

Verluste und Wirkungsgrad.

Die Vollast betrug 300 KW bei 550 Volt Klemmenspannung; der

Belastungsstrom 545 Amp.

Nebenschlußstrom 3,2 „

Daraus ergibt sich der Ankerstrom zu 548,2 Amp.

Der Spannungsverlust resultiert aus den genannten Stromstärken und den jeweiligen Widerständen im warmen Zustande wie folgt:

Anker 548,2 · 0,0382 = 20,9 Volt

Serie 548,2 · 0,00528 = 2,9 „

Total = 23,8 Volt.

Demnach ist die EMK: 550 + 23,8 = 573,8 Volt.

Die für verschiedene Spannungen ermittelten Eisenverluste sind in einer Kurve in Fig. 107 aufgezeichnet. Nach dieser entspricht der EMK von 573,8 Volt ein Eisenverlust (s. S. 275 u. 276) von 5350 Watt.

Verluste durch Stromwärme:

Anker: 548,2² · 0,0382 ~ 11 490 11 490 Watt

Serie: 548,2² · 0,00528 ~ 1 580 1 580 „

Nebenschluß und Rheostat = 550 · 3,2 ~ 1760 1 760 „

Nebenschluß: 3,2² · 118,5 ~ 1200 1 200 „

Rheostat: 550 550 „

Gesamtverlust = 16 580 Watt

Nutzleistung = 300 000 „

320 180 Watt

$$\eta = \frac{300\,000}{316\,580} \sim 94,8 \text{ Proz.}$$

Die Bürsten- (Reibungs- und Übergangs-) und Luftreibungsverluste betragen bei Normalleistung 2700 Watt, die letzteren allein etwa 1000 Watt. Die Lagerreibungsverluste der Dynamo wurden nicht ermittelt, da die Maschine mit dem Antriebsmotor gekuppelt war. — Diese Verluste sind in den „Gesamtverlusten“ und im Wirkungsgrade nicht berücksichtigt.

Dieselbe Rechnung wurde für folgende andere Belastungen durchgeführt und ergaben sich dementsprechend nachstehende Werte für η :

Belastung, Proz.	140	120	75	50	25
KW	420	360	225	150	75
Amperebelastung	764	655	409	273	136,4
Ampere, Nebenschluß	3,0	3,1	3,4	3,6	4,0
„ Anker	767	658,1	412,4	276,8	140,4
Kernverlust	5520	5450	5200	5100	4950
Gesamtverlust	32 670	25 940	14 470	10 400	8000
η in Proz.	92,8	93,3	93,8	93,5	90,4

Die Verlustwerte aus der Tabelle, sowie der Wirkungsgrad η im oben bezeichneten Sinne sind in Fig. 107 u. 108 graphisch dargestellt.

Sechstes Beispiel.

Im Auftrage einer Brauereigesellschaft untersuchte ich eine große Anzahl von Gleichstrom-Dynamomaschinen und -Elektromotoren der

Fig. 107.

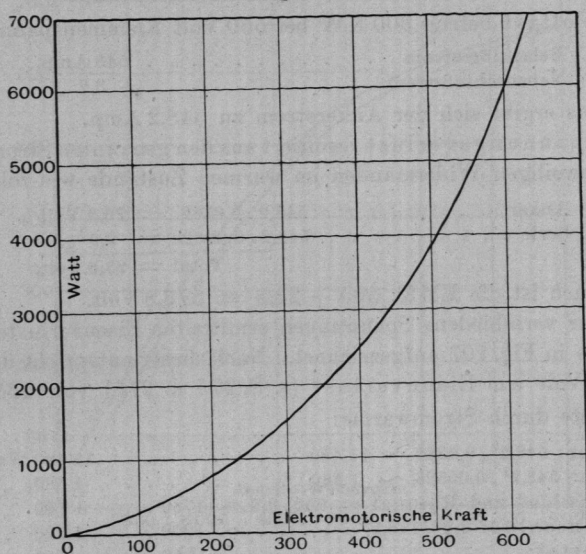
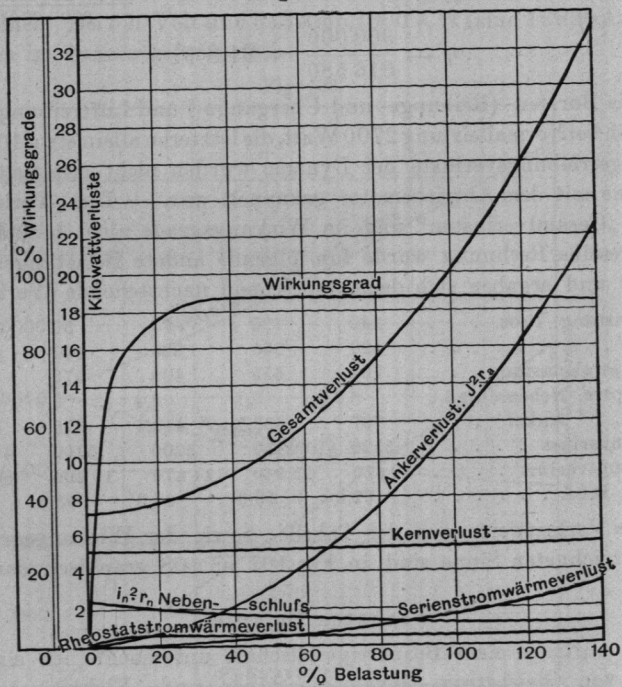


Fig. 108.



Felten-Guilleaume-Lahmeyer-Werke in Frankfurt a. M.; ich lasse einige Prüfungsprotokolle und Resultate der Prüfungen — mit vorhergehenden Angaben über Leistungen, Daten und Garantien, sowie der Beschreibung der Methode der Versuche — hier folgen.

I. Nebenschluß-Gleichstrom-Generatoren.

Leistung: 100 KW = 435 Amp. $\times$ 230 Volt bei 630 Umdrehungen pro Minute. Garantien: a) bei $\frac{1}{1}$, $\frac{3}{4}$ und $\frac{1}{2}$ Belastung sind die Nutzeffekte 91,5, 89 und 88 Proz.; b) die Prüfung auf Isolierfestigkeit (Durchschlagsprobe) soll bei 460 Volt Gleichstrom erfolgen; c) die Temperaturzunahme über die Raumtemperatur soll an Eisen von Generatoren und Motoren, an Kollektoren, sowie an isolierten Wicklungen, die Werte von 50, 60 bis maximal 80°C im Dauerbetrieb nicht übersteigen, unter Annahme einer maximalen Raumtemperatur von 35°C.

II. Gleichstrommotoren.

1. Leistung: 2,5 PS; 10 Amp., 220 Volt bei 600 Umdrehungen pro Minute. Garantien: a) bei $\frac{1}{1}$, $\frac{3}{4}$ und $\frac{1}{2}$ Belastung sind die Nutzeffekte 80, 78 und 72,5 bei 2 Proz. Toleranz; b) die Prüfung auf Isolierfestigkeit (Durchschlagsprobe) soll bei 440 Volt Gleichstrom erfolgen; c) die Temperaturzunahme über die Raumtemperatur soll an Eisen von Generatoren und Motoren, an Kollektoren, sowie an isolierten Wicklungen die Werte von 50, 60 bis maximal 80°C im Dauerbetriebe nicht übersteigen, unter Annahme einer maximalen Raumtemperatur von 35°C.

2. Leistung: 5 PS; 19,5 Amp., 220 Volt bei 500 Umdrehungen pro Minute. Garantien: a) bei $\frac{1}{1}$, $\frac{3}{4}$ und $\frac{1}{2}$ Belastung sind die Nutzeffekte 83,81 und 75 Proz. bei 2 Proz. Toleranz. Die anderen Garantien sind dieselben, wie sub II, 1 b u. c.

3. Leistung: 5 PS; 20 Amp., 220 Volt bei 1125 Umdrehungen pro Minute. Garantien: a) bei $\frac{1}{1}$, $\frac{3}{4}$ und $\frac{1}{2}$ Belastung sind die Nutzeffekte 84, 81 und 76 Proz. bei 2 Proz. Toleranz. Die anderen Garantien sind dieselben, wie sub II, 1 b u. c.

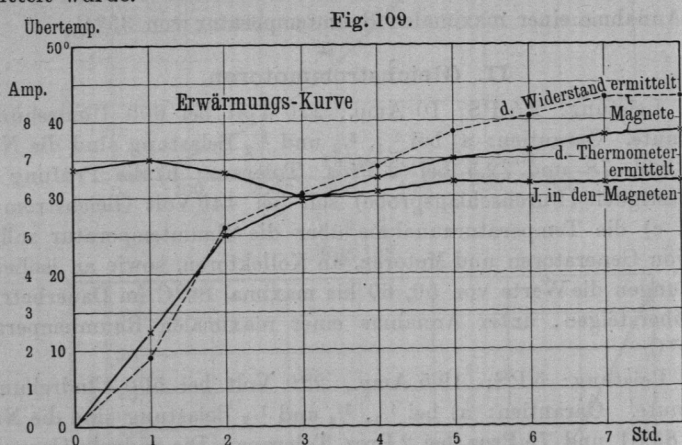
4. Leistung: 10 PS; 39 Amp., 220 Volt bei 1025 Umdrehungen pro Minute. Garantien: a) bei $\frac{1}{1}$, $\frac{3}{4}$ und $\frac{1}{2}$ Belastung sind die Nutzeffekte 87, 85 und 81,5 bei 2 Proz. Toleranz. Die anderen Garantien sind dieselben, wie sub II, 1 b u. c.

5. Leistung: 12,5 PS; 49 Amp., 220 Volt bei 720 Umdrehungen pro Minute. Garantien: a) bei $\frac{1}{1}$, $\frac{3}{4}$ und $\frac{1}{2}$ Belastung sind die Nutzeffekte 87, 85,5 und 82 bei 2 Proz. Toleranz. Die anderen Garantien sind dieselben, wie sub II, 1 b u. c.

6. Leistung: 17 PS; 65 Amp., 220 Volt bei 650 Umdrehungen pro Minute. Garantien: a) bei $\frac{1}{1}$, $\frac{3}{4}$ und $\frac{1}{2}$ Belastung sind die Nutzeffekte 87,5, 86 und 82 Proz. bei 2 Proz. Toleranz. Die anderen Garantien sind dieselben, wie sub II, 1 b u. c.

Bei den nachfolgenden Untersuchungen kam die Methode der Bestimmung der Verlustarbeiten (S. 275 u. 276) zur Anwendung; die Widerstände der Maschinen wurden zunächst im kalten Zustande gemessen, ebenso die Raumtemperatur festgestellt; sodann erfolgte eine vielstündige Dauerprobe unter normalen Verhältnissen oder geringer Überlastung bzw. eine mehrstündige Dauerprobe mit 40 bis 65 Proz. Überlastung. Nach den Dauerproben wurden die Widerstände, sowie die Temperaturen der Wicklungen — diese mit dem Thermometer — abermals bestimmt und anschließend hieran die Leerlaufversuche vorgenommen.

Die Temperaturzunahmen wurden an allen Teilen der Maschinen mittels Thermometer bestimmt, mit Ausnahme der Magnetschenkel, in welchen die Temperaturzunahme aus den Widerstandszunahmen (S. 276) ermittelt wurde.



Dynamomodell G. XVII der Felten-Guilleaume-Lahmeyer-Werke.
 $2 \times 215 = 230$ Volt, 435 Amp., 100 KW, 630 Umdrehungen.

Bei der Belastungsprobe wurden die Klemmenspannung, die Stromstärke im äußeren Stromkreise, der Strom im Nebenschluß und die Tourenzahlen der elektrischen Maschinen festgestellt. Zur Ermittlung der Widerstandsbeträge erfolgte die Messung auf indirektem Wege (S. 247). Die Magnetwiderstände im kalten und im warmen Zustande ergaben sich aus der ersten Aufschreibung beim Einschalten bzw. aus den letzten Werten — von Magnetschenkel, Strom und Spannung — vor dem Stillstande. Bürstenübergangswiderstände und Zuleitungen wurden berücksichtigt.

Ad I. Für die Dynamos sind die Nutzeffekte bei verschiedenen Belastungen und ferner die Erwärmungskurven, d. h. die Bestimmung der Übertemperaturen in den Magnetschenkeln, zu den verschiedenen Betriebszeiten durch Widerstands- und Thermometermessungen (Fig. 109) festgelegt; in der Fig. 109 sind ferner die jeweiligen Stromstärken in den Magneten angegeben.

Die nachfolgenden Prüfungsprotokolle und Ausrechnungen geben Aufschluß über Leistungen, Verhalten bei einer viel- bzw. mehrstündigen Normal- bzw. Überbelastung, die Erwärmung nach der Dauerleistung, Nutzeffekte und Isolierfestigkeit der elektrischen Maschinen:

Versuchsprotokoll, Ausrechnungen und Resultate
der Prüfungen.

Dreileiterdynamo mit Spannungsteiler: $2 \times 115 = 230$ Volt, 435 Amp.
100 KW, 630 Umdrehungen.

Zeit	Spannung e	Stromstärke J	Erregerstrom i_n	Umdrehungszahl	Regulierungswiderstand	Bemerkungen
7 ⁰⁰	230	440	6,76	630	vorgeschaltet	4 Lamellen in Drehrichtung aus N. Z. verschoben. Kollektor gut gelaufen, Lamellen poliert. Luftraum-Hauptpole 14 mm. Betriebszeit 8 Stunden.
8 ⁰⁰	233	440	7,05	630	"	
9 ⁰⁰	234	440	6,66	632	"	
10 ⁰⁰	225	435	6,0	625	"	
11 ⁰⁰	226	440	6,07	630	"	
12 ⁰⁰	233	440	6,38	630	"	
1 ⁰⁰	232	440	6,35	628	"	
2 ⁰⁰	233,5	440	6,36	635	"	
3 ⁰⁰	234	450	6,38	635	"	
	230	18,4	—	630		Leerlauf.
	230	0	4,88	630	18 Kontakte frei	4 Lamellen in Drehrichtung N. Z. verschoben. Gut gelaufen.
	230	110	5,2	630	15 " "	
	230	230	5,5	630	13 " "	
	230	430	6,0	630	10 " "	
	230	530	6,58	630	8 " "	

Magnetschenkelwicklung $(r_n)_w = w_1 = 26,90$ Ohm, warm bei 23° C Raumtemp.
 " $(r_n)_k = w_0 = 22,70$ " , kalt " 20° C "
 $4,20$ Ohm = 18,5 Proz. Zunahme.

Temperaturerhöhung $T = t_1 - t_0 = \frac{w_1 - w_0}{0,004 \cdot w_0} = \frac{4,2}{0,004 \cdot 22,7} = \sim 46,3^\circ \text{C}$
 (s. S. 276, Formel 3).

	Temperaturerhöhung über die Raumtemperatur mit dem Thermometer gemessen ° C	Temperaturerhöhung über die Raumtemp. durch Widerstandszunahme berechnet ° C
Ankereisen	40	—
Ankerwicklung	33	—
Magnetschenkelwicklung . .	39	46,3
Kollektor	33	—
Gestell	16	—

Die Raumtemperatur betrug im Maximum 23° C.
 Isolierprobe: Kollektor 690 Volt, Magnete 690 Volt Wechselspannung, eine halbe Stunde geprüft.

Nachstehende Aufstellung gibt einen Überblick über die durch den Versuch und durch Rechnung ermittelten und die garantierten Werte der Nutzeffekte:

Belastung		$\frac{5}{4}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
Amp.	{ Stator	6,6	6,1	5,8	5,4	5,2
	{ Rotor	545	435	326	218	109
KW-Nutzleistung		125	100	75	50	25
Verluste	{ Eisen und Reibung	4,24	4,24	4,24	4,24	4,24
	{ Stator ($w = 27$ Ohm)	1,54	1,4	1,32	1,24	1,14
	{ Rotor ($w = 0,00765$ Ohm)	2,27	1,45	0,81	0,36	0,09
	{ Bürsten	0,93	0,68	0,46	0,27	0,11
Nutzleistung u. Verluste in KW		133,98	107,77	81,83	56,11	30,58
η Proz.	{ aus Einzelverlusten	93,4	93,0	91,6	89,0	81,9
	{ garantiert	—	91,5	89	88	—

Die Einzelverluste berechnen sich bei einer Belastung von $\frac{1}{1}$ bzw. $\frac{1}{2}$ wie folgt:

Kupferverlust im Anker (Rotor):

$$J^2 \cdot r_a = 435^2 \cdot 0,00765 = 1,45 \text{ KW bzw. } 218^2 \cdot 0,00765 = 0,36 \text{ KW}$$

Kupferverl. in d. Magnetwickel. (Stator):

$$e \cdot i_n = 230 \cdot 6,1 = 1,40 \text{ „ „ } 230 \cdot 5,4 = 1,24 \text{ „}$$

Bürstenübergangsverlust:

$$J^2 \cdot r_b = 435^2 \cdot 0,00360 = 0,68 \text{ „ „ } 218^2 \cdot 0,00360 = 0,27 \text{ „}$$

Leerlaufverlust:

$$i_l \cdot e = 18,4 \cdot 230 = 4,24 \text{ „ „ } 18,4 \cdot 230 = 4,24 \text{ „}$$

Gesamtverluste = 7,77 KW bzw. = 6,11 KW

Elektrische Nutzleistung:

$$J \cdot e = 435 \cdot 230 = 100,00 \text{ „ „ } 218 \cdot 230 = 50,00 \text{ „}$$

Gesamter Effekt = Nutzleistung
+ Verlustarbeit

$$= 107,77 \text{ KW bzw. } = 56,11 \text{ KW}$$

Hieraus resultiert:

$$\eta = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{Nutzleistung} + \text{Verlustrarbeit}} = \frac{100}{107,77} = 93 \text{ Proz. bzw. } \frac{50}{56,11} = 89 \text{ Proz.}$$

Auf analoge Weise finden sich die in der Aufstellung gegebenen Werte der Nutzeffekte bei den Belastungen $\frac{5}{4}$, $\frac{3}{4}$ und $\frac{1}{4}$. Aus den Werten geht hervor, daß die Garantien bei weitem eingehalten sind.

Der Bürstenübergangswiderstand wurde ermittelt, indem man bei der jeweiligen Belastungsstromstärke den Spannungsabfall zwischen Maschinenklemmen und Stromabgeber bestimmte und diesen gefundenen Wert durch die jeweilig bestehende Stromstärke dividierte.

Das Resultat der Prüfung auf Isolierfestigkeit war ebenfalls ein sehr gutes, da tatsächlich eine Spannung von 690 Volt Wechselstrom eine halbe Stunde ausgehalten wurde, während nur eine Spannung von 460 Volt Gleichstrom für eine halbe Stunde gefordert wird.

Auch die Erwärmung der einzelnen Teile der elektrischen Maschinen war sehr niedrig, im Maximum 43,5° C, während 50 bis 80° C zulässig waren. — Ich gehe jetzt zu den Versuchen an den Motoren über.

Ad II, 1. Versuchsprotokoll, Ausrechnungen und Resultate der Prüfungen.

Motor: 220 Volt, 10 Amp., 2,5 PS, 600 Umdrehungen.

Zeit	Spannung <i>e</i>	Stromstärke <i>J</i>	Erregerstrom <i>i_n</i>	Umdrehungszahl	Regulierwiderstand	Bemerkungen
9 ³⁰	220	12,3	1,02	—		
9 ⁴⁵	220	12,3	—	730	vorgesch.	Motor probiert als Dynamo, daher die höhere Tourenzahl. Diese Maschine wurde um 50 Proz. 10 Min. lang überlastet und lief funkenfrei.
10 ¹⁵	225	12,7	—	762	"	
10 ³⁰	222	12,2	—	760	"	
11 ⁰⁰	220	12,2	—	770	"	
11 ³⁰	224	12,0	1,00	780	"	
12 ⁰⁰	224	12,2	—	785	"	Kollektor ist blank poliert, absolut funkenfrei.
12 ³⁰	220	12,2	—	790	"	
1 ⁰⁰	220	12,3	—	785	"	
1 ³⁰	220	12,3	—	785	"	
2 ⁰⁰	220	12,3	—	790	"	
2 ³⁰	220	12,3	0,94	790	"	Leerlauf.
	220	0,405	—	610		
3 ²⁰	225	12,3	0,88	730		

Die Magnetschenkelwicklung hatte einen Widerstand von

$(r_n)_w = w_1 = 256 \text{ Ohm}$, warm bei 24° C Raumtemperatur,

$(r_n)_k = w_0 = 216$ " kalt " 21° C " "

Differenz: 40 Ohm = 18,5 Proz. Zunahme.

$$\text{Temperaturerhöhung } T = t_1 - t_0 = \frac{w_1 - w_0}{0,004 \cdot w_0} = \frac{40}{0,004 \cdot 216} = \sim 46,5^\circ \text{ C}$$

(s. S. 276, Formel 3).

	Temperatur bzw. Temperaturerhöhung über die Raumtemp. mit dem Thermometer gemessen		Temperaturerhöhung über die Raumtemp. durch Widerstandszunahme berechnet
	°C	°C	°C
Ankerisen	61	37	—
Ankerwicklung	61	37	—
Magnetwicklung	—	—	46,5
Kollektor	70	46	—
Raumtemperatur	21—24	—	—

- Isolierprobe: Kollektor 660 Volt, Magnetwicklung 660 Volt, eine halbe Stunde geprüft.

Obige Zahlenwerte zeigen, daß die maximalen Erwärmungen bei weitem nicht erreicht werden und die Isolierprobe bei viel höherer Wechselspannung gut verlaufen ist.

Die Einzelverluste berechnen sich bei einer Belastung von $\frac{1}{1}$ wie folgt:

Kupferverlust im Anker (Rotor)	$J^2 \cdot r_a = 10^2 \cdot 1,94 = 194$	Watt
Kupferverl. in d. Magnetwicklung (Stator) $e \cdot i_n = 220 \cdot 0,94 = 207$		"
Leerlaufverlust (Eisen, Reibung u. Bürsten)		
bei $n = 600$	$i_l \cdot e = 0,405 \cdot 220 = 89$	"

Gesamtverluste = 490 Watt

Elektrische Nutzleistung = 2,5 · 736 = 1840 "

Gesamter Effekt = Nutzleistung + Verlustarbeit = 2330 Watt

Hieraus resultiert:

$$\eta = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{Nutzleistung} + \text{Verlustarbeit}} = \frac{1840}{2330} = 79 \text{ Proz.},$$

garantiert $80 - 2 = 78$ Proz., somit ist η um 1 Proz. überschritten.

Ad II, 2. Versuchsprotokoll, Ausrechnungen und Resultate der Prüfungen.

Motor: 220 Volt, 19,5 Amp., 5 PS, 500 Umdrehungen.

Zeit	Spannung e	Stromstärke J	Erregerstrom i_n	Umdrehungszahl	Regulierwiderstand	Bemerkungen
9 ³⁰	220	19,5	1,1	—		
9 ⁴⁵	220	19,5	1,1	470	kurz	
10 ¹⁵	225	20,0	—	495	"	Dieser Motor wurde kurze Zeit um —50 Proz. überlastet und lief funkenfrei.
10 ³⁰	222	19,5	—	495	"	
11 ⁰⁰	220	19,5	—	500	"	
11 ³⁰	224	19,5	—	500	"	
12 ⁰⁰	224	19,5	—	510	"	
12 ³⁰	220	19,5	—	515	"	
1 ⁰⁰	220	19,5	—	510	"	
1 ³⁰	220	19,5	—	515	"	
2 ⁰⁰	220	19,5	—	510	"	
2 ³⁰	220	19,5	0,93	515	"	
	220	0,70	—	510		Leerlauf.
3 ²⁰	220	19,5	0,93	520	"	

Magnetwicklung $(r_n)_w = w_1 = 236$ Ohm, warm bei 24° C Raumtemperatur,

" $(r_n)_k = w_0 = 200$ " kalt " 21° C "

36 Ohm = 18 Proz. Widerstandszunahme.

$$\text{Temperaturerhöhung } T = t_1 - t_0 = \frac{w_1 - w_0}{0,004 \cdot w_0} = 45^\circ \text{ C}$$

(s. S. 276, Formel 3).

	Temperatur bzw. Temperatur- erhöhung über die Raumtemp. mit dem Thermometer ge- messen		Temperaturerhöhung über die Raumtemp. aus der Widerstands- zunahme berechnet
	0 C	0 C	0 C
Ankereisen	48	24	—
Ankerwicklung	48	—	—
Magnetschenkelwicklung . . .	—	—	45
Kollektor	51	27	—

Isolierprobe: Kollektor 660 Volt, Magnete 660 Volt Wechselspannung, eine halbe Stunde geprüft.

Die Einzelverluste berechnen sich bei einer Belastung von $\frac{1}{1}$ wie folgt:

Kupferverlust im Anker (Rotor) $J^2 \cdot r_a = 19,5^2 \cdot 0,59 = 224$ Watt

Kupferverl. in d. Magnetwicklung (Stator) $e \cdot i_n = 220 \cdot 0,93 = 205$ „

Leerlaufverlust + Reibungs- und Bürsten-
verlust $i_t \cdot e = 0,70 \cdot 220 = 154$ „

Gesamtverluste = 583 Watt

Elektrische Nutzleistung 5.736 = 3680 „

Gesamter Effekt = Nutzleistung + Verlustarbeit = 4263 Watt

Hieraus resultiert:

$$\eta = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{Nutzleistung} + \text{Verlustarbeit}} = \frac{3680}{4263} = 86,5 \text{ Proz.},$$

garantiert 83 — 2 = 81 Proz., somit η um 5,5 Proz. überschritten.

Die Garantien bezüglich Erwärmung, Isolierfestigkeit und Nutzeffekte sind somit bei weitem erreicht bzw. überschritten.

Ad II, 3. Versuchsprotokoll, Ausrechnungen und Resultate der Prüfungen.

Motor: 220 Volt, 20 Amp., 5 PS, 1125 Umdrehungen.

Zeit	Spannung e	Stromstärke J	Erregerstrom i_n	Umdrehungszahl	Regulierwiderstand	Bemerkungen
9 ³⁰	220	25,0	1,0	—		
9 ³⁰	220	25,0	—	1475	vorgesch.	Dieser Motor wurde als Dynamo probiert, daher die höhere Tourenzahl; ferner wurde der Motor dauernd mit etwa 30 Proz. und etwa 5 Minuten mit 60 Proz. überlastet und lief funkenfrei.
10 ⁰⁵	220	26,0	—	1480	„	
10 ³⁰	222	26,3	—	1525	„	
11 ⁰⁰	220	26,5	—	1550	„	
11 ³⁰	224	26,5	—	1550	„	
12 ⁰⁰	224	26,3	—	1550	„	
12 ³⁰	220	26,3	—	1540	„	
1 ⁰⁰	220	26,2	—	1540	„	
1 ³⁰	220	26,3	—	1540	„	
2 ⁰⁰	220	26,2	—	1520	„	
2 ³⁰	220	26,2	0,87	1535	„	
	220	1,45	—	1130		
3 ⁰⁰	220	26,2	0,87	1500	„	
						Leerlauf.

Magnetwicklung $(r_n)_w = w_1 = 253 \text{ Ohm}$, warm bei 24°C Raumtemperatur,
 „ $(r_n)_k = w_0 = 220$ „ kalt „ 21°C „

33 Ohm = 15 Proz. Widerstandszunahme.

Temperaturerhöhung $T = t_1 - t_0 = \frac{w_1 - w_0}{0,004 \cdot w_0} = 37,6^\circ \text{C}$ (s. S. 276, Formel 3).

	Temperatur bzw. Temperatur- zunahme über die Raumtemp. mit dem Thermometer ge- messen		Temperaturzunahme über die Raumtemp. aus der Widerstands- zunahme berechnet
	$^\circ \text{C}$	$^\circ \text{C}$	$^\circ \text{C}$
Ankereisen }	54	30	—
Ankerwicklung }	—	—	—
Magnetschenkelwicklung . . .	—	—	37,6
Kollektor	67	43	—

Isolierprobe: Kollektor 660 Volt, Magnete 660 Volt Wechselspannung,
 eine halbe Stunde geprüft.

Die Einzelverluste berechnen sich bei einer Belastung von $\frac{1}{1}$ wie folgt:

Kupferverlust im Anker (Rotor)	$J^2 \cdot r_n = 20^2 \cdot 0,35 = 140 \text{ Watt}$
Kupferverl. in d. Magnetwicklung (Stator) $e \cdot i_n = 220 \cdot 0,87 = 191$ „	
Leerlaufverlust + Reibungs- und Bürsten- verlust	$i_l \cdot e = 1,45 \cdot 220 = 319$ „
Gesamtverluste	= 650 Watt
Elektrische Nutzleistung	5.736 = 3680 „
Gesamter Effekt = Nutzleistung + Verlustarbeit	= 4330 Watt

Hieraus resultiert:

$$\eta = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{Nutzleistung} + \text{Verlustarbeit}} = \frac{3680}{4330} = \sim 85 \text{ Proz.},$$

garantiert $84 - 2 = 82$ Proz., somit η um 3 Proz. überschritten.

Die Maschinen sind bezüglich Erwärmung sehr reichlich bemessen
 und sind ferner die Garantien auf Isolierfestigkeit und Nutzeffekte bei
 weitem erreicht bzw. überschritten.

Ad II, 4. Versuchsprotokoll, Ausrechnungen und Resultate der Prüfungen.

Motor: 210 Volt, 39 Amp., 10 PS, 1025 Umdrehungen.

Zeit	Span- nung e	Strom- stärke J	Erreger- strom i_n	Um- drehungs- zahl	Regulier- widerstand	Bemerkungen
9 ³⁰	220	39	1,0	—		
9 ³⁰	220	39	—	960	kurz	
10 ⁰⁰	220	39	—	975	„	
10 ³⁰	222	39	—	990	„	

Zeit	Spannung e	Stromstärke J	Erregerstrom i_n	Umdrehungszahl	Regulierungswiderstand	Bemerkungen
11 ⁰⁰	220	39	—	1000	kurz	Dieser Motor wurde etwa 8 Minuten mit 55 Proz. überlastet und lief funkenfrei.
11 ³⁰	224	39	—	1020	"	
12 ⁰⁰	224	39	—	1010	"	
12 ³⁰	220	39	—	1010	"	
1 ⁰⁰	220	39	—	1010	"	
1 ³⁰	220	39	—	1010	"	
2 ⁰⁰	220	39	—	1005	"	Leerlauf.
2 ³⁰	220	39	0,88	1010	"	
	220	1,9	—	1010	"	
3 ⁰⁰	220	39	0,88	1030	"	

Magnetwicklung $(r_n)_w = w_1 = 250 \text{ Ohm}$, warm bei 24°C Raumtemperatur,
 " $(r_n)_k = w_0 = 220$ " kalt " 21°C "

Differenz: $30 \text{ Ohm} = 13,6 \text{ Proz.}$ Widerstandszunahme.

$$\text{Temperaturerhöhung } T = t_1 - t_0 = \frac{w_1 - w_0}{0,004 \cdot w_0} = \frac{30}{0,004 \cdot 220} = 34,2^\circ \text{C}$$

(s. S. 276, Formel 3).

	Temperatur bzw. Temperaturzunahme über die Raumtemp. mit dem Thermometer gemessen		Temperaturzunahme über die Raumtemp. durch Widerstandszunahme berechnet
	$^\circ \text{C}$	$^\circ \text{C}$	$^\circ \text{C}$
Ankerisen }	45	21	—
Ankerwicklung }	—	—	34,2
Magnetwicklung	—	—	—
Kollektor	46	22	—

Isolierprobe: Kollektor 660 Volt, Magnetwicklung 660 Volt Wechselspannung, eine halbe Stunde geprüft.

Die Einzelverluste berechnen sich bei einer Belastung von $\frac{1}{1}$ wie folgt:

Kupferverlust im Anker (Rotor)	$J^2 \cdot r_a = 39^2 \cdot 0,147 = 224 \text{ Watt}$
Kupferverl. in d. Magnetwicklung (Stator) $e \cdot i_n = 220 \cdot 0,88 = 193$ "	
Leerlaufverlust + Reibungs- und Bürstenverlust	$i_l \cdot e = 1,9 \cdot 220 = 418$ "
Gesamtverluste	$= 835 \text{ Watt}$
Elektrische Nutzleistung	$10 \cdot 736 = 7360$ "
Gesamter Effekt = Nutzleistung + Verlustarbeit	$= 8195 \text{ Watt}$

Hieraus resultiert:

$$\eta = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{Nutzleistung} + \text{Verlustarbeit}} = \frac{7360}{8195} = 90 \text{ Proz.},$$

garantiert $87 - 2 = 85 \text{ Proz.}$, somit η um 5 Proz. überschritten.

Dieser Motor ist ebenfalls in bezug auf Erwärmung sehr reichlich bemessen; ferner ist die Isolierfestigkeit eine sehr gute und sind die Nutzeffekte sehr hoch.

Ad II, 5. Versuchsprotokoll, Ausrechnungen und Resultate der Prüfungen.

Motor: 220 Volt, 49 Amp., 12,5 PS, 720 Umdrehungen mit Wendepolen.

Zeit	Spannung e	Stromstärke J	Erregerstrom i_n	Umdrehungszahl	Regulierungswiderstand	Bemerkungen
—	225	51	1,8	—	kurz geschl.	
10 ⁰⁰	225	51	—	660	"	
10 ³⁰	220	50	—	660	"	
11 ⁰⁰	220	52	—	658	"	
11 ³⁰	220	52	—	665	"	
12 ⁰⁰	215	52	—	665	"	
12 ³⁰	220	98	—	—	"	
12 ³⁵	217	57,5	—	665	"	Der Motor wurde einige Minuten mit 98 Amp. gleich 100 Proz. überlastet und lief funkenfrei.
1 ⁰⁰	215	50	—	670	"	
1 ³⁰	225	49	—	678	"	
2 ⁰⁰	220	49	—	678	"	
2 ³⁰	225	49	—	679	"	
3 ⁰⁰	215	49,5	—	678	"	
3 ³⁰	220	52,0	1,54	670	"	
	227,5	1,40	—	720		Leerlauf.

Magnetwicklung $(r_n)_w = w_1 = 156$ Ohm, warm bei 23° C Raumtemperatur,

" $(r_n)_k = w_0 = 125$ " kalt " 20,5° C "

31 Ohm = 24,8 Proz. Widerstandszunahme.

$(r_n)_{\text{Wendepol } w} = 0,050$ Ohm, warm bei 23° C Raumtemperatur.

Temperaturerhöhung $T = t_1 - t_0 = \frac{w_1 - w_0}{0,004 \cdot w_0} = 62^\circ \text{C}$

(s. S. 276, Formel 3).

	Temperatur bzw. Temperaturzunahme über die Raumtemp. mit dem Thermometer gemessen		Temperaturzunahme über die Raumtemp. aus der Widerstandszunahme berechnet
	° C	° C	° C
Ankereisen }	69	46	—
Ankerwicklung }	—	—	62
Magnetschenkelwicklung . . .	60	37	—
Wendepole	67	44	—
Kollektor			

Isolierprobe: Kollektor 660 Volt, Magnete 660 Volt Wechselstromspannung, eine halbe Stunde geprüft.

Die Einzelverluste berechnen sich bei einer Belastung von $\frac{1}{1}$ wie folgt:

Kupferverlust im Anker (Rotor)	$J^2 \cdot r_a = 49^2 \cdot 0,292 = 700$ Watt
Kupferverl. d. Magnetwicklung (Stator)	$e \cdot i_n = 227,7 \cdot 1,54 = 350$ "
Kupferverlust der Wendepole . $J^2 \cdot (r_n)_{\text{Wendepol}}$	$w = 49^2 \cdot 0,05 = 120$ "
Leerlaufverlust + Reibungs- u. Bürstenverlust	$i_l \cdot e = 1,4 \cdot 227,5 = 318$ "
Gesamtverluste	$= 1488$ Watt
Elektrische Nutzleistung	$12,5 \cdot 736 = 9190$ "
Gesamter Effekt = Nutzleistung + Verlustarbeit	$= 10678$ Watt

Hieraus resultiert:

$$\eta = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{Nutzleistung} + \text{Verlustrarbeit}} = 86 \text{ Proz.},$$

garantiert $87 - 2 = 85$ Proz., somit η um 1 Proz. überschritten.

Sämtliche Garantien sind gut eingehalten.

Ad II, 6. Versuchsprotokoll, Ausrechnungen und Resultate der Prüfungen.

Motor: 220 Volt, 65 Amp., 17 PS, 650 Umdrehungen, mit Wendepolen.

Zeit	Spannung e	Strom- stärke J	Erreger- strom i_n	Um- drehungs- zahl	Bemerkungen
—	227,5	65	1,75	—	
10 ⁰⁰	225,0	65	—	620	
10 ³⁰	220,0	65	—	640	
11 ⁰⁰	220,0	68	—	650	
11 ³⁰	220,0	66	—	655	
12 ⁰⁰	215,0	65	—	665	Stellenweise stieg für einige Minuten die Belastung auf 100 Amp., also auf etwa 60 Proz. Überlastung.
12 ³⁰	217,5	70	—	665	
1 ⁰⁰	215,0	70	—	670	
1 ³⁰	225,0	67	—	670	
2 ⁰⁰	220,0	68	—	670	
2 ³⁰	225,0	65	—	670	
3 ⁰⁰	215,0	67	—	670	
3 ³⁰	220,0	66	1,33	670	
	220,0	2,14	—	650	
4 ⁰⁰	227,5	66	1,33	660	Leerlauf.

Magnetwicklung $(r_n)_w = 171$ Ohm, warm bei 23°C Raumtemperatur,

" $(r_n)_k = 130$ " kalt " $20,5^\circ\text{C}$ "

41 Ohm = 31,5 Proz. Widerstandszunahme.

Temperaturerhöhung $T = t_1 - t_0 = \frac{w_1 - w_0}{0,004 \cdot w_0} = 70^\circ\text{C}$ (s. S. 276, Formel 3).

	Temperatur bzw. Temperatur- zunahme über die Raumtemp. mit dem Thermometer ge- messen		Temperaturzunahme über die Raumtemp. aus der Widerstand- zunahme berechnet
	° C	° C	° C
Ankereisen }	69	46	—
Ankerwicklung }	—	—	79
Magnetwicklung	—	—	—
Wendepole	56	33	—
Kollektor	67	44	—

Isolierprobe: Kollektor 660 Volt, Magnete 660 Volt Wechselspannung, eine halbe Stunde geprüft.

Die Einzelverluste berechnen sich bei einer Belastung von $\frac{1}{1}$ wie folgt:

Kupferverlust im Anker (Rotor)	$J^2 \cdot r_a = 65^2 \cdot 0,133 =$	560 Watt
Kupferverl. in d. Magnetwickel- lung (Stator)	$e \cdot i_n = 220 \cdot 1,33 =$	292 „
Kupferverlust (Wendepole)	$J^2 \cdot (r_n)_{\text{Wendepole}} = 65^2 \cdot 0,038 =$	160 „
Leerlaufverlust + Reibungs- u. Bürstenverlust	$i_l \cdot e = 2,14 \cdot 220 =$	470 „
Gesamtverluste		= 1482 Watt
Elektrische Nutzleistung	17.736	= 12500 „
Gesamter Effekt = Nutzleistung + Verlustarbeit		= 13982 Watt

Hieraus resultiert:

$$\eta = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{Nutzleistung} + \text{Verlustarbeit}} = \frac{12500}{13982} = 89,7 \text{ Proz.},$$

garantiert 87,5 — 2 = 85,5 Proz., somit η um 4,2 Proz. überschritten.

Die Garantien sind somit erreicht bzw. überschritten.

Aus den Gesamtversuchsergebnissen geht hervor, daß die Garantien in bezug auf Leistung, Nutzeffekte und Erwärmung nicht nur bei weitem eingehalten, sondern zum Teil über- bzw. unterschritten sind. Auch die Garantie betreffend Isolierfestigkeit ist bei weitem erreicht. Auch bei vorübergehender hoher Überlastung waren die Erwärmungen der einzelnen Teile der Maschinen nicht übermäßig und der Gang der Maschinen ein tadelloser. Die Nutzeffekte sind durchgehend hoch. (Siehe auch Kapitel T.)

M. Ein- und Mehrphasenstrommaschinen.

1. Vergleichende Betrachtung des Ein- und Mehrphasensystems.

Das Einphasensystem zeichnet sich aus durch einfaches Leitungsnetz und einfache Spannungsregulierung und kommt speziell bei reinem Beleuchtungsbetrieben in Frage, während bei Kraftabgabe oder gemischtem Betriebe hauptsächlich das Dreiphasensystem angewandt wird.