

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	XVII
Verwendete Formelzeichen	XXI
Zeittafel	XXV
1 Gelenkwellen zur Übertragung von Drehbewegungen	1
1.1 Frühe Berichte über die ersten Gelenke	1
1.1.1 Kreuzgelenke von Hooke	1
1.2 Theorie der Übertragung von Drehbewegungen durch Kreuzgelenke	5
1.2.1 Die Ungleichförmigkeit von Kreuzgelenken nach Poncelet	5
1.2.2 Vermeidung der Ungleichförmigkeit durch das Doppelkreuzgelenk von Hooke	8
1.2.3 Erweiterung der Gleichlaufbedingungen durch d'Ocagne	10
1.2.4 Vereinfachungen des Doppelkreuzgelenks	12
1.2.4.1 Das Tracta-Gelenk von Fénaille	12
1.2.4.2 Verschiedene weitere Vereinfachungen	14
1.2.4.3 Anderthalbfaches Kreuzgelenk von Bouchard	15
1.3 Die Kugelgelenke	17
1.3.1 Kugelgelenke von Weiss und Rzeppa	19
1.3.2 Entwicklung zum Verschiebegelenk	27
1.4 Entwicklung der Podegelenke	33
1.5 Erste Anwendungen der Festigkeitslehre auf Gelenkwellen	40
1.5.1 Berechnung der Kreuzzapfen auf Biegung	41
1.5.2 Berechnung der Kreuzzapfen auf Flächenpressung	43
1.5.3 Berechnung der Gelenke auf Lebensdauer	47
1.6 Literatur zu Kapitel 1	49
2 Theorie der Gleichlaufgelenke	53
2.1 Entstehung der Gleichlaufgelenke	54
2.2 Erste, indirekte Methode zum Beweis des Gleichlaufs nach Metzner	58
2.2.1 Geradlinige Laufrillen der wirksamen Geometrie	62
2.2.2 Kreisförmige Laufrillen der wirksamen Geometrie	64
2.3 Zweite, direkte Methode zum Beweis des Gleichlaufs nach Michel Orain	66

2.3.1	Polypodegelenke	70
2.3.2	Das freie Tripodegelenk	74
2.4	Literatur zu Kapitel 2	77
3	Die Hertzsche Theorie und die Grenzen ihrer Anwendung	79
3.1	Koordinatensysteme	80
3.2	Die Gleichungen der Körperoberflächen	81
3.3	Berechnung des Hilfswerts $\cos \tau$	83
3.4	Berechnung der Verformung δ in der Kontaktfläche	86
3.5	Lösung der elliptischen Einzelintegrale J_1 bis J_4	91
3.6	Berechnung der elliptischen Integrale K und E	92
3.7	Die Halbachsen der elliptischen Kontaktfläche bei Punktberührung	94
3.8	Die elliptischen Koeffizienten μ und ν	98
3.9	Die Breite der rechteckigen Kontaktfläche bei Linienberührung	100
3.10	Verformung und Flächenpressung in der Kontaktfläche	101
3.10.1	Punktberührung	101
3.10.2	Linienberührung	102
3.11	Literatur zu Kapitel 3	103
4	Berechnung der Gelenke	105
4.1	Grundsätze für die Auslegung	105
4.1.1	Vergleich der festigkeits-theoretischen Annahmen durch Franz Karas 1941	106
4.1.2	Statische Beanspruchung	107
4.1.3	Dynamische Beanspruchung und Lebensdauer	108
4.1.4	Gemeinsame Drehmomentgleichung für alle Gelenke	110
4.2	Kreuzgelenke und -gelenkwellen	112
4.2.1	Die statische Übertragungsfähigkeit M_o	113
4.2.2	Die dynamische Übertragungsfähigkeit M_d	115
4.2.3	Die mittlere äquivalente Druckkraft P_m	118
4.2.4	Rechnerisches Näherungsverfahren für die mittlere äquivalente Druckkraft P_m	120
4.2.5	Die dynamische Übertragungszahl $2CR$	122
4.2.5.1	Berechnungsbeispiel für eine Kreuzgelenkwelle im stationären Betrieb	123
4.2.6	Gelenkwellen im Kraftfahrzeugbau	126
4.2.6.1	Auslegung der Kreuzgelenke für den Kraftfahrzeugbau nach GWB	129
4.2.6.2	Berechnungsbeispiel für die Kreuz-Gelenkwellen von Nutzkraftwagen	131
4.2.7	Grenzwerte für Drehzahl und Beugungswinkel	133
4.2.8	Die biegekritische Drehzahl n_k	135
4.2.9	Doppelkreuzgelenke	139
4.3	Kräfte in den Anschlußlagerungen der Kreuzgelenkwellen	142
4.3.1	Das Kräftespiel in den Kreuzgelenken	142

4.3.2	Anschlußlagerkräfte der Kreuzgelenkwelle in W-Beugung . . .	144
4.3.3	Anschlußlagerkräfte der Kreuzgelenkwelle in Z-Beugung . . .	147
4.4	Kugel-Drehgelenke	147
4.4.1	Statische und dynamische Übertragungsfähigkeit M_o und M_d	148
4.4.1.1	Radiale Anschlußlagerkräfte von Gleichlauf- Gelenkwellen	151
4.4.2	Das Kugel-Drehgelenk nach den Regeln der Wälzgleit- Lagerung	152
4.4.3	Ein gemeinsamer, genauer Gelenkmittelpunkt	154
4.4.3.1	Kugel-Drehgelenke nach dem Rzeppa-Prinzip	155
4.4.4	Die Innenzentrierung des Kugel-Drehgelenks	156
4.4.4.1	Das Axialspiel s_a	157
4.4.4.2	Drei Beispiele zur Berechnung des Axialspiels s_a	158
4.4.4.3	Der Zwangs-Mittenversatz	160
4.4.4.4	Die Selbsthemmung zwischen Hohlkugel und Kugel	163
4.4.5	Die Geometrie der Laufrillen	163
4.4.5.1	Längsschnitte der Laufrillen	163
4.4.5.2	Querschnitte der Laufrillen	168
4.4.5.3	Führung und Steuerung der Kugeln	170
4.4.5.4	Rollwilligkeit der Kugeln	171
4.4.5.5	Der Kugelhäuf im Kugel-Drehgelenk	174
4.4.5.6	Stützfläche des Käfigs in Kugel-Drehgelenken	175
4.4.5.7	Die Kugeln	176
4.4.5.8	Überprüfung auf Laufstörungen in Kugel- Drehgelenken	178
4.4.6	Bauformen der Kugel-Drehgelenke	179
4.4.6.1	Gestaltung und Übertragungsfähigkeit von Festgelenken, Bauart Rzeppa	180
4.4.6.2	AC-Festgelenke von 1988/1999	181
4.4.6.3	UF-Festgelenke (undercut free)	186
4.4.6.4	CUF-Gelenke nach Jacob/Paland (complete undercut free)	188
4.4.6.5	Berechnungsbeispiel eines CUF-Gelenks	190
4.4.7	Verschiebegelenke	193
4.4.7.1	DO-Verschiebegelenke	194
4.4.7.2	VL-Verschiebegelenke	196
4.4.8	Die Lebensdauer von Kugel-Drehgelenken nach der Palmgren-Miner-Regel	200
4.5	Pode-Gelenke	203
4.5.1	Bipode-Gelenk	207
4.5.2	Tripode-Gelenk	208
4.5.3	Tripode-GI-Verschiebegelenk	210
4.5.4	Statische Übertragungsfähigkeit des ungebeugten Tripode-Gelenks	212
4.5.5	Statische Übertragungsfähigkeit des gebeugten Tripode-Gelenks	213

4.5.6	Vom GI-C zum AAR-Gelenk	219
4.5.7	Das reibungs- und schwingungsarme Tripode-Verschiebe- Gelenk AAR	220
4.6	Werkstoffe, Wärmebehandlung und Fertigung	223
4.6.1	Die Beanspruchungen	223
4.6.2	Der Werkstoff und das Härten	228
4.6.3	Die Auswirkungen der Wärmebehandlung auf das übertragbare, statische Moment	230
4.6.4	Schmieden in der Fertigung	231
4.6.5	Fertigung von Einzelteilen	232
4.7	Grundsätzliches Vorgehen bei der Berechnung einer Gelenkwelle	237
4.8	Literatur zu Kapitel 4	237
5	Gelenkwellen	241
5.1	Kreuzgelenkwellen	243
5.1.1	Anschlußelemente	243
5.1.2	Zapfenkreuze	247
5.1.3	Verschiebeelemente	249
5.1.4	Reibung im Antriebsstrang – Längsverschiebungen	250
5.1.5	Die Längswelle	254
5.1.6	Gelenkwellenrohre aus Verbundfaserstoffen	256
5.2	Ausführungsarten von Gelenkwellen	261
5.2.1	Fahrzeugbau	261
5.2.1.1	Die Baureihe Cardan Compact 2000 von 1989	266
5.2.1.2	Mehrteiliger Wellenstrang und Zwischenwellen- Lager	266
5.2.1.3	Gelenkwellen mit Lagerböckchen	268
5.2.1.4	Gelenkwellen für Industrie-Anwendung	271
5.2.1.5	Gelenkwellen für Automobil-Lenkungen	278
5.2.1.6	Gelenkwellen nach DIN 808	284
5.3	Landmaschinenbau	288
5.3.1	Ausführungsarten der Gelenkwellen	293
5.3.2	Forderungen an die Gelenkwellen in der Landtechnik	293
5.3.3	Einsatz der Gelenkwellen	298
5.3.4	Berechnungsbeispiel einer Gelenkwelle für Landmaschinen	299
5.4	Gleichlauf-Gelenkwellen	301
5.4.1	Lösungen zum Anschluß der Gleichlaufgelenke	302
5.4.2	Kugel-Drehgelenkwellen	303
5.4.3	Gleichlauf-Gelenkwellen im Front- und Heckantrieb von Personenwagen	304
5.4.4	Berechnungsbeispiel einer Kugel-Drehgelenkwelle für einen Elektromotor-Antrieb	308
5.4.5	Ausführungsarten von Tripode-Gelenkwellen	313
5.4.6	Berechnungsbeispiel der Tripode-Gelenkwelle eines Personenwagens	314

5.4.7	Berechnungsbeispiel für die Gelenkwellen eines vierrad- angetriebenen Personenkraftwagens, Baujahr 1986–94	316
5.5	Gelenke und Gelenkwellen im Schienenfahrzeugbau	325
5.6	Konstruktions- und Gestaltungsregeln für den günstigsten Gelenkwellenstrang	327
5.7	Literatur zu Kapitel 5	329
Namensverzeichnis		331
Sachverzeichnis		335

Tabellenverzeichnis

Numerierte eigenständige Tabellen:

Tabelle 1.1	Bipode-Gelenke 1902–52	34
Tabelle 1.2	Tripode-Gelenke 1935–60	36
Tabelle 1.3	Quattropode-Gelenke 1913–94	38
Tabelle 1.4	Erhöhte Ansprüche der Anwender an die Kugel- Drehgelenke	40
Tabelle 3.1	Vollständige elliptische Integrale nach A. M. Legendre 1786 . . .	93
Tabelle 3.2	Elliptische Koeffizienten $k = 0,1$ nach Hertz	98
Tabelle 3.3	Elliptische Koeffizienten für $k' = 0,1$ nach Hertz	99
Tabelle 4.1	Geometriebeiwert f_i nach INA	116
Tabelle 4.2	Stoßfaktor f_{ST} bei Kreuzgelenk-Wellen	122
Tabelle 4.3	Werte für n_1 und n_2 nach GWB	133
Tabelle 4.4	Maximale Drehzahlen und max. zulässige Werte $n\beta$ für das Massenträgheitsmoment des Mittelteils	134
Tabelle 4.5	Radiale Anschlußlager-Kräfte von Gleichlauf-Gelenkwellen nach Werner Krude	151
Tabelle 4.6	Günstigster Rillenverlauf für die beiden Gelenk-Gruppen . . .	167
Tabelle 4.7	Systematik der Kugelgelenke nach (4.54) und den Bildern 4.3 und 4.28	170
Tabelle 4.8	Führung und Steuerung der Kugeln in Kugelgelenken	171
Tabelle 4.9	Einfluß der Kugelgröße auf Tragkraft und Lebensdauer	178
Tabelle 4.10	Daten der UF-Gleichlaufgelenke, Bauart GKN Löbro	187
Tabelle 4.11	Anwendung von VL-Verschiebe-Gelenken	199
Tabelle 4.12	Fahranteile a_x in % für Personenkraftwagen	201
Tabelle 4.13	Zeitliche Fahranteile a_x der einzelnen Gänge in % der Gesamtfahrzeit	202
Tabelle 4.14	Flächenpressung in wälzgelagerten Podegelenken	205
Tabelle 4.15	Flächenpressung in gleitgelagerten Podegelenken	205
Tabelle 4.16	Gleichlauf, Fest- und Verschiebe-Gelenke, Bauart GKNAutomotive Ltd. Übersicht	221
Tabelle 4.17	Werkstoffe und Wärmebehandlungen der Innen- und Außennaben für UF-Gleichlauf-Gelenke	226
Tabelle 4.18	Werte für den dreiachsigen Spannungszustand und die erforderliche Härte einer Kugel in der Laufrille des UF-Gelenks	227
Tabelle 4.19	Härtebedingungen für die Gelenkteile	228

Tabelle 4.20	Grenzen des übertragbaren (statischen) Momentes durch die Randhärtungstiefen $R_{ht} = 1,1 \text{ mm}$ bzw. $R_{ht} = 2,4 \text{ mm}$ an den Glocken der UF-Gleichlaufgelenke	230
Tabelle 4.21	Rechnungsgang für eine Gelenkwelle gleichmäßiger Beanspruchung	236
Tabelle 5.1	Größte Beugungswinkel $\beta_{\max}$ von Gelenken	242
Tabelle 5.2	Beispiele für Längsverschiebungen mit Kugeln in Gelenkwellen	252
Tabelle 5.3	Daten von Kfz-Composite-Längswellen	256
Tabelle 5.4	Daten der Längswelle eines Großraum-Pkw im Vergleich Stahl-GFK	259
Tabelle 5.5	Daten von Lenkungsgelenken	280
Tabelle 5.6	Die Gelenkwellen im Vergleich	301
Tabelle 5.7	Beispiele von Standard-Wellensträngen an Personenwagen um 1998	304
Tabelle 5.8	Lebensdauerwerte beim Hinterradantrieb mit Tripodegelenk	315
Tabelle 5.9	Lebensdauerwerte beim Vorderradantrieb mit Gelenk UF 1100i	317
Tabelle 5.10	Berechnung von Anfahr- und Haftmoment im Berechnungsbeispiel Abschn. 5.4.7	318
Tabelle 5.11	Lebensdauerwerte der Längswelle beim Hinterradantrieb	321
Tabelle 5.12	Lebensdauerwerte der Längswelle zur Hinterachse	323

Tabellen mit Hauptabmessungen, Übertragungsfähigkeiten und anderen Daten in:

Bild 1.13	Tracta-Gelenk von Pierre Fénaille 1926	13
Bild 1.16	Anderthalbfaches Kreuzgelenk als Festgelenk von Robert Bouchard 1949	16
Bild 1.21	Festgelenk nach dem Weiss-Prinzip	21
Bild 1.45	Triplan-Verschiebegelenk TB nach Michel Orain 1985	37
Bild 4.10	Hauptabmessungen und Zapfenkreuz-Abmessungen einer Kreuzgelenkwelle leichter Beanspruchung	124
Bild 4.44	Laufrollen mit ellipsenförmigem Querschnitt	169
Bild 4.57	AC-Festgelenke nach dem Rzeppa-Prinzip 1988, Bauart GKN Löbro	182
Bild 4.58	AC-Festgelenke, Bauart Löbro 1999	184
Bild 4.60	UF-Gleichlauf-Festgelenk radseitig, Bauart GKN Löbro	187
Bild 4.64	Fünfkugel-DOS-Verschiebegelenk, Bauart Löbro Girguis 1971	195
Bild 4.67	Sechskugel-DO-Verschiebegelenke nach dem Rzeppa-Prinzip	197
Bild 4.72	VL-Verschiebegelenke nach dem Rzeppa-Prinzip, Schrägrillen und sechs Kugeln, Bauart Löbro	200
Bild 4.78	Tripode-GI-Gelenk, Bauart Glaenger-Spicer	210
Bild 4.84	GI-C-Gelenk von J. C. van Dest 1991 als Folge der englischen Entwicklung	219
Bild 4.86	Tripode-Verschiebegelenk (AAR)	220
Bild 5.3	Flanschanschluß von Kreuzgelenkwellen	244
Bild 5.4	Ausführungen von Aufnahmeaugen für die Nadel- oder Rollenbuchsen der Zapfenkreuzlagerung	245

Bild 5.27	Nichtzentrierte Doppelkreuz-Gelenkwelle mit Wellenanschluß für Lenktriebachsen von LKW, Bauart GWB/BTB	264
Bild 5.29	Hauptabmessungen und physikalische Daten von Kreuzgelenken mit Längenausgleich für den Nutzfahrzeugbau, Bauart GWB . .	267
Bild 5.31	Kreuzgelenkwelle, Bauart Mechanics	269
Bild 5.32	Doppel-Kreuzgelenkwelle, Bauart Mechanics/Borg-Warner . .	270
Bild 5.33	Mitnehmer und Anschlußstück eines Kreuzgelenks mit Böckchen, Bauart Mechanics/Borg-Warner/Italcardan . .	271
Bild 5.34	Hauptabmessungen, physikalische Daten und Zapfenkreuz-Abmessungen von Kreuzgelenkwellen für stationäre Antriebe (Industrie-Anwendung), Bauart GWB	272
Bild 5.35	Gelenkkreuze der mittleren und schweren Reihe von Industrierellen	273
Bild 5.36	Hauptabmessungen, physikalische Daten und Zapfenkreuz-Abmessungen von Kreuzgelenkwellen für Industrie-Anwendung, schwere Reihe mit Längenausgleich und demontierbarem Lagerdeckel	274
Bild 5.37	Hauptabmessungen von schwersten Kreuzgelenkwellen für Walzwerke u. a. Großmaschinen mit Längenausgleich und Flanschverbindung durch Hirth- oder Klingelberg-Verzahnung, Bauart GWB	275
Bild 5.42	Vollrollige Gelenkkreuz-Buchsen, Bauart INA	279
Bild 5.44 a, b	Lenkungsgelenke mit gleitendem Keilwellenprofil um 1970 . . .	281
Bild 5.48	Einfach-Wellengelenk (E) und Doppel-Wellengelenk (D) mit Gleit- (G) und Nadellager (W) nach DIN 808	285
Bild 5.53	Anschlußmasse an den drei Traktorgößen nach ISO-Normen .	289
Bild 5.57	Gelenkwellen-Bauarten und -Leistungen für die Landtechnik, Bauart GKN Walterscheid	291
Bild 5.58	Maße für Schiebepprofile der Gelenkwellen	292
Bild 5.59	Doppel-Gelenkwelle für gelenkte Starrachsen von Traktoren, Bauart GKN/BTB	294