

Vorwort .....	5
---------------	---

## **1** Einleitung ..... 15

1.1	Historie .....	15
1.2	Antriebstechnik heute .....	18
1.2.1	Elektrische Antriebstechnik .....	18
1.2.2	Hydraulische Antriebe. ....	21
1.2.3	Pneumatische Antriebe .....	22
1.2.4	Resümee zur Antriebsauslegung .....	22

## **2** Antriebssystem. .... 24

2.1	Definition. ....	24
2.2	Aufgaben .....	26
2.3	Arbeitsmaschinen. ....	27
2.4	Bewegungsgleichungen .....	28
2.4.1	Kenngößen des Bewegungsablaufes .....	28
2.4.2	Kräfte, Momente und Leistung .....	29
2.4.3	Beschleunigungskräfte und -momente .....	30
2.4.4	Anlaufzeit .....	31

## **3** Antriebe. .... 33

3.1	Elektrische Antriebe. ....	33
3.1.1	Gleichstrommotor. ....	38
3.1.1.1	Übersicht. ....	38
3.1.1.2	Gleichstrommaschine .....	39
3.1.1.3	Arbeitsprinzip und Aufbau .....	40
3.1.1.4	Vorteile des Motors .....	41
3.1.1.5	Betriebskennlinien. ....	41
3.1.1.6	Kleinantriebe .....	43
3.1.2	Synchronmotor. ....	44

3.1.2.1	Übersicht. ....	44
3.1.2.2	Aufbau und Funktionsweise . . . . .	45
3.1.2.3	Betriebsverhalten . . . . .	46
3.1.2.4	Bürstenlose Gleichstrommaschine . . . . .	49
3.1.3	Asynchronmotor . . . . .	50
3.1.3.1	Übersicht. ....	50
3.1.3.2	Aufbau und Funktionsweise . . . . .	51
3.1.3.3	Einphasen-Asynchronmaschine . . . . .	55
3.1.4	Schrittmotor . . . . .	55
3.1.4.1	Übersicht. ....	55
3.1.4.2	Ausführungen. ....	56
3.1.4.3	Betriebsarten . . . . .	58
3.1.4.4	Betriebskennlinien. ....	59
3.1.5	Direktantriebe . . . . .	60
3.1.5.1	Übersicht. ....	60
3.1.5.2	Drehende Direktantriebe. ....	61
3.1.5.3	Direkte Linearantriebe. ....	62
3.1.5.4	Direktantriebe für sehr kleine Wege . . . . .	66
3.2	Pneumatische Antriebe . . . . .	67
3.2.1	Übersicht. ....	67
3.2.1.1	Vorteile von pneumatischen Antrieben . . . . .	69
3.2.1.2	Nachteile von pneumatischen Antrieben. ....	70
3.2.1.3	Drucklufterzeugung, Verteilung und Aufbereitung. ....	71
3.2.1.4	Ventile und Ventilinseln . . . . .	71
3.2.1.5	Sensorik . . . . .	72
3.2.2	Pneumatische Rotationsantriebe . . . . .	73
3.2.3	Schwenkantrieb . . . . .	74
3.2.4	Zylinderantrieb. ....	75
3.2.5	Pneumatischer Muskel . . . . .	77
3.2.6	Bewegungssteuerung von pneumatischen Antrieben . . . . .	78
3.2.6.1	Schaltpneumatik . . . . .	78
3.2.6.2	Servopneumatik . . . . .	79
3.3	Hydromotor . . . . .	81
3.3.1	Pumpe - Motor . . . . .	81
3.3.1.1	Hydrostatische Leistungsübertragung. ....	81
3.3.1.2	Verdrängerprinzipien . . . . .	82
3.3.1.3	Hydrosystem. ....	85
3.3.2	Schwenkmotor . . . . .	87
3.3.3	Hydrozylinder. ....	89

<b>4</b>	<b>Kupplungen und Bremsen . . . . .</b>	<b>93</b>
4.1	Starre Kupplungen . . . . .	95
4.1.1	Kraftschlüssige Kupplungen. . . . .	96
4.1.1.1	Scheibenkupplung . . . . .	96
4.1.1.2	Spannelementkupplung . . . . .	97
4.1.1.3	Schalenkupplung . . . . .	98
4.1.2	Formschlüssige Kupplungen. . . . .	99
4.1.2.1	Schalenkupplung . . . . .	99
4.1.2.2	Stirnverzahnung. . . . .	100
4.2	Ausgleichskupplungen. . . . .	101
4.2.1	Bogenzahnkupplung . . . . .	103
4.2.1.1	Besonderheiten der Bogenzahnkupplung . . . . .	104
4.2.1.2	Eigenschaften der Bogenzahnkupplung . . . . .	106
4.2.1.3	Varianten der Bogenzahnkupplung . . . . .	106
4.2.2	Kreuzscheibenkupplung (Oldham-Kupplung). . . . .	107
4.2.2.1	Kinematik der Kreuzscheibenkupplung . . . . .	108
4.2.2.2	Eigenschaften der Kreuzscheibenkupplung . . . . .	109
4.2.3	Ringspann-Ausgleichskupplung. . . . .	109
4.2.4	Gelenke und Gelenkwellen . . . . .	110
4.2.4.1	Kreuzgelenk . . . . .	111
4.2.4.2	Doppelkreuzgelenk . . . . .	113
4.2.4.3	Gleichlaufgelenke. . . . .	114
4.2.4.4	Gleichlauf-Festgelenke. . . . .	114
4.2.4.5	Gleichlauf-Verschiebegelenke. . . . .	116
4.2.5	Parallelkurbelkupplung. . . . .	117
4.2.5.1	Kinematik der Parallelkurbelkupplung. . . . .	117
4.2.5.2	Eigenschaften der Parallelkurbelkupplung. . . . .	118
4.3	Elastische Kupplungen. . . . .	119
4.3.1	Metallelastische Kupplungen . . . . .	126
4.3.1.1	Eigenschaften metallelastischer Kupplungen . . . . .	127
4.3.1.2	Beispiele für metallelastische Kupplungen . . . . .	127
4.3.2	Elastomerkupplungen . . . . .	130
4.3.2.1	Eigenschaften von Elastomerkupplungen . . . . .	131
4.3.2.2	Werkstoffe für Elastomerkupplungen . . . . .	131
4.3.2.3	Beispiele für Elastomerkupplungen. . . . .	132
4.3.2.4	Hinweise für die Auswahl von Elastomerkupplungen . . . . .	136
4.3.3	Luftfederkupplung . . . . .	137
4.4	Formschlüssige Schaltkupplungen. . . . .	138
4.4.1	Ziehkeilkupplungen. . . . .	139

4.4.2	Klauenkupplungen.....	140
4.4.3	Zahnkupplungen.....	142
4.5	Kraftschlüssige Schaltkupplungen.....	145
4.5.1	Backen- und Bandkupplungen.....	152
4.5.2	Kegelkupplungen.....	154
4.5.3	Einscheibenkupplungen.....	156
4.5.4	Lamellenkupplungen.....	158
4.6	Überlastkupplungen.....	160
4.6.1	Entwicklung der Überlastkupplungstechnik....	160
4.6.2	Wirkungsweise von Überlastkupplungen (Sicherheitskupplungen).....	161
4.6.3	Bauformen.....	162
4.6.3.1	Rutschkupplung.....	162
4.6.3.2	Brechbolzenkupplung.....	164
4.6.3.3	Überlastkupplung (mechanische Sicherheitskupplung).....	166
4.6.3.4	Durchrastkupplung (Kugelrastkupplung).....	166
4.6.3.5	Winkelsynchronkupplung (Wiedereinrastung nach 360°).....	168
4.6.3.6	Gesperrte Kupplung.....	168
4.6.3.7	Freischaltende Kupplung.....	168
4.6.3.8	Auslegung von Überlastkupplungen.....	170
4.6.3.9	Permanentmagnetkupplung.....	170
4.6.3.10	Synchronkupplung.....	171
4.6.3.11	Hysteresekupplung.....	171
4.7	Anlaufkupplungen.....	173
4.7.1	Fliehkraftkupplungen.....	174
4.7.1.1	Fliehkörperkupplungen.....	175
4.7.1.2	Füllkörperkupplungen.....	178
4.7.2	Hydrodynamische Kupplungen und Bremsen ..	179
4.7.2.1	Übertragungsverhalten hydrodynamischer Kupplungen.....	181
4.7.2.2	Hydrodynamische Kupplung als Anfahr- und Sicherheitskupplung.....	183
4.7.2.3	Hydrodynamische Bremse.....	187
4.8	Freilaukupplungen.....	188
4.8.1	Bauformen und Funktionsweise.....	189
4.8.2	Allgemeines Funktionskriterium für Freiläufe..	191
4.8.3	Aufbau von Freilaukupplungen.....	192
4.8.3.1	Klemmrollenfreilauf.....	192
4.8.3.2	Klemmkörperfreilauf.....	193

4.8.3.3	Arten von Anfederungen .....	194
4.8.4	Schmierung .....	196
4.8.5	Einteilung aus industrieller Sicht .....	196
4.8.6	Vor- und Nachteile verschiedener Freilaufbauformen .....	198
4.8.7	Einsatzgebiete und Anwendungsbeispiele .....	199
4.9	Bremsen .....	201
4.9.1	Backenbremsen .....	202
4.9.2	Scheibenbremsen .....	203
4.9.3	Lamellenbremsen .....	209
4.9.3.1	Funktion und Anwendung – Überblick .....	209
4.9.3.2	Dimensionierung von Lamellenbremsen .....	212

## **5 Getriebe .....** **224**

5.1	Getriebe mit konstanter Übersetzung .....	226
5.1.1	Rädergetriebe .....	226
5.1.1.1	Stirnradgetriebe .....	228
5.1.1.2	Winkelgetriebe .....	234
5.1.1.3	Planetengetriebe .....	244
5.1.1.4	Exzentrische Umlaufgetriebe .....	259
5.1.2	Zugmittelgetriebe .....	262
5.1.2.1	Riemen .....	264
5.1.2.2	Dimensionierung der Riemengetriebe .....	267
5.1.2.3	Ketten .....	270
5.1.2.4	Dimensionierung der Kettengetriebe .....	271
5.1.3	Hubgetriebe .....	273
5.1.3.1	Spindel-Hubgetriebe .....	274
5.1.3.2	Zahnstangen-Hubgetriebe .....	286
5.1.3.3	Schubketten-Hubgetriebe .....	287
5.1.3.4	Zugmittel-Hubgetriebe .....	288
5.2	Getriebe mit veränderlicher Übersetzung .....	290
5.2.1	Rädergetriebe .....	290
5.2.1.1	Schalten ohne Last .....	294
5.2.1.2	Schalten mit Last .....	298
5.2.2	Reibradgetriebe .....	300
5.2.3	Stufenlose Getriebe mit Leistungsverzweigung .....	302
5.3	Fluidgetriebe .....	304
5.3.1	Hydrostatische Getriebe .....	304
5.3.1.1	Aufbau .....	304
5.3.1.2	Berechnungsgrundlagen .....	306

5.3.1.3	Bauformen und Anwendungsbeispiele	308
5.3.1.4	Hydrostatischer Fahrtrieb	309
5.3.2	Hydrodynamische Getriebe	313
5.3.2.1	Übertragungsverhalten hydrodynamischer Getriebe	314
5.3.2.2	Hydrodynamische Getriebe in mobilen Anwendungen	318
5.3.2.3	Hydrodynamische Getriebe in stationären Anwendungen	320

## **6 Messsysteme für E-Antriebe** . . . . . **325**

6.1	Einleitung	325
6.2	Messsysteme	326
6.3	Messsignale	329
6.4	Einsatz der Geber	333
6.5	Arbeitsweise	335
6.5.1	Tachogenerator	335
6.5.2	Resolver	336
6.5.3	Inkrementelle Impulsgeber	336
6.5.4	Sinus-Cosinus-Geber	337
6.5.5	Absolutwertgeber	338
6.5.6	Drehgeber auf Hall-Effekt-Basis	340
6.5.7	TTL-Geber	341
6.5.8	HTL-Geber	341
6.5.8.1	Geberausführungen	341
6.5.8.2	Signalgewinnung	343
6.6	Sondermessungen	344

## **7 Stromrichter für die Antriebstechnik** . . . . . **347**

7.1	Aufbau und Betrieb	347
7.2	Elektronische Schalter (Ventile)	348
7.2.1	Dioden	348
7.2.2	Thyristoren	349
7.2.3	Transistoren	349
7.2.4	Schutz und Kühlung von Halbleiterschaltern	350
7.3	Stromrichter für Antriebe	351
7.3.1	Spannungseinstellung	352
7.3.2	Netzgeführte Stromrichter	352
7.3.3	Selbstgeführte Gleichstromsteller	354

7.3.4	Wechselstromsteller – Sanftanlaufgerät .....	355
7.3.5	Frequenzumrichter – Übersicht .....	357
7.3.5.1	Frequenzumrichter (Hardware) .....	358
7.3.5.2	Wechselrichter MSR .....	360
7.3.5.3	Netzgleichrichter und Netzurückwirkungen .....	361
7.3.5.4	Energierichtung und Bremsenergie .....	362
7.3.5.5	Bauformen .....	364
7.3.5.6	Betrieb und Software .....	364
7.3.5.7	Steuerung des Drehfeldmotors .....	365
7.3.5.8	Regelung – Drehmoment .....	366
7.3.5.9	Integrierte Sicherheitsfunktionen .....	368
7.3.5.10	Automatisierungssysteme – Leitsystem .....	369
7.3.5.11	Motion Control .....	370
7.3.5.12	Was ist EMV? .....	370
7.3.5.13	Umrichter-Auswahl .....	371
7.5.3.14	Drehspannungserzeugung .....	371

## **8 Energieeffizienz ..... 374**

8.1	Einleitung .....	374
8.2	Forderungen an die Antriebe .....	375
8.3	Sparsamer Energieeinsatz .....	377
8.4	Nutzung der Bremsenergie .....	377
8.4.1	Rückspeisung ins Netz .....	377
8.4.2	Energieaustausch zwischen Antrieben (DC-Schiene) .....	378
8.4.3	Energiespeicherung in einem Kondensator .....	378
8.5	Energiesparmotoren .....	378
8.6	IE-Klassen .....	380
8.7	Geführte Rampen bei Hoch- und Bremslauf .....	380
8.8	Stoffmengenregelung .....	381
8.9	Energiesparkennlinie am Umrichter .....	383
8.10	Getriebe mit hohem Wirkungsgrad und Leichtlaufölen .....	384
8.11	Energy-Monitoring-System und Energierückgewinnung .....	384
8.12	Checkliste zur Energieeinsparung: .....	386

## **9 Anwendungen ..... 388**

9.1	Solartracker-Positionierung mit Getriebemotoren .....	388
9.1.1	Einleitung .....	388
9.1.2	Mechanische Konstruktion .....	389

9.1.3	Antriebstechnik .....	390
9.1.4	Nachführung .....	392
9.2	Servogetriebe in der Lebensmittelbranche .....	393
9.2.1	Einleitung .....	393
9.2.2	Sauberer Schnitt mit Ultraschall .....	394
9.2.3	Anlagenkonstruktion .....	395
9.2.4	Großes Handlingsportal .....	396
9.2.5	Hygieneanforderungen .....	398
9.2.6	Umrichter mit integrierter Steuerung .....	399
9.3	Industriegetriebe für Turbinenschweißanlagen .....	400
9.3.1	Einleitung .....	400
9.3.2	Positionierung großer Massen .....	401
9.3.3	Leistungsstarke Antriebstechnik .....	403
9.3.4	Bequeme Anlagensteuerung .....	404
9.4	Hydrostatischer Antrieb .....	405
9.4.1	Leistungsverzweigung .....	405
9.4.2	Drehzahlentkoppelter Antrieb .....	409
9.5	Automatisierungstechnik an Druckmaschinen .....	411
9.5.1	Automationstechnik .....	411
9.5.1.1	Antriebstechnik .....	412
9.5.1.2	Steuerungstechnik .....	414
9.5.2	Elektronische Welle .....	415
9.5.3	Prozessregler .....	416
9.5.4	Trends in der Automatisierung .....	416

<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>419</b>
----------------------------------	------------