

RASKOP / ANKERWICKLUNGEN  
13. AUFLAGE



# Der Katechismus für die Ankerwickellei

Leitfaden für die Herstellung der Wicklungen  
an elektrischen Maschinen, Transformatoren,  
Starkstromapparaten und Kleinstmotoren

Von

Fritz Raskop

Beratender Ingenieur für Elektromaschinenbau

Dreizehnte, vermehrte und verbesserte Auflage

Mit rund 500 Abbildungen und Wicklungs-Schaltbildern

43. und 44. Tausend



Technischer Verlag Herbert Cram, Berlin

1 9 6 4

© Copyright 1964 by Technischer Verlag Herbert Cram, Berlin 30

Printed in Germany

Alle Rechte der Übersetzung, des Nachdruckes, der Anfertigung von Photokopien und  
Mikrofilmen, auch auszugsweise, vorbehalten.

Satz und Druck: Walter de Gruyter & Co., Berlin 30

## Vorwort zur 13. Auflage

Im Ablauf der Auflagenfolge hat der Verfasser versucht, den Fachtext und die Abbildungen hierzu dem entwicklungsmäßigen Fortschritt auf dem Sektor Elektromaschinen und der Instandsetzung elektrischer Maschinen durch Ergänzungen und Erweiterungen bestmöglich anzugleichen. Dieser Anlaß lag auch bei der Bearbeitung der 13. Auflage vor.

Die gegenwärtige Situation im Elektromaschinenbau ist einerseits durch den ständig ansteigenden Bedarf an elektrischen Maschinen aller Größen, Gattungen und Spannungen, andererseits aber auch durch das Streben nach rationellen Fertigungsmethoden und nicht zuletzt durch die Forderung nach höherer Betriebstüchtigkeit und Verlängerung der Lebensdauer der Maschinen gekennzeichnet.

Jährlich werden viele Millionen elektrischer Maschinen in der Gesamtwirtschaft und in den Haushalten zusätzlich investiert. Ein Heer von Fachleuten befaßt sich mit der Forschung nach noch besseren Hilfsmaschinen, Werkstoffen und nach wirtschaftlicheren Fertigungsmethoden.

Als Ergebnis der Forschungsarbeiten kommen neuartige, verbesserte Werkstoffe, Maschinen, Geräte und Apparate auf den Markt, die im Rahmen des allgemeinen Wettbewerbes auf Geeignetheit geprüft und in praktischen Versuchen auf Einsatzreife beurteilt werden müssen.

Im Rahmen dieser Entwicklung steht die Heranbildung des Nachwuchses, insbesondere die überbetriebliche Ausbildung von Fach- und Führungskräften im Vordergrund. Es fehlt z. Z. nicht nur an geeigneten Fachkräften, sondern auch an Ausbildungsmöglichkeiten und Lehrkräften.

In dieser Situation fällt dem Fachbuch eine wichtige, gegenwartsnahe und überbrückende Aufgabe zu, die u. a. auch durch das Streben nach einem gemeinschaftlichen europäischen Markt und durch die Hilfe für die Entwicklungsländer gekennzeichnet ist.

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte wurde die 13. Auflage des „Katechismus“ überarbeitet, ergänzt und erweitert.

Die seit Jahrzehnten bestehenden geistigen und persönlichen Kontakte mit ausländischen Fachleuten, wurden durch das Erscheinen des Katechismus in französischer und spanischer Sprache vertieft und hierdurch der internationale Erfahrungsaustausch gefördert.

Seit dem nun 42jährigen Bestehen hat der Katechismus in den Händen vieler tausend Fachleute im In- und Ausland seinem Zweck gedient. Der Verfasser benutzt die Gelegenheit, dem großen Kreis der Katechismusfreunde für das entgegengebrachte Vertrauen zu danken und gibt der Hoffnung Ausdruck, daß der Katechismus auch weiterhin seiner Aufgabe gerecht werden möge.

Oberursel/Taunus, im August 1963

Der Verfasser

## Vorwort zur 12. Auflage

Das Erscheinen der 12. Auflage (39.—42. Tausend) des „Katechismus“ gab dem Verfasser den Anlaß zu einer sorgfältigen Überarbeitung und Ergänzung des gesamten Stoffgebietes.

Hierbei wurde davon ausgegangen, daß sich in den letzten Jahrzehnten hinsichtlich der bekannten und bewährten Wicklungsarten nichts Grundsätzliches geändert hat und voraussichtlich auch in absehbarer Zukunft keine nennenswerten diesbezüglichen Änderungen zu erwarten sind.

Richtungweisend waren vielmehr die Belange der Elektromaschinenbauer und Instandsetzer, die sich aus dem entwicklungsmäßig bedingten Fortschritt auf dem Sektor „Elektromaschinenbau“, insbesondere aber aus dem allgemeinen Streben nach zeit- und kostensparenden Fertigungsmethoden zwangsläufig ergeben.

In der gegenwärtigen Zeit der Rationalisierung, Mechanisierung und Automatisierung steht die Einführung qualitätsverbessernder, zeit- und kostensparender Fertigungsmethoden im Vordergrund der beruflichen Interessen. Hieraus ergab sich die Notwendigkeit, weiterhin Mittel und Wege aufzuzeigen, die zur Erreichung dieser Ziele beitragen können.

In diesem Sinne wurde die Zahl der Wicklungsschaltbilder in beachtlichem Umfang erhöht, Abbildungen der inzwischen auf dem Markt erschienenen, verbesserten Wickelmaschinen und Hilfsmittel in den Fachtext eingefügt und über fortschrittliche Fertigungsmethoden in Wort und Bild berichtet.

Der Abschnitt „Instandsetzung von Kleinstmotoren“ wurde besonders sorgfältig überarbeitet und erheblich erweitert. Desgleichen wurde das Wickeldatenarchiv (Anhang) ausgebaut.

Der Verfasser steht in ständigem Erfahrungsaustausch mit Wickel fachleuten des europäischen und überseeischen Auslandes. Die Berichte und Hinweise von dieser Seite wurden bei der Bearbeitung der vorliegenden 12. Auflage mit ausgewertet. Es soll aber an dieser Stelle auch er-

wähnt werden, daß sich der „Katechismus“ weit über die deutschen Grenzen hinaus viele neue Freunde erworben und auch hier zu einer fortschrittlichen Entwicklung in den Wickleibetrieben beigetragen hat.

Bei Erscheinen der vorliegenden 12. Auflage des „Katechismus“ blickt der Verfasser auf eine 37jährige Tätigkeit als Fachschriftsteller und beratender Ingenieur zurück. In diesem langen Zeitraum sind viele tausend geistige und persönliche Kontakte entstanden, die den Verfasser veranlassen, seinem großen Leser- und Freundeskreis im In- und Ausland für das ihm entgegengebrachte Vertrauen zu danken. Dieser Dank gilt auch den Ratsuchenden, die dem Verfasser durch ihre Anfragen ständig neue Anregungen für seine fachschriftstellerische Tätigkeit gaben, sowie dem Verleger und seinen Mitarbeitern, die sich für die Gestaltung des vorliegenden Werkes einsetzten.

Krefeld, im Juli 1957

Der Verfasser

### Vorwort zur 1.—11. Auflage

Das vorliegende Fachbuch enthält eine Sammlung praktischer Erfahrung und Winke für den

Elektromaschinenbauer-Beruf, insbesondere für die Fachleute, die sich mit der Instandsetzung, Neu- und Umwicklung elektrischer Maschinen befassen. Der Katechismus war ursprünglich als eine Ergänzung des vom Verfasser herausgegebenen Fachbuches:

Die Instandsetzung an elektrischen Maschinen, Transformatoren und Starkstromapparaten, Fehlerbestimmung und Prüfung instandgesetzter Maschinen  
neuer Titel „Das Elektromaschinenbauer-Handwerk“ gedacht.

Mit den ständig steigenden Anforderungen, die seitens der Wirtschaft an die Instandsetzungswerke elektrischer Maschinen gestellt werden, erwies sich eine planvolle Erweiterung und Ergänzung der einzelnen Stoffgebiete als notwendig.

Der „Katechismus“ hat hierdurch als Fachbuch eine gewisse Selbständigkeit erlangt, aber an seiner ursprünglichen Bestimmung hat sich nichts geändert. Das Buch hat in den Händen zehntausender Fachleute im In- und Ausland an der Aufwärtsentwicklung des Elektromaschinenbauer-Handwerkes beigetragen und ist seit Jahrzehnten ein fester Bestandteil der Fachbüchereien in den Instandsetzungswerkstätten elektrischer Maschinen. Seit dieser langen Zeit bestehen geistige und persönliche Beziehungen zwischen der großen Gemeinschaft der Elektromaschinenbauer und dem Verfasser, der den Wunsch hegt, daß diese Beziehungen im Rahmen des internationalen Erfahrungsaustausches zum Nutzen und Wohle der Gesamtheit vertieft werden mögen.

Der Verfasser.



## Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	1		
<b>I. Teil</b>			
<b>Die Ausnutzung des Wickelraumes bei Gleichstromanker und Drehstromständer</b> .....	4		
Das aktive und passive Material der elektr. Maschinen .....	4		
Das elektrisch und magnetisch beanspruchte Material .....	4		
Der Raum für die Aufnahme der Wicklung .....	4		
Die Abmessung des Wickeldrahtes	5		
Die Ausnutzung des Wickelraumes bei Gleichstromanker mit Handwicklung .....	6		
Die Auswuchtung umlaufender Wicklungskörper .....	6		
Anleitung zur richtigen Ausnutzung des Wickelraumes bei Gleichstromanker .....	7		
Merkmale für die Beurteilung der Ausführbarkeit verschiedener Handwicklungsarten .....	8		
Die Auswertung des Wickelraumes bei Gleichstromanker mit Formspulenwicklung .....	9		
Die Formung der Spulen .....	11		
Die Ausführbarkeit der Formspulenwicklungen .....	12		
Die Ausnutzung des Raumes für die Unterbringung der Schaltdrähte .....	17		
Anleitung zur Ausführung von Schaltarbeiten .....	18		
Drehstrommaschinen .....	19		
Die Raumverhältnisse zur Unterbringung der Wicklungen .....	19		
Hilfsmittel für zweckmäßige Raumausnutzung .....	19		
Ausführung für 2pol. Dreiphasenwicklungen (Schaltbilder) unter Beachtung der Raumausnutzung .....	21		
		Verschiedene Ausführungsarten der Ständerwicklungen .....	25
		Die Form der Spulengruppen .....	26—28
		Die Isolation der Hochspannungswicklungen .....	28
		Die Befestigung der Ständerwicklungen und Schaltverbindungen .....	30
<b>II. Teil</b>			
		<b>Hilfswerkzeuge und die Anwendung derselben in der Ankerwickelerei</b> .....	33
		<b>A. Das Bandagieren umlaufender Wicklungen</b> .....	33
		Die Stärke des Bandagen drahtes .....	33
		Zuschneiden der Isolationsstreifen als Bandagenunterlage .....	34
		Das Bandagieren auf der Drehbank .....	35
		Das Bandagieren auf Böcken .....	36
		Das Bandagieren der Läufer bei Großmaschinen .....	37
		Rotorbandagen aus Glasfaserband .....	39
		Die dynamische Auswuchtung umlaufender Wicklungskörper .....	42
		<b>B. Die wirtschaftliche Herstellung von Lötverbindungen</b> .....	43
		LötKolbenformen .....	45
		<b>C. Die Entfernung des Glimmers (Mikanit) zwischen den Lamellen eines Kollektors</b> .....	46
		<b>D. Die Herstellung der Nutenisolationen</b> .....	48
		Isolierstoffe nach VDE (REM) Werkstoffklasse Y, A, E, B, F, H u. C .....	48
		Isolationsknickgerät .....	49
		Isolierstoffe für Nutenisolationen .....	49

Feuchtigkeits- und thermische Beständigkeit .....	49	Die Tropenbeständigkeit der Imprägniermittel .....	78
Silikonisierlacke, Glasgewebe Glimmer, Mikafolien, Samicafolien .....	50	Das Imprägnierproblem im Elektromaschinenbau .....	79
Wärmeleitende Nutzenisolationen .....	51	Zweck und Ziel der Imprägnierung Gütebezeichnungen und Güte- werte der Elektro-Isolierlacke.	80
Die Wärmeleitfähigkeit der Nutzenisolationen .....	51	Die Duplizierbarkeit der optimalen Trockenkurve .....	80
Der Wärmedurchgangswiderstand der Nutzenisolationen	51	Die Programmvergebung .....	80
Thermisolfolien, DBP angem. Hydraulisch betätigte Mikafolien- Presse .....	52	Zusammengefaßte Gütewerte und Güte- bezeichnungen .....	81
Nutzenisolationen für hohe Betriebsspannung .....	52	Ablauf aus Trocken-(Härte-)Vorgängen .....	84
Mikafolien, umpreßte Anker- Formspulen .....	52	Oberflächen- und Tiefentrocknung	85
		Die Trockenzeiten .....	87
		Die jeweils optimale Trockenzeit	90
		Imprägniergeräte und Imprägnier- methoden .....	93
		Die nach dem Tränkverfahren erzielbaren Ergebnisse .....	95
		Was muß der Elektromaschinenbauer vom Aufbau und von der Anwendung der Isolierstoffe und Imprägniermittel wissen? ....	97
		Zusammenfassung .....	102
		Härtbare Kunstharz-Isolierlacke.	102
		Bedeutung der Kurzschlußfestigkeit .....	103
		Bedeutung der chemischen Beständigkeit .....	104
		Der Härtungsvorgang .....	104
		Die Temperatur bei der Vertrocknung .....	106
		Die Trockenkurve .....	107
		Vorteil gegenüber Öllacken .....	109
		Voraussetzungen für die aussichtsreiche Anwendung .....	110
		Feuchtigkeits- und Säureschutz- lacke .....	111
		Tropenschutz-Isolierlacke .....	114
		Silikon-Tränklacke .....	118
		Neue, lösungsmittelfreie Isolier- lacke .....	121
		Das „Einwecken“ von Wicklungen in Kunstharzmassen .....	123
		Gütemäßige Leistungssteigerung durch Vakuum-Imprägnierung.	125
		Vakuum-Imprägnieranlage im Betrieb .....	126
		Über die praktische Anwendung kalthärtender Silikon-Kautschuk- Vergußmasse beim Aufbau der Wicklungsisolation ...	128
<b>III. Teil</b>			
<b>Die praktischen Arbeitsvorgänge beim Bau elektr. Maschinen...</b>	<b>54</b>		
Das Ausschneiden und Stanzen der Bleche .....	55		
Neuzeitliche Stanztechnik im Elektromaschinenbau .....	56		
Das Bekleben bzw. Lackieren der Dynamobleche .....	57		
Anker und Polblech eines Gleich- strommotors .....	58		
Schnelllaufende Nutzenstanzma- schinen .....	59		
Wicklei .....	63		
Zusammenbau (Montage) von Drehstrommotoren .....	67		
Elektro-Isolierlacke, Bedeutung u. praktische Anwendung beim Aufbau der Wicklungsisolation im Elektromaschinenbau .....	69		
Imprägniergerät und Trockenofen	70		
Allgemeines .....	70		
Klassifizierung der Elektro-Isolier- lacke .....	72		
Die verschiedenen Trocken- und Härtevorgänge .....	73		
Eigenschaften und Gütewerte der Isolierlacke .....	74		
Wärmeleitfähigkeit der Isolier- lacke .....	76		
Backvermögen der Imprägnier- mittel .....	77		
Wiedererweichen der getrockneten Imprägniermittel .....	78		
Die thermische Beständigkeit der Imprägniermittel .....	78		

Welchen Beitrag kann der Elektromaschinenbauer zur Lösung des Lackdrahtproblems leisten	134
Gegenüberstellung deutscher, amerikanischer und russischer Motoren	136
Der Nutenfüllfaktor bei Lackdrahtwicklungen	136
Die Herstellung der Formspulen für Träufelwicklungen	138
Die Wahl der Tränklacke für Lackdrahtwicklungen	138
Die Prüfung instand gesetzter Maschinen	141
Drehstrom-Prüffeld für Kleinmotorenfabriken	142
Drehzahlmessungen im Prüffeld	143
Prüfgerät nach REM/DVE § 50 und Tafel V	144
Anker-Prüfgerät „Prüfex“	145
Tabelle für Normwerte (Wirkungsgrad und Leistungsfaktor)	147
Der Magnetisierungs-, Leerlauf und Kurzschlußstrom bei Drehstrommotoren	149
Tabelle über Nennströme, Leerlauf- und Kurzschlußströme bei neuzeitlichen Drehstrommotoren	151
Bestimmung des Wirkungsgrades Gleichstrommaschinen	153
Die Messung des Ankerwiderstandes	154
Drehstrommotoren	155
Die Umdrehungszahlen der Gleich- und Drehstrommotoren	157

#### IV. Teil

<b>Wissenswertes theoretische Einzelheiten konstruktiver Natur</b>	164
<b>Gleichstrommaschinen</b>	166
Die Funkenbildung am Kollektor	166
Der Drahtquerschnitt der Wicklungen	169
Tabelle über Stromverbrauch bei 110, 220, 440 und 500 Volt	171
Magnetwicklungen	172
Die Berechnung des Wickelschrittes	174
Parallelwicklungen	175
Reihenwicklungen	178
Reihenparallel-Wicklungen	180
Einfach geschlossene Reihenparallelwicklungen	181

Die Berechnung des Kollektorschrittes	181
Ausgleichringe bei Gleichstrom-Ankerwicklungen	184
Ausgleichverbindungen bei Gleichstrom-Ankerwicklungen	189
Mehrpoleige Schleifen-(Parallel-) Wicklungen	190
Querschnitt der Ausgleichverbindungen	191
Mehrgängige Schleifenwicklungen	191
Reihen-Parallel-Wicklungen	192

#### V. Teil

<b>Umschalten eines Gleichstrommotors (4polig) 220 auf 110 Volt</b>	194
Tabelle über Nutenzahlen und Polzahlen für Drehstrommotoren	198
Dreiphasen-Bruchlochwicklungen	198
Schaltbild: Dreiphasen - Bruchlochwicklung 10polig, 24 Nuten	200
Tabelle über die Ausführbarkeit von Dreiphasen-Bruchlochwicklungen	201
Schaltbilder für Dreiphasen-Einschicht - Bruchlochwicklungen	202—233
Tabelle über Polzahlen und Läuferdrehzahlen 2—80polig	213
Dreiphasen-Zweischichten-Bruchlochwicklung	219
Der Entwurf einer 6pol. Dreiphasen - Zweischichten - Bruchlochwicklung, 27 Nuten	223
Schaltbild: 6pol. Dreiphasen-Zweischichten-Bruchlochwicklung 27 Nuten	225
Zweiphasen-Bruchlochwicklungen	227
Zweiphasen-Läuferwicklungen	236
Berechnung der Läuferspannung	238
Parallelschalten von Drehstromwicklungen	241
Dreiphasen - Zweischichtenentwicklung 6pol. umschaltbar für 110, 125, 190, 220, 330, 380 Volt	242
Umschaltbare Dreiphasenwicklungen für 440/220 Volt 220/110 Volt	243
Ausgleichverbindungen an Dreiphasenwicklungen mit Parallelschaltung innerhalb der 3 Wicklungsstränge	246

Die Zweiphasen-Läuferwicklungen bei Drehstrommotoren .....	247	Polumschaltbare Dahlander-Wicklungen .....	372—418
Schaltpbild einer 4poligen Zweiphasen-Läuferwicklung .....	248	Drehstrommotoren mit polumschaltbaren Wicklungen .....	372
Angaben für den AEG-Zweiphasenläufer Type D 50/6 .....	249	Prinzip-Schaltpbild der Dahlanderwicklungen .....	376
Anormale Drehstromläufer-Stabwicklungen .....	253	Schaltpbilder für polumschaltbare Wicklungen .....	372—424
Anormale Dreiphasenwicklungen und deren Anwendung beim Umbau von Drehstrommotoren .....	258	Die SSW-Weinert-Schaltung .....	380, 385, 386
Wickelschema für einen Stabläufer 8polig, 84 Nuten .....	262	Die Verwendung des normalen Drehstrommotors als Einphasen - Asynchronmotor mit Hilfswicklung .....	408
Wickelschema für einen Stabläufer 8polig, 60 Nuten .....	265	Polumschaltbare Drehstrommotoren mit Umschalter .....	417
Bedeutung der maß- und formgerechten Gestaltung von Mehrfachspulen ungleicher Weiten für Ein- und Zweischichtenwicklungen .....	267—285	Die Umwicklung einer größeren Gleichstrommaschine von 500 auf 220 Volt .....	420
Tabelle über Wickellöhne bei Träufelwicklungen .....	275	Ausgleichsverbindungen an Reihenparallelwicklungen .....	424
Wickelgeräte für Träufelwicklungen .....	277—285	Tabelle der Drahtstärken bei Verwendung mehrerer paralleler Leiter .....	426
Die Dreiphasen - Formspulen-(Träufel-)Wicklungen und ihre Bedeutung für die Instandsetzungswerkstätten .....	285	Tabelle 2, Durchmesser und Querschnitt blanker runder Kupferdrähte .....	427
Schaltpbilder für Einsicht-Träufelwicklungen .....	291—301	Tabelle über Stromverbrauch der Gleich- und Drehstrommotoren .....	428
Dreiphasen - Dreietagen - Wicklungen .....	302	Die Ursachen des schlechten Anlaufens der Kurzschlußläufer. .....	429
Der konstruktive Aufbau der Zweischichten-Wicklungen .....	307	Vorbedingungen für den einwandfreien Anlauf .....	430
Schaltpbild eines Wicklungsstranges für Zweischichtenwicklung .....	313	Das Nutzenzahlverhältnis Ständer/Läufer .....	432
Die Schaltung der Zweischichtenwicklungen .....	314	Aluminium - Preßguß - Käfigläufer .....	434
Vereinfachte Schaltpbilder Dreiphasen - Zweischichten - Wicklung .....	317, 356, 371	Das Schlitzten der Kurzschlußringe entsprechend der Polpaarteilung — Verbesserung des Anlaufes .....	436
Tabelle über Schaltpmöglichkeiten für Dreiphasen - Zweischichtenwicklungen .....	318—319	Wahl der Ständer und Läufernutenzahl nach Prof. Richter .....	437
Schaltpbilder für Zweischichtenwicklungen .....	321—350	Umwicklung von Schleifringläufer in Käfigläufer .....	438
Der verkürzte Wickelschritt (ge-sehnt) bei Zweischichtenwicklungen .....	345	Die Stab- und Ringquerschnitte .....	439
Tabelle über die Zunahme der Leiterzahlen bei Anwendung ge-sehnter Wickelschritte .....	349	Leitwertgleichheit Alu/Kupfer ..	439
Vorteile der ge-sehnten Wickelschritte .....	350	Nutenformen für Käfigläufer ..	441
		Mittel zur Verbesserung des Läufer-Anlaufes .....	442
		Sonderfälle Käfigläufermotoren .	443
		<b>Mittel und Methoden zur Verbesserung des Anlaufes der</b>	

<b>Käfigläufer bei Einphasen- synchronmotoren</b> .....	448
Schaubild: Leiterzahlen für Ein- phasen - Wechselstrom - Asyn- chronmotoren .....	449
Wicklungs-Schaltbild SSW-Ein- phasenmotor Type RE 24/4 ..	452
Druckknopf-Anlaßschalter für SSW-Motor Type RE 24/4 ...	452
<b>Geräuscharme Wechselstrom- Asynchronmotoren mit Käfig- läufer</b> .....	452
Auslegung der Blechpakete ....	452
Wahl der Ständerwicklung .....	467
Mechanische Bearbeitung der Bau- teile .....	467
Passive Bauteile .....	467
Nutenverhältnis Ständer/Läufer .	468
Blechschnitt und Luftspalt .....	468
Isolierte Käfig- und Läuferwick- lungen .....	468
Nutenisolation im Ständer .....	469
Herabsetzung der Störgeräusche durch isolierte Metallfolien ...	470
Schrifttumshinweise über ge- räuscharme Drehstrommotoren	471

## VI. Teil

<b>Die Bedeutung des Auswuchtens umlaufender Wicklungskörper</b> .	472
Die Begründung der Notwendig- keit des Auswuchtens .....	472
Die wickeltechnischen Voraus- setzungen für eine möglichst vollkommene Auswuchtung ...	474
Die Technik des Auswuchtens ..	475
Apparate und Maschinen für die dynamische Auswuchtung ....	493
Das Träufelharz-Imprägnierver- fahren für Kleinst-Kollektor- anker .....	477
Zweck und Ziel des Träufelharz- Imprägnierverfahrens .....	477
Leiterwerkstoff „Lackdraht“ .....	478
Anforderungen, die normalerweise an die Imprägniermittel gestellt werden .....	478
Die Bewertung der Imprägnier- mittel hinsichtlich der Geeignet- heit für die Imprägnierung der Kleinstankerwicklungen .....	479
Zusammenfassung: Richtlinien u. Einsatzerfahrungen für die prak- tische Anwendung des Träufel-	

harz-Imprägnierverfahrens im Elektromaschinenbau .....	487
Vorteile des Träufelharz-Imprä- gnierverfahrens .....	487
Voraussetzungen für die erfolg- reiche Anwendung des Träufel- harz-Imprägnierverfahrens ....	488
Topfzeit .....	489
Konstruktive Auslegung und Funktion des Imprägniergeräts	480
Wärmeleitvermögen des Träufel- harzes .....	491
Gefüllte Träufelharze .....	491
Schutzmaßnahmen bei Anwendung des Träufelharzes .....	492
Kurze Richtlinien für die Anwen- dung des Träufelharz-Imprä- gnierverfahrens im Elektroma- schinenbau .....	492
Dynamische Auswuchtmaschinen .....	495—496

## VII. Teil

<b>Die Instandsetzung und Neuwick- lung von Klein- und Kleinst- motoren</b> .....	499
Wickeldatenarchiv für Kleinst- motoren .....	501
Ausführungsbeispiele von Kleinst- motoren .....	502, 503
Die Bedeutung des Lackdrahtes und der Imprägnierung von Lackdrahtwicklungen .....	504
Die Gütwerte der Lackdrähte .	505
Imprägnierfeste Lackdrähte .....	506
Imprägnieren von Lackdraht- wicklungen .....	508
Blechschnitte für Kleinstmotoren	510
<b>Die verschiedenen Arten und Schaltungen für Kleinstmotoren</b>	511
Die Barkhausen-Schaltung für Kleinstmotoren .....	512
Die Verlegung der Schaltenden bei Kollektorankern .....	512
Umwicklung von Gleichstrom- motoren in Universalmotoren .	527
Anker-Wickelmotoren für Kleinstanker .....	527
Die Herstellung der Ankerwick- lungen für Kleinstmotoren ...	528
Das Abreißen der Schaltenden bei schnellaufenden Kleinankern .	529
Das Blankmachen der Schalt- enden bei Kollektorankern ....	530

Ersatz der Kollektoren bei Kleinstanker .....	534
Einphasen-Wechselstrom- motoren mit Käfigläufer .....	534
Nicht abschaltbare Anlaufwick- lungen bei Wechselstrommotoren	535
Schalbilder für Einphasen-Wech- selstrommotoren .....	535—542
4polige Einphasen-Zweischich- tenwicklung nach Schorch ....	537
4polige Einphasenwicklung 18 Nuten .....	538
Kondensator-Anlaufschaltungen .	540
Magnetische Kupplungen für Ein- phasen-Asynchronmotoren ...	543
Bemessung der Anlauf-Konden- satoren für Einphasenmotoren .	544
<b>Sonderabhandlung über Staub- sauger</b>	
Was ist bei der Instandsetzung und Neuwicklung von Staub- saugern zu beachten .....	544
Die Aufrechterhaltung des ge- räuscharmen Laufes .....	545
Magnetische Störgeräusche .....	545
Akustische Geräuschquellen ...	546
Mechanische Geräusche .....	546
Aufrechterhaltung des ursprüng- lichen Unterdruckes .....	546
Wattaufnahme, Wassersäule und Luftfördermenge .....	547
Maßnahmen zur Erhaltung der ursprünglichen Güterwerte ...	548
Meßtechnische Erfassung des Un- terdruckes .....	548, 549
Kugellager-Abziehvorrichtung ...	550

### Anhang I

Wickeldaten für Kleinstmotoren ..	553
Querschnitt durch eine elek- trische Handbohrmaschine ...	569

### Anhang II

Die „Regeln für elektrische Ma- schinen“, REM, VDE 0530/3.59 und ihre Bedeutung für den Elektromaschinenbau .....	572
<b>Auszug aus den Regeln für die Be- wertung und Prüfung elektri- scher Maschinen, REM 0530/ XII 37 u. REM 0530/7. 55 ...</b>	582
Besondere Vorschriften für In- standsetzungsarbeiten § 50, § 84 .....	601, 511

### Anhang III: Tabellen

Normwerte für Wirkungsgrad und Leistungsfaktor offener Dreh- strommotoren .....	147—148
Nennströme, Leerlauf- und Kurz- schlußströme neuzeitlicher Drehstrommotoren .....	151
Stromverbrauch PS der Gleich- strommotoren .....	171
Nutzanzahlen für Dreiphasen- Ganzlochwicklungen .....	198
Die Ausführbarkeit von Drei- phasen-Bruchlochwicklungen .	201
Polzahlen und Drehzahlen (2—80 Pole) bei 50 Hz .....	213
Verteilung der Spulengruppen auf die Nuten bei 8pol. Dreiphasen- Einschicht-Bruchlochwick- lungen .....	216
Aufteilung der Spulengruppen auf die Nuten, bei 4pol. Einschicht- Zweietagenwicklungen .....	217
Verteilung der Spulengruppen bei 4pol. Zweischichtenwicklungen (Bruchloch) .....	221
Verteilung der Spulengruppen bei 8pol. Zweischichten-Bruchloch- wicklungen .....	222
Aufstellung einer Wickeltabelle für eine 6pol. Dreiphasen- Bruchlochwicklung, 27 Nuten.	223
Drehstromläufer-Stabwick- lungen .....	248, 249, 253
Aufstellung einer Wickeltabelle für Drehstromläufer-Stabwick- lung 84 Nuten, 8polig .....	262
Aufstellung einer Wickeltabelle für Drehstromläufer-Stabwick- lung 60 Nuten, 120 Stäbe 8polig	265
Lohnkosten für Dreiphasen- Träufelwicklungen .....	275
Ein- und Mehrlochwicklungen für Drehstrommotoren .....	318
Schaltmöglichkeiten bei Dreipha- sen-Zweischichtenwicklungen ..	319
Die prozentuale Erhöhung der Leiterzahlen bei der Anwendung gesehnter Wickelschritte .....	349
Umrechnung der Drahtstärken bei Verwendung von mehreren par- allelen Leitern bei Anker- und Magnetwicklungen .....	426
Durchmesser, Querschnitt blanker Kupfer-Runddrähte .....	427

Stromverbrauch der Gleich- und Drehstrommotoren 0,19 bis 130 kW, 110—500 Volt .....	428	Fabrikat Mauz & Pfeiffer-Stuttgart .....	551
Nutzahlen bei Drehstrommotoren .....	433	Fabrikat Miele & Co.-Bielefeld ..	551
Nutzahlen für Dreiphasen-Käfigläufermotoren nach Prof. Richter .....	437	Staubsauger-Ursprungswickeldaten .....	563—568
Die Größe der Anlaufkondensatoren für Einphasen-Wechselstrom-Asynchronmotoren .....	544	<b>Wickeldaten für Kleinmotoren..</b>	<b>553</b>
Unterdrucke bei Staubsauger (Ursprungswerte) .....	551	<b>Schrifttumshinweise</b>	
		Schrifttumshinweise über die Instandsetzung von Kleinmotoren .....	570

## Verzeichnis der Wicklungs-Schaltbilder

I. 2polige Ein- und Zweischichten-Dreiphasenwicklungen (Gegenüberstellung verschiedener Wicklungsarten) . . . . .	21—24
II. Ausgleichverbindungen bei Gleichstrom-Ankerwicklungen . . . . .	186
III. Parallelschalten 4poliger Nebenschlußwicklungen bei Gleichstrommaschinen . . . . .	195
IV. Dreiphasen-Einschicht-Bruchlochwicklungen	
<b>4polig</b> 18 Nuten, Abb. Nr. 159. . . . .	202
30 Nuten, Abb. Nr. 161. . . . .	203
27 Nuten, Abb. Nr. 162. . . . .	204
42 Nuten, Abb. Nr. 169. . . . .	207
54 Nuten, Abb. Nr. 175. . . . .	210
<b>6polig</b> 24 Nuten, Abb. Nr. 244 u. 245. . . . .	284
30 Nuten, Abb. Nr. 163. . . . .	205
39 Nuten, Abb. Nr. 167. . . . .	206
45 Nuten, Abb. Nr. 170. . . . .	208
48 Nuten, Abb. Nr. 173. . . . .	209
<b>8polig</b> 30 Nuten, Abb. Nr. 164. . . . .	205
36 Nuten, Abb. Nr. 165. . . . .	205
36 Nuten, Abb. Nr. 252. . . . .	297
42 Nuten, Abb. Nr. 168. . . . .	206
54 Nuten, Abb. Nr. 176. . . . .	210
54 Nuten, Abb. Nr. 210. . . . .	261
60 Nuten, Abb. Nr. 180. . . . .	212
66 Nuten, Abb. Nr. 196. . . . .	229
84 Nuten, Abb. Nr. 181 u. 185. . . . .	213 u. 215
90 Nuten, Abb. Nr. 197 u. 200. . . . .	230 u. 233
96 Nuten, Abb. Nr. 199. . . . .	232
<b>10polig</b> 18 Nuten, Abb. Nr. 160. . . . .	203
24 Nuten, Abb. Nr. 158. . . . .	200
36 Nuten, Abb. Nr. 166. . . . .	206
45 Nuten, Abb. Nr. 171 u. 172. . . . .	208—209
48 Nuten, Abb. Nr. 174. . . . .	209
54 Nuten, Abb. Nr. 177. . . . .	211
72 Nuten, Abb. Nr. 182 u. 198. . . . .	214 u. 231
96 Nuten, Abb. Nr. 199. . . . .	232
<b>12polig</b> 18 Nuten, Abb. Nr. 178. . . . .	211
54 Nuten, Abb. Nr. 179. . . . .	211
60 Nuten, Abb. Nr. 183, 194, 195. . . . .	215, 227, 228
V. Dreiphasen-Zweischichten-Bruchlochwicklungen	
<b>4polig</b> 18 Nuten, Abb. Nr. 277. . . . .	322
27 Nuten, Abb. Nr. 280. . . . .	324

	30 Nuten, Abb. Nr. 281 . . . . .	325
	42 Nuten, Abb. Nr. 284 . . . . .	328
<b>6 polig</b>	24 Nuten, Abb. Nr. 287 . . . . .	330
	27 Nuten, Abb. Nr. 190 . . . . .	225
	48 Nuten, Abb. Nr. 173 . . . . .	209
<b>8 polig</b>	30 Nuten, Abb. Nr. 291 . . . . .	332
	36 Nuten, Abb. Nr. 292 . . . . .	332
	42 Nuten, Abb. Nr. 293 . . . . .	333
	54 Nuten, Abb. Nr. 295 . . . . .	334
	60 Nuten, Abb. Nr. 296 . . . . .	335
	60 Nuten, Abb. Nr. 297 . . . . .	336
	66 Nuten, Abb. Nr. 298 . . . . .	337
	78 Nuten, Abb. Nr. 299 . . . . .	338
<b>10 polig</b>	48 Nuten, Abb. Nr. 303 . . . . .	342
	72 Nuten, Abb. Nr. 300 bis 302 . . . . .	340 bis 341

VI. Dreiphasen-Einschicht-Ganzlochwicklungen

<b>2 polig</b>	12 Nuten, Abb. Nr. 239 . . . . .	291
	18 Nuten, Abb. Nr. 241 . . . . .	292
	24 Nuten, Abb. Nr. 242 . . . . .	293
	36 Nuten, Abb. Nr. 246 . . . . .	295
	36 Nuten, Abb. Nr. 247 . . . . .	295
<b>4 polig</b>	12 Nuten, Abb. Nr. 240 . . . . .	292
	24 Nuten, Abb. Nr. 243 . . . . .	293
	36 Nuten, Abb. Nr. 249 . . . . .	296
	48 Nuten, Abb. Nr. 257 . . . . .	301
<b>6 polig</b>	36 Nuten, Abb. Nr. 250 . . . . .	297
<b>8 polig</b>	48 Nuten, Abb. Nr. 253 . . . . .	299
	72 Nuten, Abb. Nr. 254 . . . . .	299
	72 Nuten, Abb. Nr. 255 . . . . .	230
<b>10 polig</b>	60 Nuten, Abb. Nr. 248 . . . . .	296

VII. Dreiphasen-Zweischichten-Ganzlochwicklungen

<b>2 polig</b>	12 Nuten, Abb. Nr. 272 . . . . .	321
	18 Nuten, Abb. Nr. 273 . . . . .	321
	24 Nuten, Abb. Nr. 274 . . . . .	321
	36 Nuten, Abb. Nr. 276 . . . . .	322
<b>4 polig</b>	24 Nuten, Abb. Nr. 275 . . . . .	321
	36 Nuten, Abb. Nr. 268 (Schaltplan) . . . . .	313
	36 Nuten, Abb. Nr. 285 . . . . .	329
	36 Nuten, Abb. Nr. 282 . . . . .	326
	36 Nuten, Abb. Nr. 283 (2 Stränge parallel) . . . . .	327
	48 Nuten, Abb. Nr. 286 . . . . .	329
<b>6 polig</b>	36 Nuten, Abb. Nr. 288 . . . . .	330
	54 Nuten, Abb. Nr. 289 . . . . .	331
	72 Nuten, Abb. Nr. 290 . . . . .	331
<b>8 polig</b>	48 Nuten, Abb. Nr. 293 . . . . .	333
	72 Nuten, Abb. Nr. 305 . . . . .	343
<b>12 polig</b>	36 Nuten, Abb. Nr. 256 . . . . .	300
<b>18 polig</b>	108 Nuten, Abb. Nr. 306 . . . . .	344

VIII. Dreiphasen-Zweischichten-Ganzlochwicklungen  
mit Spulen gleicher oder ungl. Weite, für alle Nutenzahlen und

Wickelschritte. Vereinfachte Darstellung in 3 Wicklungssträngen  
getrennt, für Serien- und Parallelschaltung je Strang.

<b>2 polig</b>	je Phase 2 Spulen in Serie, Abb. Nr. 313 . . . . .	356
	je Phase 2 Spulen parallel, Abb. Nr. 314 . . . . .	357
<b>4 polig</b>	je Phase 4 Spulen in Serie, Abb. Nr. 315 . . . . .	358
	je Phase 2 Spulen parallel, Abb. Nr. 316 . . . . .	359
	je Phase 4 Spulen parallel, Abb. Nr. 317 . . . . .	360
<b>6 polig</b>	je Phase 6 Spulen in Serie, Abb. Nr. 318 . . . . .	361
	je Phase 2 Spulen parallel, Abb. Nr. 319 . . . . .	362
	je Phase 3 Spulen parallel, Abb. Nr. 320 . . . . .	363
	je Phase 6 Spulen parallel, Abb. Nr. 321 . . . . .	364
<b>8 polig</b>	je Phase 8 Spulen in Serie, Abb. Nr. 269 . . . . .	317
	je Phase 2 Spulen parallel, Abb. Nr. 322 . . . . .	365
	je Phase 4 Spulen parallel, Abb. Nr. 323 . . . . .	366
	je Phase 8 Spulen parallel, Abb. Nr. 324 . . . . .	367

IX. Polumschaltbare Dreiphasenwicklungen

4/2 polig,	24 Nuten, Einsch. Abb. Nr. 333 . . . . .	381
4/2 polig,	24 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 340 . . . . .	388
4/2 polig,	24 Nuten, Sp. Gl. W. Abb. Nr. 341 . . . . .	388
4/2 polig,	36 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 342 (Dahlander)	389
4/2 polig,	48 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 348 (Dahlander)	394
6/4 polig,	36 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 352 . . . . .	398
6/4/2 polig,	36 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 362 . . . . .	410
6/4/2 polig,	54 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 332 . . . . .	380
8/4 polig,	24 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 344 . . . . .	391
8/4 polig,	36 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 345 . . . . .	392
8/4 polig,	48 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 346 . . . . .	392
8/4 polig,	36 Nuten, Zweisch. St. Dreieck Abb. Nr. 347 .	393
8/4 polig,	48 Nuten, Einsch. Abb. Nr. 334 (Dahlander)	382
8/6 polig,	36 Nuten, Einsch. Abb. Nr. 353 . . . . .	399
8/4/2 polig,	48 Nuten, Einsch. Abb. Nr. 356 . . . . .	402
8/6/4 polig,	36 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 361 . . . . .	409
8/6/4 polig,	48 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 364 . . . . .	412
8/6/4/2 polig,	36 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 350 . . . . .	396
12/6 polig,	60 Nuten, Einsch. Abb. Nr. 335 . . . . .	383
12/6 polig,	36 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 349 . . . . .	395
12/6 polig,	72 Nuten, Einsch. Abb. Nr. 336 . . . . .	384
12/6 polig,	72 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 351 . . . . .	397
12/8/6/4 polig,	72 Nuten, Zweisch. Abb. Nr. 339 . . . . .	387

IX. a) Polumschaltbare Dahlander-Wicklungen in vereinfachter Darstellung, Zweischichtenwicklungen.

4/2 polig für alle Nutenzahlen u. Wickelschritte,	Abb. Nr. 325	368
8/4 polig für alle Nutenzahlen u. Wickelschritte,	Abb. Nr. 326	369
12/6 polig für alle Nutenzahlen u. Wickelschritte,	Abb. Nr. 327	370
16/8 polig für alle Wickelschritte u. Nutenzahlen,	Abb. Nr. 328	371

IX. b) Polumschalter 8/6/4 Pole SSW Weinert, Abb. Nr. 364 . . 412

Dreieck/Dreieck-Schaltung, 12 Klemmen,	Abb. Nr. 363 . .	411
Prinzipschaltungen für 2 u. 4 Drehzahlen,	Abb. Nr. 337 . .	385
Dahlander-Wicklung mit Polumschalter,	Abb. Nr. 368 . .	417
Dahlander-Wicklung mit 3 Drehzahlen,	Abb. Nr. 370 . .	418
Dahlander-Wicklung mit 4 Drehzahlen,	Abb. Nr. 338 . .	386

X. Zweiphasen-Bruchlochwicklung.	
4polig, 16 Nuten, Abb. Nr. 208 (Zweiphasen-Läuferwicklung)	248
4polig, 36 Nuten, Abb. Nr. 201	234
4polig, 16 Nuten, Abb. Nr. 209 (Zweiphasen-Formspulenwicklung)	251
XI. Einphasen-Wechselstrom-Wicklungen.	
Abb. Nr. 390 bis Nr. 394	454—460
Abb. Nr. 464 bis Nr. 485	534—542
XII. Sonderausführungen.	
1. 4polige Reihenwicklung mit „blinder“ Spule, 22 Nuten, Abb. Nr. 137	176
2. 4polige „künstlich“ geschlossene Reihenwicklung, 24 Nuten, Abb. Nr. 138	176
3. 4polige Schleifenwicklung 27 Nuten, Abb. Nr. 139 u. 140.	177
4. Ausgleichsystem für eine 4polige zweifach geschlossene, zweigängige Gleichstromanker-Schleifenwicklung, Abb. Nr. 144	186
5. Prinzipdarstellung einer 4 poligen Gleichstromanker-Schleifenwicklung, Abb. Nr. 145	187
6. Zweifach geschlossene 4polige Gleichstromanker-Schleifenwicklung 20 Nuten Abb. Nr. 149	190
7. 4polige, zweigängige, zweifach geschlossene Schleifen-(Parallel-)Wicklung, Abb. Nr. 150	192
8. 6polige Dreiphasen-Zweischichtenwicklung, umschaltbar für die Netzspannungen 110, 125, 190, 220, 330 und 380 Volt, Abb. Nr. 203	242
9. Umschaltbare Dreiphasenwicklung für das Spannungsverhältnis 2:1 (z. B. 440/220, 220/110 Volt), 4polige Zweischichtenwicklung, Abb. Nr. 204	243
10. 2—3- und 4-Lochspulen ungl. Weite, Abb. Nr. 205	244
11. Undurchführbare Parallelschaltung von Mehrfachspulen Abb. Nr. 206	243
12. 4polige Dreiphasenwicklung, Abb. Nr. 207	246
13. Dreiphasen-Dreiebenen-Ganzlochwicklung, 48 Nuten, Abb. Nr. 259	303
14. Dreiphasen-Dreiebenen-Ganzlochwicklung für geteilte Ständer, 4polig, 24 Nuten, Abb. Nr. 260	304
15. Universal-Schaltbild für 2/4/6- und 8polige Dreiphasen-Zweischichtenwicklungen Abb. Nr. 304.	343
16. Dreiphasen-Zweischichten-Wicklung für Stern/Dreieck-Anlaßschaltung, Abb. Nr. 358	405
17. Prinzip-Schaltbild einer 3stufigen Anlaßschaltung für Dreiphasen-Zweischichten-Wicklungen, Abb. Nr. 359	406
18. 4polige Dreiphasen-Zweischichten-Formspulen. Träufelwicklung, 36 Nuten, Abb. Nr. 360	407
19. Polumschaltbare Dreiphasen-Zweischichtenwicklung für 3 Drehzahlstufen: 450/680/900 U/min. Abb. Nr. 365	413
20. 8polige Gleichstrom-Reihenparallelwicklung, 270 Nuten mit Ausgleichverbindungen Abb. 375	424



## Einleitung

Der Beruf des Elektromaschinenbauers hat infolge des gewaltigen Aufschwunges, den die Elektromaschinenindustrie in den letzten Jahrzehnten zu verzeichnen hat, an Bedeutung zugenommen.

Die Zukunft unseres wirtschaftlichen Lebens wird bei der fast unbegrenzten Verwendungsmöglichkeit der elektrischen Maschinen in Industrie, Verkehrs- und Landwirtschaft dem Elektromaschinenbauer ein Betätigungsfeld bieten, welches zu den besten Aussichten berechtigt.

Die Eigenart des Elektromaschinenbauerberufes bringt es mit sich, daß neben den praktischen Kenntnissen eine nicht unbedeutende theoretische Schulung erforderlich ist, um eine wirklich ersprießliche Tätigkeit auf diesem Gebiete entfalten zu können.

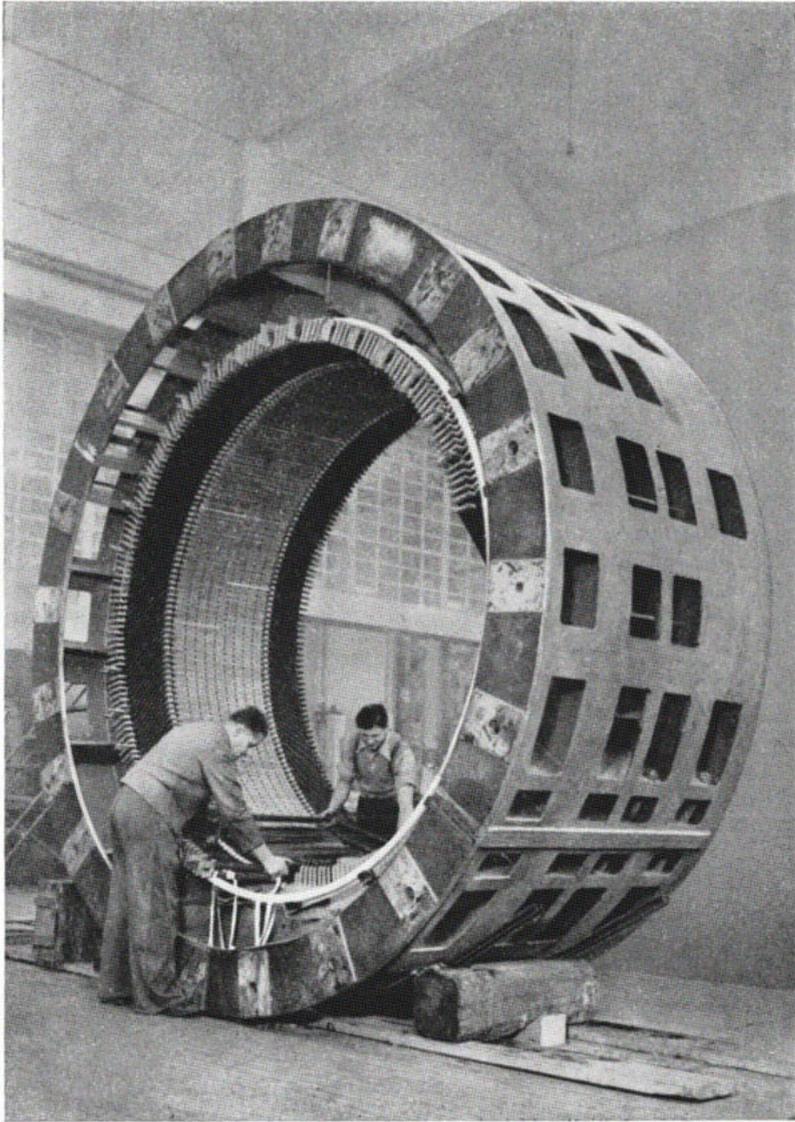
Bei der Bedeutung, die der theoretischen Ausbildung beizumessen ist, bleiben jedoch die praktischen Kenntnisse in dem Ausbildungsgrundsatz als wichtigster Punkt bestehen, und demgemäß erheischt die Wiedergabe der praktischen Erfahrungen in der dem Elektromaschinenbauer zweckdienlichen Literatur den größten Raum. Die Behandlung theoretischer Einzelheiten ist nur dann als geeignet zu betrachten, wenn dieselben unmittelbar mit dem praktischen Arbeitsvorgang zusammenhängen.

Allerdings findet man nur wenige Berufe, wo die Voraussetzungen für die praktischen und theoretischen Kenntnisse so in die Erscheinung treten, wie gerade bei dem Elektromaschinenbauerberuf. Diese Tatsache gibt daher besondere Veranlassung, den Erfordernissen bei der Bearbeitung des Lehrstoffes nach bester Möglichkeit Rechnung zu tragen.

Nicht allein die Wiedergabe der praktischen Arbeitsvorgänge, sondern auch die Arbeitsmethoden, die gebräuchlichen Maschinen, Hilfsmittel und Werkzeuge sowie die wirtschaftliche Verarbeitung der Werkstoffe sollen in dem vorliegenden Werk gewürdigt werden.

Die mit dem Beruf zusammenhängenden maschinentechnischen Kenntnisse lassen eine Besprechung verschiedener Motoren deutscher Hersteller als zweckmäßig erscheinen, um hierbei gleichzeitig auf einige theoretische Einzelheiten, die für den Praktiker von Bedeutung sind, im bedingten Maße eingehen zu können.

Auch der Elektromaschinenbauer, insbesondere wenn sich seine Tätigkeit in einem Instandsetzungswerk vollzieht, wird häufig vor Aufgaben gestellt, deren Lösung die Kenntnis bestimmter Konstruktionsbedingungen voraussetzt.



**Abb. 1.** Das Einlegen der Formspulen in den Ständer eines Großgenerators  
(Werkbild: Elin, Weiz)

Manche Störung, die nach vollzogener Instandsetzung in Erscheinung tritt, hat als Ursache einen kaum sichtbaren Fehler, der auf die Unkenntnis gewisser Voraussetzungen mechanischer oder elektrischer Art zurückzuführen ist und dessen Beseitigung demzufolge Schwierigkeiten in den Weg treten.

In dem vorliegenden Werk wird daher in einem besonderen Abschnitt auf diejenigen Bedingungen elektrischer und mechanischer Art aufmerksam gemacht, die bei einer Instandsetzung der Maschine durch unsachgemäße Arbeit aufgehoben oder vernichtet werden können und somit später zu Störungen kleineren oder größeren Umfanges Anlaß geben.

Diese auch in dem Grundtext eingeschlossenen Abhandlungen haben daher vornehmlich den Zweck, die sachliche Urteilskraft des Praktikers zu stärken und das Verständnis für exakte saubere Arbeit zu fördern.

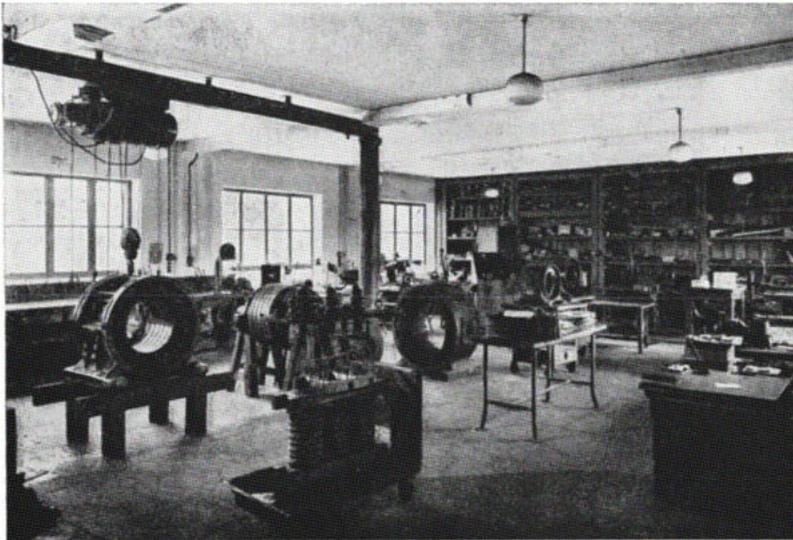


Abb. 2. Blick in die Wickelei eines neuzeitlichen Instandsetzungswerkes für elektrische Maschinen (Werkbild: A. Profitlich, Siegburg)

## I. Teil

### Die Ausnutzung des Wickelraumes bei Gleichstromanker und Drehstromständer

Die Konstruktion und Ausführung der elektrischen Maschinen kann nach dem heutigen Stand als vollendet bezeichnet werden. Mit dieser Tatsache darf sich der Handwerker abfinden und sein Interesse vornehmlich dem praktischen Arbeitsvorgang bei der Herstellung der Maschine zuwenden, wo Verbesserungen in der heutigen Zeit nicht nur möglich, sondern auch sehr erwünscht sind.

Um jedoch für die verschiedenen Ausführungsarten bei dem Handwerker Verständnis zu finden, ist es erforderlich, mit einigen Worten die Gesichtspunkte, nach welchen der Erbauer die Entwürfe, Berechnungen und Konstruktionen der Maschinen durchzuführen hat, zu beleuchten.

Bei einer elektrischen Maschine unterscheidet man das aktive und das passive Material. Das aktive Material finden wir bei der Gleichstrommaschine in dem Ankerkörper, den Polkernen, Magnetgestell und Wicklungen usw., während bei Drehstrommaschinen nur das Blechpaket des Läufers und des Ständers neben den Wicklungen usw. als solches bezeichnet werden kann.

Das aktive Material ist dasjenige, welches elektrisch oder magnetisch beansprucht wird, wo hingegen das passive Material aus den nur mechanisch beanspruchten Konstruktionsteilen gebildet wird. Das magnetisch beanspruchte aktive Material besteht aus hochwertigem Eisenblech von ca. 0,5 mm Stärke, einseitig mit Papier beklebt oder mit Isolierlack lackiert. Das passive Material besteht, soweit Gehäuseteile in Frage kommen, fast ausschließlich aus Gußeisen, Stahlguß oder Leichtmetall.

#### Der Raum zur Aufnahme der Wicklung

Der Erbauer hat nun die Aufgabe, das passive Material, welches zum Aufbau der Maschine erforderlich ist, auf das geringste Maß zu beschränken, damit die Ausführung klein und das Gewicht gering ausfällt.

Indem er dieser Anforderung entspricht, ist er vielfach gezwungen, die Wicklung in einem **engen Raum** unterzubringen. Bei der Herstellung solcher Wicklungen ist besondere Sorgfalt am Platze, um zu verhüten, daß Berührungen zwischen dem Eisenkörper und der Wicklung sowie zwischen den einzelnen Wicklungselementen vorkommen.

Während die Wickler in den Großbetrieben der Hersteller durch Serienherstellung bestimmter Wicklungsarten mit den Raumverhältnissen in solchen Fällen schnell vertraut werden, bedarf es bei einer Neuwicklung in einem Instandsetzungswerk besonderer Aufmerksamkeit und sorgfältigster Arbeit. Vor allen Dingen ist Wert darauf zu legen, daß die Abmessungen des Wickeldrahtes **im blanken und isolierten Zustand** genauso gewählt werden, wie bei der Ursprungswicklung und daß die Gesamtform einer Spule bzw. der ganzen Wicklungen der erprobten Ursprungsform ähnlich wird.

Eine Änderung in den vorliegenden Abmessungen an dem aktiven Material durch Vergrößerung der Nuten und Nutenschlitze oder Verringerung

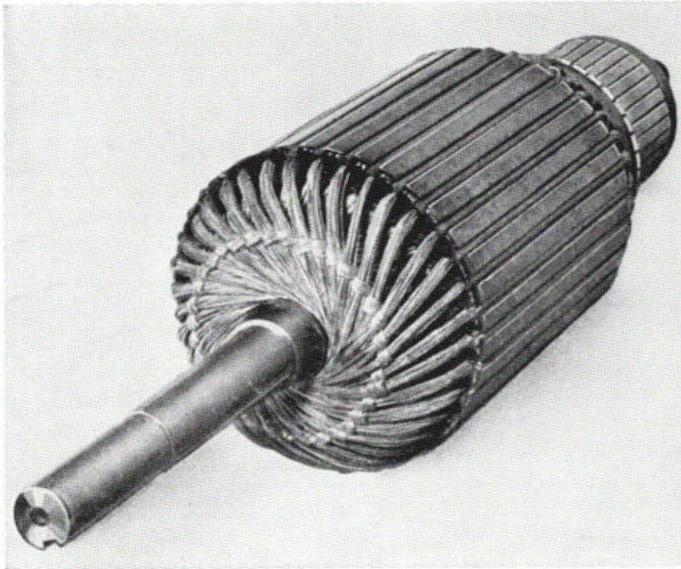


Abb. 3. Vorbildliche Raumaussnutzung bei der Gestaltung der Wickelköpfe an einem Gleichstromanker (Werkbild: H. Schumann, Lübeck)

des Drahtquerschnittes usw. hat einen nachteiligen Einfluß auf die Leistung und den Wirkungsgrad der Maschine.

Solche Versuche sind jedenfalls gewagt und müssen möglichst vermieden werden, da dieselben unliebsame Störungen zur Folge haben.

Sind die Raumverhältnisse in den Nuten als beengt erkannt, welches bei dem Abbau der beschädigten Wicklung leicht festgestellt werden kann, so ist besonderer Wert auf **die Stärke der Nutenisolation** und Umspinnung **des Wickeldrahtes** zu legen. Die einzelnen Drähte müssen sauber gerichtet neben- und übereinander in die Nuten eingelegt und mit geeigneten Holz-

stäbchen oder Stemmern zusammengedrückt werden. Außerhalb der Nuten sind die Drahtbündel der einzelnen Wicklungselemente unter bestmöglicher Ausnutzung des vorhandenen Wickelraumes anzuordnen. Es kommt hierbei vielfach auf bestimmte Knicke und Biegungen an, um die gesamte Form der Wicklung den Raumverhältnissen entsprechend fertigstellen zu können.

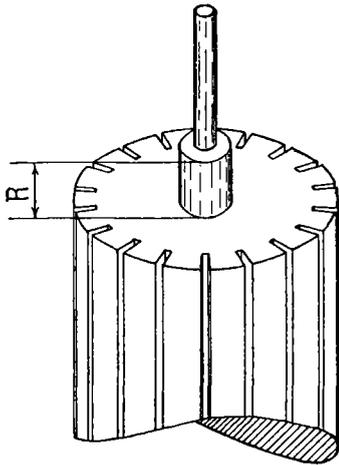


Abb. 4. Gleichstromanker für Handwicklung

Während man die Raumverhältnisse der Nuten durch Einpassen der erforderlichen Drahtzahl (Spulen) leicht untersuchen kann, treten die entsprechenden Verhältnisse des Wickelraumes außerhalb der Nuten gewöhnlich erst nach Herstellung eines Teiles der Wicklung in Erscheinung.

So kommt es z. B. beim **Gleichstromanker mit Handwicklung** vor, daß der Raum **R** in Abb. 4 nicht ausreicht, um die Wicklung sachgemäß anzuordnen, während bei der Ursprungwicklung diese Erscheinung nicht zu bemerken war.

Der Wickler kommt in solchen Fällen mit dem vorhandenen Platz für die Wicklung nicht aus und würde bei Fertigstellung mit dem Wickelkopf bis auf die Lagerstelle geraten. Auch kann der Fall eintreten, daß infolge unsachgemäßer An-

ordnung der einzelnen Wicklungselemente auf der Stirnfläche des Ankers eine Wulst entsteht, die sich etwa über die Hälfte einer Stirnfläche erhebt, während die andere Hälfte merklich hiergegen abfällt. Der Wickelkopf erhält hierdurch einen Schwerpunkt, der durch **Auswuchten** des Ankers (Ausbalanzieren) wieder ausgeglichen werden muß. In den meisten Fällen wird ein Auswuchten aber gar nicht möglich sein, weil die Befestigung eines ausgleichenden Gegengewichtes bei dieser Ausführung ausgeschlossen ist.

Nimmt man nun den Anker mit der nicht ausgewuchteten Wicklung in Betrieb, so können **Störungen** eintreten, die sich **durch Vibration der ganzen Maschine und Feuern der Bürsten** bemerkbar machen.

Da in Instandsetzungswerken auch vielfach schon von anderer Hand ausgebesserte oder neugewickelte Anker bearbeitet werden müssen, so ist dem Handwerker in solchen Fällen nicht die Möglichkeit gegeben, die Ursprungwicklung in ihren Einzelheiten als Muster zu verwenden. Es ist daher zweckmäßig, einige Gesichtspunkte, deren Beachtung für die sachgemäße Herstellung solcher Wicklungen von ausschlaggebender Bedeutung ist, näher zu erörtern.

Im allgemeinen kann man zunächst sagen, daß die Stärke der Drahtumspinnung und die Isolation zwischen jeder Spule auf der Stirnfläche des Ankers nicht zu stark sein darf. Die Windungen einer Spule müssen bei **Vermeidung von Überkreuzungen möglichst nebeneinander** auf den Stirnflächen angeordnet und so fest als zugänglich, evtl. durch sorgfältiges Klopfen mit geeigneten Holz- oder Preßstoffkeilen aufeinandergelegt werden. Hierbei ist zu beachten, daß bei Halbmesser- und Sehnenwicklungen mit fortlaufend eingewickelten Spulen der Teil **H** der Spule (Abb. 5) fest auf

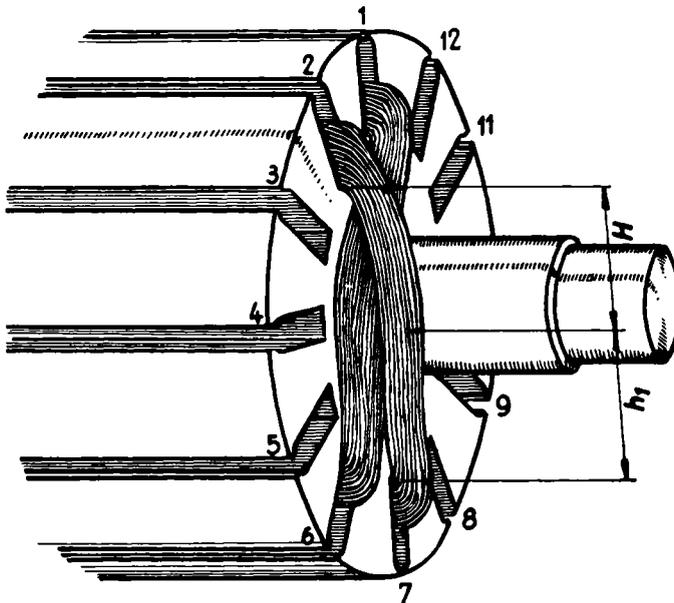


Abb. 5. Gleichstromanker für Handwicklung, mit 2 eingewickelten Spulen

die bereits eingewickelte Spule angedrückt werden muß, während der Teil **E** lockerer liegen bleibt.

Die Wickelarbeit schreitet entgegen des Uhrzeigers Nute 1, 2, 3 usw. vorwärts, bis in Nute 12 die erste Nute vollgewickelt ist. Während das in Abb. 4 angedeutete Maß **R** mit dem Einwickeln jeder Spule zunimmt, darf das bei Nute 12 erreichte Höchstmaß im weiteren Verlauf der Wickelarbeit nicht mehr überschritten, sondern dieses Maß muß bis zur Vollendung der Wicklung beibehalten werden. Um die obere von der unteren Spulenlage in geeigneter Weise voneinander zu isolieren, legt man nach Einwickeln der halben Spulenzahl eine kreisrunde Scheibe aus starkem Leinen, die eine dem Durchmesser des isolierten Wellenansatzes entsprechende Lochung

erhält, über den Wickelkopf. Der äußere Durchmesser dieser Scheibe muß so groß sein, daß dieser bis vor die Ankernuten reicht. Die aus den Ankernuten hervorgehende Streifenisolation zwischen der oberen und unteren

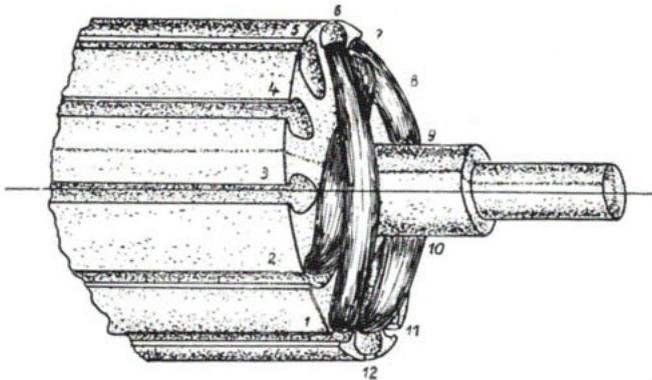


Abb. 6. Anker mit halbgeschlossenen Nuten

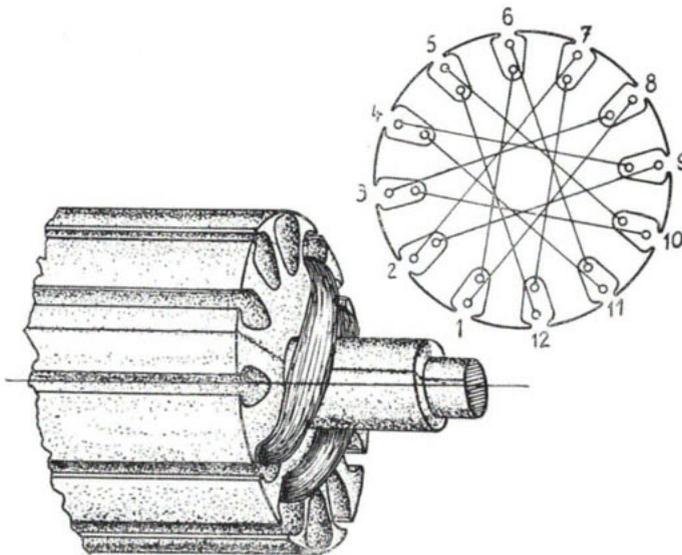


Abb. 7. Anker mit halbgeschlossenen Nuten und einer eingewickelten Spule

Spulenanlage muß von dieser überdeckt werden. Die eben genannte Isolations-scheibe wird, da sie als eine ebene Fläche angesehen werden muß, sich nicht

ohne Falten an die Wölbung der Wicklung anlegen. Man zieht daher nach dem Einwickeln einer oberen Spule das Leinen glatt, schneidet die zum Schluß entstehende Falte etwa bei der vorletzten Spule auf und wickelt die zurückbleibenden Lappen unter der letzten Spule fest.

Bei Gleichstromankern, die ausschließlich für diese Wicklungsart ausgelegt sind (z. B. Fabrikate der Bergmann-Elektr.-Werke) hat der Erbauer den Raum  $R$  und die Stirnfläche des Ankers so bemessen, daß bei einiger Übung die Wicklung verhältnismäßig leicht fertiggestellt werden kann. Der Ankerdurchmesser ist entsprechend, die Nuten sind schmaler als die Zähne. Man kann also, wenn diese Anzeichen vorhanden sind, einen Schluß ziehen, ob diese Wicklungsart ohne Bedenken hergestellt werden kann.

Gleichstromanker in der Ausführung Abb. 5 sind demnach geeignet, hingegen dürfte bei Ausführung nach Abb. 6 die Wicklungsart Abb. 6 oder 7 vorteilhaft sein.

In Abb. 6 ist also die Hälfte einer Spule nach vorwärts, die eine Hälfte nach rückwärts eingewickelt, die Wicklung wird aber auch, wie in Abb. 5, fortlaufend hergestellt. Es liegt lediglich an der Ansicht des Erbauers, ob er um den erforderlichen Eisenquerschnitt zu erhalten, den Ankerdurchmesser im Verhältnis zu seiner Länge größer (Abb. 5) oder (bei Abb. 7) einen geringeren Durchmesser und größere Länge für einen bestimmten Motor wählt. Ganz abgesehen davon, daß bei gegebener Umlaufzahl der größtmögliche Ankerdurchmesser durch die Grenze der zulässigen Umfangsgeschwindigkeit gegeben ist, hängt die Ausführungsart auch vielfach mit vereinfachten Herstellungsmethoden zusammen. Man wählt z. B., um die Kosten für Modelle, für Schnitte zum Stanzen der Bleche usw. auf ein Mindestmaß zu beschränken, für 2- und 3-PS-Motoren dasselbe Gehäuse.

Desgleichen erhalten beide Anker denselben Durchmesser, Nutenzahl und Nutenform, nur die Breite des aktiven Eisenkörpers und die Wicklungen ändern sich entsprechend.

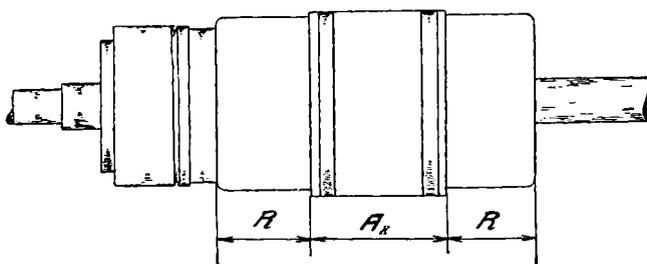


Abb. 8. Gleichstromanker

Bei Anker mit Formspulwicklung findet man beengte Raumverhältnisse außerhalb der Nuten verhältnismäßig selten. Im allgemeinen kann auch hier wieder gelten, daß bei kleinem Ankerdurchmesser, breiten Nuten

und schmalen Zähnen sorgfältige Ausnutzung des Wickelraumes erforderlich ist. Ganz besonders gilt dieses bei größeren zweipoligen Maschinen älterer Bauart mit dieser Wicklung. Neuzeitliche Maschinen werden von etwa 5 PS ab fast ausnahmslos vierpolig gebaut. Der Ankerdurchmesser ist im Verhältnis zu seiner Länge, auf Grund bewährter Rechnungsformeln, fast immer größer. Durch das geringere Maß der Polteilung gegenüber einer zweipoligen Maschine wird der Wickelschnitt kürzer und das Maß **R** in Abb. 8 geringer.

Bei gleicher Spulengröße, aber verschiedener Spulenform, kann dieses Maß zum Nachteil geändert werden.

Nimmt man z. B. zwei Spulen, die auf derselben Schablone hergestellt sind, formt diese aber so, daß das Maß **B** in Abb. 9 verschieden ausfällt, so

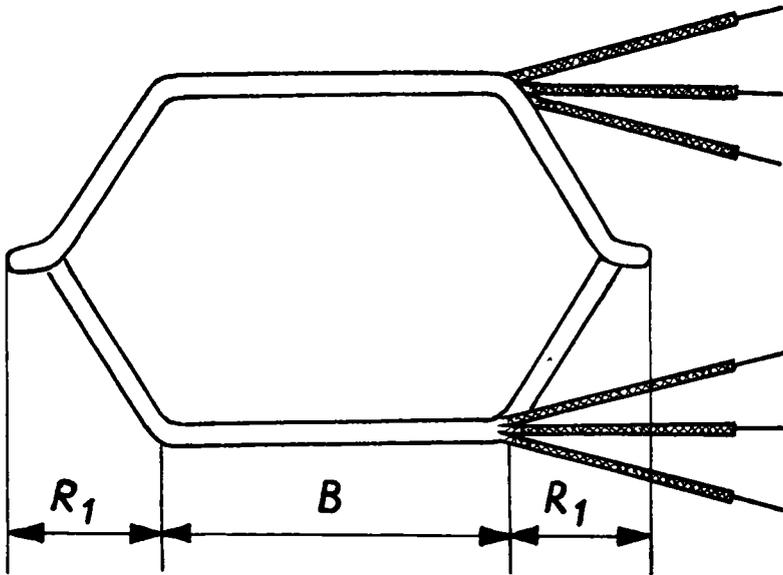


Abb. 9. Spule aus einem Gleichstromanker mit Schablonenwicklung

werden folgerichtig auch die Maße **R** geändert. Die Wickelköpfe werden entweder zu lang und streifen bei geringer Ausbuchtung der Lagerschilde an das Gehäuseeisen, oder bei zu groß gewähltem Maß **B** wird das Maß **R** von der 4. bis 6. Spule an immer kleiner, so daß eine Fertigstellung der Wicklung überhaupt ausgeschlossen ist.

Wie groß nun das Maß **B** gewählt werden darf, um den störungslosen Verlauf der Wickelarbeit zu gewährleisten, hängt im allgemeinen mit dem zur Verfügung stehenden Raum **R** zusammen.

Bei den meisten mehrpoligen Maschinen kann dieses Maß, falls erforderlich, ohne Bedenken einige Millimeter größer oder kleiner gewählt werden als bei der Ursprungswicklung. Es ist aber ratsam, sich stets an das Ursprungsmaß zu halten.

Ist der Raum **R** schon durch den Erbauer auf ein Mindestmaß festgelegt, so muß wieder auf richtigen Wickelschritt, Drahtstärke, Umspinnung und Bandumwicklung geachtet werden. Die Drahtwindungen müssen **auch außerhalb der Nuten** bei jeder Spule sauber über- und nebeneinander angeordnet sein, und das Maß **B** in Abb. 9 darf nicht größer als das Ursprungsmaß werden.

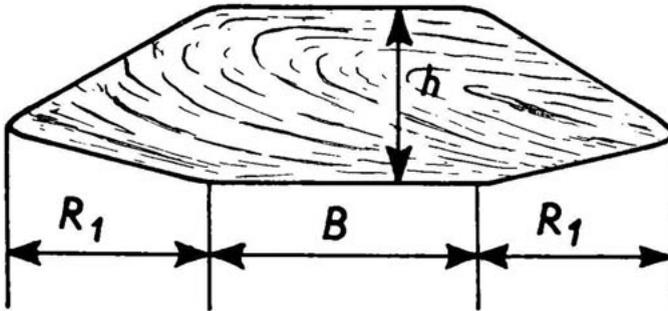


Abb. 10. Zwischenlage aus einer Spulenform

Es bedarf natürlich keiner Frage, daß die richtigen Grundabmessungen der Formspulenzwischenlage (Abb. 10) für die sachgemäße Herstellung der Wicklung von ausschlaggebender Bedeutung sind. Wie schon erwähnt, kann bei normalen mehrpoligen Maschinen durch die Größe des Raumes **R** der ordnungsmäßige Verlauf der Wickelarbeit für die allgemeinen Fälle angenommen werden.

Schwieriger liegen die Verhältnisse bei Sondermotoren, wo Ausführung und Berechnung dem Verwendungszweck entsprechend eine gedrängte Gesamtform erheischen.

Bei Grubenbahnankern z. B. ist der Raum **R** gewöhnlich knapp bemessen.

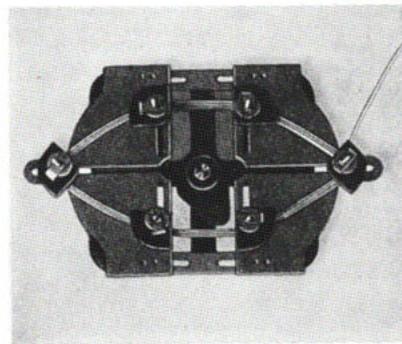


Abb. 11.  
Verstellbares Spulen-Wickelgerät „Rekord“, nach Ideen des Verfassers. (1926)

Die Fertigstellung der Wicklung erfordert, vorzugsweise wenn der Motor für 500 Volt Betriebsspannung ausgeführt ist, eine recht sorgfältige Anfertigung der Spulen und zweckentsprechende Raumausnutzung.

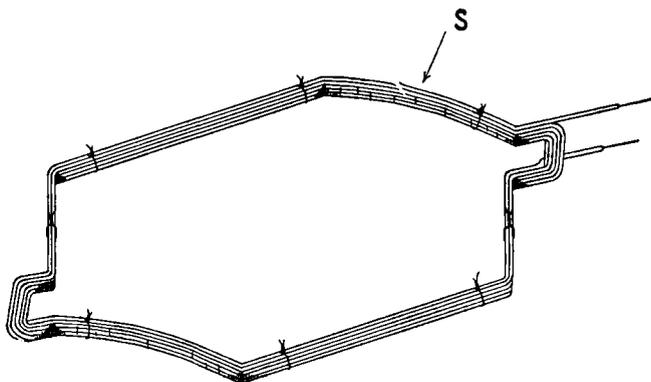


Abb. 12. Formspule

Es ist in solchen Fällen ratsam, die Spulen auf einer Metallschablone herzustellen, die vermöge ihrer sinnreichen Ausführung ohne weitere Behandlung ein gebrauchsfertiges Formen jeder Spule ermöglicht, so daß

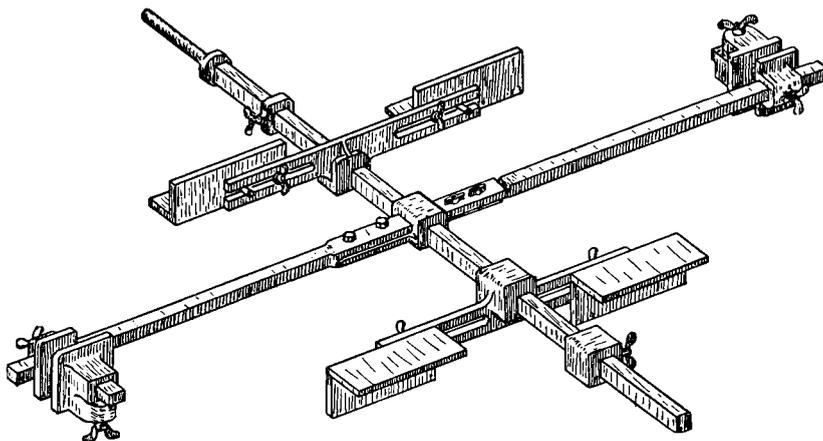


Abb. 13. Spulenform mit verstellbarer Anordnung der Formteile

sämtliche Wicklungselemente die gleichen Abmessungen erhalten. Die Spulen haben also bei Entnahme aus der Schablone schon die Form in Abb. 12.

Besonderer Wert ist auch auf die Wölbung der Spulenschenkel zu legen, die dem Durchmesser des Spulenträgers entsprechend sein muß.

Bei kurzem Wickelschritt — großem Ankerdurchmesser und dünnen Drähten — läßt sich diese Wölbung allerdings auch beim Einlegen der Spulen, während der Wickelarbeit, in zweckentsprechender Weise nachholen.

Die Metallspulenformen für den obenerwähnten Zweck lassen sich für gewölbte Spulenschenkel gewöhnlich nur für eine bestimmte Größe anfertigen.

Diese Tatsache setzt voraus, daß die Anschaffungskosten durch laufende Aufträge wettgemacht werden. Eine für mehrere Größen verwendbare Spulenform zeigt Abb. 13.

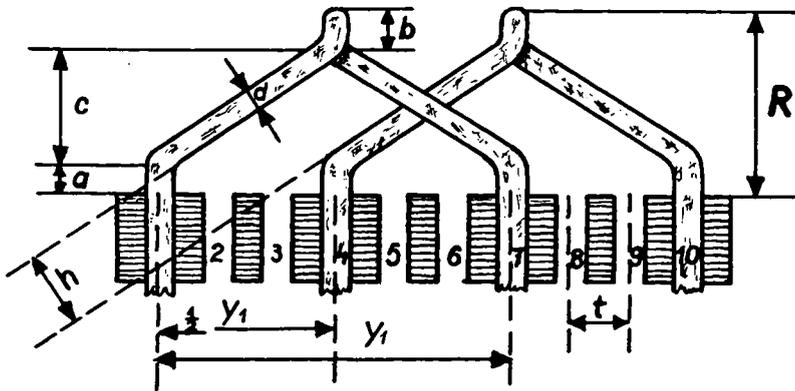


Abb. 14. Darstellung für die Ausnutzung des Winkelraumes

Die auf dieser Spulenform angefertigten Spulen haben keine gewölbten Schenkel, besitzen jedoch den Vorteil der Gleichmäßigkeit und ergeben einen vorzüglich aussehenden Wickelkopf.

Liegen bei einer Spule mehrere Drähte nebeneinander, so erfordert die Herstellung wesentliche Übung und Zeitaufwand. Für Spulen mit gewölbten Schenkeln fertigt man eine Form an, die im wesentlichen derjenigen in Abb. 13 entspricht. Die Gesamtform ist jedoch dem Durchmesser des Ankers entsprechend kreisbogenförmig hergestellt, und für die Schenkel werden gewölbte Anlagebleche angeschraubt. Um ein störungsloses Entfernen der Spule aus der Form sicherzustellen, müssen die Nasenbolzen und ein Seitenteil auswechselbar angeordnet werden.

Mit einer derartigen Spulenform wird der Zweck erreicht, den Ankerspulen diejenige Form zu geben, die dieselben bei fertiggestellter, betriebsfertiger Wicklung haben müssen. Es wird eine Formspulenwicklung wohl kaum hergestellt werden können, ohne die einzelnen Spulen bei der Wickel-

arbeit durch sorgfältiges Biegen und Klopfen in die endgültige Lage zu bringen. Erfahrungsgemäß bedürfen die auf eben erwähnter Art hergestellten Spulen nur geringe Verbesserungen in ihrer ursprünglichen Form. Die Wickelarbeit wird daher wesentlich erleichtert und beschleunigt, und die sachgemäße Herstellung der Wicklung wird gewährleistet, wenn die Grundmaße der Spulen richtig gewählt wurden.

Neben den vorstehenden Ausführungen sind noch einige Gesichtspunkte zu erwähnen, deren Beachtung für die richtige Ermittlung der Spulengrundmaße von Bedeutung ist. Die Größe des Raumes **R** in Abb. 14 bei Ankern ohne Wicklung ist leicht festzustellen, wenn man bei der zusammengebauten Maschine den Abstand zwischen Ankerkörper und Lagerschild ermittelt.

Unter Berücksichtigung des erforderlichen Spielraumes für den Anker in waagerechter Richtung ist das erhaltene Maß noch um einen angemessenen Luftabstand zwischen Wicklung und Lagerschild zu kürzen (etwa 20—30 mm).

Ob die Spulen in der erwünschten Art in dem Raum **R** untergebracht werden können, hängt bei normalen Platzverhältnissen lediglich von der Größe der Maße **a** und **b** (Abb. 14) ab. Bei **normalen** Gleichstrommaschinen der Siemens-Schuckert-Werke und der AEG sind diese Abmessungen reichlicher als bei anderen Erzeugnissen. Es erhellt hieraus, daß man bei den erstgenannten Ausführungen selten Schwierigkeiten mit der Wickelarbeit hat, weil die Raumverhältnisse reichlich bemessen sind. Sind die Grundmaße (Abb. 8 oder 14) tatsächlich etwas knapp genommen worden, so kann man bei den erstgenannten Erzeugnissen durch Verkürzen der Maße **B** (Abb. 9) noch einen Ausgleich schaffen. Wenn die Platzverhältnisse ungeklärt sind, so muß man die Maße **a** und **b** auf ein zulässiges Mindestmaß halten. Bestimmte Abmessungen lassen sich hierfür ohne weiteres nicht angeben. Es wird aber bei einiger Kenntnis der Ausführungsarten unserer bekannten Erzeugnisse kaum schwer fallen, die richtigen Maße durch praktische Erfahrung herauszufinden.

Da der Raum **R** sich aus den Abmessungen **a**, **b**, **c** und **d** und dem Teilschritt  $Y_1$  bei der Auslegung des Ankers ergeben hat, so lassen sich diese Größen natürlich auch wieder rechnerisch ermitteln. Von einer Wiedergabe des Berechnungsganges muß hier jedoch abgesehen werden, weil derartige Abhandlungen über den Rahmen des Buches hinausgehen und den Bedürfnissen auch ohne Anschreiben der Formeln Rechnung getragen werden kann.

Man nimmt zunächst einen Kupferdraht und formt denselben nach dem Wickelschritt und den Maßen **R** der Spule entsprechend so, daß das Gebilde etwa der eingezeichneten Spule in Abb. 9 (bzw. Abb. 14) entspricht. Für das Maß **a** nehmen wir bei einer 5-PS-Maschine etwa 15—20 mm an. Nach dieser Form wird nun die Form Abb. 13 eingestellt, oder nach Zurückbiegen des Musters nach Abb. 10 fertigt man die Zwischenlage für die

Holzform an. Die Maße **d** werden durch sorgfältige Anordnung der Drähte über- und nebeneinander und durch sachgemäße Bewicklung der Spulen mit Leinenband auf ein Mindestmaß gehalten. Sind zwei Spulen fertiggestellt, so baut man dieselben in gebrauchsfertiger Form ein, und zwar eine Spule dem Wickelschritt  $Y_1$  (Abb. 14, Nute 1—7) entsprechend, die zweite Spule von  $\frac{1}{2} Y_1$  ausgehend, ebenfalls dem Wickelschritt entsprechend (in Abb. 14, Nute 4—10).



Abb. 15. Spulen-Wickelei. Herstellung von Formspulen für eine größere Leistungseinheit (Werkbild: H. Schümann, Lübeck)

Nachdem beide Spulen in ihrer Lage verbessert worden sind, entnimmt man das Maß **h** und stellt fest, ob die Spulen der noch offenen Nuten in diesem Raum untergebracht werden können, ohne daß das Maß **c** geändert wird. In unklaren Fällen fertigt man die erforderliche Anzahl Spulen an und macht diese Probe durch Einbauen der Spulen.

Falls es ratsam erscheint und die Möglichkeit vorliegt, kann man nach der erstgenannten Probe Verbesserungen in der Gesamtform (Grundmaße) oder der Maße **a** und **b** vornehmen. Die Höhe der Spulennase muß kleiner sein als das Maß **r** in Abb. 16, damit der Durchmesser des Wickelkopfes nicht größer wird als der Ankerdurchmesser.

Diejenigen Spulenteile, die der Stromwenderseite zugekehrt sind, werden zu einem Wickelkopf vereinigt, dessen Durchmesser kleiner werden muß als derjenige an der Riemenscheibenseite. Diese Bedingung hat allerdings nur Gültigkeit, wenn die Schaltenden zur Herstellung einer Reihen- oder Reihenparallelschaltung, der Abb. 9 entsprechend, aus den Spulen austreten.

Bei Parallelschaltungen führt man die Schaltenden im allgemeinen bis an die Spulennase und läßt hier den Austritt stattfinden (Abb. 12).

In dem erwähnten ersten Falle wird die Höhe der einen Spulenhälfte um das Maß der Schaltdrähte geringer. Aus diesem Grunde wird also auch der Durchmesser des Wickelkopfes schon kleiner werden. Es bleibt jedoch zu berücksichtigen, daß die Schaltenden besonders gut isoliert werden müssen, da dieselben nach Fertigstellung der Schaltung mit Nachbarspulen

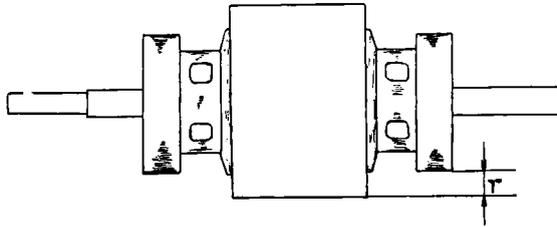


Abb. 16. Unbewickelter Gleichstromanker mit Wickelträger

in Berührung kommen, die volle Betriebsspannung führen. Um diese Isolation in zweckentsprechender Weise durchzuführen, werden die Schaltenden mit Glanzgarn- oder Baumwollschlauch überzogen und außerdem zwischen der oberen und unteren Schaltlage Preßspanstreifen oder Leinenbandpackungen eingefügt.

Hierdurch erfährt der Gesamtdurchmesser des Wickelkopfes natürlich eine Vergrößerung, die bei Nichteinhaltung der Mindestmaße zu unliebsamen Störungen Anlaß geben kann. Ist der Wickelträger verhältnismäßig hoch, das Maß  $r$  in Abb. 16 also gering bemessen, so empfiehlt es sich, die Höhe der Spulennasen an der Schaltseite etwas kleiner zu halten als an der Riemenscheibenseite.

Weiter ist vor dem Schalten der oberen Schaltdrähte durch Anlegen eines Lineals auf den Ankerkörper die Höhe des Wickelkopfes zu untersuchen.

Es muß bei Abschätzung dieses Maßes darauf Rücksicht genommen werden, daß die Drahtbandagen auch noch Platz beanspruchen.

Legt man auf die Beachtung der erwähnten Punkte kein Gewicht, so kann es leicht vorkommen, daß der Durchmesser des Wickelkopfes zu groß wird, so daß der Anker nicht mehr durch das Magnetgehäuse geführt werden kann.

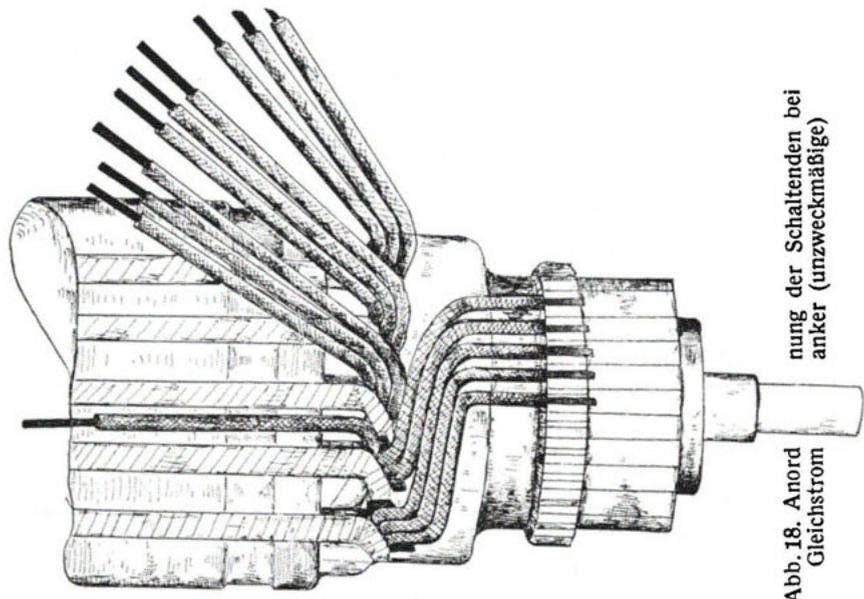


Abb. 18. Anordnung der Schaltenden bei anker (unzweckmäßige)  
Gleichstrom

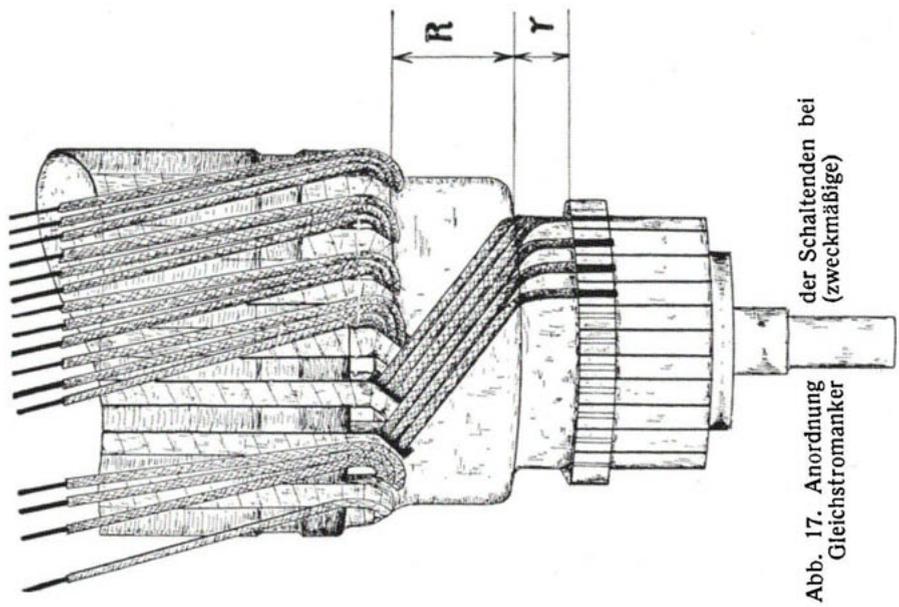


Abb. 17. Anordnung der Schaltenden bei anker (zweckmäßige)  
Gleichstrom

**Die Ausnutzung des Raumes zur Unterbringung der oberen Schaltdrähte** erfordert besondere Beachtung. Ob die gesamten Drähte in dem jeweils zur Verfügung stehenden Raume untergebracht werden können, hängt im allgemeinen von der zweckentsprechenden Biegung der ersten Schaltdrähte ab.

Bei verhältnismäßig schmalen Ankern mit großem Durchmesser, gedrängterer Bauart der Maschine und hoher Unterteilung des Stromwenders (hohe Betriebsspannung) ist nicht selten die Unterbringung der oberen Schaltdrähte in dem Raum **R** (Abb. 17) mit Schwierigkeiten verbunden. Ist die Isolation der Schaltdrähte reichlich gewählt worden (Leinenbandbewicklung), so ist es empfehlenswert, die oberen Schaltdrähte in zwei Lagen zu schalten.

Es sind zunächst die Drähte 1, 3, 5 usw., also die ungeraden Zahlen, in einer Lage nebeneinander anzuordnen. Die zweite Hälfte der oberen Schaltdrähte wird hierauf in gleicher Weise als zweite Lage fertiggestellt. Die Bergmann-Elektrizitäts-A.-G., Berlin, verfährt in der Herstellung einiger Gleichstromtypen mit der Anordnung der oberen Schaltdrähte entsprechend.

Auch die AEG, Berlin, wendet z. B. bei den älteren W.-D.-Typen dieses Verfahren an.

Bei normalen Ausführungen bleibt stets zu beachten, daß die Schaltdrähte vom Austritt aus der Spule bis zur Kollektorlamelle den praktisch kürzesten Weg einhalten sollen (Abb. 17). Sind die einzelnen Drähte nach diesem Grundsatz gebogen, so wird man wohl kaum auf Schwierigkeiten in der Unterbringung der gesamten Schaltdrähte stoßen. Sollte der Raum **R** bei einem Anker besonders reichlich bemessen sein, so entstehen allerdings zwischen den Schaltdrähten der einzelnen Spulen freie Räume. Ganz abgesehen davon, daß diese freien Räume die Betriebstüchtigkeit der Wicklung nicht beeinflussen, können dieselben auch nach Fertigstellung der Schaltung durch Vergrößern der Maße  $r$  (Abb. 17) fortgeschafft werden.

Ist der Raum **R** hingegen normal, so dürfen die ersten Schaltdrähte nicht nach Abb. 18 gebogen werden. In dieser Form wird man die gesamten Drähte nicht nebeneinander in dem Raum **R** anordnen können. Jedenfalls besteht die Gefahr, daß zum Schluß die Unterbringung der letzten Drähte Schwierigkeiten bereitet und eine gleichmäßige Anordnung der Schaltdrähte um den Wickelkopf in Frage gestellt wird.

Für die sachgemäße Herstellung der Schaltungen ist weiter von Bedeutung, daß die einzelnen Drähte der oberen Lage von links nach rechts der Reihe nach in den Kollektor eingestemmt werden. Verfährt man in umgekehrter Richtung, so können wiederum Schwierigkeiten in den Platzverhältnissen eintreten.

## Drehstrommaschinen

Die Platzverhältnisse bei Drehstrommotoren liegen im allgemeinen günstiger. Es ist auch hier vor allen Dingen darauf zu achten, daß die Drahtstärke mit und ohne Umspinnung, entsprechend der Ursprungswicklung, gewählt werden muß.

Innerhalb der Nuten müssen die Drähte sauber neben- und übereinander gebettet werden, und auch außerhalb der Nuten ist eine schichten-



Abb. 19. Hilfsmittel für die Ausnutzung des Wickelraumes

weise Anordnung der Drahtwindungen erforderlich. Schon bei den ersten Lagen innerhalb der Nuten müssen die Drähte durch geeignete Holzkeile (Abb. 19 und 20) und Stemmer angedrückt werden. Geschieht dies erst bei den letzten Lagen, so können Beschädigungen der Umspinnung eintreten, ohne daß der gewünschte Zweck erreicht wird.

Vor Beginn der Wickelarbeit empfiehlt es sich, die erforderliche Anzahl Drähte für eine Nute einzupassen, um ein Urteil über die bestehenden Platzverhältnisse zu erhalten.

Außerhalb der Nuten erhalten die einzelnen Gruppen eine Form, die der Ausbuchtung der Lagerschilder entsprechend sein muß. Abb. 31 zeigt einen vierpoligen Drehstromständer. Die unteren und oberen Gruppen sind nach dem äußeren Durchmesser des Gehäuses zu, stark gekröpft.

Um die Werkstoffkosten niedrig zu halten und gleichzeitig eine gute Kühlung der Wicklung zu gewährleisten, können die einzelnen Gruppen nur mit je 2 Bandagen aus Kordel zusammengehalten werden. Es ist bei derartigen Ausführungen selbstverständlich, daß der Abstand der Wicklung von Lagerschilder und Gehäuse sorgfältig gewahrt werden muß (Abb. 21).

Als Hilfsmittel für die sachgemäße Fertigstellung dieser Wicklungen kann die Vorrichtung Abb. 22 empfohlen werden.

Diese besteht aus zwei bearbeiteten Holzklötzen, die dem Durchmesser des Gehäuses und dem Wickelschritt entsprechend geformt sind und mittels einer Schraube zu beiden Seiten des Blechpaketes festgeklemmt werden. Bei der Anfertigung dieser Hilfsmittel ist darauf zu achten, daß an den mit Pfeil bezeichneten Stellen die Formhölzer mit den Nuten ab-



Abb. 20. Hilfsmittel für die Ausnutzung des Wickelraumes

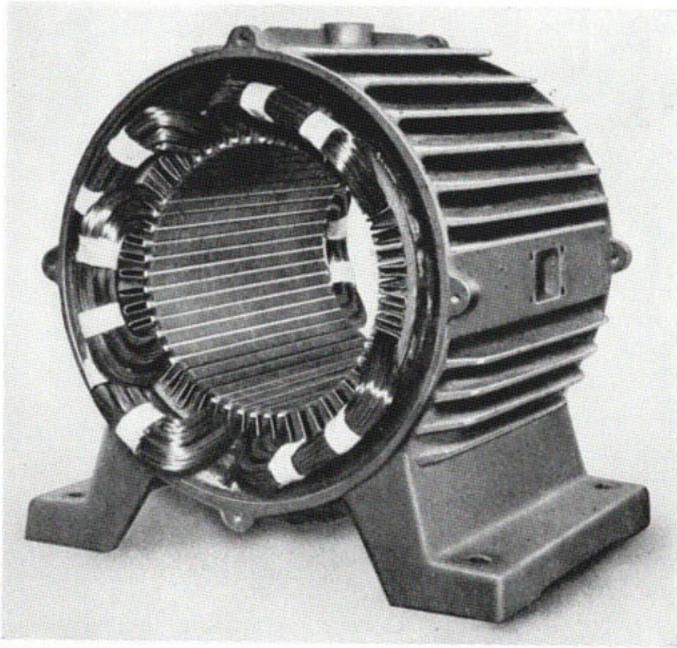


Abb. 21. Dreiphasen-Einschicht-Zweietagenwicklung mit Spulen ungleicher Weite (Dreifachspulen) im Träufelverfahren hergestellt (Werkbild: H. Schümann, Lübeck)

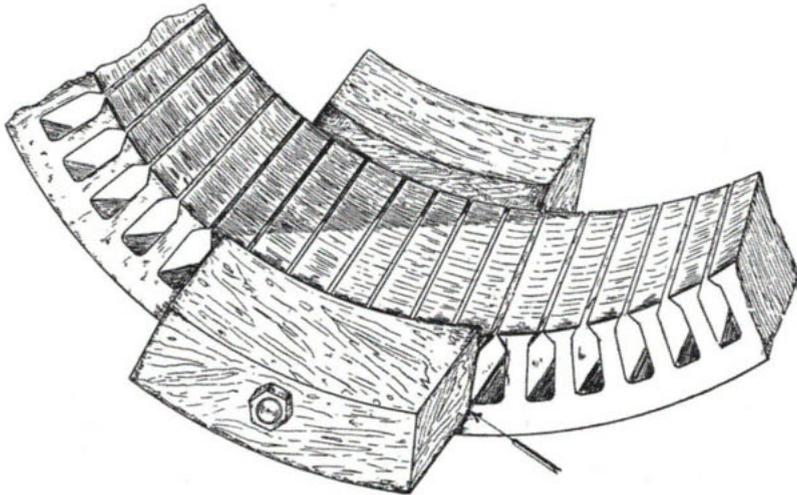


Abb. 22. Hilfsmittel bei der Herstellung von Ständerwicklungen

**Ausführungsarten für 2polige Dreiphasenwicklungen**  
**Gegenüberstellung verschiedener Wicklungsarten 2poliger Ausführung zum**  
**Zwecke bestmöglichster Raumaussnutzung.**

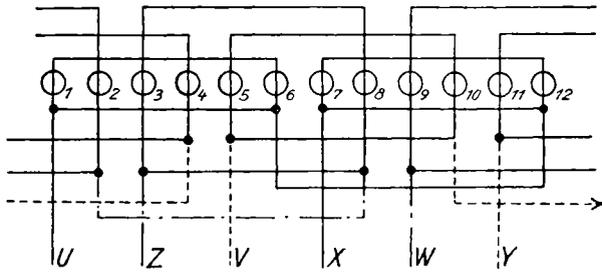


Abb. 23. Einschicht-Wicklung in 3-Etagen-Anordnung

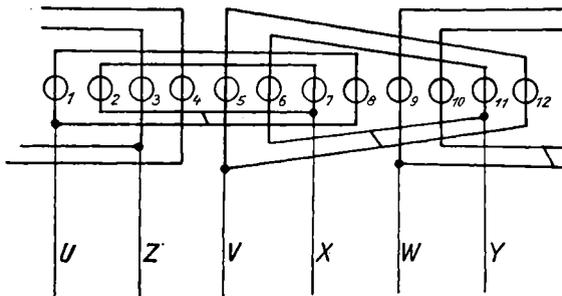


Abb. 24. Einschicht-Wicklung mit je einer Mehrfachspule je Phase,  
 insgesamt 3 Spulen

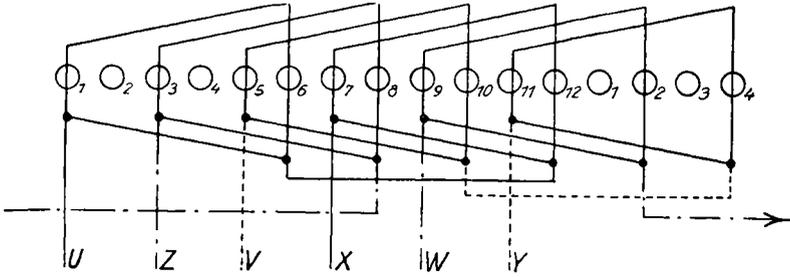


Abb. 25. Einschichtwicklung mit Spulen gleicher Weite

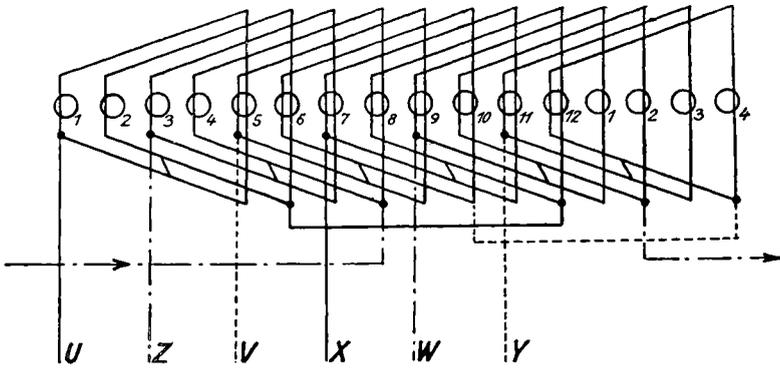


Abb. 26. Zweischichtenwicklung mit Spulen gleicher Weite

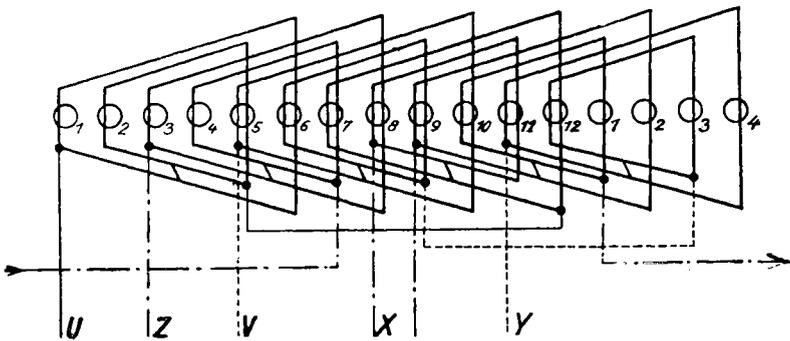


Abb. 27. Zweischichtenwicklung mit Spulen ungleicher Weite  
Überlappter Einbau der Anfangsspulen

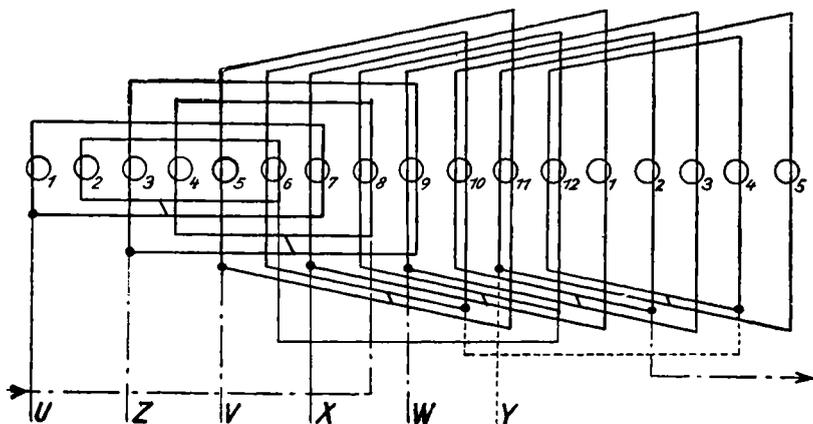


Abb. 28. Zweischichtenwicklung mit Spulen ungleicher Weite  
Überlappter Einbau der Anfangsspulen

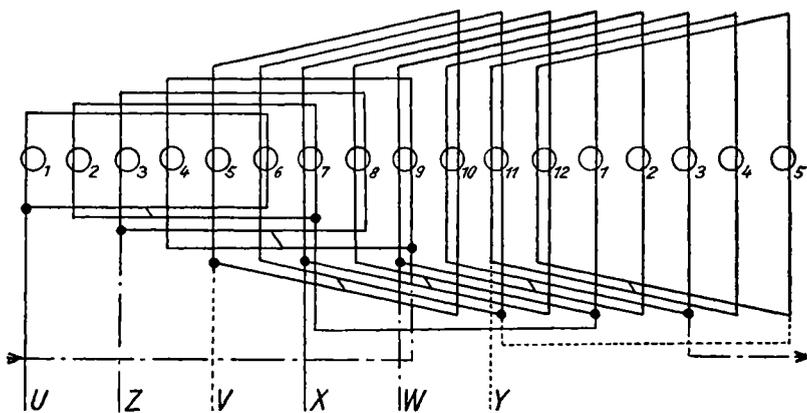


Abb. 29. Zweischichtenwicklung mit Spulen gleicher Weite  
Überlappter Einbau der Anfangsspulen

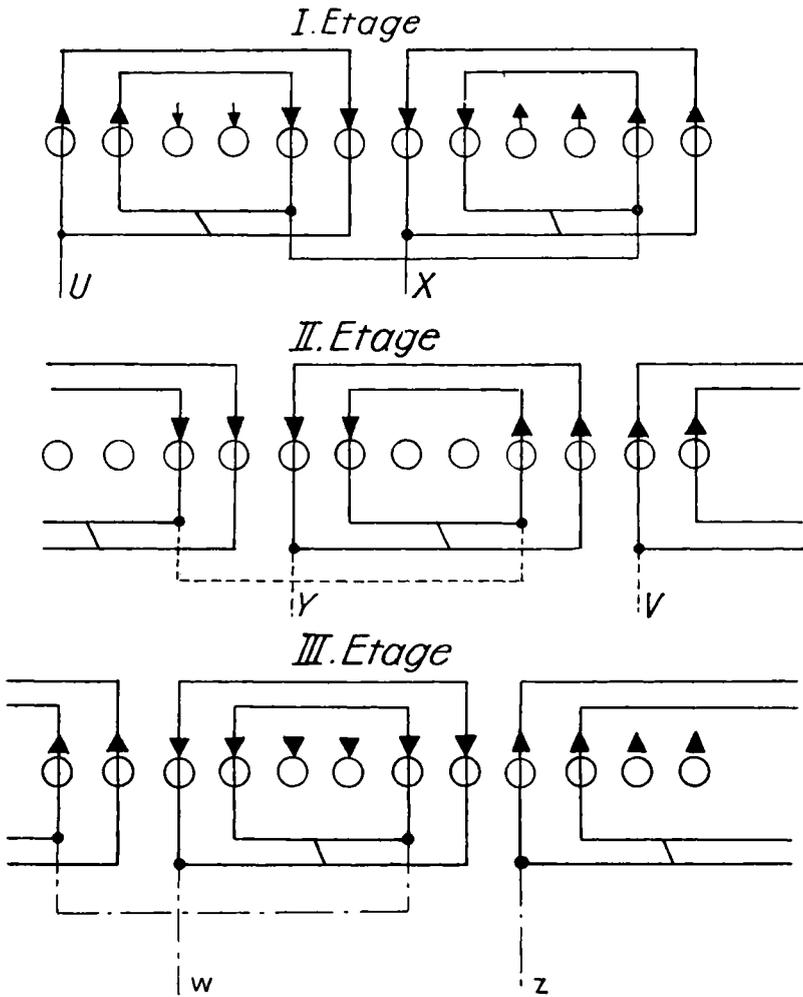


Abb. 30. Zweischichtenwicklung in 3-Etagen-Anordnung aus Mehrfachspulen ungleicher Weite (günstigste Raumausnutzung)

schneiden. Es wird hierdurch erreicht, daß die vorstehende Nutenisolation beim Anziehen des Wickeldrahtes nicht einreißt. Weiter ist darauf zu achten, daß die untere Wölbung dieser Hölzer etwas tiefer liegt als der Nutengrund, damit ein Abstand zwischen den unteren und oberen Gruppen gewahrt bleibt.

Die Formhölzer können nach kleiner Abänderung auch bei der Herstellung der oberen Gruppen benutzt werden.

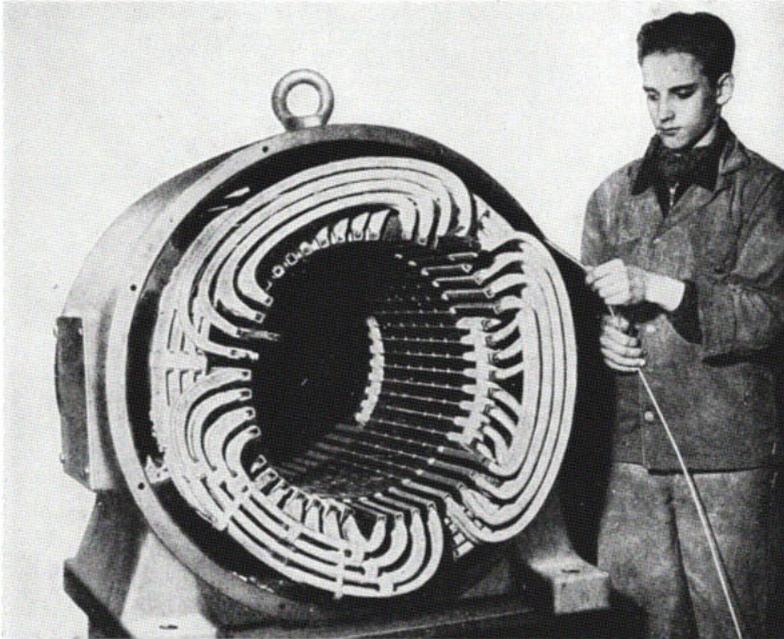


Abb. 31. 4 polige Einschicht-Durchzugswicklung  
(Werkbild: H. Schümann, Lübeck)

In allen Fällen muß darauf geachtet werden, daß für die Drahtwindungen der praktisch mögliche kürzeste Weg gewählt wird. Große Bogen müssen tunlichst vermieden und jede Windung muß möglichst fest angezogen werden.

Da die Form der Gruppen bei den verschiedenen Erzeugnissen der baulichen Ausführung des Gehäuses und der Lagerschilde jeweils angepaßt werden muß, so wickle man stets erst eine Gruppe fertig und prüfe hierauf durch Anpassen der Lagerschilde den Abstand zwischen Wicklung und



Abb. 32. Achtpoliger Drehstrommotor der Firma Brown, Boveri & Cie. AG.

Eisen. Vorzugsweise bei den Motoren von 0,5 bis etwa 50 PS ist diese Probe erforderlich. Bei größeren Maschinen liegen die Platzverhältnisse im allgemeinen günstiger.

Während für die ersteren heute fast ausschließlich die halbgeschlossene Nutenart angewandt wird und die einzelnen Drähte von oben durch den Nutenschlitz in die Nute eingelegt werden, besitzen die zuletzt genannten

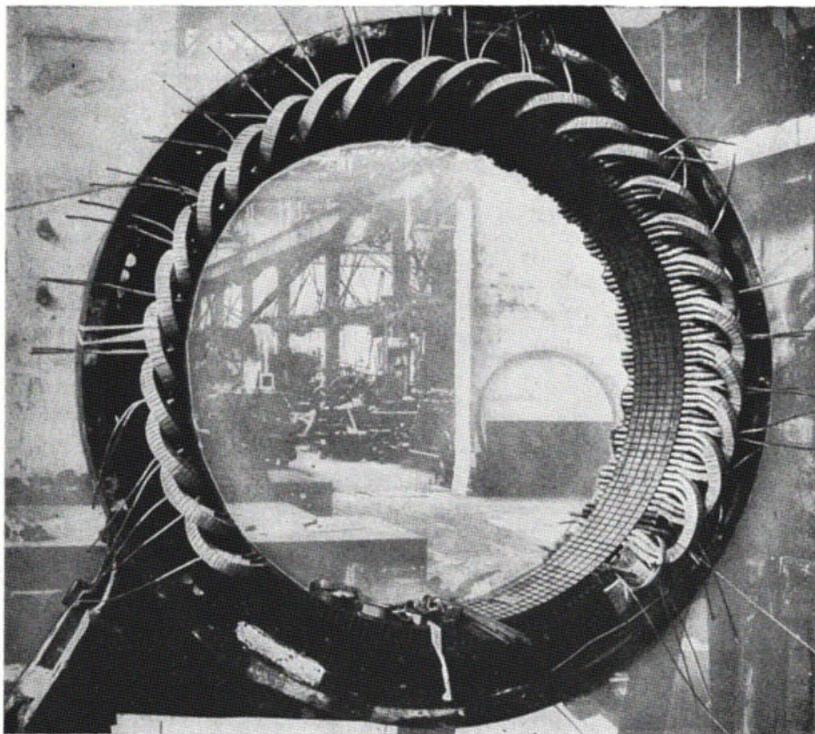


Abb. 33. Drehstromständer für einen 240 PS-Motor 5000 Volt Drehzahl = 250

nahezu geschlossene Nuten. Die Windungen werden durch geschlossene Isolationsröhren einzeln durchgezogen, wie dies in Abb. 33 zu ersehen ist. Es handelt sich hier um einen Drehstromständer für einen 240-PS-Motor, 5000 Volt, 250 Umdrehungen, der Sachsenwerke Niedersedlitz. Diese Wicklungsart unterscheidet sich von den bisher abgebildeten dadurch, daß die einzelnen Gruppen zur Hälfte als obere und zur Hälfte als untere Gruppen nacheinander eingewickelt werden. Es ist selbstverständlich, daß auch die Anordnung der einzelnen Gruppen entsprechend der Dar-

stellung in Abb. 35 gewählt werden kann, ohne die Wirkungsweise der Wicklung zu ändern. Die Wicklungsart Abb. 33 gewährleistet vorzügliche Kühlung, weil die Luft alle Wicklungselemente gleichmäßig bestreicht.

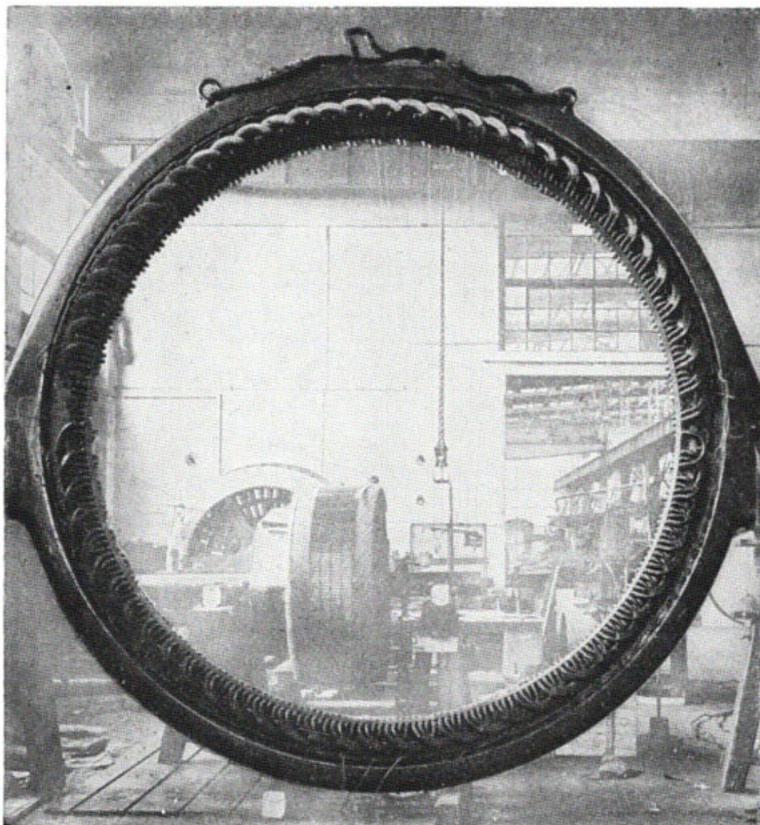


Abb. 34. Drehstromständer eines 10000 Volt-Motors der Firma Sachsenwerke

Der rechte Teil jeder Gruppe wird ohne Formholz gewickelt, für den linken Teil ist jedoch ein Hilfsmittel eingebaut.

**Bei Hochspannungsmaschinen** werden die einzelnen Drahtlagen innerhalb der Nuten durch Preßspanstreifen voneinander isoliert. Auch außerhalb der Nuten pflegt man in gleichem Sinne zu verfahren. Die Drahtbündel einer Nute werden außerdem mit Ölleinen und Leinenband be-

wickelt, wie auch aus Abb. 34 zu ersehen ist. Die Abbildung zeigt den Ständer eines 10000-Volt-Motors der Sachsenwerke.

Bei Motoren solch bedeutender Abmessungen sind die Ständer geteilt.

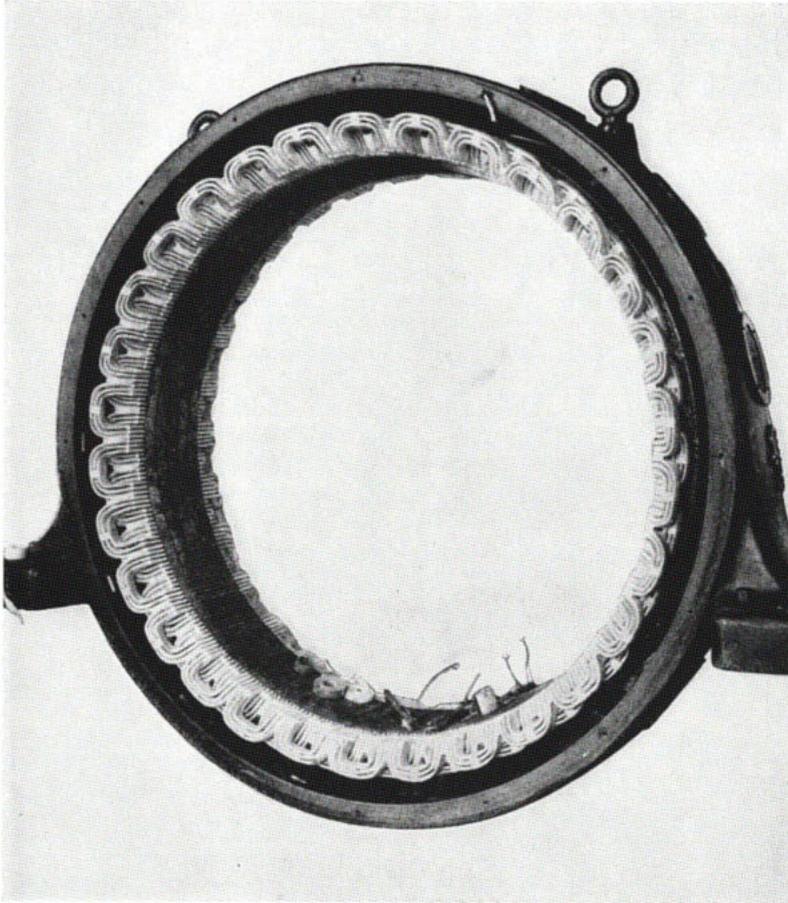


Abb. 35. Neuwicklung eines Drehstrommotors SSW, 250 kW, 146 n, 2000 Volt  
(Werkbild: Hermann Wunderlich, Weidenau)

Die Schlußgruppen werden erst nach beendetem Aufbau und nach Einbauen des Läufers eingewickelt.

Die AEG. bereitet diese Schlußgruppen vielfach derart vor, daß dieselben als halbe Gruppe in die Nuten gesteckt werden.

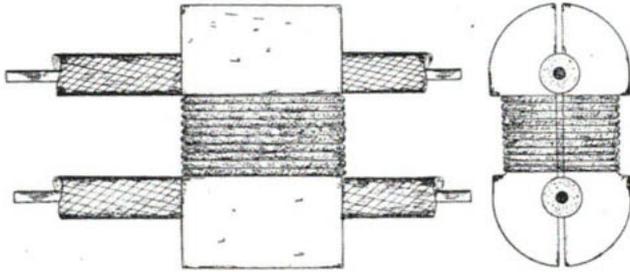


Abb. 36. Abstandstücke aus Hartholz

Die einzelnen Windungen werden auf der einen Seite des Ständers durch Profilmuffen verbunden, verlötet und voneinander mit Ölleinen isoliert.

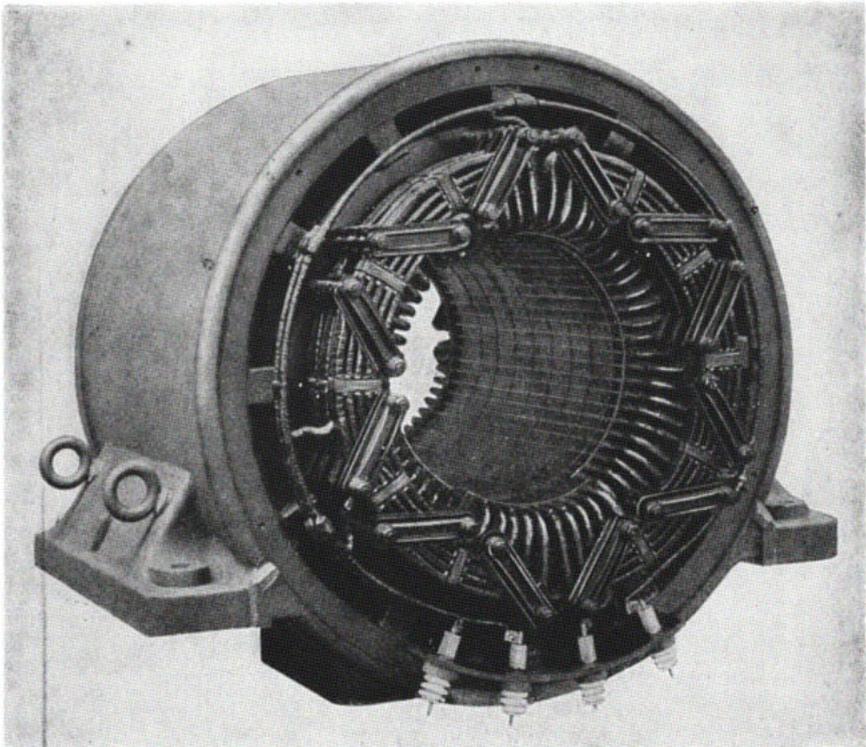


Abb. 37. Ständer eines Turbo-Generators, 2polig, Drehzahl 3000

Eine recht sauber ausgeführte Drehstromwicklung zeigt die Abb. 32. Der Ständer gehört zu einem Drehstrommotor der Firma Brown, Boveri & Co., Mannheim. Die oberen Spulengruppen sind derart geformt, daß die Drahtbündel beim Austritt aus den Nuten

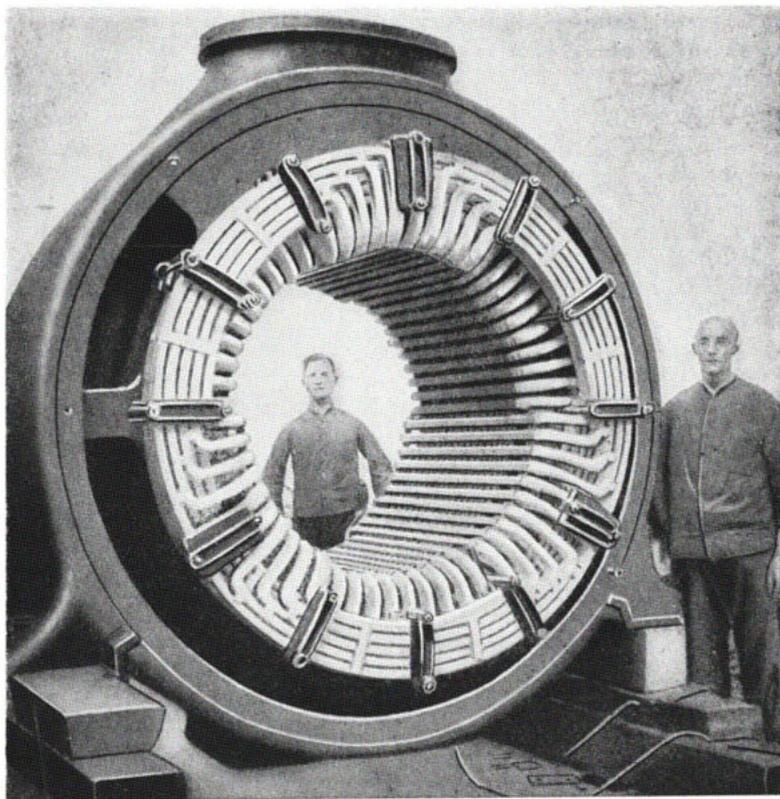


Abb. 38. Neuwicklung des Ständers eines Drehstrom-Turbogenerators 2200 kVA  
10000 Volt, 1500 n (Werkbild: J. Siebmans, Dresden)

mit kurzem Knick parallel mit der Rundung des Ständers laufen. Der zwischen jedem Drahtbündel vorhandene Luftraum bezweckt gute Isolation und Kühlung.

Die Schaltverbindungen zwischen den einzelnen Gruppen müssen der Betriebsspannung entsprechend isoliert und möglichst mit Abstand von der Wicklung und dem Gehäuse angeordnet werden.

Um die ganze Schaltung festliegend anzuordnen, sind die in Abb. 36 abgebildeten zweiteiligen Holzklammern zu empfehlen. Dieselben werden nach Aufnahme der Schaltdrähte durch eine Kordelbandage zusammengehalten und erfüllen ihren Zweck in durchaus geeigneter Weise.

Bei Maschinen mit hohen Umlaufzahlen ist besonderer Wert auf eine dauerhafte Befestigung der einzelnen Gruppen zu legen. Die durch Bolzen und Laschen bewirkten Versteifungen haben den Zweck, die von den einzelnen Leitern aufeinander ausgeübten mechanischen Kräfte, deren Größe von dem Maschinenstrom usw. abhängt, auszugleichen.

Abb. 37 zeigt einen Turboständer der Firma Poege, Chemnitz. Die einzelnen Gruppen haben eine besonders große Ausladung, weil die Maschine zweipolig (3000 n/min. bei 50 Hz.) ausgeführt ist.

Da die vom Strom durchflossene Wicklung das Bestreben hat, ihre Flächen zu vergrößern, so können bei einem etwaigen Kurzschluß im Netz Aufbauchungen der außerhalb der Nuten liegenden Wicklungselemente entstehen, die durch die erwähnten Versteifungen begrenzt werden. Die Drahtbündel der einzelnen Nuten sind auch hier wieder durch Einfügen von Abstandsstücken voneinander getrennt, um Kühlung und Isolation zu verbessern.

Aus den vorstehenden Ausführungen ist ersichtlich, daß der Erbauer mit großer Sorgfalt auf die Form, Ausführungsart und Befestigung der einzelnen Gruppen usw. achtet.

Bei einer Instandsetzung muß in Erkenntnis der angestrebten Vorteile unter allen Umständen vermieden werden, daß etwa durch oberflächliche Arbeit die baulichen Vorzüge zerstört werden.

Es kommt nicht allein darauf an, daß die richtige Windungszahl und der richtige Drahtquerschnitt usw. gewählt wird. Auch die scheinbar unwesentlichen Kleinigkeiten müssen als wichtige Bedingungen und Vorzüge erkannt und beibehalten werden. Da aus Raummangel auf eine Besprechung sämtlicher Fabrikate nicht eingegangen werden kann, so sei dem mit der Neuwicklung oder Instandsetzung beauftragten Fachmann für alle Fälle empfohlen, stets die Eigenart der Ursprungswicklung vor dem Abbau eingehend zu untersuchen. Niemals sollte man ein Wicklungselement entfernen, ohne die Form und die Ausführungsart vorher geprüft zu haben.

## II. Teil

# Hilfswerkzeuge und die Anwendung derselben in der Ankerwickellei

### A. Bandagieren

Die technisch richtige Befestigung der Läuferwicklung kann für den betriebssicheren Lauf einer Maschine von ausschlaggebender Bedeutung sein.

Soweit Bandagen aus verzinnem Stahldraht usw. hierfür in Frage kommen, ist zu beachten, daß der Durchmesser des Stahldrahtes, die Festigkeit des Materials, die Breite und Anzahl der Bandagen von der Größe der Zentrifugalkraft abhängt, die bei dem umlaufenden Ankerkörper an dem Umfang desselben auftritt.

Im allgemeinen ist die Anzahl dieser Bandagen durch die bauliche Ausführung des Ankers gegeben. Auch die Breite derselben, die notwendige Drahtstärke sowie die Festigkeit des Materials können bei normalen Maschinen ohne sonderliche Schwierigkeiten an Hand der Ursprungsausführung leicht festgestellt werden.

Fehlen die Angaben vollständig, so ist in Zweifelsfällen stets zu empfehlen, die Stärke des Drahtes besser zu stark als evtl. zu schwach zu wählen. Selbstverständlich soll der Außendurchmesser der Bandagen nicht größer als der Ankerdurchmesser sein. Allerdings tritt bei glatten Gleichstromankern eine Ausnahme ein. Hier bietet aber der lichte Durchmesser des Magnetgestelles im allgemeinen einen Anhaltspunkt über die höchstzulässige Drahtstärke der Bandagen. Es ist darauf zu achten, daß stets der notwendige Luftabstand zwischen Anker und Magnetgestell gewahrt bleibt.

In besonders schwierigen Fällen kann man mäßige Aussparungen an den Magnetkernen in der Breite der Bandagen vornehmen.

Eine allgemeine Vergrößerung des Luftabstandes zwischen Anker und Polschuhen dadurch, daß die Polbohrung durch Ausdrehen vergrößert wird, ist nicht zu empfehlen, weil das Magnetfeld hierdurch geschwächt wird. Der Anker würde eine höhere Umdrehungszahl machen, und die Streuung würde größer werden.

Für Bandagen verwende man nur verzinnete Stahldrähte, die ausdrücklich als Bandagendrähte von leistungsfähigen Firmen angeboten werden. Diese Drähte besitzen die geforderten Eigenschaften (Festigkeit usw.).

Bei Ankern mit hohen Umdrehungszahlen (Turbogeneratoren usw.) wird die Wicklung in den Nuten durch Keile festgehalten. Außerhalb der



Abb. 39. Vorbereitung einer Stabwicklung für das Aufziehen der Bandagen mit Hilfe von Spannbandern (Werkbild: Micafil, Zürich)

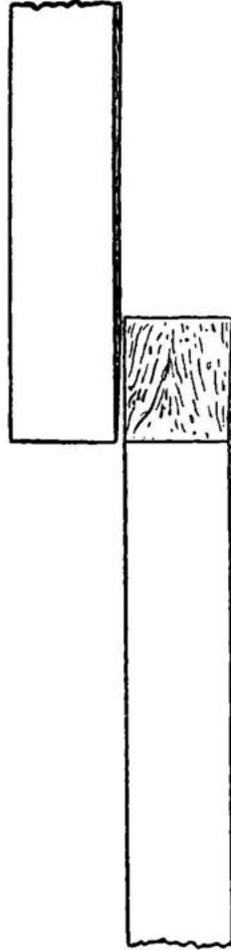


Abb. 40. Abgeschrägte Pressspanstreifen

Nuten werden die Wickelköpfe durch Buchsen aus Spezialbronze, evtl. außerdem durch doppelte Stahlbandagen zusammengehalten.

Abb. 39 zeigt eine Vorrichtung, die erfolgreich beim Aufziehen der Bandagen zum Einsatz gelangen kann. Mit Hilfe von Spannbändern werden die Wickelköpfe zusammengeschnürt, bevor mit der Bandagierarbeit begonnen wird.

Die als Isolation zwischen Bandage und Wicklung zur Verwendung kommenden Preßspanstreifen müssen an den Ansatzstellen so abgeschrägt (verjüngt) werden, daß die Überlappung die Stärke der Isolation nicht überschreitet (Abb. 40). Es ist empfehlenswert, an diesen Stellen ein Stück Glimmer unterzulegen. Die Preßspanstreifen werden nach dieser Vorbereitung um die Wicklung gelegt, mit einem Kupferdraht oder Bindfaden befestigt und parallel zu dem Ankerkörper ausgerichtet. Um ein richtiges Auflaufen des Bandagendrahtes zu erreichen, können mit einem Spitzzirkel parallele Linien auf den Preßspanstreifen angerissen werden. Der gleichmäßige Abstand der Bandage von der Außenkante des Preßspanstreifens und somit die parallele Anordnung der Bandage zum Ankerkörper wird durch diese Maßnahme erleichtert.

Geschieht das Bandagieren auf der Drehbank, so kann die parallele Anordnung der Preßspanstreifen durch beschleunigte Umdrehung des Ankers nachgesehen und evtl. verbessert werden. Bei dieser Gelegenheit können auch die einzelnen Ankerspulen, falls erforderlich, nachgerichtet werden.

Im allgemeinen wird man jedoch den Anker in Böcke etwa nach Abb. 41 lagern und auf der Achse ein Drehkreuz oder einen Hebel aufschrauben. Die parallele Anordnung der Preßspanstreifen muß in diesem Falle gewöhnlich durch Abmessen der einzelnen Zwischenräume von der Stirnfläche des Ankers aus erreicht werden. Zur Kontrolle genügen gewöhnlich einige beschleunigte Umdrehungen des Ankers.

Der Bandagendraht soll stets auf einer geeigneten Haspel befestigt werden.

Das Ablassen der einzelnen Drahtwindung von Hand bringt den großen Nachteil mit sich, daß sich die Drahtlagen sehr leicht ineinander verschlingen. Der ordnungsmäßige Verlauf des Arbeitsvorganges wird hierdurch gestört und viel nutzlose Zeit verschwendet.

Das Anspannen des Bandagendrahtes wird in geeigneter Weise wie folgt erreicht. Ein starker Strick wird am Boden befestigt und mehrmals um den auflaufenden Bandagendraht geschlungen. Die Spannung des Drahtes kann auf diese Weise wie erforderlich reguliert werden.

Bevor man den Bandagendraht auf den Preßspanstreifen auflaufen läßt, legt man zunächst etwa 2 Windungen direkt über die Wicklung, um diese möglichst fest zusammenzuziehen. Gibt die Wicklung hierbei noch wesentlich nach, so wird man den Preßspanstreifen erneut befestigen müssen. Hierauf wird der Draht auf den Preßspanstreifen geleitet.

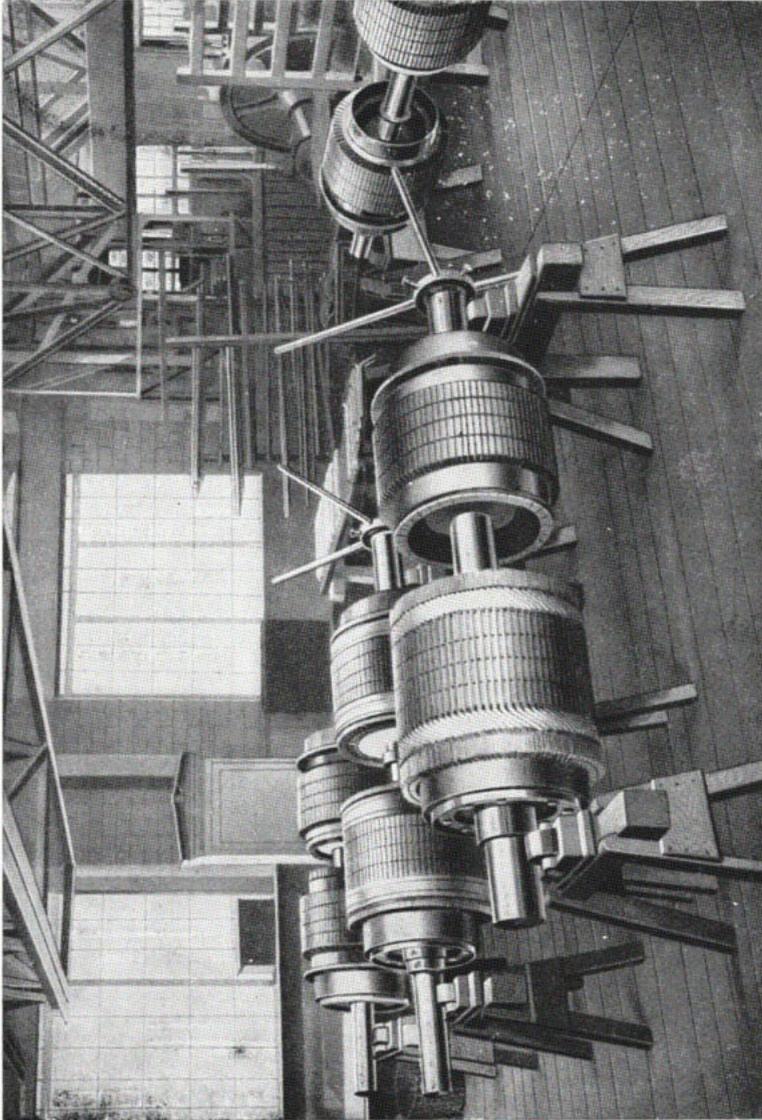


Abb. 41. Gleichstromanker in der Wickelei der Bergmann El.-Ges., Berlin

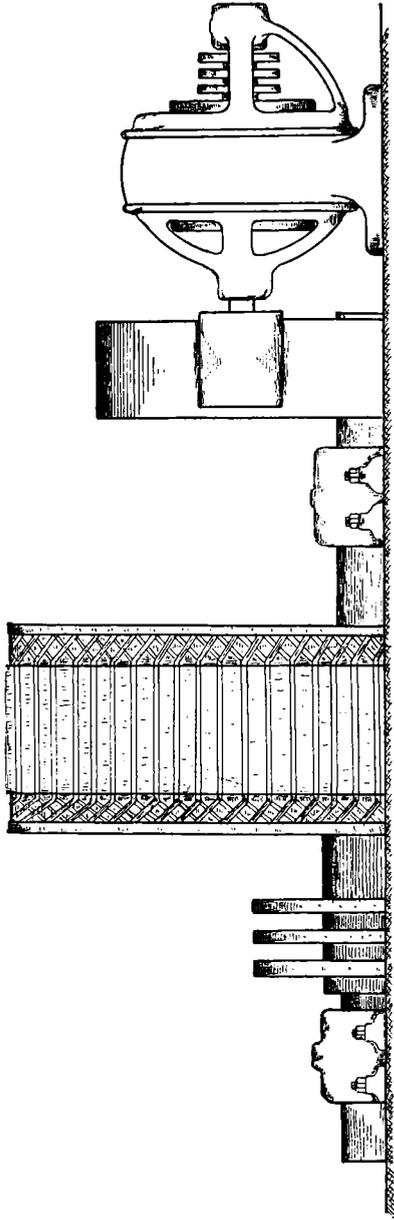


Abb. 42. Bandagieren eines großen Drehstromläufers

Bei der zweiten Drahtwindung sorgt man durch sorgfältiges Klopfen mit einem Holzhammer dafür, daß die Wicklung sich nachsetzt. Unterläßt man diese Maßnahme, so kann es vorkommen, daß die ersten Drahtwindungen während des weiteren Verlaufes der Arbeit sich merklich lockern.

Das Ablöten der Bandage geschieht stets an der Ausgangsstelle. Die vor Beginn der Bandagierarbeit unterlegten Streifen aus Messing- oder Kupferblech sind auf dem Umfang der Wicklung gleichmäßig verteilt. Nach Fertigstellung einer Bandage werden die Streifen abgeschnitten, umgeklappt und verlötet.

Vor Beginn der gänzlichen Verlötung der einzelnen Drahtlagen ist es empfehlenswert, jede Bandage erst an etwa 4—6 Stellen behelfsmäßig mit Lötzinn zu heften.

Größere Anker von etwa 200-PS-Leistung ab wird man bei einer Instandsetzung im Gehäuse liegen lassen und nur den oberen Gehäuseteil entfernen.

Dies wird in den meisten Fällen schon deshalb zweckmäßig sein, weil die Ankerwelle vielfach mit der angetriebenen Maschine durch eine Kuppelung verbunden oder aber mit einer schweren Schwungscheibe befestigt ist. Das Bewegen des Ankers beim Bandagieren kann durch Friktionsantrieb nach Abb. 42 oder, falls ein Kran vorhanden, nach Abb. 43 geschehen.

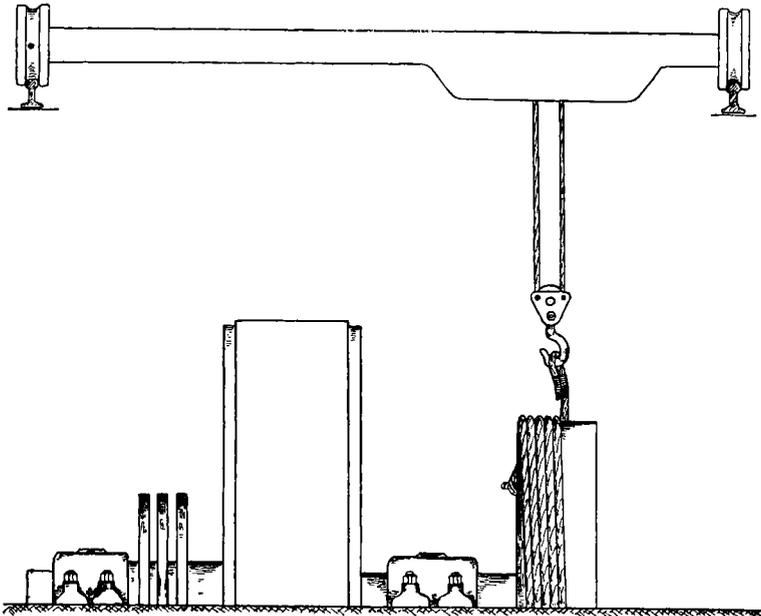


Abb. 43. Bandagieren eines großen Drehstromläufers

Nach Abb. 42 würde man einen mit Holzscheibe ausgerüsteten Elektromotor an die Schwungscheibe oder Kupplung der Maschine setzen und das Anlassen des Motors mittels Controller bewerkstelligen. Nach Abb. 43 verfährt man in der Weise, daß ein kräftiges Seil mehrere Male um die Kupplung oder Schwungscheibe gelegt und der Anfang hieran befestigt wird. Das Ende des Seiles wird mit dem Kranhaken befestigt und durch Betätigung des Hubmotors dann die gewünschte Bewegung des Arbeitsstückes ausgeführt.

### **Rotorbandagen aus Glasfaserband\***

Anstelle der bisher bei umlaufenden Wicklungsträgern angewandten Stahldrahtbandagen werden seit einigen Jahren in den USA solche aus vorimprägniertem Glasfaserband mit Erfolg angewandt (Abb. 44). Als Bandagenwerkstoff wird ein Glasfaserband verwendet, welches aus längsgerichteten, verdrehten Glasfasern in Verbindung mit lösemittelfreiem Polyesterharz hergestellt wird. Der mechanische Zusammenhalt der Glasfasern erfolgt somit durch das Bindemittel „Polyesterharz“.

Der Harzgehalt der Glasfaserbänder, die in verschiedenen Breiten und Typen zur Verfügung stehen, liegt bei etwa 25—30%. Diese Glasfaserbänder werden — je nach Type — im Kalt- oder Warmverfahren auf den Wickelköpfen der Rotoren unter entsprechender Zugbeanspruchung angeordnet und erhalten durch die anschließende thermische Behandlung (Aushärtung des Polyesterharzes) ausgezeichnete Eigenschaften und Gütewerte, die denjenigen der bisher üblichen Stahldrahtbandagen zumindest gleichwertig, in verschiedener Hinsicht sogar erheblich überlegen sind.

Das ausgehärtete Glasfaserband hat eine thermische Beständigkeit, die der VDE-Vorschrift 0 530/3. 59, Wärmeklasse — F — (155° C) entspricht. Die Wicklungstemperaturen in den Nuten können höher sein,

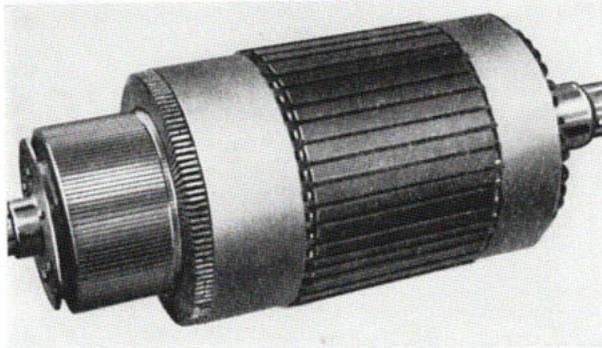


Abb. 44. Gleichstromanker beiderseitig mit Glasfaserband bandagiert

\*) Micafil-A.G. Zürich.

so daß die Glasfaserbandagen auch in der Wärmeklasse — H — (180° C) verwendet werden können.

Der Stahldraht ist ein magnetischer Werkstoff. Unter dem Einfluß des magnetischen Kraftflusses können unerwünschte, hohe Erwärmungen in den Stahldrahtbandagen entstehen, die zur Auflösung der Lötung und zur Totalzerstörung der Wicklungen führen können.

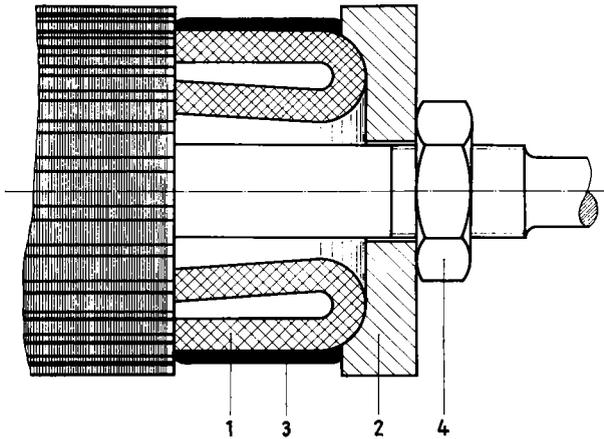


Abb. 45. Bandagieren mit Endflansch. 1 Wickelkopf; 2 Endflansch; 3 Glasbandage; 4 Haltevorrichtung für Endflansch

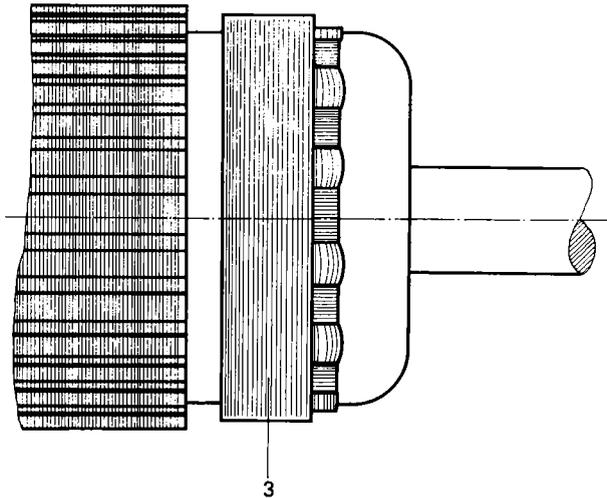


Abb. 46. 3 Fixierende Bandage über den Enden der Haltebänder

Das Glasfaserband ist ein nichtmagnetischer Werkstoff und beseitigt diese Gefahr.

Die ausgehärteten Glasfaserbandbandagen sind tropfenfest. Dieselben können außerdem ohne Zwischenlagen — direkt auf den Wickelköpfen — angeordnet werden. Die bisher üblichen Zwischenlagen aus Preßspan, Mikamaterial u. a. fallen fort.

Die Glasfaserbandagen benötigen nicht mehr Raum als Stahldrahtbandagen einschließlich Zwischenlagen.

Bei Eintritt von Wicklungsschäden (thermische Zerstörung etwa durch Windungs- oder Lagenschluß) bleibt — bis auf die Schadensstelle — die volle Haftung zwischen Bandage und Wickelkopf bestehen.

Das Glasfaserband erfordert keine ebene Auflagefläche. Es schmiegte sich Unebenheiten an und geht eine homogene Verbindung mit der Wicklungsfläche ein.

Der Kostenaufwand für die Herstellung der Glasfaserbandagen ist etwa um  $\frac{1}{3}$  geringer als diejenigen bei Stahldrahtbandagen.

Berechnungsverfahren für die Umrechnung vorgefundener Stahldrahtbandagen in Glasfaserbandagen sind ausgearbeitet worden. Aus Nomogrammen können die Werte für die erforderlichen Windungszahlen der Glasfaserbandagen entnommen werden<sup>1)</sup>.

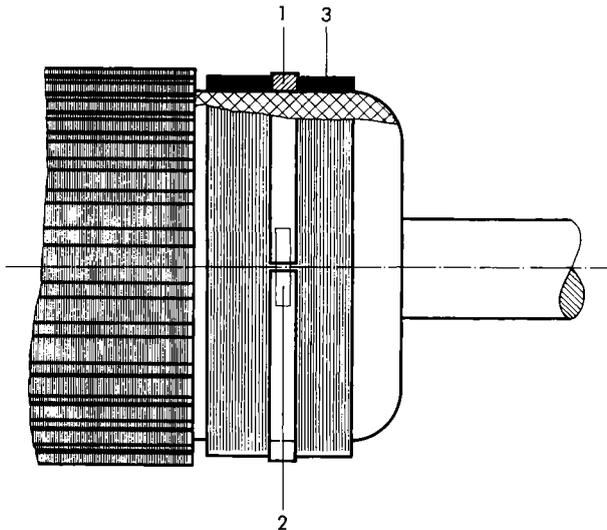


Abb. 47. Bandagieren mit Metallringhälften. 1 zweiteiliger Metallring; 2 Klebeband zur Fixierung der zwei Metallringhälften; 3 Glasfaserbandagen

<sup>1)</sup> Fachliteratur: Mica-Nachrichten, MNM 57/7d, Juli 1963. Fachzeitschrift „EMA“ — Die elektrische Maschine, Jahrgang 1963, Heft Nr. 9.

Das bezieht sich auch auf den Neuentwurf von Rotoren.

Tabellen über die Zerreißfestigkeit je Wdg/kg bei bestimmten Bandbreiten, und zwar im Anlieferungszustand und nach der Aushärtung der Glasfaser werden in der Regel von den Herstellern der Glasfaserbänder zur Verfügung gestellt.

Die imprägnierten Glasfaserbänder werden u. a. auch bei Zweischichten-Ständerwicklungen für die Verfestigung der Wickelköpfe angewandt (Abb. 48).

### **Die dynamische Auswuchtung umlaufender Wicklungskörper**

mit Glasfaserbandagen ermöglicht die Anordnung der Ausgleichgewichte unmittelbar an den Glasfaserbandagen. Als Ausgleichgewichte wird eine knetbare Kunststoffmasse, bestehend aus Eisenpulver und

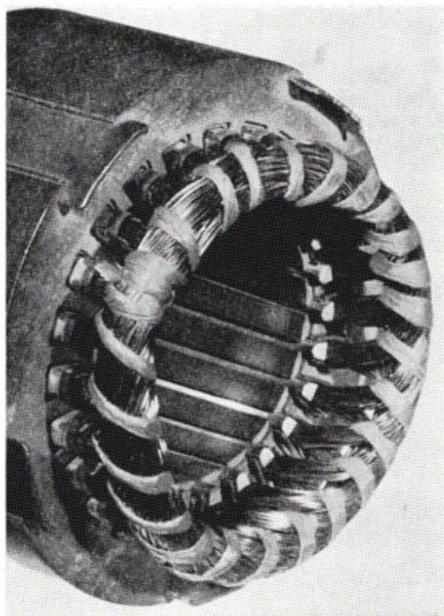


Abb. 48. Zweischichten-Ständerwicklung mit vorimprgniertem Glasfaserband umbandelt

schnellhrtendem Epoxydharz, verwendet. Bekanntlich liegen die Wuchtfehler bei umlaufenden Wicklungskrpern vorwiegend außerhalb der Blechpakete, nämlich in den beiden Wickelköpfen.

Die Auswuchtmasse wird abgewogen und auf die Wickelköpfe geklebt. Im Ablauf des thermischen Härteverfahrens wird die aufgetragene Wuchtmasse mit den Wickelköpfen haftfest verbunden.

Diese Wuchtmethode bietet zweifellos den großen Vorteil, daß die Ausgleichgewichte an den Stellen angeordnet werden können, wo die Wuchtfehler liegen.

## B. Die wirtschaftliche Herstellung von Lötverbindungen

Die sachgemäße Betrachtung des Lötvorganges zeigt, daß die zur Verlötung zusammengebrachten Metallteile bis zur Schmelztemperatur des Zinnes erhitzt werden müssen, und zwar dadurch, daß die von dem LötKolben entwickelte Hitze durch Berührung auf die Metallteile übertragen wird. Diese notwendige Erhitzung der Metallteile wird um so schneller erreicht, je größer die Auflagefläche des LötKolbens auf das Arbeitsstück und je inniger die Verbindung der zu verlötenden Metallteile unter sich ist.

Da in der Ankerwickelerei mit der Reihenherstellung einer großen Anzahl Lötstellen gerechnet werden muß und kontaktsichere Lötstellen hier von ganz außerordentlicher Wichtigkeit sind, so erscheint es angebracht, einige praktische Winke für die wirtschaftliche Herstellung der Lötverbindungen an dieser Stelle anzuführen. Um zwei Metallteile so miteinander durch Verlötung zu verbinden, daß die Berührungsstellen eine Kontaktsicherheit gewährleisten, die der in den Leitern fließenden Stromstärke entspricht, ist es Grundbedingung, daß die Metallteile frei von Niederschlägen sind. Die Anlageflächen müssen also nicht allein frei von Zunder und Schmutz, sondern auch praktisch frei von Niederschlägen sein, die sich während der Lagerung des Metalles an dessen Außenflächen bilden. Um dieser Bedingung zu entsprechen, müssen die Metallteile, bevor dieselben zur Verlötung zusammengebracht werden, blankgescheuert oder besser mit einem Zinnüberzug versehen werden.

Die Schaltenden einer Gleichstromankerwicklung sowohl als auch die Schlitze der Kollektorlamellen, werden daher zweckmäßig in einem Zinnbad verzinnt. Um Zeit- und Materialersparnis zu erzielen, nimmt man gerne von dieser Maßnahme Abstand. Berücksichtigt man jedoch, daß die Herstellung der Lötverbindungen zwischen verzinnten Metallteilen bedeutend schneller und vor allen Dingen kontaktsicherer vor sich geht, so treten die eben erwähnten scheinbaren Vorteile nach sachlicher Erwägung in den Hintergrund.

Das für Gleichstromanker Erwähnte gilt natürlich auch für Drehstromstabläufer, kurzum für alle Lötstellen, die an den Wicklungen elektrischer Maschinen usw. hergestellt werden müssen.

Die verzinnten Metallteile müssen zwecks Verlötung möglichst fest untereinander verbunden sein, damit die von dem LötKolben entströmende Hitze gut fortgeleitet wird.

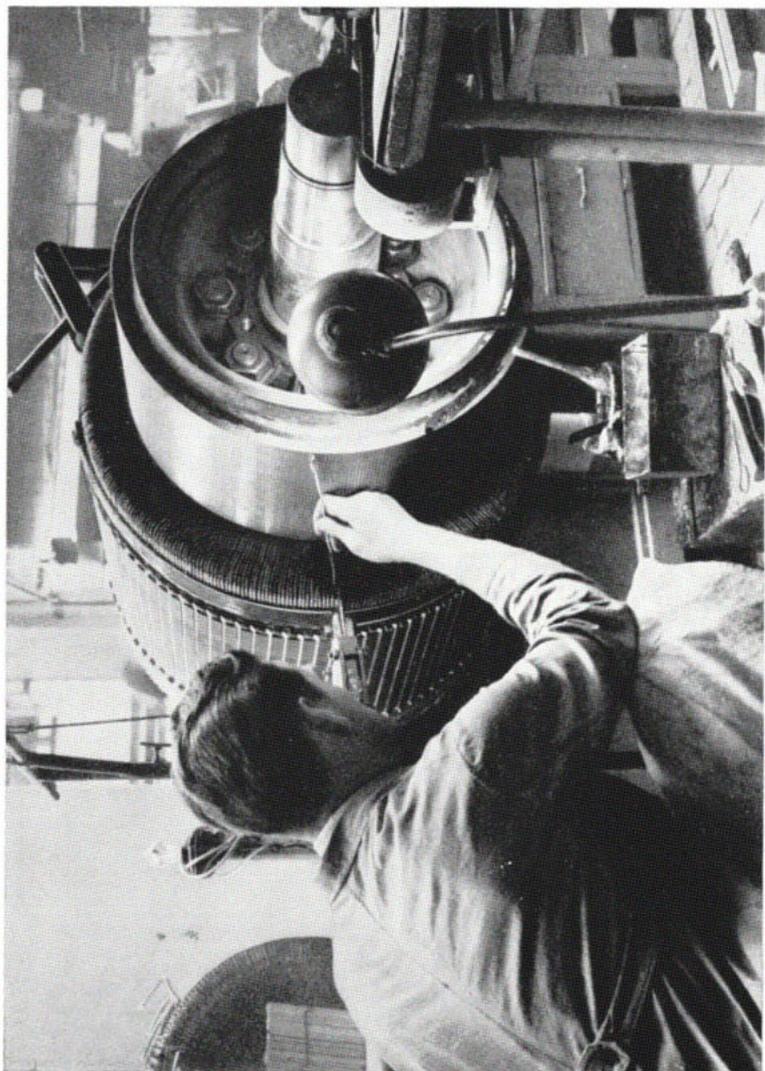


Abb. 49. Reihenherstellung von Lötverbindungen an einem Kollektor-Anker (Werkbild: Elin, Weiz)

Um eine möglichst große Auflagefläche des Kupferkolbens zu erhalten, ist dem letzteren eine geeignete Form zu geben. Abb. 50 a u. b zeigt eine ungeeignete Kolbenform und eine unsachgemäße Befestigung der Schaltdrähte mit der Kollektorlamelle.

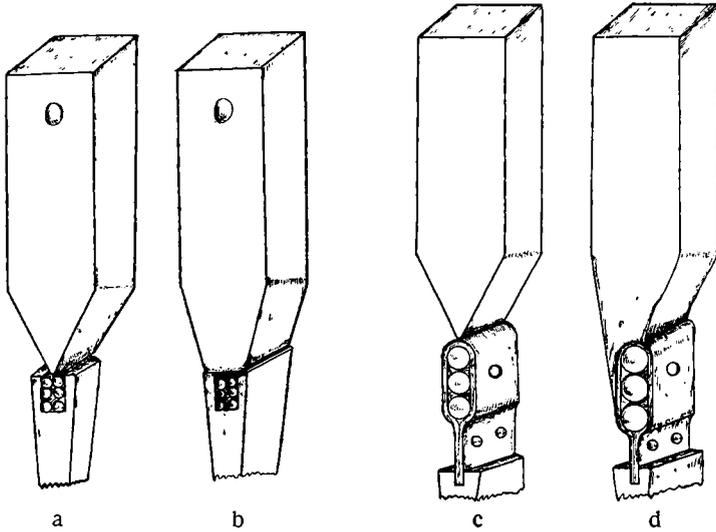


Abb. 50. Falsche und richtige LötKolbenform Falsche und richtige LötKolbenform

Die geringe Auflagefläche des Kolbens und die lockere Lage der Schaltdrähte stellen die wirtschaftliche Herstellung kontaktsicherer Lötstellen in Frage. Die Kolbenhitze wird nicht in geeigneter Weise auf die zu verlötenden Metallteile übertragen, auch wird die Hitze zwischen den Metallteilen wegen der lockeren Lage der Drähte nicht gut weitergeleitet. Die auf diese Art hergestellten Lötverbindungen haben den Nachteil, daß die Herstellung derselben bedeutend mehr Zeit in Anspruch nimmt als notwendig und daß die Kontaktsicherheit in Frage gestellt ist. Abb. 50 b u. d zeigt die zweckmäßige Anordnung der Schaltdrähte in der Kollektorlamelle und die richtige Kolbenform. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Abb. 50 c und d. Es handelt sich hier um Lötverbindungen an einem Kollektor mit Fahnen.

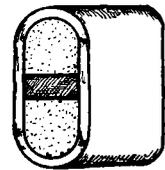


Abb. 51. Lötverbindung an einem Drehstromläufer mit Stabwicklung

Bei Drehstromstabläufern ist darauf zu achten, daß die Zwischenlage zwischen dem oberen und unteren Stab in der Hülse eingefügt wird (Abb. 51).

Die Zwischenlage stellt die metallische Verbindung zwischen den Stäben und der Hülse her und beschleunigt somit die Übertragung der Kolbenhitze auf die einzelnen Metallteile. Während die Lötverbindungen nach Abb. 50a in senkrechter Stellung der Lamelle hergestellt werden, wird man diejenigen nach Abb. 50 c und d in waagerechter Lage der Lamelle herstellen.

### C. Die Entfernung des vorstehenden Glimmers zwischen den Lamellen eines Kollektors

Nach längerer Betriebszeit einer Gleichstrommaschine kann man häufig die Wahrnehmung machen, daß die Glimmersegmente über der Lauffläche

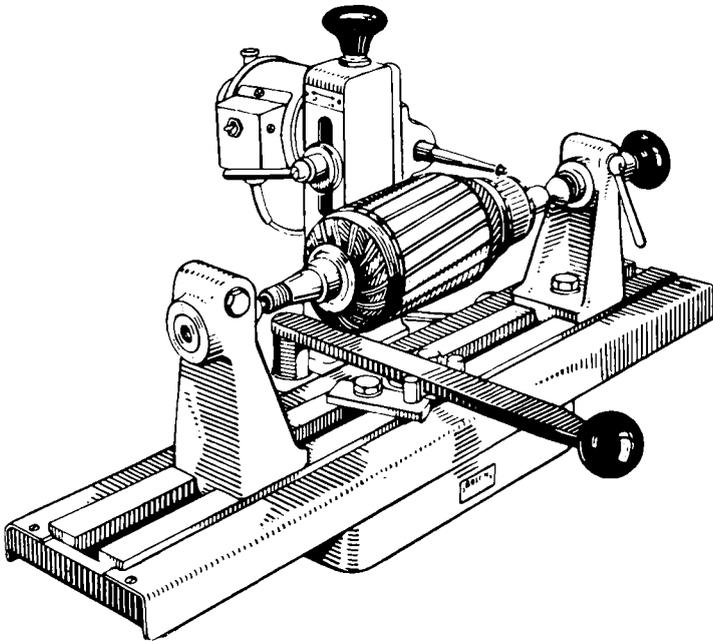


Abb. 52. Kollektorsäge (Werkbild: Bosch, Stuttgart)

hervorragten. Diese Erscheinung hat ihre Ursache in der ungleichen Härte des Glimmermaterials gegenüber der des Lamellenkupfers.

Das Kupfer wird schneller abgeschliffen als der Glimmer, so daß durch die vorstehenden Glimmersegmente die Kontaktverhältnisse zwischen den Bürsten und den Kollektorlamellen unsicher werden.

Es tritt dann starke Funkenbildung am Kollektor auf, durch die das Kupfer sehr schnell angegriffen wird.