

Vogel Fachbuch

Behrends

# Elektrische Maschinen

Die Meisterprüfung



Peter Behrends  
Elektrische Maschinen

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.vogelfachbuch.de](http://www.vogelfachbuch.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 Germany.

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](mailto: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:	Elektro-Installationstechnik
Dugge/Eißner:	Grundlagen der Elektronik
Folkerts/Baade:	Hausgeräte-, Beleuchtungs- und Klimatechnik
Janßen/Soboll/Böttle/Friedrichs:	Aufgaben und Lösungen Elektrotechnik
Wübbe:	Telekommunikation

**Bei der Vogel Communications Group sind vom bfe Oldenburg erstellte Lern-CDs erschienen:**

Beleuchtungstechnik  
Brennstoffzellen  
Datennetzwerktechnik  
Drehstromtechnik  
EIB/KNX-Installationsbus  
Elektrische Anlagen, Schutzmaßnahmen  
Elektro-Installationstechnik  
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
<b>1 Gleichstrommaschinen</b> .....	<b>25</b>
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
<b>2 Gleichstromgeneratoren</b> .....	<b>61</b>
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 Kompoundgenerator) .....	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
<b>3 Gleichstrommotoren</b> .....	<b>87</b>
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
<b>4 Transformatoren (Umspanner)</b> .....	<b>117</b>
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	<b>Asynchronmaschinen für 3-Phasen-Wechselstrom (Drehstrom)</b>	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
<b>6</b>	<b>Asynchronmaschinen für 1-Phasen-Wechselstrom</b>	<b>197</b>
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
<b>7</b>	<b>Synchronmaschinen</b>	<b>209</b>
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
<b>8</b>	<b>Stromwendermaschinen für 1-Phasen-Wechselstrom und 3-Phasen-Wechselstrom (Drehstrom)</b>	<b>247</b>
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
<b>9</b>	<b>Umformer</b>	<b>259</b>
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
<b>10</b>	<b>Gliederung der 1-Phasen-, 3-Phasen-(Drehstrom-) und Gleichstrommaschinen</b>	<b>267</b>
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
<b>11</b>	<b>Störungen an elektrischen Maschinen</b>	<b>271</b>
11.1	Störungen an Gleichstrommaschinen	271
11.2	Störungen an 1-Phasen- und 3-Phasen-Motoren	272
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>275</b>

## Gegenüberstellung üblicher alter und neuer Anschlussbezeichnungen elektrischer Maschinen

Maschinenart	Maschinenteil	Alte Bezeichnung	Neue Bezeichnung
<b>Gleichstrommaschinen</b>			
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
<b>Wechselstrommaschinen ohne Stromwender</b>			
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 herausgeführten 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	u-v-w	K-L-M
	b) 2-phasig	u-v-x/y	K-L-Q
D. <i>Drehstrom-Synchronin-nenpolmaschinen</i>	1. Ständerwicklung mit herausgeführten 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
<b>Transformatoren</b>			
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 1W-1V-1U
	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 Thermoelemente  
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 Buchstabenymbol 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

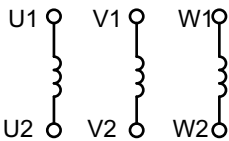


Bild 1  
Dreiphasenwicklung; offene Schaltung, drei Elemente

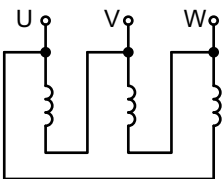


Bild 2  
Dreiphasenwicklung; Dreieckschaltung, drei Anschlussklemmen

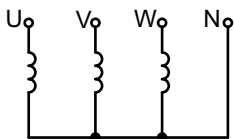


Bild 3  
Dreiphasenwicklung; innen verschalteter Sternpunkt, Neutraleiter, vier Anschlussklemmen

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

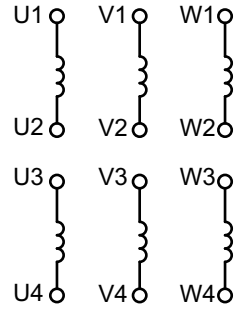


Bild 5  
 Dreiphasenwicklung; zwei Elemente pro Phase, vier Anzapfungen pro Element, offene Schaltung, sechsunddreißig Anschlussklemmen

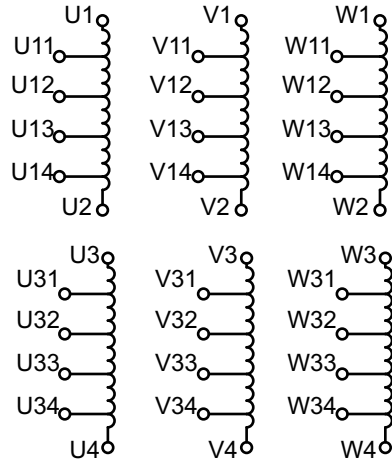


Bild 6  
 Zwei getrennte Dreiphasenwicklungen mit zwei unabhängigen Funktionen; zwei Elementen pro Phase, offene Schaltung, vierundzwanzig Anschlussklemmen

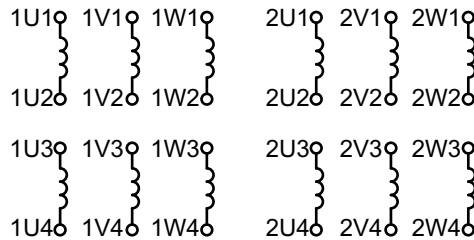
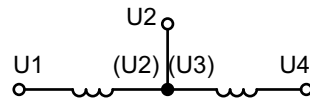


Bild 7  
 Zwei Elemente; interne Verbindung, drei Anschlussklemmen



## Einphasen-Aynchronmaschinen



Bild 8  
Einphasen-Haupt- und Hilfswicklung;  
zwei Elemente

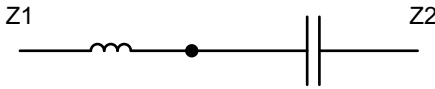


Bild 9  
Einphasen-Hilfswicklung; verschalteter  
Kondensator, ein Element

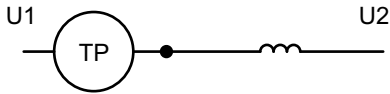


Bild 10  
Einphasen-Hauptwicklung; verschalteter  
Temperaturfühler, ein Element

## Gleichstrom-Maschinen



Bild 11  
Ankerwicklung; ein Element

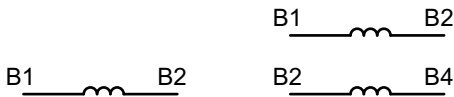


Bild 12  
Wendepolwicklung; ein und zwei Elemente

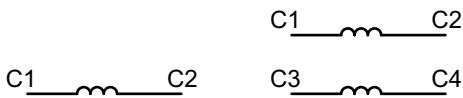


Bild 13  
Kompensationswicklung; ein und zwei Ele-  
mente

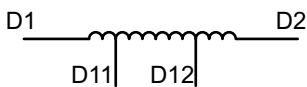


Bild 14  
Reihenschlusswicklung; ein Element,  
zwei Anzapfungen



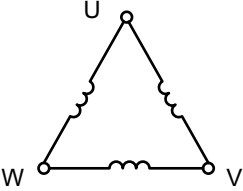
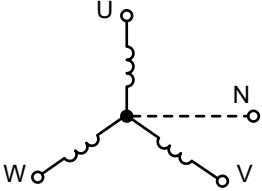
Bild 15  
Nebenschluss-Erregerwicklung; ein Element



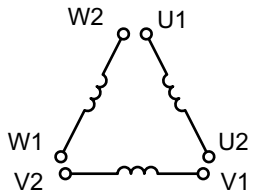
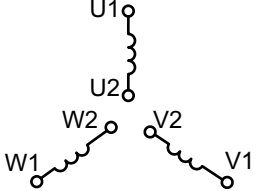
Bild 16  
Getrennt (Fremd-)erregte Erregerwicklung;  
ein und zwei Elemente



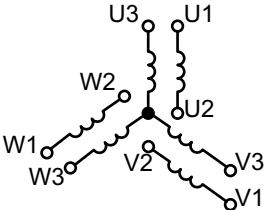
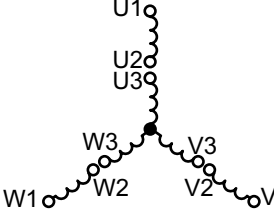
Beispiele für gebräuchliche Anwendungen  
 Dreiphasen-Asynchronmaschinen mit einer Drehzahl

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

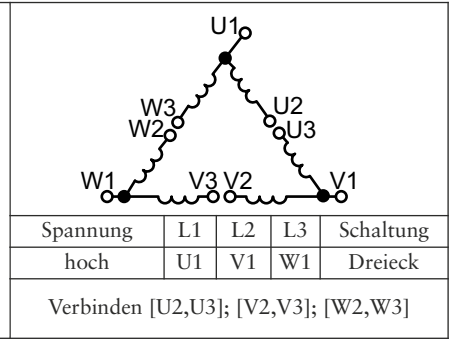
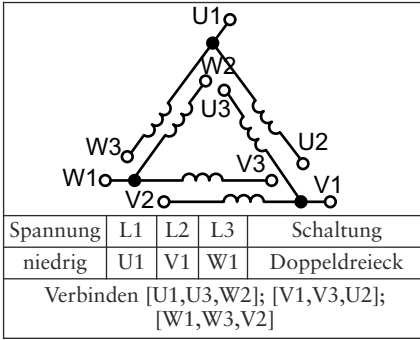
Eine Spannung

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

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

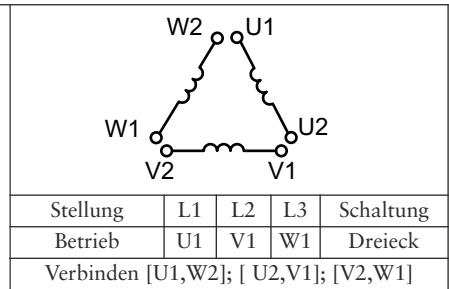
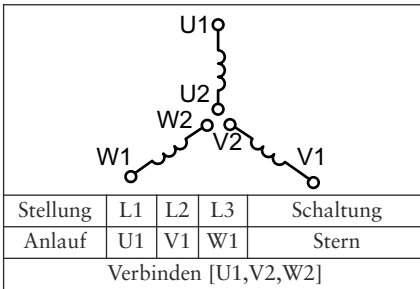
									
Spannung	L1	L2	L3	Schaltung					
niedrig	U1	V1	W1	Doppelstern					
Verbinden [U1,U3]; [V1,V3]; [W1,W3]; [U2,V2,W2]					Verbinden [U2,U3]; [V2,V3]; [W2,W3]				

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

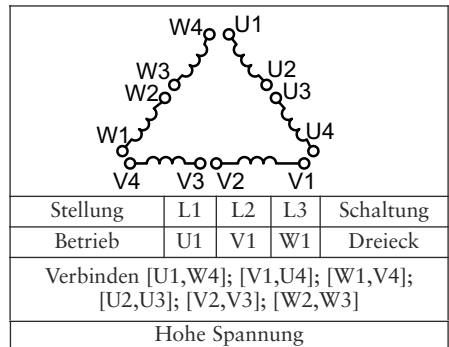
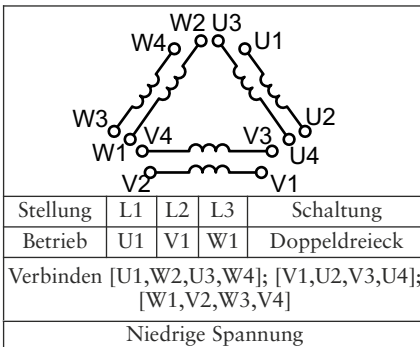
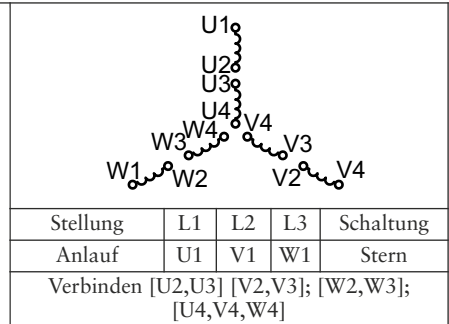
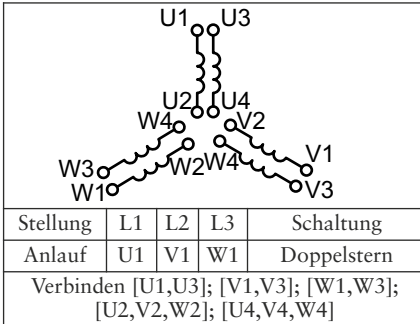


Dreieckschaltung, zwei Spannungen 1 : 2, neun Anschlussklemmen

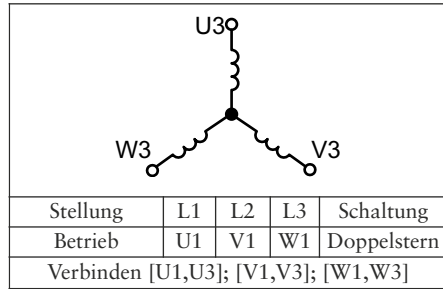
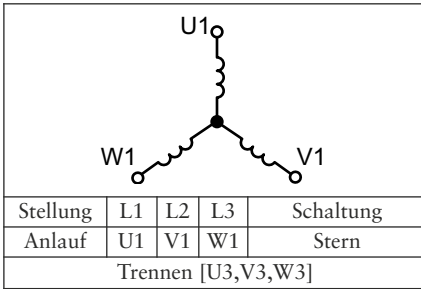
### Anlaufschaltungen



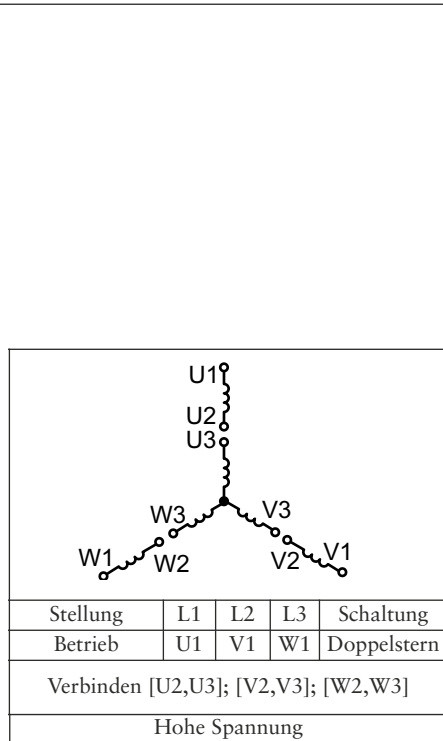
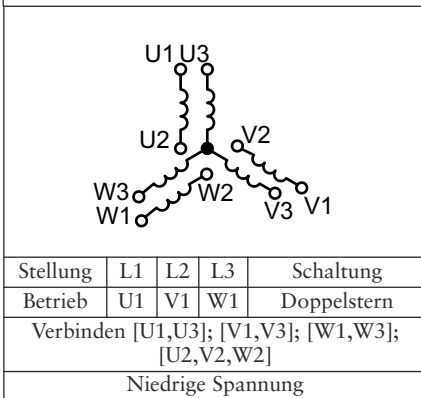
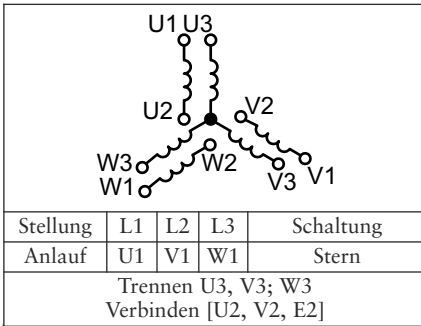
Stern-Dreieck-Anlauf, eine Spannung, sechs Anschlussklemmen



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

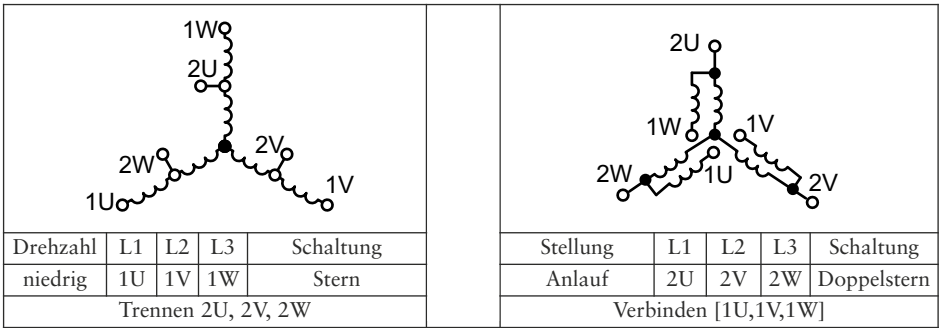


Teilwicklungsanlauf, eine Spannung, sechs Anschlussklemmen

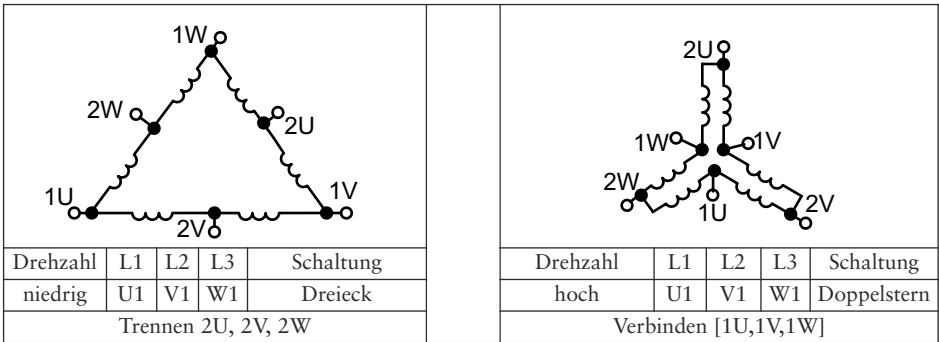


Teilwicklungsanlauf, zwei Spannungen 1 : 2 , neun Anschlussklemmen

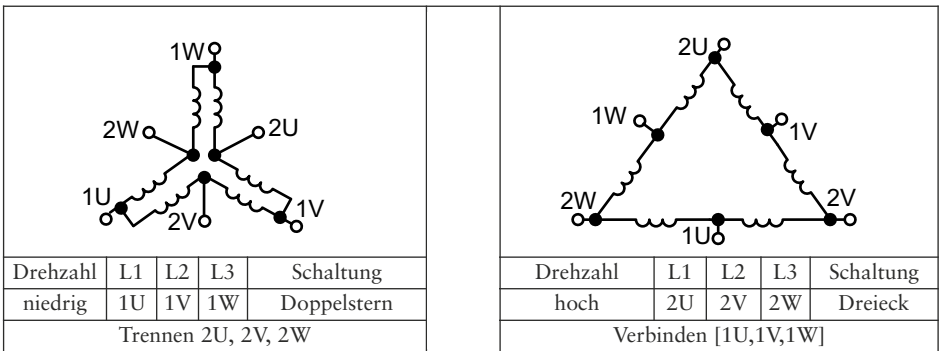
Zwei Drehzahlen, eine Wicklung



Veränderbares Drehmoment, sechs Anschlussklemmen

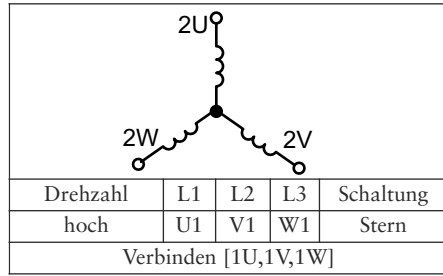
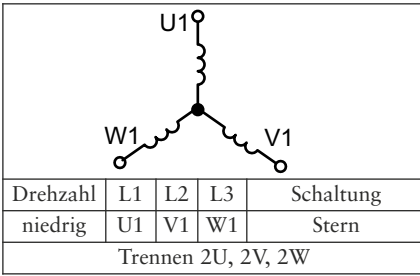


Konstantes Drehmoment, sechs Anschlussklemmen



Konstante Leistung, sechs Anschlussklemmen

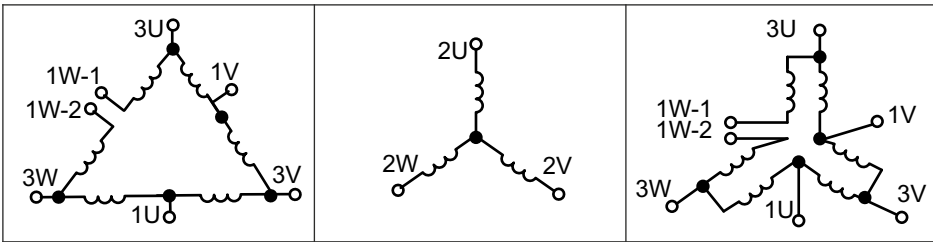
## Zwei Drehzahlen, zwei getrennte Wicklungen



Eine Spannung, innere Sternschaltung, sechs Anschlussklemmen

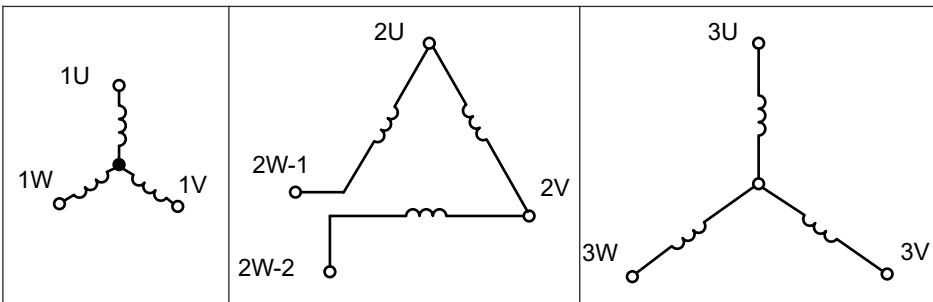
## Drei Drehzahlen

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

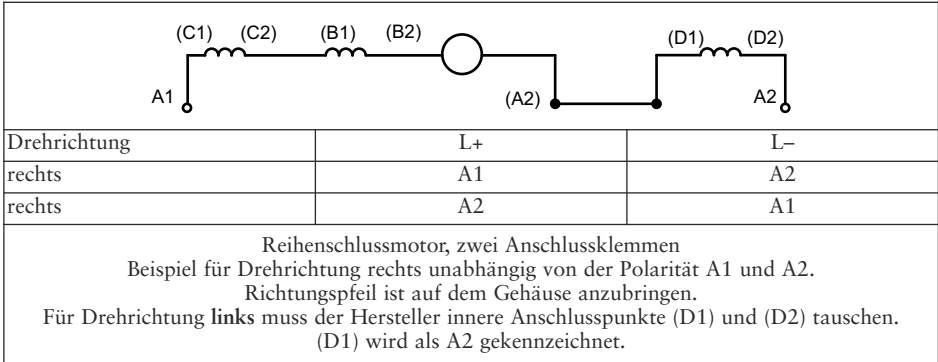
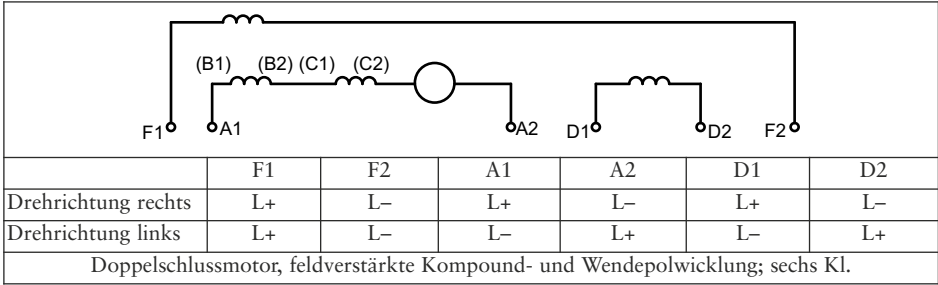
	L1	L2	Verbinden
Drehrichtung rechts	U1	U2	[U1,Z1];[U2,Z2]
Drehrichtung links	U1	U2	[U1,Z2];[U2,Z1]
Spaltpol- oder Kondensatormotor für zwei Drehrichtungen			

	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



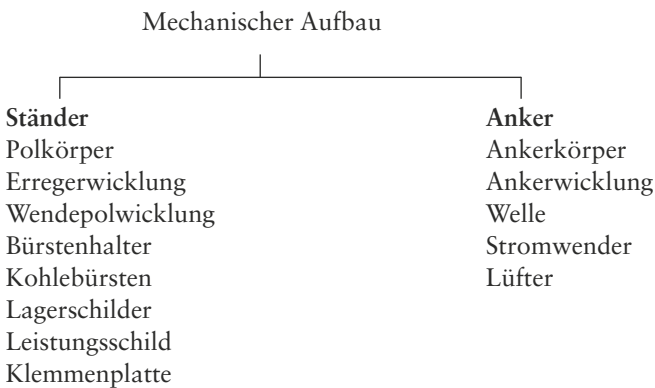




# 1 Gleichstrommaschinen

## 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

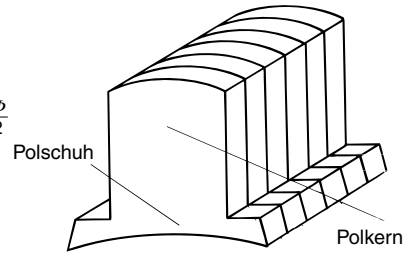
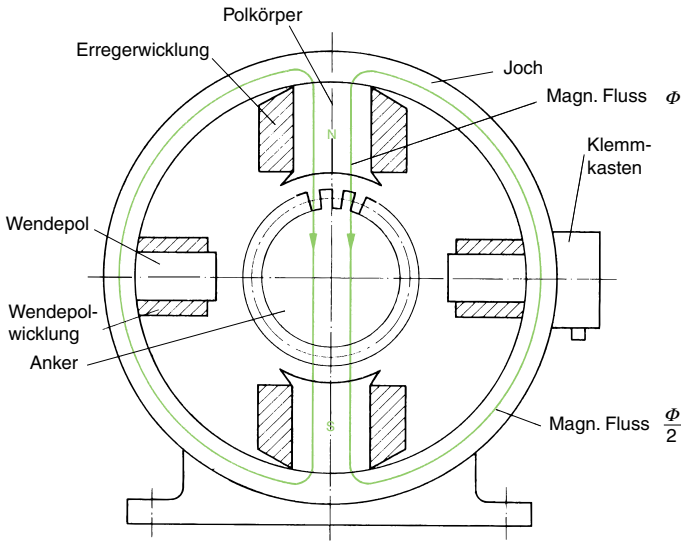


Bild 1.1b Polkörper

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.

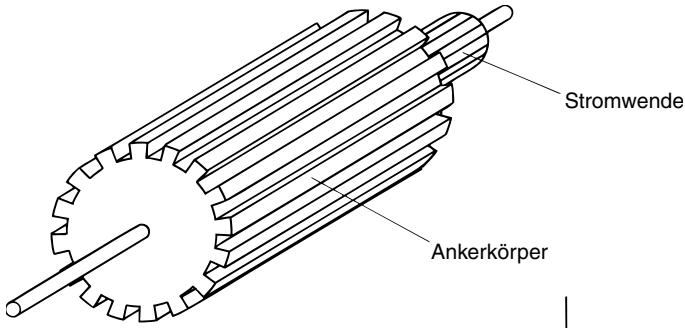


Bild 1.2a  
Genuteter Trommelanker

Bild 1.2b  
Vorderansicht Stromwenderseite

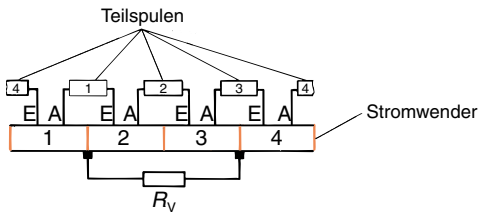
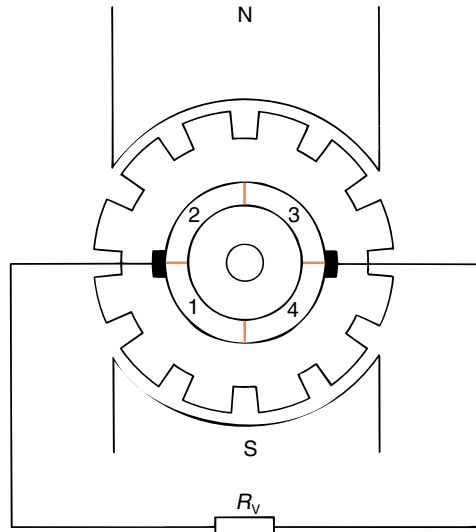
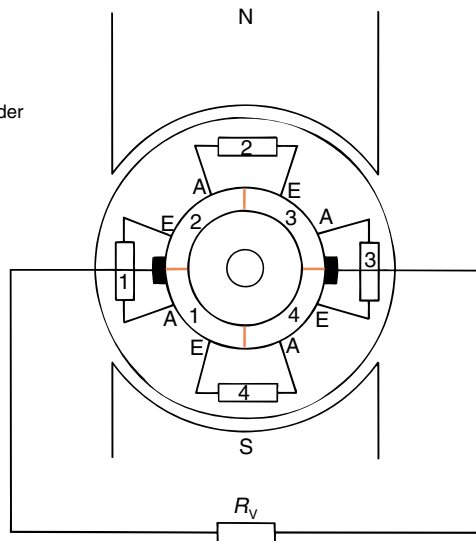


Bild 1.2d  
Abwicklung der Ankerwicklung  
(einfache Schleifenwicklung)

Bild 1.2c  
Ersatzschaltbild



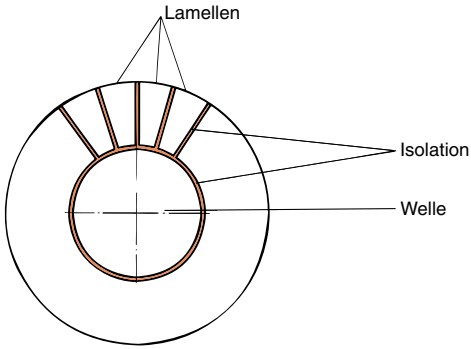


Bild 1.3a  
Stromwender (schematisch dargestellt)

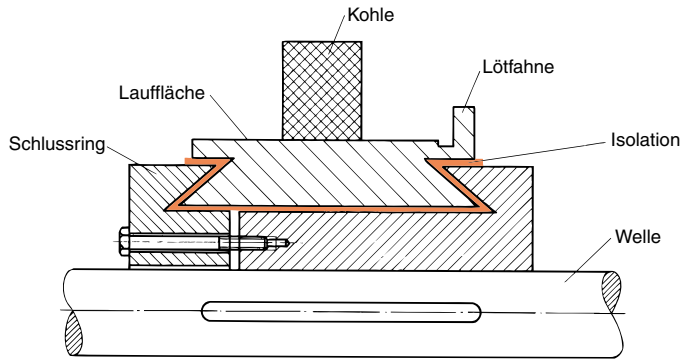


Bild 1.3b  
Schnittzeichnung  
des Stromwenders

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)


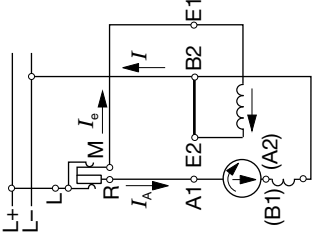
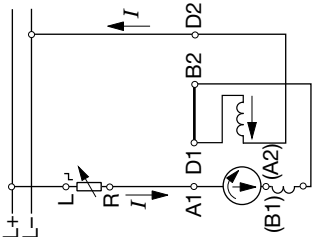
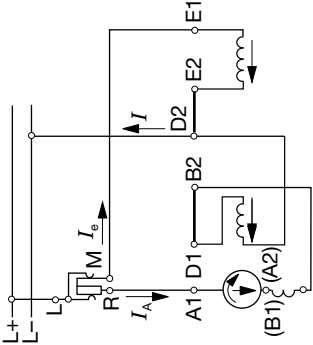
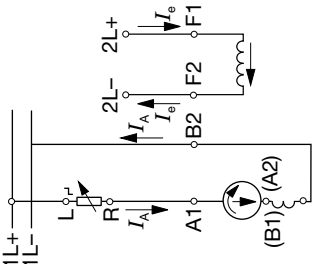

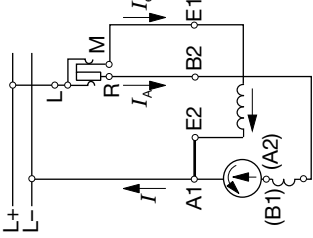
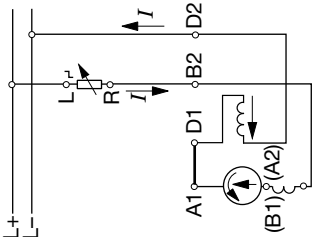
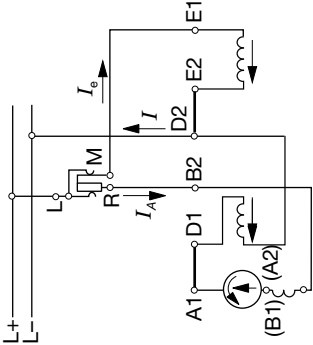
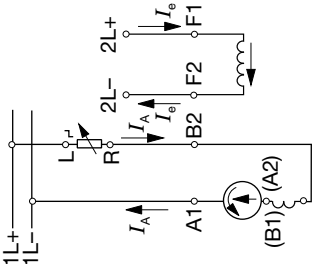
Soll die Spannung eines fremderregten Generators, Nebenschluss- oder Doppelschlussgenerators bei Belastung konstant gehalten werden, schaltet man in Reihe mit der Erregerwicklung einen Feldsteller. Der Feldsteller ist ein hochohmiger, veränderlicher Widerstand. Er kann auch für Drehzahländerungen von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

Drehsinn	Gleichstrommaschinen mit Wendepolen			mit fremdregter Wicklung
	mit Nebenschlusswicklung	mit Reihenschlusswicklung	mit Doppelschlusswicklung	
Rechtslauf 				
Linkslauf 				

Motoren