

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen IIIAbkürzungsverzeichnis IX

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Motivation und Zielsetzung | 2 |
| 1.2 | Aufbau der Arbeit | 3 |
| 2 | Stand der Forschung | 5 |
| 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 |
| 3 | Verlustermittlung in Fahrzeuggetrieben | 29 |
| 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 | Verlustermittlung im Antriebsstrang | 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 | Gesamtfahrzeugmodellierung und Zyklenparameter | 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 | Ergebnisse für Getriebe- und Triebstrangeffizienz | 112 |
| 6.1 | Getriebebelastprofil | 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 | Zusammenfassung | 125 |
| | Literatur | 129 |
| A | Anhang | 139 |