

Versuchsprotokoll B 4.

60 Elemente 81 Amp.-Stunden, 27 Amp.-Entladestromstärke.

Spannungsverlust in den Zuleitungen 1,9 Volt.

Zeit	Strom Amp.	Spannung Volt	Zellen Anzahl	Säuredichte der ver- schiedenen Elemente (Mittelwert)
1 ⁵⁰	27,5	110,0	57	1,205
2 ⁰⁵	27,5	109,5	57	—
2 ²⁰	28,0	109,0	57	—
2 ³⁵	27,5	109,0	57	—
2 ⁵⁰	28,0	109,0	57	1,198
3 ⁰⁵	28,1	109,8	58	—
3 ²⁰	27,0	109,8	58	—
3 ³⁵	27,0	109,5	58	—
3 ⁵⁰	26,5	109,0	58	1,192
4 ⁰⁵	27,0	108,5	58	—
4 ²⁰	27,5	109,5	59	—
4 ³⁵	27,0	109,5	59	—
4 ⁵⁰	27,0	110,0	60	1,185
5 ⁰⁰	28,0	108,0	60	—
3 St. 10 Min. = 3,166 St.	383,6 14 = 27,4 Amp.			

Bemerkungen und Ausrechnungen.

Die Batterie wurde 3 Stunden 10 Minuten (= 3,166 Stunden) mit einer mittleren Stromstärke von 27,4 Amp. entladen und wurden derselben somit 27,4 · 3,166 = 86,74 Amperestunden entnommen. — Unter Berücksichtigung des Spannungsverlustes in der Zuleitung betrug die Gesamtspannung sämtlicher Zellen am Ende der Entladung $108 + 1,9 = 109,9$ Volt, d. i. pro Zelle $\frac{109,9}{60} = 1,832$ Volt.

Siebentes Beispiel.

Abnahmeversuche der elektrischen Zentrale Usingen (Gasgeneratoren, Gasmotoren, Dynamomaschinen, Akkumulatoren, Apparaten-Anlage und Leitungsnetz).

Die im Beisein der Vertreter der verschiedenen Firmen von mir im Auftrage des Stadtmagistrats Usingen vorgenommenen Abnahmeversuche der maschinentechnischen und elektrischen Anlagen in der Zentrale, welche von der Generalunternehmerin, Elektrizitätswerke Düsseldorf, G. m. b. H. in Düsseldorf, erbaut war, haben nachstehende Resultate ergeben:

I. Gasgeneratoren, Gasmotoren, Dynamomaschinen und Apparaten-Anlage.

Die Kraftgasanlage der Zentrale Usingen inkl. der Gasmotoren ist von der Firma E. Bendel in Magdeburg geliefert und dient als Betriebskraft für das Werk. Die Anlage besteht aus einer kompletten Anlage von 50 bis 55 bzw. einer von 75 PS mit den dazu gehörigen durch Riemen angetriebenen Dynamos von 32 bis 36 bzw. 55 KW-Leistung. Durch die Abnahmeversuche sollte ermittelt werden, ob die garantierten Leistungen Brennmaterialökonomie und die garantierten Werte der Nutzeffekte und Erwärmungen, sowie Regulierung eingehalten seien und sind zu diesem Zwecke der Maschinensatz I à 75 PS und der Maschinensatz II à 55 PS einer Dauerprobe unterworfen. Diese Leistungen sind während des Versuches annähernd beibehalten. Die Ablesungen erfolgten von 15 zu 15 Minuten. Die Indikatordiagramme sind in halb- bzw. ganzstündigen Zwischenräumen entnommen. Der Brennmaterial- und Wasserverbrauch ist durch Wägung bzw. Berechnung ermittelt. Bei Beginn und Anfang der Versuche sind bezüglich der Brennmaterialschicht dieselben Verhältnisse hergestellt, so daß die Brennmaterialhöhe bei Anfang und Ende des Versuches dieselbe war. Der Gasmotor à 50 PS mußte beim ersten Versuch nach 1½stündigem Betriebe infolge zu großer Erhitzung durch die Auspuffgase vorübergehend stillgestellt werden, weshalb anschließend an den ersten Versuch ein zweiter angeschlossen wurde, welcher normal verlief. Am Schlusse der Prüfungen wurden Regulierversuche angestellt, um die Gleichmäßigkeit des Ganges bei Be- und Entlastungen bzw. den Ungleichförmigkeitsgrad der Gasmotoren zu erproben.

Ich lasse im folgenden das Prüfungsprotokoll des 75 pferdigen Gasmotors nebst Generator und Dynamo sowie die Resultate der vorgenommenen Messungen, an der Gasgenerator- und Motor-, sowie der Dynamomaschinen-Anlage nebst einigen Diagrammen, Fig. 195 u. 196, folgen.

Die Brennmaterialökonomien ergeben sich nach den Berechnungen im Prüfungsprotokoll B für die 50- bzw. 75-PS-Maschine zu 337 bzw. 348 g pro effektive Pferdekraft und Stunde. — Der Wasserverbrauch für Reiniger und Motorkühlung betrug 31,3 bzw. 20,6 Liter pro effektive Pferdekraft und Stunde. Garantiert sind bei einem Heizwert von 8000 WE im Kilogramm die Werte von 370 bzw. 350 g und 45 bis 50 Liter Wasser inkl. Reinigungswasser pro effektive Pferdekraft und Stunde mit 5 Proz. Toleranz. Diese Werte sind gut eingehalten bzw. zum Teil stark unterschritten, zumal der Heizwert der Kohle nur 7632,1 Kal. betrug und die Garantie sich auf 8000 Kal. Heizwert bezog; s. hierzu Kohlenanalyse im Prüfungsprotokoll, S. 551.

Die Prüfungen über die Gleichmäßigkeit des Ganges ergaben bei 50 Proz. Be- oder Entlastungen 1,3 Proz. Tourenunterschied, während

im regulären Betriebe keine größeren Schwankungen als 1,8 Proz. in der Tourenzahl auftraten. Garantiert waren 2 Proz. Tourenunterschied bei 25 Proz. Be- oder Entlastungen. Die Versuchsergebnisse sind somit günstig.

Die Leistungen und Wirkungsgrade der Gasmotoren berechnen sich aus den Daten der Versuchstabellen und den Konstanten der Maschinen unter Berücksichtigung der ermittelten Nutzeffekte der Gleichstrommaschinen von rund 89 bzw. 91 Proz. und der Riemenantriebe von rund 95 Proz. Erstere ergaben im Mittel während der Dauerversuche 49,9 und 80,5 PS_e, während Werte von über 52,5 und 86 PS_e leicht erreicht wurden. Die Nutzeffekte resultierten bei diesen Belastungen zu 68,5 bzw. 78,5 Proz.

Fig. 195.

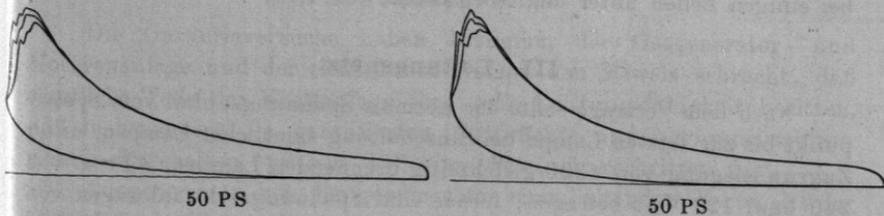
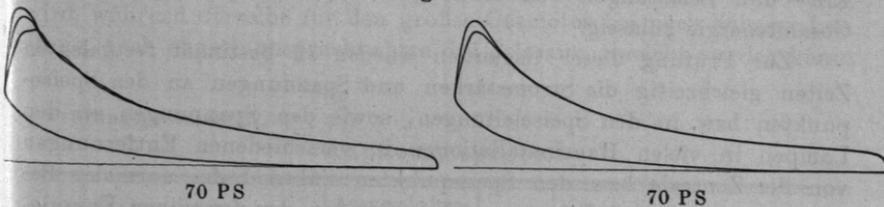


Fig. 196.



Gefordert waren normale Leistungen von 50 bzw. 75 PS und gewünscht ein Wirkungsgrad von 80 Proz. Der Nutzeffekt des großen Gasmotors wird bei einer Toleranz von 1,5 Proz. erreicht; derjenige des kleinen Gasmotors ist durch Störungen der Versuche und durch die geringere Leistung herabgesetzt. Jedenfalls wird unter normalen Verhältnissen das Resultat günstiger ausfallen.

Die Temperaturerhöhungen über die Umgebung in den verschiedenen Teilen der Gleichstrommaschinen wurden nach der Dauerprobe zu etwa 29° im Mittel bzw. 32° im Maximum festgestellt und bleiben somit weit unter dem zulässigen Maximalwert von 50° C. Die Stromabgabe erfolgte ohne jede Funkenbildung an den Kollektoren.

Ein Vergleich der angezeigten Werte der Schaltapparate mit den Werten der Präzisions-Meßinstrumente ergab ein befriedigendes Resultat; die Fehler lagen in normalen Grenzen und die angezeigten Werte wichen nur wenig vom Sollwerte ab.

II. Akkumulatoren.

Die Kapazität der Batterie (s. Prüfungsprotokoll A) ergab bei einer Entladungsstromstärke von 116,0 Amp. im Mittel unter Berücksichtigung der Korrektur des Amp.-Meters in 3,3 Stunden rund 382,8 Amp.-Std. Garantiert waren für die 170 Elemente von der Firma Gottfried Hagen in Kalk bei Köln 378 Amp.-Std., also war die Garantie nicht nur erreicht, sondern etwas überschritten, d. h. die abgegebenen Amperestunden waren etwas höher als garantiert war. Die Endspannung betrug hierbei pro Zelle 1,86 Volt; es hätte somit die Entladung noch kurze Zeit fortgesetzt werden können, zumal noch je drei Zellen zugeschaltet werden konnten. Das spezifische Gewicht der Säure sank bei einigen Zellen unter den Normalwert von 1,15.

III. Leitungsnetz.

Nach dem Vertrage sollte der normale Spannungsabfall vom Speisepunkt bis zur letzten Lampe bei Einschaltung sämtlicher Lampen, unter Zugrundelegung von 1320 gleichzeitig brennenden Lampen, 3 Proz. von 240 bzw. 120 Volt betragen; ferner sind Spannungsschwankungen von $\pm 1,5$ Proz. im regulären Betriebe und rund $\pm 1,7$ Proz. bei plötzlichen Ent- und Belastungen von etwa ± 25 Proz. der jeweilig benutzten Gesamtenergie zulässig.

Zur Prüfung dieser Garantien wurden zu bestimmt festgelegten Zeiten gleichzeitig die Stromstärken und Spannungen an den Speisepunkten bzw. in den Speiseleitungen, sowie den Spannungen an den Lampen in vielen Hausinstallationen in verschiedenen Entfernungen von der Zentrale bzw. den Speisepunkten während des normalen Betriebes und während Belastungsschwankungen der jeweiligen Energieentnahme von etwa 25 Proz. gemessen. Die mittlere Belastung betrug bei diesen Untersuchungen $275 \text{ Amp.} \times 240 \text{ Volt} = 66000 \text{ Watt}$; dieses entspricht etwa 1320 Glühlampen à 16 NK. Die Spannungen bzw. die Spannungsabfälle in den verschiedenen Installationen ergaben sich zu: 122, 120, 120, 119, 118,5, 116 bzw. 0,5 . 1,25 . 1,0 . 1,5 . 3,5 Volt, im Mittel somit 1,55 Volt; zulässig waren laut Vertrag 3 Proz. = 3,6 Volt. Die Spannungsschwankungen beliefen sich im regulären Betriebe auf $1 \pm 1,5$ Volt und bei Belastungsschwankungen um 25 Proz. auf im Mittel $\pm 2,5$ Volt; zulässig waren laut Vertrag im ersten Falle 1,5 Proz. = 1,8 Volt und im zweiten Falle 1,7 Proz. = 2 Volt, bezogen auf 120 Volt. Kurz vor den Regulierversuchen wurde eine Maschine abgestellt, so daß die Nutzspannung an den Speisepunkten auf 117,5 Volt und an den Hausinstallationen bis auf 114,5 Volt sank; hierauf ist wohl die etwas größere Spannungsschwankung bei den Be- und Entlastungsversuchen zurückzuführen, was um so mehr anzunehmen ist, da die Regulierungsversuche am Gasmotor günstig ausfielen; s. unter I, S. 546, 547.

Es sind somit die Garantien zum Teil sogar unterschritten und im wesentlichen als eingehalten zu betrachten. Zur weiteren Kontrolle wurden die Leitungsquerschnitte an den Speisepunkten gemessen und zeigte es sich, daß die im Leitungsplan angegebenen Querschnitte bestanden.

Die Prüfung des Leitungsnetzes auf Isolation erfolgte nach der Methode des direkten Ausschlages mit einem Präzisions-Voltmeter von hohem Widerstand. Alle +- und -- Leitungen der Dreileiteranlagen wurden untereinander verbunden und an eine Klemme des Voltmeters und der Mittelleiter an die andere Klemme angeschlossen. Das Resultat der Prüfungen war ein sehr günstiges und der Isolationswiderstand viel höher, als die Verbandsvorschriften vorschreiben.

Schlußergebnis.

Die Garantieversuche haben bezüglich der Gasgenerator- und Motorenanlage und der elektrischen Anlage den Beweis erbracht, daß sämtliche Teile der Kraftanlage ihre volle Leistungsfähigkeit besitzen, daß insbesondere die garantierten Nutzeffekte und Verbrauchsziffern richtig eingehalten und zum Teil über- bzw. unterschritten sind.

Ausgenommen von den gewünschten einzuhaltenden Werten ist der Nutzeffekt des kleinen Gasmotors, welcher, wie bereits erwähnt, unter normalen Verhältnissen höher sein, jedoch wohl kaum ganz auf 80 Proz. steigen wird, während derselbe für den großen Gasmotor bei noch höherer Leistung, auch ohne Inanspruchnahme der Toleranz, erreicht werden kann.

Prüfungsprotokoll A.

Kapazitätsprobe.

Zeit	Präzisions-Amp.-Meter	Präzisions-Volt-Meter	Ausgeschaltete Zellen auf jeder Hälfte	Zelle	Säure-dichte	Bemerkungen
1 ¹²	124,0	242,0	7	9	1,196	3 Volt Leitungsverlust in der Zuleitung. Das spezifische Gewicht der Säure sank bei einigen Zellen unter 1,15. Endspannung an den 170 Zellen der Batterie gemessen 316 Volt = 1,86 Volt pro Zelle.
1 ²²	131,0	235,0	—	39	1,186	
1 ³²	117,5	237,0	—	64	1,165	
1 ⁴²	117,0	237,0	—	—	—	
1 ⁵²	118,0	239,0	6	—	—	
2 ⁰⁰	116,5	240,0	—	—	—	
2 ¹⁵	113,5	240,0	—	—	—	
2 ³⁰	113,5	244,0	5	—	—	
2 ⁴⁵	113,5	239,0	—	—	—	
3 ⁰⁰	119,5	239,0	4	—	—	
3 ¹⁵	118,5	237,5	—	—	—	
3 ³⁰	115,5	235,0	—	—	—	
3 ⁴⁵	111,5	235,0	—	—	—	
4 ⁰⁰	108,5	238,0	3	9	1,167	
4 ¹⁵	108,5	235,0	—	39	1,159	
4 ³⁰	108,5	230,0	—	64	1,149	
	Mittel ~116 Amp.					

116 Amp. × 3,3 Stunden = 382,8 Amp.-Stunden.

Prüfungsprotokoll B mit Ausrechnungen.

Gasmotor 75 PS.

Zylinderdurchmesser 432 mm, Hub 650 mm; Versuchsdauer 5,583 Stunden.

Dynamo 240/70 Volt, 204 Amp.; $\eta = 0,91$.

Zeit	Amp.	Volt	Kilowatt	Touren des Gas-motors	Kohle kg	Wasser kg	Temperatur des Raumes	Bemerkungen
5 ⁵⁵	224	244	54,8	170	36	2000	19,0	Die Korrekturen der elektrischen Instrumente wurden bei der Einschreibung ins Protokoll direkt in Rechnung gezogen. Generator ist zu Anfang des Versuches durchgebrannt. Temperatur der einzelnen Teile der elektrischen Maschine war max. 50° C, somit Temperaturzunahme über die Außentemperatur im Mittel 29,2° C, max. 32° C. Der mittlere indizierte Druck berechnete sich zu 5,70. Kühlwasserabfluß 33,5° C.
6 ¹⁵	215	240	51,5	168	—	—	—	
6 ³⁰	203	241	51,3	167	48	—	—	
6 ⁴⁵	219	240	52,6	170	—	—	—	
7 ⁰⁰	221	242	53,2	168	—	—	—	
7 ¹⁵	200	241	48,2	172	—	2000	—	
7 ³⁰	208	242	52,8	171	—	—	—	
7 ⁴⁵	200	241	48,2	173	—	—	—	
8 ⁰⁰	203	244	49,5	171	—	—	19,5	
8 ¹⁵	200	251	50,2	171	60	bis 8 ⁰⁵	—	
8 ³⁰	207	255	52,8	171	—	3,6 cbm	21,0	
8 ⁴⁵	203	255	52,0	171	—	H ₂ O	—	
9 ⁰⁰	200	256	51,2	170	—	gebraucht	21,5	
9 ¹⁵	209	254	53,0	171	—	—	—	
9 ³⁰	203	254	51,8	170	—	—	20,0	
9 ⁴⁵	200	256	51,2	170	—	—	19,0	
10 ⁰⁰	198	248	49,2	165	—	—	—	
10 ¹⁵	205	248	51,0	168	—	—	18,0	
10 ³⁰	207	250	51,8	172	—	—	—	
10 ⁴⁵	200	256	51,2	168	—	—	18,5	
11 ⁰⁰	195	255	49,7	171	12	—	20,0	
11 ¹⁵	200	245	49,0	170	—	—	—	
11 ³⁰	202	245	49,3	170	—	—	—	
Stdn. 5,583	—	—	Mittel ~ 51,1	Mittel ~ 170	i. Sa. 156	—	Mittel 20,8° C	

Ausrechnung der Protokollwerte:

$$KW \times \text{Stunden}$$

Elektr. PS \times Nutzeffekt der Dynamo \times Nutzeffekt des Riemens

$$= \frac{51,1 \cdot 5,583}{0,736 \cdot 0,91 \cdot 0,95} = \sim 449 \text{ PS}_e\text{-Stdn.},$$

$$\text{somit pro PS}_e\text{-Stde. } \frac{156 \text{ kg Kohle}}{449 \text{ PS}_e\text{-Stde.}} = \sim 0,348 \text{ kg},$$

$$\frac{2,166 \text{ Stunden} \times 51,2 \text{ KW}}{0,736 \cdot 0,91 \cdot 0,95} = 175 \text{ PS}_e\text{-Stdn.}$$

entsprechend 3600 Liter Wasserverbrauch, somit

1 PS_e-Stde.: 20,6 Liter Wasserverbrauch.

Die Großherzogliche chemische Prüfungsstation für die Gewerbe in Darmstadt hat folgende Kohlenanalysen — aus der feingepulverten Kohle mit 1,41 Proz. Feuchtigkeit — festgestellt:

Kohlenstoff	84,26	bzw.	84,10	Proz.
Nutzbarer Wasserstoff	3,32	"	3,32	"
Schwefel	1,01	"	1,01	"
Feuchtigkeit	1,24	"	1,41	"
Mineralstoffe	5,75	"	5,74	"
Sauerstoff und Stickstoff	4,42	"	4,42	"

Aus diesen Zahlen berechnet sich der Heizwert der Kohle nach der Formel 1 auf S. 6 bzw. 127 zu:

$$8100 C + 29000 \left(H - \frac{N+O}{8} \right) + 2500 S - 600 W$$

= 7632,1 WE für 1 kg der lufttrockenen Kohle.

Ausrechnung: Der mittlere indizierte Druck ergab sich aus dem Diagramm zu 5,70 kg/qcm, die Oberfläche $O = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 43,2 \cdot 43,2}{4}$

= 1464,99 qcm, $n = 170$, $s_1 = \frac{s}{4} = \frac{650}{4} = 162,5$; somit ist die mittlere indizierte Leistung nach Formel (9a) S. 155:

$$N_i = 1464,99 \cdot 5,70 \cdot \frac{650 \cdot 170 \cdot 1}{4 \cdot 30 \cdot 75} = \sim 102,5 \text{ PS}_i$$

und

$$\frac{51,1}{0,736 \cdot 0,91 \cdot 0,95} = \sim 80,5 \text{ PS}_e;$$

hieraus resultiert

$$\eta = \frac{80,5}{102,5} = 78,5 \text{ Proz.}$$