

Dipl.-Ing. Yongfang Wu, Berlin

**Semianalytische Gleismodelle
zur Simulation der mittel- und
hochfrequenten
Fahrzeug/Fahrweg-Dynamik**

Reihe **12**: Verkehrstechnik/
Fahrzeugtechnik

Nr. **325**

Inhaltsverzeichnis

Symbole und Bezeichnungen	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Stand der Erkenntnis und Problemstellung	1
1.2 Ziele der Arbeit	4
2 Zusammenwirken von Fahrzeug und Fahrweg	6
2.1 Im allgemeinen	6
2.2 Dynamische Simulation	6
3 Gleisfrequenzgänge und ihre Approximation	9
3.1 Frequenzgang des Schwingungssystems	9
3.2 Beschreibungen der Gleisfrequenzgänge	10
3.2.1 Analytische Beschreibung	10
3.2.2 Numerische Beschreibung	12
3.2.3 Beschreibung durch Näherungsverfahren	13
3.3 Ersatzmodell für das Gleissystem	15
3.3.1 Partialbruchzerlegung	15
3.3.2 Überführung vom Frequenzbereich in den Zeitbereich	16
4 Semi-analytische, dreidimensionale Gleismodelle	17
4.1 Allgemeine Gleismodellierung	17
4.2 Teilsysteme des Gleises	18
4.2.1 Vertikaldynamik	18
4.2.2 Lateraldynamik	19
4.2.3 Longitudinaldynamik	20
4.2.4 Schwingung der Schiene durch Momentenanregung	20
4.3 Gesamtsystem des Gleises	21
4.3.1 Superposition der symmetrischen und antimetrischen Fälle	21
4.3.2 Kombinationen der Teilsysteme	23
4.4 Kraftanregung in vertikaler Richtung	24
4.4.1 Teilsystem für vertikale Schwingung der Schiene	24
4.5 Kraftanregung in lateraler Richtung	28
4.5.1 Teilsystem für die laterale Schwingung der Schiene	28
4.5.2 Teilsystem für die Torsion des Schienenkopfes um die x -Achse	29
4.5.3 Teilsystem für die vertikale Schwingung bei lateraler Anregung	30
4.5.4 Superponiertes Gleismodell für die Lateraldynamik	32
4.6 Kraftanregung in longitudinaler Richtung	35
4.6.1 Teilsystem für die longitudinale Schwingung der Schiene	35
4.6.2 Teilsystem für Biegung der Schiene um die y -Achse	36

4.6.3	Superponiertes Gleismodell für die Longitudinaldynamik	39
5	Transformation in den Zeitbereich	42
5.1	Differentialgleichungen im Zeitbereich ausgehend von dynamischen Nachgiebigkeiten	42
5.1.1	Überführung in den Zeitbereich	42
5.1.2	Mechanische Ersatzsysteme der einzelnen Differentialgleichungen	44
5.2	Modellierung über die dynamische Steifigkeit im Zeitbereich	47
5.2.1	Dynamische Steifigkeit des Gleissystems	47
5.2.2	Teilsysteme des Ersatzmodells	48
5.2.3	Parallelschaltungen von Teilsystemen	50
5.3	Zusammenstellung der Ersatzmodelle der vertikalen Gleisdynamik	53
5.3.1	Vertikales Gleismodell im Mittelfrequenzbereich	53
5.3.2	Ersatzmodell unter Einbezug der Pinned-Pinned-Mode	54
5.4	Ersatzmodell der lateralen Gleisdynamik	55
5.5	Ersatzmodell der longitudinalen Gleisdynamik	56
6	Kontaktvorgang zwischen Rad und Schiene	57
6.1	Normalkontaktproblem	57
6.2	Gleislagefehler und Profilstörung	59
7	Numerische Lösungen für den Überrollvorgang des Rades	61
7.1	Modellierung der Interaktion im Rad/Schiene-System	61
7.1.1	Semi-analytische Beschreibung des Gleismodells	61
7.1.2	Beschreibungen des Rad/Schiene-Systems im Zeit- und Frequenzbereich	64
7.2	Einfluß der Strukturparameter auf die Normalkraft im Frequenzbereich	69
7.2.1	Variation der Radmasse	70
7.2.2	Primäraufhängung des Rades in vertikaler Richtung	71
7.3	Betrachtungen parametererregter Schwingungen im Zeitbereich	73
7.3.1	Einfluß der Radmasse auf die parametererregte Normalkraft	74
7.3.2	Einfluß der Primärdämpfung auf die parametererregte Normalkraft	76
7.4	Zusammenfassung	78
8	Behandlung des Überrollvorgangs als periodisch-zeitvariantes System	79
8.1	Allgemeine Überlegung	79
8.2	Aufstellen der Fundamentalmatrix	82
8.2.1	Das Vorgehen nach Floquet	83
8.2.2	Das Vorgehen nach Hill	84
8.2.3	Redundanz der Eigenwerte und -vektoren	86
8.3	Lineare Bewegungsgleichungen mit periodischen zeitvarianten Koeffizienten	87
8.4	Stabilitätsuntersuchung der Schwingungen	90
8.4.1	Eigenwertproblem nach Hill	91
8.4.2	Stabilitätsuntersuchung nach Floquet	95
8.5	Ergebnisse	96
8.5.1	Vergleich der Lösungen und Aufstellen der Fundamentalmatrix	96

8.5.2	Anfangswertprobleme	102
8.5.3	Normalkraft bei rein parametererregten Schwingungen	103
9	Anwendungsbeispiel bei deterministischer Anregung	107
9.1	Vergleich der Simulationsergebnisse	107
9.2	Normalkraft bei deterministischer Anregung	109
9.2.1	Einfluß der Gleisdynamik auf die Normalkraft	111
9.2.2	Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Normalkraft	113
10	Zusammenfassung und Ausblick	115
A	Gleisparameter	118
B	Gleismodell bei Momentenanregung	119
B.1	Momentenanregung um die Längsachse	119
B.1.1	Torsionsschwingung des Schienenkopfes	119
B.1.2	Vertikale Schwingung der Schiene infolge der antimetrischen Momentenanregung um die Längsachse	122
B.1.3	Laterale Schwingung der Schiene infolge der Momentenanregung um die Längsachse	123
B.2	Momentenanregung um die Hochachse	128
B.2.1	Drehschwingung der Schiene um die Hochachse	128
B.2.2	Longitudinale Schwingung der Schiene im antimetrischen Fall . . .	128
C	Mathematische Herleitung	131
D	Basiseigenwerte und zugehörige Eigenvektoren nach Hill für $J = 5$	133
	Literaturverzeichnis	141