

Prof. Dipl.-Ing. Jörnsen Reimpell
Prof. Dr.-Ing. Jürgen W. Betzler

Fahrwerktechnik: Grundlagen

Fahrwerk und Gesamtfahrzeug
Radaufhängungen und Antriebsarten
Achskinematik und Elastokinematik
Lenkanlage – Federung – Reifen
Konstruktions- und Berechnungshinweise

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Jürgen W. Betzler

5., überarbeitete Auflage

Vogel Buchverlag

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Radaufhängungen und Antriebsarten	13
1.1 Allgemeine Merkmale von Radaufhängungen	13
1.2 Einzelradaufhängungen, allgemein	19
1.2.1 Anforderungen	19
1.2.2 Doppelquerlenker-Radaufhängungen	20
1.2.3 Radführende Feder- und Dämpferbeine	22
1.2.4 Längslenker-Hinterachsen	27
1.2.5 Schräglenker-Hinterachsen	29
1.2.6 Mehrlenkerachsen	31
1.3 Starr- und Verbundlenkerachsen	34
1.3.1 Starrachsen	34
1.3.2 Verbundlenkerachsen	40
1.4 Standardbauweise, Motor vorn und Antrieb hinten	43
1.4.1 Vor- und Nachteile der Standardbauweise	43
1.4.2 Nichtangetriebene Vorderachsen	48
1.4.3 Angetriebene Hinterachsen	53
1.5 Heck- und Mittelmotorantrieb	55
1.6 Vorderradantrieb	58
1.6.1 Bauarten	58
1.6.2 Vor- und Nachteile des Vorderradantriebs	61
1.6.3 Angetriebene Vorderachsen	69
1.6.4 Nichtangetriebene Hinterachsen	70
1.7 Allradantrieb	76
1.7.1 Vor- und Nachteile	76
1.7.2 Zuschaltbarer Allradantrieb bei Pkw und Kombiwagen	80
1.7.3 Manuell zuschaltbarer Allradantrieb bei Nkw und Geländewagen (Mehrzweck-Pkw)	84
1.7.4 Permanenter Allradantrieb, Basis Pkw mit Motor an Antriebsachse	84
1.7.5 Permanenter Allradantrieb, Basis Pkw in Standardbauweise	92
1.7.6 Übersicht realisierter Allradantriebsvarianten	98
2 Reifen und Räder	99
2.1 Forderungen an die Bereifung	99
2.1.1 Austauschbarkeit	99
2.1.2 Forderungen bei Pkw	100
2.1.3 Forderungen bei Nkw	101
2.2 Reifenausführungen	102
2.2.1 Reifen in Diagonalbauart	102
2.2.2 Reifen in Radial-Gürtelbauart	103
2.2.3 Schlauchlos oder mit Schlauch	105

2.2.4	Höhen-Breiten-Verhältnis	106
2.2.5	Reifenabmessungen und -bezeichnungen	109
2.2.6	Reifentragfähigkeiten und Luftdrücke	111
2.2.7	Reifenkennzeichnung auf der Seitenwand	117
2.2.8	Reifenabrollumfang und Fahrgeschwindigkeit	117
2.2.9	Einfluß des Reifens auf den Geschwindigkeitsmesser	120
2.2.10	Reifenprofile	122
2.3	Räder	122
2.3.1	Begriffe	122
2.3.2	Felgen für Pkw, Leicht-Nkw und deren Anhänger	122
2.3.3	Räder für Pkw, Leicht-Nkw und deren Anhänger	125
2.3.4	Radbefestigungen	128
2.4	Federungsverhalten	129
2.5	Ungleichförmigkeit	131
2.6	Rollwiderstand	133
2.6.1	Rollwiderstand bei Geradeausfahrt	133
2.6.2	Rollwiderstand bei Kurvenfahrt	134
2.6.3	Sonstige Einflußgrößen	136
2.7	Umfangskraftbeiwerte und Reibungszahlen	136
2.7.1	Schlupf	136
2.7.2	Reibungsbeiwerte und -zahlen	137
2.7.3	Fahrbahneinflüsse	138
2.8	Seitenkraftbeiwerte und Reibungszahlen	140
2.8.1	Seitenkräfte, Schräglaufwinkel und Reibungszahl	140
2.8.2	Eigenlenkverhalten von Fahrzeugen	142
2.8.3	Reibungszahlen und Schlupf	144
2.8.4	Seitenführungseigenschaften auf trockener Fahrbahn	145
2.8.5	Einflußgrößen	147
2.9	Resultierender Kraftbeiwert	150
2.10	Reifenrückstellmoment und Reifennachlauf	152
2.10.1	Rückstellmoment, allgemein	152
2.10.2	Reifennachlauf	153
2.10.3	Einflußgrößen an den Vorderrädern	154
2.11	Reifenkippmoment und Kraftangriffspunktverlagerung	156
2.12	Lastwechselreaktionen	158
2.12.1	Lastwechselreaktionen als Folge der Normalkraftänderung	158
2.12.2	Lastwechselreaktionen durch Reifenrückstellmomente	158
2.12.3	Einfluß von Kinematik und Elastokinematik	160
3	Radhub- und Elastokinematik	161
3.1	Zweck der Achseinstellwerte	162
3.2	Radstand	163
3.3	Spurweite	164
3.4	Wankzentrum und Wankachse	174
3.4.1	Begriffsbestimmung	174
3.4.2	Wankachse	176
3.4.3	Wankzentrum bei Einzelradaufhängungen	177
3.4.4	Wankzentrum bei Verbundlenkerachsen	183
3.4.5	Wankzentrum bei Starrachsen	185
3.5	Sturz	187
3.5.1	Sturzwerte und Sturzangaben	187
3.5.2	Kinematische Sturzänderung	189
3.5.3	Zeichnerische Ermittlung der Sturzänderung	192
3.5.4	Wanksturz bei Kurvenfahrt	193

3.5.5	Elastizitätssturz	
3.6	Vorspur und Eigenlenken	
3.6.1	Vorspur- und Fahr	
3.6.2	Vorspur- bzw. Len	
3.6.3	Vorspur- bzw. Len	
3.6.4	Vorspur- bzw. Len	
3.6.5	Vorspur- bzw. Len	
3.7	Lenkwinkel und Lenküber	
3.7.1	Lenkwinkel	
3.7.2	Spur- und Wendek	
3.7.3	Kinematische Len	
3.7.4	Dynamische Lenk	
3.8	Lenkungsrückstellung, allg	
3.9	Spreizung und Lenkrollhal	
3.9.1	Zusammenhang S	
3.9.2	Bremskrafthebelar	
3.9.3	Längskrafthebelar	
3.9.4	Änderung des Len	
3.10	Nachlauf	
3.10.1	Nachlaufstrecke u	
3.10.2	Nachlauf und Ge	
3.10.3	Rückstellmoment	
3.10.4	Spreizungs-, Sturz	
3.10.5	Kinematische Na	
3.10.6	Wegabhängige Di	
3.10.7	Zerlegung der He	
3.10.8	Einstellwerte und	
3.11	Brems- und Anfahrickab	
3.11.1	Begriffsbestimmu	
3.11.2	Nickpole vorn	
3.11.3	Nickpole hinten	
3.12	Fahrwerkvermessung	
3.12.1	Meß- und Prüfein	
3.12.2	Messung-der Na	
4	Lenkung	
4.1	Lenkanlage	
4.1.1	Anforderungen	
4.1.2	Lenkanlage bei F	
4.1.3	Lenkanlage bei S	
4.2	Zahnstangenlenkung	
4.2.1	Vor- und Nachtr	
4.2.2	Ausführungsfor	
4.2.3	Lenkgetriebe, m	
4.2.4	Lenkgetriebe, m	
4.3	Kugelumlaufen	
4.3.1	Vor- und Nachtr	
4.3.2	Lenkgetriebe	
4.4	Hilfskraftlenkungen (Ser	
4.4.1	Hydraulische H	
4.4.2	Elektrohydrauli	
4.4.3	Elektrische Hilf	
4.5	Lenksäule	
4.6	Lenkungsdämpfer	

106			
109			
111			
117			
117			
120			
122			
122			
122			
125			
128			
129			
131			
133			
133			
134			
136			
136			
136			
137			
138			
140			
140			
142			
144			
145			
147			
150			
152			
152			
153			
154			
156			
158			
158			
158			
160			
161			
162			
163			
164			
174			
174			
176			
177			
183			
185			
187			
187			
189			
192			
193			
	3.5.5	Elastizitätssturz	196
	3.6	Vorspur und Eigenlenken	197
	3.6.1	Vorspur- und Fahrachswinkel, Zahlenwerte und Toleranzen	197
	3.6.2	Vorspur- bzw. Lenkwinkeländerung infolge Radhubkinematik	201
	3.6.3	Vorspur- bzw. Lenkwinkeländerung infolge Wankens	203
	3.6.4	Vorspur- bzw. Lenkwinkeländerung durch Seitenkräfte	209
	3.6.5	Vorspur- bzw. Lenkwinkeländerung durch Längskräfte	213
	3.7	Lenkwinkel und Lenkübersetzung	219
	3.7.1	Lenkwinkel	219
	3.7.2	Spur- und Wendekreis	221
	3.7.3	Kinematische Lenkübersetzung	224
	3.7.4	Dynamische Lenkübersetzung	228
	3.8	Lenkungsrückstellung, allgemein	229
	3.9	Spreizung und Lenkrollhalbmesser	231
	3.9.1	Zusammenhang Spreizung und Lenkrollhalbmesser	231
	3.9.2	Bremskraftbelarm	236
	3.9.3	Längskraftbelarm	238
	3.9.4	Änderung des Lenkrollhalbmessers	240
	3.10	Nachlauf	240
	3.10.1	Nachlaufstrecke und -winkel	240
	3.10.2	Nachlauf und Geradeausfahrt	244
	3.10.3	Rückstellmomente bei Kurvenfahrt	245
	3.10.4	Spreizungs-, Sturz- und Nachlaufänderung infolge Lenkens	248
	3.10.5	Kinematische Nachlaufänderung in Abhängigkeit der Radwege vorn	254
	3.10.6	Wegabhängige Drehung des hinteren Radträgers	259
	3.10.7	Zerlegung der Hochkraft bei Nachlauf	260
	3.10.8	Einstellwerte und Toleranzen	263
	3.11	Brems- und Anfahrnickabstützung	264
	3.11.1	Begriffsbestimmung	264
	3.11.2	Nickpole vorn	264
	3.11.3	Nickpole hinten	267
	3.12	Fahrwerkvermessung	269
	3.12.1	Meß- und Prüfeinrichtungen zur Fahrwerkvermessung	269
	3.12.2	Messung der Nachlauf-, Spreizungs-, Sturz- und Vorspuränderung	272
	4	Lenkung	275
	4.1	Lenkanlage	275
	4.1.1	Anforderungen	275
	4.1.2	Lenkanlage bei Einzelradaufhängungen	278
	4.1.3	Lenkanlage bei Starrachsen	278
	4.2	Zahnstangenlenkung	280
	4.2.1	Vor- und Nachteile	280
	4.2.2	Ausführungsformen	281
	4.2.3	Lenkgetriebe, manuell, Seitenabgriff der Spurstangen	283
	4.2.4	Lenkgetriebe, manuell, Mittenabgriff der Spurstangen	286
	4.3	Kugelumlauf lenkung	286
	4.3.1	Vor- und Nachteile	286
	4.3.2	Lenkgetriebe	288
	4.4	Hilfskraftlenkungen (Servolenkungen)	289
	4.4.1	Hydraulische Hilfskraftlenkungen	290
	4.4.2	Elektrohydraulische Hilfskraftlenkungen	292
	4.4.3	Elektrische Hilfskraftlenkungen	294
	4.5	Lenksäule	297
	4.6	Lenkungsdämpfer	303

4.7	Lenkkinematik	303
4.7.1	Einfluß von Art und Lage des Lenkgetriebes	303
4.7.2	Lenkviereck und Lenkdreieck	305
4.7.3	Spurstangenlänge und -lage	307
5	Federung	317
5.1	Komfortforderungen	317
5.1.1	Federungskomfort	318
5.1.2	Abrollkomfort	322
5.1.3	Verhindern des «Stuckerns»	322
5.2	Massen, Schwingungszahlen und Federraten	324
5.3	Gewichte und Achslasten	328
5.3.1	Leergewicht und Masse des Fahrzeugs	329
5.3.2	Zulässiges Gesamtgewicht und Gesamtmasse	330
5.3.3	Zulässige Nutzlast	330
5.3.4	Konstruktionsgewicht	333
5.3.5	Zulässige Achslasten	333
5.3.6	Lastverteilung nach ISO 2416	335
5.4	Federungskennlinien	339
5.4.1	Vorderachse	339
5.4.2	Hinterachse	341
5.4.3	Federung nach Kurvenverhalten	346
5.4.4	Schrägfederung	350
5.5	Federnarten	350
5.5.1	Luft- und Gasfedern	351
5.5.2	Stahlfedern	352
5.5.3	Anschläge und Zusatzfedern	356
5.5.4	Stabilisatoren	357
5.6	Stoßdämpfer	358
5.6.1	Einbauarten	359
5.6.2	Zweirohrdämpfer, drucklos	360
5.6.3	Zweirohrdämpfer, druckbelastet	366
5.6.4	Einrohrdämpfer, druckbelastet	367
5.6.5	Einrohrdämpfer, drucklos	374
5.6.6	Dämpfungsdiagramme und -kennlinien	376
5.6.7	Dämpferaufhängungen	378
5.6.8	Anschläge und Zusatzfedern	380
5.7	Federdämpfer	385
5.8	Feder- und Dämpferbeine	385
5.8.1	Federbeinausführungen	385
5.8.2	Zweirohrfederbeine, drucklos	387
5.8.3	Zweirohrfederbeine, druckbelastet	387
5.8.4	Dämpferbeine	391
5.9	Variable Dämpfung	391
6	Fahrwerk und Gesamtfahrzeug	397
6.1	Fahrzeug- und Aufbauswerpunkt	397
6.1.1	Schwerpunkt und Fahrverhalten	397
6.1.2	Ermittlung des Fahrzeugschwerpunktes	398
6.1.3	Achsgewichte und -schwerpunkte	403
6.1.4	Aufbaugewicht und -schwerpunkt	405
6.2	Massenträgheitsmomente	405
6.3	Bremsverhalten	407
6.3.1	Bremsvorgang	408

6.3.2	Bremsstabilität	
6.3.3	Berechnung des Nickpe	
6.3.4	Einfluß von Nickpe	
6.3.5	Bremsnickausgleich	
6.4	Antriebsverhalten	
6.4.1	Anfahrvorgang	
6.4.2	Steigfähigkeit	
6.4.3	Rutschgrenzen	
6.5	Plattform-, Baukasten- und	

Formelzeichen mit Benennungen in De

Im Text genannte Automobilfirmen

Im Text genannte Systemlieferanten un

Literaturverzeichnis

Stichwortverzeichnis

6.3.2	Bremsstabilität	410
6.3.3	Berechnung des Nickwinkels	414
6.3.4	Einfluß von Nickpolen	418
6.3.5	Bremsnickausgleich und Bremsabstützwinkel	421
6.4	Antriebsverhalten	422
6.4.1	Anfahrvorgang	422
6.4.2	Steigfähigkeit	425
6.4.3	Rutschgrenzen	427
6.5	Plattform-, Baukasten- und Gleichteilsysteme	430
	Formelzeichen mit Benennungen in Deutsch und Englisch	433
	Im Text genannte Automobilfirmen	449
	Im Text genannte Systemlieferanten und Komponentenhersteller	451
	Literaturverzeichnis	453
	Stichwortverzeichnis	455