

Ad h). Die Versuche bei verschiedenen Periodenzahlen und induktionsfreier Belastung ergaben bei 50 Proz. Belastung und 45 bzw. 55 Perioden nur Fehler von 0,16 bzw. 0,60 Proz. Ebenfalls gaben die Messungen bei Vollast und $\cos \varphi = 0,8$ bzw. 0,5 ein befriedigendes Resultat; der Fehler in Prozenten des Sollwertes betrug in beiden Fällen nur etwa + 0,3 Proz.

Schlußresultat.

Aus den Untersuchungen sub a bis g bzw. a bis h geht hervor, daß die Hauptmomente für gute Zähler, nämlich: kein Leerlauf, geringer Eigenverbrauch, geringe Reibungswiderstände bzw. große Empfindlichkeit für niedrige Ströme, geringe Beeinflussung der Erwärmung und der Spannungsschwankungen bzw. der Phasenverschiebungen, Periodenzahlen und geringe Abweichungen vom Sollwerte in weiten Grenzen der Belastung, sowie gute Durchführung der Konstruktionen in technischer Beziehung vorhanden sind.

T. Beispiele für Gesamtprüfungen und Abnahmen in Zentralstationen.

Erstes Beispiel.

Abnahmeversuche an Dampfkesseln und Dampfmaschinen der von der E. A. G. vorm. Schuckert u. Co. erbauten elektrischen Zentrale Regensburg.

Daten und Garantien der Flammenrohr-Dampfkesselanlage von J. A. Maffei, München.

1. Die gesamte wasserberührte Heizfläche: 90 qm.
2. Die totale Rostfläche: 2,5 qm.
3. Betriebsüberdruck: 9,5 Atm.
4. Verfeuerte Kohlensorte: „Austria-Würfel II“.
5. Mit 1 kg Kohle brutto von 6600 Kalorien sind bei normaler und maximaler Beanspruchung 7,7 kg Wasser von 0°C in Dampf von 600 Kalorien Erzeugungswärme garantiert.
6. Der Wirkungsgrad des Kessels, d. h. das Verhältnis der Gesamtwärme des erzeugten Wasserdampfes zu der Gesamtwärme der Kohle — und zwar brutto — soll 70 Proz. bei 2 Proz. Toleranz betragen. (Forderung 6. ist identisch mit Forderung 5., wie folgender Zusammenhang der Ziffern unter 5. und 6. zeigt:

$$\frac{600 \text{ Kal.} \times 7,7}{6600 \text{ Kal.}} = 0,70.)$$

7. Jeder Kessel muß normal 18, maximal 22 kg technisch trockenen Dampf von 9,5 Atm. Überdruck pro 1 qm wasserberührte Heizfläche in einer Stunde liefern.

8. Die Dampfmasse darf bei Normalbeanspruchung nicht mehr als 1,5 Proz. betragen.

Ausrechnungen und Versuchsergebnisse der Flammenrohr-Dampfkesselanlage (s. Kapitel A.).

Bei den Abnahmeversuchen sollte festgestellt werden, ob die vertraglichen Garantiezahlen eingehalten sind. Die Dauerprobe von sieben Stunden ergab folgende Resultate:

1. a). Die Ermittlung der Kohlenmenge ergab brutto total 1635 kg d. i. in einer Stunde bzw. in einer Stunde und pro Quadratmeter Rostfläche 233,60 bzw. 93,44 kg.

1. b) und c). Die Zusammensetzung und der Heizwert der feingemahlten Durchschnittsprobe der „Austria-Würfel II“ ergab:

Die grobe Feuchtigkeit der Glasprobe betrug 8,4 Proz.

Nach der chemischen Analyse (Elementaranalyse) waren in 100 g lufttrockener Rohkohle enthalten an:

Kohlenstoff	70,51 g	oder berechnet auf die feuchte Glasprobe	64,58 g
Wasserstoff	4,58 g	„ „ „ „ „ „	4,19 g
Sauerstoff und Stickstoff	8,75 g	„ „ „ „ „ „	8,01 g
Schwefel	0,58 g	„ „ „ „ „ „	0,53 g
Wasser (bei 120° C) . . .	7,91 g	„ „ „ „ „ „	15,68 g
Asche	7,67 g	„ „ „ „ „ „	7,01 g

Es berechnet sich der Heizwert aus der chemischen Analyse nach Formel (1), S. 6:

1. Bei lufttrockenem Heizmaterial zu:

$$81 \cdot 70,51 + 290 \left(4,58 - \frac{8,75}{8} \right) + 25 \cdot 0,58 - 6 \cdot 7,91 = 6689,36 \text{ Kal.}$$

2. Bei dem ursprünglichen feuchten Heizmaterial:

$$81 \cdot 64,58 + 290 \left(4,19 - \frac{8,01}{8} \right) + 25 \cdot 0,53 - 6 \cdot 15,68 = 6075 \text{ Kal.}$$

Die feingemahlene lufttrockene Rohkohle mit einem Wassergehalte von 7,91 Proz. und einem Aschegehalte von 7,67 Proz. ergibt auf kalorimetrischem Wege (s. S. 6 und 7) einen Heizwert von 6696 Kal.

Aus dem Verhältnisse der Zahlen $\frac{6075}{6689,36}$ ergibt sich der kalorimetrische Heizwert des ursprünglichen feuchten Materiales zu:

$$\frac{6075}{6689,36} \cdot 6696 = 6081 \text{ Kal.}$$

1. d). Die zur Verbrennung erforderliche mittlere Zugstärke im Fuchse bzw. hinter den Flammrohren war in Millimetern 6,80 bzw. 6,71.

1. e). Die Temperatur der Heizgase im Fuchse wurde zu 232,6° C bestimmt.

1. f). Die Gasuntersuchung ergab einen mittleren Gehalt von 10,365 Proz. Kohlensäure und 8,168 Proz. Sauerstoff im Fuchse.

1. g). Der ganze Schlacken- bzw. Aschengehalt beträgt 115 bzw. 112 kg, d. h. etwa 13,9 Proz. vom Gesamtkohlenmaterial.

2. a), b), c). Die Wägung des Speisewassers ergab total ein Gewicht von brutto 10700 kg, d. h. in einer Stunde bzw. in einer Stunde und pro 1 qm Heizfläche 1528,8 bzw. 16,986; hierbei war die mittlere Temperatur des Speisewassers 6,72° C. Das Leitungskondensat der Wasserabscheider bzw. der Ringleitung fand sich zu 153,6 bzw. 80,7 kg, d. i. eine Dampfmasse von 2,19 Proz. Der totale Speisewasserverbrauch netto war somit 10456,7 kg für die ganze Dauer des Versuches oder in einer Stunde 1495,2 kg.

Die mittlere Dampfspannung betrug in Atmosphären-Überdruck 9,03 kg/qcm, entsprechend einer Dampftemperatur von 179,2° C.

3. Die Dampfwärme λ_1 beträgt nach Formel (8), S. 12: 606,5 + 0,305 · 179,2 — 6,72, d. h. \sim 654,4 Kal. Unter Berücksichtigung des oben ermittelten Heizwertes der Kohle von 6081 Kal., sowie des Kohlen- bzw. Speisewasserverbrauches von 1635 kg bzw. 10700 kg ergibt sich der Wirkungsgrad des Dampfkessels, s. S. 14 bis 16, Formel (9), zu:

$$\frac{654,4 \cdot 10700}{6081 \cdot 1625} = 0,704 \text{ oder } 70,4 \text{ Proz.}$$

Somit betragen die Wärmeverluste durch abziehende Heizgase, Herdrückstände, Strahlung usw. 29,6 Proz.

Aus obigen Daten lassen sich noch folgende Werte ableiten:

1 kg Kohle brutto verdampft unter den Versuchsverhältnissen

$$\frac{10700}{1635} = 6,544 \text{ kg Wasser.}$$

1 kg Kohle brutto liefert Dampf von 600 Kal. Erzeugungswärme im Betrage von

$$6,544 \cdot \frac{654,4}{600} = 7,136 \text{ kg.}$$

Auf den Heizwert 6600 Kal. (vgl. Garantie 5.) ergibt sich eine Verdampfung von

$$7,136 \cdot \frac{6600}{6081} = 7,74 \text{ kg.}$$

Ergebnis der Untersuchungen hinsichtlich Erfüllung der Garantien.

Aus den Resultaten des Versuches geht hervor, daß bei einer Beanspruchung der wasserberührten Heizfläche mit \sim 17 kg Dampf pro 1 qm der Wirkungsgrad 70,4 Proz., die Dampfmasse 2,19 Proz. betrug;

da die beim Versuche ermittelte Zahl für die Dampfmasse durch die nicht ganz zuverlässig arbeitenden Kondenstöpfe beeinflusst war, so ist sicher anzunehmen, daß dieselbe in Wirklichkeit etwas geringer war. — Da der Wirkungsgrad erreicht ist, so ist auch die Garantie unter 5, betreffend Dampferzeugung pro Kilogramm Kohle, erfüllt; es ergab sich ein Wert von 7,74 kg Dampf.

Die Garantien sind sonach eingehalten.

Anschließend hieran folgen die Versuche an den zu den Kesseln gehörigen Maffei-Dampfmaschinen.

Daten und Garantien einer Receiver-Dampfmaschine von J. A. Maffei, München.

Die Daten sind:

- | | |
|---|----------|
| 1. Durchmesser des Hochdruckzylinders . . . | 415,5 mm |
| 2. " " Niederdruckzylinders . . | 631,5 " |
| 3. Gemeinsamer Kolbenhub | 400,0 " |

Die Garantien sind:

1. Der Dampfverbrauch soll bei der normalen Belastung von 150 PS_e bzw. der maximalen Leistung von 180 PS_e und einer Einspritzwassertemperatur von nicht über 35° C nicht mehr als 7,75 bzw. 8 kg pro 1 PS_i und eine Stunde betragen.

2. Der mechanische Wirkungsgrad soll nicht weniger als 80 Proz. bei normaler und 83 Proz. bei maximaler Leistung betragen.

3. Bei plötzlichen Be- und Entlastungen von 50 Proz. der vorhergehenden Belastung darf die Tourenzahl um nicht mehr als insgesamt 2,5 Proz. schwanken. Bei allmählichem Übergange von einem Viertel auf die maximale Leistung darf sich die Tourenzahl um nicht mehr als 1,5 Proz. insgesamt ändern. Bei plötzlicher völliger Entlastung ist eine Tourenänderung von höchstens 5 bis 6 Proz. über die normale Tourenzahl zulässig.

Die Maschinen müssen bei gänzlich geöffnetem Admissionsventil leerlaufen können, und darf hierbei die Tourenzahl nicht mehr als 4 Proz. über die normale steigen. Die Maschinen müssen bei Maximalleistung noch manövrierfähig sein, d. h., wenn dieselbe durch plötzliche Belastung um 50 Proz. der vorhergehenden Leistung erreicht wird, so dürfen die Umdrehungsschwankungen nicht mehr als 5 Proz. betragen.

Ausrechnungen und Versuchsergebnisse der Maffei-Receiver-Dampfmaschine, Leistung 150 PS_e.

Es wurde eine Dauerprobe von sieben Stunden behufs Ermittlung der Garantiezahlen ausgeführt.

Die mittlere Admissions- bzw. Receiver-Überdruckspannung in Atmosphären wurde zu 8,92 bzw. 1,50 kg/qcm, der Mittelwert des

Vakuums in Zentimetern zu 65,63 ermittelt, die Mittelwerte der Temperaturablesungen des Einspritz- bzw. Ausgußwassers waren 11,4° bzw. 32,8° C. Die Lufttemperatur im Freien betrug im Mittel 10,6° C. Die mittlere Tourenzahl der Dampfmaschine war 150,6 pro Minute.

Die indizierte Leistung für den Hochdruck- bzw. Niederdruckzylinder ergibt sich aus den Formeln für O , $(N_i)_d$ und $(N_i)_k$ [s. Formeln (8 a) und (8 b), S. 25]. Beispielsweise gebe ich eine Rechnung für den Hochdruckzylinder, Deckelseite, und den Niederdruckzylinder, Deckelseite, die sich wie folgt gestaltet:

$$(O_H)_d = \frac{\pi(415,5)^2}{4} = 0,1356 \text{ qm}, \quad (O_N)_d = \frac{\pi(631,5)^2}{4} = 0,3132 \text{ qm}.$$

Hierin bedeutet $(O_H)_d$ und $(O_N)_d$ die nutzbare Kolbenfläche für die Deckelseite des Hochdruck- bzw. Niederdruckzylinders. Ferner bezeichnen $(N_{iH})_d$, $(N_{iH})_k$, $(N_{iN})_d$ und $(N_{iN})_k$ jeweils die indizierte Leistung im Hochdruck- bzw. Niederdruckzylinder auf der Deckel- bzw. Kurbelseite; alsdann ist

Fig. 173.

$N_{iH} = (N_{iH})_d + (N_{iH})_k$
die gesamte indizierte Leistung des Hochdruckzylinders,

$N_{iN} = (N_{iN})_d + (N_{iN})_k$
die gesamte indizierte Leistung des Niederdruckzylinders,

$N_i = N_{iH} + N_{iN}$
die gesamte indizierte Leistung der Maschine.

Bei Verwendung der beigegebenen hier folgenden Diagramme (s. Fig. 173 und umstehende Fig. 174), bzw. der aus denselben ermittelten mittleren indizierten Drucke ergibt sich beispielsweise:

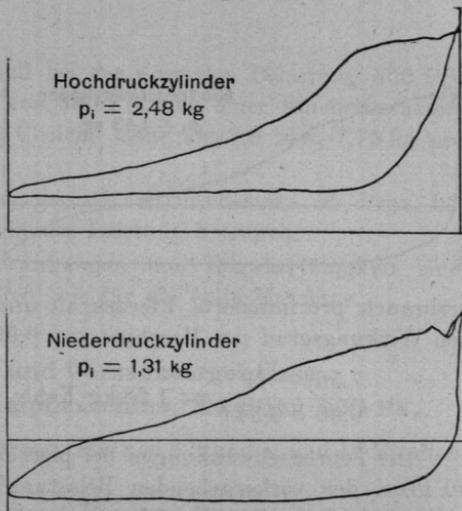
$$(N_{iH})_d = 2,222 \cdot 0,1356 \cdot 150,6 \cdot 0,400 \cdot 2,48 = 45 \text{ PS}_i$$

$$(N_{iN})_d = 2,222 \cdot 0,3132 \cdot 150,6 \cdot 0,400 \cdot 1,31 = 54,8 \text{ PS}_i.$$

Die Berechnung aus sämtlichen Diagrammen ergab einen Mittelwert von $N_{iH} = 87,79 \text{ PS}_i$ und von $N_{iN} = 110,01 \text{ PS}_i$, so daß die gesamte indizierte Leistung der Maschine

$$N_i = 197,80 \text{ PS}_i$$

beträgt.



Der Dampfverbrauch ermittelt sich aus der Speisewassermenge 10700 kg unter Abzug der Verluste des Leitungskondensates im Betrage von 234,3 kg, also aus

$$10700 - 234,3 = 10465,7 \text{ kg total netto.}$$

Diese Dampfmenge wurde in sieben Stunden erzeugt. Der Dampfverbrauch pro indizierte Pferdekraft und Stunde ist demnach

$$\frac{10465,70}{7 \cdot 197,80} = 7,56 \text{ kg.}$$

Die effektive Dampfmaschinenleistung war nach den Bremsversuchen im Mittel

$$N_e = 178 \text{ PS}_e.$$

Der mechanische Wirkungsgrad der Maschine ist somit

$$\eta = \frac{N_e}{N_i} = \frac{178}{197,8} = 90 \text{ Proz.}$$

Der Verbrauch an Kohle pro effektive Pferdekraft und Stunde ergibt sich aus den Werten für die Verdampfungsziffer pro Kilogramm Kohle von 6,544, für den Dampfverbrauch pro indizierte Pferdekraft und Stunde von 7,56 kg und für den Wirkungsgrad der Maschine von 0,90, wie folgt:

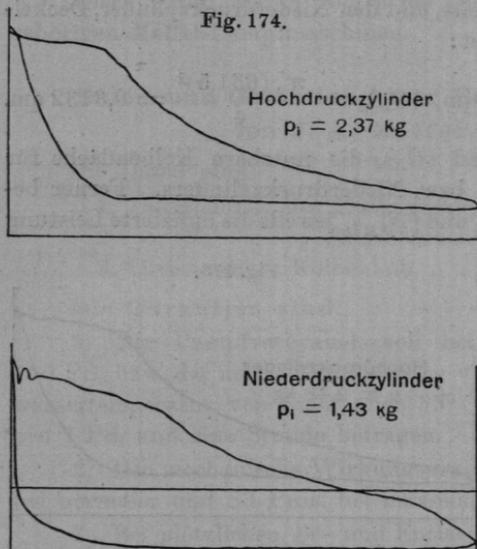
$$\frac{7,56}{0,90} \cdot \frac{1}{6,544} = 1,28 \text{ kg Kohle pro PS}_e \text{ und Stunde.}$$

Die Tourenschwankungen bei plötzlichen Be- und Entlastungen um 50 Proz. der vorhergehenden Belastung bzw. bei allmählichem Übergange von einem Viertel auf die maximale Belastung waren etwa 3,5 bzw. etwa 2,5 Proz. Bei plötzlichen völligen Entlastungen und voll geöffnetem Admissionsventil fand langsames, aber dauerndes Steigen der Tourenzahl statt.

Ergebnis der Untersuchungen hinsichtlich Erfüllung der Garantien.

Die geforderten Garantien der Dampfmaschine bezüglich Dampfverbrauch (7,56 kg ausgerechneter, 7,75 kg garantierter Wert pro PS_i und Stunde) und des mechanischen Wirkungsgrades (90 Proz. ausgerechneter, 80 bzw. 83 Proz. garantierter Wert) sind gut eingehalten.

Fig. 174.



Die Tourenschwankungen sind bei plötzlichen und allmählichen Belastungsänderungen etwa 1 Proz. höher als garantiert. Die Regulierfähigkeit der Maschine speziell bezüglich des Verhaltens bei Entlastung von verschiedenen Belastungen auf Null und bezüglich des Leerlaufes bei ganz geöffnetem Admissionsventile entspricht nicht ganz den Garantien.

Es mögen nun die Versuchsergebnisse einer zweiten größeren Maschine derselben Zentrale folgen.

Daten und Garantien einer Receiver-Dampfmaschine von J. A. Maffei, München.

Die Daten derselben sind:

1. Durchmesser des Hochdruckzylinders . . . 511,5 mm
2. " " Niederdruckzylinders . . . 761,5 "
3. Gemeinsamer Hub 600,0 "

Die Garantien sind:

1. Der Dampfverbrauch soll bei der normalen Belastung 300 PS_e bzw. der maximalen Belastung von 360 PS_e und einer Einspritzwassertemperatur von nicht über 35° C nicht mehr als 7,5 bzw. 7,75 kg pro 1 PS_i und Stunde betragen.
2. Der mechanische Wirkungsgrad soll mindestens 85 Proz. bei normaler und 88 Proz. bei maximaler Leistung betragen.
3. Hinsichtlich Tourenschwankungen und Regulierfähigkeit sind dieselben Bedingungen zu erfüllen, wie für die erste Maschine.

Ausrechnungen und Versuchsergebnisse der Maffei-Receiver-Dampfmaschine, Leistung 300 PS_e.

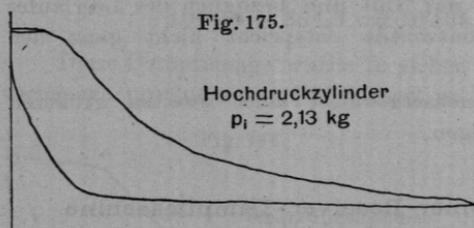
Die Maschine wurde einer Dauerprobe von 6 Stunden und 17 Minuten (d. i. 6,28 Stunden) unterworfen.

Die mittlere Admissions- bzw. Receiver-Überdruckspannung in Atmosphären wurde zu 8,77 bzw. 1,29 kg/qcm, der Mittelwert des Vakuums in Zentimeter zu 64,6 ermittelt, die Mittelwerte der Temperaturablesungen des Einspritz- bzw. Ausgußwassers waren 12° bzw. 33° C. Die Lufttemperatur im Freien betrug im Mittel 10° C. Die mittlere Tourenzahl der Dampfmaschine war 134,6 pro Minute.

Zur Übersicht füge ich auch hier eine Berechnung (siehe auch S. 25) analog dem vorigen Beispiele bei. Für die Deckelseiten des Hoch- bzw. Niederdruckzylinders resultierte eine nutzbare Kolbenfläche von:

$$(O_H)_a = \frac{\pi \cdot 511,5^2}{4} = 0,2055 \text{ qm}, \quad (O_N)_a = \frac{\pi \cdot 761,5^2}{4} = 0,4552 \text{ qm}.$$

Mit Benutzung der aus den beifolgenden Diagrammen (Fig. 175) gewonnenen mittleren indizierten Drucke ermitteln sich weiter für die Deckseiten der Zylinder die Leistungen zu:



$$(N_{iH})_d = 2,222 \cdot 0,2055 \cdot 134,6 \cdot 0,600 \cdot 2,13 = 70,4 \text{ PS}_i$$

$$(N_{iN})_d = 2,222 \cdot 0,4552 \cdot 134,6 \cdot 0,600 \cdot 1,235 = 100,8 \text{ PS}_i$$

Die Berechnung sämtlichen Diagrammen lieferte einen Mittelwert von $N_{iH} = 161,8 \text{ PS}_i$ und von $N_{iN} = 202,4$; demnach ist die gesamte indizierte Leistung der Maschine

$$N_i = 364,2 \text{ PS}_i$$

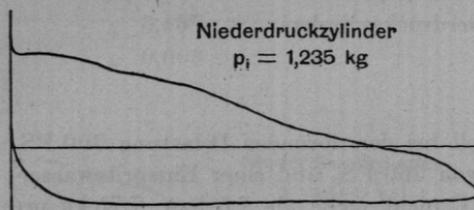
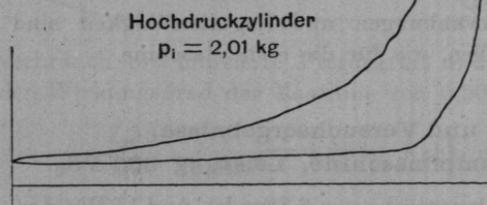


Fig. 176.



Der Dampfverbrauch ermittelt sich aus der Speisewassermenge 15 639 kg unter Abzug der Verluste des Leitungskondensates im Betrage von 315,7 kg; er beträgt somit $15\,639 - 315,7 = 15\,323,3 \text{ kg}$ total netto; dieser Dampfverbrauch fand in 6,28 Stunden statt. Der Dampfverbrauch pro indizierte Pferdekraft und Stunde ist daher:

$$\frac{15\,323,3}{6,28 \cdot 364,2} = 6,7 \text{ kg}$$

Die effektive Bremsleistung der Maschine war im Mittel

$$N_e = 305,8 \text{ PS}_e$$

Der mechanische Wirkungsgrad ist

$$\eta = \frac{N_e}{N_i} = \frac{305,8}{364,2} = 84 \text{ Proz.}$$

Die Versuche bezüglich Regulierfähigkeit führten zu den gleichen Resultaten wie bei der 150 PS-Dampfmaschine.

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 Dampfkessel. Die Versuche verdanke ich den Berichten des Oberingenieurs J. H. Kinbach in Nürnberg und Obergeringieur 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 Dampfkessel 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 Dampfkessels: kombinierter Flammrohr-Röhrenkessel zu 250 qm Heizfläche mit zwei Dampfammlern.

Heizfläche des Dampfkessels: 750 qm.

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