

Dipl.-Ing. Yongfang Wu, Berlin

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

Reihe **12**: Verkehrstechnik/  
Fahrzeugtechnik

Nr. **325**

*HLuHB Darmstadt*



13767211

# Inhaltsverzeichnis

<b>Symbole und Bezeichnungen</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Stand der Erkenntnis und Problemstellung . . . . .	1
1.2 Ziele der Arbeit . . . . .	4
<b>2 Zusammenwirken von Fahrzeug und Fahrweg</b>	<b>6</b>
2.1 Im allgemeinen . . . . .	6
2.2 Dynamische Simulation . . . . .	6
<b>3 Gleisfrequenzgänge und ihre Approximation</b>	<b>9</b>
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
<b>4 Semi-analytische, dreidimensionale Gleismodelle</b>	<b>17</b>
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
<b>5</b>	<b>Transformation in den Zeitbereich</b>	<b>42</b>
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
<b>6</b>	<b>Kontaktvorgang zwischen Rad und Schiene</b>	<b>57</b>
6.1	Normalkontaktproblem . . . . .	57
6.2	Gleislagefehler und Profilstörung . . . . .	59
<b>7</b>	<b>Numerische Lösungen für den Überrollvorgang des Rades</b>	<b>61</b>
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
<b>8</b>	<b>Behandlung des Überrollvorgangs als periodisch-zeitvariantes System</b>	<b>79</b>
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
<b>9</b>	<b>Anwendungsbeispiel bei deterministischer Anregung</b>	<b>107</b>
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
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>115</b>
<b>A</b>	<b>Gleisparameter</b>	<b>118</b>
<b>B</b>	<b>Gleismodell bei Momentenanregung</b>	<b>119</b>
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
<b>C</b>	<b>Mathematische Herleitung</b>	<b>131</b>
<b>D</b>	<b>Basiseigenwerte und zugehörige Eigenvektoren nach Hill für <math>J = 5</math></b>	<b>133</b>
	Literaturverzeichnis	141