

Dipl.-Ing. Kim Kose, Berlin

**Berechnung der
Eigenschwingungen und
Rezeptanzen von
Eisenbahnradsätzen unter
Einbeziehung gyroskopischer
Effekte**

Reihe **12**: Verkehrstechnik/
Fahrzeugtechnik

Nr. **347**

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Bezeichnungen	VII
Koordinatensysteme, geometrische Größen, Kräfte	XII
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung	1
1.2 Abgrenzung zu anderen Arbeiten	3
1.3 Aufbau der Arbeit	3
2 Grundlagen	5
2.1 Flächentheorie	5
2.1.1 Die Fläche im dreidimensionalen Raum	5
2.1.2 Beschreibung des Schalenraumes	10
2.1.3 Rotationsflächen	11
2.2 Grundgleichungen	12
2.2.1 Verschiebungs-, Verdrehungs-, und Verzerrungsgrößen	12
2.2.2 Kinematik	16
2.2.3 Schnittkräfte	17
2.2.4 Gleichgewichtsbedingungen	19
2.2.5 Massebelastungen	19
2.3 Physikalische Größen	19
2.4 Differentialgleichungssysteme der dünnen rotationssymmetrischen Schale	20
2.4.1 Gleichgewichtsbedingungen	20
2.4.2 Die Verzerrungs-Verschiebungs-Gleichungen	21
2.4.3 Stoffgesetz	23
2.4.4 Fourierreihenentwicklung	24
2.4.5 Bewegungsgleichungen	25
2.4.6 Aufstellen des Differentialgleichungssystem	27
3 Lösungsverfahren	29
3.1 Aufstellen der Elementmatrizen	29
3.2 Iteration	31
3.3 Makroelemente	31
3.3.1 Einführung	31
3.3.2 Mehrzielmethode	32
3.4 Verifikation des Programms SCHALE	33
3.4.1 Platte und Scheibe	33
3.4.2 Kegelschale	34
3.4.3 Torus	35
3.4.4 Commonwealth-Radsatz	35
3.5 Unstetigkeitsstellen und Elementierung	38
3.5.1 Unstetigkeiten des Schalenmeridians	38

3.5.2	Numerischer Vergleich verschiedener Elementierungen am Übergang von Radachse zu Radscheibe	39
3.5.3	Numerische Überprüfung der Elementierung durch Iteration	43
4	Modale Kondensation bei gekoppelten Systemen	45
4.1	Berücksichtigung der Kontaktfeder	46
4.2	Modale Synthese mit dem Verfahren von Hou und Goldmann	47
4.2.1	Mehrere Kontaktpunkte	48
4.2.2	Gyroskopie	49
4.2.3	Kondensation	49
4.3	Modale Synthese mit dem Verfahren von MacNeal	49
4.3.1	Erweiterung auf Feder-Dämpfer-Systeme	51
4.3.2	Zur Implementation	52
4.3.3	Kinematische Systeme	53
4.4	Modale Synthese mit dem Verfahren von MacNeal in der Modifikation von Chang und Craig	54
4.5	Eigenformen	56
4.6	Numerischer Vergleich der Verfahren anhand eines Eisenbahnrades	56
4.7	Einzellast	63
4.8	Rezeptanzen eines Radsatzes	69
5	Einbeziehung gyroskopischer Effekte	72
5.1	Masseneffekte	72
5.1.1	Anschauliche Herleitung	72
5.1.2	Tensorielle Herleitung	76
5.2	Zusätzliche Anteile der Steifigkeitsmatrix	77
5.3	Zusammenbau der Matrizen bei Berücksichtigung gyroskopischer Effekte	81
5.4	Rezeptanzen eines drehenden Radsatzes	81
5.5	Wo liegen die Knotenlinien?	82
5.6	Schwingungsformen des Radsatzes	88
6	Fahrzeug-Fahrweg Interaktion	93
6.1	Übersicht	93
6.2	Die Komponenten des Rad-Schiene Kontaktes	94
7	Beispielrechnung für einen Radsatz mit gekrümmter Radscheibe	107
8	Zusammenfassung und Ausblick	114
A	Das Programm	116
A.1	Programmablauf	116
A.2	Analysemöglichkeiten	118
A.3	Eingabedaten	118
A.4	Ergebnisse	118
	Literaturverzeichnis	120