

Das Elektromaschinenbauer- Handwerk

Instandsetzung, Neuentwicklung und Umbau
elektrischer Maschinen, Transformatoren
und Apparate

Von

Fritz Raskop

Zivilingenieur

DRITTE AUFLAGE



TECHNISCHER VERLAG HERBERT CRAM, BERLIN W 35

1949

Druck von Bodo Graefe, Berlin SW 68

Printed in Germany

Vorwort

Das vorliegende Fachbuch enthält eine umfassende Darstellung des Elektromaschinenbauerhandwerks.

Es führt den Lehrling in den Beruf des Elektromaschinenbauerhandwerkers ein und zeigt dem Gesellen und Meister die Wege auf, die zur Erreichung der in den gesetzlichen Ausbildungs- und Prüfungsvorschriften verankerten Ziele begangen werden können. In den Vordergrund seiner Darlegungen stellt der Verfasser die praktischen Arbeitsvorgänge bei der fach- und sachgemäßen Instandsetzung und Neuwicklung elektrischer Maschinen und Transformatoren. Die Reihenfolge der Ausführungen wurde so gewählt, daß sie dem Wege der kranken elektrischen Maschine vom Augenblick des Versagens bis zum erneuten, betriebsstüchtigen Aufbau nach erfolgter Instandsetzung entspricht.

Hierbei wurde bewußt auf eine schlichte, leichtfaßliche Darstellungsweise Wert gelegt und unter Verzicht auf entbehrliche theoretische Auseinandersetzungen der Grundsatz: „Aus der Praxis — für die Praxis“ hervorgehoben.

Bei der Beschreibung und bildlichen Wiedergabe von Geräten und Hilfsmitteln für die Herstellung von Wicklungen wurde davon ausgegangen, daß das Elektromaschinenbauerhandwerk zu den gestaltenden Handwerken zählt und daß der Lehrling und Geselle in der Lage sein muß, die zur Gestaltung und Formung seiner Werke erforderlichen Hilfsmittel gegebenenfalls selbst anzufertigen.

Über die rein handwerklichen Fähigkeiten und Kenntnisse hinaus verlangen die gesetzlichen Ausbildungs- und Prüfungsvorschriften u. a. den Nachweis ausreichender Kenntnisse in der Werkstoffkunde, in der Wirkungsweise und dem Aufbau elektrischer Maschinen aller Gattungen und Stromarten, in den handwerklichen Rechtsfragen (Werkvertrag, Mietvertrag, Lieferungs- und Gewährleistungsbedingungen usw.), in den gesetzlichen Bestimmungen über die Ausbildung der Lehrlinge (Werkstatt-Wochenbuch, Lehrlingszwischenprüfung) sowie in der organisatorischen Erfassung und Betreuung und in der Geschichte und Tradition des Handwerkes. Auf diese Forderungen wurde in Sonderabschnitten Rücksicht genommen.

Das vorliegende Fachbuch wendet sich nicht nur an den Lehrling, Gesellen und Meister im Elektromaschinenbauerhandwerk, sondern auch an den Lehrlingswart, an die Lehrkräfte der Fach- und Berufsschulen sowie an die Lehrgemeinschaften. Es hat die Aufgabe, eine durch die Neuordnung im Handwerk entstandene Lücke in der Fachbücherei des Elektromaschinenbauer-Handwerkers bestmöglichst zu schließen.

Leipzig, im November 1942.

Der Verfasser.

Vorwort zur zweiten Auflage

Schon wenige Monate nach Erscheinen war die erste Auflage vergriffen. Hieraus läßt sich die Feststellung ableiten, daß das „Elektromaschinenbauerhandwerk“ eine Lücke in der Fachbücherei des Instandsetzungsfachmannes schließt und damit dem bestandenem Bedürfnis Rechnung trägt.

Das bestätigt auch die anhaltende rege Nachfrage, die infolge kriegsbedingter Schwierigkeiten eine Zeitlang nicht befriedigt werden konnte. Die nunmehr vorliegende zweite Auflage wird diesen Zustand beseitigen.

Nach dem Zusammenbruch der deutschen Wirtschaft steht das Elektromaschinenbauerhandwerk vor ebenso wichtigen, wie schwierigen Aufgaben, die diesem Handwerk im Rahmen des Wiederaufbaues zu fallen. Mehr denn je wird man unter Verzicht auf Neuherstellung elektrischer Maschinen darauf angewiesen sein, beschädigte Maschinen durch fach- und sachgemäße Wiederinstandsetzung ihrem ursprünglichen Verwendungszweck in der Industrie, in der Verkehrs- und Landwirtschaft, im Gewerbe, Handwerk und Haushalt wieder zuzuführen.

Aus dieser Situation ergibt sich zwangsläufig die Notwendigkeit der beschleunigten Heranbildung einsatzfähiger Fach- und Hilfsfachkräfte. Diesen Aufgaben soll das vorliegende Fachbuch bevorzugt dienen. Es soll gleichzeitig Handwerksmeister und Lehrkräfte in der Ausbildungsverpflichtung entlasten und in den Händen der Gesellen und Lehrlinge zur beschleunigten Einsatzreife beitragen.

Im Juni 1946.

Der Verfasser.

Vorwort zur dritten Auflage.

Die im Jahre 1948 erschienene zweite Auflage des vorliegenden Fachbuches war wiederum in wenigen Monaten vergriffen. Da sich die Situation auf dem Gebiete der Instandsetzung und Neuwicklung nicht nennenswert geändert hat, so erscheint die dritte Auflage ohne textliche Änderungen. Die anhaltende lebhaftte Nachfrage kann daher nach kurzer Unterbrechung wieder befriedigt werden.

Der Verfasser dankt an dieser Stelle den Freunden der Raskopf-Fachliteratur für die anerkennenden Worte, die in laufenden Zuschriften der Zufriedenheit eines großen Leserkreises Ausdruck verleihen.

(22 a) Krefeld, im Juni 1949,
Westparkstraße 17.

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichnis

	Seite
Vorwort	3
Vorwort zur 2. Auflage	4
I. Teil	
Die Meisterlehre des Elektromaschinenbauerhandwerkers	9
Die Meisterprüfung im Elektromaschinenbauerhandwerk	11
II. Teil	
Einrichtung eines Instandsetzungswerkes und Fehlererscheinungen an elektrischen Maschinen	14
Ausführungsarten elektrischer Maschinen	17
Tabelle über die Kurzzeichen für die Schutzarten elektrischer Maschinen	18
Fehlererscheinungen an Gleichstrommaschinen	20
Prinzipschaltbilder und Klemmenbezeichnungen für Gleichstrommaschinen	23
Fehlererscheinungen an Drehstrommotoren	26
Prinzipschaltbilder und Klemmenbezeichnungen für Drehstrommotoren	28
Fehler, die bei Instandsetzungen von Drehstrommotoren entstehen	29
Tabelle über den einseitigen Luftspalt bei Drehstrommotoren	29
Stern/Dreieck-Schalter	29
Rundfunkstörungen durch elektrische Maschinen	30
Schaltbilder und Angaben für die Entstörung elektrischer Maschinen	31
Die Ursachen der Durchschläge bei Wicklungen elektrischer Maschinen	32
Die Wahl der Leiterumspinnung	32
Die Wahl der Nutenisolation	37
Tabelle über die Durchschlagsfestigkeit verschiedener Isolierstoffe	38
Die Wandstärke der Nutenisolation bei Spannungen bis 500 Volt	39
Die Herstellung der Nutenisolation für Hochspannungsmotoren	41
Die Ursache der Durchschläge bei Hochspannungswicklungen	44
Fahrbares Öl-Aufbereitungsgerät	46
Mangelhaft ausgeführte Eingangsspulen als Ursache von Betriebschäden	47
III. Teil	
Fehlerbestimmung und Abbau elektrischer Maschinen	52
Fehlerbestimmung	53
Sonderabhandlung über Funkenbildung bei Gleichstrommaschinen	61
Die eingängige Schleifen-(Parallel-)Wicklung	66
Die Reihenwicklung	67
Die künstlich geschlossene Reihenwicklung	70
Die Reihenparallelwicklung	71
Die mehrgängige Schleifen-(Parallel-)Wicklung	72
Funkenbildung bei Wendepolmaschinen	74
Mängel innerhalb der Ankerwicklung und des aktiven Eisens	78
Mangelhafter Zustand des Stromwenders (Kollektors)	79
Die Entfernung des Mikanites zwischen den Stromwenderstegen	80
Ungeeignete Beschaffenheit oder Anordnung der Bürstenhalter	81
Ungeeignetes Bürstenmaterial	82
Zusammenstellung der Ursachen und Arten des Bürstenfeuers	84
Einige Beispiele aus der Praxis	85
Der Abbau der kranken Maschine	91
Das Abziehen der Riemenscheibe	92
Das Ausbauen eines größeren Ankers	92
Das Abziehen der Kollektoren und Schleifringköpfe	93
Vorrichtung für den Abbau von Stabwicklungen	97

IV. Teil

Seite

Die Herstellung von Wicklungen an Gleich- und Drehstrommaschinen	98
Isolierstoffe	100
Elektro-Isolierlacke	100
Das Vakuum-Imprägnierverfahren im neuzeitlichen Elektromaschinenbau	101
Prinzipdarstellung einer Vakuum-Imprägnier- und Trockenanlage	101
Die Schaltungen der Gleichstrom-Ankerwicklungen	110
Handwicklungen	115
Formspulenwicklungen	123
Die Vorbereitung der Schaltenden bei Gleichstrom-Ankerwicklungen	133
Evolventenwicklungen	138
Stabwicklungen	139
Das Abdrehen der Kollektoren	146
Die Neubelegung der Kollektoren	147
Der Zusammenbau des Lamellenkörpers	152
Die Anfertigung der Feldmagnetspulen	154
Verfahren zur Feststellung der Polfolge bei Feldmagnetspulen	158
Die Herstellung der Wicklungen an Drehstrommotoren	159
Dreiphasen-Einschichtwicklungen mit Spulen ungleicher Weite	160
Desgl. mit Spulen gleicher Weite	162
Dreiphasen-Zweischichtwicklungen mit Spulen ungleicher Weite	163
Desgl. mit Spulen gleicher Weite	164
Lötverbindungen bei Drehstromwicklungen	170
Die verkettete Zweiphasen-Läuferwicklung	175
Desgl. Beispiel AEG. Typ D 50/4 (28 Nuten, 4polig)	177
Drehstromläufer-Stabwicklungen	179
Prinzipschaltbilder: Stern/Dreieckschaltung	182
Prinzipschaltbilder für 190/110, 220/127, 380/220, 500 Volt	183
Transformatoren	184
Mantel- und Kerntransformatoren	184
Auto-(Spar-)Transformatoren	186
Schaltgruppen von Drehstrom-Transformatoren	189
Stern/Zickzack-Schaltung	192
Die Parallelschaltung von Drehstrom-Transformatoren	192
Die Anwendung der Dunkelschaltung	195
Die Messung der Kurzschlußspannung bei Drehstrom-Transformatoren	196
Material und Wandstärke der Isolierstoffe für Transformatoren	197
Tabelle über die elektrische Durchschlagsfestigkeit von Preßspan	198
Tabelle über die elektrische Durchschlagsfestigkeit von Hölzern	199
Die Herstellung der Wicklungen an Transformatoren	199
Die Behandlung des Transformatoröls	201
Angaben für die Selbstherstellung eines Einphasen-Prüftransformators	205

V. Teil

Zusammenbau und Prüfung elektrischer Maschinen	206
Der Gleichstrom/Drehstrom-Einanker-Umformer	210
Tabelle für die Umrechnung kW in PS und umgekehrt (0,1—99 kW)	212
Der Leerlaufstrom bei Gleichstrommaschinen	214
Der Leerlaufstrom bei Drehstrommotoren	216
Die kleine Anker-Prüfeinrichtung nach Raskop	217
Anker-Prüfverfahren mit Ohmmeter	224
Tabelle über die Bezeichnungen der Leistungsschilder (DIN, VDE 2961)	227

VI. Teil		Seite
Drehstrom-Kollektormotoren		230
Drehstrom-Kollektormotoren mit Hauptschlußverhalten		230
Anlassen und Regeln der Drehzahl		231
Drehstrom-Kollektormotoren mit Nebenschlußverhalten		231
Läufergespeiste Drehstrom-Nebenschluß-Kollektormotoren		232
Ständergespeiste Drehstrom-Nebenschluß-Kollektormotoren		233
Die Scherbiusmaschine der BBC		236
Regelsatz mit Scherbiusmaschine		236
VII. Teil		
Maschinen für die Verbesserung des Leistungsfaktors		238
Synchronmaschinen		238
Asynchronmotor mit eigenerregter Erregermaschine		238
Asynchronmotor mit fremderregter Erregermaschine		240
Kompensierte Asynchronmotoren		240
Kondensatoren		243
VIII. Teil		
Sonderausführungen elektrischer Maschinen		244
Der Brunken-DOKA-Motor, DRP.		244
Beschreibung und Bauweise der Himmel-Doppelläufermotoren		247
Gleichstrom-Dreileitermaschinen		248
Der TORNADO-Einanker-Umformer		251
IX. Teil		
Werkstoffkunde im Elektromaschinenbau		261
Glimmer		261
Mikanit		262
Preßspan		262
Isolierlacke		263
Kunstharze		264
Kunstseide		265
Kunststoff-Folien		266
Künstlicher Kautschuk (BUNA)		269
Kunstharz-Preßstoffe		270
Isolierbänder und Hohlschläuche aus Mischpolymerisate		271
Glasgespinst-Isolation		272
Kupfer und Kupferdraht		274
Emaillie-Lackdraht		275
DEKAFOL-Dynamodraht		276
Aluminium		278
Cupaldrähte		279
Messing, Tombak, Bronze, Lötzinn		280
Schlaglot		281
Guß Eisen, Temperguß		281
Stahlguß		282
Transformatoröl		282
Kohlebürsten		283
Die Anwendung hitzebeständiger und die Wärmeabgabe fördernder Baustoffe als Mittel zum Fortschritt und Leistungssteigerung		285
Deutsche Werkstoffe im Elektromaschinenbau		295
Die Verwendung von Aluminium-Dynamodrähten im Elektromaschinenbau		296
Beispiel: SSW-Drehstrommotor Typ R 81 s — 1500		298
Tabelle über Leitwertgleichheit Kupfer/Aluminium		300

X. Teil		Seite
Rechtsfragen im Elektromaschinenbauerhandwerk		301
Der Werkvertrag gemäß BGB. und seine Bedeutung für das Elektromaschinenbauerhandwerk		301
Das Zustandekommen des Werkvertrages		302
Anfrage und Preisabgabe		302
Welche gesetzlichen Pflichten erwachsen dem Unternehmer aus dem Werkvertrag		303
Schadensersatz wegen Nichterfüllung des Werkvertrages		306
Rechtzeitige Fertigstellung und Ablieferung des Werkes		306
Rechte des Unternehmers im Werkvertrag		307
Die Pflichten des Bestellers (Auftraggebers)		308
Fälligkeit der Vergütung		308
Das Pfandrecht des Unternehmers		309
Der Unternehmer trägt die Gefahr bis zur Ablieferung des Werkes		310
Die Lieferungs- und Gewährleistungsbedingungen für die Instandsetzung und Neuentwicklung elektrischer Maschinen und Transformatoren		311
Gewährleistungsfrist		312
Wickeldaten		313
Eigentumsvorbehalt		314
Leihvertrag — Mietvertrag		316
Die Vermietung elektrischer Maschinen und Transformatoren		316
XI. Teil		
Wichtige Bestimmungen über die Ausbildung der Lehrlinge im Elektromaschinenbauerhandwerk		318
Das Werkstatt-Wochenbuch		318
Die Lehrlings-Zwischenprüfung im Elektromaschinenbauerhandwerk		323
Entwurf eines Ausbildungsplanes für die Berufsschulen des Elektromaschinenbauerhandwerkers		326
XII. Teil		
Die geschichtliche Entwicklung des deutschen Elektromaschinenbauerhandwerkes, seine organisatorische Erfassung und Betreuung		330
Organisationsplan 1920—1924		337
Organisationsplan 1924—1933		343
XIII. Teil		
Wege zu einer mengen- und gütemäßigen Leistungssteigerung im Elektromaschinenbauerhandwerk		359
Die Herabsetzung der Verlustzeiten		360
Mengenmäßige Leistungssteigerung		364
Der Handwerker-Wettkampf als Mittler zur Leistungssteigerung		367
Gütemäßige Leistungssteigerung		368
Übersicht über die für den Ausbau der Werkstätten in Betracht kommenden Maschinen, Geräte und Hilfsmittel, Transportgeräte usw.		370
Leichtmetall-Elektromotoren-Halbfabrikate		374
XIV. Teil		
Anhang: Muster eines Werkstattbuches		375
Muster von Werkstattzetteln		379

I. TEIL

Die Meisterlehre des Elektromaschinenbauer- handwerkers

Dem Elektromaschinenbauer-Handwerk fällt im Rahmen der Gesamtwirtschaft die Aufgabe zu, elektrische Maschinen und Transformatoren aller Größen, Gattungen und Spannungen, sowie deren Zubehör bei Eintritt eines Betriebsschadens wieder instandzusetzen.

Die hierbei anfallenden Arbeiten beziehen sich auf die Fachgebiete des allgemeinen Maschinenbaues (Schlosserei, Dreherei, Schmiede usw.) und der Starkstrom-Elektrotechnik.

Im Vordergrund steht hierbei das Sonderfachgebiet: „Die Bewicklung elektrischer Maschinen“ und im unlöslichen Zusammenhang hiermit „Die Fehlerbestimmung und Prüfung elektrischer Maschinen“.

Die fachliche Ausbildung des Elektromaschinenbauers erfolgt nach Maßgabe der vom Deutschen Handwerks- und Gewerbekammertag herausgegebenen:

1. „Fachlichen Vorschriften für die Meisterprüfung im Elektromaschinenbauer-Handwerk“,
2. „Fachlichen Vorschriften zur Regelung des Lehrlingswesens im Elektromaschinenbauer-Handwerk“,

an deren Ausarbeitung der Verfasser maßgeblich beteiligt war.

Eine zusammengefaßte Übersicht über den fachlichen Lehrstoff und seine Aufteilung auf 7 Halbjahre (3½ jähr. Lehrzeit) bietet der „Ausbildungsplan der Meisterlehre für Lehrlinge des Elektromaschinenbauer-Handwerkes“, welcher als Anhang den „Fachlichen Vorschriften“ beigefügt ist. Ergänzend hierzu hat der Verfasser einen Berufs-Ausbildungsplan für die Berufsschulen der Elektromaschinenbauer-Lehrlinge als Vorschlag ausgearbeitet und erstmalig in Heft 9/1940 der Fachzeitschrift „Die elektrische Maschine“, Seiten 104 bis 107, veröffentlicht¹⁾.

Für die Lehrlingsausbildung im Elektromaschinenbauer-Handwerk sind gemäß der „Fachlichen Vorschriften“ folgende Grundforderungen maßgebend:

¹⁾ Technischer Verlag Herbert Cram, Berlin W 35, Genthiner Str. 13.

a) **Metallbearbeitung:** Feilen, Nieten, Biegen, Richten und Verschrauben, Gewindeschneiden, Bohren, Drehen, Hart- und Weichlöten. Schmieden, Werkzeuginstandhaltung.

b) **Arbeiten an elektrischen Maschinen und deren Zubehör:** Anlasser, Regler, Controller, Widerstände, Schalter: 1. Fehlerbestimmung; 2. fachgemäßer Ab-, Auf- und Zusammenbau; 3. betriebsfertiger Anschluß.

c) **Herstellung von Wicklungselementen und vollständigen Wicklungen:** Schaltungen an Gleich-, Wechsel- und Drehstrommaschinen sowie Transformatoren, Herstellung einfacher Hilfsmittel wie Spulenformen, Richt- und Formwerkzeuge hierzu, Imprägnieren und Trocknen von Wicklungen.

d) **Prüfung elektrischer Maschinen** nach den VDE-Vorschriften, insbesondere Kennzeichnung instandgesetzter Maschinen gemäß § 84 REM (Regeln für Bewertung und Prüfung elektr. Maschinen).

Die Grundforderungen sind Arbeitsverfahren, Handfertigkeiten und theoretische Fachkenntnisse, deren Beherrschung für die ordnungsmäßige Ausübung des Elektromaschinenbauer-Handwerkes unerlässlich ist.

Im Rahmen der Meisterlehre spielen auch die **Lehrlings-Zwischenprüfungen** und die Führung des **Werkstatt-Wochenbuches** eine beachtliche Rolle. Nähere Einzelheiten hierüber enthalten die „Fachlichen Vorschriften“, die in keiner Werkstatt entbehrlich sind.

Nach Beendigung der Meisterlehre legt der in 3½-jähriger Lehrzeit ausgebildete Nachwuchs die Gesellenprüfung ab.

Auf dem Gebiete des Elektromaschinenbaues umfaßt diese Prüfung folgende Sparten:

a) Den Nachweis über ausreichende Kenntnisse im Aufbau und in der Wirkungsweise der normalen Gleich-, Wechsel- und Drehstrommotoren, Einphasen- und Drehstrom-Transformatoren sowie deren Zubehör.

b) Der Prüfling muß die unter a aufgeführten Maschinen und Transformatoren betriebsmäßig an das Netz (Prüffeld) anschließen und unter Beachtung der vorschriftsmäßigen Absicherung und Unfallverhütungsvorschriften in Betrieb nehmen können.

c) Nachzuweisen sind ferner ausreichende Kenntnisse über die normalen¹⁾ Wicklungsarten der Gleichstromanker (Schleifen-, Reihen- und Reihenparallelwicklungen sowie der Einphasen- und Drehstrom-Ständerwicklungen (Stern, Dreieckschaltung und Parallelschaltung von Wicklungsgruppen).

d) Der Prüfling muß den Aufbau und die Wirkungsweise der gebräuchlichsten Hilfsmittel für die Fehlerbestimmung an den unter a bis c genannten Maschinen kennen und unter Beachtung der Unfall-

¹⁾ Siehe auch Raskop, Der Katechismus, 8. Auflage, S. 96, 115, 128, 136, 150, 165, 175.

verhütungsvorschriften fachgemäß bei Fehlerbestimmungen anwenden können.

In der **Wickelei** sind ausreichende Handfertigkeiten in der Herstellung von Form- und Stabspulen für Läufer- und Ständerwicklungen sowie in der Herstellung einfacher Hilfsmittel hierfür und die Einstellung vorhandener, einfacher Wickelgeräte und Wickelmaschinen nachzuweisen. Hierzu gehört auch die¹⁾ Herstellung kontaktsicherer Lötstellen innerhalb der Wicklungen und an Kollektoren sowie das Aufziehen und Verlöten von Stahldrahtbandagen bei Läuferwicklungen.

Werkstoffkunde²⁾: Der Prüfling hat ferner ausreichende Fachkenntnisse über die Eigenschaften und Gütwerte sämtlicher für den Elektromaschinenbau in Frage kommenden Werkstoffe sowie der üblichen³⁾ Imprägnier- und Überzugslacke und deren fach- und sachgemäße Anwendung bei der Imprägnierung und Trocknung von Wicklungen nachzuweisen.

Über den rein fachlichen Teil hinaus werden von den Prüflingen ausreichende Kenntnisse über die ⁴⁾ Organisation des Handwerkes (Innung, Kreishandwerkerschaft, Handwerkskammer) verlangt. Die Prüflinge müssen u. a. auch einen Überblick über die Bedeutung des Elektromaschinenbauer-Handwerkes im Rahmen der Gesamtwirtschaft und seiner Tradition geben können.

Die Meisterprüfung im Elektromaschinenbauerhandwerk

Der Verfasser hat erstmalig im Jahre 1934 die Broschüre: „Die Meisterprüfung im Elektromaschinenbauer-Handwerk“ herausgegeben, die in 5. Auflage (1946) auf den derzeitigen Stand der Neuordnung im Handwerk gebracht wurde und die alles Wissenswerte über dieses Gebiet enthält.

Zusammen mit den vom Deutschen Handwerks- und Gewerbekammertag herausgegebenen „Fachlichen Vorschriften für die Meisterprüfung im Elektromaschinenbauer-Handwerk“ bieten diese Unterlagen einen vorzüglichen Überblick über die Anforderungen, die an einen Elektromaschinenbauermeister gestellt werden: Gleichzeitig sind in der erstgenannten Broschüre die Wege aufgezeigt, die zur Erweiterung des Fachwissens bis zur Prüfungsreife eingeschlagen werden können.

Die Stoffgebiete, die in der Meisterprüfungsordnung behandelt werden, decken sich naturgemäß mit denjenigen der Gesellenprüfungs-

¹⁾ Siehe Raskop, Der Katochismus, 8. Auflage, S. 26 und 32.

²⁾ Siehe Seite 261.

³⁾ Siehe Raskop, Isolierlacke, Technischer Verlag Herbert Cram, Berlin W 35.

⁴⁾ Siehe Seite 330.

ordnung. Indessen sind die Prüfungsaufgaben dem meisterlichen Können angeglichen und auf die Berufung des Meisters als Erzieher des handwerklichen Nachwuchses ausgedehnt. Von ihm werden u. a. auch eingehende Kenntnisse über die Organisation des Handwerkes, mit denen der Handwerker in näherer Fühlung steht, verlangt. Der Meisterprüfling muß auch über die das Handwerk betreffenden Rechtsfragen: Wirtschaftsrecht, Genossenschaftsrecht und Bürgerliches Recht, insbesondere über den ¹⁾ Werkvertrag, ²⁾ Mietvertrag und über ³⁾ Lieferungsbedingungen ausreichend unterrichtet sein.

Auf dem rein fachlichen Gebiet fällt dem Elektromaschinenbauermeister im Rahmen der Lehrlingsausbildung gemäß der „Fachlichen Vorschriften für das Lehrlingswesen“, S. 27, Absatz a. u. a. die Aufgabe zu, dem Lehrling ausreichende Kenntnisse über die verschiedenen Elektromaschinenarten und ihre Anwendungsgebiete zu vermitteln. Hinsichtlich der hier in Betracht kommenden Sonderausführungen: Drehstrom-Kollektormotoren, Blindstromkompensatoren, kompensierte Asynchronmotoren, Einankerumformer, Dreileitermaschinen usw. wird auf S. 230 bis 260 dieses Buches aufmerksam gemacht. Das Thema „Polumschaltbare Drehstrommotoren“ hat der Verfasser in der 8. Auflage seines „Katechismus für die Ankerwicklei“ S. 171 bis 192 ausführlich behandelt und durch Veröffentlichungen zahlreicher Wicklungsschaltbilder erläutert.

In derselben Ausgabe sind auf S. 150 bis 170 die Ein- und Zweischichten-Formspulenwicklungen für Drehstrommotoren, die in der Lehrlingsausbildung z. Z. im Vordergrund des Interesses stehen, in Wort und Bild beschrieben. Dem Lehrmeister liegt auch die Verpflichtung ob, den Lehrling in der Führung des ⁴⁾ „Werkstatt-Wochenbuches“ zu unterweisen und anzuhalten. Als wertvolle Neuerung in der Lehrlingsausbildung können weiter die gesetzlichen ⁵⁾ „Lehrlings-Zwischenprüfungen“ bezeichnet werden.

Die heutige Zeit und ganz besonders die vor uns liegende Zukunft verlangt gebieterisch die höchstmögliche Steigerung der beruflichen Leistungsfähigkeit des deutschen Menschen. Wir können es uns nicht mehr leisten, die je nach dem Grade der Begabung in dem Lehrling vorhandenen Veranlagungen durch eine unvollkommene Ausbildung z. T. unausgenutzt schlummern zu lassen. Die Einführung des neuen Handwerkertyps, des „Fachwerkers“ und der „Fachwerkerin“ unterstreichen die Absicht, jedem deutschen Menschen durch eine dem Grade seiner natürlichen Begabung entsprechende, berufliche Ausbildung die höchste Einsatzfähigkeit zu verleihen.

¹⁾ Siehe Seite 301.

²⁾ Siehe Seite 316.

³⁾ Siehe Seite 312.

⁴⁾ Siehe Seite 318.

⁵⁾ Siehe Seite 323.

Damit steigen auch automatisch die Ansprüche, die an voll- und überdurchschnittlich begabte Lehrlinge und Gesellen gestellt werden und gestellt werden müssen. Erst dann, wenn den Lehrlingen durch die Schaffung entsprechender Voraussetzungen während der Ausbildungszeit die Möglichkeiten geboten worden sind, ein der Veranlagung entsprechendes Können zu entwickeln, ist ein abschließendes Urteil über die Einsatzfähigkeit des Einzelnen und die Zweckmäßigkeit einer zusätzlichen Ausbildung denkbar.

Das deutsche Elektromaschinenbauer-Handwerk braucht z. Z. und noch mehr in der Zukunft vielseitig ausgebildete, hochwertige Fachkräfte, die die Führung im Kleinen und Großen auf Grund eines nachgewiesenen Könnens übernehmen und damit den eigenen und den vollen Einsatz der übrigen Fachkräfte dieser Sparte in möglichst vollkommener Weise sicherstellen können.

Auf dieses Ziel hat der Verfasser seine Fachbücher, Broschüren, Schaltbilder, Tabellen und sonstigen Hilfsmittel ausgerichtet. In der Zeit eines Rohstoffumbruchs von noch nicht abzusehenden Ausmaßen und Auswirkungen sowie unter dem Einfluß des entwicklungsmäßigen Fortschrittes auf allen Gebieten der Technik sind in verhältnismäßig kurzen Abständen verbesserte und erweiterte Neuauflagen der vom Verfasser herausgegebenen Fachbücher erschienen. Da diese auf gegenseitige Ergänzung ausgerichteten, verschiedenen Fachbücher an zahlreichen Stellen des Textes Schrifttumsnachweise mit Angabe der Seitenzahlen enthalten, so ist für die Besitzer älterer Auflagen in gegebenen Fällen die volle und kurzfristige Auswertung der Bücher erschwert. Es wird daher empfohlen, die eigene Fachbücherei durch die Anschaffung der jeweilig neuesten Auflage auf dem laufenden zu halten. In dieser Fachbücherei stellt die monatlich erscheinende Fachzeitschrift „Die elektrische Maschine“ eine unentbehrliche, ergänzende Einheit dar, weil nur eine regelmäßig, in kurzen Zeitabständen erscheinende Schrift über die wichtigsten Neuigkeiten aus dem Fachgebiet frühzeitig berichten und so die Fachgenossen stets auf dem laufenden halten kann.

In der Ausbildung der Lehrlinge und Gesellen und in der planmäßigen Fortbildung der Meister ist das Fachschrifttum nicht nur das beste, sondern auch das billigste und zeitsparendste Rüstzeug. Die richtige Auswertung der Fachbücher ist daher ein Gebot der Klugheit und ein Ausdruck des Willens, an dem stetigen Fortschritt im Handwerk zum Nutzen und Wohl der Gesamtheit mitzuarbeiten.

II. TEIL

Einrichtung eines Instandsetzungswerkes und Fehlererscheinungen an elektrischen Maschinen¹⁾

Die Instandsetzungswerke elektrischer Maschinen haben in den letzten Jahren einen bedeutenden Aufschwung erfahren. Aus kleinen, unscheinbaren Werkstätten sind leistungsfähige Unternehmen entstanden, die, mit guten maschinellen Einrichtungen ausgerüstet, für saubere und schnelle Ausführung sämtlicher Instandsetzungen weitgehende Garantie übernehmen können.

Außer **Ankerwicklei, Kollektorbau und mechanischer Abteilung** sind die meisten Instandsetzungswerke mit einem gut eingerichteten **Prüffeld** ausgestattet.

Die zuletzt genannte Einrichtung ermöglicht eine beschleunigte Feststellung des Fehlers und ist in Teil V dieses Buches ausführlich erläutert und veranschaulicht.

Die beschleunigte Feststellung der Ursache des Schadens an einer elektrischen Maschine ist ausschlaggebend für die Errechnung des Preises und für die Festsetzung der Lieferzeit. Das Prüffeld bildet daher ein wertvolles Glied des Instandsetzungswerkes.

Die Fehlerbestimmung an elektrischen Maschinen bildet die Grundlage für die Ausführung der Instandsetzungsarbeiten. Dieser Arbeit widme man daher die größte Sorgfalt.

Die Untersuchung einer beschädigten elektrischen Maschine soll sich nicht nur auf den **elektrischen Teil**, sondern stets auch auf den **mechanischen Teil** derselben erstrecken.

Um für die Wichtigkeit dieses letzten Satzes das richtige Verständnis zu finden, soll nachstehend ein Beispiel aus der Praxis folgen:

Zur Untersuchung kommt ein beschädigter 30-PS-Gleichstrommotor in das Prüffeld eines Instandsetzungswerkes.

Die Ankerwicklung und die Feldmagnete zeigen äußerlich keine Spuren des Fehlers. Nach oberflächlicher Prüfung der Wicklungen

¹⁾ Auf Seite 370 sind nähere Angaben über Maschinen, Geräte, Hilfsmittel und Meßgeräte für Instandsetzungswerke gemacht.

(siehe Teil V) findet man dieselben einwandfrei. Auch die Stellung der Kohlenbürsten (siehe Abb. 37) entspricht der Wicklungsart des Ankers, kurzum, an dem elektrischen Teil des Motors ist alles in Ordnung.

Bevor der Motor unter Strom gesetzt wird, läßt sich der Anker leicht von Hand drehen. Sobald aber der Strom eingeschaltet wird, läßt sich der Anker nicht mehr aus seiner Lage bringen. Da Schluß in den Drahtwindungen der Ankerwicklung angenommen wird, entschließt man sich zur Neuwicklung des Ankers.

Nach Fertigstellung der Wicklung und nochmaliger Prüfung des Motors tritt derselbe Fehler auf. Der hinzugezogene Erbauer des Motors kann aber auch nur feststellen, daß der Motor in seiner Wicklungs- und Schaltungsart keinen Fehler aufweist.

Nach nochmaliger eingehender Untersuchung findet man durch einen Zufall, daß der Lagerbock des Motors unmittelbar unter dem Lagerauge eingerissen ist. (Die Lagerböcke waren von dem Polgehäuse getrennt auf einer gemeinsamen Grundplatte aufgebaut.) Bei stromloser Maschine war der Riß nicht sichtbar, weil er durch die Spachtelung verdeckt wurde. Das Schwergewicht des Ankers drückte die zersprungenen Lagerteile zusammen. Sobald aber der Motor unter Strom gesetzt wurde, klemmte sich der Anker infolge des anziehenden Magnetismus zwischen den Polkernen fest.

Ein derartiger Fall tritt natürlich sehr selten auf, er kann als Sonderfall angesprochen werden. Durch eine planmäßig durchgeführte Untersuchung des mechanischen und elektrischen Teiles der Maschine wären sehr wahrscheinlich unnötige Arbeit, Materialverbrauch und Arbeitslöhne vermieden worden.

In keinem Falle soll man die Instandsetzung in Angriff nehmen, wenn nicht vorher einwandfrei die Ursache der Störung festgestellt wurde.

Ein zweites praktisches Beispiel möge diese Notwendigkeit bestätigen:

Ein Schlossermeister benutzt zum Antrieb seiner Werkzeugmaschinen einen Elektromotor. Die Stromzuführung zum Motor liegt wie allgemein üblich folgendermaßen:

Im Eingang des an der Straße liegenden Wohnhauses befindet sich hinter der Haustür der Kabelendverschluß mit Sicherungen des Elektrizitätswerkes. Unmittelbar über demselben ist die Verteilungsschalttafel mit den Zählern, Schaltern und Sicherungen angebracht. Von hier aus führt die Motorleitung in die hinter dem Wohnhaus liegende Werkstatt.

Eines Tages feuert plötzlich der Motor stark und die Sicherungen brennen durch. Der Schlossermeister ruft durch Fernsprecher einen Fachmann herbei, um die Störung zu beheben. Der Fachmann prüft mit Meßinstrumenten den Befund der Wicklung (siehe Teil III und V), findet aber keinen Fehler. Nach Ersatz der durchgebrannten Sicherungen arbeitet der Motor auch wieder funkenfrei.

Nach kaum drei Tagen tritt fast zur gleichen Tageszeit wie das erstmal derselbe Fehler ein. Der Fachmann untersucht nochmals Motor und Leitung, ohne einen Fehler zu finden. Der Sicherheit halber wird der Motor aber abgebaut, in die Instandsetzungswerkstatt gebracht und gründlich nachgesehen.

Nach überstandener Prüfung im Prüffeld wird der Motor wieder auf seinen alten Platz fachgemäß aufgebaut. Es dauert aber nicht lange, da tritt der alte Fehler wieder auf.

Nun entschließt sich der Fachmann, die ganzen Zuleitungen, die in Rohr verlegt waren, bis zur Schalttafel sorgfältig nachzusehen. An der Schalttafel angekommen, sieht er dann zu seinem Erstaunen, daß die mit Selbstschließer versehene Haustür, durch einen Bindfaden mit dem Erdkabelende verbunden, offen gehalten wird. Der durch den Selbstschließer verursachte Zug hatte mit der Zeit die Anschlußenden des Erdkabels in den Klemmen des Kabelkastens gelockert und jedesmal, wenn die Haustür durch diese Einrichtung offengestellt wurde, trat eine Unterbrechung des Stromflusses ein. Nach Öffnen des Kabelkastens zeigten sich auch starke Brandspuren an den Klemmen, die die Ursache der Betriebsstörung sofort erkennen ließen.

So könnten noch hundert andere Beispiele angeführt werden, die bestätigen, daß die Feststellung der Ursache eines Motorschadens in jedem Falle unbedingt erforderlich ist.

Nachstehend sollen nun die äußeren Merkmale sowie die **Fehlererscheinungen der kranken elektrischen Maschinen und deren Beseitigung** ausführlich behandelt werden.

A. Allgemeines

Um einen kurzen Überblick zur Beurteilung der Grundursache der Fehlererscheinungen vorangehen zu lassen, sollen zunächst die allgemeinen Gesichtspunkte, die bei der Wahl und Behandlung der elektrischen Maschinen von ausschlaggebender Bedeutung sind, angeführt werden.

1. Die Leistung der Maschine muß ihrem Verwendungszweck entsprechend festgelegt sein.

2. Die Ausführung der Bauart des Motors, ob offen, ventiliert oder gekapselt, muß dem Verwendungszweck entsprechend gewählt sein.

3. Der Motor muß sachgemäß aufgebaut, genau nach der Wasserwaage ausgerichtet und gegen Witterungseinflüsse geschützt sein.

4. Der Motor muß genau nach den **Behandlungsvorschriften** bedient werden.

Zur Erläuterung der vorstehenden Punkte sei noch erwähnt: Für die richtige Wahl der Elektromotoren muß man den Kraftverbrauch der anzutreibenden Arbeitsmaschinen wissen. Die Angaben

der Lieferanten entbehren in den meisten Fällen der nötigen Zuverlässigkeit. Man geht sicher, wenn man den Kraftverbrauch nach Angabe der Lieferanten um 15 bis 20 v. H. erhöht. Außerdem muß berücksichtigt werden, daß der Leerlauf der Transmission sowie die Kraftverluste durch Riemenübertragung, Vorgelege usw. einen zu beachtenden Faktor bei der Wahl der Größe des Motors bilden.

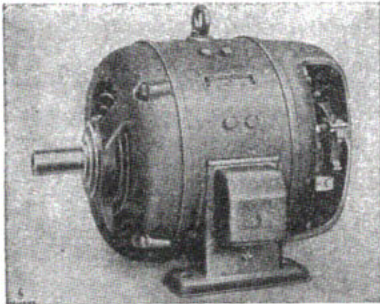


Abb. 1. Gleichstrommaschine, offene Ausführung (Abb. 1 bis 5 Werkbilder SSW).

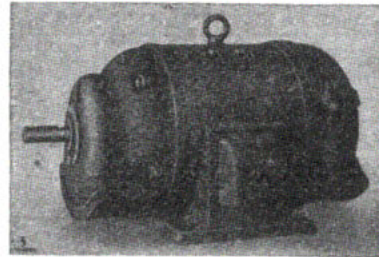


Abb. 2. Gleichstrommaschine, spritzwassergeschützte Ausführung.

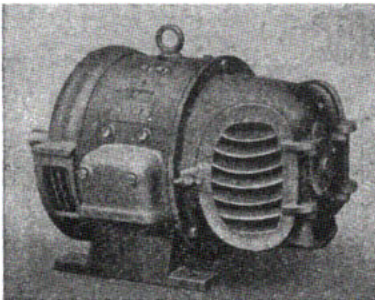


Abb. 3. Gleichstrommaschine, tropfwassergeschützte Ausführung.

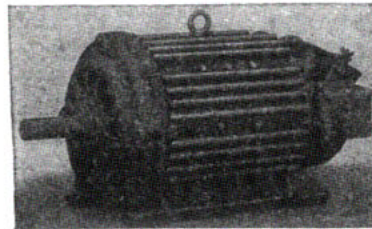


Abb. 4. Gleichstrommaschine, geschlossene Ausführung.

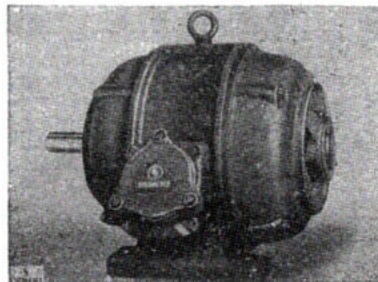


Abb. 5. Motor mit schlagwettergeschütztem Klemmkasten.

Die Bauart der elektrischen Maschinen richtet sich nach den Regeln für die Bewertung und Prüfung elektrischer Maschinen des VDE (REM 0530/XII. 37)¹⁾.

Hinsichtlich der Schutzarten unterscheidet man:

1. offene Ausführung (Bezeichnung: Po 0),
2. offene Ausführung mit Tropfwasserschutz (Bezeichnung: Po 1),
3. tropfwassergeschützte Ausführung (Bezeichnung: P 11),
4. spritzwassergeschützte Ausführung (Bezeichnung: P 12 und 22),
5. geschlossene Ausführung (Bezeichnung: P 33),
6. schwallwassergeschützte Ausführung (Bezeichnung: P 23),
7. Sonderausführungen, z. B. druckfest, schlagwettergeschützt und explosionsgeschützt.

Die geschlossenen Maschinen kommen in verschiedenster Ausführung zur Anwendung, z. B. mit Rohranschluß, mit Außenbelüftung usw.

Tabelle Nr. 1

Kurzzeichen für die Schutzarten von Maschinen

Berührungs- schutz (Schutz gegen Berührung spannungsführend. Teile)	Schutz gegen Ein- dringen fester Fremd- körper und Staub	Kenn- ziffer	Ohne Wasser- schutz	Tropf- wasser- schutz	Spritz- wasser- schutz (Regen- schutz)	Schwall- wasser- schutz	Sonder- bauarten	
			0	1	2	3		
Ohne Berührungs- schutz	Ohne Schutz gegen feste Fremdkörper	0	P 00	P 01				
Schutz gegen zufällige Berührung	Schutz gegen große feste Fremdkörper	1	P 10	P 11	P 12			
	Schutz gegen kleine feste Fremdkörper	2	P 20	P 21	P 22	P 23		
Schutz gegen absichtliche Berührung	Schutz gegen groben Staub	3				P 33		
Kenn- buchstaben für Sonder- schutzarten	Explosionsschutz						e	
	Schlagwetterschutz						m	
Kenn- buchstaben für erweiterte Sonderschutz- arten	Druckfeste Kapse- lung							i
	Plattenschutz							p

Ausschlaggebend für ein einwandfreies Arbeiten jeder elektrischen Maschine ist außer fachgemäßem Aufbau auch eine entsprechende Be-
handlung und Wartung derselben. Die Angaben darüber sind in

¹⁾ In Tabelle Nr. 1 sind die Kurzzeichen für die verschiedenen Schutzarten zusammengefaßt angegeben. In den Abb. 1 bis 5 sind einige Schutzarten bildlich dargestellt.

den von den Motorenfabriken bei jedem neuen Motor auf Verlangen kostenlos mitgelieferten Behandlungsvorschriften enthalten.

Alle diese Gesichtspunkte müssen bei einer kranken elektrischen Maschine kurz überdacht werden, damit die Grundursache der Störung richtig erkannt und behoben wird.

Es genügt ferner nicht, daß der Motor einschließlich der Zuleitungen und der damit verbundenen Schalt- und Anlaßapparate untersucht wird, auch die von ihm angetriebenen Arbeitsmaschinen können durch mechanische Beschädigungen usw. eine Überlastung des Motors und somit ein Versagen desselben zur Folge haben. Ohne Beseitigung dieser Ursache ist ein einwandfreies Arbeiten des Motors nach der vollzogenen Instandsetzung nicht zu erwarten.

Es möge wiederum ein Beispiel aus der Praxis als Beweis dienen: In einem Werk wird ein Blower (für die Erzeugung von Preßluft) von einem Elektromotor angetrieben. Der Blower hat den Zweck, 4 bis 6 Schmiedefeuer mit Winddruck zu versorgen und ist daher durch Rohrleitungen mit den Schmiedefeuern verbunden. In den Rohrleitungen sind Absperrventile eingebaut, durch die der Luftzutritt zu dem Feuer reguliert bzw. abgesperrt werden kann. Seit einigen Tagen sind einige Schmiedefeuer wegen anderweitiger Beschäftigung des Personals außer Betrieb gesetzt, die Ventile zu diesen Feuern sind daher geschlossen. Der Motor arbeitet aber mit unverminderter Kraft und folgerichtig erzeugt auch der Blower die gewöhnliche Menge gepreßter Luft. Da aber kein Sicherheitsventil in der Rohrleitung eingebaut ist und die restlichen Schmiedefeuer die Menge der vorhandenen Preßluft nicht verbrauchen können, so findet in der Rohrleitung eine zu starke Zusammenpressung der Luft statt. Die natürliche Folge davon ist eine erhöhte Arbeitsleistung des Motors, die um so mehr zunimmt, je höher der Luftdruck in den Rohrleitungen wird. Die Wicklung des Motors war in kurzer Zeit total verbrannt. Unglücklicherweise war der Motor und der Blower in einem Nebenraum aufgebaut, der selten von der Belegschaft betreten wurde. Es mangelte hier an sachgemäßem Aufbau, Wartung und technisch richtig ausgeführter Winddruckleitung.

Der Motor wurde von der Belegschaft des Werkes abgebaut und dem Instandsetzungswerk eingesandt. Nach vollzogener Instandsetzung fuhr der Fachmann selbst zu dem Kunden, um den Motor in Betrieb zu setzen. Durch Zwischenschalten eines Amperemeters (siehe Teil V) wurde die Überlastung sehr bald erkannt. Nach dem Öffnen der bisher geschlossenen Ventile arbeitete der Motor wieder normal. In die Windleitung wurde ein Sicherheitsventil eingebaut und somit die Ursache der Betriebsstörung behoben. Wäre der Motor planlos in Betrieb genommen worden, wären Kosten, Unannehmlichkeiten und Zeitverluste nicht zu vermeiden gewesen.

Aus den vorstehenden Ausführungen und Beispielen geht der große Wert der planmäßigen Untersuchung einer kranken elektrischen Maschine unzweideutig hervor. Es ist stets zu empfehlen, nicht mit der Zeit bei Fehlerbestimmungen zu sparen. Die fachgemäße Instandsetzung verlangt diese Notwendigkeit.

B. Die Fehlererscheinungen an elektrischen Maschinen

Jedem Fachmann, der mit der Fehlerbestimmung einer kranken elektrischen Maschine und deren Instandsetzung beauftragt wird, ist die Art der ärztlichen Untersuchung zu empfehlen. Wird der Arzt zu einem Kranken gerufen, so benutzt derselbe zur Aufzeichnung des Krankheitsbildes auch die Aussagen des Kranken über seinen Befund, den Ort der Schmerzen und die außergewöhnlichen Erscheinungen vom Augenblick der Erkrankung an.

Da die kranke elektrische Maschine als totes Gebilde die gewünschten Berichte nicht selbst abgeben kann, so läßt man sich alles Wissenswerte von dem Bedienungspersonal der Maschine berichten. Ein derartiger Bericht zeitigt manchmal ganz überraschende Erfolge, zumal wenn der Fachmann durch langjährige Tätigkeit eine gewisse Erfahrung zur Verfügung hat. Die Kenntnis der Fehlererscheinungen erleichtert die Bestimmung des Fehlers und verkürzt die gesamte Instandsetzung erheblich.

I. Gleichstrommaschinen

Die vorschriftsmäßig gebaute Gleichstrommaschine soll auch bei voller Belastung funkenfrei arbeiten, d. h. an dem Kollektor dürfen keine Funken zu sehen sein. Feuert eine Gleichstrommaschine stark, so ist dieselbe mit einem Fehler behaftet, und dieser Fehler kann eine mannigfache Ursache haben¹⁾.

1. Fehlererscheinung: Starkes Funken der Bürsten

Ursache	Abhilfe
a) Bürsten haben zu geringen Federdruck, daher mangelhafter Kontakt zwischen Bürste und Kollektor. Bürsten sind nicht eingeschliffen.	a) Neue Federn anfertigen und Bürsten nachsehen, ob dieselben sich etwa im Bürstenhalter klemmen. Bürste gegebenenfalls abfeilen. Bei entsprechender Konstruktion die Federn nur nachstellen. Bürsten einschleifen.
b) Der Kollektor ist unrund.	b) Kollektor abdrehen.
c) Exzentrische Lage des Ankers zu den Feldkernen infolge ausgeschlossener Lager usw..	c) Lagerschalen ersetzen. Anker im Polgehäuse zentriert lagern.

¹⁾ Siehe auch Sonderabhandlung über Funkenbildungen an Gleichstrommaschinen Seite 61.

- d) Glimmerisolation zwischen den Kollektorlamellen steht vor. Bürsten hüpfen.
- e) Motor oder Dynamo ist überlastet. Wicklung des Ankers wird heiß.
- f) Unterbrechung in der Ankerwicklung, in den meisten Fällen am Kollektornocken.
- g) Bürsten stehen nicht in der neutralen Zone, daher falsche Bürstenstellung.
- h) Schluß in den Drahtwindungen der Ankerwicklung, eine oder mehrere Spulen sind verbrannt. Der Anker macht weniger Umdrehungen, nimmt übermäßig hohen Strom auf (s. Teil V).
- i) Motor läuft mit geschwächtem oder gänzlich ohne Feld. Drahtwindungen einer oder mehrerer Feldspulen sind infolge Kurzschluß ausgeschaltet. Der Stromkreis ist infolge Drahtbruch in der Feldmagnetwicklung unterbrochen.
- k) Schlechte Lötstellen am Kollektor, daher mangelhafter Kontakt zwischen Ankerwicklung und Kollektor.
- l) Bei Maschinen mit Wendepolen ist Hilfswicklung falsch geschaltet.
- m) Motor ist nicht richtig angeschlossen. Am Anlasser sind die Drähte verwechselt. Widerstand ist unterbrochen.
- d) Kollektor abdrehen oder mittels geeigneter Schaber den vorstehenden Glimmer entfernen.
- e) Amperemeter zwischen der Hauptleitung schalten, Belastung hierdurch prüfen (s. Teil V). Durch Abschalten der Last Abhilfe schaffen.
- f) Der Fehler äußert sich durch eingefressene Isolation zwischen zwei Lamellen. Abhilfe durch Neuwicklung des Ankers, gegebenenfalls nur Anlöten des Drahtes, falls derselbe erreichbar ist (s. Teil III).
- g) Bürstentraverse auf den Markenstrich stellen (s. auch Teil V und Abb. 37 u. 38).
- h) Anker muß neu gewickelt werden. Kollektor prüfen, ob Lamellen Schluß haben. Schluß durch Ersatz der schadhaften Isolation beseitigen.
- i) Mit der Meßbrücke den Widerstand der einzelnen Spulen messen, die Spulen mit weniger als normalem Widerstand durch Neuwicklung ersetzen. Durchgang der einzelnen Spulen mit der Probierlampe oder dem Galvanometer prüfen, beschädigte Spulen ersetzen (s. auch Teil III).
- k) Schaltenden und Lamellen von Oxyden befreien. Lötstellen nachlöten. Bei verschraubten Kollektoren desgl. wie vorher, Schrauben nachziehen.
- l) Bei Motoren muß im Sinne der Drehrichtung auf einen Hauptpol ein gleichnamiger Hilfspol, bei einer Dynamo hingegen ein ungleichnamiger Hilfspol folgen (s. Wendepolmaschinen).
- m) Motor richtig mit Stromquelle, Schalt- und Anlaßapparate (nach Handbuch Lerch) verbinden, Anlasser instandsetzen.

- | | |
|---|---|
| n) Kollektor sitzt lose auf der Ankerwelle. Druckringe des Kollektors sind locker geworden. | n) Kollektor durch Keil und Schraube auf der Welle befestigen. Kollektor zusammenpressen. |
| o) Ankerwelle ist verbogen, der Kollektor schlägt daher. Motor vibriert beim Lauf. | o) Ankerwelle auf der Drehbank ausrichten, gegebenenfalls durch neue Welle ersetzen. |
| p) Ankerwicklung ist nicht zentriert, der ganze Motor vibriert beim Lauf. | p) Ankerwicklung auswuchten ¹⁾ . |
| q) Ankerwicklung ist falsch geschaltet. | q) Fehler nach Teil V feststellen und beseitigen. |

Die vorstehend besprochenen Ursachen zeitigen alle die gleiche Erscheinung nach außen hin. Die Feststellung des Fehlers ist daher verhältnismäßig schwer und erfordert in manchen Fällen erheblichen Zeitaufwand. Planmäßiges Vorgehen und zielbewußtes Arbeiten bringen mit den Erfahrungen den gewünschten Erfolg.

2. Fehlererscheinung: Mechanische Fehler

- | Ursache | Abhilfe |
|--|--|
| a) Ankernkern sitzt lose auf der Ankerwelle. Dieser Fehler tritt vornehmlich bei Kran- und Straßenbahnmotoren auf. | a) Ankernkern durch neuen Keil und seitliche Schrupfringe auf der Welle befestigen. |
| b) Anker hat in achsialer Richtung zuviel Spiel, schlägt zwischen den Lagern. Motor steht nicht in der Waage. | b) Spielraum zwischen den Lagern durch Versetzen der Lager regulieren. Motor mit der Wasserwaage genau horizontal stellen. Riemen untersuchen. |
| c) Lager werden heiß, Öl ist zu dickflüssig. Ölkammerschraube ist undicht, Ölstand ist zu niedrig. Schmierringe sitzen fest. | c) Schmierringe und Lager mit Benzin auswaschen, Ölkammerschraube mit Kupferring dichten, geeignetes Öl nachfüllen (siehe auch d). |
| d) Der Riemen ist zu straff oder zu locker gespannt. Riemen läuft nicht gerade. | d) Bei zu straffen Riemen wird das Lager heiß, zu lose Riemen schlüpfen. Riemen verlängern bzw. verkürzen, gegebenenfalls durch Verstellen des Motors auf den Spannschienen Abhilfe schaffen. Riemen beim Sattler gerade ausrichten. Motor parallel zur Transmission stellen (siehe auch Teil VI). |
| e) Öl tritt aus den Lagern, Spritzringe haben falsche Form. | e) In die Lagerschale kleine Löcher bohren, Lager abdichten. |

¹⁾ Siehe Auswuchtapparate S. 368.

Prinzipschaltbilder und Klemmenbezeichnungen
für Gleichstrommaschinen

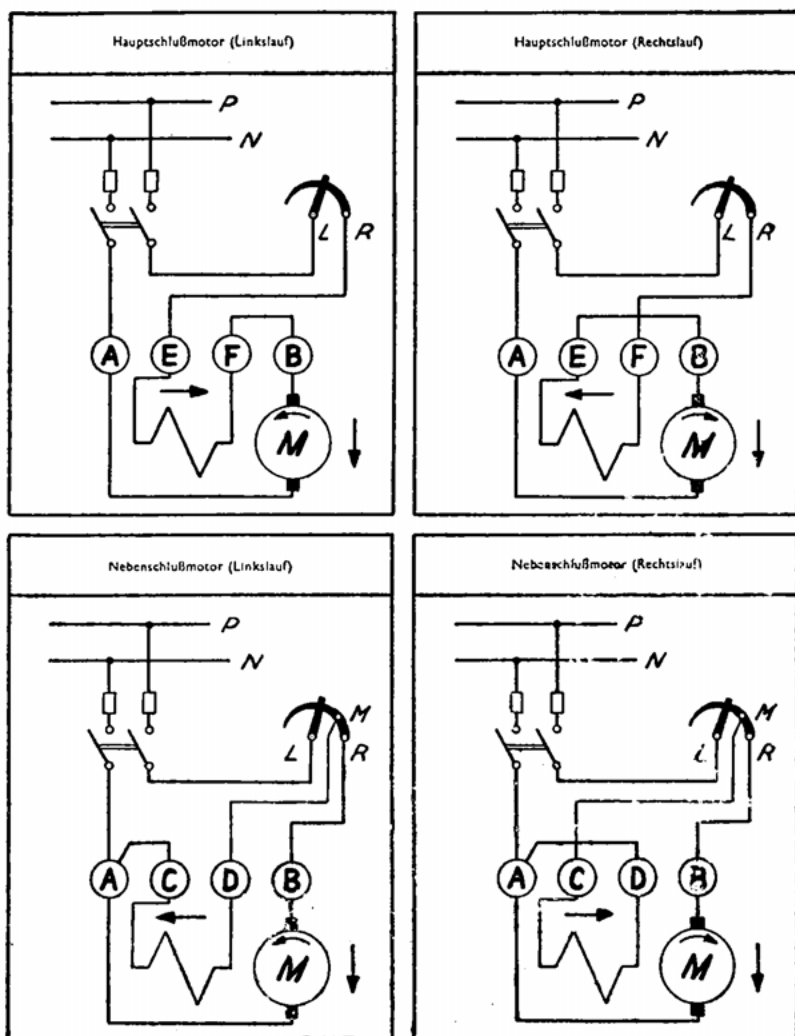


Abb. 6 bis 9

Prinzipschaltbilder und Klemmenbezeichnungen
für Gleichstrommaschinen

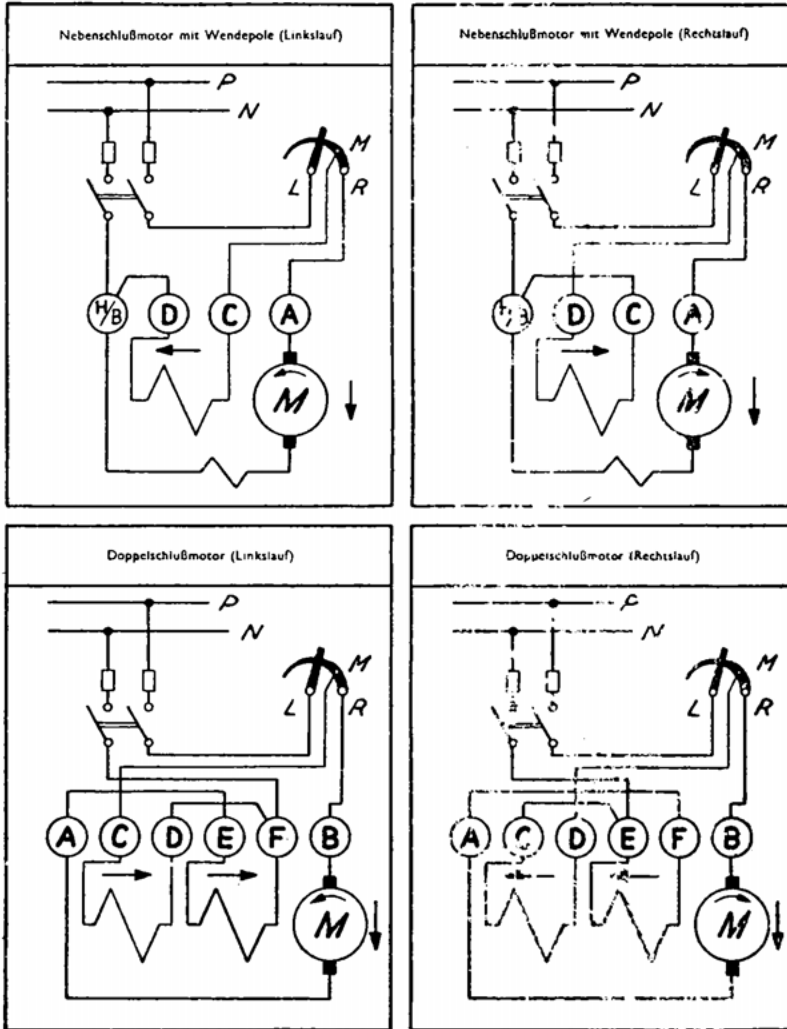


Abb. 10 bis 13

Prinzipschaltbilder-und Klemmenbezeichnungen
für Gleichstrommaschinen

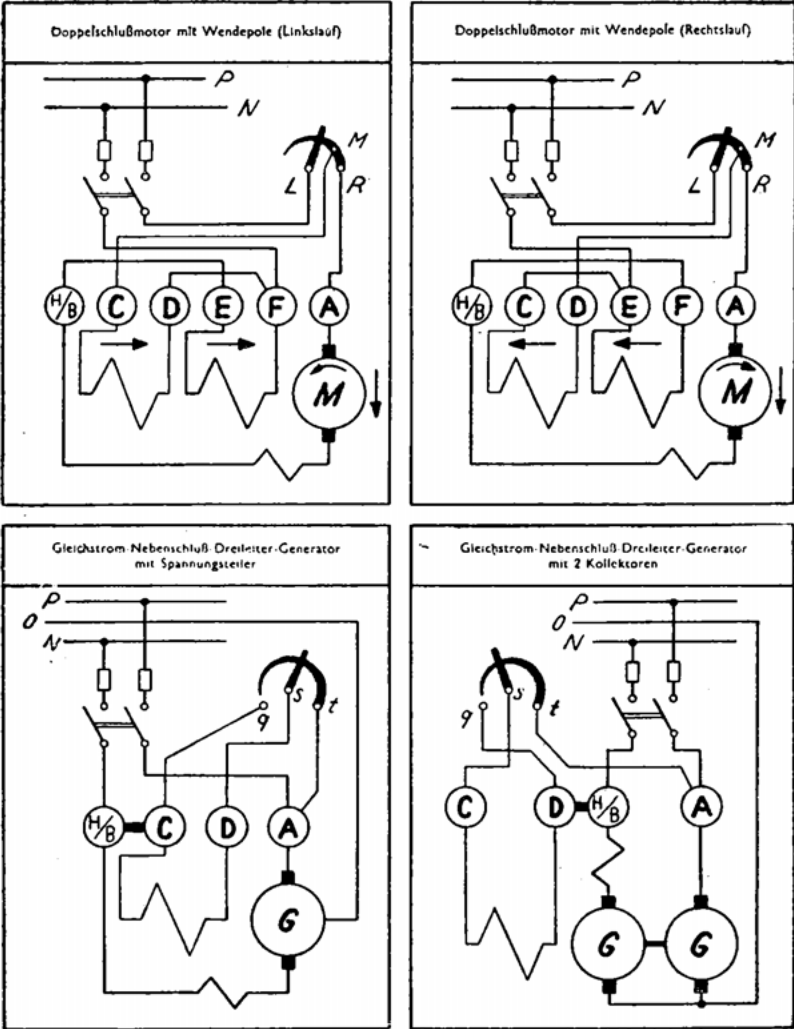


Abb. 14 bis 17

3. Fehlererscheinung: Der Motor läuft überhaupt nicht mehr

Ursache

- a) Wicklung hat leitende Verbindung mit dem Eisenkörper (Körperschluss). Sicherungen brennen durch.
- b) Anlasser ist unterbrochen, Sicherungen sind durch zu schnelles Einschalten des Anlassers durchgebrannt. Sicherungen sind zu schwach.
- c) Stromzufuhr ist unterbrochen.

Abhilfe

- a) Fehler nach Teil III und V feststellen, schadhafte Stelle isolieren oder Neuwicklung.
- b) Anlasser instandsetzen, Sicherungen ersetzen. Die Stärke der Sicherung ca. 50% höher als die auf dem Leistungsschild angegebene Stromstärke des Motors wählen.
- c) Mit der Prüflampe vor, hinter den Sicherungen und an den Klemmen des Motors Spannung prüfen.

Dynamo gibt keine Spannung

Ursache

1. Remanenter Magnetismus ist verloren oder Maschine ist infolge Kurzschluß umpolarisiert.
2. Anker hat andere Drehrichtung als bei der Probe im Prüffeld. Plus und Minus sind vertauscht.
3. Magnetwicklung unterbrochen, Regulierwiderstand unterbrochen.
4. Schlechter Kontakt zwischen Kollektor und Bürsten.
5. Ankerwicklung ist beschädigt.
6. Falsche Bürstenstellung. Maschine feuert stark.
7. Ankerwicklung ist unterbrochen.
8. Dynamo gibt nicht die volle Spannung, erregt sich auch nur mit fremder Stromquelle. Schluß in der Ankerwicklung.

Abhilfe

1. Durch fremde Stromquelle die Maschine magnetisieren, Stromrichtung dabei beachten.
2. Nebenschließenden miteinander vertauschen.
3. Beschädigte Magnetspule instandsetzen. Regulierwiderstand instandsetzen.
4. Kollektor abschleifen, Bürsten einschleifen, Federn nachstellen.
5. Wicklung nach Teil III u. V untersuchen, entsprechende Abhilfe schaffen.
6. Bürsten nach Teil V einstellen.
7. Fehler nach Teil V feststellen. Abhilfe wie bei gleicher Ursache eines Motors.
8. Fehler nach Teil V feststellen, Abhilfe wie vor.

II. Drehstrommotoren

Merkmale und Ursachen

1. Bei Motoren mit Kurzschlußanker erhitzt sich der Läufer, hat nicht die vorschriftsmäßige Drehzahl und zieht nicht durch. Die Stäbe in der Wicklung haben losen Kontakt, sie müssen vernietet und gelötet sein.

Abhilfe

1. Läufer ausbauen, Lötstellen sauber machen, Stäbe vernieten und nachlöten,

- 2 Ständerwicklung oder Läuferwicklung ist heiß, Motor macht nicht die normalen Umdrehungen und nimmt zu hohen Strom auf (Phasenschluß in der Ständer- oder Läuferwicklung).
2. Phasenschluß ausprüfen (s. Teil III), Schluß durch Instandsetzung bzw. Neuwicklung beseitigen.
3. Motor macht starkes Geräusch, nimmt übermäßig hohen Strom auf und wird heiß. (Lager sind ausgeschliffen, der Läufer berührt an einer Stelle das Ständereisen.)
3. Lager ausbauen, dieselben ersetzen. Wicklungen auf Körperschlus untersuchen. Die Bleche im Ständer und Läufer gegebenenfalls sorgfältig ausrichten.
- 4 Motor vibriert, läuft unruhig. (Läuferwicklung ist nicht zentriert, Läuferwelle ist verbogen. Motor ist nicht sachgemäß aufgebaut.)
- 4¹⁾ Läuferwicklung auswuchten. Läuferwelle auf der Drehbank richten. Motor in die Waage stellen, fest aufbauen.
5. Motor läuft einwandfrei an, brummt aber laut, sobald die Bürsten abgehoben sind. (Die Kurzschlußvorrichtung hat schlechten Kontakt.)
5. Kurzschlußvorrichtung ausbauen und instandsetzen.
6. Motor läuft ohne Riemen einwandfrei, brummt aber bei aufgelegtem Riemen. (Lagerverhältnisse sind nicht in Ordnung. Lager sind ausgeschliffen oder sitzen lose im Lagerschild. Der Läufer berührt das Ständereisen.)
6. Neue Lager einbauen oder nur Lagerschalen im Lagerschild befestigen, Zustand der Wicklungen prüfen.
7. Motor läuft ohne Betätigung des Anlassers bereits beim Einschalten der Ständerwicklung an. (Schleifringe haben Schluß. Kurzschlußvorrichtung hat mechanische Fehler, schaltet sich beim Auflegen der Bürsten nicht aus. Wicklung des Läufers hat Schluß. Anlasser ist nicht in Ordnung.)
7. Wicklung des Läufers von den Schleifringen abklemmen. Stern in dieser Wicklung öffnen. Schleifringe untersuchen, falls vorhanden Schluß beseitigen. Desgl. Läuferwicklung untersuchen, falls vorhanden Schluß beseitigen. Anlasser in Ordnung bringen (s. Teil III). Falls Anlasser keinen Nullkontakt²⁾ hat, hierauf Bedacht nehmen.
8. Motor läuft nicht an. (Wicklung im Ständer oder Läufer unterbrochen, Sicherungen sind durchgebrannt. Anlasser ist unterbrochen.)
8. Unterbrechnung nach Teil III feststellen, entsprechend Abhilfe schaffen.
9. Mechanische Fehler.
9. Siehe mechanische Fehler bei Gleichstrommaschinen.

¹⁾ Siehe Auswuchtapparate S. 368.

²⁾ Nach den neuesten Vorschriften dürfen Drehstrom-Anlasser keine Nullstellung haben.

Prinzipschaltbilder und Klemmenbezeichnung für Drehstrommotoren

Die Klemmen eines Drehstrommotors sind bezeichnet mit:

U V W	Anfänge der drei Ständerwicklungen,
X Y Z	Enden der drei Ständerwicklungen,
u x/y v	Enden einer zweiphasigen Läuferwicklung,
u v w	Enden einer dreiphasigen Läuferwicklung.

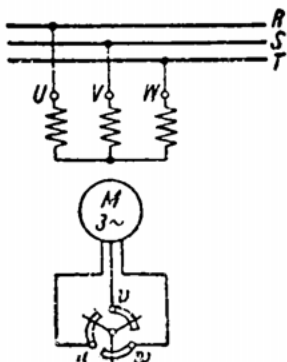


Abb. 18. Drehstrommotor mit dreiphasigem Schleifringläufer u. Sternschaltung des Ständers.

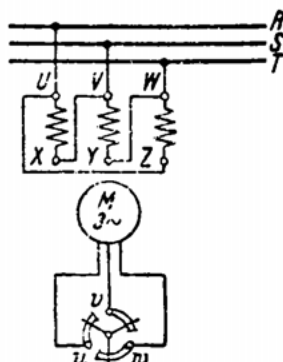


Abb. 19. Drehstrommotor mit dreiphasigem Schleifringläufer - und Dreieckschaltung des Ständers.

Anlasser.

Die Klemmen eines Drehstromanlassers haben folgende Bezeichnungen:

Ständeranlasser mit 3 Klemmen:	X Y Z	Anschlüsse für den Motor,
Ständeranlasser mit 6 Klemmen:	R S T	Anschlüsse für das Netz.
	U V W	Anschlüsse für den Motor,
Läuferanlasser:	u x/y v	für zweiphasige Läufer,
	u v w	für dreiphasige Läufer.

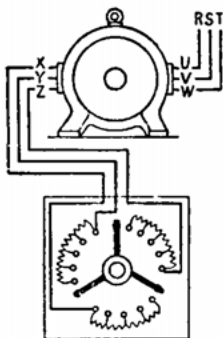


Abb. 20. Ständeranlasser mit drei Klemmen für Drehstrommotoren mit Kurzschlußläufer.

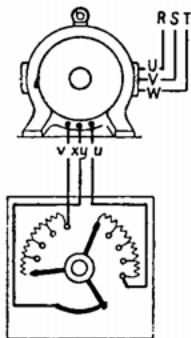


Abb. 21. Anlasser für Drehstrommotoren mit zweiphasigem Läufer.

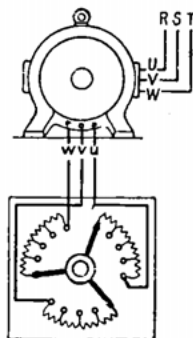


Abb. 22. Läuferanlasser für Drehstrommotoren mit dreiphasigem Läufer.

Fehler, die bei Instandsetzungen von Drehstrommotoren durch Vergrößerung des Luftspaltes und der Nutenöffnung hervorgerufen werden

Der Luftabstand zwischen Ständer und Läufer ist bei Drehstrommotoren aus wichtigen Gründen so klein wie möglich gehalten. Einen Überblick über die ungefähre Größe des Luftspaltes gibt nachstehende Tabelle:

Läuferdurchmesser in Millimeter	Einseitiger Luftspalt in Millimeter
100	0,3
100 bis 150	0,4
150 bis 200	0,45
200 bis 300	0,5
300 bis 400	0,6
400 bis 500	0,75
über 500	1,0

Wie bereits an anderer Stelle erwähnt, ist in den weitaus meisten Fällen die Ursache eines Betriebsschadens an Drehstrommotoren auf die Lagerabnutzung zurückzuführen. Der notwendig geringe Luftspalt zwischen Ständer und Läufer setzt einwandfreie Lagerverhältnisse voraus, damit eine Berührung zwischen dem umlaufenden und feststehenden Teil des Motors nicht eintritt. Mit der Betriebszeit schließen jedoch die Lagergehäuse ganz besonders in der Richtung des Riemenzuges aus, und wenn die Lager nicht früh genug ersetzt werden, tritt eine Berührung zwischen Ständer und Läufer ein, die in wenigen Sekunden einen mehr oder weniger umfangreichen Betriebsschaden zur Folge hat.

Es ist nun wiederholt beobachtet worden, daß in solchen Fällen der Luftspalt zwischen Ständer und Läufer durch Abdrehen des Läufers vergrößert wurde, um eine Wiederholung des Betriebsschadens auf möglichst lange Zeit hinauszuschieben. Vor derartig unsachgemäßen Arbeiten muß dringend gewarnt werden. Durch Vergrößerung des Luftspaltes werden die ursprünglichen elektrischen Werte des Motors erheblich herabgesetzt bzw. der Motor wird praktisch unbrauchbar, weil der Lei-

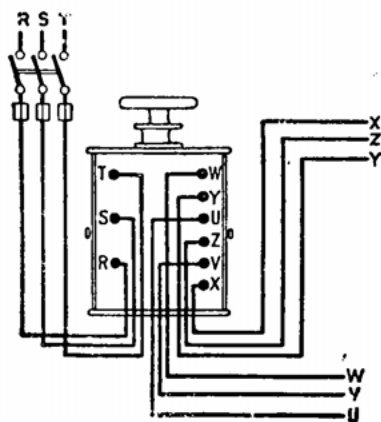


Abb. 23. Stern-Dreieckschalter.

stungsfaktor und Wirkungsgrad erheblich verschlechtert, der Leerlaufstrom und die Erwärmung höher wird.

Wird ein derartiger Motor zur Instandsetzung gegeben, so muß das ganze Läuferblechpaket ersetzt und der ursprüngliche Luftspalt (siehe Tabelle über die Größe des Luftspaltes) wiederhergestellt werden.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei Vergrößerung der Nutenöffnung. Es ist eine üble Angewohnheit in Fällen, wo die einzelnen Drähte durch den Nutenschlitz in die Nute eingeführt werden müssen, die vorhandene Nutenöffnung durch Auffeilen zu vergrößern, um die Wickelarbeit zu erleichtern. Derartige Veränderungen des aktiven Eisens haben ebenfalls eine Herabsetzung der elektrischen Werte zur Folge und sind unter allen Umständen zu unterlassen.

Kommt es beispielsweise bei Umwicklungen für andere Spannungen usw. vor, daß der Querschnitt des Wickeldrahtes stärker gewählt werden muß, so ist derselbe gegebenenfalls in zwei parallele Leiter aufzuteilen, damit der Draht noch durch den Nutenschlitz geführt werden kann. Durch Parallelschaltung der zu einer Phase gehörenden Wicklungsgruppen läßt sich ebenfalls der Leiterquerschnitt unterteilen. (Siehe Raskop: Der Katechismus für die Ankerwicklei, 8. Aufl., S. 125 bis 128.)

Rundfunkstörungen durch elektrische Maschinen

Durch die bei Gleichstrommaschinen häufig auftretende Funkenbildung am Kollektor wird der Rundfunkempfang in erheblicher Weise gestört.

Derartige Störungen können nur ganz selten durch Abschmiegeln oder Abdrehen des Kollektors beseitigt werden. Auf jeden Fall ist stets für einen möglichst funkenfreien Lauf der Gleichstrommaschinen durch Anwendung der unter Abschnitt „Gleichstrommaschinen“ angegebenen Mittel zu sorgen und darüber hinaus sind Kondensatoren parallel zu den Maschinenklemmen zu schalten. Durch Versuche sind die passenden Kondensatoren zu ermitteln.

Bei kleinen Maschinen helfen auch Drosselspulen von etwa 60 Windungen, die man zwischen Schalter und Maschine in die Zuleitung schaltet. Der Windungsdurchmesser soll ca. 8 cm betragen. Die Drahtstärke richtet sich nach der Maschinenleistung bzw. nach dem Querschnitt der Zuleitung (Abb. 24 bis 29).

Die Antennen sind stets rechtwinklig zu den Starkstromleitungen zu verlegen. In besonders schwierigen Fällen ist auf die Erdleitung zu verzichten und ein sogenanntes Gegengewicht, d. i. eine zweite Antenne, als Ersatz für die Erdleitung anzubringen.

In dem vorstehenden Teil sind die Fehlererscheinungen, deren besondere Merkmale, Ursachen und Abhilfe kurz angedeutet und besprochen. Als Ergänzung hierfür gilt das im Teil II und V Gesagte.

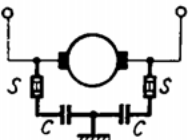
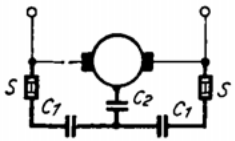
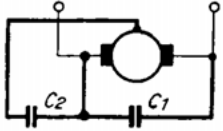
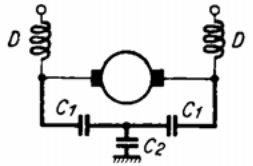
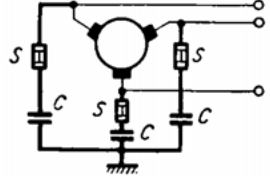
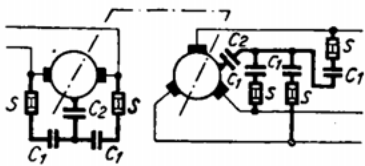
Störer	Entstörungs-Schaltung	Größe der Störschutz-Mittel
<u>Störende rotierende Maschinen</u>		
Motor stationärer Bauart		$C = 0,5 \text{ bis } 4 \mu\text{F}$ $S = \text{Sicherung}$
Transportabler Motor		$C_1 = 0,1 \text{ bis } 2 \mu\text{F}$ $C_2 = 5000 \text{ cm}$ $S = \text{Sicherung}$
Transportabler Kleinmotor		$C_1 = 0,02 \text{ bis } 0,1 \mu\text{F}$ $C_2 = 5000 \text{ cm}$
Motor stationärer Bauart		$C_1 = 0,5 \text{ bis } 4 \mu\text{F}$ $C_2 = 5000 \text{ cm}$ $D = \text{HF-Drossel}$
Drehstrom- Motor (mit Kollektor oder Schleifringen)		$C = 0,5 \text{ bis } 4 \mu\text{F}$ $S = \text{Sicherung}$ Ev. wie bei 12 HF-Drosseln in die Netzleitung legen.
Einanker- Umformer oder Motor-Generator		$C_1 = 0,1 \text{ bis } 2 \mu\text{F}$ $C_2 = 5000 \text{ cm}$ $S = \text{Sicherung}$

Abb. 24 bis 29

Die Ursachen der Durchschläge bei Wicklungen an elektrischen Maschinen und Transformatoren

Bei der notwendig gedrängten Bauart der elektrischen Maschinen und Transformatoren darf es als unmöglich bezeichnet werden, Durchschläge, d. h. Spannungsübergänge zwischen den einzelnen Windungen einer Wicklung und zwischen Wicklung und Eisen (Erde) gänzlich zu verhindern. Der Erbauer einer elektrischen Maschine hat in erster Linie die Aufgabe, mit möglichst geringem Aufwand an Materialien eine in jeder Beziehung hochwertige und verkaufsfähige Maschine herzustellen. Will er diese Forderung erfüllen, so muß er das aktive Material restlos ausnutzen, d. h. hoch beanspruchen und das passive Material auf ein möglichst geringes Gewicht halten.

Die in Erfüllung dieser Forderungen erzielten Abmessungen der Maschinen haben einen Grenzwert, der, abgesehen von der Güte des Materials, nicht zuletzt durch die Spannung gegeben ist, mit welcher die Maschine betrieben werden soll. Bei der Bemessung des aktiven Eisenmaterials hat der Erbauer den Raum für die Unterbringung der Wicklung so zu bemessen, daß die einzelnen Leiter gegeneinander und gegen Eisen (Erde) genügend gegen Durchschlag (Spannungsübergänge) gesichert sind.

Nachstehend sollen nun die Ursachen sowie die Mittel zur Hintanhaltung der Durchschläge einer Betrachtung unterzogen werden.

A. Die Wahl der Leiterumspinnung

Die Umspinnung oder Bewicklung eines elektrischen Leiters für Maschinen- und Transformatorenwicklungen mit Baumwolle, Seide oder Papier bietet allein keine Gewähr für die Betriebstüchtigkeit einer Wicklung. Die zur Anwendung kommenden Umspinnungs- bzw. Bewicklungsmaterialien (Baumwolle, Seide, Papier) sind mehr oder weniger hygroskopisch (aufsaugfähig) und dienen in erster Linie als Lackträger. Erst mit hochwertigem Isolierlack getränkt und restlos durchgetrocknet, kann man von einer Isolierfähigkeit der Umspinnung bzw. Bewicklung sprechen. Diese Tatsache ist leider noch nicht bei allen Fachleuten bekannt. Es genügt also keineswegs, daß nur ein Teil der Wicklungen mit Isolierlack getränkt wird (etwa nur außerhalb der Nuten), wie dies durch einfaches „Anstreichen“ der Wicklung erreicht wird.

Ohne auf den Wert des Isolierlackes und die richtige Verarbeitung desselben an dieser Stelle näher einzugehen, sei nochmals ganz besonders darauf aufmerksam gemacht, daß in erster Linie der Isolierlack nicht die Umspinnung bzw. Bewicklung des Leiters für die Beurteilung der Isolierfähigkeit in Frage kommt.

Die Baumwollumspinnung der Leiter wird mit verschiedenen Fadenstärken ausgeführt. Praktisch kommen hierfür die Fadenstärken Nr. 200, 160, 100 und 60 in Frage. Entsprechend der Feinheit des Fadens

ist die Zunahme der Umspinnung stärker oder schwächer und beträgt bei einfacher Umspinnung von Runddrähten

Runddrähte
Tabelle I
Zunahme bei 1 × Bw.-Umspinnung
Fadenstärke

Nr. 200	Nr. 160	Nr. 100	Nr. 60
0,08 mm	0,10 mm	0,13 mm	0,17 mm

und bei zweifacher Umspinnung

Runddrähte
Tabelle II
Zunahme bei 2 × Bw.-Umspinnung

bl. Draht-Durchmesser	Fadenstärke	Zunahme des Draht-Durchmessers
0 1—0,5 mm	Nr. 200	0,16 mm
0 5—1 "	" 160	0,20 "
1—2 "	" 100	0,26 "
2—5 "	" 60	0,34 "

Die einfache Baumwollumspinnung kommt nur für Nebenschluß-Magnetwicklungen bei Gleichstrommaschinen in Frage und auch nur dann, wenn es sich um dünne Drähte und beschränkten Wickelraum handelt. In allen anderen Fällen ist der einfach mit Baumwolle umspinnene Draht von der Verwendung für Wicklungen an elektrischen Maschinen auszuschließen. Hierfür haben nur die 2 × Bw. umspinnenen bzw. umklöppelten Drähte praktische Bedeutung.

Die Leiter rechteckigen Querschnittes werden bis etwa 200 qmm nach Tabelle III 2 × Bw. umspinnen.

Leiter rechteckigen Querschnittes
Tabelle III
Zunahme bei 2 × Bw.-Umspinnung

Kleinste Querschnittseite	Fadenstärke	Gesamt-Zunahme der kleineren und größeren Querschnittseite
0,5— 1 mm	Nr. 160	0,35—0,30 mm
1— 4 "	" 100	0,45—0,40 "
4—10 "	" 60	0,60—0,65 "

Wenn die umspinnenen Leiter bei der Herstellung der Wicklung mechanisch besonders stark in Anspruch genommen werden (z. B. Durchzugs-Ständer- und Läuferwicklungen bei Drehstrommotoren), so

wird das Leitermaterial auch $1 \times \text{Bw.}$ mit 160 umspinnen und außerdem einmal umklöppelt. Die Zunahme beträgt alsdann bei Runddrähten ca. 0,6 bis 0,7 mm.

Rechteckige Litzenleiter, die bei Drehstrom-Ständerwicklungen für hohe Stromstärken und hohe Maschinenleistungen vielfach verwendet werden, erhalten in der Regel eine einfache Umspinnung Nr. 60 und Umklöppelung. Die Zunahme einer Querschnittseite beträgt dann bei Querschnitten von ca. 9 bis 30 qmm = 1,0 mm, bei ca. 30 bis 90 qmm = 1,1 mm.

Bei einfacher Umklöppelung von Litzenleitern wird mit einer Zunahme von 0,6 bis 0,65 mm gerechnet.

Aus Vorstehendem ist ersichtlich, daß die bestmögliche Ausnutzung des Wickelraumes in erster Linie von der Stärke der Umspinnung bzw. Bewicklung der Leiter abhängig ist. Die Zunahme der Leiterisolation kann durch Verwendung verschiedener Fadenstärken stärker oder schwächer gewählt werden. Beispielsweise erhält ein Runddraht von 1,2 mm $\varnothing$ im allgemeinen eine $2 \times \text{Bw.}$ -Umspinnung mit Fadenstärke Nr. 100. Die Zunahme beträgt 0,26 mm. Liegen die Raumverhältnisse für die Unterbringung der Wicklung in das aktive Eisen ungünstig, d. h. ist wenig Platz in den Nuten vorhanden, so ist es nicht zweckmäßig, die Leiter mit Gewalt in den vorhandenen Wickelraum einzupressen oder die Nutenisolation schwächer zu wählen, als die Betriebsspannung usw. erfordert. Die Betriebstüchtigkeit einer derartigen Wicklung wird zweifellos beeinträchtigt, weil die mechanische Beanspruchung der Umspinnung zu einer Beschädigung (Durchschlag) führen kann.

In solchen und ähnlichen Fällen wählt man zweckmäßig eine $2 \times \text{Bw.}$ -Umspinnung mit geringerer Fadenstärke. Unter Beibehalt des Beispiels 1,2 mm Runddraht beträgt die Zunahme mit 160er Baumwolle nur 0,20 mm. Handelt es sich z. B. um die Umwicklung eines Gleichstromankers von 110 auf 440 Volt Spannung bei gleichbleibender Leistung des Motors und unter Beibehalt der Wicklungsart, so beträgt die Leiterzahl bei 440 Volt viermal soviel als bei 110 Volt. Allerdings verringert sich der Querschnitt des Leiters im umgekehrten Verhältnis, wie die Spannungen zueinander. Es darf aber nicht vergessen werden, daß die Nutenisolation und die Isolation zwischen der oberen und unteren Wicklungslage für 440 Volt stärker werden muß als bei 110 Volt. Kurz gesagt, der Nutenfüllfaktor, d. h. das Verhältnis des gesamten Kupferquerschnittes in einer Nute zu dem Nutenquerschnitt, wird in dem vorliegenden Falle bei 440 Volt schlechter, als bei 110 Volt.

Man könnte nun mit Rücksicht auf die Betriebstüchtigkeit der Wicklung den Leiterquerschnitt geringer wählen und die Leistung des Motors herabsetzen. Diesen Weg wird man aber nur in den seltensten Fällen beschreiten können, weil mit der Herabsetzung der Leistung auch der Wert der Maschine herabgesetzt wird.

Wählt man hingegen die Zunahme der Umspinnung des Wickeldrahtes geringer, so wird hierdurch den beengten Raumverhältnissen in geeigneter Weise Rechnung getragen. Es ist selbstverständlich, daß die ganze Wicklung mit hochwertigem Isolierlack imprägniert und im Trockenofen getrocknet werden muß. Der Lack muß in jedem Falle in das Innere der Wicklung eindringen.

Bei Bezug von Dynamodrähten sollte stets die Zunahme der Umspinnung von dem Besteller vorgeschrieben werden. Im allgemeinen wird man mit der Normalzunahme nach Tabelle II auskommen. Es ist aber empfehlenswert, in besonderen Fällen die Zunahme der Umspinnung bzw. die Fadenstärke der Baumwolle nach Maßgabe der Raumverhältnisse festzulegen und bei Auftragserteilung an den Drahtlieferanten hierauf besonders aufmerksam zu machen.

Handelt es sich um Umwicklungen für niedrigere Betriebsspannungen, so wird der Nutenfüllfaktor in der Regel besser, weil die Leiterzahl je Nute geringer wird. Waren ursprünglich mehrere Drähte zu einem Leiter oder waren mehrere Wicklungselemente parallel geschaltet, so kann durch richtige Wahl eines Einfachleiters mit entsprechendem Querschnitt ebenfalls der Nutenfüllfaktor verbessert werden.

Sind beispielsweise bei einem 6poligen Drehstrommotor = 9 Gruppen total, je 3 Gruppen einer Phase parallel geschaltet und ist bei dieser Wicklung der Nutenraum beengt, so kann gelegentlich einer Neuwicklung für gleiche Leistung und Spannung wie bisher $\frac{1}{2}$ der Leiterzahl je Nute gewählt werden, wenn der dreifache Leiterquerschnitt und Reihenschaltung der 3 Gruppen einer Phase angewandt wird. In derartigen Fällen ist auf die Nutenform und insbesondere darauf zu achten, ob der stärkere Leiterquerschnitt nicht die praktische Herstellung der Wicklung nachteilig beeinflusst. Wenn beispielsweise die Parallelschaltung der Wicklungselemente (Gruppen) ursprünglich deshalb gewählt wurde, um den Wickeldraht noch durch den Nutenschlitz führen zu können (Einlegewicklung), so wird im allgemeinen bei dreifachem Leiterquerschnitt eine sogenannte Durchzugswicklung erforderlich. Mit Rücksicht auf die höhere Arbeitszeit bei Durchziehwicklungen wird man dann von der Wahl des stärkeren Leiterquerschnittes Abstand nehmen und auf einen besseren Nutenfüllfaktor verzichten.

In Isolierlack getränkte, umspinnene Leiter

Um die mechanische Festigkeit der Isolierfaser und die Isolierfähigkeit der Umspinnung zu erhöhen, werden die mit Baumwolle umhüllten Drähte von den Herstellern vielfach noch mit Isolierlack getränkt. Hierdurch erhöht sich die Zunahme der Isolierung um ca. 10 bis 20 %. Dem hierbei in bezug auf mechanische Festigkeit und Isolierfähigkeit erreichten Vorteil steht der Nachteil gegenüber, daß der mit Isolierlack

getränkte Draht spröder ist und sich daher nicht so gut zu Formspulen usw. verarbeiten läßt als ungetränkter Draht.

Mit Seide umspinnene Leiter

Mit Seide umspinnene Drähte werden im allgemeinen nur für Klein- und Kleinstmotoren verwendet. Die Zunahme beträgt bei einfacher Umspinnung etwa 0,04 mm, bei zweifacher Umspinnung ca. 0,07 mm. Diese geringe Zunahme ermöglicht es, eine große Anzahl Leiter in einem relativ kleinen Wickelraum unterzubringen. Ist das Nutenvolumen ursprünglich für Seidendraht bemessen, so kann an Stelle des Seidendrahtes in keinem Falle $2 \times \text{Bw.}$ umspinnener Draht verwendet werden. Ist der Nutenraum unter Verwendung von $2 \times \text{Bw.}$ umspinnenen Draht beengt, so kann vorteilhaft $2 \times \text{S.}$ umspinnener Draht verwendet werden, weil der Nutenfüllfaktor bei Seidendraht erheblich besser ist als bei $2 \times \text{Bw.}$ umspinnenen Draht.

Soll z. B. ein normaler 2-PS-Gleichstrommotor, 220 Volt, 1500 n umgewickelt werden in einen 0,5 PS, ca. 560 n, 220 Volt, so wird im Anker die Leiterzahl je Nute ca. 4mal so groß als ursprünglich und ist nur bei Verwendung von $2 \times \text{Seide}$ umspinnendem Draht in dem vorhandenen Nutenraum unterzubringen. Die Verwendung von Seidendraht scheitert indessen vielfach an der Kostenfrage.

Emailliedrähte¹⁾

Die Zunahme des Drahtdurchmessers ist bei emaillierten Drähten ganz erheblich geringer als bei umspinnenen Drähten. Sie beträgt ca. 25 % des blanken Drahtdurchmessers bei sehr dünnen Drähten und sinkt bei zunehmendem Drahtdurchmesser auf ca. 9 %.

Mit Baumwolle umspinnene Emailliedrähte

Emailliedrähte werden auch mit Baumwolle ein- oder zweimal umspinnen, und zwar gewöhnlich mit Fadenstärke Nr. 160. Bei zweifacher Umspinnung beträgt die Zunahme 0,23 bis 0,35 mm. Derartige Drähte werden mit gutem Erfolg da verwendet, wo verhältnismäßig hohe Windungsspannungen vorherrschen und beengte Raumverhältnisse eine stärkere Zunahme der Baumwollumspinnung verbieten.

Mit Jakonettband bewickelte Leiter

Stabwicklungen und Litzenwicklungen mit großem Leiterquerschnitt werden in der Regel mit Leinen- oder Baumwollband bewickelt und in Isolierlack getränkt. Die Bandstärke beträgt 0,15 bis 0,2 mm, so daß bei einfacher Überlappung des Bandes die Zunahme ca. 0,8 mm beträgt.

¹⁾ Näheres über den Werkstoff „Lackdraht“ siehe Werkstoffkunde Seite 275. sowie Raskop: „Der Katechismus für die Ankerwickelerei“, 8. Aufl., S. 240 bis 247, und Raskop: „Isolierlacke“, S. 96 bis 119. (Technischer Verlag Herbert Cram. Berlin W 35.)

Wenn die Raumverhältnisse in den Nuten es gestatten, kann bei Instandsetzungen oder Neuwicklungen die Umspinnung oder Umklöpfung des vorgefundenen Wickelmetalls entfernt und durch Bandwicklung ersetzt werden. Derartige Isolierungen haben sich als durchaus betriebstüchtig erwiesen.

Mit Papier umspinnene und umwickelte Leiter

In Ermangelung an Textilien wurden vielfach Drähte verwendet, welche mit Papier umwickelt und einmal mit Baumwolle umspunnen waren. Die Papierisolation hat bei etwa gleicher Stärke eine höhere Isolierfestigkeit als Baumwolle, sie kommt aber nur da in Frage, wo der Draht bei der Wickelarbeit wenig mechanisch beansprucht wird (nicht für Formspulen usw.).

Für die Transformatorenwicklungen verwendet man jedoch auch heute noch vielfach Runddraht mit zwei- oder mehrfacher Papierisolation ohne Baumwollspinnung, und zwar mit sehr gutem Erfolge. Der mit Papier isolierte Draht wird beim Wickeln durch eine Lösung geführt, welche aus hochwertigem (ölbeständigen) Isolierlack und kleinen Teilen Zinkweiß und Bleiglätte besteht. Diese Zinkweißpaste wird von Lackfabriken gebrauchsfertig geliefert. Die fertiggewickelten Spulen werden im Trockenofen getrocknet und sind im erhärteten Zustande außerordentlich widerstandsfähig gegen Formveränderungen.

Abgesehen davon, daß die Papierisolation wesentlich billiger ist, als die Baumwollumspinnung, ist auch, wie schon bemerkt, der Isolationswert des Papiers höher als derjenige der Baumwolle. Die Verwendung der papierisolierten Drähte kommt aber wohl ausschließlich nur für Transformatorenscheibenspulen in Frage.

Bei massiven Stäben für Drehstromläuferwicklungen werden die geraden Teile vor dem Einbau vielfach mit Papier umklebt. Der Papierstreifen ist hierbei gewöhnlich so breit, wie der zu isolierende Teil des Stabes, d. h. der Teil, welcher in der Nute zu liegen kommt. Das zur Verwendung gelangende Papier ist etwa 0,1 bis 0,2 mm stark und wird beim Aufwickeln einseitig mit Isolierlack bestrichen. Die isolierten Stäbe werden im Ofen gut getrocknet und können vor dem Einbau mit Talkum bestrichen werden. Diese Isolation ist mechanisch und elektrisch sehr widerstandsfähig.

B. Die Wahl der Nutenisolation

Die Wandstärke der Nutenisolation hängt nicht allein von der Betriebsspannung der Wicklung, sondern sogar in erster Linie von der mechanischen Beanspruchung durch Druck und Zug ab. Da der aktive Eisenkörper einer elektrischen Maschine aus einzelnen Blechen zusam-

¹⁾ Siehe auch Fachzeitschrift „Die elektrische Maschine EMA“, Heft 3/1940, Seite 25, Technischer Verlag Herbert Cram, Berlin W 35.

mengesetzt ist, und die einzelnen Nuten gewöhnlich auf einer automatischen Nutenstanze gestanzt werden, so sind kleine Unebenheiten an den Nutenwänden, hervorgerufen durch Gratbildung, Teil- und Schichtfehler, nicht zu vermeiden. Wenn diese Unebenheiten gänzlich durch Nacharbeiten mit der Feile beseitigt werden, so müßte man auf der anderen Seite einen Nachteil in den Kauf nehmen, der dadurch entsteht, daß die einzelnen Bleche durch Feilgrat miteinander verbunden und hierdurch Wirbelströme in dem aktiven Eisen hervorgerufen werden.

Mit Rücksicht auf die unebenen Nutenflächen muß also die Wandstärke der Nutenisolation stärker gewählt werden, als dies bei vollkommen glatten Flächen erforderlich wäre. Die größte Beanspruchung auf Zug erleidet die Nutenisolation an den Stellen, wo die Spule aus der Nute austritt. Um an dieser Stelle Durchschläge zu verhüten, werden die Nutenecken des Ankereisens zweckmäßig mit der Feile abgerundet und dünne Glimmerplättchen zwischen Nutenisolation und Eisen eingeschoben.

Bei Gleichstrommaschinen, deren Klemmenspannung im allgemeinen ja nicht über 500 Volt beträgt, überschreitet die zwischen Wicklung und Ankereisen auftretende Spannung nicht 250 Volt ($\frac{1}{2}$ der Klemmenspannung). Hieraus ist zu ersehen, daß die Ursache der Durchschläge weniger auf die Höhe der Spannung als auf die mechanische Beanspruchung der Nutenisolation zurückzuführen ist.

Unter Berücksichtigung der beiden Faktoren Spannung und mechanische Beanspruchung hängt die Stärke der Nutenisolation noch von der mechanischen und elektrischen Güte (Durchschlagfestigkeit) der zur Anwendung kommenden Isolierstoffe ab. Um hierüber einen Überblick zu erhalten, sei nachstehende Tabelle angeführt:

Tabelle IV
Durchschlagfestigkeit verschiedener Isolierstoffe¹⁾

Material	Stärke	Durchschlag bis ca.
Preßspan	1 mm	2 160 Volt
Mikanit	1 „	15 000 „
Glimmer	1 „	50 000 „
Ölleinen	0,16 mm	7 000 „
Ölleinen	0,20 „	8 500 „
Ölseide	0,10 „	4 000 „
Ölseide	0,14 „	5 000 „
Lackpapier	0,2 „	11 000 „

Die Durchschlagsziffern der vorstehenden Tabelle gelten nur für trockenes Material bester Herkunft.

¹⁾ Siehe auch Abschnitt: Werkstoffkunde, Seite 266.

Bei den mit Isolierlack imprägnierten Isolierstoffen (Ölleinen, Öl-seide) ist die Durchschlagsfestigkeit bei schwarzer Lackfarbe höher als bei gelber Farbe.

Nutenisolation für Spannungen bis 500 Volt

Als Nutenisolation für Gleich- und Wechselstrommaschinen bis 500 Volt Betriebsspannung, wird in der Regel Preßspan in Verbindung mit Ölleinen verwendet.

Preßspan wird aus reinen, starken Fasern, Hanf und Manilahanf hergestellt. Die Oberfläche der Preßspan tafeln wird auf Steinglättmaschinen hochglänzend poliert. Das Polieren geschieht mittels eines abgerundeten Achatsteines. Die Hochglanzpolitur des Preßspans erhöht die Durchschlagsfestigkeit desselben.

Guter Preßspan darf beim Biegen nicht brüchig werden und soll eine hochglänzende Oberfläche haben. Auch Preßspan ist, wie alle aus Faserstoff hergestellten Materialien, in hohem Grade hygroskopisch und darf daher nur in trockenen, möglichst gleichmäßig temperierten Räumen gelagert werden. Luftfeuchtigkeit wird von Preßspan schnell angezogen und macht denselben unbrauchbar.

Preßspan über 0,5 mm Stärke soll für Nutenisolation nicht verwendet werden, weil die Bruchgefahr an den Biegestellen mit der Stärke des Preßspans zunimmt. Aus diesem Grunde verwendet man stets zwei oder mehrerer Lagen von 0,2 bis 0,3 mm Stärke. Die Durchschlagsfestigkeit derartiger Nutenisolationen wird durch eine Zwischenlage von Ölleinen wesentlich erhöht, zumindest soll an den Enden der Nutenisolation eine Lage Ölleinen eingefügt werden. Die Stärke der Nutenisolation für Betriebsspannung bis 500 Volt kann unter Berücksichtigung der jeweilig vorliegenden Platzverhältnisse in den Nuten nach folgender Tabelle gewählt werden:

Tabelle V
Die Wandstärken der Nutenisolation für Spannungen bis
500 Volt (Preßspan)

Gleichstromanker		Wechselstrom Drehstrom		Ständer
Volt	Wandstärke in Millimeter	Volt	Millimeter Wandstärke in	
110	$2 \times 0,2 = 0,4$	220/120	$2 \times 0,3 = 0,6$	
250	$2 \times 0,3 = 0,6$	380—220	$2 \times 0,3$	$= 0,8$
			$1 \times \text{Ölleinen}$	
500	$2 \times 0,3$	500	$2 \times 0,3$	$= 0,8$
	$1 \times \text{Ölleinen} = 0,8$		$1 \times \text{Ölleinen}$	

Bei umlaufenden Wicklungen wird die Isolation zwischen Wicklungen und Eisen durch die Fliehkräfte mechanisch stark beansprucht,

und zwar besonders an den Nutenecken. Sind beispielsweise bei einem Gleichstromanker mit Schablonenspulenwicklung die freiliegenden Wickelköpfe nicht genügend durch Bandagen gegen derartige Formveränderungen geschützt, so besteht Durchschlagsgefahr an den Nutenecken.

Die Nutenisolation wird bei offenen Nuten nach Einlegung der Wicklung umgeklappt und durch einen Keil aus Preßspan, Fiber oder Holz nach außen hin abgeschlossen.

Bei Durchzugswicklungen kommen geschlossene Nutenisolationen in Frage, die aus mehreren Lagen dünnen Preßspans, Japanpapiers oder dergleichen hergestellt werden. Die einzelnen Lagen werden beim Wickeln auf einen Profildorn mit dünnem Isolierlack bestrichen.

Nutenisolation für hohe Spannungen

Bei Wicklungen für hohe Spannungen ist die Wandstärke der Nutenisolation nach denselben Gesichtspunkten zu wählen, wie bei den Niederspannungen. Da es sich fast ausschließlich um sogenannte Durchzugswicklungen handelt, so ist die mechanische Beanspruchung der Nutenisolation besonders hoch.

Als Material für die Nutenisolation wird Lackpapier, Mikanit, Glimmer und mit Glimmerplättchen beklebtes Papier (Mikafolio usw.) verwendet. Die Wandstärke richtet sich, unter Berücksichtigung der mechanischen Beanspruchung, der Netzspannung und des Nutenvolumens, nach der Güte des Isoliermaterials und kann nach folgender Tabelle bemessen werden:

Tabelle VI
Wandstärke der Nutenisolation für hohe Betriebsspannungen

Spannung	Material	Wandstärke
1 000 Volt	Lackpapier	1,0 mm
3 000 "	Mikanit	2,0 "
6 000 "	Glimmer	3,0 "
10 000 "	Glimmer	3,5 "

Ab 3000 Volt kommen nur vollkommen geschlossene Nutenisolationen in Frage. Bei 1000 Volt Betriebsspannung kann man die aus mehreren Lackpapierlagen hergestellten Nutenisolationen schlitzen, um den Wickeldraht durch diesen Schlitz in die Nute einbringen zu können. Dieses Verfahren ist aber nur dann anwendbar, wenn der vorhandene Wickelraum in der Nute es gestattet, die geschlitzte Hülse nach Einbringungen der geforderten Leiterzahl gut überlappt luftdicht nach außen abzuschließen. Die bei der Überlappung nicht vermeidbaren Stoffugen sind mit gutem Isolierlack zu bestreichen und die Lappen mit einem heißen Eisenstab aufeinander festzubacken. Die Nute ist außerdem mit einem gutsitzenden Holzkeil abzuschließen. Wird dieser Abschluß nach außen nicht sehr sorgfältig hergestellt, so besteht Durchschlagsgefahr an dieser Stelle.