

## Inhaltsverzeichnis

<b>Einführung</b> . . . . .	<b>1</b>
1. Übersicht über die dynamischen Probleme. . . . .	1
2. Aufteilung in Einzelprobleme . . . . .	3
3. Gliederung . . . . .	6

### Erster Teil: Rad und Reifen

<b>I. Rollen, Haften—Gleiten, Antreiben—Bremsen</b> . . . . .	<b>7</b>
4. Bewegungsgleichungen am Rad . . . . .	7
5. Rollwiderstand . . . . .	8
6. Rollwiderstandsbeiwert . . . . .	10
6.1 Schwallwiderstand . . . . .	15
7. Lagerreibung, Anfahrwiderstand . . . . .	15
8. Antriebs- und Bremsmomente (unbeschleunigte Fahrt) . . . . .	17
9. Haften und Gleiten . . . . .	18
10. Schlupf, dynamischer Halbmesser, Abstand Achse—Fahrbahn . . . . .	22
11. Kraftschlußbeanspruchung und Schlupf . . . . .	26
12. Schubspannungen im Latsch, Teilgleiten . . . . .	31
13. Genauere Betrachtung der $\mu$ -Werte, Aquaplaning . . . . .	35
14. Beschleunigte Fahrt . . . . .	38
<b>II. Vertikallasten, Federung</b> . . . . .	<b>41</b>
15. Radlast . . . . .	41
16. Tragfähigkeit des Reifens, Temperaturgrenze . . . . .	42
17. Druckverteilung im Latsch . . . . .	45
18. Federkonstante . . . . .	49
19. Reifendämpfung . . . . .	51
<b>III. Seitliche Belastungen, räumliches Problem</b> . . . . .	<b>52</b>
20. Seitenkräfte, Rückstellmomente, Schräglaufwinkel . . . . .	52
21. Zum Verständnis der Schräglaufcharakteristiken . . . . .	55
21.1 Linearisierung der Schräglaufwinkelcharakteristiken . . . . .	58
22. Einfluß von Radlast, Fahrgeschwindigkeit, Nässe der Fahrbahn . . . . .	58
23. Einfluß der Umfangskräfte, maximale Horizontalkräfte . . . . .	63
24. Einfluß des Sturzes auf das Schräglaufverhalten . . . . .	68
25. Berücksichtigung der Beschleunigungen, räumliches Problem . . . . .	69
26. Einlaufverhalten des Reifens . . . . .	75

**Zweiter Teil: Antrieb und Bremsen**

27. Bewegungsgleichungen . . . . .	78
<b>IV. Luftkräfte und -momente . . . . .</b>	<b>81</b>
28. Bezeichnung der Luftbelastungen . . . . .	82
29. Anströmgeschwindigkeit und -richtung, Luftdichte . . . . .	85
30. Luftwiderstandsbeiwert . . . . .	88
31. Auftrieb . . . . .	95
32. Seitenbeiwerte . . . . .	97
33. Druckmittelpunkt, Heckflossen . . . . .	101
<b>V. Fahrwiderstände . . . . .</b>	<b>103</b>
34. Radwiderstände des gesamten Fahrzeuges . . . . .	103
34.1 Rollwiderstand . . . . .	104
34.2 Vorspurwiderstand . . . . .	104
34.3 Widerstand auf unebenen Fahrbahnen . . . . .	105
34.4 Kurvenwiderstand (Krümmungswiderstand) . . . . .	108
34.5 Zusammenfassung der einzelnen Radwiderstände . . . . .	108
35. Luftwiderstand . . . . .	109
36. Steigungswiderstand . . . . .	110
37. Beschleunigungswiderstand . . . . .	112
38. Gesamtwiderstand, Zugkraft, Leistung an den Antriebsrädern . . . . .	116
39. Zugwiderstand . . . . .	121
<b>VI. Antrieb, Motorkennung, Wandler . . . . .</b>	<b>121</b>
40. Antriebsmaschine konstanter Leistung, Kraftschlußgrenze. . . . .	122
41. Kennungen von Antriebsmaschinen. . . . .	124
41.1 Dampfantrieb . . . . .	124
41.2 Elektrische Antriebe . . . . .	125
41.3 Brennkraftmaschinen . . . . .	126
42. Brauchbarkeit der Antriebsmaschinen für den Fahrzeugbetrieb. . . . .	127
43. Verbrennungsmotor . . . . .	131
44. Kennungswandler, allgemein. . . . .	134
45. Drehzahlwandler . . . . .	135
46. Drehmomentenwandler . . . . .	138
46.1 Zusammenarbeit Motor und Stufengetriebe . . . . .	139
46.2 Zusammenarbeit Motor und stufenloses Getriebe . . . . .	140
<b>VII. Fahrleistungen . . . . .</b>	<b>143</b>
47. Fahrzustandsschaubilder . . . . .	143
47.1 Vereinfachte Fahrzustandsschaubilder . . . . .	145
47.2 Exakte Darstellung . . . . .	146
48. Höchstgeschwindigkeit in der Ebene . . . . .	149
49. Steigfähigkeit . . . . .	153
50. Beschleunigungsfähigkeit . . . . .	161
50.1 Geschwindigkeiten, Wege, Zeiten. . . . .	162
50.2 Fahrzeuge mit idealer Zugkraftkennlinie . . . . .	165
50.3 Übersetzung der Zwischengänge . . . . .	168
50.4 Zugkraftunterbrechung . . . . .	170
51. Treibstoffverbrauch . . . . .	172

<b>VIII. Fahrgrenzen</b>	178
52. Größe der Vertikallasten	178
53. Kraftschlußbeanspruchung bei Vorder- bzw. Hinterachsantrieb	181
53.1 Unbeschleunigte Fahrt in der Ebene	185
53.2 Steigungsfahrt (unbeschleunigt)	185
53.3 Beschleunigte Fahrt (in der Ebene)	187
54. Allradantrieb	190
54.1 Unbeschleunigte Fahrt in der Ebene	190
54.2 Steigungsfahrt (unbeschleunigt)	192
<b>IX. Bremsung</b>	193
55. Aufgaben der Bremsanlagen, Umwandlung in Wärme.	193
55.1 Arbeit und Leistung bei der Verzögerungsbremung	194
55.2 Arbeit und Leistung bei der Beharrungsbremung	195
56. Bremsmomente, Bremskräfte, Abbremsung	197
57. Beharrungsbremung durch den Motor	199
58. Bremswege bei Verzögerungsbremung	202
58.1 Bremsvorgang	202
58.2 Anhalteweg	204
58.3 Bremswegverlängerung gegenüber einer idealen Abbremsung	206
59. Kraftschlußbeanspruchung bei Verzögerungsbremung, Gütegrad.	209
59.1 Veränderung der Abbremsung über der Fahrgeschwindigkeit	212
59.2 Veränderung der Bremskraftverteilung	214
59.3 Begrenzung der Bremskräfte	216
60. Ideale Bremskraftverteilung	217
61. Auslegung der Bremskraftverteilung	221
62. Kraftschlußbeanspruchung bei veränderlicher Beladung	224
63. Abbremsung zwischen Zugfahrzeug und Anhänger	228
64. Blockierendes Rad	230
64.1 Lösung im Bereich $0 \leq s \leq s_c$	233
64.2 Lösung im Bereich $s_c \leq s \leq 1$	234
64.3 Für den Blockiervorgang wichtige Größen	235
<b>Dritter Teil: Fahrzeugschwingungen</b>	
65. Schwingungersatzschema eines Fahrzeuges	236
<b>X. Einmassensystem</b>	240
66. Eigenschwingungen, Stabilität	241
67. Erregerschwingungen	245
68. Einfach abgefederte Fahrzeuge.	249
69. Radsystem	259
<b>XI. Schwingungsanregung, Beurteilungsmaßstäbe, regellose Schwingungen</b>	260
70. Anregung durch Fahrbahnunebenheiten	260
71. Anregung durch Rad und Reifen	266
72. Schwingbequemlichkeit	272
73. Belastungen, Fahrsicherheit	275
74. Berechnung regelloser Schwingungen	279
75. Spektrale Dichte der Fahrbahnunebenheiten	283

<b>XII. Schwingungen des Aufbaues und des Rades</b> <b>(feder- und dämpfergekoppeltes Zweimassensystem)</b>	286
76. Bewegungsgleichungen, Eigenfrequenzen	287
77. Erregerschwingungen, Vergleich Kraftfahrzeug — einfach abgefederte Fahrzeuge	289
78. Fahrzeug — Straße — Fahrgeschwindigkeit	291
79. Einfluß der Aufbaufederkonstanten $c_2$	298
80. Einfluß der Aufbaudämpfungs konstanten $k_2$	303
81. Einfluß der Radmasse $m_1$	305
82. Einfluß der Reifendaten	307
83. Einfluß der Aufbaumasse $m_2$ (Beladungsänderung)	309
84. Anpassung der Fahrzeugdaten an die Beladung	311
<b>XIII. Sitzfederung, Radaufhängung, nichtlineare Kennungen</b>	314
85. Sitzfederung	314
86. Einfluß der Radaufhängungen	319
86.1 Einfluß der Reifenverformung	324
86.2 Einfluß der Beschleunigungskopplung	329
87. Trampeln der Starrachse	329
88. Nichtlineare Feder- und Dämpferkennungen, Linearisierung	333
88.1 Nichtlineare Federkennungen	337
88.2 Nichtlineare Dämpferkennungen	338
88.3 Reibungsdämpfung	340
<b>XIV. Zweifachsfahrzeug</b>	343
89. Bewegungsgleichungen, Vergrößerungsfaktoren, $m_K = 0$	343
90. Einfluß der Fahrgeschwindigkeit	347
91. Lage der Sitze	350
92. Einfluß der Fahrzeuggröße (Radstand)	352
93. Verschiedene Abstimmung der vorderen und hinteren Teilsysteme	354
94. Bewegungsgleichungen, $m_K \neq 0$	358
95. Einfluß der Koppelmasse und des Radstandes	359
96. Nickenfrequenz, Kopplung zwischen vorderer und hinterer Federung	365

#### Vierter Teil: Lenkung und Kurshaltung

97. Zentripetalbeschleunigung	368
97.1 Größe der Zentripetalbeschleunigungen und der Krümmungsradien	369
98. Momentanpol im Grundriß	371
<b>XV. Kreisfahrt (einfache Betrachtung)</b>	373
99. Kreisradius — Radeinschlag — Schräglaufwinkel	374
100. Radeinschlag bei Vernachlässigung der Schräglaufwinkel	377
101. Breitenbedarf	380
102. Kräfte bei Kreisfahrt	382
102.1 Vereinfachung der Gleichungen	383
103. Schleudergrenze (einfache Betrachtung)	385
104. Über- und Untersteuern, Radeinschlag	387
105. Einfluß der Reifengröße bzw. -bauart	393

106. Einfluß des Kraftschlusses . . . . .	395
107. Einfluß des Reifenluftdruckes . . . . .	395
108. Einfluß des Radsturzes . . . . .	396
109. Unterschiedlicher Radeinschlag . . . . .	398
110. Eigenlenkverhalten der Achsen . . . . .	400
111. Kurvenwiderstand . . . . .	402
112. Fahrgrenzen bei Kreisfahrt . . . . .	405
112.1 Fahrgrenze durch Kraftschluß, Änderung des Schräglaufes . . . . .	405
112.2 Fahrgrenze durch die Antriebsleistung . . . . .	408
<b>XVI. Kreisfahrt (umfassendere Betrachtungsweise) . . . . .</b>	<b>409</b>
113. Einfluß von Radlaständerung, Schwerpunkthöhe und Spurweite . . . . .	409
114. Unterschiedliche Radlaständerung an den Achsen, Kippgrenze . . . . .	414
115. Momentanzentrum, Momentanachse . . . . .	416
116. Berechnung der vertikalen Radlasten und der Fahrzeugneigung (am Beispiel der Starrachse) . . . . .	417
117. Verschiedene Radaufhängungen . . . . .	420
118. Unterschiedliche Federhärten, Stabilisator . . . . .	424
<b>XVII. Wege und Momente am Lenkrad . . . . .</b>	<b>425</b>
119. Definition der Vorderradkinematik . . . . .	426
120. Moment am Lenkrad . . . . .	427
121. Bewegungen und Belastungen am gelenkten Vorderrad . . . . .	432
121.1 Bewegungen am Rad und Achsschenkelbolzen . . . . .	433
121.2 Belastungen am Rad und Achsschenkelbolzen . . . . .	436
122. Summe der Momente um beide Achsschenkelbolzen . . . . .	438
123. Lenkmoment bei langsamer Kurvenfahrt . . . . .	440
124. Lenkmoment im Stand . . . . .	444
125. Lenkmoment bei schneller Kurvenfahrt . . . . .	446
126. Störmomente bei Geradeausfahrt . . . . .	452
127. Neigungsänderung des Lenkzapfens . . . . .	455
128. Bezogener Lenkradeinschlag $\beta_L^*$ , Über- und Untersteuern . . . . .	456
129. Lenkradmoment . . . . .	460
<b>XVIII. Dynamische Vorgänge, Kurshaltung . . . . .</b>	<b>462</b>
130. Einführung . . . . .	462
131. Vorüberlegungen zu einem einfachen Fahrzeugmodell . . . . .	465
132. Aufstellung der Bewegungsgleichungen . . . . .	467
132.1 Schwerpunktsatz für den Aufbau . . . . .	470
132.2 Drallsatz für den Aufbau . . . . .	471
132.3 Bestimmung der vertikalen Radlasten . . . . .	473
132.4 Reifenbelastungen . . . . .	475
132.5 Beziehung Lenkrad- und Radeinschlag . . . . .	476
132.6 Luftbelastungen . . . . .	477
132.7 Zusammenfassung der Bewegungsgleichungen . . . . .	478
133. Kreisfahrt . . . . .	481
133.1 Reifen-, Lenkungs-, Radaufhängungselastizität . . . . .	483
133.2 Einfluß des Luftmomentes . . . . .	486
133.3 Einfluß der Schwerpunkthöhe und der Aufbauneigung . . . . .	487
133.4 Dimensionslose Darstellung . . . . .	489

## **XII**

## **Inhaltsverzeichnis**

134. Lösung der homogenen Gleichung, Stabilitätsbedingung. . . . .	490
135. Lenkverhalten von Kraftfahrzeugen . . . . .	494
136. Seitenwindverhalten von Kraftfahrzeugen . . . . .	511
137. Fahrer — Fahrzeug — Seitenwind . . . . .	520
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>524</b>