

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Problembeschreibung	1
1.2 Stand der Forschung	3
1.3 Zielsetzung und Abgrenzung der Arbeit	7
1.4 Aufbau der Arbeit	9
2 Rad-Schiene-Kontakt	11
2.1 Rad-Schiene-Kontaktmechanik	11
2.1.1 Normalkontaktmechanik	11
2.1.2 Tangentialkontaktmechanik	13
2.2 Kraftschlussmodelle	16
2.2.1 Kalkers Kraftschluss-Theorie für den Mikroschlupf	17
2.2.2 Polachs Kraftschlussmodell für den Makroschlupf	22
2.3 Rad-Schiene-Kraftschluss im Kontext von Radsatz-Torsionsschwingungen	25
2.3.1 Kraftschlussmaximum	27
2.3.2 Trockene Reibung	29
2.3.3 Mischreibung	35
2.4 Zusammenfassung zur Modellbildung des Rad-Schiene-Kontakts	40
3 Messung von Radsatz-Torsionsschwingungen	42
3.1 Versuchsaufbau und -durchführung	42
3.2 Auswertung und Analyse	43
3.2.1 Korrelationsuntersuchungen	45
3.2.2 Identifikation konservativer, realistischer Kraftschlussfunktionen	48
3.2.3 Messung der Radsatzdämpfung	51
3.3 Relevanz der ausgewerteten Messergebnisse	54
4 Numerische Untersuchungen mithilfe der Mehrkörpersimulation	56
4.1 Beschreibung und Topologie der verwendeten MKS-Modelle	57
4.1.1 Mechanisches Tatzlager-MKS-Modell	58
4.1.2 Mechanisches Hohlwellen-MKS-Modell	59
4.1.3 Elektrisch-regelungstechnisches Antriebssystem	60
4.2 Validierung der MKS-Modelle	61
4.2.1 Validierung im Frequenzbereich	62
4.2.2 Validierung im Zeitbereich	64
4.3 Sensitivitätsanalysen	66

4.3.1	Parameterstudien des Tatzlagerantriebes	67
4.3.2	Parameterstudien des Hohlwellenantriebes	69
4.4	Bedeutung des Dämpfungsgrades	71
4.5	Schwingungsanregende Systemparameter	73
4.6	Diskussion der Ergebnisse.....	76
5	Analytische Untersuchungen anhand diskreter Mehrkörpermodelle	79
5.1	Differenzialgleichungssysteme nach dem Prinzip der virtuellen Verrückung	79
5.1.1	Differenzialgleichungssystem des Tatzlagerantriebes.....	82
5.1.2	Differenzialgleichungssystem des Hohlwellenantriebes	91
5.2	Validierung der analytischen Mehrkörpermodelle	98
5.2.1	Validierung im Frequenzbereich	98
5.2.2	Validierung im Zeitbereich.....	105
5.3	Stabilitätsuntersuchungen.....	107
5.3.1	Tatzlagerantrieb	107
5.3.2	Hohlwellenantrieb	112
5.4	Systemantwort bei periodischer Anregung	115
5.4.1	Tatzlagerantrieb	116
5.4.2	Hohlwellenantrieb	117
5.5	Diskussion der Ergebnisse.....	118
6	Analytischer Berechnungsansatz durch Systemreduktion auf ein Minimalmodell	121
6.1	Entwicklung des Minimalmodells.....	121
6.2	Dynamik des oszillierenden Radkörpers	127
6.3	Energiebilanz des selbsterregten Torsionsschwingers	129
6.3.1	Berechnung des maximalen, dynamischen Torsionsmoments	134
6.3.2	Anstiegszeit der Schwingung	136
6.4	Validierung des entwickelten Berechnungsansatzes	137
6.4.1	Validierung des maximalen, dynamischen Torsionsmoments	137
6.4.2	Sensitivitätsanalyse	140
6.5	Diskussion der Ergebnisse.....	142
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	144
	Literaturverzeichnis.....	XVII
	Abbildungsverzeichnis	XXIII
	Tabellenverzeichnis.....	XXIX
A.	Verwendete Modellparameter	XXXI
A.1.	Kraftschlussmaximum.....	XXXI
A.2.	Dynamisches Kraftschlussmodell	XXXI
A.3.	Analytisches Berechnungsmodell - Tatzlagerantrieb	XXXII
A.4.	Analytisches Berechnungsmodell - Hohlwellenantrieb	XXXIII

A.5.	Analytische Formel - Tatzlagerantrieb	XXXIV
A.6.	Analytische Formel - Hohlwellenantrieb	XXXIV
A.7.	Materialkennwerte - informativ	XXXIV
B.	Approximation eines Einheitsradkörpers	XXXV
C.	Ergänzungen zu den aufgestellten Differenzialgleichungssystemen	XXXIX
C.1.	Zahnkraftmodell	XXXIX
C.2.	Koeffizienten des Tatzlager-Modells	XL
C.3.	Koeffizienten des Hohlwellen-Modells	XLI
C.4.	Modale Matrizen des Tatzlager-Modells	XLII
C.5.	Modale Matrizen des Hohlwellen-Modells	XLII
C.6.	Darstellung der komplexen Eigenvektoren des Tatzlager-Modells	XLIV
C.7.	Darstellung der komplexen Eigenvektoren des Hohlwellen-Modells	XLVII
D.	Untersuchung weiterer Einflussgrößen	LI
D.1.	Leistungshyperbel und Kraftschlussausnutzung	LI
D.2.	Querschlupfeinfluss	LIII
D.3.	Lebensdauerbetrachtung	LVIII