

Ein mechanischer Zentrifugal- und ein elektrischer Regulator dienten zur Geschwindigkeits- und Spannungsregulierung. Für die Abnahmeversuche waren als Experten seitens der Stadt Elberfeld die Herren Baurat Lindley, Frankfurt a. M., Prof. M. Schröter, München, und Prof. Dr. H. F. Weber, Zürich, betraut. Über den Bericht derselben siehe auch Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ingenieure 44, 829 bis 834 inkl. und 882 bis 886 inkl. (1900).

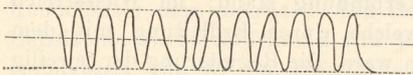
Versuchsarrordnungen und Messungen.

Die Prüfung erfolgte laut Vertrag in dem Versuchsraume der Lieferantin. Die Maschine war auf einem hölzernen Gerüste, welches dem 4 m hohen Fundamente der definitiven Aufstellung entsprechen sollte, mit den dazu gehörigen Rohrleitungen, der Luftpumpe, dem Kondensator usw. montiert. Ein Babcock & Wilcox-Kessel von 227 qm Heizfläche, zwei Schiffskessel von je 550 qm Heizfläche und ein Lokomobilkessel von 67 qm Heizfläche von etwa 10 Atm. lieferten den erforderlichen Dampf. In der Dampfleitung war ein Überhitzer mit eigener Feuerung von Babcock & Wilcox für die Überhitzung vorgesehen. Die zu den Versuchen benutzten Fabrikessel waren nicht mehr ganz dicht; es konnte daher eine genaue Messung des Speisewasserverbrauches bei voller Belastung der Turbine nicht durchgeführt werden, und der Dampfverbrauch wurde, nach dem günstigen Resultate eines Vorversuches, durch Messung der im Oberflächenkondensator niedergeschlagenen Dampfmenge bestimmt. Für einen Versuch bei halber Belastung konnte ein gut erhaltener Babcock & Wilcox-Dampfkessel benutzt werden; hierbei wurde der Speisewasserverbrauch direkt gemessen. Um das Verhältnis zwischen der kondensierten Dampfmenge und dem Speisewasserverbrauch festzustellen, wurde bei halber Belastung mit dem näher bezeichneten Kessel bei Abdichtung der Dampfleitung mittels Blindflanschen von allen anderen Verbindungen außer derjenigen, welche vom Dampfkessel durch den Überhitzer nach der Dampfturbine geleitet war, sowohl das Kondensat als auch die Speisewassermenge durch gleichzeitige Messung bestimmt. Dieser Versuch ergab nur einen sehr kleinen Unterschied bezüglich der Kondensatmenge und des Speisewasserverbrauches, welcher durch zwei kleine Undichtigkeiten in der Dampfleitung bedingt war; es konnte somit für die späteren Versuche für den Dampfverbrauch die Ermittlung der Kondensatmenge als maßgebend gelten. Eine Flügelradpumpe, welche von einem Elektromotor angetrieben wurde, förderte das Kühlwasser für die Kondensation aus einem Kondensationswasserteich; der Teich war mit Umlaufvorrichtungen eingerichtet, und das Kühlwasser wurde aus den kältesten Teilen gewonnen. Die Wassermenge wurde durch die Röhren des Oberflächenkondensators analog dem späteren definitiven Betriebe hindurchgeführt. Vor Eintritt bzw. bei Austritt des Kühlwassers aus dem Kondensator wurde die Temperatur desselben durch eine entsprechende

Vorrichtung, gemessen. Alle Röhrenverbindungen der Maschine, sowie alle elektrischen Leitungen, speziell des Haupt- und Erregerstromkreises, wurden vor den Versuchen geprüft, zur Beobachtung der Dampfspannung Manometer und Vakuummeter an den betreffenden Stellen montiert, zur Temperatur- und Tourenzahlmessung betreffend Bestimmung der Dampftemperatur und Umlaufzahl die erforderlichen Meßapparate angebracht. Ein Wasserwiderstand diente zur Belastung; derselbe setzte sich zusammen aus vier Elektroden, welche in vier eisernen, wassergefüllten Gefäßen angebracht waren und vier Variationen der Belastung, und zwar $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$ der Normalleistung, sowie Vollast zuließen; entsprechend der Verdunstung wurde ein dauernder Wasserzufluß den Gefäßen zugeführt. Die zweite Elektrode bildeten die Wänden und Böden der isoliert aufgestellten Gefäße, welche je mit einer Hilfselektrode im Wasserteich in Verbindung stand; im Wasserteich war eine Erdplatte vorhanden, welche durch Erdleitung mit dem zweiten Pol der Maschine verbunden war. Die Regulierung der jeweilig gewünschten Belastung konnte durch Auf- oder Abwärtsbewegung, sowie durch Herausnahme der Elektroden aus dem Teiche bewirkt werden. Die zur Messung erforderlichen elektrischen Meßinstrumente, bestehend aus einem Präzisionswattmeter nebst den dazugehörigen Widerständen, sowie einem Ampèremeter, waren dem Laboratorium der Technischen Hochschule Zürich entnommen; dieselben standen unter Glasverschlag direkt neben der zu untersuchenden Wechselstrommaschine. — Das Ableitungsrohr der Luftpumpe führte in zwei schmiedeeiserne zylindrische Gefäße, an welchen mittels Wechselhahnes je nach Wunsch die Verbindung aufgehoben oder hergestellt werden konnte; somit war der Dampfverbrauch aus dem Kondensat genau zu bestimmen. Die Gefäße enthielten maximal 1134 kg und waren in fünf Abteilungen von je 500 Pfd. eingeteilt. Durch ein Wasserglas wurde die jeweilige Höhe des Wassers festgestellt, und bei Füllung eines Gefäßes wurde das eine abgestellt und das andere benutzt. Dieser Zeitpunkt entsprach jeweils einem Beobachtungsabschnitt, weil sodann auch ein gleicher Zustand in der Rohrleitung und im Gefäße bestand; derselbe wurde mittels Chronometers bestimmt. Gleichzeitig geschah bei jeder Leerung des Gefäßes eine Messung der Temperatur des Kondensats und des Kühlwassers; außerdem wurde bei längerer Versuchsdauer die Kühlwassertemperatur während des Versuches mehrere Male gemessen. Ferner wurden Beobachtungen über die Dampfspannung an verschiedenen Stellen, die Dampftemperatur beim Eintritt in die Turbine, die Tourenzahl und bei Prüfung der Regulierung, Aufnahmen von Tachogrammen bei momentanen Belastungsänderungen vorgenommen. Über die Dampfspannung vor dem Absperrventil orientierte man sich mit Hilfe eines Manometers, welches mit dem später erwähnten Indikator verglichen war unter Anschluß an dieselbe Dampfleitung, in welcher durch entsprechende Drosselung der gewünschte

Druck leicht bewirkt und erhalten werden konnte. Der definitiven Ablesung wurden die Prüfungen der Indikatorfeder im Laboratorium der Technischen Hochschule in München zugrunde gelegt. Am Eingang der Hochdruckseite in das erste Leitrad wurde die Dampfspannung mittels eines aus dem Laboratorium der Technischen Hochschule München stammenden Indikators von Dreyer, Rosenkranz & Droop ermittelt. Die Papiertrommel konnte von der Hand hin und her bewegt werden und wurden die Schwankungen der Dampfspannung, bedingt durch die Eigentümlichkeit der Einlaßsteuerung der Dampfturbine, graphisch, wie Fig. 115 zeigt, aufgezeichnet. Für eine konstante Belastung und Regulatorstellung waren die Schwankungen der Spannung innerhalb bestimmter Grenzen regelmäßige. Man konnte somit den Mittelwert der

Fig. 115.



Atm. Linie.

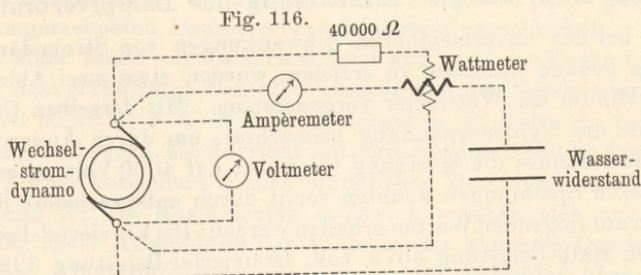
maximalen und minimalen Spannungen aus der Figur feststellen. Die spätere Prüfung ergab die Spannungen, welche tabellarisch unter Berücksichtigung des barometrischen Atmosphärendruckes als absolute Spannungen zusammengestellt sind; außerdem finden sich dort noch die Mittelwerte der maximalen und minimalen

Druckgrenze. An der Ausströmungsstelle aus dem letzten Laufrade der Hochdruckseite wurde die Spannung mittels eines Quecksilbervakuometers bestimmt; das auf dem Quecksilber stehende Wasser wurde nach Möglichkeit entfernt und die Restteile entsprechend berücksichtigt. In dem Teile direkt vor dem ersten Leitrade und hinter dem letzten Laufrade der Niederdruckseite erfolgten Dampfspannungsmessungen mittels Quecksilbervakuometers. Ein Kontrollquecksilbervakuometer, welches mit dem Kondensatorraume verbunden war, zeigte genau dieselben Werte wie das vorhergenannte an; es wurde somit von der Angabe der Werte in der Tabelle Abstand genommen. Direkt hinter dem Absperrventil, d. h. bei Eintritt in die Turbine, wurde mittels eines Quecksilberthermometers die Dampftemperatur bestimmt. Die Tourenzahlbestimmung erfolgte mit Hilfe der im Verhältnis 8:1 ins Langsame übersetzten Tourenzahl der Luftpumpe. Die Beobachtung geschah derart, daß mit einem Chronometer die Zeit für 100 Touren der Luftpumpe bis auf eine Fünftelsekunde festgestellt wurde; durch Umrechnung ergab sich hieraus die Tourenzahl der Turbine. Von elektrischen Größen wurden mittels Präzisionsapparaten die Spannung und Stromstärke des Erregerstromes, die Dynamobetriebsspannung von 4000 Volt und die Nutzleistung (Wattmeter mit einem induktionsfreien Widerstande von 40 000 Ohm) bestimmt. Die feste Spule des Wattmeters besaß drei 1 cm dicke, blanke Kupferwindungen, welche Ströme bis zu 400 Ampère zuließen. Einige Tage vor dem Transporte wurde im Laboratorium der

Technischen Hochschule Zürich für den benutzten Meßbereich des Instrumentes die Konstante gemessen; der Wert ergab sich zu 0,09011. Für die zu messende Leistung A resultierte bei einem Wattmeter-Winkel α und einem Nebenleitungswiderstande von 40 000 Ohm die Relation:

$$A = 0,09011 \cdot 40000 \cdot x \text{ Watt} = 3,6044 x \text{ Kilowatt.}$$

Bei Rückkunft des Wattmeters nach Zürich wurde die Konstante abermals bestimmt. Die Abweichung war so klein, daß der dadurch entstandene Fehler in den Beobachtungsfehlerbereich gehörte und vernachlässigt werden konnte¹⁾. Zur Bestimmung der Größe der Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom war noch ein Strommesser erforderlich, da die Leistung der Dynamo auch bei induktiver Belastung ($\cos \varphi = 0,8$) vertraglich zu messen war; derselbe wurde ebenfalls vor dem Versande geeicht und die Korrekturen entsprechend berücksichtigt. Die Schaltung während der Messung ist aus beifolgender Fig. 116 zu ersehen. Aus der Schaltungsweise geht hervor, daß zu der Leistung A noch diejenige der in der Wattmeter-Nebenleitung verbrauchten Energie, nämlich $\frac{e^2}{40\,000}$ Watt, zu addieren ist, um die Gesamtleistung der Dynamo zu erhalten; hierbei bezeichnet e die Dynamospannung. Diese



Korrektionsgröße ist klein und kann für alle im Betriebe eintretende Spannungen als gleich groß angesehen werden; dieselbe beträgt bei 4000 Volt 0,4 Kilowatt. Ferner wurde auf Wunsch der Lieferantin noch ein weiterer Energiemesser, nämlich eine Kelvin'sche Wage, welche mit der festen Spule des Wattmeters hintereinander geschaltet war und in deren Nebenleitung (Nebenleitungswiderstand des Wattmeters parallel geschaltet) ebenfalls 40 000 Ohm lagen, zur Messung benutzt; es betrug somit der Energieverbrauch beider Nebenleitungen 0,8 Kilowatt. Die Angaben der beiden Energiemesser waren nahezu gleich.

Garantien.

Nach den im Vertrage festgelegten Garantien mußten folgende Prüfungen stattfinden:

¹⁾ Zur Bestimmung der Betriebsspannung der Dynamo diente ein Kelvin'sches elektrostatisches Voltmeter. Dasselbe wurde vor der Verpackung ebenfalls in dem Meßbereich von 3500 bis 4500 Volt von 105 zu 105 Volt mit dem Normalinstrument geeicht und entsprechend berichtigt.