

Dipl.-Ing. Sebastian Stichel, Berlin

# **Betriebsfestigkeitsberechnung bei Schienenfahrzeugen anhand von Simulationsrech- nungen**

Reihe **12**: Verkehrstechnik/  
Fahrzeugtechnik

Nr. **288**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Bestehende Vorschriften für Lastannahmen und Festigkeitsnachweise . . . . .	2
1.2 Ansätze für Verbesserungen . . . . .	5
1.3 Ziel der Arbeit . . . . .	7
1.4 Abgrenzung zu anderen Arbeiten . . . . .	8
1.5 Aufbau der Arbeit . . . . .	9
<b>2 Gleislagefehler</b>	<b>10</b>
2.1 Numerische Simulation . . . . .	12
2.2 Spektraldichtemethode . . . . .	13
2.3 Kovarianzmethode . . . . .	14
2.4 Programmtechnische Realisierung . . . . .	15
<b>3 Methoden zur Ermittlung der Fahrzeugantworten bei regelloser Anregung</b>	<b>18</b>
3.1 Numerische Simulation . . . . .	20
3.2 Kovarianzmethode . . . . .	20
3.2.1 Aufbau des Gesamtsystems . . . . .	20
3.2.2 Berechnen der Kovarianzmatrix des Systems . . . . .	22
3.2.3 Ausgabe bewerteter Größen . . . . .	23
3.3 Spektraldichtemethode . . . . .	24
3.4 Statistische Linearisierung . . . . .	26
<b>4 Ermittlung ertragbarer Beanspruchungen</b>	<b>28</b>
4.1 Statische Belastung . . . . .	28
4.2 Dynamische (schwingende) Belastung . . . . .	28
4.2.1 Kurzzeitfestigkeit . . . . .	29
4.2.2 Zeitfestigkeit . . . . .	29
4.2.3 Dauerfestigkeit . . . . .	30
4.2.4 Betriebsfestigkeit . . . . .	30
<b>5 Ermittlung von Belastungs- oder Beanspruchungskollektiven</b>	<b>32</b>
5.1 Ermittlung im Zeitbereich . . . . .	32
5.1.1 Einparametrische Klassierverfahren . . . . .	32
5.1.2 Zweiparametrische Klassierverfahren . . . . .	33
5.2 Ermittlung im Frequenzbereich . . . . .	35
5.2.1 Kennwerte eines normalverteilten stationären Zufallsprozesses . . . . .	35
5.2.2 Ermittlung des Kollektivs . . . . .	36
5.3 Zur Wahl des Klassierverfahrens . . . . .	39
5.4 Umrechnen des zweiparametrischen Kollektivs in ein einparametrisches Kollektiv	40
5.5 Vergleich der verschiedenen Methoden zur Ermittlung eines Kollektivs . . . . .	43
<b>6 Gleislage und Spektraldichte – Sind realistische Ergebnisse möglich?</b>	<b>48</b>
6.1 Rechnungen für NBS Göttingen–Hannover . . . . .	48
6.2 Vergleich mit Messungen . . . . .	52

<b>7</b>	<b>Schadensakkumulationshypothesen (SAH)</b>	<b>55</b>
7.1	Die Palmgren-Miner-Hypothese . . . . .	55
7.2	Kritik an der Palmgren-Miner-Hypothese . . . . .	56
7.3	Schadensakkumulationshypothese nach Corten Dolan . . . . .	56
<b>8</b>	<b>Konzept zur Festigkeitsberechnung – Direkte Methode</b>	<b>58</b>
8.1	Ermittlung von Belastungskollektiven . . . . .	62
8.2	Umrechnung in Beanspruchungskollektive . . . . .	62
8.2.1	Überlagerung zeitgleich wirkender einachsiger Beanspr.-Zeit-Verläufe . . . . .	65
8.2.2	Überlagerung zeitgleicher mehrachsiger Beanspruchungs-Zeit-Verläufe . . . . .	67
8.3	Betriebsfestigkeitsnachweis . . . . .	67
8.3.1	Allgemeiner Nachweis für eine Spannungskomponente . . . . .	67
8.3.2	Berücksichtigung eines mehrachsigen Spannungszustandes . . . . .	69
8.3.3	Berücksichtigung zeitlich nacheinander liegender Teilkollektive . . . . .	69
8.3.4	Ablaufdiagramm des Betriebsfestigkeitsnachweises . . . . .	69
<b>9</b>	<b>Festigkeitsberechnung an einem S-Bahn Drehgestell</b>	<b>71</b>
9.1	Wahl der gefährdeten Querschnitte . . . . .	71
9.2	Festlegen des Betriebsprogramms . . . . .	73
9.3	Betriebsfestigkeitsberechnung . . . . .	76
9.3.1	Längsträger . . . . .	77
9.3.2	Querträger . . . . .	78
9.4	Vergleich mit alten Lastannahmen . . . . .	80
9.5	Variation der Betriebsparameter . . . . .	81
9.6	Variation konstruktiver Parameter . . . . .	81
<b>10</b>	<b>Spannungsberechnung mit FEM (Indirekte Methode)</b>	<b>82</b>
10.1	Bestimmen einer äquivalenten Amplitude . . . . .	82
10.2	Statistisches Gleichgewicht . . . . .	83
10.3	Überlagerung mehrerer Betriebszustände . . . . .	86
<b>11</b>	<b>Einfluß deterministischer Anregungen auf die Festigkeit</b>	<b>88</b>
11.1	Bogeneinfahrt . . . . .	88
11.1.1	Bedeutung für die Betriebsfestigkeit . . . . .	90
11.2	Brückenüberfahrt . . . . .	93
<b>12</b>	<b>Betrachtungen zur Festigkeitsberechnung von Radsätzen und Wagenkästen</b>	<b>95</b>
12.1	Wagenkasten . . . . .	95
12.2	Radsatz . . . . .	96
12.3	Bedeutung hochfrequenter Schwingungsanteile für die Festigkeit . . . . .	104
<b>13</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>107</b>
<b>A</b>	<b>Daten</b>	<b>110</b>
	<b>Literatur</b>	<b>111</b>