

O. Dittrich · R. Schumann

TB

ant **Anwendungen
der Antriebstechnik
Band III: Getriebe**

Unter Mitarbeit von 11 namhaften Fachautoren

Krausskopf

Inhaltsverzeichnis

1. **Getriebe mit unveränderlicher Übersetzung 19**
 - 1.1. **Zahnradgetriebe 21**
 - 1.1.0.1. Verzahnungsgeometrie 21
 - 1.1.0.1.1. Grundgesetz der Verzahnung 22
 - 1.1.0.1.2. Grundlegende Bezeichnungen am Zahnrad 24
 - 1.1.0.1.3. Zahnflankenformen 26
 - 1.1.0.1.4. Evolventen-Verzahnung 28
 - 1.1.0.1.5. Übliche Getriebeausführungen 33
 - 1.1.0.2. Betriebsbedingungen und Größenbestimmung 35
 - 1.1.0.3. Auslegung 38
 - 1.1.0.4. Abnahme 47
 - 1.1.1. **Stirnradgetriebe 52**
 - 1.1.1.1. Allgemeines 52
 - 1.1.1.2. Besondere Ausführungen und Anwendungen von Stirnradgetrieben 53
 - 1.1.1.2.1. Mehrstufige Getriebe 53
 - 1.1.1.2.2. Schneckenpumpenantriebe 56
 - 1.1.1.2.3. Rührwerksgetriebe 56
 - 1.1.1.2.4. Aufsteckgetriebe 60
 - 1.1.1.2.5. Turbogetriebe zum Antrieb einer Auswuchtmaschine 61
 - 1.1.1.2.6. Turbogetriebe zwischen Dampfturbine und Generator 63
 - 1.1.2. **Kegelradgetriebe 63**
 - 1.1.2.1. Geometrie der Kegelräder 63
 - 1.1.2.2. Anwendungsfälle 65
 - 1.1.3. **Stirn- und Kegelschraubgetriebe 67**

- 1.1.4. Schneckengetriebe 67
 - 1.1.4.1. Wirkungsgrad bei Schneckengetrieben 70
 - 1.1.4.2. Hochleistungs-Schneckengetriebe 74
 - 1.1.4.3. Anwendungsfälle 76
 - 1.1.4.3.1. Fahrtreppenantrieb 76
 - 1.1.4.3.2. Schneckengetriebe im Antrieb eines Naßmagnetscheiders 77
 - 1.1.4.3.3. Schnecken-Aufsteckgetriebe im Antrieb eines Teerkochers 79
 - 1.1.4.3.4. Doppel-Schneckengetriebe für große Untersetzungen 82
 - 1.1.4.3.5. Zustellgetriebe für Stauchwalzen von Vertikalstauchgerüsten 83
 - 1.1.4.3.6. Schneckenwelle mit mehreren Schnecken
 - 1.1.4.3.7. Schneckengetriebe im Kranbau 84
 - 1.1.4.4. Spielfreie Verzahnungen 88
- 1.1.5. Triebstockverzahnung 90
- 1.1.6. Verzweigungsgetriebe, Mehrwegplanetengetriebe 92
 - 1.1.6.1. Kinematik 94
 - 1.1.6.2. Wirkungsgrad bei Planetengetrieben 95
 - 1.1.6.3. Anwendungsfälle und besondere Ausführungen 101
 - 1.1.6.3.1. Planetengetriebe in Kraftwerksanlagen 101
 - 1.1.6.3.2. ANDANTEX-Getriebe 104
 - 1.1.6.3.3. Überlagerungsgetriebe zum Antrieb eines Belüftungskreisels 107
 - 1.1.6.3.4. Zweiweggetriebe im Antrieb einer Zementmühle 110
 - 1.1.7. Kombinierte Getriebe 112
 - 1.1.7.1. Zahnkranzmühle 112
 - 1.1.7.2. Kombiniertes Centra-Antrieb 114
 - 1.1.7.2.1. Turneinrichtung 115
 - 1.1.7.2.2. Gleichmäßige Lastverteilung 116
 - 1.1.7.2.3. Verriegelung 117
 - 1.1.7.2.4. Ölversorgung 118
 - 1.1.7.3. Bogiflex-Antrieb 119

- 1.1.8. Hoch übersetzende Exzentergetriebe 122
 - 1.1.8.1. Cyclo-Getriebe 122
 - 1.1.8.2. Acbar-Getriebe 124
 - 1.1.8.3. Harmonic-Drive-Getriebe 126
- 1.2. **Reibradgetriebe** 130
 - 1.2.1. Reibringe mit Stahldrahteinlage für den Drehzahlbereich von 5 bis 1500 1/min 132
 - 1.2.2. Reibräder für den Drehzahlbereich von 100 bis 10000 1/min 133
 - 1.2.3. Reibringe für den Drehzahlbereich von 500 bis 10000 1/min 136
- 1.3. **Zugmittelgetriebe** 139
 - 1.3.1. Riemengetriebe 139
 - 1.3.1.1. Flachriemengetriebe 139
 - 1.3.1.1.1. Theoretische Grundlagen 139
 - 1.3.1.1.2. Flachriemen, Aufbau, Eigenschaften 147
 - 1.3.1.1.3. Berechnung, Riemenauswahl 151
 - 1.3.1.1.4. Konstruktions-Hinweise 160
 - 1.3.1.2. Keilriemengetriebe 163
 - 1.3.1.2.1. Funktionsweise 163
 - 1.3.1.2.2. Aufbau der Keilriemen 163
 - 1.3.1.2.3. Keilriemenbauformen 166
 - 1.3.1.2.4. Berechnung 173
 - 1.3.1.2.5. Auslegungsgrenzwerte 174
 - 1.3.1.2.6. Einsatzgebiete 176
 - 1.3.1.2.7. Berechnungsverfahren 177
 - 1.3.1.2.8. Hinweise auf Besonderheiten 184
 - 1.3.1.2.9. Vor- und Nachteile des Keilriemengetriebes 186
 - 1.3.1.3. Zahnriemengetriebe 188
 - 1.3.1.3.1. Funktionsweise 188
 - 1.3.1.3.2. Aufbau der Riemen und Scheiben 189

- 1.3.1.3.3. Berechnung 194
- 1.3.1.3.4. Auslegungsgrenzwerte 194
- 1.3.1.3.5. Einsatzgebiete 195
- 1.3.1.3.6. Berechnungsverfahren 196
- 1.3.1.3.7. Vor- und Nachteile des Zahnriemengetriebes 204

- 1.3.2. Kettengetriebe 206
 - 1.3.2.1. Rollenkettengetriebe 206
 - 1.3.2.1.1. Allgemeines 206
 - 1.3.2.1.2. Vorteile 206
 - 1.3.2.1.3. Besondere technische Merkmale 207
 - 1.3.2.1.4. Beschreibung der Rollenkette 207
 - 1.3.2.1.5. Eigenschaften der Rollenkette 210
 - 1.3.2.1.6. Abmessungen der Rollenketten 214
 - 1.3.2.1.7. Auslegung von Rollenkettengetrieben 214
 - 1.3.2.1.8. Schmierung von Kettengetrieben 225
 - 1.3.2.1.9. Kettenräder 230
 - 1.3.2.2. Zahnkettengetriebe 231
 - 1.3.2.2.1. Allgemeines 231
 - 1.3.2.2.2. Besonderheiten 234
 - 1.3.2.2.3. Technische Merkmale 234
 - 1.3.2.2.4. Beschreibung der Zahnkette 234
 - 1.3.2.2.5. Auslegung des Zahnkettengetriebes 238
 - 1.3.2.2.6. Achsabstandsberechnung 241
 - 1.3.2.2.7. Schmierung 241
 - 1.3.2.2.8. Kettenräder 241

2. Schaltgetriebe 245

- 2.1. Übersetzungsbereich und Getriebestufung 247
- 2.2. Getriebeaufbau 249
- 2.3. Schaltungsarten 253
- 2.4. Schaltmittel 255
- 2.5. Ausgeführte Getriebe 259

- 3. **Getriebe mit stufenlos veränderlicher Übersetzung 285**
- 3.1. **Mechanisch-stufenlos einstellbare Getriebe 287**
 - 3.1.1. Zugmittelgetriebe 289
 - 3.1.1.1. Ganzstahlgetriebe 291
 - 3.1.1.1.1. Zugmittel 296
 - 3.1.1.1.2. Anpreßsysteme 298
 - 3.1.1.2. Keilriemenverstellgetriebe 302
 - 3.1.1.2.1. Zugmittel 302
 - 3.1.1.2.2. Anpreßsysteme 304
 - 3.1.2. Wälzgetriebe 305
 - 3.1.2.1. Wälzgetriebe ohne Zwischenglied 306
 - 3.1.2.2. Wälzgetriebe mit Zwischenglied 308
 - 3.1.2.3. Anpreßsysteme 312
 - 3.1.3. Schaltwerkgetriebe 313
 - 3.1.4. Leistungsteilungsgetriebe 318
 - 3.1.4.1. Getriebe mit eingeschränktem Stellbereich 320
 - 3.1.4.2. Getriebe mit erweitertem Stellbereich 325
 - 3.1.5. Stellgeräte 328
 - 3.1.6. Anwendungen 329
 - 3.1.6.1. Regelungen 330
 - 3.1.7. Allgemeine Hinweise für Inbetriebnahme und Einsatz 335
- 3.2. **Hydraulisch-stufenlos veränderliche Getriebe 341**
 - 3.2.1. Hydrostatische Getriebe 341
 - 3.2.1.1. Aufbau 341
 - 3.2.1.2. Bauarten 341
 - 3.2.1.3. Wirkungsweise 342
 - 3.2.1.4. Stelleinrichtungen 347
 - 3.2.1.5. Auslegung 351

- 3.2.1.6. Anfahren, Bremsen, Umsteuern 352
- 3.2.1.7. Steuerung und Regelung 357
- 3.2.1.8. Anwendungsbeispiele 361
- 3.2.2. Hydrodynamische Getriebe 367
 - 3.2.2.1. Einführung 367
 - 3.2.2.2. Theoretische Grundlagen 369
 - 3.2.2.2.1. Vergleich zwischen hydrodynamischen und mechanischen Getrieben 369
 - 3.2.2.2.2. Definitionen, Formeln und Kennwerte 370
 - 3.2.2.3. Hydrodynamische Drehmomentwandler 376
 - 3.2.2.3.1. Verlauf der Leistungszahl $\lambda = f(v)$ 378
 - 3.2.2.3.2. Stellwandler 382
 - 3.2.2.3.3. Schaltwandler 385
 - 3.2.2.3.4. Mehrphasige Wandler 386

4. Getriebschmierung 389

- 4.1. **Schmierung von Zahnradgetrieben** 391
 - 4.1.1. Schmierungsvorgang und Tragfilmaufbau 392
 - 4.1.2. Beanspruchungsverhältnisse 394
 - 4.1.2.1. Geschwindigkeitsverhältnisse 395
 - 4.1.2.2. Belastungsverhältnisse 396
 - 4.1.2.3. Flankenbeanspruchung 397
 - 4.1.2.4. Temperaturbeanspruchung 398
 - 4.1.3. Verfügbare Schmierstoffe für die Getriebschmierung 398
 - 4.1.3.1. Erforderliche Eigenschaften von Getriebschmierstoffen 398
 - 4.1.3.2. Getriebschmierstoffe 400
 - 4.1.3.3. Viskositätseinteilung von Getriebeölen 402
 - 4.1.3.3.1. Viskositätsstufen nach DIN 51 502 402
 - 4.1.3.3.2. Viskositätsstufen nach AGMA 403
 - 4.1.3.3.3. Viskositätsstufen nach SAE 403
 - 4.1.3.4. Geeignete Öle zur Getriebschmierung 405

- 4.1.3.4.1. Bevorzugt einzusetzende Öle 405
- 4.1.3.4.2. Weitere geeignete Mineralöle 408
- 4.1.4. Schmierstoffauswahl 409
 - 4.1.4.1. Schadenstyp und Beanspruchungsbedingungen 409
 - 4.1.4.2. Tragfähigkeit von Zahnradpaarungen 411
 - 4.1.4.3. Abgrenzung der Einsatzbereiche für Mineralöle, Schmierfette und Haftschmierstoffe 412
 - 4.1.4.3.1. Grundsätzliche Auswahlkriterien 412
 - 4.1.4.3.2. Grenzggeschwindigkeiten für den Einsatz verschiedener Schmierstofftypen 415
 - 4.1.4.4. Ermittlung der Viskosität beim Einsatz von Mineralölen 416
 - 4.1.4.4.1. Viskositätswahl bei normalen Betriebsverhältnissen 416
 - 4.1.4.4.2. Erhöhung der Nennviskosität 419
 - 4.1.4.4.3. Verringerung der Nennviskosität 420
 - 4.1.4.4.4. Beispiele für die Viskositätswahl 420
 - 4.1.4.4.5. Viskositätsempfehlungen nach AGMA 421
 - 4.1.4.5. Abgrenzung der Einsatzbereiche für Mineralöle ohne und mit freß- und verschleißverringenden Wirkstoffen 423
 - 4.1.4.5.1. Berechnung der Freßtragfähigkeit 424
 - 4.1.4.5.2. Wälzgetriebe (Stirnradgetriebe, Kegelradgetriebe ohne Achsversetzung) 426
 - 4.1.4.5.3. Wälz-Schraubgetriebe 427
 - 4.1.4.6. Auswahl von Schmierfetten und Haftschmierstoffen zur Getriebebeschmierung 428
 - 4.1.4.6.1. Schmierfette 428
 - 4.1.4.6.2. Haftschmierstoffe 429
- 4.1.5. Getriebebeschmierung in der Praxis 429
 - 4.1.5.1. Schmierverfahren und -systeme 429
 - 4.1.5.1.1. Tropfschmierung 429
 - 4.1.5.1.2. Handschmierung 430
 - 4.1.5.1.3. Sprühschmierung 430
 - 4.1.5.1.4. Tauchschmierung 430
 - 4.1.5.1.5. Umlaufschmierung 432
 - 4.1.5.2. Schmierstoffbedarf 434

- 4.1.5.2.1. Erforderliche Ölfüllung bei Tauchschmierung 435
- 4.1.5.2.2. Erforderliche Ölmenge bei Einspritzschmierung 435
- 4.1.5.3. Ölwechselfristen 437
- 4.1.5.4. Inbetriebnahme und Einlauf 437
- 4.1.6. Zahnradschäden und ihre Beeinflussung durch den Schmierstoff 438
 - 4.1.6.1. Beispiele für nicht vom Schmierstoff zu beeinflussende Zahnradschäden 440
 - 4.1.6.2. Beispiele für durch den Schmierstoff zu beeinflussende Zahnradschäden 443
- 4.2. **Schmierung von hydrodynamischen Getrieben** 446
 - 4.2.1. Anforderungen an Betriebsflüssigkeiten für hydrodynamische Getriebe 446
 - 4.2.2. Spezifikationen für Automatic Transmission Fluids (ATFs) 447
- 4.3. **Hydraulikflüssigkeiten** 450
 - 4.3.1. Hydraulikflüssigkeiten als Kraftübertragungsmedien 450
 - 4.3.2. Typen von Hydraulikflüssigkeiten 450
 - 4.3.3. Anforderungen an Hydraulikflüssigkeiten - Auswahlkriterien 451
 - 4.3.4. Normen und Richtlinien 452
 - 4.3.5. Auswahl der Hydraulikflüssigkeit 452
 - 4.3.5.1. Viskositätswahl 452
 - 4.3.5.2. Wahl des Hydraulikflüssigkeitstyps 454