

Sonderabdruck

aus der

**Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure,**

Jahrgang 1905.

Die Dampfmaschinenanlage  
des Drehstromwerkes der Stadt Hannover.

Von

Gustav ter Meer,

Oberingenieur, Hannover.

---

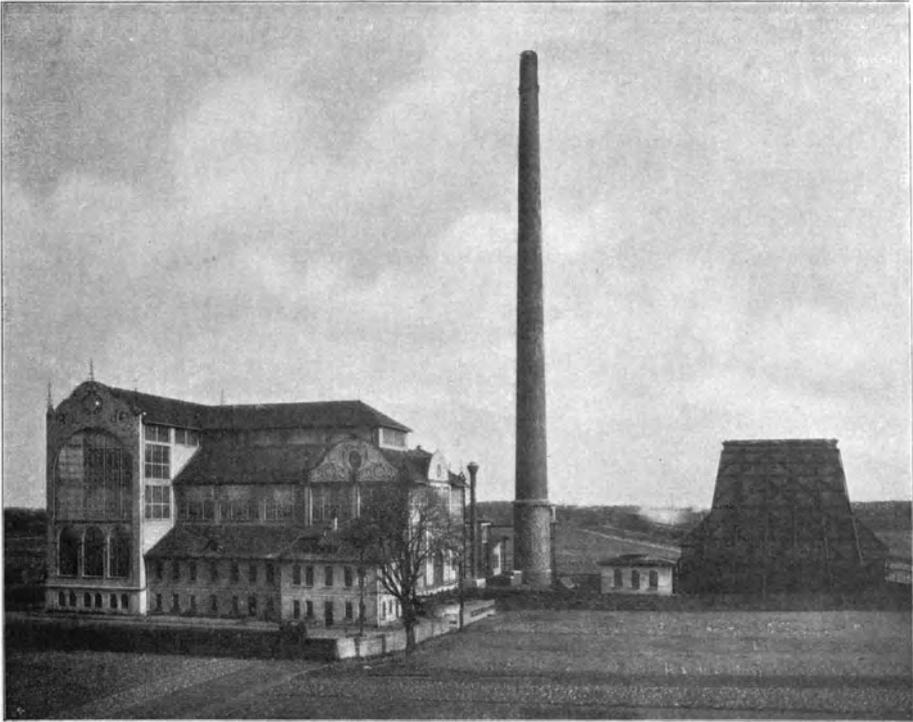
1905.

ISBN 978-3-662-24189-9 ISBN 978-3-662-26302-0 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-26302-0

# Die Dampfmaschinenanlage des Drehstromwerkes der Stadt Hannover.

Von Oberingenieur Gustav ter Meer, Hannover.

(Vorgetragen in der Sitzung des Hannoverschen Bezirksvereines vom 26. Februar 1904.)



Das schon seit 13 Jahren im Betrieb befindliche Gleichstromwerk der Stadt Hannover<sup>1)</sup> hat in den verhältnismäßig

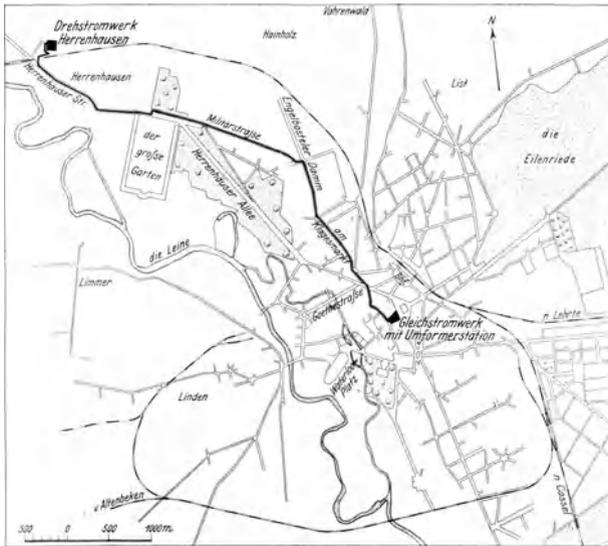
engen Grenzen seiner Wirksamkeit bisher wirtschaftlich sehr günstig und technisch zur vollen Zufriedenheit gearbeitet. Mit dem Wachstum der Stadt und mit der sich stetig steigenden Entnahme elektrischer Energie auch in den entfern-

<sup>1)</sup> Z. 1892 S. 118; 1898 S. 861.

teren Stadtteilen machte sich aber ein Mißstand immer mehr bemerkbar: das Kraftwerk war nicht ausdehnungsfähig genug, um wachsenden Ansprüchen gerecht zu werden. Das Grundstück war zu klein, der Ankauf benachbarter Grundstücke war wegen sehr hoher Preise nicht möglich und hätte für die Dauer doch keine genügende Bewegungsfreiheit schaffen können. Zudem war die Kohlenzufuhr teuer und schwierig.

Daher wies der frühere Leiter des Elektrizitätswerkes, Dr. Gusinde, schon 1896 in einer Denkschrift auf die Notwendigkeit der Errichtung eines Hochspannungswerkes hin, was die Umwandlung des bestehenden Krafthauses in der Osterstraße in eine Umformerstation zur Folge haben mußte. Im nächsten Jahre trat Direktor Prückner diesem Gedanken näher, und in den Jahren 1899 und 1900 bewilligte die

Fig. 1.  
Lageplan der Elektrizitätswerke zu Hannover.



Stadtverwaltung die Mittel zur Ausarbeitung von Entwürfen. Dem Beschlusse des

Verwaltungsausschusses vom 24. Januar 1900, nach dem von Direktor Prückner ausgearbeiteten Entwurf ein neues Werk zu erbauen, stimmten im März 1900 die städtischen Kollegien zu und bewilligten zunächst 2 Millionen *M.* Da aber bald die Forderung gestellt wurde, noch weitere Gebiete für die Stromentnahme zu erschließen, als im ersten Entwurf angenommen war, so wurde diese Summe auf 3 Millionen *M.* erhöht.

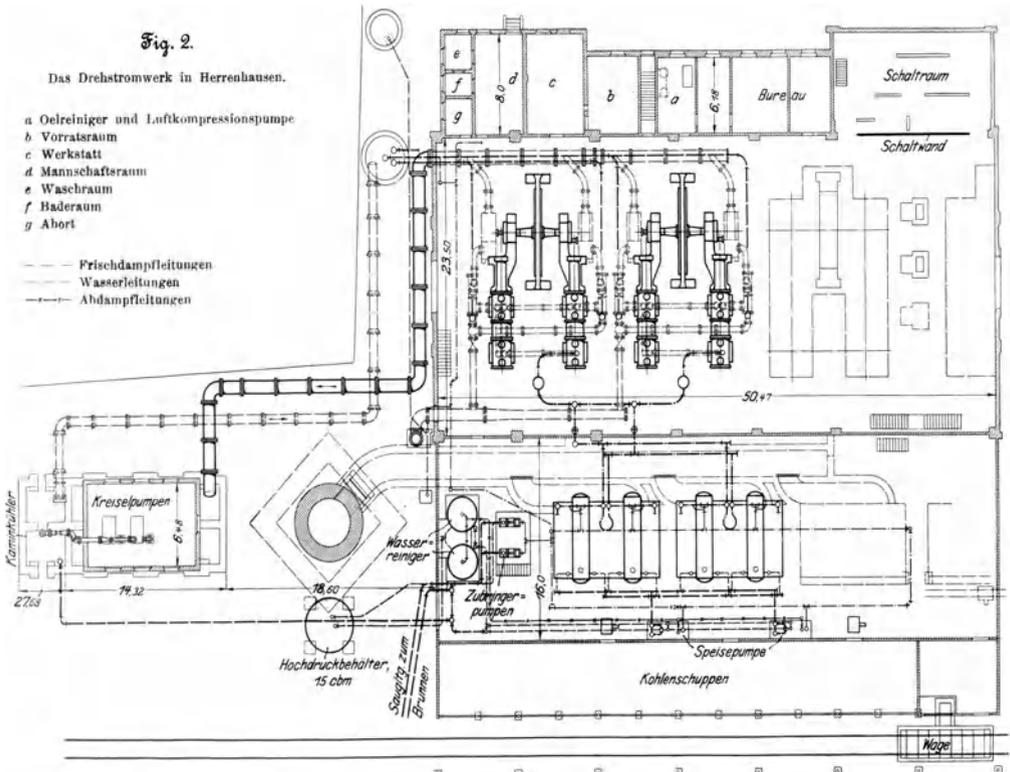
Das Grundstück, auf dem das Werk errichtet wurde (Fig. 1), ist im großen Bruch bei Leinhausen gelegen und hat eine Grundfläche von 23 307 qm und ein Gleis von 1051 m Länge zum Anschluß an den Bahnhof Herrenhausen. Die Kosten des Anschlusses sind hoch, weil der dazu erforderliche Eisenbahndamm die Anfuhr von etwa 20 000 cbm Boden erforderte.

Fig. 2.

Das Drehstromwerk in Herrenhausen.

- a Oelreiner und Luftkompressionspumpe
- b Vorratsraum
- c Werkstatt
- d Mannschaftsraum
- e Waschraum
- f Baderaum
- g Abort

- Frischdampfleitungen
- Wasserleitungen
- Abdampfleitungen



In der ersten vom städtischen Elektrizitätswerk gearbeiteten Entwurfskizze war das Gebäude für die Kraftanlage als ein einfacher Fabrikbau gedacht. Ein zweiter Entwurf wurde vom Stadtbauamt ausgearbeitet und gelangte zur Ausführung. Das Gebäude ist sehr hoch und hat sehr viel Fensterfläche; s. das Titelbild. Ueber den Maschinen, die eine lichte Höhe von 11 m erfordern, wölbt sich ein Glasdach, das in der großen Querhalle etwa 28 m Höhe erreicht. Die Umfassungswände sind in Eisenfachwerk ausgeführt. Wegen der Grundwasserverhältnisse war es nötig, den Boden des Kellers über die Erdoberfläche zu legen. Das Hauptgebäude enthält außer dem Maschinenhaus und der Schaltanlage noch das Kesselhaus und eine größere Anzahl von Nebenräumen, Wäscherei, Werkstätte, Bureau, Lagerräume, Mannschaftsraum usw.; vergl. Fig. 2.

Neben dem Hauptgebäude sind eine Rückkühlanlage, ein Pumpenhaus, eine Zisterne, ein 73 m hoher, oben 2400 mm

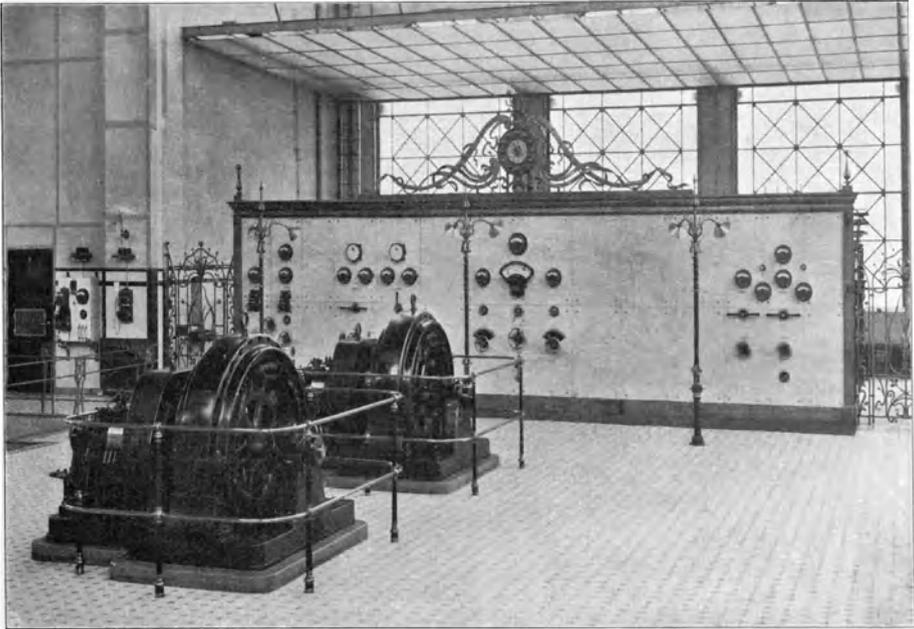
noch 12 Felder zur Aufnahme der Apparate für die einzelnen Maschinen und Umformer. Sie liegt in Flurhöhe des Maschinenhauses, ist also nicht, wie sonst vielfach üblich, hochgeleget.

Rechts und links von der Tafel sind die Zugänge zum Raum hinter der Schaltwand durch schiedelne Gittertüren abgeschlossen. Um die Uhr über der Mitte der Tafel sind die Phasenlampen für das Parallelschalten der Maschinen und der Synchronmotoren für die Umformer in der Unterstation an der Osterstraße angeordnet.

Um die Schalttafel vor den Niederschlägen zu schützen, die sich infolge der großen Höhe des Gebäudes und der ausgedehnten Glaswände leicht bilden, ist sie mit einer besonderen Heizanlage ausgestattet; außerdem ist über ihr eine Glasdecke angeordnet, eine Anordnung, die sich gut bewährt hat.

Das Kabelnetz besteht aus 5 Kabeln, die zunächst ge-

Fig. 3. Schalttafel.



im Lichten weiter Schornstein und ein Beamtenwohnhaus vorhanden.

Zunächst ist die Anlage für die Aufnahme von drei Maschinensätzen nebst Kesseln und Schalteinrichtung ausgebaut.

Die heutige Ausrüstung des Drehstromwerkes, welches derart angelegt ist, daß für absehbare Zeit jeder Anforderung an Vergrößerung Rechnung getragen werden kann, besteht aus zwei von der Hannoverschen Maschinenbau-A.-G. vorm. Georg Egestorff in Linden vor Hannover gebauten Betriebsdampfmaschinen von je 1350 bis 2040 PS<sub>i</sub>, deren jede mit einer Schuckertschen Drehstromdynamo von 1000 KW bei  $\cos \varphi = 0,9$  gekuppelt ist. Die Betriebsspannung beträgt 5000 V, die Polwechszahl 100 in der Sekunde. Zwei Drehstrom-Gleichstrom-Umformer von 80 KW erzeugen 220-voltigen Gleichstrom und besorgen die Gleichstromerregung der Drehstrommaschinen; ferner dienen sie auch zum Laden einer kleinen Akkumulatorenbatterie, die für den Fall einer Störung an den Drehstrom-Gleichstrom-Umformern und für die Beleuchtungsanlage erforderlich ist.

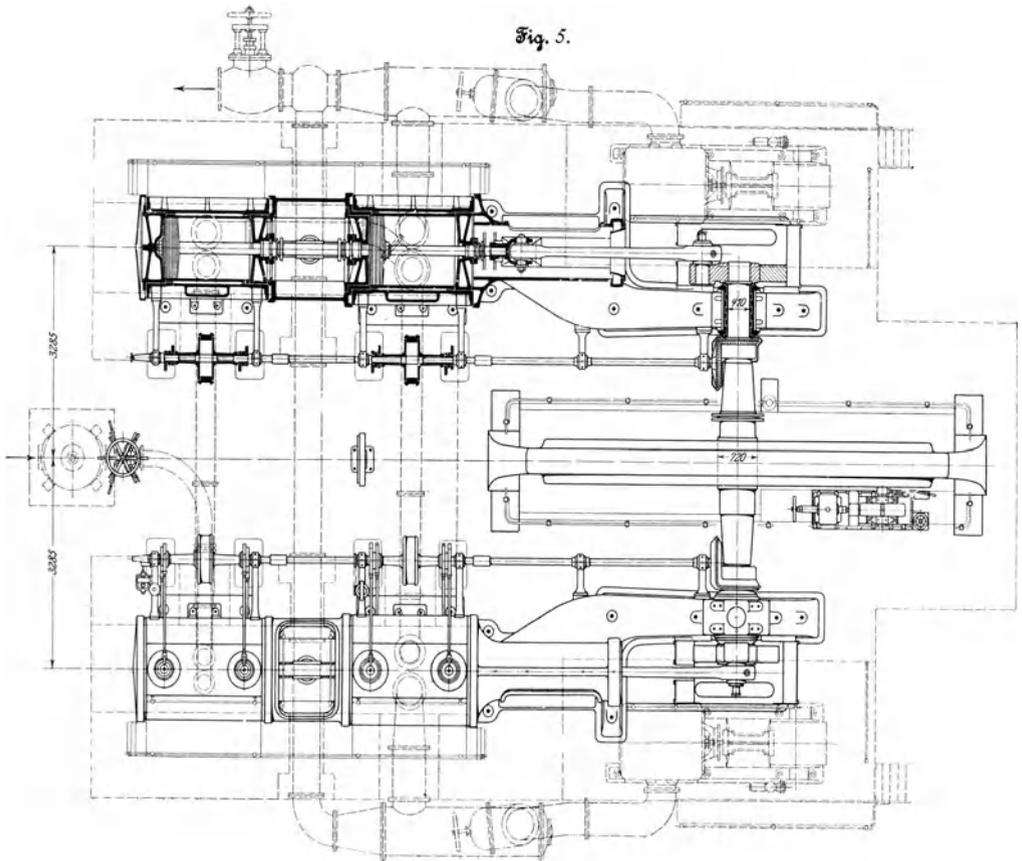
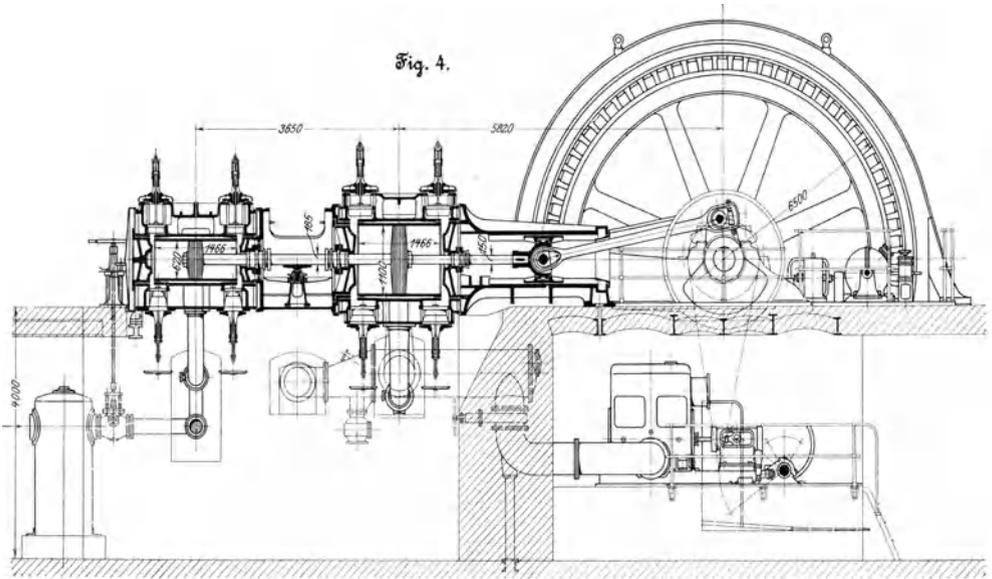
Die Schalttafel, Fig. 3, besteht ganz aus Eisen und Marmor. Außer dem Sammelfeld in der Mitte hat sie

meinsam nach der Station in der Nienburger Straße führen. Drei Kabel gehen dann weiter nach der Umformerstation in der Osterstraße und zwei nach der Nord- und Nordoststadt, wo sie in Transformatorstationen in Straßen oder Häusern münden. Die darin befindlichen Transformatoren speisen ein Niederspannungs-Verteilnetz mit Drehstrom von 110 V verketteter Phasenspannung. Die Umformerstation in der Osterstraße besteht aus zwei Drehstrom-Gleichstrom-Umformern von je 400 KW und einem solchen von 800 KW. Die Gleichstromseite der Umformer arbeitet gemeinsam mit den im dortigen Maschinenhaus aufgestellten Gleichstrommaschinen und mit der Akkumulatorenbatterie auf das Gleichstromnetz der Stadt.

Es ist beabsichtigt, die Dampfmaschinen in der Osterstraße später, wenn sie noch mehr abgenutzt sein werden, durch Synchron-Drehstrommotoren zu ersetzen und damit das Kraftwerk in der Osterstraße ganz in eine Umformerstation umzuwandeln.

Die Kosten der neuen Anlage sind mäßig; sie ergeben sich zu 896 M/KW, wenn die Kosten für das Netz, die Umformerstation und die Beamtenwohnung nicht eingerechnet werden; mit diesen belaufen sich die Gesamtkosten auf

Fig. 4 bis 7. Dreifach-Expansionsmaschine.



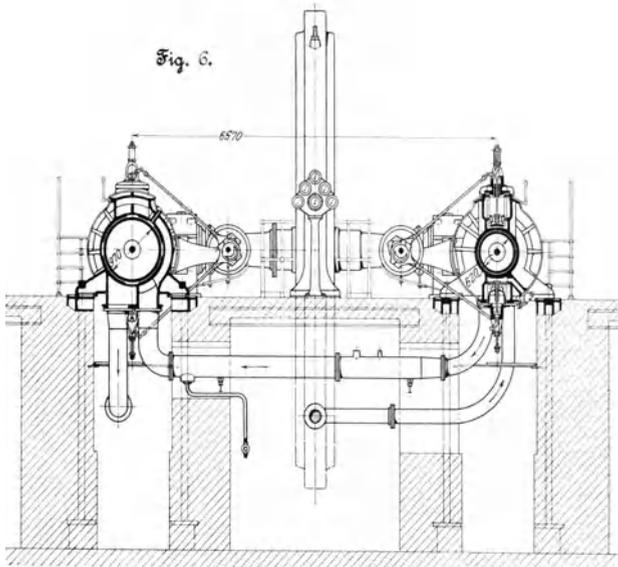
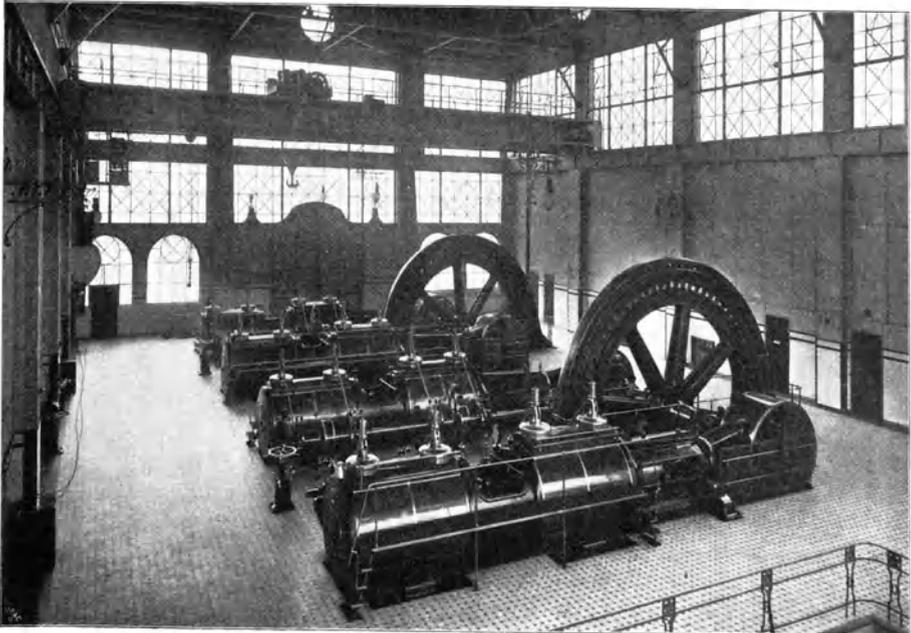


Fig. 7.



1430 *M*/KW. Man hofft, daß sich nach dem fertigen Ausbau des ganzen Werkes die Kosten auf nicht mehr als 750 *M*/KW stellen werden<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Die vorstehenden Angaben, soweit sie sich auf die Baulichkeiten und den elektrischen Teil der Anlage beziehen, verdanke ich der Liebenswürdigkeit des Hrn. Direktors Prückner. In größerer Aus-

Die beiden Betriebsmaschinen des Drehstromwerkes arbeiten mit Einspritzkondensation. Das überfließende Kondensationswasser wird durch zwei Kreiselpumpen, die unmittelbar von Drehstrommotoren angetrieben werden, auf ein Rückkühlwerk gehoben; s. Fig. 2.

Der Betriebsdampf wird in vier Steinmüller-Kesseln von je 338,9 qm wasserberührter Heizfläche bei 12 at Ueberdruck erzeugt, deren jeder mit einem Steinmüller-Ueberhitzer von 78 qm Heizfläche ausgerüstet ist. Die Kessel haben Planrost-Unterfeuerung von je 7,6 qm Rostfläche. Das Speisewasser wird durch zwei tiefstehende Zubringerpumpen in einen Hochbehälter gedrückt, aus dem es zwei Reichlingschen Wasserreinigern zufließt; von hier drücken es die Speisepumpen in die Kessel.

Die Dampfmaschinen, Fig. 4 bis 7, sind vierzylindrige Dreifach-Expansionsmaschinen von 620 mm Dmr. des Hochdruck-, 970 mm des Mittel- und zweimal 1100 mm des Niederdruckzylinders. Der Hub beträgt 1300 mm und die normale Umlaufzahl  $83\frac{1}{2}$  in der Minute. Bei 12 at Ueberdruck herrscht im Hochdruckzylinder eine Eintrittspannung von durchschnittlich 11,6 at. Der Dampf ist mäßig überhitzt; seine Tempe-

ratur beträgt im Kessel bei mittlerem Betrieb etwa 265° C, beim Eintritt in den Hochdruckzylinder etwa 220° C, so daß also in der etwa 50 m langen Dampfzuleitung 45° verloren

geführt werden sie in dem demnächst erscheinenden, von Hrn. Prückner verfaßten Baubericht über das Drehstromwerk Herrenhausen der Stadt Hannover enthalten sein.

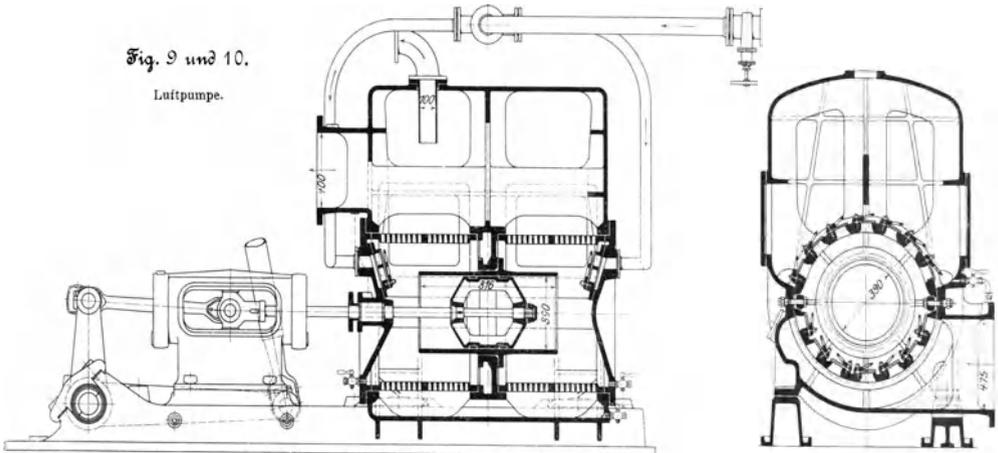


Die mit Lentz-Steuerung ausgerüsteten Maschinen sind sehr unempfindlich gegen Wasserschlag, auch dann, wenn verhältnismäßig große Wassermengen in den Zylinder gelangen. Diese Eigenschaft konnte bei einer Einzylindermaschine von 500 mm Zylinderdurchmesser und 1000 mm Hub, welche sich seinerzeit zum Zwecke des Studiums der Lentz-Steuerung auf dem Werke der Hannoverschen Maschinenbau-A.-G. in Betrieb befand, eingehend untersucht werden. Die ganze Maschinenanlage war, dem vorübergehenden Zweck entsprechend, sehr einfach und besonders die Dampfleitung mit Absicht geradezu mangelhaft. Die Dampfleitung trat vom Kesselhaus her etwa 2 m hoch über dem Boden in die Maschinenstube ein, führte kurz vor der Maschine senkrecht nach unten in einen Kanal und schloß sich dann wieder ansteigend unten an den Zylinder an, bildete also kurz vor der Maschine einen großen Wassersack. Weder war die Rohrleitung mit Wärmeschutzmasse umhüllt, noch war eine selbsttätige Wasserabführung angebracht. Die Maschine wurde bei den Versuchen, nachdem sie längere Zeit in Betrieb gewesen war, stillgesetzt, und zwar solange, bis sich der Wassersack in der Rohrleitung vollständig mit Wasser gefüllt haben mußte; denn der wagechte, über Maschinenhausflur liegende Teil der Leitung begann nach einiger Zeit an den Flanschen stark zu lecken,

gewicht und die Federbelastung ebenfalls sehr gering sind und Reibung in der stopfbüchsenlosen Führung kaum entsteht. Rechnerisch würde sich unter Berücksichtigung der Gewicht- und Massenwirkung das Ventil durch einen unteren Ueberdruck von etwa  $1\frac{1}{2}$  bis  $2\frac{1}{2}$  at haben, wobei, wie dies bei Berechnung der Sicherheitsventile üblich ist, die halben Dichtungsflächen als untere Ueberdruckflächen mit berücksichtigt sind.

Auf Grund dieser Beobachtungen hat die Hannoversche Maschinenbau-A.-G. in ihrem Krafthaus bei der 750 pferdigen Tandemmaschine, die 150 Uml./min macht, Sicherheitsventile und Auslaßhähne überhaupt nicht angebracht. Trotzdem die Entfernung der Maschine von den Kesseln ziemlich groß ist — die Dampfleitung ist etwa 100 m lang —, hat sich bisher in nahezu dreijährigem Betriebe noch niemals ein Anstand beim Anlassen der Maschine ergeben, obwohl insbesondere an Tagen, welche auf Ruhetage folgen, stets eine große Menge Kondensationswasser durch die Maschine gejagt werden muß.

In denselben Räume wie die Tandemmaschine befinden sich 2 stehende Dampfmaschinen von je 400 bis 500 PS. und eine liegende von etwa 200 PS., die alle mit 150 Umdrehungen laufen, aber mit Kolbenschiebersteuerung ausgerüstet sind. Im Gegensatz zu der Tandemmaschine müssen diese Maschinen mit größter Vorsicht angelassen werden, da



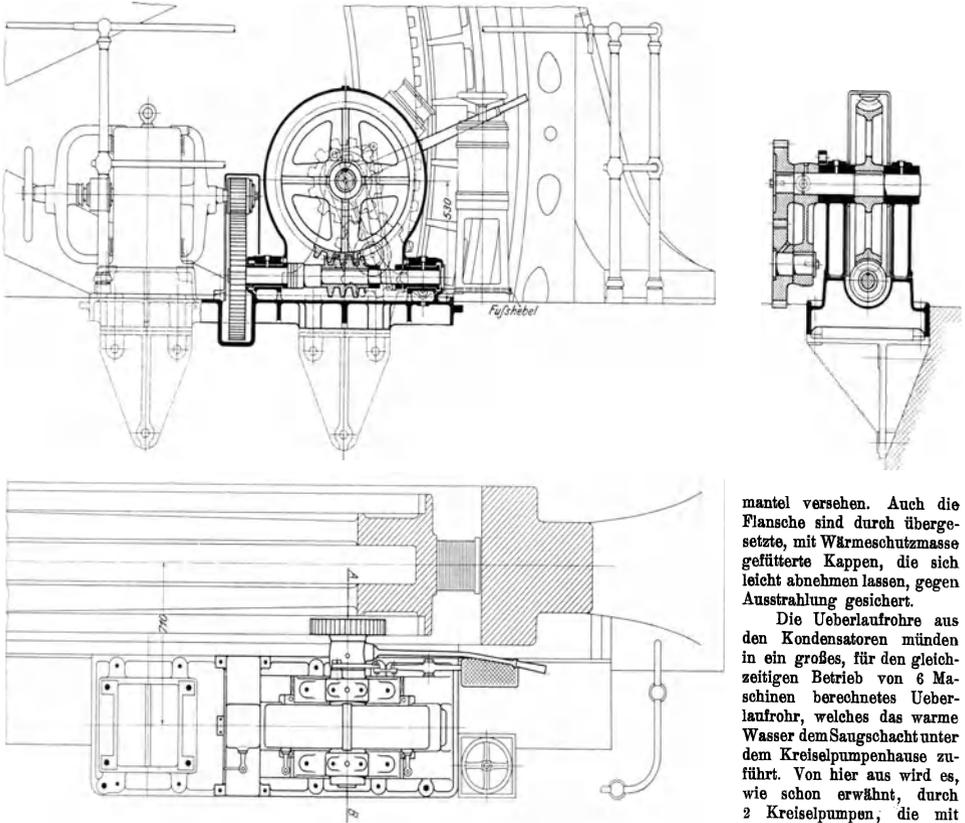
was durch das sich unten im Rohr ansammelnde Kondensationswasser und die damit verbundene Abkühlung des Rohres hervorgerufen wurde. Nun wurden die Ablaßhähne an der Maschine verschlossen und die Sicherheitsventile verkehrt, so daß sie sich nicht heben konnten. Hierauf wurde die Maschine in ganz normaler Art angelassen, wobei sie, ohne daß sich irgend welcher Stoß oder auch nur eine Erschütterung bemerkbar machte, ihre normale Umlaufzahl von 100 i. d. Min. in kurzer Zeit erreichte. Bei gleichzeitiger Abnahme von Indikatorgrammen waren Veränderungen der Diagramme nicht wahrnehmbar. Dagegen konnte man beobachten, wie die Einlaßventile vor Beginn des Öffnens durch den Steuerhebel mehrfach auf und nieder flatterten. Diese Erscheinung legt folgende Erklärung nahe: Wenn die Vorbedingungen zum Eintritt eines Wasserschlages gegeben sind, d. h. wenn sich nach Schluß der Auslaßventile zwischen Dampfkolben und Dampfzylinderdeckel noch eine hinreichend große Wassermenge befindet, so wird diese mit großer Geschwindigkeit in den Raum des Einlaßventiles gedrückt, stößt an dessen Unterseite, öffnet es dadurch und tritt zum Teil in den Dampfkanal zurück. Beim nächsten Hub der Maschine gelangt das Wasser wieder in den Zylinder und läuft beim Rückgang des Kolbens durch die geöffneten Auslaßventile in das Ausströmröhr. Der zum Eröffnen des Ventiles notwendige Stoß ist ganz gering, weil das Ventil-

man trotz geöffneter Ablaßhähne stets Wasser in den Zylindern bemerken kann.

Jede der Maschinen des Herrenhäuser Drehstromwerkes ist mit zwei tiefliegenden Kondensatoren versehen, von denen einer genügt, um die Maschine, wenn auch bei weniger gutem Vakuum, mit Kondensation betreiben zu können. Zu diesem Zweck ist eine Umföhrleitung für den Abdampf angeordnet. Die Luftpumpen, Fig. 9 und 10, haben 390 mm Kolben-Dmr. und 600 mm Hub

Jede Maschine ist mit einem elektrisch betriebenen Schaltwerk, Fig. 11 bis 13, versehen, das durch einen Elektromotor mit 1100 Uml./min angetrieben wird. Die Kraft wird durch ein Schneckengetriebe und ein in Pendelaufhängung angeordnetes Räderpaar übertragen. Zum Einschalten dient ein Fußhebel; beim Abheben des Fußes und beim Angehen der Maschine rückt sich die Vorrichtung selbsttätig aus und wird in ihrer rückwärtigen Lage festgehalten. Beim Beginn der Klinkarbeit ist zur Bewegung der Maschine eine Kraft von  $35 \text{ Amp} \times 212 \text{ V} = \text{rd. } 12,4 \text{ PS.}$  nach Eintritt des Beharrungszustandes eine solche von  $13,2 \text{ Amp} \times 212 \text{ V} = \text{rd. } 4,65 \text{ PS.}$  erforderlich. Im Leerlauf gebraucht die Drehvorrichtung  $8 \text{ Amp} \times 212 \text{ V} = \text{rd. } 2,85 \text{ PS.}$  Eine Umdrehung der Maschine dauert 2 min 32 sk. Die Maschine war bei diesen Versuchen leicht angewärmt; die Temperatur in den Zylindern betrug 65 bis  $70^{\circ} \text{C.}$

Fig. 11 bis 13. Schaltwerk zum Andrehen der Dampfmaschinen.



Der Anordnung der Rohrleitung wurde die größte Aufmerksamkeit geschenkt; in erster Linie wurde, wie bei der gesamten Anlage überhaupt, auf bequemste Zugänglichkeit aller Teile gesehen.

Die Dampfleitung, vergl. Fig. 2, führt von den Ueberhitzern der Dampfkessel ab als Doppelleitung nach dem Maschinenhaus. Sie enthält keine Ausgleichrohre; die Ausdehnungsmöglichkeit ist vielmehr durch Anordnung der Leitung in verschiedenen Ebenen gewährleistet. Diese Anordnung hat sich vorzüglich bewährt, indem Undichtheiten während des Betriebes nicht aufgetreten sind. Trotzdem mit Dampf von 12 at gearbeitet wird, sind auf Vorschlag der Hannoverischen Maschinenbau-A.-G. die Flansche der Hauptdampfleitung glatt gestaltet, also nicht mit Nut und Feder versehen. Man wird bei einem glatten Flansch dieselbe Sicherheit erreichen wie bei einem mit Nut und Feder versehenen, wenn man den Packungsstoff so wählt, daß er genügenden Widerstand gegen Herausdrücken bietet. Im vorliegenden Fall sind Asbestdichtungen, verstärkt durch Metalleinlagen, verwendet. Selbstverständlich läßt sich eine Rohrleitung mit glatten Flanschen gebotenfalls erheblich leichter ausbauen als eine solche mit Nut und Feder.

Vor jeder Maschine ist in die Dampfleitung ein großer Wasserabscheider von 1000 mm lichtein Durchmesser und 2000 mm Höhe eingebaut, um Kondensationswasser, das sich trotz der Ueberhitzung, oder aber, wenn ohne Ueberhitzung gearbeitet werden soll, etwa bildet, zu entfernen.

Die Frischdampfleitung besteht durchweg aus Stahlrohren mit aufgeschweißten Bunden, ist überall auf das sorgfältigste mit Kieselguhr-Wärmeschutzmasse umhüllt und außen zum Schutze dieser Masse mit einem aufgelöteten Metall-

mantel versehen. Auch die Flansche sind durch übergesetzte, mit Wärmeschutzmasse gefüllte Kappen, die sich leicht abnehmen lassen, gegen Ausstrahlung gesichert.

Die Ueberlaufrohre aus den Kondensatoren münden in ein großes, für den gleichzeitigen Betrieb von 6 Maschinen berechnetes Ueberlaufrohr, welches das warme Wasser dem Saugschacht unter dem Kreiselpumpenhaus zuführt. Von hier aus wird es, wie schon erwähnt, durch 2 Kreiselpumpen, die mit Drehstrommotoren gekuppelt

sind, auf den Rückkühler gehoben. Das gekühlte Wasser wird durch eine unter dem Erdboden verlegte Rohrleitung von 600 mm l. W. in einen Brunnen von 3500 mm l. W. geleitet, in den die Einspritzrohre eintauchen.

Jede Maschine hat ihre gesonderte Einspritzleitung; außerdem ist für jede Maschine eine Hilfseinspritzung vorgesehen, die vom Hochbehälter gespeist wird.

Für die Zubringerpumpen und für die Speisepumpen ist eine besondere Dampfleitung für Sattldampf, und zwar ebenfalls als Ringleitung, angeordnet. Von ihr zweigt auch die Leitung für die Heizung der verschiedenen Räumlichkeiten ab.

Das Niederschlagwasser, welches sich in den Dampfmanteln sammelt, wird von kleinen Tauchkolbenpumpen, die neben den Kondensatoren stehen, unmittelbar in die Dampfkessel gedrückt. Das übrige Kondensationswasser aus der Maschine selbst, das mit Oel verunreinigt ist, wird in besonderen Behältern gesammelt und durch eine gemeinschaftliche Leitung abgeführt.

Die Maschinen sind aufs sorgfältigste mit Vorrichtungen versehen, welche verhindern, daß Oel umhergeschleudert wird oder umherspritzt. Das in diesen Vorrichtungen sich sammelnde Oel wird Behältern im Maschinenhauskeller zugeführt, aus denen es mittels Druckluft von Zeit zu Zeit in Oelreiner gehoben wird, um von neuem zur Schmierung weniger wichtiger Maschinenteile verwendet zu werden.

Die Kesselgase gelangen durch einen gemeinschaftlichen Fuchs in den Schornstein von 73 m Höhe, 2,4 m oberer und 3,65 m unterer lichter Weite. Hinter den Kesseln ist genügender Raum vorgesehen, um in den Fuchs später noch Speisewasservorwärmer einbauen zu können.

In dem Verträge, den die Stadt Hannover mit der Hannoverischen Maschinenbau-A.-G. abgeschlossen hatte, war bestimmt, daß nach Beendigung der Montage für das Einlaufen jeder Maschine ein Zeitraum von 4 Wochen zur Verfügung stehen sollte. Im Anschluß daran sollte jede Maschine einen 6-tägigen Probetrieb mit je 18 Stunden ununterbrochener Arbeitszeit durchmachen, davon 12 st mit normaler und 6 st mit größter Belastung, ohne daß die geringste Störung im Betrieb eintreten dürfte. Beide Maschinen sind dieser ge-

hälter saugte die Speisepumpe, die ihren Dampf von einem der übrigen Kessel erhielt. Der Gang der Speisepumpe wurde so eingestellt, daß ununterbrochene Speisung bei möglichst unverändertem Wasserstand stattfand. Alle Hähne, Ventile und sonstigen Absperrungen wurden, soweit sie nicht abgeflanscht waren, auf Dichtheit geprüft, und wo es angängig war, wurden während des Versuches die Flansche gelöst gehalten, damit man sich jederzeit von dem dichten Zustande der Absperrungen überzeugen konnte.

Im November 1902 fanden im Beisein der Professoren Frese, Kohlrausch und Biehn von der Technischen Hochschule Hannover und des Obergeringens Dunsing vom Hannoverischen Dampfkessel-Überwachungsverein die Abnahmeversuche mit der Maschinenanlage statt.

Alle vier Zylinder der Maschinen und ihre Deckel sind mit Heizvorrichtungen versehen. Während der Versuche war die Heizung des Hochdruckzylinders abgestellt, während der Mittel- und die beiden Niederdruckzylinder mit gedrosseltem Dampf geheizt wurden. Das Kondensationswasser aus der Dampfzuleitung und die einzelnen Zylindermäntel wurde getrennt durch Bleischlangen, die in Wasser gekühlt wurden, abgeführt, in besonders Gefäßen aufgefangen und abgewogen.

Das Kondensationswasser aus beiden Aufnehmern, die nicht geheizt sind, wurde durch Kondensationstöpfe selbsttätig abgeführt. Die Kessel wurden vor Beginn der Versuche auf Dichtheit geprüft, indem jeder einzeln abgeflanscht und ohne Dampfentnahme mehrere Stunden unter gleichen Druck gestellt wurde. Der Wasserstand blieb hierbei auf gleicher Stelle. Zu den Versuchen selbst wurden die in Frage kommenden beiden Kessel durch Blindflansche von den übrigen und auch von den anschließenden Leitungen, mit Ausnahme der zur Versuchsmaschine führenden Dampfleitung und der Speiseleitungen, abgetrennt.

Das Speisewasser wurde in einem Behälter abgewogen und in einen zweiten Behälter, der mit einer Wasserstands-marke versehen war, abgelassen. Die Behälter und die Zuleitungen waren so groß, daß 12 obm/st Wasser bequem abgemessen werden konnten. Aus dem zweiten Be-

Fig. 14.

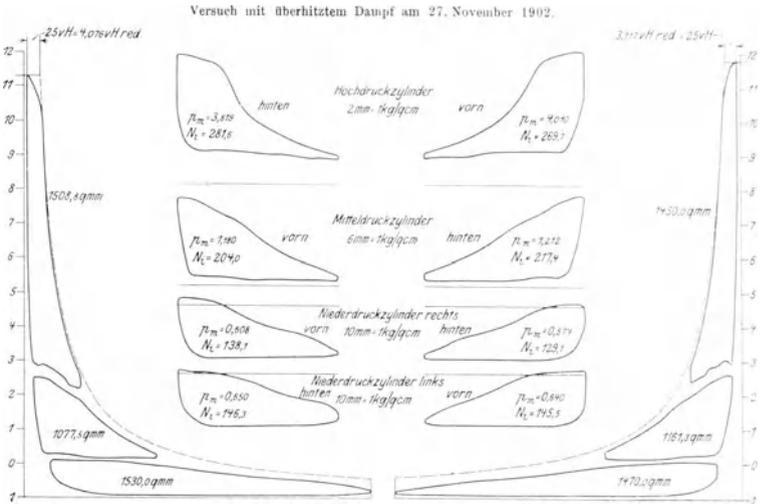
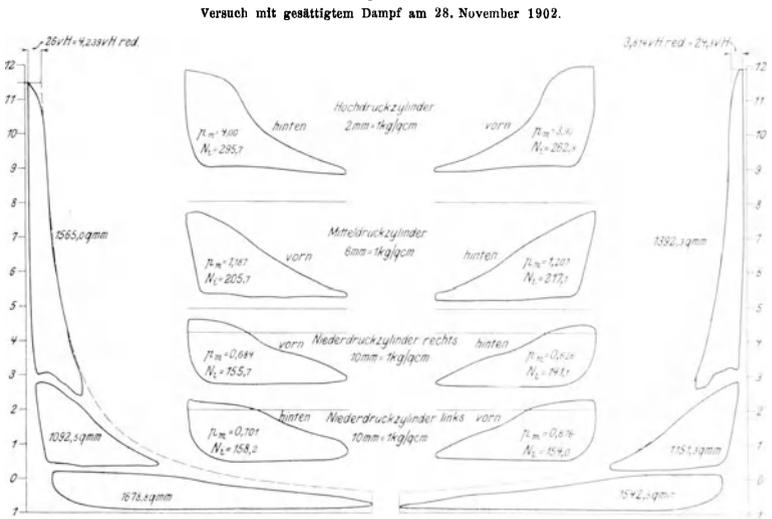


Fig. 15.



Bei Beginn der Versuche wurde der Wasserstand an den Wasserstandgläsern kenntlich gemacht und dann viertelstündlich die Temperaturen des Speisewassers in den beiden Wasserbehältern, die Dampftemperatur und der Dampfdruck aufgeschrieben.

Die Steuerventile und Dampfkolben der Maschinen wurden vor den Versuchen bei abgenommenen Zylinderdeckeln auf Dichtheit geprüft, wobei auf der Gegenseite der volle auf den betreffenden Zylinder entfallende Dampfdruck wirkte. Die

	Hochdruckzylinder		Mitteldruckzylinder		Niederdruckzylinder			
	vorn	hinten	vorn	hinten	rechts		links	
					vorn	hinten	vorn	hinten
Kolbendurchmesser, kalt . . . . . mm	622,1		970,6		1102,0		1102,7	
desgl., warm (der Berechnung zugrunde gelegt) . . . . . »	628,56		972,55		1104,65		1108,1	
Kolbenstangen-Dmr. . . . . »	185	0	185	0	150	185	150	185
wirk-same Fläche . . . . . qcm	2785,08	8058,88	7159,86	7428,66	9405,26	9218,18	9414,88	9322,80
Kolbenhub . . . . . mm	1800							
wirksame Fläche der gleichwertigen Einsylindermaschine . . . . . qcm	18728,06							
Verhältnis der Volumina . . . . .	1	1	1	1	1	1	1	1
	6,7844	6,1326	2,6157	2,5211	1,9918	2,0109	1,989	2,0088

Zylinderdurchmesser der zum Versuch benutzten Maschine I wurden in kaltem und warmem Zustand gemessen. Für den Hochdruckzylinder wurde entsprechend einer Dampftemperatur von rd. 200° im Zylinder ein um 1,46 mm größerer Durchmesser, als in kaltem Zustand gemessen, angenommen; für die andern Zylinder wurden die im warmen Zustand gemessenen Durchmesser der Berechnung zugrunde gelegt. Die obestehende Zahlentafel enthält die ermittelten Werte.

Bei den Hauptversuchen vom 27. und 28. November 1902 unter einer Belastung von rd. 1000 KW, am Schaltbrett gemessen, arbeitete die Dynamomaschine auf einen Wasserwiderstand. Der Versuch am 27. November wurde mit einer Ueberhitzung von rd. 30° C = rd. 220° C Dampftemperatur durchgeführt, der Versuch am 28. November unter sonst ganz gleichen Verhältnissen mit trocken gesättigtem Dampf. Um trocknen Dampf zu sichern, wurde hierbei nach vorheriger Vereinbarung eine Ueberhitzung von einigen Graden angewandt. Nach Schluß der Dampfverbrauchsversuche wurde die Maschine noch bei Leerlauf und bei größter Belastung indiziert.

Bei Beginn der Versuche wurde der Stand des Umlaufzählers bestimmt und dann die Maschine viertelstündlich indiziert, die Manometerstände und die Temperaturen des Einspritz- und Ueberlaufwassers, des Dampfs im Hauptwasserabscheider sowie im Ventilkasten des Hochdruckzylinders vermerkt und die elektrischen Messungen vorgenommen.

Zur Anwendung kamen 8 Rosenkranz-Indikatoren (großes Modell). Die Federn der Instrumente wurden am 26. November und am 1. Dezember an der Prüfvorrichtung für Indikatoren in der Fabrik von Dreyer, Rosenkranz & Droop in Hannover vor- und nachgeprüft, und zwar die Vakuumfedern durch Gewichtbelastung, die andern unter Dampfdruck durch Vergleich mit einem Kontroll-Federmanometer.

Je eine Feder von jedem Zylinder wurde außerdem noch am 2. Dezember im Ingenieurlaboratorium der Technischen Hochschule von Prof. Freese durch unmittelbaren Vergleich mit einem offenen Quecksilbermanometer und mit einem Quecksilbervakuummeter nachgeprüft. Diese Prüfung wurde bei Bestimmung des Federmaßstabes mit berücksichtigt.

Die sich ergebenden Maßstäbe zeigten für verschiedene Spannungen mehr oder weniger große Veränderlichkeit, und es wurde deshalb der mittlere Maßstab durch Umzeichnen der Diagramme nach dem Verfahren von Schröter-Koob<sup>1)</sup> festgelegt. Bei der Gleichmäßigkeit der Belastung wurde dieses Verfahren auf je einen Satz mittlerer Diagramme angewandt, und zwar auf diejenigen, welche um 2 Uhr 40 nachmittags am 27. November und um 5 Uhr nachmittags am 28. November entnommen waren. Die gefundenen mittleren Maßstäbe (mm/kg) sind nachstehend angegeben:

		27. Nov.	28. Nov.
Hochdruckzylinder	vorn . . . . .	4,875	4,906
	hinten . . . . .	4,845	4,868
Mitteldruckzylinder	vorn . . . . .	14,461	14,431
	hinten . . . . .	14,306	14,142
Niederdruckzylinder	rechts	vorn . . . . .	24,398
		hinten . . . . .	24,151
	links	vorn . . . . .	23,98
		hinten . . . . .	24,425

Sämtliche Diagramme wurden bei den Versuchen doppelt planimetriert und nach den Versuchen seitens des städtischen Elektrizitätswerkes Hannover nochmals nachgerechnet, wobei nur ganz geringe Abweichungen vorkamen; für das Endergebnis wurde das Mittel aus den 4 Planimetrierungen angenommen.

Zahlentafel 1 enthält die Ergebnisse der Versuche.

Zahlentafel 1. Versuche an den Dampfmaschinen

	Betrieb mit		
	überhitztem Dampf	trocken gesättigtem Dampf	trocken gesättigtem Dampf bei größter Belastung
Versuchsdatum . . . . .	27. Nov. 1902	28. Nov. 1902	28. Nov. 1902
Versuchsdauer . . . . . min	785	860	—
Zahl der genommenen Diagramme bzw. Zahl der Einzelbeobachtungen . . . . .	53	25	7
Kesseldruck . . . . . at	11,9	11,998	—
Dampftemperatur am Kessel . . . °C	245	214	—
Ueberhitzung am Kessel . . . . . »	54,8	28,7	—
Ueberdruck im Wasserabscheider . . . at	11,70	11,784	—
» Hochdruckzylinder . . . . . »	11,60	11,610	11,62
Dampftemperatur im Hochdruck-Ventilkasten . . . . . °C	221	195,32	—
Ueberhitzung im Hochdruck-Ventilkasten . . . . . »	31,8	6,14	—
Ueberdruck im Aufnehmer I . . . at	2,18	2,408	3,13
Druck im Aufnehmer II . . . . . »	0,96	1,037	0,237
Vakuum im Kondensator rechts . . vH	92	91,85	88,40
» » links . . . . . »	92,5	91,94	89,00
Temperatur des Einspritzwassers . °C	19,7	24,6	—
» Ueberlaufwassers . . . . . »	28	33,16	—
Uml./min . . . . .	88,6946	88,739	81,33
mittlere Füllung des Hochdruckzylinders . . . . . vH	25,408	25,206	—
mittlere Gesamtfüllung . . . . . »	3,9525	3,921	5,51
mittlerer Druck aus den Diagrammen: Hochdruckzylinder vorn (Kurbelseite) . . . . . at	0,3081	0,2995	—
Hochdruckzylinder hinten . . . . . »	0,3432	0,3280	—
Mitteldruckzylinder	vorn . . . . . »	0,2921	0,2817
	hinten . . . . . »	0,2997	0,2422
Niederdruckzylinder	rechts	vorn . . . . . »	0,1584
		hinten . . . . . »	0,1506
	links	vorn . . . . . »	0,1623
		hinten . . . . . »	0,1844
gesamter mittlerer Druck . . . . . »	1,7488	1,7738	2,0743
Leistung:			
Hochdruckzylinder . . . . . PS	584,89	563,06	607,49
Mitteldruckzylinder . . . . . »	417,98	429,43	523,04
Niederdruckzylinder rechts . . . . . »	279,59	299,58	385,70
» links . . . . . »	295,58	315,17	359,16
Gesamtleistung . . . . . »	1578,05	1607,24	1825,39
Speisewasser brutto . . . . . kg/st	7649	8486	—
Leitungskondensat . . . . . »	80	71	—
desgl. . . . . vH	1,05	0,84	—
Speisewasser netto . . . . . kg/st	7569	8415	—

<sup>1)</sup> Z. 1902 S. 1584.

	Betrieb mit		
	Überhitztem Dampf	trocken gesättigtem Dampf	trocken gesättigtem Dampf bei größerer Belastung
Dampfverbrauch pro PSi-st . . . kg	4,7984	5,2357	—
garantierter Dampfverbrauch desgl. > {	4,9 bis	5,4 bis	—
	5,1	5,5	—
Mitteldruckheizung gedrosselt auf at	2,87	2,79	—
Niederdruckheizung > > >	1,03	1,02	—
Mitteldruckheißdampf . . . kg/st	33,40	62,96	—
desgl. . . . . vH	0,44	0,75	—
Niederdruckheißdampf rechts . . . kg/st	183,85	196,70	—
desgl. . . . . vH	2,43	2,84	—
Niederdruckheißdampf links . . . kg/st	208,00	262,13	—
desgl. . . . . vH	2,75	3,12	—
Kondensat des Arbeitsdampfes im Aufnehmer I . . . . . kg/st	48,00	71,00	—
desgl. . . . . vH	0,63	0,84	—
Kondensat des Arbeitsdampfes im Aufnehmer II . . . . . kg/st	81,63	99,00	—
desgl. . . . . vH	1,08	1,18	—
Summe des Dampfes von Heizung und Entwässerung . . . . . kg/st	554,88	591,79	—
desgl. . . . . vH	7,33	8,23	—
elektrische Leistung im Mittel . . . KW	1004	1027	1155
desgl. . . . . PS <sub>e</sub>	1364	1395,5	1569
Dampfverbrauch pro KW-st . . . kg	7,538	8,184	—
	<i>N<sub>e</sub></i>		
Gesamtnutzeffekt . . . . .	0,8845	0,869	0,86
	<i>N<sub>i</sub></i>		
Nutzeffekt der Dynamo . . . . .	0,95	0,95	0,95
Nutzeffekt der Dampfmaschine . . .	$\eta_{dyn}$	0,91	0,92

Leerlauf { ohne Erregung (n=83,14: 159,97 PSi) } Mittel aus je der Maschine mit > (n=82,76: 191,28 > ) 5 Diagrammen.

In Fig. 14 und 15 ist je ein Satz Diagramme dargestellt, wie sie bei den Uebergaberversuchen an Maschine I am 27. und 28. November 1902 mit überhitztem und mit gesättigtem Dampf abgenommen worden sind. Diese Diagramme sind nach dem Rankineschen Verfahren zusammengestellt, woraus sich ergibt, daß die durch den Indikator geschriebenen Diagramme gegenüber den theoretischen einen Volligkeitsgrad von 71,3 bzw. 67,7 vH bei überhitztem Dampf und von 69,88 bzw. 70,32 vH bei gesättigtem Dampf aufweisen. Nachdem die Versuche bei der ersten Maschine so gut ausgefallen waren, verzichtete das städtische Elektrizitätswerk auf die gleichen Versuche bei der zweiten Maschine,

zumal diese nach den abgenommenen Diagrammen genau die gleiche Dampfverteilung aufwies.

Die Abnahmeversuche an den Dampfkesseln fanden nach denen an den Maschinen statt, wobei die Maschinen in gleicher Weise wie zuvor belastet waren. Die Ergebnisse sind in Zahlentafel 2 enthalten.

Zahlentafel 2. Versuche an den Dampfkesseln.

Versuchsdatum . . . . .	29. Nov. 1904	1. Dez. 1904
<b>I. Mechanische Verhältnisse der Kesselanlage.</b>		
wasserberührte Heizfläche des Kessels qm	338,9	338,9
Heizfläche des Überhitzers . . . . .	78,0	78,0
gesamte Heizfläche . . . . .	416,9	416,9
Rostfläche . . . . .	6,15	7,0
Verhältnis der Rostfläche zur wasserberührten Heizfläche . . . . .	1 : 55,1	1 : 44,6
Verhältnis der Rostfläche zur gesamten Heizfläche . . . . .	1 : 67,8	1 : 55,1
<b>II. Aufzeichnungen.</b>		
Versuchsdauer . . . . . st	8	5
Gesamtwasserverbrauch . . . . . kg	37922	28195
Temperatur des Speisewassers . . . °C	29,7	46,3
Gesamtkohlenverbrauch . . . . . kg	4170,8	3095,00
Asche und Schlacke . . . . . vH	5,5	—
Heizwert der Kohle . . . . . WE	7744	7741
mittlerer Dampfdruck . . . . . at	11,39	11,66
Temperatur des gesättigten Dampfes °C	188,35	189,51
mittlere Temperatur des überhitzten Dampfes . . . . .	267	270,2
Temperatur der abzulehnden Gase >	237	248,8
Zugstärke, vor dem Schieber gemessen . . . . . mm W.-S.	15,9	11,6
<b>III. Ergebnisse.</b>		
Gesamtwasserverbrauch (Wasser von 0° C in Dampf von 100° C) . . . kg	40005,3	29067
stündlich verdampftes Wasser (Wasser von 0° C in Dampf von 100° C) . . . . .	5000,5	5813,2
stündlich verdampftes Wasser auf 1 qm wasserberührte Heizfläche . . .	14,75	17,51
stündlich verbrannte Kohle auf 1 qm Rostfläche . . . . .	81,7	81,44
Überhitzung . . . . . °C	78,65	80,69
1 kg Kohle erzeugt aus Wasser von 29,7° C Dampf von 188,35° C . . . kg	9,09	—
1 kg Kohle erzeugt aus Wasser von 46,3° C Dampf von 189,51° C . . .	—	9,1
Nutzeffekt der Kesselanlage . . . vH	78,9	77,2