	76
4.2.2	Aufbau des Kennfeldbasierten Simulationsmodells . . . . .	78
4.2.3	Automatisierte Getriebedimensionierung . . . . .	80
4.2.4	Verlustkennfelddatenbank für die Getriebekomponenten . . . . .	90
4.3	Auswahl der geeigneten Getriebeeverlustmodellierung . . . . .	94
4.4	Ausgewählte Getriebekonzepte . . . . .	96
4.5	Optimierung der Getriebeübersetzungen . . . . .	99
<b>5</b>	<b>Gesamtfahrzeugsimulationsmodelle</b>	<b>101</b>
5.1	Modulares Simulationsmodell . . . . .	101
5.2	3F-Simulationsmodell . . . . .	102
5.3	Vergleich der Gesamtfahrzeugmodelle . . . . .	105
5.4	Fahrzyklen zur Bewertung des Energieverbrauchs . . . . .	106
5.5	Fahrzeugparameter und Anforderungen . . . . .	108
<b>6</b>	<b>Bewertung des Einflusses von Getrieben auf den Energieverbrauch</b>	<b>111</b>
6.1	Effizienzvergleich der Getriebekonzepte im WLTC . . . . .	111
6.1.1	Getriebekonzept 1 – Einganggetriebe . . . . .	111
6.1.2	Getriebekonzept 2 – Zweiganggetriebe . . . . .	112
6.1.3	Getriebekonzept 3 – Zweiganggetriebe . . . . .	113

6.2	Vergleich der Gesamtfahrzeugmodelle . . . . .	114
6.2.1	Auswertung der Getriebeverlustenergien . . . . .	116
6.2.2	Auswertung der Wirkungsgrade . . . . .	118
6.2.3	Vergleich des Gesamtenergieverbrauchs . . . . .	121
6.3	Effizienzvergleich der Getriebekonzepte bei Fahrzeugvariation . .	123
6.4	Effizienzvergleich der Getriebekonzepte im Kundenbetrieb . . . .	127
6.5	Analyse und Interpretation der Simulationsergebnisse . . . . .	130
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>133</b>
7.1	Zusammenfassung . . . . .	133
7.2	Ausblick . . . . .	136