

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Formelzeichen</b>	<b>III</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation und Zielsetzung . . . . .	2
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2 Stand der Forschung</b>	<b>5</b>
2.1 Theoretische Grundlagen zum Energiebedarf von Fahrzeugen . . . . .	5
2.1.1 Energiebedarf zur Überwindung von Fahrwiderständen . . . . .	5
2.1.2 Energiebedarf aus Wandlungs- und Übertragungsverlusten	6
2.1.3 Energiebedarf durch Nebenverbraucher . . . . .	12
2.2 Rechnerische Abschätzung der Getriebeverluste . . . . .	13
2.2.1 Berechnung nach ISO 14179-1 . . . . .	13
2.2.2 Berechnung nach ISO 14179-2 . . . . .	15
2.2.3 Zusammenfassung ISO 14179-1 und ISO 14179-2 . . . . .	16
2.2.4 Berechnung mit WTplus I und II . . . . .	16
2.2.5 Zusammenfassung WTplus I und WTplus II . . . . .	20
2.2.6 Weitere Modelle . . . . .	21
2.3 Ermittlung des Energieverbrauchs . . . . .	23
2.3.1 Fahrzeugmodelle . . . . .	23
2.3.2 Modelle für Fahrer und Fahrumgebung . . . . .	25
2.4 Bewertung der vorhandenen Methoden und Werkzeuge . . . . .	27
<b>3 Verlustermittlung in Fahrzeuggetrieben</b>	<b>29</b>
3.1 Berechnungsmethodik . . . . .	29
3.2 Getriebedatenbank . . . . .	30
3.3 Getriebekinematik . . . . .	31
3.3.1 Drehzahlen . . . . .	32
3.3.2 Drehmomente . . . . .	33
3.3.3 Verzahnungskräfte und Kraftangriffspunkte . . . . .	33
3.3.4 Lagerkräfte . . . . .	35
3.4 Komponentenverluste im Getriebe . . . . .	38
3.4.1 Lagerverluste . . . . .	39
3.4.2 Verzahnungsverluste . . . . .	52
3.4.3 Lastunabhängige Verzahnungsverluste . . . . .	61
3.4.4 Dichtungsverluste . . . . .	72
3.4.5 Verluste der Schalteinheiten . . . . .	74
3.4.6 Weitere Verluste . . . . .	78
3.5 Zusammenfassung der Berechnungsgrundlagen . . . . .	80

3.6	Ergebnisse der Getriebeverlustberechnung . . . . .	80
3.6.1	Sensitivität der Verluste gegenüber der Übersetzung . . . . .	81
3.6.2	Sensitivität der Verluste gegenüber der Drehzahl . . . . .	83
3.6.3	Sensitivität der Verluste gegenüber dem Moment . . . . .	83
3.6.4	Sensitivität der Verluste gegenüber der Temperatur . . . . .	84
3.6.5	Verlustanteile auf Komponentenebene . . . . .	84
4	<b>Verlustermittlung im Antriebsstrang</b>	87
4.1	Schleppverluste im Antriebsstrang . . . . .	87
4.2	Antriebswellen . . . . .	91
4.2.1	Einfluss der Geschwindigkeit und des Radmoments . . . . .	92
4.2.2	Einfluss der Temperatur . . . . .	94
4.2.3	Vergleich der Ergebnisse mit Werten aus der Literatur . . . . .	94
4.3	Radlager . . . . .	95
4.3.1	Lagerkonstruktion . . . . .	97
4.3.2	Einfluss der Temperatur und der Geschwindigkeit . . . . .	98
4.3.3	Einfluss der Lagerkräfte . . . . .	99
4.4	Restbremsmoment . . . . .	100
4.5	Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . .	101
5	<b>Gesamtfahrzeugmodellierung und Zyklenparameter</b>	103
5.1	Gesamtmodell Fahrer, Fahrzeug, Fahrumgebung . . . . .	103
5.1.1	Fahrer und Fahrumgebung . . . . .	104
5.1.2	Fahrzeug . . . . .	105
5.2	Generierung kundenspezifischer Fahrprofile und Energieverbräuche	107
5.3	Charakteristische Kenngrößen im Kundenbetrieb und NEFZ . . . . .	108
5.3.1	Ergebnisse für den Reibwiderstand $F_{Reib}$ . . . . .	111
6	<b>Ergebnisse für Getriebe- und Triebstrangeffizienz</b>	112
6.1	Getriebelastprofil . . . . .	112
6.2	Getriebe- und Triebstrangwirkungsgrade . . . . .	113
6.3	Optimierung des inneren Getriebewirkungsgrads . . . . .	116
6.3.1	Oberflächenrauigkeit der Verzahnung . . . . .	117
6.4	Optimierung des äußeren Getriebewirkungsgrads . . . . .	120
6.4.1	Variation der Achsgetriebeübersetzung . . . . .	120
7	<b>Zusammenfassung</b>	125
	<b>Literatur</b>	129
A	<b>Anhang</b>	139