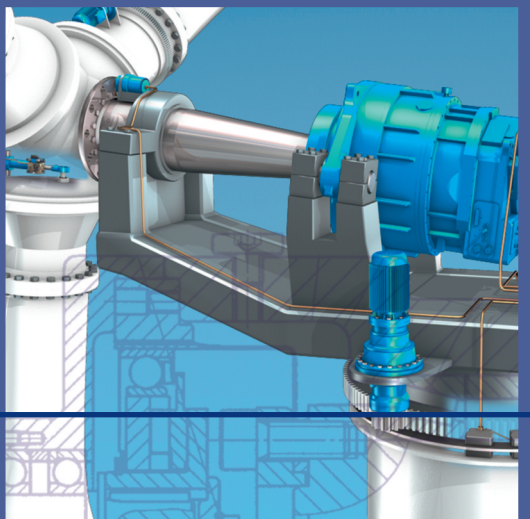


Horst Haberhauer
Manfred Kaczmarek (Hrsg.)

Taschenbuch der Antriebstechnik



HANSER

AUS PRINZIP PRÄZISER – FÜR MEHR PRODUKTIVITÄT

Höchste Präzision, die sich mit Sicherheit auszahlt. Dafür steht SPIETH weltweit. Seit über 50 Jahren. Wir sind der Technologieführer und Lösungspartner für den innovativen Maschinen- und Anlagenbau. Wenn es um absolute Qualität bei der mechanischen Verbindung, Lagerung und Sicherung von Antriebs- und Führungskomponenten geht, verlassen sich Top-Hersteller auf uns. Durch das einzigartige SPIETH Prinzip setzen unsere Produkte neue Maßstäbe in Sachen Präzision, Funktion, Standfestigkeit, Montagefreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit. Damit bei unseren Kunden alles rund läuft. Fragen Sie die Verbindungsexperten. www.spieth-me.de



SPIETH

Aus Prinzip präziser

Antriebe nach Mass



Flüssigkeitsgekühlte Elektromotoren

- Unerreichte Dynamik
- Synchron und asynchron
- Einsatz unter harten Bedingungen
- Schutzart bis IP69K

Motoreinbausätze

- Synchron und asynchron
- Hohe Leistungsdichte
- Kundenspezifische Auslegung
- Hoher Feldschwäcbereich



Haberhauer/Kaczmarek (Hrsg.)
Taschenbuch der Antriebstechnik

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Horst Haberhauer, Hochschule Esslingen

Dipl.-Ing. Manfred Kaczmarek, Rheinische Akademie Köln

Autoren

Dipl.-Ing. Markus Albrecht, Ortlinghaus-Werke GmbH Wermelskirchen, (Kapitel 4.9.3)

Prof. Dr.-Ing. Norbert Babel, Hochschule Landshut, (Kapitel 5.1.1.3, 5.1.1.4)

Dr.-Ing. Ulrich Bräckelmann, Bosch Rexroth AG Elchingen, (Kapitel 3.3, 5.3.1, 9.4)

Prof. Prof. h. c. mult. Dr.-Ing. Peter F. Brosch, Hochschule Hannover, (Kapitel 3.1, 3.1.1, 3.1.4, 3.1.5, 6, 7, 8)

Dipl.-Ing. Roland Deneffleh, SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG Bruchsal, (Kapitel 5.1.1, 5.1.1.1, 5.1.1.2)

Dipl.-Ing. Josef Eisenburger, Chr. Mayr GmbH + Co. KG Mauerstetten, (Kapitel 4.6)

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Giebler, BoschRexroth Electric Drives and Controls GmbH Lohr am Main, (Kapitel 9.5)

Prof. Dr.-Ing. Horst Haberhauer, Hochschule Esslingen, (Kapitel 2, 3, 4, 4.9, 4.9.1, 5)

Prof. Dr.-Ing. Anton Haberkern, Hochschule Esslingen, (Kapitel 5.1.3)

Dr.-Ing. Wolfgang Hildebrandt, GKN Driveline International GmbH Lohmar, (Kapitel 4.2.4)

Dipl.-Ing. Manfred Kaczmarek, Rheinische Akademie Köln, (Kapitel 1)

Prof. Dipl.-Ing. Werner Klement, Hochschule Esslingen, (Kapitel 5.2)

Dr.-Ing. Torsten Kretschmer, Stieber GmbH Heidelberg, (Kapitel 4.8)

Dipl.-Ing. Gunthart Mau, SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG Bruchsal, (Kapitel 9.1, 9.2, 9.3)

Dr.-Ing. Volker Middelmann, Voith Turbo GmbH Crailsheim, (Kapitel 4.7.2, 5.3.2)

Dr.-Ing. Rüdiger Neumann, Festo AG & Co. KG Esslingen, (Kapitel 3.2)

Prof. Dr.-Ing. Eugen Nolle, Hochschule Esslingen, (Kapitel 3.1.2, 3.1.3)

Prof. Dr.-Ing. habil. Frank Helmut Schäfer, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, (Kapitel 5.1.2)

Dr.-Ing. Günter Schäfer, Technische Universität Clausthal-Zellerfeld, (Kapitel 4.1, 4.4, 4.5, 4.9.2)

Dipl.-Ing. (FH) Ulrike Schwanke, Hochschule Esslingen, (Kapitel 4.2, 4.3, 4.7, 4.7.1, 5.1.1.3)

Taschenbuch der Antriebstechnik

Herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. Horst Haberhauer und
Dipl.-Ing. Manfred Kaczmarek

Mit 359 Bildern und 47 Tabellen



Fachbuchverlag Leipzig
im Carl Hanser Verlag



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-446-42770-9

E-Book-ISBN 978-3-446-43426-4

Umschlagbild: Bosch Rexroth AG Lohr

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag

© 2014 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Jochen Horn

Herstellung: Katrin Wulst

Satz: Manuela Treindl, Fürth

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

Vorwort

Das „Taschenbuch der Antriebstechnik“ beschreibt die wichtigsten antriebstechnischen mechanischen und elektrischen Komponenten sowie ihr Verhalten beim Anfahren und im Betrieb einer Anlage. Da es eine Vielzahl von verschiedenen Maschinen und Anlagen gibt, sind deren Antriebssysteme unterschiedlich aufgebaut und kombiniert.

Außer den „klassischen“ Maschinen und Anlagen werden in den einzelnen Kapiteln auch spezielle Themen der Antriebstechnik sowie wichtige Antriebskomponenten und -systeme behandelt. Des Weiteren werden im Buch Berechnungen zur Antriebstechnik erläutert. Eine umfangreiche Beispielsammlung von antriebstechnischen Situationen ergänzt die Ausführungen. Die Berechnungen und Beispiele werden zusätzlich durch Skizzen und Bilder veranschaulicht. Ein Kapitel „Anwendungen“ beschäftigt sich mit der Umsetzung der Antriebstechnik in Verbindung mit kompletten Anlagen zu einem funktionierenden Ganzen. Abbildungen und Formeln ergänzen den Text. Literatur- und Quellenangaben am Ende des jeweiligen Kapitels ermöglichen ein Vertiefen der aufgeführten Themen.

Studierende des Maschinen- und Anlagenbaus sowie der Elektrotechnik finden in diesem Werk viele nützliche Tipps und Informationen zum Nachschlagen sowie für eine erfolgreiche Klausurvorbereitung. Erfahrene, in der Praxis tätige Ingenieure erhalten in den einzelnen Kapiteln kurzgefasst die für eine Antriebsauslegung wichtigen aktuellen Hinweise und Berechnungsgrundlagen.

Ergänzende Anregungen und Hinweise aus dem Leserkreis sind bei Herausgebern und Verlag stets willkommen. Unserem Lektor, Herrn *Jochen Horn*, danken wir für die unermüdliche Betreuung während der Entstehung dieses Buches.

Esslingen und Nörvenich, Frühjahr 2014

Horst Haberhauer
Manfred Kaczmarek

Inhaltsverzeichnis

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	Kenngrößen 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

4 Kupplungen und Bremsen 93

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	Freilaufkupplungen	188
4.8.1	Bauformen und Funktionsweise.	189
4.8.2	Allgemeines Funktionskriterium für Freiläufe. .	191
4.8.3	Aufbau von Freilaufkupplungen.	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	Planetenge triebe.....	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 Kettenge triebe.....	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 – Sanftanlaufgerät355
 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 Sicherheitsfunktionen368
 7.3.5.10 Automatisierungssysteme – Leitsystem369
 7.3.5.11 Motion Control370
 7.3.5.12 Was ist EMV?370
 7.3.5.13 Umrichter-Auswahl371
 7.5.3.14 Drehspannungserzeugung371

8 Energieeffizienz 374

8.1 Einleitung374
 8.2 Forderungen an die Antriebe375
 8.3 Sparsamer Energieeinsatz.....377
 8.4 Nutzung der Bremsenergie377
 8.4.1 Rückspeisung ins Netz377
 8.4.2 Energieaustausch zwischen Antrieben
 (DC-Schiene).....378
 8.4.3 Energiespeicherung in einem Kondensator ...378
 8.5 Energiesparkmotoren.....378
 8.6 IE-Klassen380
 8.7 Geführte Rampen bei Hoch- und Bremslauf380
 8.8 Stoffmengenregelung.....381
 8.9 Energiesparkennlinie am Umrichter383
 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 Getriebemotoren388
 9.1.1 Einleitung388
 9.1.2 Mechanische Konstruktion389

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

Sachwortverzeichnis 419

■ 1.1 Historie

In der Vergangenheit wurde die Arbeitsenergie oft unter schwierigen Bedingungen vom Menschen aufgebracht. Geniale Konstrukteure änderten dies durch ihren regen Erfindergeist. Archimedes (287–212 v. Chr.) entwarf (ca. 240 v. Chr.) und baute unter anderem nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten eine mehrstufige Zahnradwinde (Bild 1.1).

Durch die Kombination von Zahnrädern wird die Handkurbelkraft durch die zusammenwirkenden Getriebestufen untersetzt und damit reduziert. Die Geschwindigkeit der am Seil hängenden Last wird hierdurch ebenfalls verringert. Außerdem wird eine rotatorische in eine translatorische Bewegung umgesetzt.

Auch der Spieltrieb der Menschen im 1. Jahrhundert n. Chr. sorgte für interessante Konstruktionen (Bild 1.2).

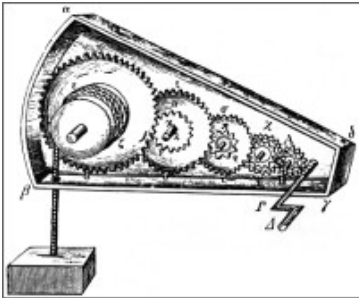


Bild 1.1 Mehrstufige Zahnradwinde

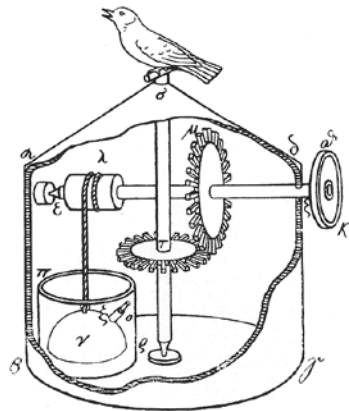


Bild 1.2 Automatenpielzeug mit einem Winkelgetriebe

Franz Reuleaux, Hochschullehrer und Verfasser der „Theoretischen Kinematik“ und Mitbegründer der Technischen Hochschule in Aachen, war auch ein aufmerksamer Reisender. Er brachte aus dem Vorderen Orient die Erkenntnis mit, dass dort die technische Wiege der Zahnräder mit geschränkten Achsen liegt. Sie wurden in Wasserhebungsmaschinen, den sog. Göpelschöpfwerken, eingesetzt.

Ein weiteres interessantes Beispiel aus der historischen Antriebstechnik ist die zentrale Leistungsübertragung zu einzelnen Maschinen hin. Das Antriebselement war dabei die Transmissionswelle. Bild 1.3 zeigt eine Anordnung. Hier sieht man eine an der Hallendecke befestigte und gelagerte Transmissionswelle. Von dort aus gehen die einzelnen Riemen auf die Stufenscheiben der Produktionsmaschinen. Durch die unterschiedlichen Stufendurchmesser hat man die Möglichkeit, verschiedene Drehzahlen zu erreichen. Nachteilig bei dieser Art von Leistungsabgabe war, dass die zentral installierte Kraftmaschine auch dann in Betrieb sein musste, wenn nur eine leistungsabnehmende Maschine benötigt wurde. Dies sorgte für einen sehr schlechten Wirkungsgrad des Systems.

Mit dem Einzelantrieb begann eine neue Antriebsära. Der 1927 entwickelte Vorgelegemotor war eine technisch und wirtschaftlich gute Lösung.

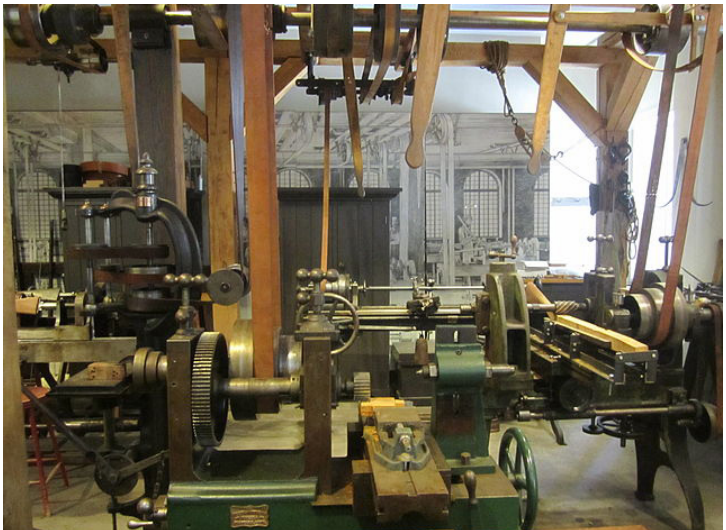


Bild 1.3 Transmission in einer metallverarbeitenden Fabrik [1.4]

Die Motor-Getriebe-Einheit (Bild 1.4) mit nachgeschaltetem Riementrieb (Bild 1.5) wurde auch als Deckenkonstruktion ausgeführt. Die schon damals kompakte Form ist der Vorläufer der heutigen Getriebemotoren. Diese wirtschaftliche Kombination von Motor und Getriebe verringert den Platzbedarf erheblich.

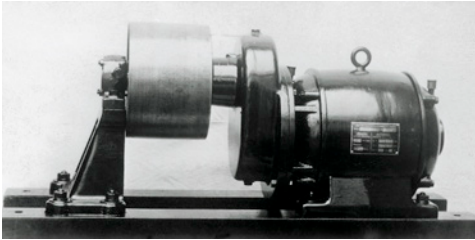


Bild 1.4 Motor-Getriebe-Einheit

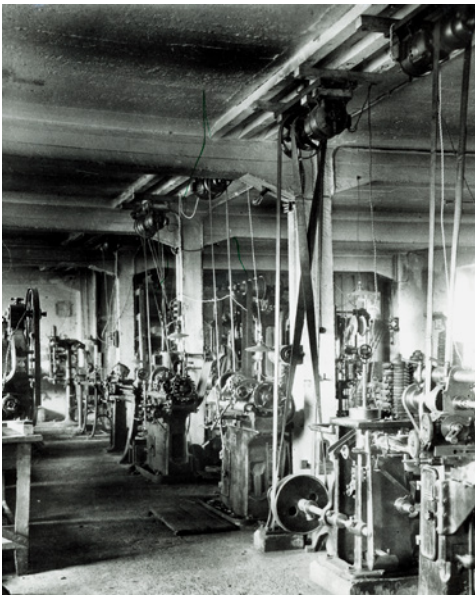


Bild 1.5 Motor-Getriebe-Einheit mit Riementrieb [1.2]

■ 1.2 Antriebstechnik heute

Durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung sind Antriebe und Antriebselemente in ihrer Bauform kompakter geworden. Das heißt, heute hat man bei kleiner gewordenem Bauteilvolumen eine verhältnismäßig hohe Leistungsübertragung.

Die Werkstoffwissenschaft hat korrosionsbeständigere und verschleißärmere Stähle entwickelt und auf den Markt gebracht. Hierdurch wurden sowohl die Einsatzgebiete vergrößert als auch die Lebensdauer von Motoren, Getrieben und Antriebselementen (Kupplung, Bremse, Gelenkwelle usw.) verlängert.

Auch wenn im Laufe der Jahrhunderte erhebliche Verbesserungen in der Technik Einzug gehalten haben, muss beim jeweiligen Antrieb immer die besondere Charakteristik berücksichtigt werden. Die Auswahl zwischen elektrischem, pneumatischem oder hydraulischem Antrieb muss dem jeweiligen, konstruktiv zu lösenden Fall optimal zugeordnet werden.

1.2.1 Elektrische Antriebstechnik

Die Vorteile der elektrischen Antriebe sind:

- einfache Bedienbarkeit,
- gute Steuerfähigkeit,
- wartungsarmer Betrieb.

Bild 1.6 zeigt ein komplettes Hubwerk. Hierbei ist das Drehmoment des Antriebs drehzahl- und drehrichtungsabhängig ausgelegt. Da Hubwerke auch häufig im Offshore-Bereich eingesetzt werden, muss die gesamte Ausführung für einen robusten Betrieb konzipiert sein.

Eine wiederum andere Antriebskonfiguration benötigen Papier- und Druckmaschinen, Walzanlagen und Verseilmaschinen. Bild 1.7 zeigt den Trocknungsbereich einer Papiermaschine. Der Gleichlaufantrieb dieses Anlagentyps sorgt für eine konstante Geschwindigkeits-, Drehzahl- und Drehmomentenregelung.

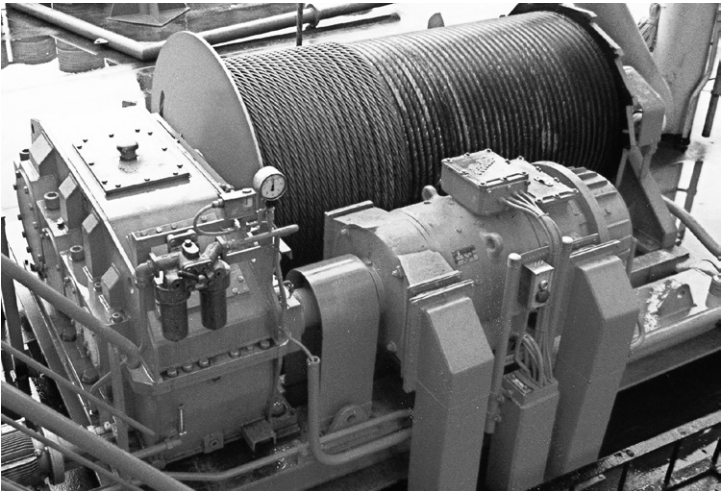


Bild 1.6 Hubwerk mit Getriebe, Kupplung und Elektromotor [1.3]

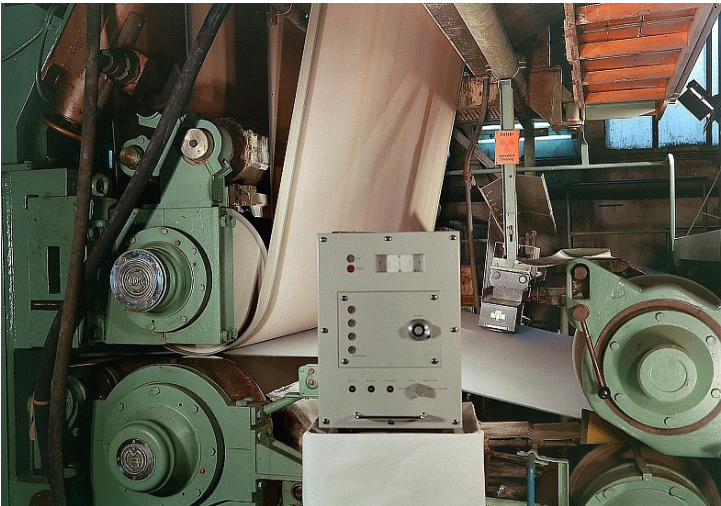


Bild 1.7 Trocknungsbereich einer Papiermaschine [1.5]



Bild 1.8 Stemmter der Schleuse Münster (Fa. Bosch Rexroth AG)

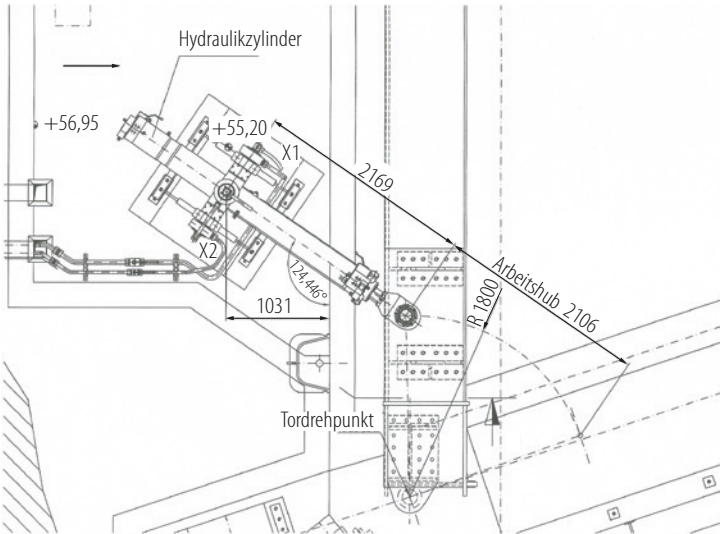


Bild 1.9 Antriebsbereich der Schleuse (Fa. Bosch Rexroth AG)

1.2.2 Hydraulische Antriebe

Wählt man für den Antrieb einer Maschine einen hydraulischen Antrieb aus, so werden damit folgende Forderungen erfüllt:

- hohe Kraftdichte,
- kompakte Bauform und
- dauerhafte Robustheit.

Vor allen Dingen wird diese Technik in mobilen Fahrzeugen sowie Anlagen, die große Kräfte benötigen, eingesetzt.

Um eine Schleuse sicher und störungsfrei zu betreiben, werden hydraulische Anlagen verwendet, die große Lasten störungsfrei bewegen und auch im Nassbetrieb einwandfrei arbeiten (Bilder 1.8 und 1.9). Die Verstellbewegung des Klapptors erfolgt mit einem Hydraulikzylinder. Zum Schließen des Tors erzeugt der Zylinder eine Druckkraft von 450 kN, zum Öffnen eine Zugkraft von 315 kN.

Ein weiteres Beispiel für sinnvollen Hydraulikeinsatz ist die Verstellbarkeit der Rotorblätter an einer Windkraftanlage (Bild 1.10). Um sich den idealen Windverhältnissen anzupassen, müssen die Rotorblätter axial verstellbar sein. Hierfür sind drei hydraulische Stellzylinder vorgesehen. Der Steuerungsblock sitzt hier direkt am Zylinder und sorgt damit für eine kompakte Antriebseinheit.



Bild 1.10 Rotorblattverstellung (Fa. Rexroth)

1.2.3 Pneumatische Antriebe

Ein großes Einsatzgebiet für die Pneumatik ist der Montage- und Handhabungsbereich. Da man hier bei gleichzeitig kurzen Reaktionszeiten in der Regel nur „mittelgroße“ Kräfte braucht, arbeiten diese Antriebe in einem kostengünstigen und wirtschaftlichen Bereich. Im Bild 1.11 wird als Beispiel die Handhabung eines Pakets gezeigt. Das Transportgut wird in der Station einer Rollenbahn um 180° gedreht. Das ankommende Paket gibt dem Zylinder links über eine Lichtschranke den Impuls zum Ausfahren, dessen Hub eine 90°-Stellung des klappbaren Rollenbahnteils bewirkt. Die nächsten 90° werden durch die dann folgende Schwenkbewegung erreicht.

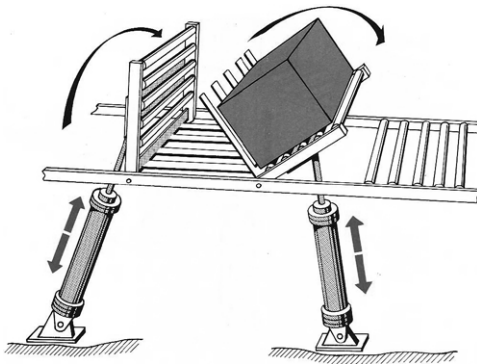


Bild 1.11
Wenden eines
Transportguts ([1.7])

1.2.4 Resümee zur Antriebsauslegung

Bei der Wahl des geeigneten Antriebs ist die angetriebene Maschine oder Anlage der bestimmende Ausgangspunkt für die optimale Antriebslösung. Folgende Fragen sind dabei zu beantworten:

- Welche Kräfte, Momente usw. treten auf?
- In welchen vorhandenen Steuerungsablauf muss der Antrieb eventuell integriert werden?
- Welche Umgebungseinflüsse sind vorhanden (evtl. spezielle Dichtungen und Materialien vorsehen)?
- Was ist am Montageort an Energie vorhanden und braucht nicht teuer neu installiert zu werden (Druckluft, Hydraulikaggregat, Strom)?
- Müssen evtl. am Befestigungsfundament schwingungsmildernde Vorkehrungen getroffen werden?

■ Quellen und weiterführende Literatur

- [1.1] *Gleisberg, H.*: Technikgeschichte in Einzeldarstellung. VDI-Verlag 1970
- [1.2] *Mack, F. J.; Wagner-Ams, M.*: Getriebemotoren: Prinzip, Aufbau und Einsatz. Landsberg: moderne industrie, 2001
- [1.3] Firma ZOLLERN: Prospekt Antriebstechnik
- [1.4] Wikimedia (Hathorn, B.) 2012
- [1.5] Wikimedia (Nosko, E.) 1973
- [1.6] Firma REXROTH: Hydraulik und Elektronik im Stahlwasserbau/Hydraulische Steuerungstechnik für Windenergieanlagen
- [1.7] *Deppert, W.; Stoll, K.*: Pneumatische Steuerungen. Würzburg: Vogel, 1977

2

Antriebssystem

Prof. Dr.-Ing. Horst Haberhauer

■ 2.1 Definition

Antriebssystem ist der allgemeine Sammelbegriff für alle technischen Systeme, die etwas antreiben. Antriebssysteme gibt es zu verschiedenen Zwecken und in unterschiedlichen Ausführungen, die mit unterschiedlichen Energiequellen angetrieben werden können. Jedes System kann durch folgende Merkmale beschrieben werden:

- die Systemgrenze,
- die Ein- und Ausgangsgrößen,
- die Elemente.

Die **Systemgrenze** trennt das System von seiner Umgebung. Dadurch wird festgelegt, was innerhalb und was außerhalb des Systems liegt.

Wichtigste **Eingangsgröße** ist die Energie. Folgende Energiequellen stehen zur Verfügung:

- elektrische Energie (Stromnetz),
- pneumatische Energie (Druckluftnetz),
- chemische Energie (Benzin, Diesel, Gas).

Auch Steuersignale (z. B. Ein/Aus, Drehzahl usw.) sind ebenfalls Eingangsgrößen, die zum Steuerungs-/Regelungssystem gehören.

Die **Ausgangsgrößen** sind Bewegungs- und Stellvorgänge, die für den Arbeitsprozess der Arbeitsmaschine benötigt werden.

Die antreibende Seite (Eingang) wird als **Kraftmaschine** bezeichnet und wandelt elektrische, pneumatische oder chemische Energie in mechanische Energie um. Am Abtrieb steht der Nutzen des Antriebssystems zur Verfügung. Die Abtriebsseite (Ausgang) wird als **Arbeitsmaschine** bezeichnet.

Über Art und Anordnung der darin enthaltenen **Elemente** können unterschiedliche Antriebssysteme definiert werden (Bilder 2.1 bis 2.3). In den

Bildern 2.1 und 2.2 sind Antriebssysteme für rotatorische und lineare Bewegungs- und Stellvorgänge dargestellt, die elektrisch angetrieben werden. Das Subsystem Steuerung/Regelung ist nur in Bild 2.1 aufgeführt, da auf die Steuerungs- und Regelungstechnik hier nicht näher eingegangen wird. Hierfür gibt es umfangreiche spezielle Literatur.

Antriebssysteme mit elektrischem Antrieb können auch ohne Getriebe verwendet werden. Man spricht dann von **Direktantrieben**, wie in Kap. 3.1.5 beschrieben.

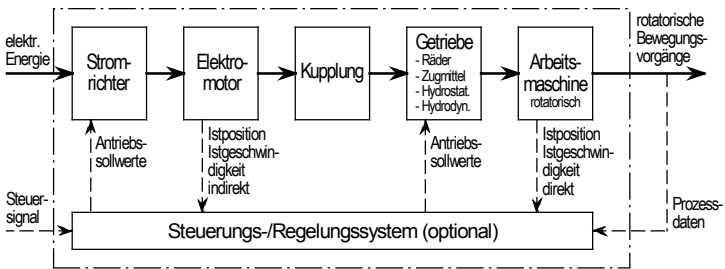


Bild 2.1 Antriebssystem für rotatorische Bewegungsvorgänge mit elektrischem Antrieb

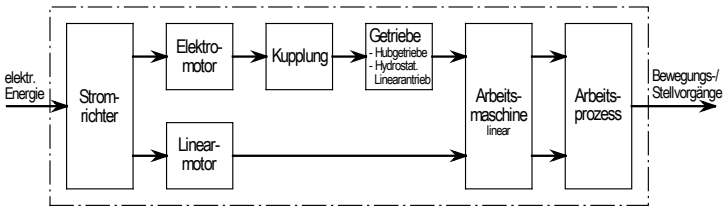


Bild 2.2 Antriebssystem für lineare Bewegungsvorgänge mit elektrischem Antrieb

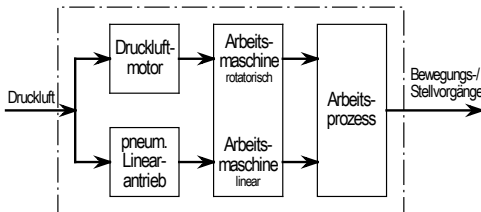


Bild 2.3 Antriebssystem mit pneumatischem Antrieb

Voraussetzung für Antriebssysteme mit pneumatischem Antrieb ist die Verfügbarkeit eines Druckluftnetzes (Kap. 3.2).

Antriebssysteme, in denen chemische Energie gewandelt wird (Turbinen oder Verbrennungsmotoren), sind spezielle Anwendungen (z. B. im Fahrzeug- oder Flugzeugbau), die hier nicht näher behandelt werden.

■ 2.2 Aufgaben

Aus der vorhergehenden Definition ergeben sich die wichtigsten Aufgaben eines Antriebssystems:

- Energiewandlung mit möglichst hohem Wirkungsgrad,
- Realisierung von Bewegungs- und Stellvorgängen entsprechend den vorgegebenen statischen und dynamischen Genauigkeitsanforderungen.

Die Einsatzmöglichkeiten sind entsprechend groß. Typische Anwendungsgebiete der Antriebstechnik sind die Realisierung von Bewegungsvorgängen z. B. für:

- spanende Bearbeitungsprozesse,
- Umformprozesse,
- Transportprozesse,
- Stellvorgänge,
- Positioniervorgänge.

Dank der guten Verfügbarkeit und des hohen Wirkungsgrades sowie der hervorragenden Steuer- und Regeleigenschaften werden häufig elektrische Antriebe verwendet. Bei Stellvorgängen in automatisierten Fertigungseinrichtungen haben aber auch pneumatische Antriebe große Bedeutung.

Der **Motor** eines Antriebssystems muss so dimensioniert sein, dass er in allen vorgesehenen Betriebsfällen die von der Arbeitsmaschine benötigte Energie zur Verfügung stellt.

In der Regel fließt die Energie vom Netz zur Arbeitsmaschine. Bei elektrischen Antrieben ist jedoch auch eine Umkehrung des Energieflusses möglich (Bild 2.4).

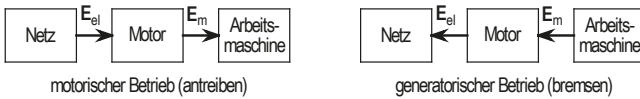


Bild 2.4 Energiefluss in einem Antriebssystem

Im Bremsbetrieb wirkt dann der Motor als Generator, der Strom erzeugt. Eine spezielle Anwendung sind Windkraftanlagen, bei denen die Windenergie Rotoren in Bewegung versetzt, die wiederum einen Generator antreiben.

■ 2.3 Arbeitsmaschinen

Im Maschinenbau steht der Begriff Arbeitsmaschine für eine Einheit, die mechanische Energie aufnimmt und rotatorische oder translatorische (lineare) Bewegungsenergie abgibt. Sie verrichtet also eine Arbeit, die sowohl in rotatorischer Form (Moment \times Winkel) als auch in translatorischer Form (Kraft \times Weg) vorliegen kann.

Abhängig von ihren Aufgaben sind überaus viele unterschiedliche Arbeitsmaschinen im Einsatz. Man unterscheidet zwischen stationären und mobilen Arbeitsmaschinen.

Stationäre Arbeitsmaschinen verrichten ihre Arbeit stets am selben Ort und sind meist an ein stationäres Energienetz angeschlossen. Das Maschinengewicht spielt hier eine untergeordnete Rolle. Wichtig sind optimierte Arbeitsprozesse (z. B. kurze Taktzeiten) und Wirkungsgrad-effizienz. Beispiele für stationäre Arbeitsmaschinen sind:

- Werkzeugmaschinen und Industrieroboter,
- Förderanlagen, Krane und Aufzüge,
- Pumpen und Gebläse,
- Ventile und Schieber.

Mobile Arbeitsmaschinen können dagegen ihren Einsatzort durch eigenen oder fremden Antrieb verändern. Die Energieversorgung ist in der Regel ebenfalls nicht stationär. Mobile Arbeitsmaschinen sind gleichzeitig Fahrzeuge, zu deren Aufgabe neben der reinen Fahrt die Verrichtung von Arbeitsprozessen gehört. Beispiele für mobile Arbeitsmaschinen sind:

- Baumaschinen,
- Landmaschinen,
- Kehrmaschinen.