

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenstellung häufig vorkommender Formelzeichen .....</b>	<b>XIII</b>
---	-------------

<b>Übersicht .....</b>	<b>1</b>
1 Inhalt dieses Bandes, Schwingungssysteme .....	1
1.1 Schwingungsersatzsysteme .....	3
1.2 Vereinfachte Schwingungsersatzsysteme .....	4
2 Gliederung des Bandes .....	8

<b>I Einführung, Schwingungsanregung, regellose Schwingungen .....</b>	<b>10</b>
3 Einmassensysteme .....	10
3.1 Eigenschwingungen .....	11
3.2 Erregerschwingungen durch Unebenheiten .....	14
3.3 Vergleich hydraulische Dämpfung und Gummidämpfung .....	19
3.3.1 Vergleich der Dämpfungen bei Unebenheitsanregung ...	21
3.4 Weitere Anregungen .....	21
3.4.1 Erregerschwingungen durch Motoranregung .....	21
3.4.2 Erregerschwingungen durch Rad-Reifenanregung .....	24
4 Sinusförmige Anregungen .....	29
4.1 Harmonische Anregung, Wellenfahrbahn .....	29
4.2 Periodische Anregungen .....	32
5 Stochastische Unebenheiten, statistische Kennzahlen, Spektrale Dichten .....	36
5.1 Stochastische Unebenheiten .....	36
5.2 Statistische Kennzahlen .....	38
5.3 Spektrale Dichte .....	40
6 Spektrale Dichte der Fahrbahnunebenheiten .....	42
6.1 Meßergebnisse von $\Phi_h(\Omega)$ .....	44
6.2 Anschauliche Deutungen für $\Phi_h(\Omega)$ .....	46
6.3 Einzelhindernisse .....	48

<b>II Beurteilungsmaßstäbe und ihre Berechnung .....</b>	<b>49</b>
7 Radlastschwankung, Fahrsicherheit, Straßenbeanspruchung .....	50
7.1 Fahrsicherheit .....	51
7.2 Straßenbeanspruchung .....	52
7.3 Radlaststoßfaktor .....	54
8 Federwege .....	54
8.1 Sitzfederweg .....	54
8.2 Radfederweg .....	56
9 Beurteilung der Schwingungseinwirkung auf den sitzenden Menschen .....	57
9.1 Bewertete Schwingstärke, Bewertungsfunktion, Sinus-Erregung .....	57
9.2 Bewertete Schwingstärke bei stochastischer Erregung .....	60
9.3 Stochastische Erregung und Einzelhindernisse .....	63
9.4 Zusammensetzung der Gesamtwahrnehmung .....	64
9.5 Einwirkdauer .....	64
9.6 Schwingungseinwirkung in Längs- und Querrichtung .....	65
10 Zusammenfassung der Berechnungen, Anforderungen .....	65
10.1 Harmonische Anregung .....	66
10.2 Stochastische Anregung .....	69
10.3 Anforderungen an Fahrzeug und Anregungen .....	70
 <b>III Schwingungstechnisch einfache Fahrzeuge bei Fahrt über Unebenheiten, Schwingungseigenschaften von Reifen und Sitz .....</b>	 <b>73</b>
11 Ungefedertes Fahrzeug .....	74
12 Gefedertes Fahrzeug ohne Reifen .....	75
13 Reifenfederung und -dämpfung .....	76
13.1 Reifenfederkonstante, -subtangente .....	76
13.2 Reifendämpfung .....	77
14 „Ungefedertes“ Kraftfahrzeug .....	79
15 Sitz .....	83
16 „Ungefedertes“ Kraftfahrzeug mit Sitz .....	85
 <b>IV Kraftfahrzeug, Unebenheits-Einpunktanregung .....</b>	 <b>88</b>
17 Bewegungsgleichungen, bezogene Größen .....	89
18 Vergrößerungsfunktionen, Beurteilungsmaßstäbe .....	91

18.1 Radlastschwankung, Fahrsicherheit .....	94
18.2 Aufbaubeschleunigung, Bewertete Schwingstärke für Hände und Füße .....	95
18.3 Sitzbeschleunigung, Bewertete Schwingstärke auf dem Sitz .....	95
18.4 Dynamische Federwege .....	96
19 Einfluß von Unebenheit und Fahrgeschwindigkeit .....	97
19.1 Betrachtung zur maximalen Geschwindigkeit, Fahrdauer und -strecke .....	99
20 Vergleich Kraftfahrzeug – langsame Fahrzeuge .....	101
21 Einfluß der Aufbaueigenfrequenz .....	102
22 Einfluß des Aufbaudämpfungsmaßes .....	107
22.1 Optimierung von Federung und Dämpfung, Konflikt-Schaubild .....	110
22.2 Zusammenfassung .....	113
23 Einfluß der Sitzeigenfrequenz und des Sitzdämpfungsmaßes .....	114
24 Einfluß der Radmasse .....	117
25 Einfluß der Reifenfederung .....	119
26 Beladungsabhängigkeiten .....	121
26.1 Einfluß der Beladung .....	121
26.2 Anpassung der Fahrzeugdaten an die Beladung .....	124
27 Hinweise zur schwingungstechnischen Auslegung .....	128
27.1 Hinweise für die Aufbaufederung .....	128
27.2 Hinweise für die Dämpfung, weitere Grenzen für Komfort und Fahrsicherheit .....	131
27.3 Weitere Hinweise .....	132
28 Anmerkungen zu nichtlinearen Kennungen .....	133
28.1 Linearisierung nichtlinearer Feder- und Dämpferkennungen .....	133
28.2 Nichtlineare Federkennungen .....	136
28.3 Nichtlineare Dämpferkennungen .....	138
28.4 Geknickt lineare Dämpferkennung .....	139
28.5 Reibungsdämpfung .....	139
28.6 Radabheben .....	143
29 Geregelte Fahrwerke .....	144
29.1 Anforderungen an ideal geregelte Fahrwerke bei Unebenheitsanregung .....	148
29.2 Konflikt Fahrsicherheit – Fahrkomfort .....	149
29.3 Extremwerte, bester Komfort, keine Radlastschwankung ....	153
29.4 Sky-Hook-Dämpfer .....	155

<b>V Zweiachsiges Kraftfahrzeug, Unebenheits-Einspuranregung</b> .....	157
30 Bewegungsgleichungen, komplexe Größen .....	158
31 Vergrößerungsfunktionen und Spektrale Dichten für Systeme ohne Koppelmasse.....	161
31.1 Radlastschwankung, Radfederweg.....	163
31.2 Aufbauhub- und -nickbeschleunigungen .....	163
31.3 Hubbeschleunigung am Sitz.....	166
31.4 Bewertete Schwingstärken.....	167
31.5 Sitzfederweg .....	170
32 Einfluß von Fahrgeschwindigkeit und Fahrzeuggröße.....	170
32.1 Einfluß der Fahrgeschwindigkeit .....	171
32.2 Einfluß der Fahrzeuggröße (Radstand).....	173
32.3 Einfluß von Fahrzeuggröße und Fahrgeschwindigkeit .....	174
33 Lage der Sitze .....	175
34 Abstimmung zwischen vorderem und hinterem System .....	177
34.1 Unterschiedliche Aufbaueigenfrequenzen .....	177
34.2 Verschiedene Aufbaudämpfungen .....	181
34.3 Mittelwert über einem Geschwindigkeitsbereich .....	182
35 Einfluß der Beladung .....	183
36 Einfluß von Koppelmasse und Radstand.....	185
36.1 Pkw mit unterschiedlichen Koppelmassen und gleichem Radstand .....	185
36.2 Busse mit unterschiedlichen Radständen und gleichem Nickträgheitsmoment .....	188
37 Hub- und Nickeigenfrequenz, Federkopplung vorn – hinten .....	190
38 Bremsnicken, Nickpol .....	193
39 Einfluß des elastisch gelagerten Antriebsaggregates (Stuckern) ..	196
39.1 Einfluß der Aggregateigenfrequenz.....	200
39.2 Einfluß der Lagerdämpfung .....	201
39.3 Einfluß der Kopplung am Aggregat.....	202
39.4 Einfluß der Aggregatmasse.....	203
39.5 Einfluß der Radeigenfrequenz .....	204
40 Zusammenfassung der Ergebnisse aus Kap. V .....	204
 <b>VI Vierrädriges Kraftfahrzeug, Unebenheits-Zweispuranregung</b> .....	 206
41 Bewegungsgleichungen des (vereinfachten) Vierradfahrzeuges ...	207
42 Auto-, Kreuzdichten und Kohärenz der Unebenheiten .....	212
42.1 Vereinfachung nach Parkhilowskij .....	214
42.2 Autospektren der Hub- und Wankanregung, Kohärenz.....	215
42.3 Wegabhängige Spektren .....	217

42.4 Meßergebnisse, Näherungsformel für Kohärenz .....	217
43 Streuung bei Zweispuranregung .....	219
44 Einfluß der zusätzlichen Wankschwingungen .....	221
44.1 Vergrößerungsfunktion der Aufbauwankbeschleunigung .....	221
44.2 Bewertete Schwingstärken mit Berücksichtigung der Wankschwingungen .....	225
44.3 Radlastschwankungen und Radfederwege .....	227
44.4 Geschwindigkeitseinfluß .....	229
44.5 Verallgemeinerung .....	229
45 Wirkung von Stabilisatoren .....	230
46 Zusammenfassung der Ergebnisse aus Kap. VI .....	233
<b>VII Auswirkung von Radaufhängungen bei Unebenheitsanregung .....</b>	<b>234</b>
47 Beschleunigungskopplung, Feder-Dämpferanordnung .....	235
47.1 Gleichungen für ein Fahrzeug mit Längslenker .....	235
47.2 Einfluß der Radaufhängung .....	238
47.3 Einfluß der Kopplung .....	239
48 Modellierung und Beurteilung im höheren Frequenzbereich (Hinweise) .....	241
49 Seitenkraft am Reifen durch Spurverschiebung .....	244
50 Spurverschiebung .....	246
50.1 Gleichungen für ein Fahrzeug mit Pendelachse .....	247
50.2 Einfluß der Spurverschiebung .....	249
51 Seitenschwingungen des Aufbaus, Starrachse .....	249
51.1 Gleichungen für ein Fahrzeug mit Starrachse .....	249
51.2 Eigenfrequenzen und Dämpfungsmaße .....	252
51.3 Seitenbeschleunigungen, Seitenkräfte .....	256
52 Zusammenfassung der Ergebnisse aus Kap. VII .....	257
<b>VIII Fahrzeug-Längsschwingungen .....</b>	<b>258</b>
53 Längsschwingungen durch Unebenheitsanregung .....	258
53.1 Bewegungsgleichungen .....	258
53.2 Umfangskraft beim Überfahren von Unebenheiten .....	258
53.3 Längsschwingungen mit steifer Lenkerlagerung und steifem Reifen .....	262
53.4 Anmerkungen .....	264
54 Längsschwingungen durch Motoranregung (Fahrzeugrucken) ....	264
54.1 Bewegungsgleichungen .....	264
54.2 Zeitverlauf, Vergleich Theorie-Versuch .....	266

54.3 Einfluß der Übersetzung und der Momente.....	267
54.4 Einfluß der Kraftschluß-Schlupf-Beziehung.....	268
<b>IX Motorerregte Fahrzeugschwingungen .....</b>	<b>270</b>
55 Anregung durch einen Einzylinder-Motor.....	271
55.1 Kinematik des Kurbeltriebs.....	271
55.2 Massenkraft .....	273
55.3 Massenmoment.....	273
55.4 Gasmoment .....	276
55.5 Gesamte Anregung beim Einzylinder-Motor .....	276
56 Anregungen durch einen 4-Takt-4-Zylinder-Reihenmotor .....	278
56.1 Massenkraft .....	278
56.2 Massen- und Gasmomente .....	280
56.3 Betriebsverhalten .....	284
56.4 Auswirkung ungleicher Verbrennung .....	287
57 Weitere Mehrzylinder-Motoren .....	289
58 Schwingungsanregung für den Fahrzeugaufbau .....	289
58.1 Schwingungersatzsystem.....	289
58.2 Vorteil einer elastischen Aggregatlagerung .....	293
58.3 Vereinfachte Betrachtungen, Asymptoten für Karosserieanregungen.....	294
58.3.1 Asymptoten.....	296
58.3.2 Anwendungsbeispiele .....	297
58.4 Allgemeiner Fall.....	300
58.4.1 Gasmomentenanregung.....	300
58.4.2 Einfluß der Kopplung am Antriebsaggregat.....	302
59 Auslegung von Aggregatlagern.....	303
59.1 Auslegung bei Massenanregung.....	303
59.2 Auslegung bei Gasmomentenanregung.....	304
59.3 Gemeinsame Betrachtung von Unebenheits- und Motorerregten Schwingungen .....	305
<b>X Zusammenfassung von Band B.....</b>	<b>307</b>
<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>309</b>