

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	XI
1 Einleitung	1
1.1 Aufgaben der Radführung	1
1.2 Zum Aufbau des Buches	3
1.3 Das Koordinatensystem	4
2 Bauarten und Freiheitsgrade	7
2.1 Freiheitsgrade der Radaufhängungen	7
2.2 Bauteile der Radaufhängungen	8
2.2.1 Der Radträger	8
2.2.2 Die Gelenke	8
2.2.3 Die Lenker	10
2.2.4 Die kinematische Kette	12
2.3 Grundmodelle der Radaufhängungen	13
2.3.1 Deduktion aus der starren Aufhängung eines Körpers	13
2.3.2 Einzelradaufhängungen	15
2.3.3 Starrachsaufhängungen	18
2.3.4 Tandem-Radträger	21
2.3.5 Verbundaufhängungen	21
3 Kinematische Analyse der Radführungen	23
3.1 Grundlagen aus der ebenen Getriebelehre	23
3.2 Grundlagen der Vektorrechnung	30
3.3 Zur Systematik der Radaufhängungen	33
3.4 Bewegungszustand des Radträgers	38
3.5 Äußere und innere Kräfte an der Radaufhängung	44
3.6 Einfluss von Gelenkwellen und Vorgelegegetrieben	49
3.7 Radbewegung bei Federungs- und Lenkvorgängen	60
4 Der Reifen	63
4.1 Aufbau und Eigenschaften	63
4.2 Schräglauf und Schlupf	65

5	Federung und Dämpfung	71
5.1	Aufgaben der Federung	71
5.2	Fahrzeugschwingungen	72
5.2.1	Einmassenschwinger	72
5.2.2	Zweimassenschwinger	79
5.2.3	Nickschwingung und Wankschwingung	81
5.3	Federsysteme	88
5.4	Federung und Radaufhängung	95
5.5	Fahrzeugfedern	102
5.5.1	Allgemeines	102
5.5.2	Blattfedern	102
5.5.3	Drehstabfedern	108
5.5.4	Schraubenfedern	111
5.5.5	Gummielastische Federn	116
5.5.6	Gasfedern	121
5.6	Schwingungsdämpfer	124
5.7	Der Schrägfederungswinkel	128
6	Antrieb und Bremsung	131
6.1	Stationärer Beschleunigungs- und Bremsvorgang	131
6.2	Antriebs- und Brems-Stützwinkel	134
6.2.1	Allgemeines	134
6.2.2	Radträgerfeste Momentenstütze	138
6.2.3	Fahrgestellfeste Momentenstütze	141
6.2.4	Sonderfälle	147
6.2.5	Effektiver Stützwinkel	150
6.3	Anfahr- und Bremsnicken	152
6.3.1	Statisches und dynamisches Anfahr- und Bremsnicken	152
6.3.2	Einachsantrieb und Einachsbremung	154
6.3.3	Kraftübertragung durch Gelenkwellen	157
6.3.4	Vorgelege-Untersetzungsgetriebe im Radträger	159
6.3.5	Rückwirkung der Längskräfte auf die Federungskennlinie	161
6.3.6	Unsymmetrische Fahrzeuglage	163
6.3.7	Einfluss der ungefederten und der rotierenden Massen	165
6.3.8	Einfluss der elastischen Lager der Radaufhängung	166
6.4	Doppelachsaggregate	168

7 Kurvenfahrt	171
7.1 Die Sturz- und Vorspuränderung bei Radbewegung	171
7.2 Kräfte und Momente unter Querbeschleunigung	173
7.3 Das Rollzentrum	181
7.3.1 Das Fahrzeug bei sehr geringer Querbeschleunigung	181
7.3.2 Das Fahrzeug bei hoher Querbe- schleunigung	187
7.3.3 Einfaches Modell zur Nachbildung der Radbewegung	194
7.4 Die Fahrzeuglage bei stationärer Kurvenfahrt	198
7.5 Das kinematische Eigenlenkverhalten	210
7.6 Fahrstabilität bei Zweispurfahrzeugen	220
7.7 Kurvenfahrt von Einspurfahrzeugen	226
 8 Die Lenkung	 231
8.1 Grund-Bauarten	231
8.2 Lenkgetriebe	232
8.3 Kenngrößen der Lenkgeometrie	235
8.3.1 Herkömmliche Definitionen und physikalische Bedeutung	235
8.3.2 Allgemeingültige Definitionen bei räumlicher Geometrie	242
8.4 Das Lenkgestänge	263
8.4.1 Bauarten	263
8.4.2 Die Lenkfunktion	266
8.4.3 Das Rückstellmoment der Lenkung	274
8.4.4 Lenkungsschwingungen	281
8.5 Selbst einstellende Lenkvorrichtungen	282
 9 Die Elasto-Kinematik der Radaufhängungen	 287
9.1 Allgemeines	287
9.2 Elasto-Kinematik bei Einzelradaufhängungen	292
9.2.1 Elastisches Verhalten des Radführungs- mechanismus	292
9.2.2 Elastisch gelagerte Hilfsrahmen	308
9.3 Statisch überbestimmte Systeme	314
 10 Servo- und Regelsysteme am Fahrwerk	 317
10.1 Allgemeines	317
10.2 Bremsanlage und Antriebsstrang	319

10.3	Geregelte Federungs- und Dämpfersysteme	322
10.4	Servolenkungen und aktive Lenksysteme	329
10.5	Überwachung des Reifen-Innendrucks	337
10.6	Fahrwerks-Regelsysteme im Verbund	338
11	Synthese und Konstruktion	341
11.1	Allgemeines	341
11.2	Ebene Radaufhängungen	342
11.3	Kinematische Synthese des räumlichen Systems	346
11.4	Anmerkungen zur Konstruktion	353
12	Aufhängungen für Motorräder	371
13	Einzelradaufhängungen	383
13.1	Allgemeines	383
13.2	Aufhängungen für Vorderräder	383
13.2.1	Lenkgeometrie mit fahrgestellfestem Lenkzapfen	383
13.2.2	Lenkgeometrie mit radträgerfester Spreizachse	387
13.2.3	Lenkgeometrie mit ideeller Spreizachse	396
13.3	Aufhängungen für Hinterräder	401
13.3.1	Ebene Mechanismen	401
13.3.2	Sphärische Mechanismen	405
13.3.3	Räumliche Mechanismen	410
14	Starrachsführungen	419
14.1	Allgemeines	419
14.2	Deichsel- und Schubkugelachsen	422
14.3	Lenkergeführte Starrachsen	427
14.4	Statisch überbestimmte Systeme	431
15	Verbundaufhängungen	435
	Schlussbemerkung	445
	Schrifttum	447
	Stichwortverzeichnis	451

Formelzeichen

Vektoren werden durch **Fettschrift** gekennzeichnet:

\mathbf{v} = Geschwindigkeitsvektor; v = skalare Größe der Geschwindigkeit.

$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = c$ „inneres“ oder „Skalarprodukt“ der Vektoren \mathbf{a} und \mathbf{b} ; das Ergebnis ist der Skalar c .

$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = \mathbf{c}$ „äußeres“ oder „Vektorprodukt“ der Vektoren \mathbf{a} und \mathbf{b} ; das Ergebnis ist ein Vektor \mathbf{c} , der senkrecht auf \mathbf{a} und \mathbf{b} steht.

A	mm ²	Fläche
A		Radaufstandspunkt
a	mm/s ²	Beschleunigung
a_q	mm/s ²	Querbeschleunigung
b	mm	Spurweite
c	N/mm	Federrate
c_F	N/mm	Tragfederrate
c_{FA}	N/mm	effektive Federrate am Radaufstandspunkt
c_S	N/mm	Stabilisatorrate je Rad
c_A	N/mm	Ausgleichsfederrate je Rad
c_φ	Nmm/rad	Drehfederrate zum Winkel φ
D		Dämpfungsmaß
D		Schnittpunkt Spreizachse/Fahrbahnebene
D		Drehpunkt
d		Spreizachse; Drehachse
E	N/mm ²	Elastizitätsmodul
e		Einheitsvektor
e	mm	Randfaserabstand eines Profilquerschnitts
F		Freiheitsgrad eines Mechanismus
F	N	Kraft
F_F	N	Federkraft

F_{FA}	N	Federkraft reduziert auf den Radaufstandspunkt
f		Freiheitsgrad eines Gelenks
f	mm	Federweg an einem Federelement
f_R		Rollwiderstandsbeiwert
G	N	Fahrzeuggewicht
G	N/mm ²	Gleitmodul (Schubmodul)
g		Zahl der Gelenke eines Mechanismus
g	mm/s ²	Erdbeschleunigung
H		Hilfspunkt auf der Radachse
H		Lenkrad; Lenkspindel
h	mm	Schwerpunktshöhe
h	mm	Steigung der Momentanschraube
h_{RZ}	mm	Höhe des Rollzentrums über der Fahrbahn
I	mm ⁴	Flächenträgheitsmoment
i		Über- oder Untersetzungsverhältnis
i_D		Dämpferübersetzung
i_F		Federübersetzung
i_H		Lenkgetriebeübersetzung
i_L		Lenkgestängeübersetzung
i	mm	Trägheitsradius
K		Radträger
k		Zahl der Radträger einer Radaufhängung
k_D	Ns/mm	Dämpferkonstante
L		Längspol (Pol in der Fahrzeug-Seitenansicht)
L		Lenkgetriebe
L	mm ² kg/s	Drall, Drehimpuls
l		Zahl der Lenker einer Radaufhängung
l	mm	Radstand
l	mm	Länge
M		Radmittelpunkt
M	Nmm	Moment
M_B	Nmm	Biegemoment
M_D	Nmm	Drehmoment

M_H	Nmm	Drehmoment am Lenkrad
M_{RB}	Nmm	Reifen-Bohrmoment
M_{RS}	Nmm	Reifen-Rückstellmoment aus dem Schräglauf
m		Momentanachse
m_p		Momentanachse bei Parallelfederung
m_w		Momentanachse bei Wankbewegung
m	kg	Masse
n		Normalvektor
n		Polytropenexponent
n	mm	geometrische Nachlaufstrecke
n_R	mm	Reifennachlauf
n_τ	mm	Nachlaufversatz
P		Pol, Momentanpol
p	bar	Gasdruck
p	mm	Polabstand
p	mm	Radlasthebelarm
p'	mm	Hebelarm der Gewichtsrückstellung
Q		Querpol (Pol in der Fahrzeug-Querschnittsebene)
q	mm	Querpolabstand
R	mm	Reifenradius
R_F	mm	Fertigungsradius des Reifens
R_{St}	mm	statischer Reifenradius
R_w	mm	wirksamer oder „Abrollradius“ des Reifens
RZ		Rollzentrum
r		Rollachse des Fahrzeugs
r		Zahl der freien Eigenrotationen von Lenkern in einem Mechanismus
r	mm	Hebelarm, Radius
r_S	mm	Lenkrollradius
r_σ	mm	Spreizungsversatz („Störkrafthebelarm“)
r_T	mm	Triebkrafthebelarm (wirksamer Hebelarm der Antriebskraft bei Gelenkwellenantrieb)

S, SP		Schwerpunkt
S_F		Federschwerpunkt
s		Momentanschraubenachse
s	mm	Radhub
T		Schubmittelpunkt
T, T_s		Stoßmittelpunkt
T		Trägheitspol
T	s	Schwingungsdauer
t	mm/s	Vorschubgeschwindigkeit (Momentanschraubung)
t	s	Zeit
U	J	Energie
u	mm/s	Umfangsgeschwindigkeit
v	mm/s	Geschwindigkeit
v_M	mm/s	Geschwindigkeit des Radmittelpunktes
v^*	mm/s	(fiktive) Geschwindigkeit bei als „blockiert“ betrachteter radträgerfester Momentenstütze
v_A^*	mm/s	(fiktive) Geschwindigkeit des Radaufstandspunktes bei „blockierter“ Momentenstütze
v^{**}	mm/s	(fiktive) Geschwindigkeit bei „blockierter“ Momentenstütze und Gelenkwellenantrieb
v_A^{**}	mm/s	(fiktive) Geschwindigkeit des Radaufstandspunktes bei „blockierter“ Momentenstütze und Antrieb durch Gelenkwellen
W		Mittelstück einer Gelenkwelle
x, y, z		Hauptachsen eines Koordinatensystems

Griechische Buchstaben:

α	rad, Grad	Anstellwinkel eines Gummilagers
α	rad, Grad	Beugewinkel eines Wellengelenks
α	rad, Grad	Schräglaufwinkel des Reifens
β	rad, Grad	Schwimmwinkel des Fahrzeugs
γ	rad, Grad	Radsturzwinkel
δ	rad, Grad	Lenkwinkel eines Rades

δ_v	rad, Grad	Vorspurwinkel
ε	rad, Grad	Schrägfederungswinkel
ε_A	rad, Grad	Antriebs-Stützwinkel
ε_B	rad, Grad	Brems-Stützwinkel
ε_{MB}	rad, Grad	Stützwinkel bei Motorbremsung
ε^*	rad, Grad	Stützwinkel bei radträgerfester Momentenstütze
ε^{**}	rad, Grad	Stützwinkel bei Gelenkwellenantrieb
η		Abstimmung (Schwingungssystem)
η		Wirkungsgrad
Θ	mm ² kg	Massenträgheitsmoment
ϑ	rad, Grad	Nickwinkel
κ		Adiabatexponent
κ	rad, Grad	Anstellwinkel zwischen Fahrzeug-Rollachse und Wank-Momentanachse einer Radaufhängung
λ		Schlupf
λ	rad, Grad	räumlicher Neigungswinkel der Spreizachse
μ		Reibwert
μ	rad, Grad	Übertragungswinkel in einem Mechanismus
Π		Ebene
Π'		Seitenriss
Π''		Querriss
Π'''		Grundriss
π		Kreiszahl
ρ	mm	Krümmungsradius
ρ	kg/mm ³	Dichte
σ	N/mm ²	Normalspannung
σ	rad, Grad	Spreizungswinkel
τ	rad, Grad	Nachlaufwinkel
τ	N/mm ²	Schubspannung
φ	rad, Grad	Wankwinkel
φ_d	rad, Grad	Drehwinkel

φ_k	rad, Grad	kardanischer Winkel
χ		Antriebs- oder Bremskraftanteil der Vorderachse
ω	rad/s	Winkelgeschwindigkeit
ω_0	rad/s	Eigenkreisfrequenz
ω_K	rad/s	Winkelgeschwindigkeit des Radträgers
ω_R	rad/s	Winkelgeschwindigkeit des Radkörpers
ω_γ	rad/s	Sturzwinkelgeschwindigkeit
ω_δ	rad/s	Lenkwinkelgeschwindigkeit
ω_H	rad/s	Winkelgeschwindigkeit des Lenkrades
ω_L	rad/s	Winkelgeschwindigkeit des Lenkstockhebels

Indizes:

a	kurvenaußen
a	ausgefedertes Rad
e	eingefedertes Rad
h	hinten
i	kurveninnen
i	ideell
k	zum Radträger gehörig
l	links
m	mittlerer Wert
n	Normallage
p	bei Parallelfederung
r	rechts
u	ungefedert (Masse)
v	vorn
w	bei Wankbewegung

<http://www.springer.com/978-3-540-71196-4>

Radführungen der Straßenfahrzeuge
Kinematik, Elasto-Kinematik und Konstruktion
Matschinsky, W.
2007, XVI, 454 S., Hardcover
ISBN: 978-3-540-71196-4