

Ergebnis bezüglich Erfüllung der Garantien.

Der garantierte Dampfverbrauch (7,75 kg) ist mit einem tatsächlich festgestellten Werte von nur 6,7 kg gut eingehalten, der garantierte Wert (85 Proz.) für den Wirkungsgrad mit 84 Proz. nahezu erreicht.

Bezüglich der Regulierfähigkeit gilt das für die vorige Maschine (150 PS) Gesagte.

Zweites Beispiel.

Abnahmeversuche einer 1000 PS-Dampfmaschinen- und Kesselanlage der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg.

Im folgenden gebe ich ein Beispiel eines Abnahmeversuches einer stehenden Dreifachexpansionsdampfmaschine nebst dem dazu gehörigen Dampfessel. Die Versuche verdanke ich den Berichten des Oberingenieurs J. H. Kinbach in Nürnberg und Oberingenieur Krumper in Augsburg in der Zeitschr. d. V. d. Ing., Bd. 42.

Angaben über die Maschine und den Kessel sowie Garantien und Beschreibungen.

Die stehende Dreifachexpansionsdampfmaschine und Dampfessel hatten folgende Dimensionen:

	Zylinder I		Zylinder II		Zylinder III	
Durchmesser: $d_{I, II, III}$ in mm	577,6		925,7		1350,6	
Kolbenhub: s mm . . .	1002,5		1002,5		1002,5	
Kolbenstangen-Durchm.: $d_{sI, sII, sIII}$ in mm . .	129,5	105,0	129,5	104,9	130	104,9
Wirksame Kolbenfläche, $O = \frac{\pi}{4} (d_{I, II, III}^2 - d_{sI, sII, sIII}^2)$ in qcm	2488,55	2533,67	6598,65	6643,94	14193,90	14240,20
Hubvolumen in Liter . .	251,74		1 :		1425,25	
Schädlicher Raum ϵ_0 . .	5,5 Proz. = 13,85 Liter		—		4,25 Proz. = 60,57 Liter	
Umlaufzahl pro Minute, n	102,05 bzw. 101,31 bei Norm.- bzw. Max.-Leistung					
Kolbengeschwindigkeit, c in m	3,410 bzw. 3,885 bei Norm.- bzw. Max.-Leistung					

Leistung bei 10 Atm. Anfangsspannung und $n = 100$ bei günstigster Füllung 1000 PS_e und bei höherer Füllung 1200 PS_e.

Bauart des Dampfessels: kombinierter Flammrohr-Röhrenkessel zu 250 qm Heizfläche mit zwei Dampfammlern.

Heizfläche des Dampfessels: 750 qm.

Speisewasser auf 1 qm Heizfläche und 1 St. in kg: 8,93 bzw. 10,63 kg bei Normal- bzw. Maximalleistung.

Vertragsmäßig waren folgende Dampfverbrauchszahlen und Wirkungsgrade gewährleistet:

Belastung	Luftleere am Abdampfrohr	Dampfverbrauchszahlen	Wirkungsgrad
1124 PS _i Normalleistung .	70 bzw. 65 cm	entspr. 5,75 bzw. 6,10 kg	89 Proz.
1333 PS _i Maximalleistung .	70 „ 65 „	„ 6,25 „ 6,70 „	90 „

Die Dampfzylinder sind stehend nebeneinander angeordnet und arbeiten auf eine dreifach gekröpfte Kurbelwelle mit unter 120° versetzten Kurbeln. Die Enden der zwischen Hoch- und Mitteldruckzylinder geflanschten Kurbelwelle sind mit den Wellen der Dynamomaschinen durch Kuppelflanschen verbunden; an denselben sind ferner die zwei Schwungräder von je 7500 kg Gewicht befestigt. Die Zylinder sind mit Dampfmänteln versehen und gegen Wärmeverlust gut geschützt. Die Heizung des Hoch- und Niederdruckzylinders erfolgt mittels Arbeitsdampfes und des Mitteldruckzylinders durch frischen Kesseldampf. Das Niederschlagwasser in den Mänteln wird durch automatische Wasserableiter abgelassen. Sicherheitsventile und Schlammhähne sind an jedem Zylinder angebracht; ferner sind an dem Hoch- und Mitteldruckzylinder Umgangsventile vorhanden, welche eine Überströmung des Dampfes aus den Mänteln in die Aufnehmer ermöglichen, wodurch die Maschine in jeder Stellung angelassen werden kann. Hauptabsperrventil, Schlammhähne und Umgangsventil werden vom Führerstand aus in Tätigkeit gesetzt. — Da die Maschinen für Straßenbahnbetrieb dienen sollten, so dürften die Regulatorien nicht zu empfindlich sein, da sonst die Gefahr der Überregulierung und des Nichtzuruhekommens bestand. Ferner mußten genügend große Schwungmassen und konstante Magneterregung gefordert werden, da sonst bei großen Kraftschwankungen auch große Unterschiede in der Klemmenspannung und im Erregerstrom auftreten. Die konstante Magneterregung wurde durch Akkumulatoren mit konstanter Spannung bewirkt.

Bei mehreren gleichzeitig im Betriebe befindlichen Maschinen verteilen sich die Belastungsschwankungen und bewirken ein rasches Funktionieren der Reguliervorrichtungen. Da die Wasserverhältnisse ungünstig waren, so wurde eine Gegenstromkondensationsanlage an Stelle einer allgemein gebräuchlichen Luftpumpenkondensation (Parallelstromkondensation) von der Sangerhäuser Maschinenfabrik ausgeführt. Der Kraftverbrauch der Kondensationsanlage betrug einschließlich der Wasserbeförderung für das Gradierwerk (8,65 cbm Wasser) 3 Proz. der geleisteten Arbeit. — Jede Dampfmaschine ist mit zwei Dynamomaschinen von je 400 KW gekuppelt. Die Tourenzahl beträgt 100. Die Lichtenergie wird je nach der Entfernung der Stadtteile — mittels Gleichstromdreileiter — direkt oder unter Anwendung von Akkumula-

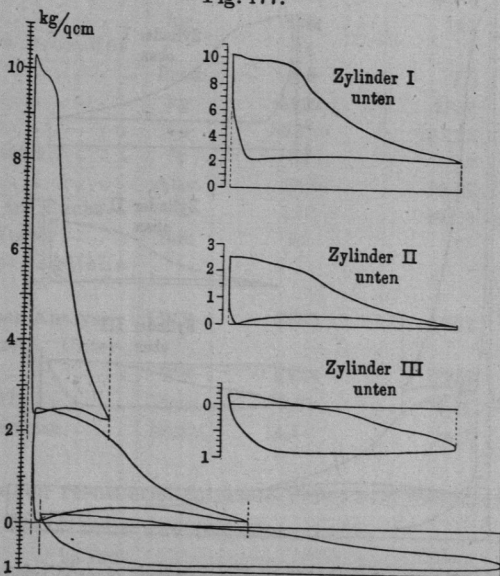
toren - Unterstationen abgegeben. Für den Lichtbetrieb beträgt die Spannung 250 bis 300 Volt und für den Straßenbahnbetrieb 500 bis 600 Volt. Der Straßenbahnbetrieb ist überwiegend und können die 300 voltigen Dynamos bei Hintereinanderschaltung auch für diesen benutzt werden; infolgedessen bilden je zwei Dynamos die Reserve für den Lichtbetrieb bei 300 Volt in Parallelschaltung und den Straßenbahnbetrieb bei 600 Volt. Der Wirkungsgrad der Dynamos betrug 93 Proz.

Ausführung der Versuche.

Die Versuche sind entsprechend den „Normen für Leistungsversuche an Dampfkesseln und Dampfmaschinen, aufgestellt vom Verein deutscher Ingenieure usw.“, ausgeführt und sind außer den Ermittlungen über Leistungen — effektive und indizierte —, Nutzeffekte, Dampfverbrauch und den dazu gehörigen Daten, auch solche zur Beurteilung des Wärmeverbrauches, des thermischen Wirkungsgrades und des Gütemaßstabes angestellt (s. hierzu die auf S. 3 bis 16 und 21 bis 44 angegebenen Versuche, Bezeichnungen und Berechnungen).

Der verwendete Kessel war durch Blindflanschen in Dampf- und Speiseleitungen von den anderen Kesseln getrennt; ebenfalls die Dampfmaschinen und Wasserleitungen der zum Versuchskessel benötigten Speisepumpe. Diese Speisepumpe wurde mit Dampf von einem anderen Kessel versehen. Der Versuchsbeginn erfolgte beim Beharrungszustand der Maschine. — Kesselwasserstand und Dampfdruck wurden bei Beginn und am Ende des Versuches auf die anfängliche Höhe gebracht. Das Kondenswasser aus Zylindermänteln und Dampfleitung wurde nach Durchgang durch Kühlschlangen — zur Nachdampfungsvermeidung — abgewogen. Indikator-Diagramme wurden in regelmäßigen Zwischenräumen gleichzeitig abgenommen. Obenstehende Fig. 177 und umstehende Fig. 178 stellen einen Satz der Diagramme dar; der Inhalt der Diagramme usw. ist mit dem Polarplanimeter ermittelt. Die Messungen

Fig. 177.



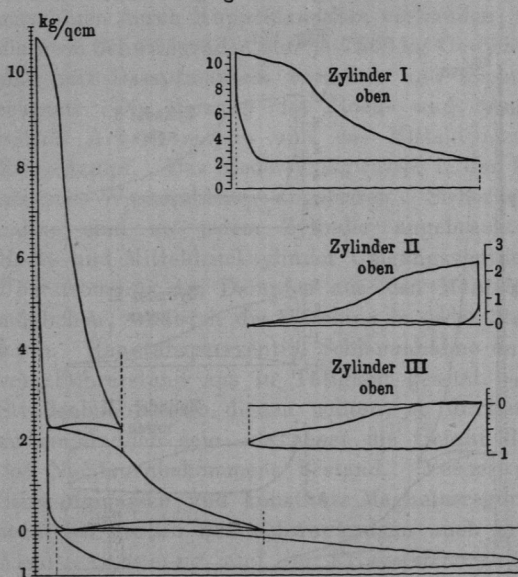
sind analog den früheren ausgeführt, s. hierzu S. 25 bis 44. Nebensiehende Tabelle A und umstehende Tabelle B stellen die Resultate der Versuche bei normaler und maximaler Beanspruchung der Kessel bzw. der Dampfmaschine dar.

Die Dampfmaschine ist gekuppelt mit zwei Dynamos, welche während des Versuches auf konstante Widerstände arbeiten.

Der Wirkungsgrad der Kessel ermittelt sich wie folgt: Die vom Wasser zugeführte Wärme λ_1 resultiert aus der Regnaultschen Formel (8) (s. S. 12 und 14 bis 16) zu:

$$\lambda_1 = 606,5 + 0,305 \cdot 182,26 - 55 = 607,09 \text{ Kal.}$$

Fig. 178.



Die Temperatur $182,26^\circ\text{C}$ entspricht der Dampfspannung von $10,8 \text{ Atm. absolut.}$

Bei einer Dampferzeugung von $10,54 \text{ kg}$ pro Kilogramm Kohle beträgt die aufzuwendende Wärmemenge:

$$10,54 \cdot 607,09 \\ \text{rund } 6398,73 \text{ Kal.}$$

Die Gesamtwärme von 1 kg Kohle ergibt sich nach den Analysen im Mittel zu $7751,5 \text{ Kal.}$ Der Wirkungsgrad des Kessels ist somit:

$$\frac{6398,73}{7751,5} \text{ rund } 0,8255 \\ = 82,55 \text{ Proz.}$$

In analoger Weise resultiert der Wirkungsgrad des Kessels für die Maximalleistung wie folgt:

$$\lambda_1 = 606,5 + 0,305 \cdot 181,29 - 59 = 602,79 \text{ Kal.}$$

$$10,35 \cdot 602,79 = 6238,88 \text{ Kal.}$$

$$\eta = \frac{6238,88}{7751,5} \text{ rund } 0,8050 = 80,50 \text{ Proz.}$$

Alle weiteren Berechnungen sind in der Versuchstabelle A ausgeführt.

Die Werte für die indizierte Leistung rechnen sich aus der Formel $N_i \text{ oben bzw. unten} = \frac{0 \cdot 10000 \cdot p_i \cdot s \cdot n}{60 \cdot 75}$, hiernach resultieren folgende Werte:

Tabelle A.

		Versuch bei Normalleistung	Versuch bei Maximalleistung (auf einen Kessel bezogen)
Versuchsdauer	Min.	446	420
Wasserberührte Kesselheizfläche	qm	3.250 = 750	250
Gesamte Rostfläche	qm	3.366 = 10,98	3,66
Wasserraum bis zur Wasserstandsmarke	cbm	86,55	28,85
Dampfraum bis zur Wasserstandsmarke	cbm	31,65	10,55
Verhältnis der Rostfläche zur wasser- bespülten Heizfläche		1:68,3	1:68,3
Abgewogener Kohlenverbrauch (Car- diffkohle)	kg	5607	2528
Asche und Schlacke	kg	485	191
Asche und Schlacke in Proz. des Brennstoffes	Proz.	8,6	7,6
Nettokohlenverbrauch	kg	5122	2337
Abgewogene Wassermenge	kg	59 130	26 182
Temperatur des Speisewassers	°C	55	59
Mittlere Dampfspannung	Atm.	10,80	10,57
Temperatur der Heizgase im Fuchs	°C	223	243,5
Zuggeschwindigkeit im Wasser	mm	15	15
Heizwert pro kg ursprüngliche Kohle:			
a) nach der chemischen Analyse	WE	7765	7765
b) nach der kalorimetr. Unter- suchung	WE	7738	7738
Aschengehalt der Kohle	Proz.	4,21	4,41
Kohlensäuregehalt der Heizgase	Mittel	14,5	16,5

Aus diesen Notierungen resultieren folgende Versuchsergebnisse:

Verdampfung pro qm Heizfläche und Stunde:

$$\frac{59\,130}{750 \cdot 7,433} \text{ bzw. } \frac{26\,182}{250 \cdot 7} = \text{kg } 10,63 \text{ bzw. } 14,96.$$

Verdampfung pro kg Brutto-Kohle:

$$\frac{59\,130}{5607} \text{ bzw. } \frac{26\,182}{2528} = \text{kg } 10,54 \text{ bzw. } 10,35.$$

Brennstoffverbrauch pro qm Rostfläche und Stunde:

$$\frac{5607}{10,98 \cdot 7,433} \text{ bzw. } \frac{2528}{3,66 \cdot 7} = \text{kg } 70,4 \text{ bzw. } 98.$$

Brennstoffverbrauch pro qm wasserbespülte Heizfläche und Stunde:

$$\frac{5607}{750 \cdot 7,433} \text{ bzw. } \frac{2528}{250 \cdot 7} = \text{kg } 1,03 \text{ bzw. } 1,45.$$

Wirkungsgrad der Kessel in bezug auf die brutto verheizte Kohle:

$$\text{Proz. } 82,55 \text{ bzw. } 80,50.$$

Tabelle B.

	Versuch bei Normalleistung	Versuch bei Maximalleistung
Versuchsdauer, Min.	433	446
Gesamter Speisewasserverbrauch, kg.	48 343	59 130
Speisewassertemperatur, °C	55	59
Niederschlagwasser aus der Leitung während der Versuchsdauer, kg	1 589	1 826
Niederschlagwasser im Verhältnis zur gesamten Speisewassermenge, Proz.	3,29	3,09
Der der Maschine zugeführte Dampf, kg/St.	6 478,2	7 709,0
Absolute Dampfdrucke in kg/qcm in bezug auf das Manometer bzw. das Diagramm:		
Eintrittsdruck p_1	11,20 bzw. 11,47 max.	11,17 bzw. 11,51 max.
Expansionsdruck p_e (Luftleere am Niederdruck-Zylinder)	65,6 cm Hg bzw. 0,575	66,5 cm Hg bzw. 0,725
Mittlerer Gegendruck p_0	0,147 " 0,156	0,137 " 0,193
Mittlerer Diagrammdruck reduziert auf Niederdruck-Zylinder p_m	1,722	2,068
Barometerstand (absolutes Vakuum in kg/qcm) (Manometer)	1,04	1,04
Mittlere Umdrehungszahl n	102,05	101,31
Mittlere Kolbengeschwindigkeit c in m/sek.	3,410	3,385
Zylinderfüllung in bezug auf das Diagramm:		
Hochdruckzylinder für p_1	0,245	0,386
Füllungsvolumen $\pm \epsilon_0$	75,53	98,43
Gesamtexpansion inkl. ϵ_0	19,67	15,09
Mittlerer indizierter Druck:		
Zylinder I, kg/qcm	unten 3,5171	unten 3,5952
" II, "	oben 1,0671	oben 1,3942
" III, "	0,6724	0,8806
Mittlere indizierte Leistung:		
Zylinder I, PS	198,98	201,92
" II, PS	202,61	213,62
	401,59	415,54
	160,09	207,64
	311,30	399,70

Stunde N_j in PS	0,2378	0,2313
Mechanischer Nutzeffekt der Maschine:		
1023,0 bzw. 1226,8 in Proz.	91,9	92,4
1113,1	5,82	5,81
Dampfverbrauch pro PSi-St. abzüglich Niederschlagwasser aus der Leitung D_i in kg	4,204	4,324
Dampfverbrauch der verlustlosen Maschine pro PSi-St. $D_j^0 = 1/N_j^0$ in kg	3885	3852
Wärmeverbrauch pro 1 PSi-St. $e_1 \cdot D_1$ bzw. $\lambda_1 \cdot D_1$ in WE	0,165	0,165
Thermischer Wirkungsgrad $\eta_{th} = \frac{637}{\lambda \cdot D_1}$	0,722	0,744
Gütemaßstab $\eta_g = \frac{N_j}{N_j^0} = \frac{D_j^0}{D_1} =$ Verhältnis der wirklich geleisteten Arbeit zu derjenigen der verlustlosen Maschine	33,9	44,1
Mittlerer Füllungsgrad des Hochdruckzylinders aus allen Diagrammen	165	194
Niederschlagwasser im Mantel des Hochdruckzylinders, kg/St.	196,2	422,40
Niederschlagwasser im Mantel des Hoch- und Mitteldruckzylinders sowie den Deckeln des Hoch- und Mitteldruckzylinders, kg/St.	36,0	48,6
Niederschlagwasser im Aufnehmer I, kg/St.	63,3	91,2
Niederschlagwasser im Mantel des Niederdruckzylinders und im Aufnehmer II, kg/St.	460,5	756,2
Niederschlagwasser in sämtlichen Mänteln und Aufnehmern, kg/St.	7,1	9,7
Niederschlagwasser in den Mänteln und Aufnehmern in Proz. des der Maschine zugeführten Speisewassers, Proz.	2,5	2,5
Verteilung des gesamten Niederschlagwassers der Mäntel und Aufnehmer auf die einzelnen Zylinder:	3,0	5,5
a) Hochdruckzylinder, Proz.	0,6	0,6
b) Mitteldruckzylinder und Deckel des Hoch- und Mitteldruckzylinders	1,0	1,1
c) Aufnehmer I		
d) Niederdruckzylinder-Mantel und Aufnehmer II		

Stunde N_j in PS

Mechanischer Nutzeffekt der Maschine:

1023,0 bzw. 1226,8 in Proz.

1113,1

Dampfverbrauch pro PSi-St. abzüglich Niederschlagwasser aus der Leitung D_i in kg

Dampfverbrauch der verlustlosen Maschine pro PSi-St. $D_j^0 = 1/N_j^0$ in kg

Wärmeverbrauch pro 1 PSi-St. $e_1 \cdot D_1$ bzw. $\lambda_1 \cdot D_1$ in WE

Thermischer Wirkungsgrad $\eta_{th} = \frac{637}{\lambda \cdot D_1}$

Gütemaßstab $\eta_g = \frac{N_j}{N_j^0} = \frac{D_j^0}{D_1} =$ Verhältnis der wirklich geleisteten Arbeit zu derjenigen der verlustlosen Maschine

Mittlerer Füllungsgrad des Hochdruckzylinders aus allen Diagrammen

Niederschlagwasser im Mantel des Hochdruckzylinders, kg/St.

Niederschlagwasser im Mantel des Hoch- und Mitteldruckzylinders sowie den Deckeln des Hoch- und Mitteldruckzylinders, kg/St.

Niederschlagwasser im Aufnehmer I, kg/St.

Niederschlagwasser im Mantel des Niederdruckzylinders und im Aufnehmer II, kg/St.

Niederschlagwasser in sämtlichen Mänteln und Aufnehmern, kg/St.

Niederschlagwasser in den Mänteln und Aufnehmern in Proz. des der Maschine zugeführten Speisewassers, Proz.

Verteilung des gesamten Niederschlagwassers der Mäntel und Aufnehmer auf die einzelnen Zylinder:

a) Hochdruckzylinder, Proz.

b) Mitteldruckzylinder und Deckel des Hoch- und Mitteldruckzylinders

c) Aufnehmer I

d) Niederdruckzylinder-Mantel und Aufnehmer II

480 Beispiele für Gesamtprüfungen und Abnahmen in Zentralstationen.

$$N_i \text{ oben} = \frac{2488,55 \cdot 3,5171 \cdot 1,0025 \cdot 102,5}{60 \cdot 75} = 198,98 \text{ PS}_i$$

bzw.

$$N_i \text{ unten} = \frac{2533,67 \cdot 3,5176 \cdot 1,0025 \cdot 102,5}{60 \cdot 75} = 202,61 \text{ PS}_i,$$

$$N_i = N_i \text{ oben} + N_i \text{ unten} = 198,98 + 202,61 = 401,59 \text{ PS}_i.$$

Die anderen Werte ergeben sich in analoger Weise. Die effektiven Leistungen ermitteln sich aus den Formeln:

$$\frac{\text{Gemessene elektrische Energie in Watt}}{736 \cdot 0,93 \text{ (Wirkungsgrad der Dynamo)}} \text{ oder aus } N_i - N_i;$$

hieraus der Wert für den mechanischen Nutzeffekt der Dampfmaschine.

Der Dampfverbrauch berechnet sich wie folgt:

Gesamter Speisewasserverbrauch — Niederschlagwasser aus der Leitung = $48343 - 1589 = 46754 \text{ kg}$.

Diese Wassermenge wurde verbraucht bei Erzeugung von

$$1113,1 \text{ PS}_i \times 7,217 \text{ Stunden,}$$

somit

$$\text{für } 1 \text{ PS}_i\text{-Stunde: } \frac{46754}{1113,1 \cdot 7,217} = 5,82 \text{ kg.}$$

Die anderen Werte finden sich in analoger Weise. Alle weiteren Berechnungen sind in der Versuchstabelle B schon genügend ausgeführt.

Drittes Beispiel.

Abnahmeversuche an Kesseln¹⁾ und Dampfmaschinen¹⁾ in den Mülhauser Elektrizitätswerken (erbaut von Siemens u. Halske, A.-G.).

Im folgenden seien die an vier Versuchstagen vorgenommenen Prüfungen beschrieben, nämlich zwei Hauptversuche und zwei besondere Verdampfungsversuche. Die Prüfungen der Hauptversuche erstreckten sich auf Bestimmung des Nutzeffektes der Dampfmaschinen, des Kohlen- und des Dampfverbrauches, weiterhin auf Feststellung des Ungleichförmigkeitsgrades und der Tourenschwankungen bei plötzlichen Belastungsänderungen.

Angaben über die Maschinen und Kessel sowie Garantien.

Dampfkessel: 195 qm Heizfläche, 8 kg Überdruck.

Stehende Dampfmaschine: Hochdruckzylinder $d_H = 460 \text{ mm}$,

Niederdruckzylinder $d_N = 720 \text{ mm}$; Hub = 560 mm.

Lichtdynamo von Siemens u. Halske mit einer Leistung von 1050 bis 720 Amp. bei 150 Umdrehungen pro Minute und 220 bis 330 Volt.

¹⁾ Geliefert von der Elsässischen Maschinenbaugesellschaft.