

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|-----------|
| FORMELZEICHEN | IX |
| EINLEITUNG | 1 |
| Problemstellung | 1 |
| Vorgehensweise | 2 |
| 1. AUFGABENSTELLUNG | 4 |
| 1.1 Das Fahrzeug | 4 |
| 1.2 Schwingungstechnische Anforderungen | 7 |
| 2. KOMFORTPROBLEME UND IHRE ANREGUNGEN..... | 8 |
| 2.1 Erregungsarten | 11 |
| 2.1.1 Unwuchten | 11 |
| 2.1.2 Straßenunebenheiten | 12 |
| 2.1.3 Motorungleichförmigkeiten | 16 |
| 2.2 Komfortprobleme | 19 |
| 2.2.1 Lenkungsunruhe, Wobbeln | 20 |
| 2.2.2 (Motor-) Stuckern, Mikrostickern..... | 20 |
| 2.2.3 Karosseriezittern | 20 |
| 2.2.4 Lenkradschütteln..... | 21 |
| 2.2.5 Leerlaufschütteln, -vibrationen | 21 |
| 2.2.6 Lastwechselschlag | 22 |
| 2.3 Zielkonflikte | 22 |
| 2.4 Bewertung..... | 23 |

| | |
|--|-----------|
| 3. METHODEN ZUR KOMFORTBERECHNUNG | 25 |
| 3.1 Lösungsverfahren im Frequenzbereich..... | 26 |
| 3.1.1 Direkte Frequenzgang-Analyse | 27 |
| 3.1.2 Reelle Eigenwertanalyse..... | 28 |
| 3.1.3 Modale Frequenzgang-Analyse | 31 |
| 3.1.3.1 Lösung der Bewegungsgleichungen im modalen Raum..... | 32 |
| 3.1.3.1.1 Lösung der ungekoppelten Gleichungen..... | 32 |
| 3.1.3.1.2 Lösung der gekoppelten Gleichungen..... | 34 |
| 3.1.3.2 Physikalische Beiträge aus den Eigenformen | 35 |
| 3.1.3.3 Modale Energien | 38 |
| 3.2 Reduktionsverfahren..... | 39 |
| 3.2.1 Modale Reduktion | 40 |
| 3.2.2 Statische Reduktion (GUYAN)..... | 41 |
| 3.2.3 Dynamische Reduktion..... | 44 |
| 3.2.4 Modale Synthese unter Verwendung von Unterstrukturen | 45 |
| 3.3 Linearisierung des Problems..... | 50 |
| 4. SCHWINGUNGSMODELL..... | 53 |
| 4.1 Experimentell ermittelte Modellparameter..... | 54 |
| 4.1.1 Massenträgheitsmomente | 54 |
| 4.1.2 Nichtlineare Steifigkeits- und Dämpfungskennlinien | 55 |
| 4.1.2.1 Gummilager | 55 |
| 4.1.2.2 Hydraulische Lager | 58 |
| 4.1.2.2.1 Wirkungsweise und dynamisches Verhalten..... | 58 |
| 4.1.2.2.2 Rheologisches Ersatzmodell..... | 60 |
| 4.1.2.3 Dämpfer | 62 |
| 4.1.2.3.1 Der Dämpfer im normalen Betriebszustand | 62 |
| 4.1.2.3.2 Der Dämpfer im klemmenden Zustand | 63 |
| 4.2 Das Finite-Element-Modell des Fahrwerks | 64 |
| 4.3 Das Finite-Element-Modell der Karosserie | 67 |
| 4.3.1 Rohkarosserie | 67 |
| 4.3.2 Vollausgestattete Karosserie..... | 68 |
| 4.4 Das Finite-Element-Modell des Gesamtfahrzeugs | 69 |
| 4.4.1 Gesamtfahrzeug mit starrer Karosserie | 69 |
| 4.4.2 Gesamtfahrzeug mit elastischer Karosserie..... | 70 |

| | |
|---|------------|
| 5. KORRELATION DES SCHWINGUNGSMODELLS | 73 |
| 5.1 Karosserie | 75 |
| 5.1.1 Rohkarosserie..... | 75 |
| 5.1.1.1 Statik..... | 75 |
| 5.1.1.1.1 Eigengewicht | 76 |
| 5.1.1.1.2 Biegesteifigkeit..... | 76 |
| 5.1.1.1.3 Torsionssteifigkeit..... | 78 |
| 5.1.1.2 Modalanalyse | 80 |
| 5.1.2 Vollausgestattete Karosserie..... | 84 |
| 5.1.2.1 Modalanalyse | 84 |
| 5.2 Gesamtfahrzeug | 87 |
| 5.2.1 Kinematik..... | 87 |
| 5.2.2 Modalanalyse..... | 88 |
| | |
| 6. OPTIMIERUNG DER DYNAMISCHEN KAROSSERIESTEIFIGKEIT | 95 |
| 6.1 Zielvorgaben und Randbedingungen, Versteifungsmaßnahmen..... | 95 |
| 6.2 Ergebnis der Versteifungsmaßnahmen..... | 100 |
| | |
| 7. UNTERSUCHUNGEN ZUR OPTIMIERUNG DES SCHWINGUNGS - KOMFORTS | 103 |
| 7.1 Lenkungsunruhe (Wobbeln) | 103 |
| 7.1.1 Frequenzgang - Analyse | 104 |
| 7.1.2 Zerlegung des Lösungsvektors der Resonanzfrequenz in die physikalischen..... Beiträge der Eigenformen..... | 105 |
| 7.1.3 Relevante Eigenformen..... | 106 |
| 7.1.3.1 Beschreibung der Eigenformen..... | 106 |
| 7.1.3.2 Verteilung der Formänderungsenergie..... | 108 |
| 7.1.3.3 Verteilung der kinetischen Energie..... | 108 |
| 7.1.4 Parameteruntersuchungen zur Reduzierung der Lenkungsunruhe | 109 |
| 7.2 (Motor-) Stuckern | 112 |
| 7.2.1 Diskrete Sinusanregung | 112 |
| 7.2.2 Stochastische Anregung..... | 119 |
| 7.3 Karosseriezittern | 120 |
| 7.3.1 Diskrete Sinusanregung | 121 |
| 7.3.2 Stochastische Anregung..... | 124 |

| | |
|----------------------------------|------------|
| 7.4 Lenkradschütteln..... | 124 |
| 7.5 Leerlaufvibrationen..... | 130 |
| ZUSAMMENFASSUNG | 133 |
| LITERATURVERZEICHNIS..... | 135 |