

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1.	Einführung	1
1.2.	Modellierungsfragen mit Literaturhinweisen	2
1.2.1.	Mechanisches Ersatzmodell	4
1.2.2.	Systemparameter	8
1.2.3.	Das mathematische Modell	11
1.2.4.	Behandlung der Bewegungsgleichung	14
1.3.	Besonderheiten bei Planetengetrieben	18
1.4.	Ziel und Inhalt der Arbeit	21
2	DIE MECHANISCHEN ERSATZMODELLE	24
2.1.	Bemerkungen zur Modellierung des Zahneingriffsbereiches	24
2.1.1.	Belastungsabhängige Modellierung	24
2.1.2.	Modellierung der Zahnfehler (Verzahnungsabweichungen)	26
2.1.3.	Zahnsteifigkeit	26
2.2.	Einstufiges Stirnradgetriebe	28
2.3.	Kfz-Schaltgetriebe	35
2.3.1.	Aufbau und Kinematik des Schaltgetriebes ...	37
2.3.2.	Verspanntes System und Rasselsystem	38
2.3.3.	Das Ersatzmodell des verspannten Systems ...	39
2.3.4.	Berücksichtigung der restlichen Elemente des Antriebsstranges	43
2.3.4.1.	Beschreibung des Modells	44
2.3.4.2.	Kennlinien der Kupplungen	46
2.4.	Kompaktplanetengetriebe	48
2.4.1.	Das Ersatzmodell	49
2.4.2.	Zahnsteifigkeitsverläufe und Phasenverschiebungen	52
3	MATHEMATISCHE SYSTEMBESCHREIBUNG	57
3.1.	Eigenschaften der mechanischen Ersatzmodelle	58

3.2.	Herleitung der Bewegungsgleichung	59
3.2.1.	Gleitlageranteile	62
3.2.2.	Darstellung der Bewegungsgleichung	63
3.3.	Strukturelemente des Antriebsstrangs	65
3.3.1.	Einfache Getriebestufe	65
3.3.2.	Geneigte Getriebestufe	68
3.3.3.	Innenverzahnte Getriebestufe	69
3.3.4.	Lager- und Torsionselement	70
3.4.	Bewegungsgleichungen der Getriebe	72
3.4.1.	Bewegungsgleichung des einstufigen Stirnradgetriebes	72
3.4.2.	Bewegungsgleichung des verspannten An- triebsstranges mit Schaltgetriebe	75
3.4.3.	Bewegungsgleichung des Kompaktplaneten- getriebes	79
4	ANALYTISCHE LÖSUNGEN	83
4.1.	Beschreibung des statischen Verhaltens	83
4.1.1.	Statisch bestimmte Modelle	84
4.1.2.	Statisch unbestimmte Modelle	85
4.1.3.	Statische Auslenkungen der verallgemeinerten Koordinaten	86
4.2.	Näherungslösung für stationäre Schwingungen	87
4.2.1.	Frequenzgangverfahren	89
4.2.2.	Die Methode der Modaltransformation	91
5	NUMERISCHE ERGEBNISSE	94
5.1.	Einstufiges Stirnradgetriebe	94
5.1.1.	Eigenverhalten	95
5.1.2.	Tragbild der Verzahnung	97
5.1.3.	Verlauf der Gesamtzahnkraft	100
5.2.	Antriebsstrang mit Schaltgetriebe	103
5.2.1.	Eigenverhalten	103
5.2.2.	Zeitverläufe	106
5.2.2.1.	Theoretische Ergebnisse	106
5.2.2.2.	Vergleich mit Messungen	111
5.2.3.	Amplituden-Drehzahl-Verläufe	114

5.3. Kompaktplanetengetriebe	116
5.3.1. Amplituden-Drehzahl-Verläufe	116
 6 BESONDERE SCHWINGUNGSSCHEINUNGEN	121
6.1. Untersuchung des Stabilitätsverhaltens	121
6.1.1. Kritische Frequenzen bei Parameter- und Kombinationsresonanzen	122
6.1.2. Stabilitätskarten	127
6.1.3. Bemerkungen und Vorgehensweise bei Stabilitätsuntersuchungen	130
6.2. Nichtlineares Verhalten durch das Abheben der Zahnflanken	132
6.2.1. Einfaches mathematisches Modell einer geradverzahnten Getriebestufe	133
6.2.2. Näherungsweise Berechnung der stationären Schwingungen	135
6.2.3. Diskussion der Ergebnisse	138
 7 SCHWINGUNGEN IN UNBELASTETEN GETRIEBESTUFEN	142
7.1. Herleitung der Grundgleichungen am Beispiel eines Einzelstufenmodells	142
7.2. Rasselschwingungen in Kfz-Schaltgetrieben	148
7.2.1. Das mechanische Ersatzmodell	148
7.2.2. Bewegungsgleichungen	151
7.2.3. Numerisches Vorgehen	154
7.2.4. Ansatz für Rasselgeräusche	155
7.3. Numerische Ergebnisse	157
7.3.1. Rasselschwingungen im Zeitbereich	158
7.3.2. Energieverluste als Maß für Rasselgeräusche	162
7.3.3. Einfluß einiger Getriebeparameter auf Rasselgeräusche	165
 8 ZUSAMMENFASSUNG	172
 LITERATUR	180

ANHANG	192
A.1. Parameter des Turbo-Stirnradgetriebes	192
A.2. Parameter des Antriebsstrangs mit Schaltgetriebe (verspanntes System)	194
A.3. Parameter des Kompaktplanetengetriebes	199
A.4. Parameter des Schaltgetriebes (Rasselsystem)	202
A.5. Berechnung der Phasenverschiebung p_q	204
Sachverzeichnis	207