

Die Meisterprüfung

Elektrische Maschinen

Dipl.-Ing. Peter Behrends

unter Mitwirkung von:

Dipl.-Ing. Gerd Fehmel

Dipl.-Ing. Horst Flachmann

Dipl.-Ing. Otto Mai

15., überarbeitete Auflage

Vogel Communications Group

Weitere Informationen:
www.vogel-fachbuch.de

ISBN 978-3-8343-3441-1

15. Auflage. 2019

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Printed in Hungary.

Copyright 1977 by Vogel Communications Group GmbH & Co. KG,
Würzburg

Vorwort

In diesem Fachbuch der Reihe «Die Meisterprüfung in der Elektrotechnik» werden alle wichtigen Themen von elektrischen Maschinen behandelt, deren fachliche Zusammenhänge ein Meister der Elektrotechnik verstehen muss.

Es schließt eine Lücke zwischen dem Berufsschul- und dem Fachhochschulniveau, insbesondere für zukünftige Meister. Vorausgesetzt werden grundlegende Kenntnisse aus dem Band «Mathematische und Elektrotechnische Grundlagen» dieser Buchreihe. Hierzu zählen der Umgang mit mathematischen Formeln, graphische Darstellungen und Ersatzschaltbilder, Grundkenntnisse vom magnetischen Feld und den physikalischen Gesetzen der Gleich-, Wechsel- und Drehstromtechnik.

Die sinnvoll abgerundeten Lehreinheiten können unabhängig von anderen Titeln verarbeitet werden, die Lernziele entsprechen den Anforderungen, die der Zentralverband der Elektro- und Informationstechnischen Handwerke (ZVEH) für diesen Bereich festgelegt hat.

Da heute zunehmend projektbezogen unterrichtet werden soll, dient das Buch auch als Nachschlagewerk für Lehrgangsteilnehmer, die sich auf die Meisterprüfung vorbereiten, sowie gleichermaßen für Meister und Techniker in der beruflichen Praxis.

Die heutige Form ist das Ergebnis ständiger Erprobungen mit Teilnehmern an Meisterlehrgängen des Bundestechnologiezentrums für Elektro- und Informationstechnik (bfe Oldenburg). Die ausführlichen, häufig mit vierfarbigen Bildern veranschaulichten Beschreibungen zu einzelnen Themen werden von nach methodischen Gesichtspunkten ausgewählten Rechenbeispielen ergänzt. Für Lehr- und Übungszwecke gibt es als sinnvolle Ergänzung der Reihe den Band «Aufgaben und Lösungen Elektrotechnik».

Außerdem gibt es passend dazu Lern-CDs und E-Learning-Angebote vom bfe Oldenburg, die laufend weiterentwickelt werden, ebenfalls von der Vogel Communications Group.

Resonanz aus dem Benutzerkreis ist den Autoren unter E-Mail: d.huette@bfe.de stets willkommen.

Oldenburg und Würzburg

Autoren und Verlag

In der Fachbuchreihe «Die Meisterprüfung in der Elektrotechnik» sind bisher erschienen:

Behrends:	Elektrische Maschinen
Behrends/Wessels:	Formeln und Tabellen Elektrotechnik
Böttle/Boy/Clausing:	Elektrische Mess- und Regelungstechnik
Böttle/Friedrichs:	Mathematische und elektrotechnische Grundlagen
Boy/Bruckert/Wessels:	Elektrische Steuerungs- und Antriebstechnik
Boy/Dunkhase/Maske/Soboll:	Elektro-Installationstechnik
Dugge/Eißner:	Grundlagen der Elektronik
Folkerts/Baade:	Hausgeräte-, Beleuchtungs- und Klimatechnik
Janßen/Soboll/Böttle/Friedrichs/ Gatzke/Maske:	Aufgaben und Lösungen Elektrotechnik
Wübbe:	Telekommunikation

Bei der Vogel Communications Group sind vom bfe Oldenburg erstellte Lernprogramme erschienen:

Beleuchtungstechnik
Brennstoffzellen
Datennetzwerktechnik
Drehstromtechnik
EIB/KNX-Installationsbus
Elektrische Anlagen, Schutzmaßnahmen und deren Prüfung
Elektro-Installationstechnik (Energietechnik)
Elektromagnetismus
Elektronik 1
Elektronik 2
Grundlagen der Elektrotechnik 1
Grundlagen der Elektrotechnik 2
Grundlagen der Elektrotechnik 3
Grundlagen der technischen Mathematik
IT-Sicherheit
Leistungselektronik
Messtechnik
Regelungstechnik
Soziale Netzwerke nutzen!
SPS Einführung in speicherprogrammierbare Steuerungen
Steuerungstechnik mit Schaltungssimulator
Wechselstromtechnik

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Gegenüberstellung üblicher alter und neuer Anschlussbezeichnungen elektrischer Maschinen ..	11
Anschlussbilder für gebräuchliche Anwendungen	14
1 Gleichstrommaschinen	25
1.1 Mechanischer Aufbau	25
1.2 Anschlussbezeichnungen von Gleichstrommaschinen, Feldstellern und Anlassern	28
1.3 Bestimmung der Drehrichtungen von Gleichstrommaschinen	33
1.4 Funktion der Gleichstrommaschinen (Generator bzw. Motor)	35
1.5 Erregerarten der Gleichstromgeneratoren	37
1.6 Betriebsarten	38
1.7 Bauformen und Aufstellung der elektrischen Maschinen (DIN EN 60 034-7)	43
1.8 Schutzarten	51
1.9 IC-Code für das Kühlverfahren (DIN EN 60 034-6)	54
2 Gleichstromgeneratoren	61
2.1 Wirkungsweise	61
2.1.1 Ankerrückwirkung	61
2.1.2 Fremderregter Generator	69
2.1.3 Nebenschlussgenerator	72
2.1.4 Reihenschlussgenerator (Hauptschlussgenerator)	75
2.1.5 Doppelschlussgenerator (Verbund- oder Compoundgenerator)	77
2.2 Parallelschaltung von Gleichstromgeneratoren	80
2.2.1 Parallelschaltung von Gleichstrom-Nebenschlussgeneratoren	81
2.2.2 Parallelschaltung von Gleichstrom-Doppelschlussgeneratoren	82
2.3 Gleichstrom-3-Leiter-Netz	83
2.3.1 Reihenschaltung von Gleichstromgeneratoren	83
2.3.2 3-Leiter-Generator	85
3 Gleichstrommotoren	87
3.1 Wirkungsweise	87
3.1.1 Stromdurchflossene Leiterschleife im Magnetfeld	87
3.1.2 Anlassen des Gleichstrommotors	88
3.1.3 Nebenschlussmotor	90
3.1.4 Reihenschlussmotor	93
3.1.5 Universalmotor	96
3.1.6 Doppelschlussmotor	99
3.1.7 Fremderregter Motor	102
3.1.8 Drehzahlsteuerung von Gleichstrommotoren	105
3.1.9 Leonard-Schaltung	105
3.1.10 Leistungsmessungen	107
3.1.11 Verluste und Wirkungsgrade	109
3.2 Funkentstörung	110
3.3 Bremsschaltungen von Gleichstrommaschinen	113
3.4 Scheibenläufermotor	113
4 Transformatoren (Umspanner)	117
4.1 Aufbau mit Schutzeinrichtungen	117
4.1.1 Magnetgestell	117
4.1.2 Wicklungen	119
4.1.3 Ölkessel und Schutzeinrichtung	122
4.2 Wirkungsweise	124
4.2.1 Spannungserzeugung	124
4.2.2 Leerlauf	125
4.2.3 Belastung	127

4.3	Leistungsschild	127
4.3.1	Leistungs- und Spannungsangabe	127
4.3.2	Kurzschlussspannung, Kurzschlussstrom	129
4.3.3	Wirkungsgrad, Verluste	132
4.3.4	Schaltgruppen	133
4.3.5	Zickzackschaltung (z-Schaltung)	135
4.4	Parallelschaltungen	137
4.5	Stelltransformatoren	139
4.5.1	Grundsätzliche Möglichkeiten zur Änderung der Ausgangsspannung	139
4.5.2	Lichtbogen-Schweißtransformatoren	140
4.6	Kleintransformatoren	142
4.6.1	Grundsätzlicher Aufbau	142
4.6.2	Wirkungsweise	144
4.6.3	Grundsätzliches zur Einteilung nach VDE	144
4.7	Spartransformatoren (Autotransformatoren)	146
5	Asynchronmaschinen für 3-Phasen-Wechselstrom (Drehstrom)	149
5.1	Drehfeld (Umlaufendes Magnetfeld)	149
5.1.1	Bemessungsspannung	150
5.2	Schleifringläufermotor	154
5.2.1	Aufbau	154
5.2.2	Wirkungsweise	156
	<i>Anlauf</i>	156
	<i>Betrieb, Betriebsverhalten</i>	157
	<i>Drehmomente</i>	159
5.2.3	Leistungsschild	160
5.3	Kurzschlussläufermotor	161
5.3.1	Aufbau	161
5.3.2	Wirkungsweise	162
	<i>Anlauf</i>	162
	<i>Hochlauf</i>	163
	<i>Betrieb, Betriebsverhalten</i>	164
5.4	Asynchronearmotor	167
5.4.1	Aufbau	167
5.4.2	Wirkungsweise	168
5.4.3	Vor- und Nachteile gegenüber konventionellen, rotierenden Asynchronmotoren	169
5.4.4	Magnetschwebbahn	170
	<i>Elektrodynamisches Schweben (EDS)</i>	170
	<i>Elektromagnetisches Schweben (EMS)</i>	171
5.5	Anlassverfahren der Drehstrom-Asynchronmotoren	171
5.5.1	Kurzschlussläufermotoren	172
5.5.2	Schleifringläufermotoren	176
5.5.3	Allgemeine Bestimmungen über Anlassen von Asynchronmotoren	178
5.6	Elektrische Bremsungen von Drehstrom-Asynchronmotoren	178
5.6.1	Gegenstrombremsung	179
5.6.2	Gleichstrombremsung	179
5.7	Drehzahlsteuerungen von Drehstrom-Asynchronmotoren	180
5.7.1	Drehzahlsteuerung durch Beeinflussung des Schlupfes	180
5.7.2	Drehzahlsteuerung durch Änderung der Frequenz	182
5.7.3	Drehzahlsteuerung durch Änderung der Polpaarzahlen	184
	<i>Polumschaltungen mit getrennten Ständerwicklungen</i>	184
	<i>Polumschaltungen mit Spulengruppen einer Ständerwicklung</i>	184
5.8	Spannungsumschaltungen von Drehstrom-Asynchronmotoren	188
5.9	Betriebliche und praktische Gegenüberstellungen von Kurzschlussläufermotoren und Schleifringläufermotoren	190
5.9.1	Vorteile des Kurzschlussläufermotors gegenüber dem Schleifringläufermotor	190
5.9.2	Vorteile des Schleifringläufermotors gegenüber dem Kurzschlussläufermotor	191

5.10	Elektrische Welle	191
5.10.1	Aufbau und Schaltungswise	191
5.10.2	Wirkungsweise der einfachen Wellenschaltung	191
5.11	Drehtransformator (Asynchronmotor als Stelltransformator)	192
5.11.1	Aufbau	192
5.11.2	Wirkungsweise	193
5.12	Asynchrongeneratoren	194
5.12.1	Schaltung	194
5.12.2	Wirkungsweise	194
6	Asynchronmaschinen für 1-Phasen-Wechselstrom	197
6.1	Aufbau	197
6.2	Wirkungsweise	198
6.2.1	Einschaltmoment	198
6.2.2	Anlauf	198
6.2.3	Betrieb, Betriebsverhalten	201
6.3	Spezieller Hilfsstrang	202
6.4	Spaltpolmotor	203
6.4.1	Aufbau	203
6.4.2	Wirkungsweise, Betriebsverhältnisse	204
6.5	Drehstrom-Asynchronmotor am 1-Phasen-Netz	205
6.5.1	Steinmetzschtaltung	206
7	Synchronmaschinen	209
7.1	Aufbau	209
7.1.1	Außenpolmaschine	209
7.1.2	Innenpolmaschine	209
7.1.3	Dämpferwicklung	212
7.1.4	Erregermaschine	212
7.2	Wirkungsweise des Synchrongenerators	213
7.2.1	Leerlauf	213
7.2.2	Belastung	213
7.3	Parallelschtaltung	216
7.3.1	Synchronisiervorgang	216
7.3.2	Prüfung der Phasenlage	217
	<i>Synchronisier-Lampenschaltungen</i>	217
	<i>Synchronoskop</i>	219
7.3.3	Lastverteilung	220
7.4	Wirkungsweise des Synchronmotors	221
7.4.1	Anlaufbedingungen	221
7.4.2	Betriebsverhalten	221
	<i>Leerlauf</i>	221
	<i>Belastung</i>	222
7.4.3	Phasenschieber (Blindleistungsmaschine)	223
7.5	Synchron-Kleinstmaschinen	224
7.5.1	Synchron-Kleinstmotor	224
	<i>Aufbau</i>	224
	<i>Wirkungsweise</i>	224
7.5.2	Reluktanzmotoren	225
7.6	Schrittmotoren	230
7.6.1	Funktionsbegriff	231
7.6.2	Aufbau	231
7.6.3	Betriebseigenschaften	233
	<i>Ansteuerungsarten</i>	233
	<i>Schrittfrequenz</i>	235
	<i>Schrittwinkel</i>	236
7.6.4	Anwendungen	237
7.7	Servomaschinen	237
7.7.1	Aufbau	239

7.7.2	Gleichstrommaschine	240
7.7.3	Drehfeldmaschinen für Servoantriebe	241
	<i>Asynchron-Servomaschinen – AC-Servomotor</i>	241
	<i>Permanenterregte Synchronmaschine</i>	242
	<i>Feldorientierte Regelung</i>	244
8	Stromwendermaschinen für 1-Phasen-Wechselstrom und 3-Phasen-Wechselstrom (Drehstrom)	247
8.1	Frequenzfragen	247
8.2	Stromwendermaschinen für 1-Phasen-Wechselstrom (Motoren)	248
8.3	Repulsionsmotoren	248
8.3.1	Aufbau	248
8.3.2	Wirkungsweise	249
	<i>Anlaufstellung</i>	249
	<i>Betriebsstellung</i>	250
	<i>Kurzschlussstellung</i>	251
	<i>Anwendung</i>	252
8.4	Stromwendermaschinen für Drehstrom (Motoren)	252
8.4.1	Drehstrom-Reihenschluss-Stromwendermotor	252
	<i>Aufbau</i>	252
	<i>Wirkungsweise</i>	253
8.4.2	Ständergespeister Drehstrom-Nebenschluss-Stromwendermotor	254
	<i>Aufbau</i>	254
	<i>Wirkungsweise</i>	254
8.4.3	Läufergespeister Drehstrom-Nebenschluss-Stromwendermotor	256
	<i>Aufbau</i>	256
	<i>Wirkungsweise</i>	256
9	Umformer	259
9.1	Motorgeneratoren	259
9.1.1	Aufbau	259
9.1.2	Wirkungsweise	259
9.2	Frequenzumformer	260
9.2.1	Asynchroner Frequenzumformer	260
	<i>Aufbau</i>	260
	<i>Wirkungsweise</i>	261
9.3	1-Anker-Umformer (EU)	262
9.3.1	1-Anker-Umformer mit getrennten Läuferwicklungen	262
	<i>Aufbau</i>	262
	<i>Wirkungsweise</i>	263
9.3.2	1-Anker-Umformer mit angezapften Läuferwicklungen	263
	<i>Aufbau</i>	263
	<i>Wirkungsweise</i>	263
10	Gliederung der 1-Phasen-, 3-Phasen-(Drehstrom-) und Gleichstrommaschinen	267
10.1	Energieumformung	267
10.2	Drehfeldmaschinen mit kreisförmigem und elliptischem Drehfeld	268
10.3	Schlupf	269
10.4	Maschinen mit Neben- und Reihenschlusscharakter	270
11	Störungen an elektrischen Maschinen	271
11.1	Störungen an Gleichstrommaschinen	271
11.2	Störungen an 1-Phasen- und 3-Phasen-Motoren	272
	Stichwortverzeichnis	275

Gegenüberstellung üblicher alter und neuer Anschlussbezeichnungen elektrischer Maschinen

Maschinenart	Maschinenteil	Alte Bezeichnung	Neue Bezeichnung
Gleichstrommaschinen			
Bemerkung: Weitere Untergliederung siehe Seite 4 DIN 42 401	Ankerwicklung	A-B	A1-A2
	Wendepolwicklung	G-H	B1-B2
	Kompensationswicklung	G-H	C1-C2
	Reihenschlusswicklung	E-F	D1-D2
	Nebenschlusswicklung	C-D	E1-E2
	fremderregte Wicklung	I-K	F1-F2
Wechselstrommaschinen ohne Stromwender			
A. <i>1-Phasen-Kurzschlussläufermaschinen</i>	Ständerwicklung		
	a) Hauptstrang	U-V	U1-U2
	b) Hilfsstrang	W-Z	Z1-Z2
B. <i>Drehstrom-Kurzschlussläufermaschinen</i>	1. Ständerwicklung mit herausgeführtem Sternpunkt	U-V-W-Mp	U-V-W-N
	2. Ständerwicklung in offener Schaltung	U-X V-Y W-Z	U1-U2 V1-V2 W1-W2
	1. Ständerwicklung ohne herausgeführten Sternpunkt (oder wie unter Drehstrom-Kurzschlussläufermaschinen)	U-V-W	U-V-W
C. <i>Drehstrom-Schleifringläufermaschinen</i>	2. Läuferwicklung		
	a) 3-phasig b) 2-phasig	u-v-w u-v-x/y	K-L-M K-L-Q
D. <i>Drehstrom-Synchronin-nenpolmaschinen</i>	1. Ständerwicklung mit herausgeführtem Sternpunkt (oder wie unter Kurzschluss- bzw. Schleifringläufermaschine	U-V-W-Mp	U-V-W-N
	2. Polradwicklung (fremderregt)	I-K	F1-F2

Maschinenart	Maschinenteil	Alte Bezeichnung	Neue Bezeichnung
Transformatoren			
A. <i>1-Phasen- Transformatoren mit getrennten Wicklungen</i>	1. Oberspannungswicklung	U-V	1.1-1.2
	2. Unterspannungswicklung	u-v	2.1-2.2
B. <i>1-Phasen- Transformatoren</i>	1. Oberspannungswicklung	U-V	} 1.1-2.1-2
	2. Unterspannungswicklung	u-v	
C. <i>Drehstrom- Transformatoren mit herausgeführtem Sternpunkt</i>	1. Oberspannungswicklung	W-V-U-Mp	1W-1V-1U-1N
	2. Unterspannungswicklung	w-v-u-mp	2W-2V-2U-2N
D. <i>Drehstrom- Transformatoren mit herausgeführtem Stern- punkt</i>	1. Oberspannungsseite	W-V-U	} Mp } N
	2. Unterspannungsseite	w-v-u	

Mit DIN EN 60 034-8 auf Basis von IEC 60 034-8 wurden die Klemmenbezeichnungen so geändert, dass eine globale einheitliche Anwendung möglich sein soll.

Begriffe

Anschlussbezeichnung

ist die dauerhafte Kennzeichnung des äußeren Anschlusses der Wicklungsableitungen oder der Ableitungen von Zubehör zum Anschließen der Maschine an das Netz und zeigt die Funktion des Anschlusses an.

Anzapfungen

Zwischenanschlüsse an einen Teil eines Wicklungselementes.

Wicklungsableitungen

Isolierte Leiter zum Herstellen der elektrischen Verbindung zwischen der Wicklung und ihrer Anschlussstelle.

Wicklung

Eine Einheit von Windungen oder Spulen, die eine bestimmte Funktion in einer drehenden elektrischen Maschine haben.

Wicklungsstrang

Ein oder mehrere Elemente einer Wicklung, die einer bestimmten Phase zugeordnet sind.

Wicklungselement

Teil einer Wicklung, dessen Windungen oder Spulen dauerhaft miteinander verbunden sind.

Getrennte Wicklungen

Zwei oder mehrere Wicklungen, von denen jede eine eigene Funktion hat und die nicht miteinander verbunden sind. Sie werden ausschließlich getrennt verwendet, sowohl ganz oder in Teilen.

Symbole

Es folgt eine Auswahl der zur Kennzeichnung von Leitern und Klemmen verwendeten Kennbuchstaben:

Gleichstrom- und Einphasenstrom-Kommutatormaschinen

- A Ankerwicklung
- B Kommutatorwicklung
- C Kompensationswicklung
- D Reihenschlusswicklung
- E Nebenschlusswicklung
- F Fremderregerwicklung

Kommutatorlose Wechselstrommaschinen

- K, L, M Sekundärwicklung
- N Sternpunkt (Neutralleiter) der Primärwicklung
- U, V, W Primärwicklung
- Z Hilfswicklungen

Zusatzeinrichtungen

- BA Wechselstrombremsen
- BD Gleichstrombremsen
- BW Bürstenüberwachung
- HE Heizung
- LA Blitzschutz

- R Widerstandsthermometer
- SP Überspannungsschutz
- TB Thermostatschalter, öffnend bei Temperaturanstieg
- TC Thermolemente
- TM Thermostatschalter, schließend bei Temperaturanstieg
- TN Temperaturfühler, negativer Temperaturkoeffizient
- TP Temperaturfühler, positiver Temperaturkoeffizient

Regeln zur Anschlussbezeichnung

Eine Anschlussbezeichnung muss alle Anschlussklemmen von Wicklungen und Zusatzeinrichtungen kennzeichnen, die dem Anwender zugänglich sind.

Alle Dreiphasenmaschinen mit mehr als drei Anschlussklemmen und alle anderen Maschinen sowie Zusatzeinrichtungen mit mehr als zwei Anschlussklemmen müssen auf einem Aufkleber oder Schild in der Nähe des Anschlusskastens oder im Inneren des Kastens Anweisungen zum Anschließen geben.

Die Anschlusskennzeichnung enthält lateinische Großbuchstaben und arabische Ziffern. Die Zeichen sind ohne Leerzeichen anzuordnen.

Jeder Wicklung, jedem Wicklungsstrang oder jedem Hilfskreis muss ein Buchstaben-symbol zugeordnet sein.

Um Verwechslungen mit den Ziffern 1 und 0 zu vermeiden, sind die Buchstaben «I» und «O» nicht zu verwenden.

Mehrere Leiter einer Maschine dürfen die gleiche Kennzeichnung nur haben, wenn alle vollständig in der Lage sind, die gleiche elektrische Funktion derart auszuüben, dass man jede von ihnen für den Anschluss verwenden kann.

Sind mehrere Leiter oder Leitungen zum Aufteilen des Stromes vorgesehen, müssen die Anschlussbezeichnungen mit einer zusätzlichen Nachsetzziffer gekennzeichnet sein, getrennt durch einen Bindestrich.

Anschlussbilder für gebräuchliche Anwendungen

Dreiphasen-Asynchronmaschinen

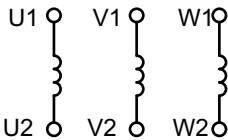


Bild 1
Dreiphasenwicklung; offene Schaltung, drei Elemente

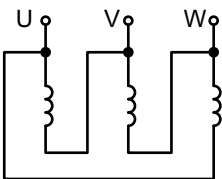


Bild 2
Dreiphasenwicklung; Dreieckschaltung, drei Anschlussklemmen

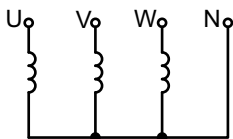


Bild 3
Dreiphasenwicklung; innen verschalteter Sternpunkt, Neutraleiter, vier Anschlussklemmen

Bild 4
 Dreiphasenwicklung; zwei Elemente pro Strang, offene Schaltung, zwölf Klemmen

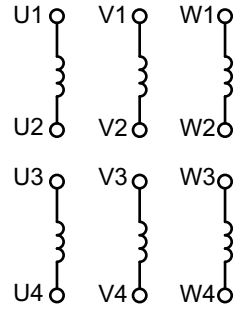


Bild 5
 Dreiphasenwicklung; zwei Elemente pro Phase, vier Anzapfungen pro Element, offene Schaltung, sechsunddreißig Anschlussklemmen

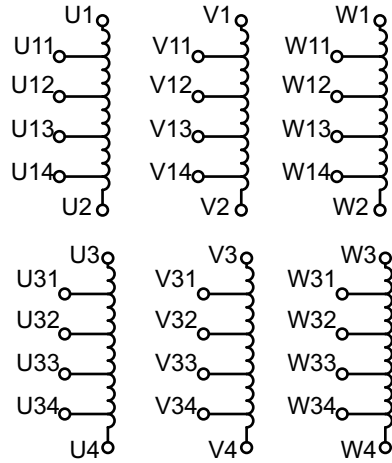


Bild 6
 Zwei getrennte Dreiphasenwicklungen mit zwei unabhängigen Funktionen; zwei Elementen pro Phase, offene Schaltung, vierundzwanzig Anschlussklemmen

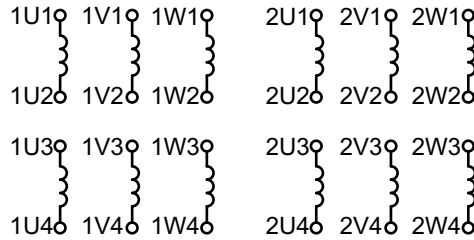
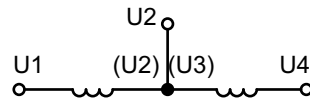


Bild 7
 Zwei Elemente; interne Verbindung, drei Anschlussklemmen



Einphasen-Aynchronmaschinen



Bild 8
Einphasen-Haupt- und Hilfswicklung;
zwei Elemente

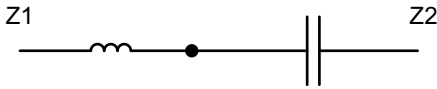


Bild 9
Einphasen-Hilfswicklung; verschalteter
Kondensator, ein Element

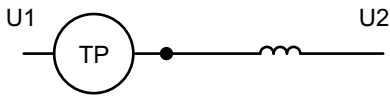


Bild 10
Einphasen-Hauptwicklung; verschalteter
Temperaturfühler, ein Element

Gleichstrom-Maschinen



Bild 11
Ankerwicklung; ein Element



Bild 12
Wendepolwicklung; ein und zwei Elemente

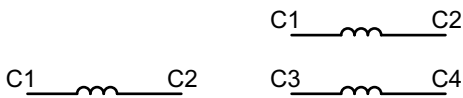


Bild 13
Kompensationswicklung; ein und zwei Ele-
mente

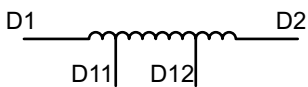


Bild 14
Reihenschlusswicklung; ein Element,
zwei Anzapfungen



Bild 15
Nebenschluss-Erregerwicklung; ein Element

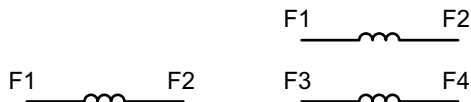
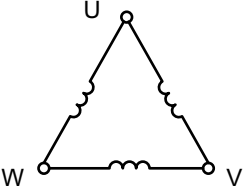
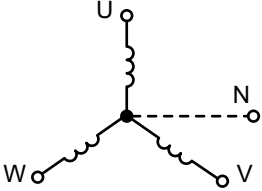
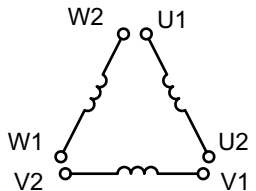
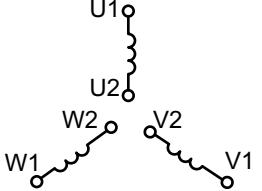


Bild 16
Getrennt (Fremd-)erregte Erregerwicklung;
ein und zwei Elemente

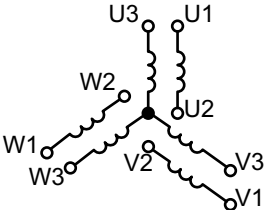
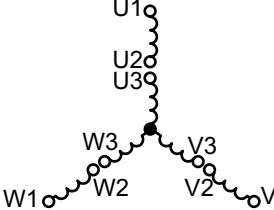
**Beispiele für gebräuchliche Anwendungen
Dreiphasen-Asynchronmaschinen mit einer Drehzahl**

											
L1	L2	L3	Schaltung			L1	L2	L3	Schaltung		
U	V	W	Dreieck			U	V	W	Stern		
Dreieckschaltung				Sternschaltung mit oder ohne Neutralleiter							

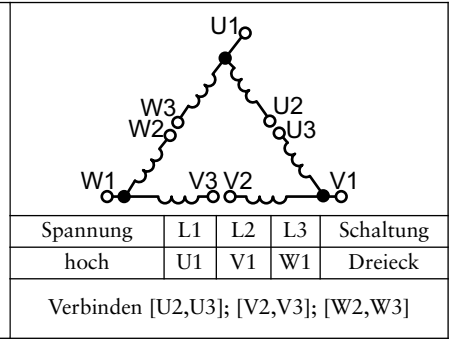
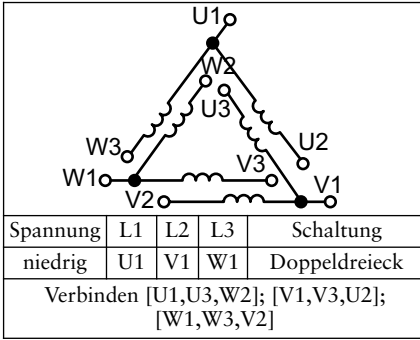
Eine Spannung

											
Spannung	L1	L2	L3	Schaltung		Spannung	L1	L2	L3	Schaltung	
niedrig	U1	V1	W1	Dreieck		hoch	U1	V1	W1	Stern	
Verbinden [U1,W2]; [U2,V1]; [V2,W1]					Verbinden [U2,V2,W2]						

Zwei Spannungen $1 : \sqrt{3}$, sechs Anschlussklemmen

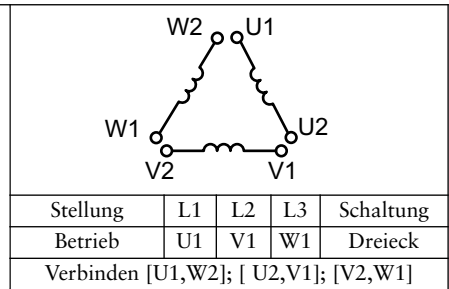
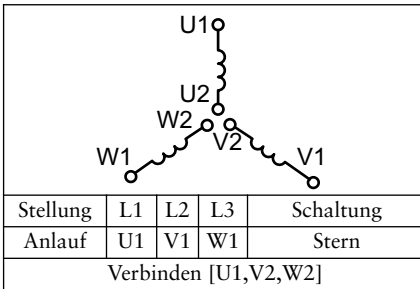
											
Spannung	L1	L2	L3	Schaltung		Spannung	L1	L2	L3	Schaltung	
niedrig	U1	V1	W1	Doppelstern		hoch	U1	V1	W1	Stern	
Verbinden [U1,U3]; [V1,V3]; [W1,W3]; [U2,V2,W2]					Verbinden [U2,U3]; [V2,V3]; [W2,W3]						

Sternschaltung, zwei Spannungen $1 : 2$, neun Anschlussklemmen

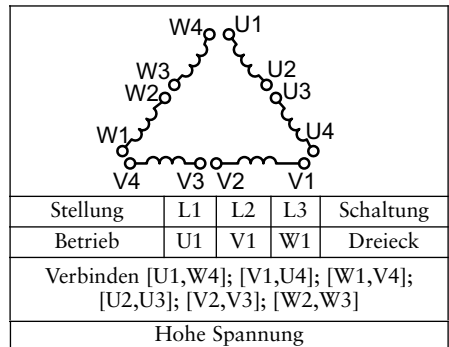
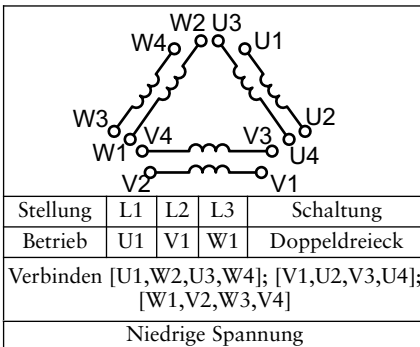
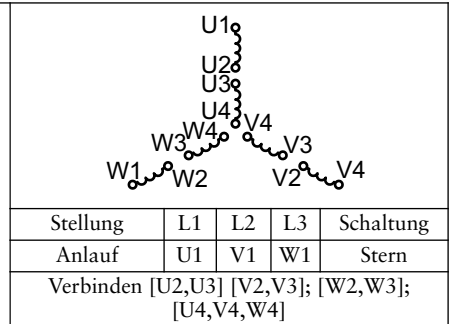
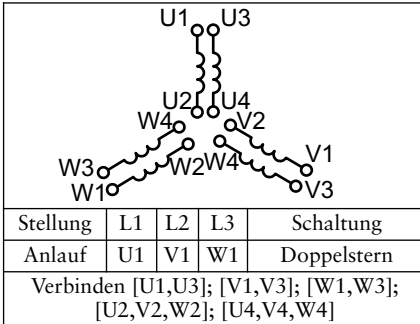


Dreieckschaltung, zwei Spannungen 1 : 2, neun Anschlussklemmen

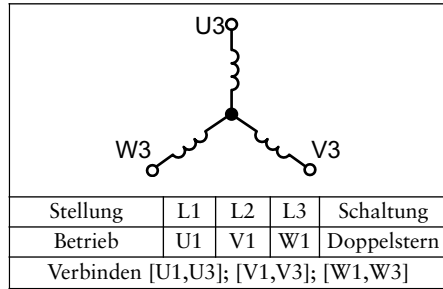
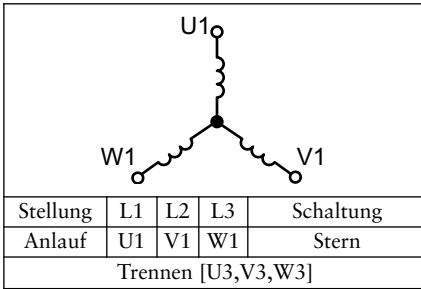
Anlaufschaltungen



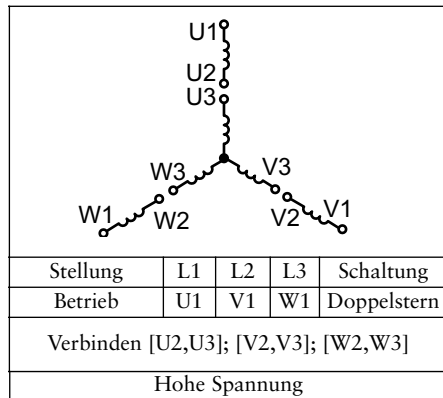
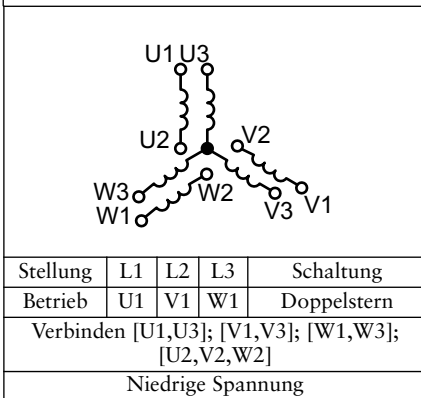
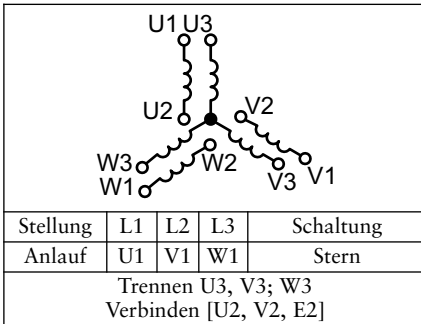
Stern-Dreieck-Anlauf, eine Spannung, sechs Anschlussklemmen



Stern-Dreieck-Anlauf, zwei Spannungen 1 : 2 oder 1 : $\sqrt{3}$, zwölf Anschlussklemmen

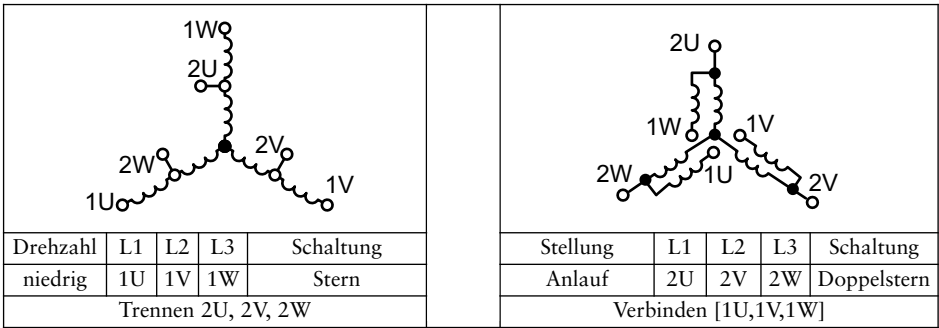


Teilwicklungsanlauf, eine Spannung, sechs Anschlussklemmen

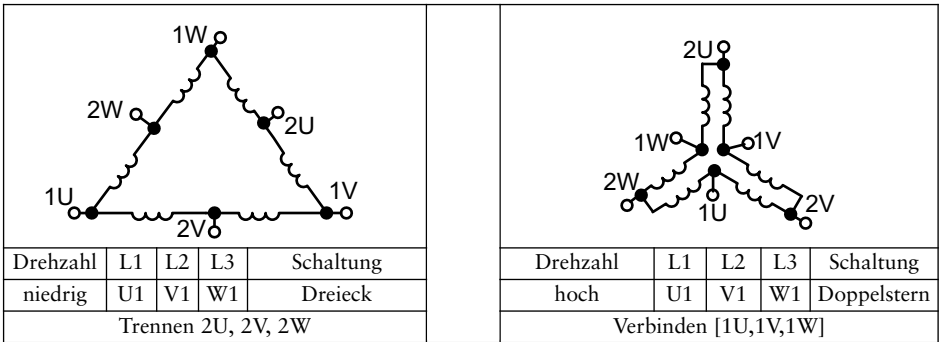


Teilwicklungsanlauf, zwei Spannungen 1 : 2 , neun Anschlussklemmen

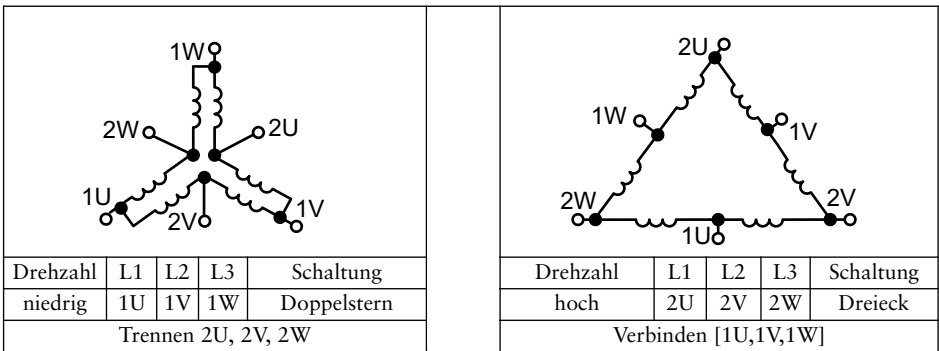
Zwei Drehzahlen, eine Wicklung



Veränderbares Drehmoment, sechs Anschlussklemmen

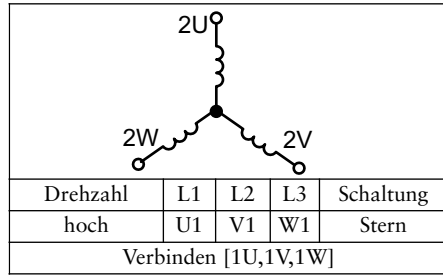
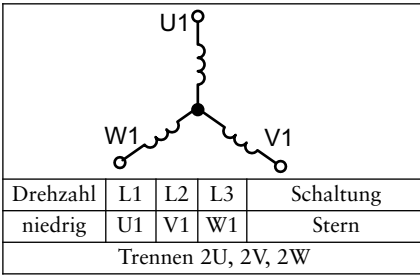


Konstantes Drehmoment, sechs Anschlussklemmen



Konstante Leistung, sechs Anschlussklemmen

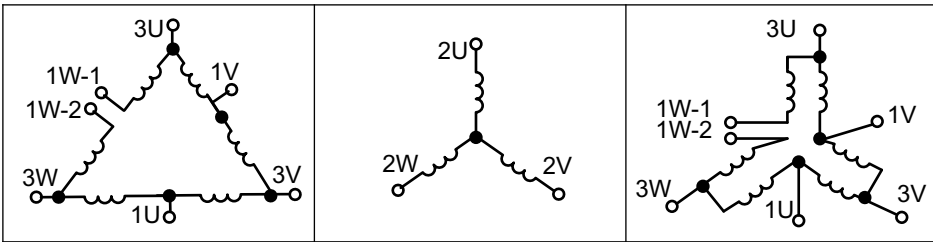
Zwei Drehzahlen, zwei getrennte Wicklungen



Eine Spannung, innere Sternschaltung, sechs Anschlussklemmen

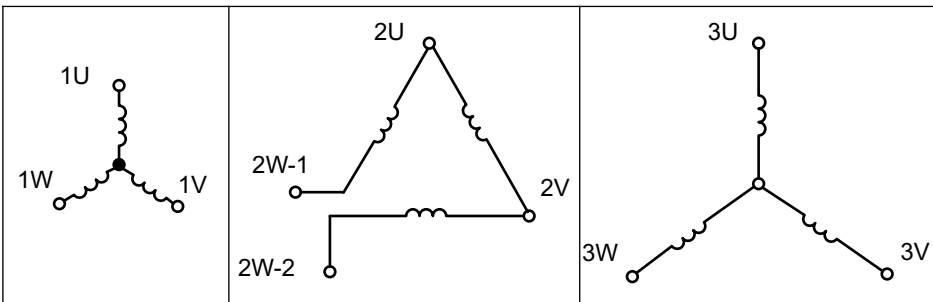
Drei Drehzahlen

Bei drei oder vier Drehzahlen sind viele Kombinationen aus den vorhergehenden Beispielen möglich. Die vorgesetzten Ziffern werden entsprechend den ansteigenden Drehzahlen angepasst. Unbenutzte, geschlossene Wicklungen sind in den nachfolgenden Beispielen geöffnet, um Kreisströme sicher auszuschließen. Diese Maßnahme erfordert eine zusätzliche Klemme und kann entfallen, wenn die Motorauslegung keine Kreisströme erzeugt.



Drehzahl	L1	L2	L3	Trennen	Verbinden	Schaltung
niedrig	1U	1V	1W-1	2U, 2V, 2W, 3U, 3V, 3W	[1W-1, 1W-2]	Offenes Dreieck
mittel	2U	2V	2W	1W-1, 1W-2, 1V, 1U, 3U, 3V, 3W		Stern
hoch	3U	3V	3W	2U, 2V, 2W	[1W-1, 1W-2, 1V, 1U]	Doppelstern

Drei Drehzahlen, konstantes Moment, zwei getrennte Wicklungen, zehn Anschlussklemmen



Drehzahl	L1	L2	L3	Trennen	Verbinden	Schaltung
niedrig	1U	1V	1W	2U, 2V, 2W-1, 2W-2, 3U, 3V, 3W	---	Stern
mittel	2U	2V	2W-1	1U, 1V, 1W, 3U, 3V, 3W	[2W-1, 2W-2]	Offenes Dreieck
hoch	3U	3V	3W	1U, 1V, 1W, 2U, 2V, 2W-1, 2W-2	---	Stern

Drei Drehzahlen, drei getrennte Wicklungen, zehn Anschlussklemmen

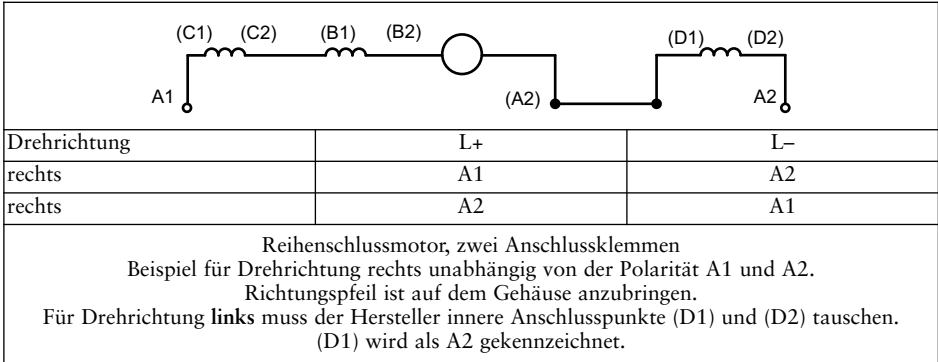
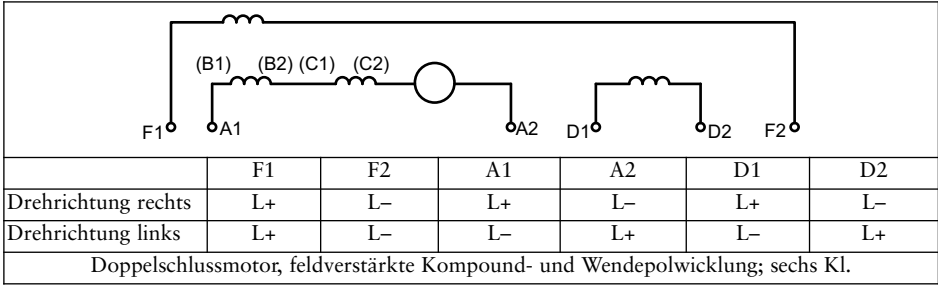
	L1	L2	Verbinden
Drehrichtung rechts	U1	U2	[U1,Z1];[U2,Z2]
Drehrichtung links	U1	U2	[U1,Z2];[U2,Z1]
Spaltpol- oder Kondensatormotor für zwei Drehrichtungen			

	L1	L2	Verbinden
Drehrichtung rechts	U1	U2	[U1,Z1]; [U2,CA1]; [CA2, Z2]
Drehrichtung links	U1	U2	[U2,Z1]; [U1,CA1]; [CA2,Z2]
Motor mit Anlaufkondensator, zwei Drehrichtungen, vier Anschlussklemmen			

Einphasenstrom-Asynchronmotoren

	F1	F2	A1	A2
Drehrichtung rechts	L+	L-	L+	L-
Drehrichtung links	L+	L-	L-	L+
Nebenschlussmotor, vier Anschlussklemmen				

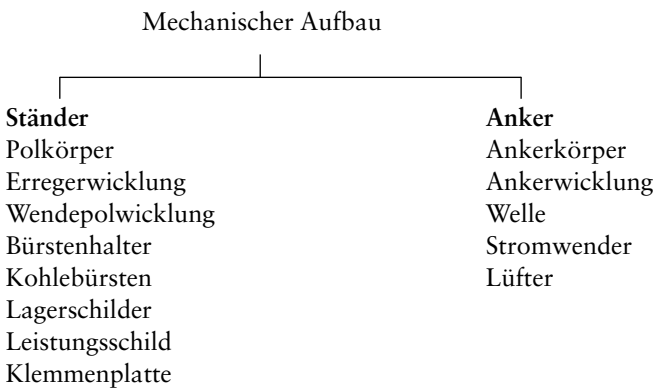
Gleichstrommotoren



1 Gleichstrommaschinen

1.1 Mechanischer Aufbau

Der mechanische Aufbau einer Gleichstrommaschine besteht aus dem Ständer und dem Anker. Der Anker ist stets derjenige Teil, in dessen Wicklungen Spannungen induziert werden. Hierbei kann der Anker als drehender oder ruhender Teil ausgeführt werden. So gehört z.B. die Gleichstrommaschine zu den Außenpolmaschinen, hierbei ist der rotierende Teil der Anker. Bei der Synchronmaschine (Innenpolmaschine) ist der Ständer der Anker, der drehende Teil das Polrad. Bei den Asynchronmotoren wird der Ständer als Primäranker, der Läufer dagegen als Sekundäranker bezeichnet.



a) Ständer (Magnetgestell)

Er stellt den ruhenden Teil der Maschine dar (Bild 1.1a). Er wird aus massivem Werkstoff (Stahl- oder Grauguss) in einem Stück oder in geschweißter Bauweise hergestellt. Durch das Joch erfolgt der magnetische Rückfluss. Im Inneren der Maschine befinden sich die ausgeprägten Hauptpole (Bild 1.1b) mit den dazugehörigen Erregerwindungen. Bei mittleren und größeren Maschinen werden zwischen den Hauptpolen die Hilfs- oder Wendepole angeordnet. Auf den Wendepolen ist die mit dickem Draht ausgeführte Wendepolwicklung angeordnet, die in Gegenreihe zum Anker geschaltet ist.

Zur Vermeidung der Wirbelstromverluste werden die Polschuhe der Hauptpole aus geschichteten Dynamoblechen zusammengesetzt, die gegenseitig durch Seidenpapier, Lack oder Oxidschichten isoliert werden.

Aus fertigungstechnischen Gründen werden oftmals die gesamten Hauptpole aus geschichteten Dynamoblechen hergestellt.

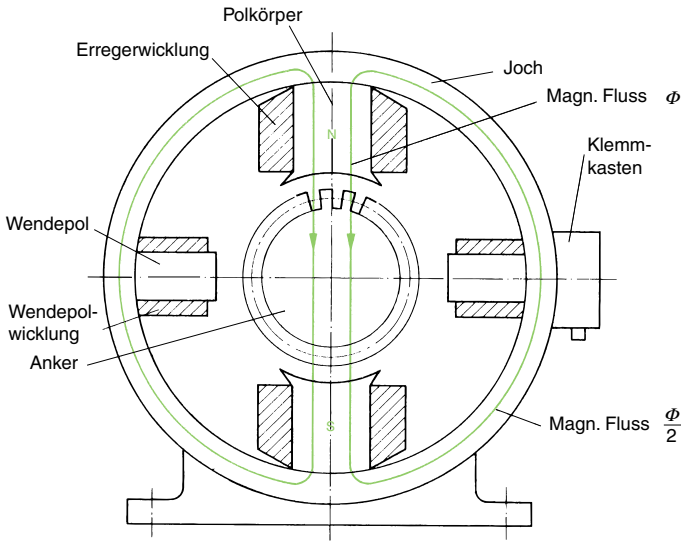


Bild 1.1a
Aufbau einer 2-poligen
Gleichstrommaschine

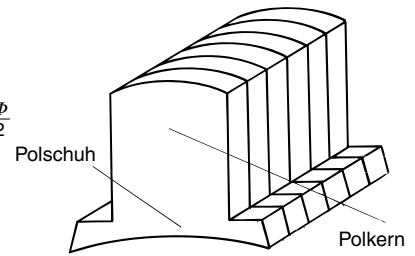


Bild 1.1b Polkörper

Die Wicklungsanschlüsse (Erreger- und Ankerwicklung) werden zur Klemmenplatte herausgeführt und dort je nach Schaltungsart miteinander verbunden.

b) Anker

Der genutete Ankerkörper (Bild 1.2a) ist aus Dynamoblechen zusammengesichtet, um ebenfalls Wirbelstrombildung zu verhindern. Die von den Nuten (Bild 1.2b) aufgenommene Ankerwicklung wird je nach Strombelastung als Runddraht oder Profilstab ausgeführt. Wegen der großen Fliehkräfte muss die Wicklung in den einzelnen Nuten durch Hartholz- oder Kunststoffstäbe gesichert werden. Meistens wird um die komplette Ankerwicklung noch eine zusätzliche Drahtbandage gezogen. Die Ankerwicklung ist in sich geschlossen und besteht aus einzelnen Teilspulen (Bild 1.2c). Durch die räumlich angeordneten einzelnen Ankerspulen werden im konstanten Magnetfeld Wechselfspannungen induziert, die gegeneinander zeitlich verschoben sind. Der Anfang einer Spule und das Ende der nächsten werden in die Lötfläche einer Stromwenderlamelle geführt (Bild 1.2d) und dort durch Weich- oder Hartlot verbunden.

Die Ankerwicklung kann als ohmscher Widerstand mit – je nach Polzahl und Wicklungsart – 2 bzw. mehreren parallelen Ankerzweigen aufgefasst werden.

c) Stromwender (Bilder 1.3a und 1.3b)

Der Stromwender (Kollektor, Kommutator) besteht aus einzelnen, in Umfangsrichtung angeordneter, Hartkupferlamellen. Die Lamellen sind einzeln und gegen die Welle durch Glimmerzwischenlagen oder Mikanitplatten isoliert. Bei kleinen Maschinen wird der Stromwender auf die Welle gepresst, bei großen Maschinen wird er zusätzlich durch eine Passfeder gesichert.

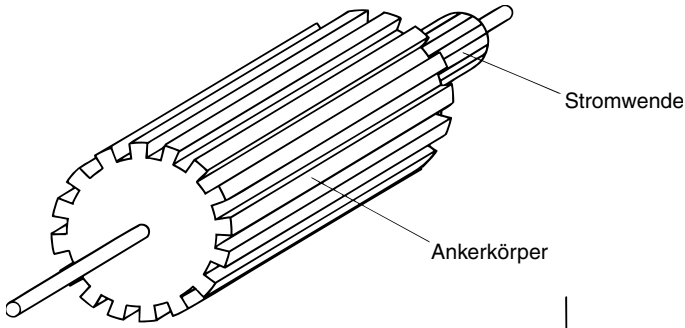


Bild 1.2a
Genuteter Trommelanker

Bild 1.2b
Vorderansicht Stromwenderseite

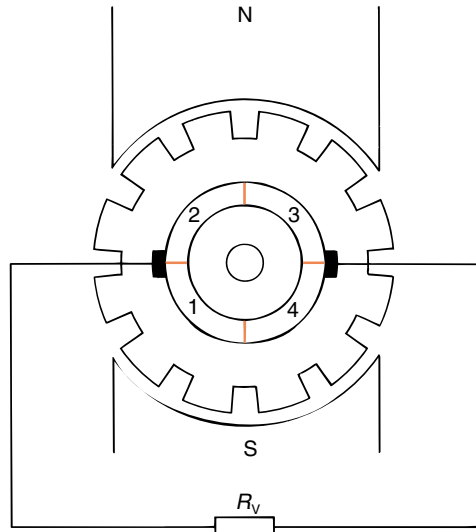


Bild 1.2d
Abwicklung der Ankerwicklung
(einfache Schleifenwicklung)

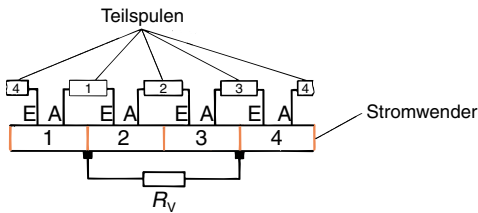
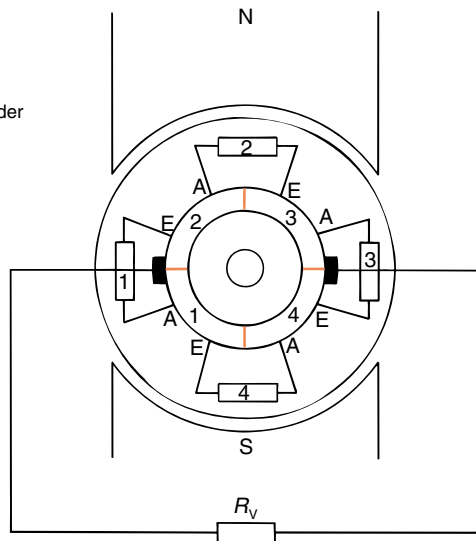


Bild 1.2c
Ersatzschaltbild



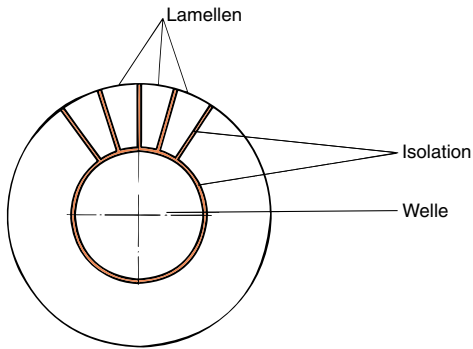


Bild 1.3a
Stromwender (schematisch dargestellt)

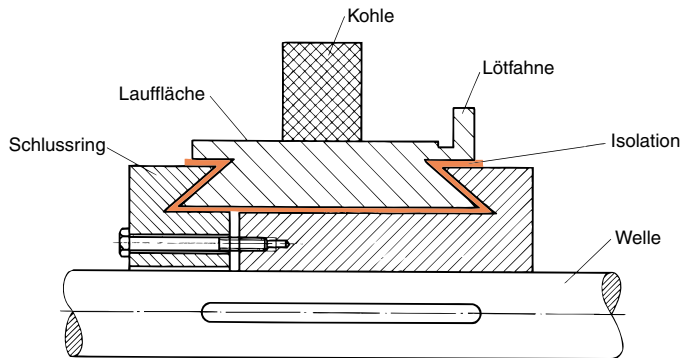


Bild 1.3b
Schnittzeichnung
des Stromwenders

Er hat die Aufgabe, die induzierte Wechselspannung in der Ankerwindung in die Gleichspannung des Netzes umzuformen. Die elektrische Verbindung zwischen Stromwender und dem ruhenden Teil wird durch Kohlebürsten hergestellt. Diese befinden sich im Bürstenhalter, die es gestatten, je nach Bedarf den geforderten Druck der Bürste auf den Stromwender einzustellen.

Durch die dauernde Berührung und den Abrieb sind die Kohlebürsten störanfälliger und bedürfen einer regelmäßigen Wartung. Der Stromwender wird damit zu einem empfindlichen Bauteil der Gleichstrommaschine.

1.2 Anschlussbezeichnungen von Gleichstrommaschinen, Feldstellern und Anlassern

Die *Anschlussbezeichnungen* für Gleichstrommaschinen sind in den VDE-Vorschriften 0570 festgelegt worden (Tabellen 1.1a und 1.1b).

a) Feldsteller (Bild 1.4)


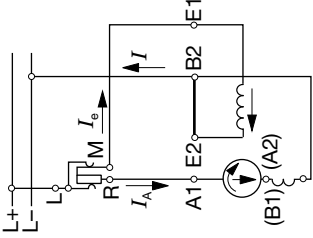
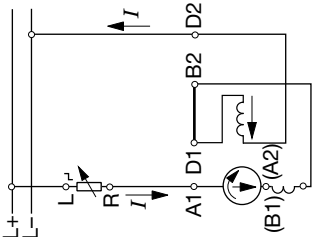
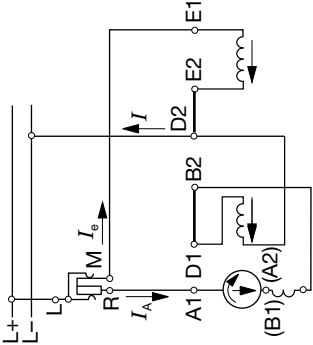
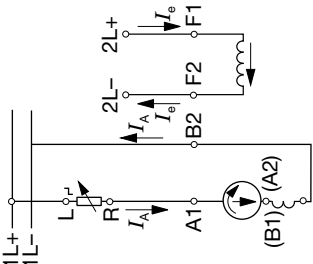

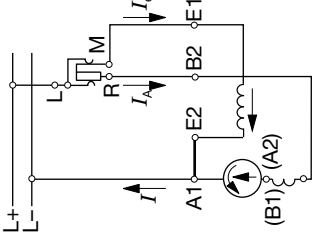
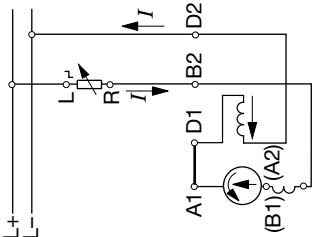
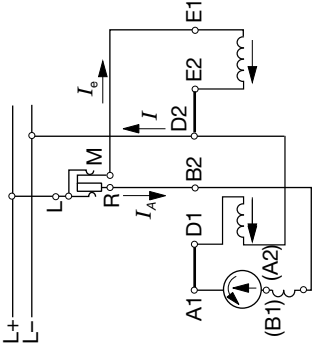
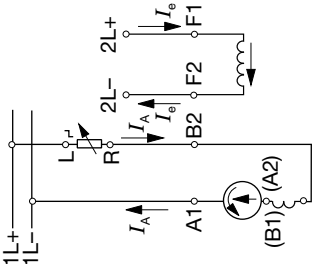
Soll die Spannung eines fremderregten Generators, Nebenschluss- oder Doppelschlussgenerators bei Belastung konstant gehalten werden, schaltet man in Reihe mit der Erregerwicklung einen Feldsteller. Der Feldsteller ist ein hochohmiger, veränderlicher Widerstand. Er kann auch für Drehzahländerungen von Gleichstrommotoren

Tabelle 1.1a Anschlussbezeichnungen nach VDE 0530
Bezeichnungen von Klemmen und Netzleitungen für Gleichstrom

A. Maschinen			alte Anschlussbez.	neue Anschlussbez.*	
	Anker		A-B	A1-A2	
2	Nebenschlusswicklung für Selbsterregung		C-D	E1-E2	
3	Reihenschlusswicklung für Erregung mit eigenem Ankerstrom		E-F	D1-D2	
4	Wendepolwicklung Kompensationswicklung in Maschine verschaltet		G-H	B1-B2 C1-C2	
5	getrennte Wendepol- und Kompensationswicklung	Wendepolwicklung	GW-HW	B1-B2	
6		Kompensationswicklung	GK-HK	C1-C2	
7	auf beide Seiten des Ankers verteilte gleiche Wicklungs- teile, z.B. zum Zweck der Sym- metrisierung für Rundfunkent- störung	Reihenschluss- wicklungen bei Motorrechtslauf	Seite der Ankerklemme A1	EA-FA	1D1-1D2
8			Seite der Ankerklemme A2	EB-FB	2D1-2D2
9		Wendepolwick- lungen	Seite der Ankerklemme A1	GA-HA	1B1-1B2
10			Seite der Ankerklemme A2	GB-HB	2B1-2B2
11	fremderregte Feldwicklungen	allgemein		I-K	F1-F2
12		bei Bemessung für die eigene Ankerspannung, wahlweise		C-D	E1-E2
B. Anlasser und Steller					
13	Anlasser	Klemme für Anschluss an	Netz	L	
14			Anker	R	
15			Nebenschlusswicklung	M	
16	Steller	Klemme für Anschluss an	Nebenschlusswicklung	s	
17			Anker oder Netz	t	
18			Anker oder Netz, zum Kurz- schließen der Nebenschlusswicklung	q	
C. Netzleitungen					
19	positiver Leiter		P	L+	
20	negativer Leiter		N	L-	
21	Mittelleiter		Mp	M	

* Neue Anschlussbezeichnung lt. DIN 42 401, Blatt 3, 31. August 1975

Tabelle 1.1b Anschlussbezeichnungen der Gleichstrommaschinen mit Wendepolen

Drehrichtung	Gleichstrommaschinen mit Wendepolen			mit fremdregelter Wicklung
	mit Nebenschlusswicklung	mit Reihenschlusswicklung	mit Doppelschlusswicklung	
Rechtslauf 				
Linkslauf 				

Motoren