

Inhaltsverzeichnis

20 Getriebe – allgemein (Funktionen, Grundbeziehungen, Bauarten, Baugröße, Bewegungsgleichungen, Lagerkräfte)	1
20.1 Grundbeziehungen für Getriebe und Kupplungen	2
20.2 Vorgehensweise beim Entwerfen – Pflichtenheft (Checkliste)	5
20.3 Getriebe für konstante Übersetzung	5
20.3.1 Zahnradgetriebe	5
20.3.2 Kettengetriebe	9
20.3.3 Riemengetriebe	9
20.3.4 Reibradgetriebe	10
20.3.5 Baugröße und Gewicht von Zahnradgetrieben	11
20.4 Verstellgetriebe	11
20.4.1 Bauarten	11
20.4.2 Pflichtenheft (Auswahlkriterien) für stufenlos verstellbare mechanische Getriebe	15
20.5 Bewegungsvorgänge, Massenkräfte, Lagerkräfte	19
20.5.1 Berechnung von Kräften, Momenten, Leistungen – Geschwindigkeiten, Beschleunigungen	19
20.5.2 Umrechnung für unterteilte Massen	22
20.5.3 Umrechnung von Maßeinheiten	22
20.5.4 Antriebsmotor und Massenwirkung	22
20.5.5 Beispiele für Beschleunigungsvorgänge	25
20.5.6 Berechnung der Lagerkräfte von Getrieben	26
20.6 Literatur zu 20	29
21 Zahnradgetriebe – Grundlagen (Stirnräder)	31
21.1 Verzahnungsgeometrie – allgemein	31
21.1.1 Zeichen und Einheiten für Verzahnungsgeometrie	31
21.1.2 Verzahnungsgesetz	32
21.1.3 Konstruktion von Eingriffslinie und Gegenflanke	35
21.1.4 Übersetzung, Radienverhältnis (Zähnezahlverhältnis), Momentenverhältnis	35
21.1.5 Weitere Verzahnungsgrößen	36
21.1.6 Profilüberdeckung ϵ_z	38
21.1.7 Gleit- und Wälzbewegung der Zahnflanken	38
21.1.8 Überlegungen zur Wahl des Zahnprofils	40
21.1.9 Flankenlinien (Geradverzahnung, Schrägverzahnung); Innenverzahnung	41
21.1.10 Literatur zu 21.1 (s. Abschn. 21.3.9)	41
21.2 Nichtevolventische Verzahnungen	42
21.2.1 Zykloidenverzahnung	42
21.2.2 Kreisbogenverzahnung	43
21.2.3 Triebstockverzahnung	43
21.2.4 Wildhaber/Novikov-Verzahnung (W/N-Verzahnung)	46
21.2.5 Literatur zu 21.2	48
21.3 Evolventenverzahnung	49
21.3.1 Erzeugung der Evolvente, Eigenschaften	49
21.3.2 Bezugsprofile der Evolventenverzahnung, Werkzeug-Bezugsprofile	51
21.3.3 Evolventenfunktion und allgemeine Verzahnungsgrößen	51
21.3.4 Die einfachste Evolventenverzahnung: Null-Verzahnung	54
21.3.5 Profilverschobene Verzahnung	54
21.3.5.1 V-Null-Verzahnung	56
21.3.5.2 V-Verzahnung	56
21.3.5.3 Satzräder mit Evolventenverzahnung	58
21.3.5.4 Aufzeichnen der Zahnform	59

21.3.6	Schrägverzahnung	59
21.3.7	Innenverzahnung (Hohlräder)	65
21.3.8	Grenzen der Verzahnungsgeometrie	67
21.3.9	Literatur zu 21.1 und 21.3	71
21.4	Verzahnungsgenauigkeit und -messung, Flankenspiel	72
21.4.1	Zeichen und Einheiten für Verzahnungsgenauigkeit und Flankenspiel	73
21.4.2	Radkörpergenauigkeit und -toleranzen	74
21.4.3	Verzahnungs- und Gehäusegenauigkeit	74
21.4.4	Verzahnungstoleranzen, DIN-Verzahnungsqualitäten	78
21.4.5	Sondervorschriften für Zahnprofil und Flankenlinien	78
21.4.6	Flankenspiel, Getriebepassung	83
21.4.7	Ermittlung der Zahndicke	86
21.4.8	Literatur zu 21.4	88
21.5	Zahnkräfte, Verformungen, Korrekturen	89
21.5.1	Äußere Zahnkräfte, Drehmomente	89
21.5.2	Zahnverformung, Zahnfedersteifigkeit, Drehwegabweichungen (statisch belastete, fehlerfreie Verzahnung)	94
21.5.3	Verteilung der Zahnkraft längs der Berührlinie (statisch belastete, fehlerfreie Verzahnung)	99
21.5.4	Kraftaufteilung in Umfangsrichtung (fehlerbehaftete Verzahnung)	100
21.5.5	Kraftverteilung längs der Zahnbreite (fehlerbehaftete Verzahnung)	104
21.5.5.1	Wirksame Flankenlinienabweichung	104
21.5.5.2	Genauere Verfahren zur Bestimmung der wirksamen Flankenlinienabweichung	104
21.5.5.3	Näherungsverfahren zur Bestimmung der Flankenlinienabweichung durch Verformung	104
21.5.5.4	Näherungsansatz für die Flankenlinien-Herstellabweichung	106
21.5.5.5	Näherungsverfahren zur Bestimmung der Einflußfaktoren $K_{H\beta}$, $K_{F\beta}$	107
21.5.5.6	Genauere Berechnung von $K_{H\beta}$ für symmetrisch gelagerte Ritzel	109
21.5.5.7	Planetengetriebe	109
21.5.6	Verzahnungskorrekturen	112
21.5.7	Innere dynamische Zahnkräfte — Dynamikfaktor K_v	115
21.5.7.1	Zahnkräfte in verschiedenen Betriebsbereichen	116
21.5.7.2	Resonanzgebiete, Bezugsdrehzahl N	117
21.5.7.3	Dynamikfaktor — Einflußgrößen, Grenzbedingungen	118
21.5.7.4	Vereinfachte Bestimmung des Dynamikfaktors	118
21.5.7.5	Berechnung des Dynamikfaktors bei besonderen Getriebebauarten	120
21.5.8	Literatur zu 21.5	121
21.6	Getriebeschäden und Abhilfe, Entwicklungstendenzen	123
21.6.1	Allgemeine Maßnahmen, Entwicklungstendenzen	124
21.6.2	Grübchenbildung (pitting)	126
21.6.3	Abplatzer (spalling)	128
21.6.4	Graufleckigkeit (frosted areas, micro-pitting)	130
21.6.5	Zahnbruch	130
21.6.6	Fressen	131
21.6.7	Verschleiß	136
21.6.8	Risse an Zähnen	138
21.6.9	Literatur zu 21.6 (s. Abschn. 21.8.5)	138
21.7	Tragfähigkeitsberechnung — Grundlagen	138
21.7.1	Elastohydrodynamik — Schmierfilm und Schmierdruck	138
21.7.2	Grübchenbildung (pitting)	140
21.7.2.1	An Zahnflanken auftretende Pressung	141
21.7.2.2	Zulässige Flankenpressung σ_{HP}	144
21.7.3	Zahnbruch	147
21.7.3.1	Am Zahnuß auftretende örtliche Spannung	147
21.7.3.2	Zulässige Zahnußspannung σ_{FP}	153
21.7.4	Fressen (Warmfressen)	157
21.7.4.1	Berechnungsgrundlagen — auftretende Flankentemperatur	157
21.7.4.2	Zulässige Integraltemperatur ϑ_{intP}	160
21.7.5	Langsamlauf-Verschleiß	160
21.7.5.1	Berechnung des linearen Verschleißabtrages (Zahndickenminderung) und der Verschleißmasse	161
21.7.5.2	Zulässiger Verschleiß	162
21.7.6	Literatur zu 21.7 (s. Abschn. 21.8.5)	162

21.8	Tragfähigkeitsgrenzwerte, ihre Ermittlung und Anwendung	163
21.8.1	Verfahren (Tests) zur Ermittlung der Tragfähigkeitsgrenzwerte, Schadensdefinition	163
21.8.2	Schadenswahrscheinlichkeit, Wöhler- und Schadens-Linien, Festigkeitswerte	167
21.8.3	Anwendung der an Standard-Prüfrädern ermittelten Tragfähigkeitskennwerte	170
21.8.4	Überlegungen zur Wahl des Sicherheitsfaktors	171
21.8.5	Literatur zu 21.6,7,8 und 22.3	174
21.9	Zahnradwerkstoffe, Wärmebehandlung, Vor- und Nachbehandlung	178
21.9.1	Kosten für Zahnradwerkstoffe, Wärmebehandlung und zugehörige Bearbeitung	180
21.9.2	Allgemeines zu Werkstoffwahl, Vor- und Nachbehandlung	181
21.9.3	Zur Frage: Gehärtete oder ungehärtete Zahnräder?	183
21.9.4	Gußeisen, Stahlguß	183
21.9.5	Stähle ohne Oberflächenhärtung	184
21.9.6	Einsatzstähle — Einsatzhärtung	184
21.9.7	Vergütungsstähle — Induktions- und Flammhärtung	190
21.9.8	Nitrier-, Vergütungs- und Einsatzstähle — Nitrierhärtung	193
21.9.9	Vergütungsstahl — sonstige Oberflächenhärtung	203
21.9.10	Sonstige Zahnradwerkstoffe	203
21.9.11	Werkstoffqualität und Festigkeit	204
21.9.12	Literatur zu 21.9	204
21.10	Schmierung	206
21.10.1	Wahl des Schmierstoffs	206
21.10.2	Ölschmierung — Wahl der Ölart	206
21.10.3	Wahl der Öleigenschaften	208
21.10.4	Ölzufluhrung (Tauch-, Einspritz-, Nebelschmierung)	211
21.10.5	Öltemperatur, -pflege, -überwachung, -wechsel	215
21.10.6	Fettschmierung	216
21.10.7	Sonstiges (Feststoffschmierung, Notlaufschmierung)	217
21.10.8	Literatur zu 21.10	217
21.11	Verlustleistung, Wirkungsgrad, Erwärmung	218
21.11.1	Zeichen und Einheiten	219
21.11.2	Verlustleistung	219
21.11.3	Wirkungsgrad	225
21.11.4	Wärmeaushalt (Kühlung, Heizung)	225
21.11.5	Berechnungsbeispiel	228
21.11.6	Literatur zu 21.11	229
21.12	Zahnradherstellung	230
21.12.1	Arbeitsprinzipien	230
21.12.2	Anwendungsbereich und Besonderheiten der Herstellverfahren	232
21.12.2.1	Wälzfräsen	232
21.12.2.2	Wälzstoßen	233
21.12.2.3	Wälzhobeln	236
21.12.2.4	Formfräsen	236
21.12.2.5	Formstoßen	237
21.12.2.6	Verzahnungsräumen	237
21.12.2.7	Wälzschälen	237
21.12.2.8	Verzahnungsschleifen	237
21.12.2.9	Verzahnungsschaben (Wälzschaben)	239
21.12.2.10	Verzahnungsläppen	241
21.12.2.11	Einlaufen mit Einlaufschmierstoff	241
21.12.3	Reparatur bei beschädigten Zahnflanken	241
21.12.4	Literatur zu 21.12	242
21.13	Getriebegeräusch	243
21.13.1	Meß- und Abnahmeregeln — erreichbare Geräuschqualität	243
21.13.2	Zeichen und Einheiten	244
21.13.3	Das Getriebe als Geräuscherzeuger und -abstrahler	244
21.13.4	Das Getriebe als Schwingungssystem	245
21.13.5	Einfluß der Getriebe- und Verzahnungsdaten	248
21.13.6	Einfluß des Werkstoffs und der Herstellung der Zahnräder	251
21.13.7	Einfluß der Verzahnungsqualität	252
21.13.8	Sonstige Einflüsse auf das Zahnradgeräusch	255
21.13.9	Einfluß der Lager	255

21.13.10 Abstrahleigenschaften des Gehäuses	255
21.13.11 Sekundäre Schallschutzmaßnahmen	257
21.13.12 Literatur zu 21.13	257
22 Stirnradgetriebe – Entwurf, Berechnung, Gestaltung	259
22.1 Entwerfen eines Getriebes	259
22.1.1 Vorgehen bei Entwurf und Konstruktion	259
22.1.2 Getriebebauform, Anschluß an Motor und Arbeitsmaschine	259
22.1.3 Aufteilung der Gesamtübersetzung in Getriebestufen	261
22.1.4 Überschlägige Bestimmung der Hauptabmessungen: Durchmesser, Achsabstand .	262
22.1.5 Wahl der Zahnbreite b oder der Verhältniswerte b/d_1 , b/a	266
22.1.6 Wahl von Zähnezahl z_1 und Modul m	266
22.1.7 Geradverzahnung – Schrägverzahnung/Schrägungswinkel	271
22.1.8 Wahl des Bezugsprofils und der Profilverschiebung	273
22.1.9 Berechnung der Verzahnungsdaten	275
22.1.10 Lagerkräfte: Rechenschema s. Abschn. 20.5.6	275
22.1.11 Entwurfsschema und Beispiel	275
22.1.12 Literaturhinweis	275
22.2 Gestaltung von Stirnradgetrieben	280
22.2.1 Getriebebauform und Anordnung der Zahnräder	280
22.2.2 Anschluß an Antriebs- und Arbeitsmaschine	280
22.2.3 Gestaltung der Zahnräder	286
22.2.4 Gestaltung der Ritzelwellen	293
22.2.5 Gestaltung der Gehäuse	294
22.2.6 Lagergestaltung und Lagerwahl	299
22.2.7 Gestaltung der Wellen, Dichtungen, Gehäusedeckel	300
22.2.8 Auswuchten	301
22.2.9 Literatur zu 22.2	301
22.3 Nachweis der Tragfähigkeit, Rechenschema, Beispiele	302
22.3.1 Zeichen und Einheiten	307
22.3.2 Allgemeine Einflußgrößen	310
22.3.3 Grübehtragfähigkeit	326
22.3.4 Zahnfußtragfähigkeit	333
22.3.5 Freßtragfähigkeit (Warmfressen)	341
22.3.6 Beurteilung der Kaltfreßgefahr (s. Abschn. 21.6.6 und 21.7.1)	345
22.3.7 Verschleißtragfähigkeit	345
22.4 Kunststoffzahnräder	347
22.4.1 Eigenschaften gegenüber Stahlzahnrädern, Anwendung	347
22.4.2 Werkstoffe, Erzeugen der Verzahnung	349
22.4.3 Besonderheiten der Herstellung von Zahnrädern aus thermoplastischen Werkstoffen	350
22.4.4 Zeichen und Einheiten	350
22.4.5 Tragfähigkeit von Kunststoffzahnrädern	350
22.4.6 Hinweise zur Konstruktion	357
22.4.7 Rechenschema und Beispiele	358
22.4.8 Literatur zu 22.4	359
22.5 Besondere Zahnrädergetriebe und Anwendungen	359
22.5.1 Einfache Planetengetriebe mit Einfachplaneten	359
22.5.1.1 Literatur zu 22.5.1	365
22.5.2 Spielarme Zahnrädergetriebe	365
22.5.2.1 Literatur zu 22.5.2	368
22.5.3 Hinweise zur Feinwerktechnik, extrem kleine Zähnezahlen	368
22.5.3.1 Literatur zu 22.5.3	370
22.5.4 Elliptische und exzentrische Zahnräder	370
22.5.4.1 Literatur zu 22.5.4	371
Sachverzeichnis	373