

Wie aus den Kurven (u. der Tabelle unten) zu ersehen ist, lieferten die Versuche an der Dampfturbine weit günstigere Resultate bezüglich Dampfverbrauch, als garantiert war. Macht man nun auch für die Dampfmaschine die Annahme, daß tatsächlich vorgenommene Versuche zu einem günstigeren Ergebnis geführt hätten, d. h., daß die Kurve des wirklichen Dampfverbrauches der Dampfmaschine tiefer zu liegen käme als diejenige des garantierten Verbrauches, so dürfte vielleicht die Dampfmaschine bei ihrer günstigsten Belastung der Dampfturbine gleichwertig, möglicherweise auch überlegen sein. Dagegen ist, nach dem Verlaufe der Kurven I und III zu schließen, daß der Dampfverbrauch bei maximaler wie auch bei niedrigen Belastungen, von Leerlauf bis zu halber Belastung bei der Dampfmaschine höher ist als wie bei der Dampfturbine. Durch den Versuch an der Dampfturbine ist erwiesen, daß der Dampfverbrauch pro Kilowatt-Stunde mit zunehmender Belastung der Maschine fortwährend abnimmt; der Dampfverbrauch der zum Vergleiche herangezogenen Dampfmaschine dagegen wächst über und unter der günstigsten Leistung sehr stark an.

Dampfturbinenleistung in effekt. Pferdestärken	600	450	300	165
Dampfturbinenleistung in effektiven Kilowatt	400	300	200	100
Kilogramm Dampf pro 1 Kilowatt-Stunde garantiert . . . . .	12,50	13,07	14,00	16,50
Kilogramm Dampf pro 1 Kilowatt-Stunde wirklich erhalten . . . . .	10,50	11,27	12,80	17,35

Um einen Überblick über die zurzeit erzielten Resultate bezüglich Dampfverbrauch zu geben, möge nebenstehende, einer Broschüre der Firma Brown, Boveri & Co. entnommene Tabelle (S. 180) ausgeführter Dampfturbinendynamoanlagen hier angeführt sein.

### Messungen an Dampfturbinen (Nutzleistung, Dampfverbrauch, Bremsung, Tourenschwankungen, Spannungsschwankungen).

Von Untersuchungen an Dampfturbinen interessieren in erster Linie diejenigen, welche für den Betrieb elektrischer Stromerzeuger unmittelbar in Betracht kommen.

Diese Untersuchungen sind gerade bei Dampfturbinen sehr einfacher Natur. Sowohl bei den Turbinen nach de Laval'schem wie nach Parsons'schem Prinzip sind die Stromerzeuger stets mit den Dampfturbinen direkt gekuppelt. Es kann somit stets die sogenannte „elektrische Bremsung“ stattfinden. Berücksichtigt man weiter, daß zurzeit die Dampfturbinendynamos immer als einheitliche Konstruktionen den Werkstätten einer Firma entstammen und somit nur eine Gesamtgarantie vom Besteller verlangt und von der Lieferantin geleistet wird, so ist zur Beurteilung der Vollkommenheit einer derartigen Maschine lediglich die Feststellung der elektrischen Nutzleistung und des Dampfverbrauches erforderlich.

Außer den Dampfturbinen für den Betrieb der Stromerzeuger

können in elektrischen Zentralstationen ev. noch Dampfturbinen-pumpen zur Förderung des Speise- und Kondenswassers in Frage kommen. Die Untersuchung einer solchen würde sich analog auf die Bestimmung der pro Sekunde geförderten Wassermenge und des Dampfverbrauches erstrecken. Soll der Dampfverbrauch für die effektive Leistung in Pferdestärken der Dampfturbine ermittelt werden, so kann man durch entsprechende Umrechnung der elektrischen, nutzbaren Energie in Pferdestärken unter Berücksichtigung des Nutzeffektes der Dynamo denselben leicht ermitteln. Durch Division des Gesamtdampfverbrauches in die Anzahl der Pferdestärken multipliziert mit der Versuchsdauer ergibt sich der Dampfverbrauch pro effektive Pferdestärke und Stunde. Analog wird der Kohlenverbrauch pro effektive Pferdekraft-Stunde ermittelt. Der Wirkungsgrad der Dynamo ist meistens in der Fabrik bestimmt oder auch in der Zentrale nach einer der bekannten Methoden ermittelt worden. Bei einer Dampfmaschinen-dynamo kann man unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades des Gesamt-aggregates den Dampfverbrauch pro Indikatorpferd und Stunde durch Umrechnung der nutzbaren Energie und des Gesamtdampfverbrauches ermitteln. Für den Besteller eines Dampfturbinen- oder Dampfmaschinen-dynamo-aggregates ist die erstere Gewährleistung (Dampfverbrauch pro Kilowatt-Stunde) viel wertvoller als die letztere (Dampfverbrauch pro effektive, bzw. indizierte Pferdekraft-Stunde), denn diese letzten Werte können speziell bei einer Dampfmaschinen-gruppe niedrig ausfallen, trotzdem sich der Dampfverbrauch für die Kilowatt-Stunde höher stellt, als die Rechnung unter Berücksichtigung der angegebenen Wirkungsgrade der Dampfmaschine und der Dynamo sich aus dem Verbrauche für die indizierte Leistung ergibt.

Bremsversuche an Dampfturbinen sind meistens nur dann vorzunehmen, wenn eine direkte Kuppelung mit einer arbeitverbrauchenden Maschine nicht vorliegt, wie etwa bei Dampfturbinen zum Antriebe von Transmissionen. Sollen Dampfturbinen mit direkter Kuppelung der Dynamos gebremst werden, so ist es ratsam, die Bremsdynamometer auf den Induktorwellen anzubringen. Wie wir auf S. 166 sahen, findet die de Laval-Turbine für derartige soeben erwähnte Betriebszwecke Verwendung, während die Parsons-Turbine so gut wie ausschließlich in Verbindung mit elektrischen Stromerzeugern angewandt wird. Bei der de Laval-Turbine wird somit, wenn dieselbe als einzelner Motor auftritt, eine Bremsung zur Feststellung der Leistung und der Ökonomie erforderlich. In diesem Falle wird die effektive Pferdestärkenleistung an der Triebwelle, welche durch Pfeilräder angetrieben wird, mittels Bremsdynamometer auf Bremsscheiben, welche auf den Triebwellen angebracht werden, ermittelt. Sind zwei Pfeilräder vorhanden, so werden auf beiden (an Stelle der Riemenscheiben) Bremsscheiben aufgesetzt. Der Dampfdruck muß mittels Kontrollmanometer mit Quecksilbersäule, welches in der Dampfleitung zwischen dem Regulatorventil und den Dampf-düsen der Turbine anzubringen ist, festgestellt werden. Zur

Messung der Tourenzahl dienen Tourenzähler, welche in der Mitte der Triebwellen anzubringen sind, sowie zur Kontrolle Tachometer, welche die Konstanz der Tourenzahl während des ganzen Versuches prüfen sollen. Bezüglich Regulierung <sup>1)</sup>, Gleichmäßigkeit des Ganges und Tourenschwankungen bei verschiedenen Belastungen ist auf S. 149, 166 ff. u. 175 ff., sowie bei den Beschreibungen der Dampfturbinen und der Beispiele das Erforderliche gesagt und sind daselbst viele Diagramme aufgenommen worden. Auch sind in einigen Beispielen direkt die beobachteten Spannungsschwankungen bei den im Betriebe vorkommenden Belastungsänderungen angegeben. Aus den Versuchen erhellt, daß die Spannungsschwankungen klein sind; beim Betriebe mit einer gleich großen Kolbendampfmaschine würden dieselben voraussichtlich größer sein. Bei sehr schwankenden Betrieben, bedingt durch große Motoren, Kräne usw. werden die Spannungsschwankungen meistens so groß, daß der Betrieb ohne Regulierungssysteme (mechanische oder elektrische) regulär nicht durchführbar ist. Der Dampfverbrauch selbst kann zweckmäßig mittels einer Düse, welche den Dampfstrahl der Turbine ganz entspricht, gemessen werden. Durch diese Düse wird der Dampf unter einem konstanten Dampfdrucke während einer Zeit von etwa 15 Minuten in einen Wasserbehälter geleitet. Die Temperatur und das Gewicht des Wassers muß vor und nach dem Dampfzuflusse genau bestimmt werden. Diese Versuche sind häufiger unter denselben Verhältnissen zu wiederholen und der Mittelwert in Rechnung zu setzen. Die Durchströmungsquerschnitte der in Frage kommenden Düsen sind mittels Präzisionsinstrumenten festzustellen und untereinander zu kontrollieren; außerdem ist der Barometerstand, der Feuchtigkeitsgrad des Dampfes und das Vakuum in Millimeter Quecksilbersäule festzustellen. Die Versuche sind mit voller Belastung, sowie mit nacheinander abnehmender Düsenzahl, welche abgesperrt werden können, durchzuführen. Die Beobachtungen sind für jede Belastung eine Anzahl Male (etwa 5 bis 10) zu wiederholen. Weitere Angaben über die Bestimmungen des Dampfverbrauches finden sich unter den Versuchsanordnungen und Messungen bei den einzelnen Beispielen. — Bezüglich der Bremsversuche und der anderen erforderlichen Messungen, sowie der folgenden Prüfungsbeispiele selbst möge es genügen, auf die entsprechenden Abschnitte unter „Wasserturbinen“, sowie auf das Buch des Verfassers „Prüfungen in elektrischen Zentralstationen mit Dampfmaschinen- und Gasmotorenbetrieb“ zu verweisen. Ich führe daher bei den nun folgenden Beispielen nicht mehr überall die einzelnen Messungs- und Berechnungswerte an, sondern gebe nur eine Beschreibung über die Art und Weise der Untersuchungen mit darauffolgenden Resultaten in tabellarischer Zusammenstellung und graphischer Darstellung. Aus denselben gewinnt man einen guten Überblick über die Prüfungen und Resultate an Dampfturbinen.

<sup>1)</sup> Siehe auch Aufsatz von Prof. A. Stodola, Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ingen. 1903, S. 205 und andere.

## Beispiel.

**Prüfungsbericht über eine de Laval-Dampfturbine von 300 effektiven Pferdestärken.**

Nachfolgende Untersuchungen wurden von mehreren Ingenieuren der „Aktiengesellschaft de Laval“ durchgeführt; dieselben beziehen sich auf Leistungs- und Dampfverbrauchsermittlungen sowie Regulierungsversuche für eine Dampfturbine mit Seiltrieb von 300 effektiven Pferdestärken.

**Leistung und Dampfverbrauch.**

Die Bremsung zur Ermittlung der Leistung der Dampfturbine erfolgte mit dem Prony'schen Bremsdynamometer, welches auf einer der Triebwellen angebracht wurde.

Von den 9 an der Turbine befindlichen Dampf Düsen waren nur 7 bei der höchsten Belastung geöffnet. Die Versuche erfolgten bei 1, 2, 3, 4, 5, 6 und 7 geöffneten Düsen, und zwar sowohl mit gesättigtem als mit überhitztem Dampfe und wurden folgende Werte beobachtet bzw. gemessen: der effektive Dampfdruck vor den Düsen, die Temperatur am Einlaßventil der Turbine, das Vakuum in dem Abfluß des Turbinengehäuses, die Triebwellentourenzah, die Dynamometerbelastung, die Anzahl der geöffneten Düsen und die Ausströmungsöffnungen; die Durchmesser der letzteren waren beinahe gleich groß. Die Konstruktion der zur Feststellung des Dampfverbrauches benutzten Düse hatte einen Ausströmungsdurchmesser von 7 mm und war den übrigen Dampf düsen identisch. Die zur Messung benutzte Düse lag in einer Zweigleitung zur Hauptdampfleitung der Turbine, und der die Düse durchströmende Dampf konnte in einen Kaltwasserbehälter oder ins Freie geleitet werden. Der Wasserbehälter war auf einer Wage plaziert, mittels welcher die Gewichtszunahme des Wassers durch den aus der Düse in den Behälter strömenden Dampf konstatiert wurde. Der Admissionsdruck, sowie der Dampfdruck vor der Düse wurde auf gleicher Höhe gehalten und jeder Ausströmungsversuch in den Wasserbehälter auf 6 Minuten ausgedehnt. Die Feststellung der Dampfmenge erfolgte unter verschiedenen Gegendrucken, und zwar bei gesättigtem und überhitztem Dampfe; die Dampfmenge war hierbei unabhängig von dem jeweiligen Gegendrucke, jedoch größer bei gesättigtem als bei überhitztem Dampfe. Der Dampfdruck im Kessel war im Mittel 15 Atm. hoch und der Barometerstand im Maschinenraume 785 mm. Die Resultate der Messungen sind in der später folgenden Tabelle zusammengestellt. Die Berechnung der einzelnen Werte ist aus meinen früheren Darlegungen bekannt. Behufs Feststellung der Güte der Regulierung wurde die Vollast von 307,8 Pferdestärken durch plötzliche Entlastung der zwei Bremsdynamometer aufgehoben; hierbei stieg die Tourenzahl von 750 auf 780, das entspricht einer Geschwindigkeits-

zunahme von 4 Proz.; das Vakuum im Turbinengehäuse fiel von 700 mm auf 615 mm, also um 12 Proz., der Abfall des Dampfdruckes bei den Dampf Düsen betrug 55,5 Proz., und zwar fiel der Dampfdruck von 13,3 Atm. auf 6,0. Diese letzteren Versuche wurden mehrere Male unter gleichen Verhältnissen wiederholt und wurden immer gleiche Resultate gefunden.

Temperatur des Dampfes am Einlaßventil in °C	Vakuum im Ab- laß des Turbinen- gehäuses in mm Quecksilber	Zahl der geöffneten Dampf Düsen	Dampfdruck vor den Dampf Düsen in kg pro 1 qcm	Tourenzah der Triebwellen pro Minute	Gebrenste Pferdekäfte	Dampfverbrauch pro effektive Pferdekraft und Stunde kg
234,3	693	7	13,55	772	307,8	6,33
225,0	702	6	13,80	762	259,0	6,56
227,0	700	5	13,80	767	219,9	6,44
225,0	702	4	13,80	775	175,0	6,48
219,0	707	3	13,40	777	123,3	6,68
199,0	713	2	13,80	775	75,2	7,72
198,0	725	1	15,00	773	31,9	9,66

### Beispiel.

## Prüfungsbericht<sup>1)</sup> über eine de Laval'sche Dampfturbine von 150 Pferdestärken.

### Probe der Leistung und des Dampfverbrauches.

Mittels Bremsdynamometern, welche auf Bremscheiben der beiden Triebwellen angebracht und deren Dimensionen und Balancierung vorher genau ermittelt worden war, wurde die Leistung gemessen. Der für den Betrieb erforderliche Dampf wurde von einem Wasser-röhrenkessel der Firma Babcock & Wilcox mittels einer 30 m langen, isolierten und mit einem Wasserabscheider versehenen Dampfleitung der Turbine zugeführt. In der Dampfleitung waren zwei Kontrollmanometer zwischen dem Regulatorventil und den Dampf Düsen der Turbine zur Bestimmung des Dampfdruckes angebracht. Die Konstanz der Tourenzah wurde mittels eines Tachometers während des ganzen Versuches bestimmt.

Zur Ermittlung des Dampfverbrauches diente eine Düse, welche den Dampf Düsen der Turbine ganz identisch war. Der Dampf wurde unter einem konstanten Drucke von 8 kg während 10 Minuten in einen Behälter mit kaltem Wasser geführt, sowie das Gewicht und die Temperatur desselben vor und nach der Zuführung des Dampfes gemessen. Auf diese Weise wurde eine Anzahl Untersuchungen unter gleichen Ver-

<sup>1)</sup> Obige Versuche entstammen einem Protokollauszuge von Prof. Cederblom und dem Maschinen-Inspektor Isakson aus Stockholm.

hältnissen durchgeführt. Die gefundene Gewichts-*differenz* des Dampfes zweier Versuche betrug etwa  $\frac{1}{3}$  Proz. Sämtliche Düsen wurden auf ihren Durchströmungsquerschnitt mittels Präzisionsinstrumenten untersucht. Zur Kondensation diente ein Körting'scher Wasserstrahlkondensator und zur Beschaffung des Wassers eine Dampfturbinenpumpe, deren Leistung ( $7\frac{1}{2}$  Pferdestärken) genau bekannt war. — Die Dampfeuchtigkeit, d. h. das Verhältnis der vom Dampfe aus dem Kessel mitgerissenen Wassermenge zur Dampfmenge wurde zu 1,8 Proz. festgestellt. Nähere Angaben über die Untersuchung und Berechnung der Dampfeuchtigkeit, die Bremsleistung usw. finden sich in dem Buche des Verfassers „Prüfungen in elektrischen Zentralstationen mit Dampfmaschinen- und Gasmotorenbetrieb“. — Während des Betriebes der Maschine wurden sechs Versuchsreihen (alle für Kondensation), und zwar unter voller Belastung (mit 7 Düsen), sodann mit 6, 5, 4, 3 und zuletzt mit nur 2 geöffneten Düsen angestellt. Die Ablesungen bzw. Messungen fanden alle 5 Minuten, und zwar fünf- bzw. dreimal für jede Versuchsreihe statt. Die Versuchsergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengestellt. Aus der Tabelle ersieht man, daß der Dampfverbrauch pro Pferdekraft mit abnehmender Leistung zunimmt; dieses ist dadurch bedingt, daß die zu überwindenden Reibungswiderstände bei niedrigen Leistungen einen größeren Teil der Gesamtleistung der Maschine ausmachen. — Die Unregelmäßigkeiten in der Zunahme des Dampfverbrauches pro effektive Pferdestärke und in der Abnahme der Leistung bei Dampfzufußverminderung sind zum Teil durch die Veränderlichkeit des Vakuums, welche durch Undichtigkeit der Stopfbüchse bedingt ist, hervorgerufen.

Nummer der Versuchsreihe	Anzahl der geöffneten Düsen	Barometerstand in mm	Vakuum in mm Quecksilbersäule	Dampfüberdruck in kg pro 1 qcm	Tourenzahl pro Minute	Gebremste Pferdestärken	Dampfverbrauch pro gebremste Pferdestärke u. Stunde
			Mittelwert von fünf bzw. drei Messungen				
1	7	743	670	8,00	1057,2	165,3	8,87
2	6	743	658	8,22	1054,4	140,3	8,16
3	5	743	666	8,00	1057,0	116,1	8,01
4	4	743	674	8,04	1058,8	89,5	8,36
5	3	743	685	7,90	1060,7	65,0	8,49
6	2	743	652	8,17	1057,0	38,0	9,98

### Beispiel.

#### Prüfungsbericht über eine de Laval-Dampfturbinendynamo von 50 Pferdestärken.

Die von den Herren Prof. Cederblom, Gewerbeinspektor Uhr und Assistent Andersson aus Stockholm angestellten Versuche bezogen

sich auf die Feststellung des Dampf- und Kohlenverbrauches pro effektive Pferdestärke und Stunde für die 50 PS-Dampfturbinendynamo. Während des 8stündigen Dauerversuches wurden 617,5 kg Yorkshirkohlen und 4,561 kg Speisewasser von + 15,4° C mittlerer Temperatur verbraucht. Zur Dampferzeugung diente ein Röhrenkessel mit Innenfeuerung und einem Kesseldampfdrucke von 8,6 kg pro Quadratcentimer Überdruck. Der Motor war direkt neben dem Dampfkessel aufgestellt. Da der Nutzeffekt der Dynamo nicht genau bekannt war, so wurde die effektive Leistung mittels zweier auf den Induktorwellen angebrachten Bremsdynamometer gemessen, welche mit einer Tourenzahl von 1645 Umdrehungen pro Minute rotierten. Der Dampfdruck wurde mittels eines Kontrollmanometers zwischen dem Regulator und den Dampfdufen der Turbine bestimmt; derselbe variierte zwischen 8,6 und 7,6 kg pro Quadratcentimeter Überdruck. Diese Veränderlichkeit des Dampfdruckes war von dem Regulator durch ungleichmäßiges Bremsen hervorgerufen. Der während des Versuches konstante Druck im Dampfablaß der Turbine betrug 0,12 kg absolut pro Quadratcentimeter oder 67 cm unter einer Atmosphäre. Der Abdampf wurde in einem Körting'schen Strahlkondensator, welcher mit Druckwasser von einer Zentrifugalpumpe gespeist wurde, kondensiert. Der Antrieb der Zentrifugalpumpe erfolgte von einem anderen Motor, welcher von einem anderen Kessel Dampf erhielt. Die Temperaturerhöhung des Kühlwassers war 9° C, und zwar von 7° auf 16° C. Während des 8stündigen Versuches leistete die Turbine konstant 63,7 effektive Pferdekräfte.

Der Dampfverbrauch pro Stunde und effektive  
 Pferdestärke beträgt also . . . . .  $\frac{4,561}{8 \cdot 63,7} = 8,95 \text{ kg}$

Der Kohlenverbrauch pro Stunde und effektive  
 Pferdestärke beträgt . . . . .  $\frac{617,5}{8 \cdot 63,7} = 1,21 \text{ „}$

Im folgenden gebe ich zunächst ein Beispiel eines genau durchgearbeiteten Versuches an einer Dampfturbinendynamo der Zentrale Elberfeld, sodann sollen eine Anzahl Messungsergebnisse in tabellarischer oder graphischer Darstellung an Parsons-Turbodynamos, die von Experten herrühren, und von Ingenieuren der Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Co. ermittelt wurden, folgen; zum Schlusse sind noch Prüfungsbeispiele an einer Westinghouse-Parsons-Turbine und an einigen Zoelly-Turbinen angeführt.

Beispiel.

**Dampfturbinenwechselstrommaschine mit einer Leistung von 1000 Kilowatt in der Zentrale Elberfeld.**

Das Maschinenaggregat sollte bei induktiver Belastung mit einer Phasenverschiebung bis herab zu  $\cos \varphi = 0,8$  bei 1500 Touren pro Minute, 4000 Volt Spannung und 50 Perioden 1000 Kilowatt leisten.

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).

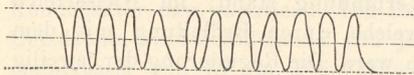
### Versuchsarrordnungen und Messungen.

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.

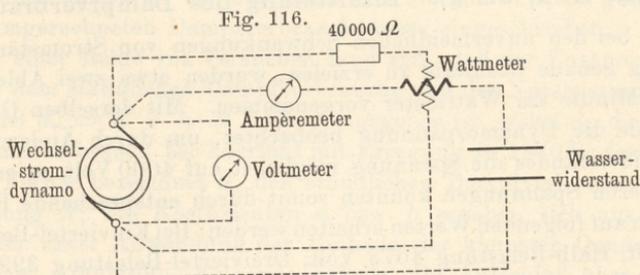
maximalen und minimalen Spannungen aus der Figur feststellen. Die spätere Prüfung ergab die Spannungen, welche tabellarisch unter Berücksichtigung des barometrischen Atmosphärendruckes als absolute Spannungen zusammengestellt sind; außerdem finden sich dort noch die Mittelwerte der maximalen und minimalen

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  $\alpha$  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 konnte<sup>1)</sup>. 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:

<sup>1)</sup> 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.

- I. Ermittlung des Dampfverbrauches bei folgenden Belastungen:
  - a) Leerlauf ohne Erregung,
  - b) Leerlauf mit Erregung der Wechselstrommaschine;
  - c) Viertel-Belastung mit 250 Kilowatt;
  - d) halbe Belastung mit 500 Kilowatt;
  - e) dreiviertel Belastung mit 750 Kilowatt;
  - f) Vollast mit 1000 Kilowatt;
  - g) Überlastung mit 1200 Kilowatt.
- II. Ermittlung des Tourenzahlunterschiedes mit Zentrifugalregulator bei Leerlauf und bei voller Belastung.
- III. Ermittlung des Tourenzahlunterschiedes mit Zentrifugalregulator und elektrischem Regulator bei plötzlichen Belastungsänderungen.
- IV. Ermittlung des Spannungsabfalles: a) bei induktionsfreier und b) bei induktiver Belastung zwischen Leerlauf und Vollbelastung.
- V. Temperaturmessungen an der Wechselstrommaschine.

#### Versuche I. a) bis g). Ermittlung des Dampfverbrauches.

Um bei den unvermeidlichen Schwankungen von Stromstärke und Spannung genaue Resultate zu erzielen, wurden etwa zwei Ablesungen in einer Minute am Wattmeter vorgenommen. Mit derselben Genauigkeit wurde die Dynamospannung beobachtet, um durch Änderung des Wasserwiderstandes die Spannung möglichst auf 4000 Volt zu erhalten. Die mittleren Spannungen konnten somit durch entsprechende Regulierung auch auf folgenden Werten erhalten werden: Bei Einviertel-Belastung 4004 Volt, Halb-Belastung 4073 Volt, Dreiviertel-Belastung 3994 Volt, Normal-Belastung 3995 Volt und bei Überbelastung 4001 Volt. In den nun hier auf S. 194 u. f. und folgenden tabellarisch zusammengestellten Beobachtungen sind nur Mittelwerte aus einer großen Beobachtungsreihe eingetragen. Die Regulierung erfolgte bei sämtlichen Versuchen mittels des elektrischen Regulators. Die Werte des Dampfverbrauches pro Kilowatt-Stunde weichen bei den Versuchen unter Ic) nur um  $\frac{1}{2}$  Proz. im Mittel voneinander ab. Dieses günstige Resultat erklärt sich aus dem 5 stündigen vorhergehenden Betriebe der Dampfturbine, wodurch ein vollkommener thermischer Beharrungszustand bestand, und aus der gleichmäßigen Belastung durch die Dynamo. Dieselbe Gleichmäßigkeit besteht für die gefundenen Werte des Dampfverbrauches pro Kilowatt-Stunde unter Ie) und Ig). Die Resultate der Abhängigkeit des Dampfverbrauches von der jeweiligen Größe der Nutzleistung ist aus folgenden Zahlenwerten zu ersehen (s. Tabelle a. f. S.).

Diese Zahlenwerte gelten nicht für gleiche Dampfspannung und gleiche Temperatur des überhitzten Dampfes und sind somit keine vergleichbaren Werte. Um diesen Vergleich zu bewirken, sind auf Grund

der Messungsergebnisse rechnerisch die Dampfverbrauchszahlen für die mittlere Überhitzung von  $14,3^{\circ}\text{C}$  entsprechend einer Dampftemperatur von  $197,3^{\circ}\text{C}$  gewonnen und unter Spalte 12, S. 195, tabellarisch zusammengestellt. Um auch einen Vergleich mit dem Dampfverbrauch

	Belastung	Nutzleistung in Kilowatt	Dampfverbrauch pro Kilowatt-Stunde kg	Dampfverbrauch in 1 Stunde kg
Ia	Leerlauf ohne Erregung	0	—	1 183
Ib	Leerlauf mit Erregung	0	—	1 844
Ic	Viertel-Belastung	246,5	15,31	3 774
Id	Halb-Belastung	498,7	11,42	5 695
Ie	Dreiviertel-Belastung	745,3	10,12	7 542
If	Voll-Belastung	994,3	9,14	9 092
Ig	Über-Belastung	1 190,1	8,81	10 485

einer Kolbendampfmaschine mit gesättigtem Dampfe zu ermöglichen, wurden unter Spalte 13 der Tabelle S. 195 die auf 11 Atm. gesättigten Dampf umgerechneten Dampfverbrauchswerte eingeschrieben.

Aus einer Reihe von Versuchen fand sich, daß der Zusammenhang zwischen dem stündlichen Dampfverbrauche und der Nutzleistung durch die Formel  $d_n = d_e + a \cdot N - b \cdot N^2$  gegeben ist, wobei  $d_e$ , der stündliche Dampfverbrauch bei Leerlauf mit Erregung zu 1840 kg festgesetzt wurde. Ferner bezeichnet  $d_n$  den stündlichen Dampfverbrauch bei der Nutzleistung  $N$ ; die Koeffizienten  $a$  bzw.  $b$  ergaben sich aus obigen Messungen unter Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate zu: 8,1178 bzw. 0,000769. Folgende Tabelle gibt Aufschluß über die Genauigkeit der Formelwerte:

N =	Stündlicher Dampfverbrauch $d_n$		Unterschied in Prozenten des gemessenen Wertes
	nach Umrechnung der gemessenen Werte (s. Spalte 12 der Tabelle S. 195)	nach der Formel	
0	1 840	1 840	0,00
246	3 774	3 790	+ 0,43
498	5 750	5 692	- 1,01
745	7 505	7 460	- 0,60
995	9 063	9 157	+ 1,04
1190	10 425	10 411	- 0,13

Aus diesen Zahlen erhellt, daß die Unterschiede der Dampfverbrauchsziffern sehr gering sind und somit die Anwendung der Formel

Beobachtete

Versuchsnummer	Belastung						Dampfverbrauch pro Kilowatt-Stunde kg
	Kilowatt	Mittlerer Dampfdruck kg/qcm	Entsprechende Temperatur von gesättigtem Dampfe °C	Mittlere Temperatur des überhitzten Dampfes am Einlaßventil °C	Überhitzung (Spalte 5 — 4) °C	Dampfverbrauch pro Kilowatt-Stunde kg	
1	2	3	4	5	6	7	
Ia	Leerlauf ohne Erregung	10,49	181,0	194,5	13,5	1183	pro Stde.
Ib	Leerlauf mit Erregung	10,34	180,3	193,0	12,7	1844	pro Stde.
Ic	246,5	10,14	179,4	196,4	17,0	15,31	pro K.-St.
Id	498,7	10,40	180,6	209,7	29,1	11,42	
Ie	745,3	10,76	182,0	190,0	8,0	10,12	
If	994,8	10,47	180,9	192,0	11,1	9,14	
Ig	1190,1	10,11	179,3	189,5	10,2	8,81	

Prüfung	Barometerstand	Versuchsdauer	Dampf-temperatur °C	Absolute Dampfspannung						
				vor dem Absperrventil kg/qcm	in der Dampfkammer			am Ende der Hochdruckseite cm Quecksilbersäule	Niederdruckseite	
					Max.	Min.	Mittel		am Eintritt cm Quecksilbersäule	am Austritt cm Quecksilbersäule
Ia	750 = 1,02	34' 31"	194,5	10,49	—	—	0,599	7,34 = 1,00	5,33 = 0,072	2,68 = 0,037
Ib	752 = 1,02	36' 54"	193,0	10,34	—	—	1,115	10,3 = 0,140	7,7 = 1,05	3,20 = 0,043
Ic	757 = 1,03	1h 22' 53,0"	196,4	10,14	3,94	1,63	2,78	19,3 = 0,260	17 = 0,231	3,70 = 0,050
Id	757 = 1,03	3 58 54,5	209,7	10,40	6,04	2,61	4,32	26,4 = 0,360	24,4 = 0,330	3,40 = 0,046
Ie	760 = 1,03	2 14 56,5	190,0	10,76	7,59	3,76	5,67	33,4 = 0,450	31,7 = 0,431	4,00 = 0,054
If	760 = 1,03	1 52 17,0	192,0	10,47	8,62	4,78	6,70	40,5 = 0,551	38,7 = 0,526	3,90 = 0,053
Ig	760 = 1,03	1 4 51,5	189,5	10,11	8,86	6,76	7,81	49,0 = 0,666	46,9 = 0,638	4,65 = 0,063

Werte.

Gesamtwärme des Dampfes bei dem beobachteten Dampfdrucke		Gemessener Wärmeverbrauch pro Kilowatt-Stunde (Spalte 9 × Spalte 7) W.-E.	Entsprechender Verbrauch an gesättigtem Dampfe (Spalte 10) (Spalte 8) kg	Entsprechender Verbrauch von Dampf von 11 Atm. absolute Spannung u. 14,3° Überhitzung (Ges.-Wärme 669,2) kg	Entsprechender Verbrauch von gesättigtem Dampfe von 11 Atm. absolute Spannung (Ges.-Wärme 662,3) kg
im gesättigten Zustande	im überhitzten Zustande				
W.-E.	W.-E.				
8	9	10	11	12	13
661,7	668,2	pro Stunde 790 481	pro Stunde 1194	pro Stunde 1181	pro Stunde 1194
661,5	667,8	1 231 423	1861	1840	1859
661,2	669,4	pro Kilow.-St. 10 248	pro Kilow.-St. 15,50	pro Kilow.-St. 15,31	pro Kilo w.-St. 15,47
661,6	675,6	7 715	11,66	11,53	11,66
662,0	665,8	6 738	10,18	10,07	10,17
661,7	667,0	6 096	9,21	9,11	9,20
661,1	666,0	5 867	8,87	8,76	8,86

kondensiert Dampf	Temperatur		Temperaturerhöhung °C	Gesamtwassermenge kg	Dauer der Füllung	Mittlere Nutzleistung der Dynamo Kilowatt	Nutzarbeit der Dynamo Kw.-Std.	Dampfmenge pro Kilowatt-Stunde kg	Tourenzahl	Erregung		Mittelwert der Dampfspannung Volt
	Kühlwasser											
	Eintritt	Austritt										
	°C	°C										
21,3	—	—	—	680,38	34' 31"	—	—	—	1504,5	—	—	—
somit in einer Stunde = 1182,5 kg												
25,0	—	—	—	1133,94	36' 54"	—	—	—	1488,3	94,8	110,40	3968
somit in einer Stunde = 1843 kg												
24,8	18,8	27,6	8,8	5216,25	2h 22' 53,0"	246,50	68,15	15,31	1485,0	95,8	111,70	4001
26,2	17,2	29,3	12,1	22678,80	3 58 54,5	498,70	99,30	11,42	1473,0	96,6	115,50	4013
30,3	15,3	30,6	15,3	17009,49	2 14 56,5	745,35	112,07	10,12	1469,9	93,0	118,13	3994
28,0	9,2	27,6	18,4	17009,49	1 52 17,0	994,80	124,10	9,14	1461,0	95,0	121,00	3995
32,8	10,9	31,6	20,7	11339,40	1 4 51,5	1190,10	128,64	8,81	1486,6	95,9	118,50	4001

völlig berechtigt ist. Nach derselben ergibt sich für die Leistungen (250, 500, 750, 1000 und 1250 Kilowatt) ein Dampfverbrauch:

Kilowatt	Kilogramm-Stunde	pro Kilowatt-Stunde in kg
250	3 821	15,28
500	5 707	11,41
750	7 496	9,99
1000	9 189	9,19
1250	10 786	8,63

Die Genauigkeit der Speisewassermessung aus dem Kondensat wurde, wie früher schon bemerkt, durch direkte Messung des Speisewassers verglichen. Zu diesem Zwecke wurde die Dampfleitung nur mit einem Kessel von Babcock & Wilcox verbunden und die Speisepumpe des Kessels von einem anderen Kessel betrieben. Vermittelt zwei Gefäße von nahezu gleichem, bekanntem Inhalt wurde die Speisewassermenge bestimmt, indem dieselben aus der Wasserleitung gefüllt und in einen Speisewasserbehälter abgelassen wurden. Am Anfange und Ende des Versuches wurden die Wasserstände im Kessel und im Speisewasserbehälter gleich hoch erhalten. Die Dampfleitung wurde auf Undichtigkeiten revidiert und dafür Sorge getragen, daß während der vierstündigen Versuchsdauer der Beharrungszustand ein guter war. Die auf diesem Wege ermittelte Speisewassermenge und deren Vergleich mit den Messungen des Kondensates enthält folgende Tabelle:

Versuchsdauer	Speisewasser- verbrauch durch direkte Messung pro Stunde kg	Dampfverbrauch nach der Kondensationsbestimmung pro Stunde kg	Unter- schied pro Stunde kg
2h . . . . .	5813,3	5779,8	33,5
2h 1' . . . . .	5682,2	5614,7	67,5
4h 1' . . . . .	5747,1	5695,8	51,3

Aus diesen Resultaten erhellt, daß der Unterschied zwischen dem Dampfverbrauch, im Speisewasser einerseits und im Kondensat andererseits, 0,69 bzw. 1,20 Proz. beträgt. Die ganze Versuchsdauer ergibt 0,9 Proz. Diese kleinen Unterschiede sind bedingt durch zwei kleine Undichtigkeiten. Die einzelnen Werte stimmen untereinander sehr gut überein und kann man ohne größere Fehler, als bei solchen Messungen erlaubt, die Bestimmungen des Dampfverbrauches durch Kondensatmessungen als genügend zuverlässig betrachten.

### Versuch II (Unterschied der Umlaufszahlen bei Leerlauf und bei voller Belastung).

Die Dampfturbine wurde zunächst bei Leerlauf auf der normalen Umdrehungszahl eine Zeitlang erhalten und währenddessen die Zeit für 200 Umdrehungen des Rades der Steuerung und des Luftpumpenantriebes entsprechend 1600 Umdrehungen der Turbinenwelle mittels des Chronometers eine Anzahl Male ermittelt; analog diesen Messungen wurden dieselben bei Vollast der Turbine durchgeführt und die Resultate in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Zeitdauer	Belastung K.-W.	Dampf- druck kg	Vakuum mm	Spannung Volt	Umlaufszahl nach Zählung		Änderung der Umlaufszahl	Änderung in Proz.
					Leerlauf	Vollast		
1 Minute	0	68,04	—	3705	1482	—	—	—
1 "	1020	63,50	693	3960	—	(1433)	(- 49)	(3,3)
1 "	1035	63,50	691	3950	—	1424	(- 58)	3,9
2 "	0	68,04	712	3900	1486	—	+ 62	4,3
1 "	1040	65,77	696	4060	—	1429	- 57	3,8
1 "	0	63,50	712	3880	1472	—	+ 43	3,0
1 "	960	63,50	698	4045	—	(1433)	- 39	(2,6)
1 "	1058	63,50	693	4040	—	1429	- 43	2,9

### Versuch III (Unterschied der Umlaufszahlen bei plötzlichlicher Belastungsänderung).

Durch einen entsprechend unterteilten Wasserwiderstand, welcher ein plötzliches stoßweises Ein- oder Ausschalten der betreffenden Unterabteilungen gestattet, wurde eine Belastung bzw. Entlastung der Turbine um etwa 25 Proz. erzielt. Bei niedrigeren Belastungen ist die Belastungsänderung zum Teil größer als  $\pm 25$  Proz. gewesen. Die Geschwindigkeitsänderung wurde mittels eines selbstregistrierenden Hornschen Tachographen, welcher noch Abweichungen von der normalen Geschwin-

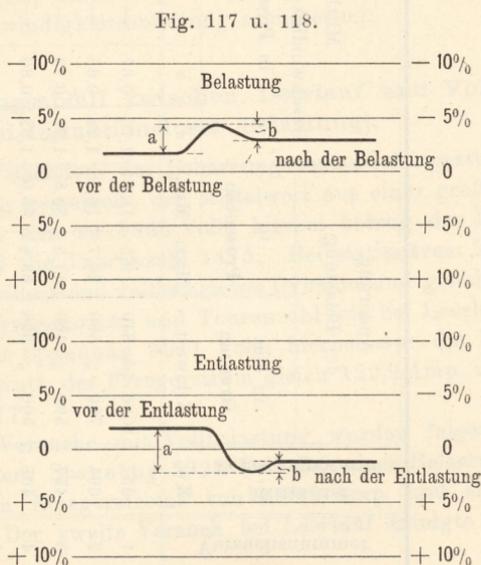


Tabelle.

Versuchsnummer	Mittel der Belastungswerte		Änderung der Belastung		Mittlere Geschwindigkeitsänderung in Prozenten				Änderung der Spannung		Änderung der Belastung im Mittel in Kilowatt	Bemerkungen	
	Kw.	Kilowatt	in den Grenzen		in Prozenten		in Prozenten		in Prozenten	in Volt			
			Max.	Min.	a	b	c	a — b			+	—	
1	957	1086 bis 840	19,5	16,3	1,75	0,67	—	1,08	1,29	1,20	50	1050 ↔ 864	Die mittlere Spannung beträgt 4000 Volt; die Änderung der Spannung 52 Volt = 1,3 Proz. der Ausgangsspannung.
2	694	790 " 590	26,7	16,4	1,28	0,65	—	0,63	1,19	1,35	51	766 ↔ 623	
3	497	590 " 400	47,5	30,5	1,36	0,73	—	0,63	1,32	1,28	53	590 ↔ 404	
4	405	500 " 306	63,4	36,0	1,62	0,86	—	0,75	1,35	1,41	56	490 ↔ 312	
5	251	292 " 204	43,1	26,9	1,37	0,63	—	0,74	1,34	1,29	51	292 ↔ 210 und zurück	
6	281	336 " 222	51,3	27,5	—	—	—	—	1,05	1,10	43	230 ↔ 332	Das Mittel der Spannungsänderung beträgt 44 Volt = 1,1 Proz. der Ausgangsspannung.
7	492	616 " 380	62,1	34,4	0,31	0,22	1,32	0,84	1,10	1,15	45	382 ↔ 601	
8	714	(900) " 580	55,2	12,2	0,24	0,20	1,29	0,99	1,11	1,10	44	611 ↔ 818	
9	900	1016 " 790	30,6	19,3	0,21	0,27	1,26	0,86	1,06	1,12	45	797 ↔ 1007 und zurück	

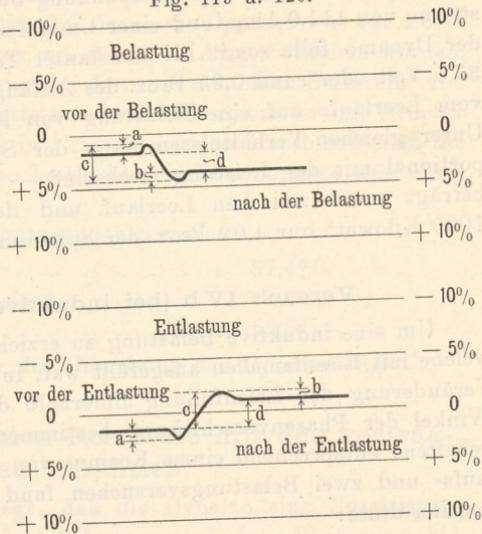
digkeit bis zu 10 Proz. vermerkte, bestimmt; vorstehende (Fig. 117 u. 118) graphische Darstellungen zeigen die Geschwindigkeitskurve bei Verwendung eines Zentrifugalregulators bei plötzlicher Belastung bzw. Entlastung. Der Übergang in den anderen Beharrungszustand erfolgt mit einmaliger Überschreitung der späteren Beharrungsgeschwindigkeit, im Maximum in 15 Sekunden.

In den Figuren bezeichne *a* bzw. *b* die größte Geschwindigkeitsänderung in Prozenten der vorhergehenden bzw. nachfolgenden Geschwindigkeit. In der Tabelle (S. 198) sind die Versuchsergebnisse gegeben.

Die Resultate Nr. 6 bis 9 sind mittels elektrischen Regulators gewonnen; dieselben zeigen große Verschiedenheiten von den Resultaten Nr. 1 bis 5. Der elektrische Regulator verkleinert die Geschwindigkeit bei abnehmender Belastung und umgekehrt; er wirkt

also in entgegengesetztem Sinne als der mechanische. Fig. 119 u. 120 geben ein Bild über den Verlauf der Geschwindigkeitsänderung bei größeren Anfangsbelastungen; bei kleinen Belastungsschwankungen ist der Unterschied der Geschwindigkeitsänderung sehr gering.

Fig. 119 u. 120.



#### Versuch IV a (Spannungsabfall zwischen Leerlauf und Vollbelastung, bei induktionsloser Belastung).

Bei Leerlauf wurde, nachdem der Beharrungszustand festgestellt worden war, die Spannung gemessen; der Mittelwert aus einer großen Anzahl Ablesungen ergab sich zu 3965 Volt; hierbei betrug der Erregerstrom 112 Amp. und die Tourenzahl 1475. Bei stationärem Zustande der durch Wasserwiderstand vollbelasteten Dynamo und gleichen Verhältnissen bezüglich Erregerstrom und Tourenzahl wie bei Leerlauf betrug der Mittelwert der Spannung 3911 Volt; hierbei war die Belastung gleich 907,6 Kilowatt, der Erregerstrom gleich 122,2 Amp. und die Tourenzahl gleich 1477.

Bei einem zweiten Versuche mit Vollbelastung wurden folgende Resultate erhalten: mittlere Spannung 3925 Volt bei einer Belastung von 960 Kilowatt, einem Erregerstrom von 110,9 Amp. und einer Tourenzahl von 1477. Der zweite Versuch bei Leerlauf erfolgte bei

einer mittleren Spannung von 3946 Volt, einem Erregerstrom von 110,0 Amp. und einer Umlaufzahl von 1477.

Die Mittelwerte der Resultate der vier Versuche sind:

Für Leerlauf ist die Spannung 3955,5 Volt bei einem Erregerstrom von 110 Amp. und einer Umlaufzahl von 1476. Für eine Belastung von 934 Kilowatt beträgt die Spannung 3918,0 Volt bei einem Erregerstrom von 111,0 Amp. und einer Umlaufzahl von 1477. Die Spannung der Dynamo fällt somit bei konstanter Tourenzahl und Erregung um 37,5 Volt oder rund 0,95 Proz. des Anfangswertes, wenn die Dynamo vom Leerlaufe auf eine Belastung von 934 Kilowatt gebracht wird. Unter gleichen Verhältnissen kann der Spannungsabfall — als proportional mit der Leistung wechselnd — berechnet werden; derselbe beträgt somit zwischen Leerlauf und der normalen Belastung von 1000 Kilowatt nur 1,02 Proz. der Spannung bei Leerlauf.

#### Versuch IV b (bei induktiver Belastung).

Um eine induktive Belastung zu erzielen, wurde eine große Spule, welche mit Eisenlamellen ausgefüllt war, in die Leitung gelegt. Durch Veränderung der Eisenfüllung innerhalb der Spule konnte man den Winkel der Phasenverschiebung bestimmen; derselbe wurde auf  $38^\circ$  gehalten, entsprechend einem Kosinus von etwa 0,78. Aus drei Leerlauf- und zwei Belastungsversuchen fand man folgende Mittelwerte der Resultate:

	Spannung Volt	Erregerstrom Amp.	Tourenzahl
Bei Leerlauf . . . . .	3919	110,0	1479
Bei Belastung mit 786 Kilowatt und $\cos \varphi$ = 0,778 . . . . .	3574	110,4	1476

Aus diesen Zahlen resultiert, daß der Spannungsabfall (zwischen Leerlauf und Vollast) 345 Volt, d. i. 8,80 Proz., der Spannung bei Leerlauf beträgt. Bei 1000 Kilowatt Belastung würde der Spannungsabfall auf 11 Proz. steigen.

Die durch Versuch IV a und IV b ermittelten Spannungsabfälle zwischen Leerlauf und Vollast bei induktionsfreier und induktiver Belastung sind im Vergleich mit anderen gefundenen Werten bei Wechselstrommaschinen gleicher Leistung und anderer Bauart sehr klein; man rechnet sonst mit Spannungsabfällen von etwa 6 bzw. 17 Proz. bei induktionsfreier bzw. induktiver Belastung mit  $\cos \varphi =$  etwa 0,80. Dieser geringe Spannungsabfall bei der Parsons-Wechselstrommaschine findet nur seine Erklärung durch einen sehr kleinen Widerstand bzw. Induktionskoeffizienten der Armaturwindungen bzw. der Armatur.

### Versuch V

#### (Temperaturbestimmung der einzelnen Teile der Dynamo).

Zur Ermittlung der Temperaturen der einzelnen Teile der Dynamo wurde Versuch If (S. 193) bezüglich der Belastung zugrunde gelegt. Bei demselben war die normale Dauerbelastung etwa 1000 Kilowatt, die mittlere Stromstärke betrug etwa 297 Amp., die Dynamo war vor dieser Belastung schon einige Stunden mit etwa 250 Amp. betrieben worden. Direkt nach Außerbetriebsetzung der Dynamo mit einer Belastung von etwa 1000 Kilowatt wurden mittels mehrerer Thermometer mit sicherer Berührung derselben mit den in Frage stehenden Maschinenteilen die Höchststände der Temperaturen bestimmt; die Thermometer waren mit Watte zugedeckt.

Die so ermittelten Temperaturangaben waren:

im Armatureisen . . . . .	67,4° C
im Erregermagneteisen . . . . .	48,5° „
in den Spulen . . . . .	52,6° „

hierbei betrug die Temperatur der Umgebung der Dynamo 18,9° C.

#### Vergleich der gefundenen Resultate mit den vertraglichen Garantien.

Im Vertrage war festgelegt, daß die Dynamo eine Nutzleistung von 1000 Kilowatt bei induktiver Belastung und einer Phasenverschiebung von  $\cos \varphi = 0,80$ , 4000 Volt und 50 vollen Perioden in der Sekunde aufweisen sollte.

Die Resultate der Messungen ergaben, daß die Nutzleistung wesentlich höher ist und zwar leistet die Turbodynamo bei vollem (11 Atm. absolut) Dampfdrucke 1400 Kilowatt.

Bezüglich der Erwärmung war vertraglich bestimmt, daß nach sechsständigem Dauerbetriebe kein Teil des Generators bzw. des Erregers die Temperatur des Maschinenraumes um mehr als 40° C übersteigen soll. Die Temperaturerhöhung (über dieselbe des Maschinenraumes) ergab bei dem Versuch If nach einem Betriebe mit etwa 300 Amp. folgende Werte:

im Armatureisen . . . . .	etwa 48,5° C
im Erregermagneteisen . . . . .	„ 30,0° „
in den Erregermagnetspulen . . . . .	„ 34,0° „

Durch Vermehrung der Lüftung in der Armatur konnte die Bau-firma C. A. Parsons & Co. die vertragliche Bedingung betreffend Temperaturerhöhung im Armatureisen erfüllen.

Die Tourenzahländerung bei allmählichem Übergange vom Leerlauf zur Vollast oder umgekehrt und unveränderlichem Dampfdrucke war vertraglich auf maximal 4 Proz. normiert; die Messung ergab 3,6 Proz.

Durch den Zentrifugalregulator soll die Tourenzahländerung der Dampfturbine bei plötzlicher Belastungsänderung um 25 Proz. der jeweils vorhandenen Belastung nicht mehr als maximal 0,8 Proz. ergeben. Die Messungen zeigten bei plötzlicher Belastungsänderung von 16 bis 63 Proz. eine Tourenzahländerung von 1,0 bis 1,9 Proz. unmittelbar nach der Belastungsänderung und etwa 0,4 bis 1,3 Proz. für die dauernde Änderung; hierbei (plötzliche Belastungsänderung) zeigte die Spannung eine Abweichung von etwa 1,3 Proz. der Ausgangsspannung.

Von dem elektrischen Regulator wird verlangt, daß bei plötzlicher Belastungsänderung um 25 Proz. der jeweiligen Belastung die Spannung sich maximal nur um 1 Proz. ändern darf. Aus den Messungen resultierte, daß bei Belastungsänderungen von 12 bis 62 Proz. die Tourenzahl und entsprechend die Spannung durch den elektrischen Regulator derart reguliert wurde, daß der Mittelwert der Änderung der Spannung nicht mehr als 1,1 Proz. der Ausgangsspannung betrug.

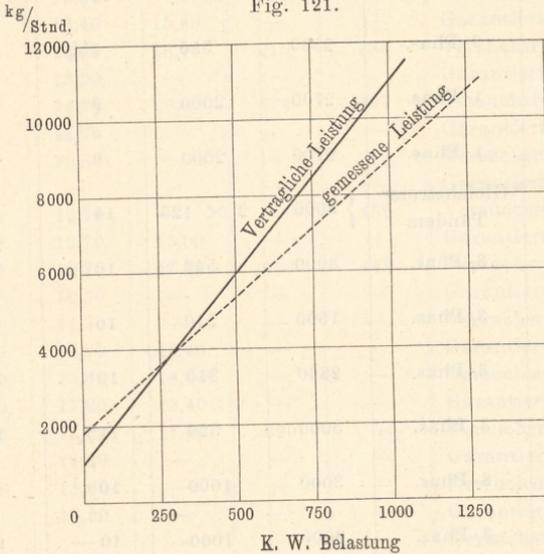
Aus diesen Resultaten geht hervor, daß die Regulatoren gut und zweckentsprechend arbeiten und der Einfluß der momentanen Belastungsänderungen auf die Tourenzahl durch die Reguliervorrichtung sehr rasch übersetzt wird. Der Spannungsabfall darf vertraglich bei konstanter Tourenzahl und Erregung und induktionsfreier Belastung maximal 5 bis 6 Proz. zwischen Leerlauf und Vollast ergeben; durch die Versuchsergebnisse wurde gezeigt, daß sich derselbe zwischen Leerlauf und der normalen Belastung von 1000 Kilowatt nur auf 1,02 Proz. belief. Dieses ist ein sehr günstiges Resultat für das Arbeiten der Maschine. Ebenso ist der gefundene Spannungsabfall zwischen Leerlauf und Vollast bei induktiver Belastung zu 11 Proz. als gleich günstig zu bezeichnen.

Untenstehende Tabelle und Fig. 121 zeigen einen Vergleich der vertraglich festgelegten und der gefundenen Werte betreffend Dampf-

Be- lastung  Kilowatt	Vertragl. Wert des Dampfverbrauches bei 50° Überhitzung		Messungsergebnisse betr. Dampfverbrauch bei 14,3°C mittlerer Überhitzung		Unterschied zwi- schen Vertragswert u. Messungsergebnis	
	pro Kilowatt- Stunde	der Tur- bine in 1 Stunde	pro Kilowatt- Stunde	der Turbine in 1 Stunde	kg/Std.	der Tur- bine in 1 Stunde
	kg	kg	kg	kg		
1250	—	—	8,63	10786	—	—
1000	11,0	11000	9,19	9189	— 1,81	— 1811
750	11,3	8475	9,99	7496	— 1,31	— 979
500	12,0	6000	11,41	5707	— 0,59	— 293
250	14,0	3500	15,28	3821	+ 1,28	+ 321
Leerlauf	—	1060	—	1840	—	+ 780

verbrauch. Bei den Versuchen betrug die Überhitzung  $14,3^{\circ}\text{C}$ , während vertraglich  $50^{\circ}\text{C}$  Überhitzung ausbedungen war; dementsprechend würde der Dampfverbrauch noch geringer, wie angegeben worden. Aus der graphischen Darstellung ersieht man, daß die Kurve des vertraglich genehmigten Dampfverbrauches sich mit derjenigen, welche sich aus den Messungswerten ergab, bei 370 Kilowatt zusammentrifft; somit ist der Dampfverbrauch unter dieser Leistung größer, als vertraglich bestimmt war und umgekehrt. Im normalen Betriebe wird man nur selten unter 370 Kilowatt Leistung kommen und hat somit das günstige

Fig. 121.



Resultat des Dampfverbrauches bei einer Leistung von über 370 Kilowatt praktisch nur Bedeutung; es können somit die gefundenen Dampfverbrauchsziffern als viel günstiger bezeichnet werden, als die vertraglich festgelegten.

Die nun folgenden tabellarischen und graphischen Darstellungen geben einen Überblick über die Dampfverbrauchszahlen pro Kilowatt-Stunde bei 18 verschiedenen Maschinentypen und -arten (Gleich- und Wechsel- bzw. Drehstrom) — unter verschiedenen Verhältnissen, z. B. Belastungen, Überhitzungen usw. — der Parsons-Turbogeneratoren.

Die unter Nr. 3, 6, 13, 15 und 16 (S. 204 u. 205) angegebenen Garantiezahlen und gemessenen Werte des Dampfverbrauches pro Stunde bzw. pro Kilowatt-Stunde der Brown-Boveri-Parsons-Dampfturbinen sind in den Fig. 122 und 126 zur graphischen Darstellung gebracht. Als Abszissen sind in den Figuren die Leistungen in effektiven Kilowatt-Stunden und als Ordinaten die totalen, garantierten, gemessenen und auf 90 Proz. Vakuum reduzierten Dampfverbrauchszahlen

Nr.	Leistung in Kilowatt	Stromart	Touren pro Minute	Spannung Volt	Dampfdruck Atm.	Vakuum bei Vollbelastung Proz.	Überhitzung °C	Dampfverbrauch pro Kilowatt-Stunde bei Belastung				Dampfverbrauch pro Stunde		Bemerkungen
								3/4	2/4	1/4	leer erregt	leer unerregt		
													4/4	
1	{ 380 } { 400 }	3-Phas.	3000	2000	7 1/2	90	{ — — —	12,00	—	13,40	15,80	—	550	Garantiert.
2	300	Gleichstrom	3000	600	11	90	{ — — —	10,50	11,27	12,80	17,35	—	920	Versuchsresultate.
3	400	3-Phas.	2500	550	7 1/2	90	{ — — —	11,30	—	12,60	—	—	—	Garantiert.
4	300	1-Phas.	2700	2000	9	90	{ — — —	10,48	11,15	12,50	—	600	—	Versuchsresultate.
5	300	1-Phas.	2700	2000	9	90	{ — — —	12,00	—	13,40	15,80	—	—	Garantiert.
6	280 {	Gleichstrom-Tandem	3000	2 x 125	14	90	{ — — —	10,50	11,30	13,20	16,45	915	735	Versuchsresultate.
7	350							3-Phas.	3000	540	10	90	{ — — —	11,70
8	900	3-Phas.	1500	510	10	90	{ — — —	11,04	11,90	14,72	19,90	679	407	Versuchsresultate.
9	300	3-Phas.	2860	310	10	90	{ — — —	10,30	—	11,70	—	—	—	Garantiert.
10	350	3-Phas.	3000	320	11 1/2	90	{ — — —	9,70	—	12,40	—	—	—	Versuchsresultate.
11	350	3-Phas.	3000	1000	10	90	{ — — —	11,50	—	—	—	—	—	Garantiert.
12	350	3-Phas.	3000	1000	10	90	{ — — —	10,58	11,30	12,70	—	—	452	Versuchsresultate.
13	180	Gleichstrom	3500	230	9 1/2	90	{ — — —	11,30	11,80	12,70	15,00	—	—	Garantiert.
14	200	Gleichstrom	3000	250	9	90	{ — — —	10,20	11,30	12,70	17,40	650	443	Versuchsresultate.
15	350-400	3-Phas.	2880	500	11	90	{ — — —	9,60	—	10,50	—	—	—	Garantiert.
16	500	3-Phas.	3000	250	10	—	{ — — —	9,20	—	11,30	—	—	—	Versuchsresultate.
17	260	3-Phas.	3000	1000	7	Auspuff	{ — — —	11,50	12,00	12,90	15,40	—	—	Garantiert.
18	260	3-Phas.	3000	1000	7	90	{ — — —	11,50	12,10	13,80	18,40	—	—	Versuchsresultate.
							{ — — —	10,00	10,50	11,20	13,40	—	—	Garantiert.
							{ — — —	9,30	10,20	11,60	15,30	620	—	Versuchsresultate.
							{ — — —	10,00	—	11,20	—	—	—	Garantiert.
							{ — — —	9,82	—	11,00	—	—	—	Versuchsresultate.
							{ — — —	11,50	—	13,20	—	—	—	Garantiert.
							{ — — —	11,03	—	—	—	—	—	Versuchsresultate.
							{ — — —	11,30	11,50	12,30	—	—	—	Garantiert.
							{ — — —	10,90	11,40	12,80	—	387,5	—	Versuchsresultate.
							{ — — —	11,85	—	13,00	—	—	—	Garantiert.
							{ — — —	10,90	11,40	13,20	18,00	—	—	Versuchsresultate (bei kl. Bel. ungenau, weil Oberflächenkondensator undicht).
							{ — — —	10,00	11,00	12,50	—	—	—	Garantiert.
							{ — — —	9,00	9,40	10,30	—	505	—	Versuchsresultate.
							{ — — —	10,50	11,30	12,10	18,00	—	—	Garantiert.
							{ — — —	9,00	9,90	11,00	14,10	743	574	Versuchsresultate.
							{ — — —	11,80	12,70	13,60	20,20	—	—	Garantiert (gesättigter Dampf).
							{ — — —	21,00	—	26,00	—	—	—	Garantiert.
							{ — — —	18,00	—	—	—	—	—	Versuchsresultate.
							{ — — —	11,20	—	13,30	—	—	—	Versuchsresultate bei Kondensation inklusive Kondensationsenergie (10 Kilowatt).

Fig. 122.

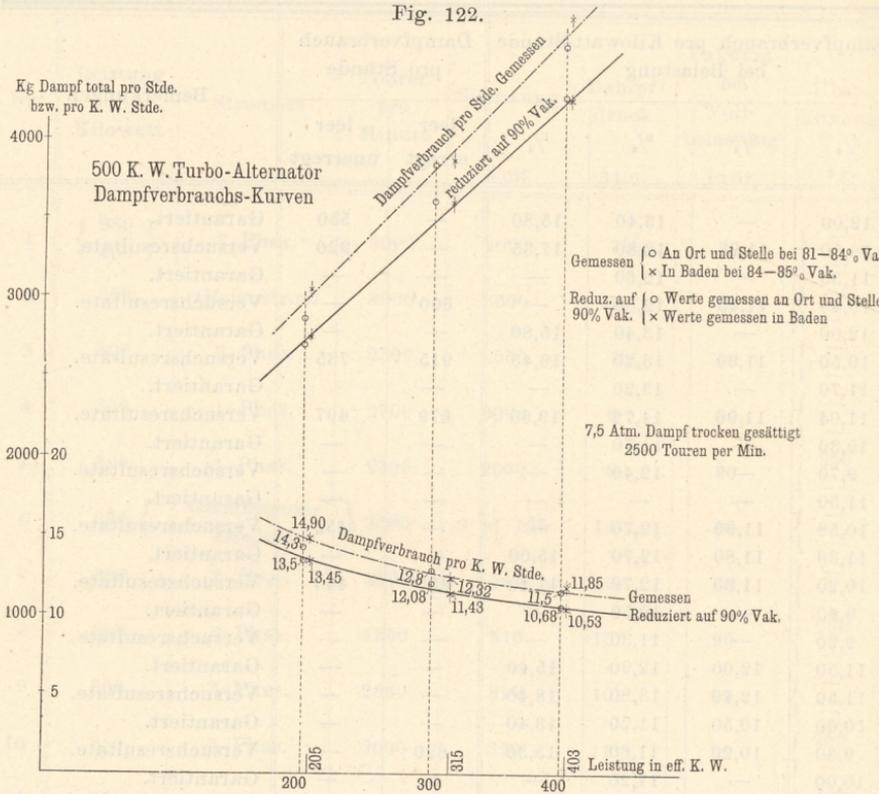


Fig. 123.

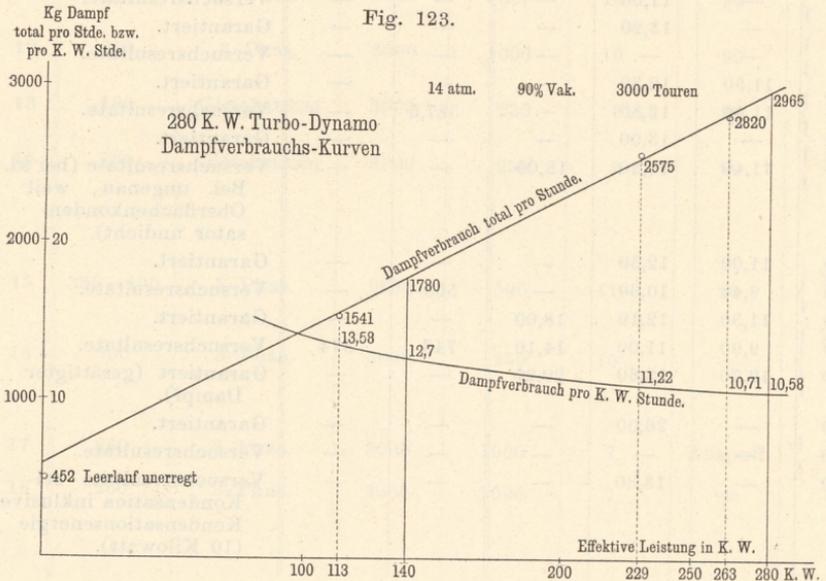


Fig. 124.

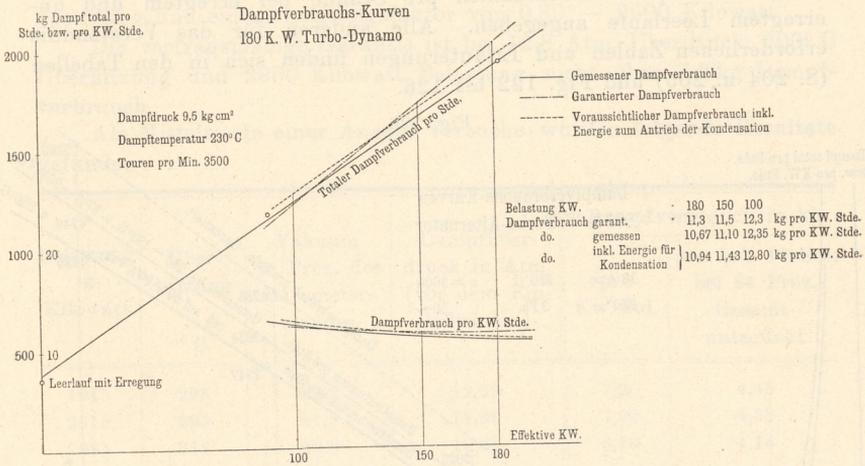
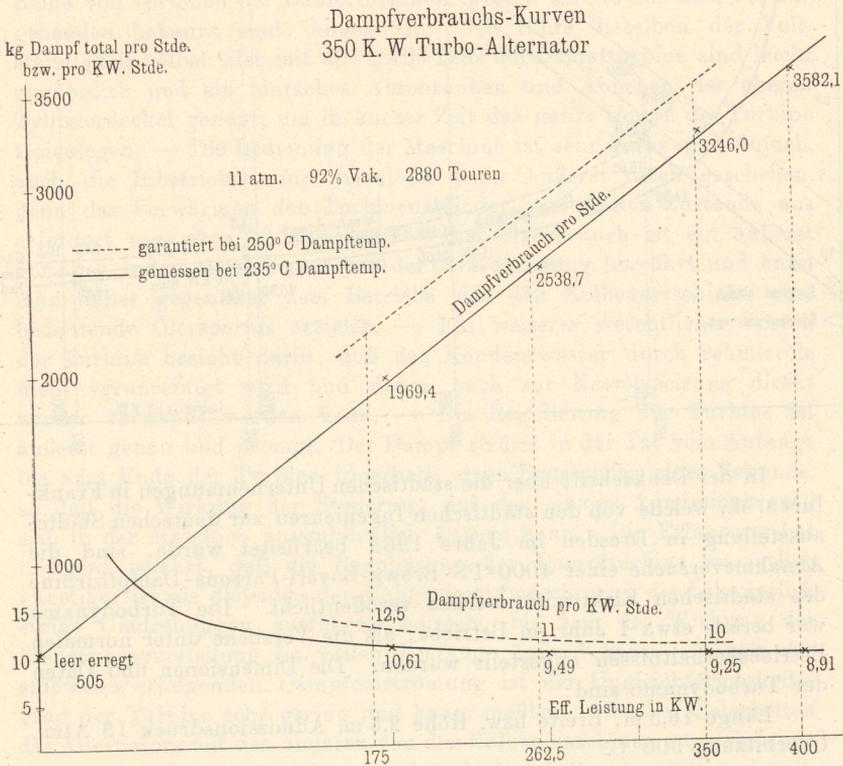
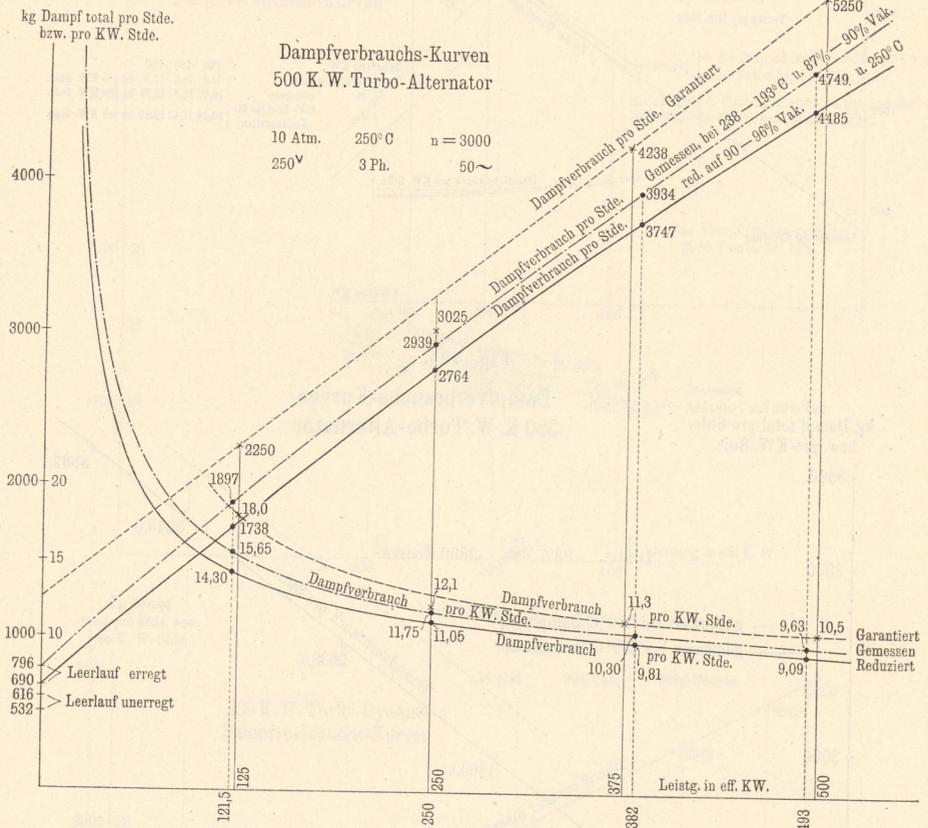


Fig. 125.



zahlen pro Stunde bzw. pro Kilowatt-Stunde eingetragen; außerdem sind die Dampfverbrauchszahlen pro Stunde bei erregtem und unerregtem Leerlaufe angegeben. Alle anderen für das Verständnis erforderlichen Zahlen und Erläuterungen finden sich in den Tabellen (S. 204 u. 205) und Fig. 122 bis 126.

Fig. 126.



In der Denkschrift über die städtischen Unternehmungen in Frankfurt a. M., welche von den städtischen Ingenieuren zur deutschen Städteausstellung in Dresden im Jahre 1903 bearbeitet wurde, sind die Abnahmeversuche einer 4000-PS-Brown-Boveri-Parsons-Dampfturbine des städtischen Elektrizitätswerkes veröffentlicht. Die Turbodynomo war bereits etwa 1 Jahr im Betriebe, als die Versuche unter normalen Betriebsverhältnissen angestellt wurden. Die Dimensionen und Daten der Turbodynomo sind:

Länge 16,5 m, Breite bzw. Höhe 2,5 m, Admissionsdruck 13 Atm., Überhitzung 300° C.

Die Leistung beträgt — bei 1360 Umdrehungen pro Minute 3000 Volt Spannung und einem Leistungsfaktor von 0,80 — 2600 Kilowatt.

Die vertragsmäßige Garantie ist bei 12,8 Atm. Überdruck, 300° C Überhitzung und 2600 Kilowatt Belastung nicht über 7,2 kg Dampfverbrauch.

Als Mittelwerte einer Anzahl Versuche wurden folgende Resultate gefunden:

Belastung in Kilowatt	Über- hitzung  ° C	Vakuum in Proz. des Barometer- standes	Dampfüber- druck in Atm. (vor dem Ein- laßwinkel)	Dampfverbrauch in kg	
				pro Kw.-Std.	pro ind. PS-Std. bei 84 Proz. Gesamt- nutzeffekt
1945	298	93,2	12,63	7,20	4,45
2518	295	91,8	12,80	7,09	4,38
2995	312	90,0	10,60	6,70	4,14

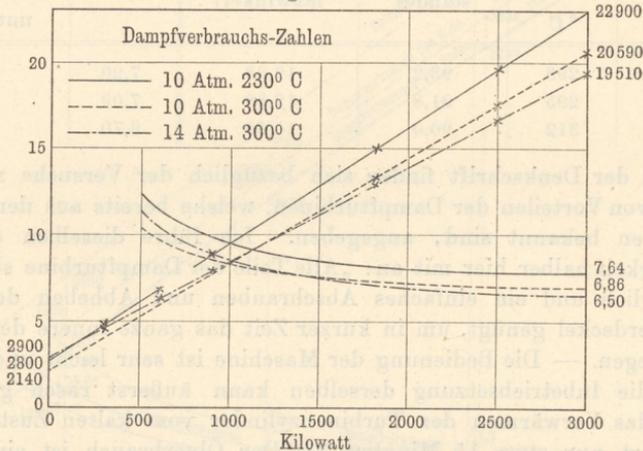
In der Denkschrift finden sich bezüglich der Versuche noch eine Reihe von Vorteilen der Dampfturbinen, welche bereits aus dem Vorhergehenden bekannt sind, angegeben. Ich führe dieselben der Vollständigkeit halber hier mit an: „Alle Teile der Dampfturbine sind leicht zugänglich und ein einfaches Abschrauben und Abheben der oberen Zylinderdeckel genügt, um in kurzer Zeit das ganze Innere der Turbine freizulegen. — Die Bedienung der Maschine ist sehr leicht und einfach, auch die Inbetriebsetzung derselben kann äußerst rasch geschehen, denn das Vorwärmen der Turbinenzylinder vom kalten Zustande aus erfordert nur etwa 15 Minuten. — Der Ölverbrauch ist ein äußerst geringer, indem derselbe nur von der Ölverdunstung herrührt und kann man daher gegenüber dem Betriebe mit den Kolbenmaschinen eine bedeutende Ölersparnis erzielen. — Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Turbine besteht darin, daß das Kondenswasser durch Schmieröle nicht verunreinigt wird und daher auch zur Kesselspeisung direkt wieder verwandt werden kann. — Die Regulierung der Turbine ist äußerst genau und prompt. Der Dampf strömt in der Tat vom Anfange bis zum Ende der Turbine innerhalb eines Bruchteiles einer Sekunde, so daß die Wirkung der Steuerung auf das einzige Admissionsventil sich in der Maschine augenblicklich äußern kann. Die Erfahrung hat übrigens gelehrt, daß die Regulierung der Dampfturbine wesentlich günstiger ist als diejenige der Kolbendampfmaschinen, die bekanntlich einige Umdrehungen ausführen müssen, bis sich die Wirkung der Steuerungsverstellung im vollen Umfange äußern kann. — Trotz der stoßweise erfolgenden Dampfströmung ist der Ungleichförmigkeitsgrad der Turbine sehr gering und kaum meßbar. Das Parallelarbeiten des Alternators mit den anderen von den Kolbenmaschinen angetriebenen Alternatoren hat in der Tat niemals Schwierigkeiten bereitet und voll-

zieht sich stets in vorzüglicher Weise. Dazu trägt auch die besondere Bauart des rotierenden Magnetfeldes bei, welches nach Art der Rotoren von asynchronen Motoren ausgeführt ist, eine Anordnung, welche über- dies noch wesentliche Vorteile in mechanischer Hinsicht bietet.“

In der „Elektrotechnischen Zeitschrift“, Heft 34, S. 749 u. f. (1904) finden sich weitere Versuche an einem Turbogenerator von 3200 Kilo- watt Leistung (des städtischen Elektrizitätswerkes Frankfurt) bezüglich Regulierungsfähigkeit, Dampf- und Ölverbrauch. Im nachfolgenden seien die Versuche auszugsweise wiedergegeben.

Das Kondensat, d. h. der im Oberflächenkondensator aus der Tur- bine ausströmende Dampf, kondensiert, ohne mit dem Kühlwasser in

Fig. 127.



Berührung zu kommen; dasselbe wird aufgefangen und abgewogen und man erhält somit den Dampfverbrauch. Das von der Kondensatpumpe gelieferte Kondensat wurde in Reservoirs von genau bekanntem Inhalte geleitet; die Gewichtsbestimmung erfolgte auf geeichten Dezimalwagen. Vermittelt Sekundenuhr mit Fünftel-Sekunden-Anzeiger wurde die Zeit bis zur Füllung der Reservoirs bestimmt. Die Übereinstimmung der Zeitabschnitte bis zur Füllung der Reservoirs ergab ein Maß für die Richtigkeit der Messung. Da die Kondensatpumpe infolge des hohen Vakuums und des geringen Gefälles zeitweise unregelmäßig arbeitete, so war diese Kontrolle notwendig. — Die nachfolgenden Resultate ergaben sich zum Teil aus dem normalen Betriebe der Turbine und zum Teil durch konstante Belastung derselben mittels Wasserwiderstand. Die Ablesungen der Belastung in Kilowatt erfolgten während der ganzen Versuchszeit und wurde der Mittelwert der Berechnung zugrunde gelegt. — Die Untersuchungen erstreckten sich auf Prüfungen bei niedrigem Drucke (etwa 10 Atm.) und niedriger Überhitzung, bei niedrigem Drucke und hoher Überhitzung und bei hohem Drucke und hoher Überhitzung. Fig. 127 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen in

graphischer Darstellung. Durch die Relation  $y = ax + b$  [s. S. 149 u. Formel (4), S. 149] erhält man unter Zugrundelegung je dreier Werte für  $y$  (Dampfverbrauch pro Stunde in Kilogramm) und  $x$  (Belastung) die

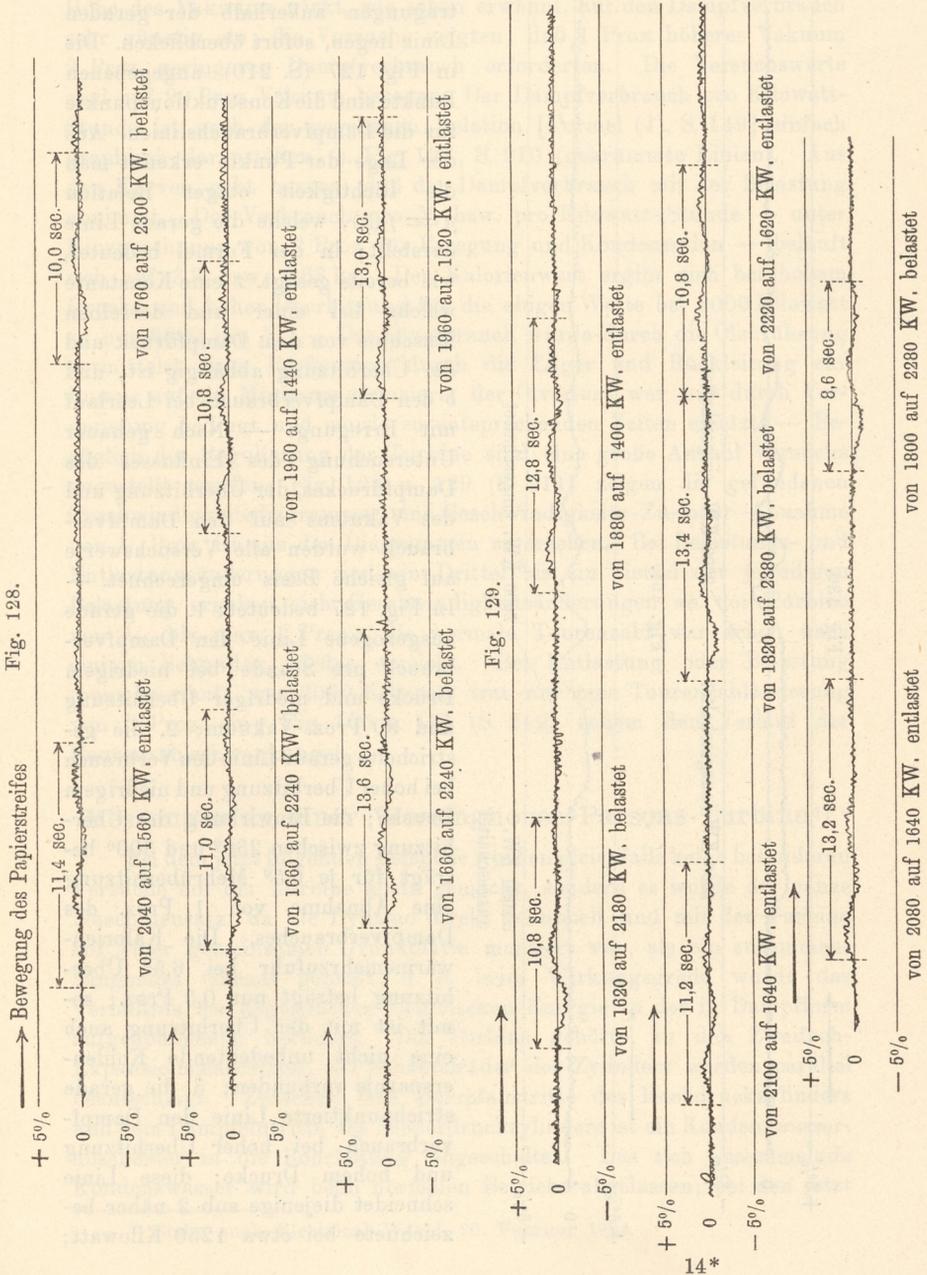
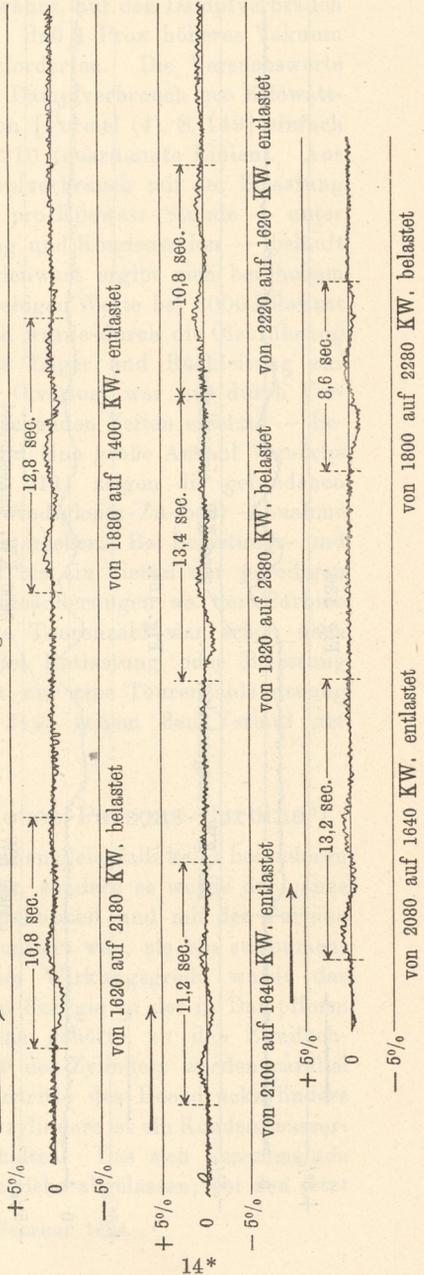
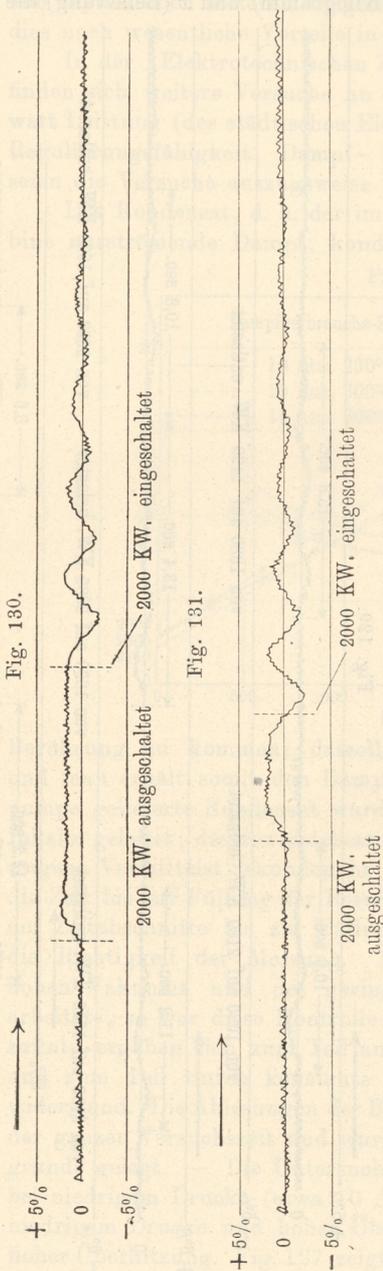


Fig. 129.



Gleichung für den Dampfverbrauch der ganzen Belastungsmöglichkeit einer Maschine. Aus der graphischen Darstellung (Fig. 127) lassen



sich alle Fehlerwerte, deren Eintragungen außerhalb der geraden Linie liegen, sofort überblicken. Die in Fig. 127 (S. 210) angegebenen Punkte sind die Konstruktionspunkte für die Dampfverbrauchslinien. Aus der Lage der Punkte erkennt man die Richtigkeit obiger Relation  $y = f(x)$ , welche die gerade Linie darstellt; in der Formel bedeutet, wie bereits gesagt,  $x$  eine Konstante welche bei einer und derselben Maschine von dem Dampfdruck und der Überhitzung abhängig ist, und  $b$  den Dampfverbrauch bei Leerlauf mit Erregung. — Nach genauer Untersuchung des Einflusses des Dampfdruckes, der Überhitzung und des Vakuums auf den Dampfverbrauch wurden alle Versuchswerte auf gleiche Basis umgerechnet. — In Fig. 127 bedeutet: 1. die gerade ausgezogene Linie den Dampfverbrauch pro Stunde bei niedrigem Drucke und niedriger Überhitzung und 90 Proz. Vakuum; 2. die gestrichelte gerade Linie den Verbrauch bei hoher Überhitzung und niedrigem Drucke; die Einwirkung der Überhitzung zwischen  $230^{\circ}$  und  $300^{\circ}$  beträgt für je  $6,5^{\circ}$  Mehrüberhitzung eine Abnahme von 1 Proz. des Dampfverbrauches. Die Kalorienwärmemehrzufuhr bei  $6,5^{\circ}$  Überhitzung beträgt nur 0,5 Proz.; somit ist mit der Überhitzung auch eine nicht unbedeutende Kohlenersparnis verbunden; 3. die geradestrichpunktigte Linie den Dampfverbrauch bei hoher Überhitzung und hohem Drucke; diese Linie schneidet diejenige sub 2 näher bezeichnete bei etwa 1250 Kilowatt;

unter diesem Belastungswerte ist es günstiger, mit hoher Überhitzung und niedrigem Drucke die Maschine zu betreiben; über diesem Belastungswerte ist hoher Druck vorteilhafter für den Betrieb. — Die Höhe des Vakuums wirkt, wie schon erwähnt, auf den Dampfverbrauch sehr günstig ein; die Versuche zeigten, daß 1 Proz. höheres Vakuum 2 Proz. geringeren Dampfverbrauch erforderten. Die Versuchswerte sind auf 90 Proz. Vakuum bezogen. Der Dampfverbrauch pro Kilowatt-Stunde ist nach der gegebenen Relation [Formel (4), S. 149] einfach graphisch darzustellen, s. Fig. 127, S. 210 (gekrümmte Linien). Aus den Kurven geht hervor, daß der Dampfverbrauch mit der Belastung abnimmt. Der Verbrauch pro  $N_i$  bzw. pro Kilowatt-Stunde — unter Hinzurechnung von 2 Proz. für Erregung und Kondensation — beläuft sich auf 3,9 bzw. 6,63 kg. Der Kalorienwert ergibt sich bei hohem Drucke und hoher Überhitzung für die obigen Werte bei 3000 Kilowatt zu nur 2800 pro  $N_i$ . — Der Ölverbrauch würde durch die Ölzuführung vermittelt einer Preßpumpe durch die Lager und Rückleitung zur Pumpe auf ein Minimum reduziert; der Ölverlust war nur durch Verdunstung bedingt und wurde zu entsprechenden Zeiten ersetzt. — Bezüglich der Regulierung der Turbine sind eine große Anzahl Versuche angestellt worden; Fig. 128 u. 129 (S. 211) zeigen die gefundenen Geschwindigkeitsdiagramme; eine Geschwindigkeits-Zu- oder -Abnahme von  $\frac{1}{2}$  Proz. ist aus den Diagrammen zu ersehen. Bei Belastungs- und Entlastungsänderungen von ein Drittel bis ein Viertel der jeweiligen Belastung ergaben sich Geschwindigkeitsänderungen an der Turbine von  $\frac{1}{2}$  bis max. 1 Proz.; die normale Tourenzahl war schon nach einigen Sekunden wieder erreicht. Bei Entlastung oder Belastung (vom Leerlauf) von 2000 Kilowatt trat nur eine Tourenzahländerung von 2 Proz. ein; Fig. 130 u. 131 (S. 212) zeigen den Verlauf der Tourenzahlschwankungen.

### Messungen an einer Westinghouse-Parsons-Turbine <sup>1)</sup>.

Bei dem jetzt folgenden Beispiele wurden gleichfalls keine besonderen Versuche mit der Turbine allein gemacht, sondern es wurde der ganze Maschinensatz, da die Dynamo direkt gekuppelt und mit der Turbine auf einer gemeinsamen Grundplatte montiert war, als ein zusammenhängendes Ganzes geprüft, d. h. beim Wirkungsgrade wurde das Verhältnis der abgegebenen elektrischen Energie zu der in Dampfform aufgenommenen bestimmt. Die Turbine gehörte zu den Zweifach-Expansionsmaschinen; die Schaufelräder des Zylinders werden parallel beaufschlagt. Zwischen dem Dampfaustritte des Hochdruckzylinders und dem Dampfeintritte des Niederdruckzylinders ist ein Kondenswasserabscheider in die Rohrleitung eingeschaltet. Das sich ansammelnde Kondenswasser wird beim normalen Betriebe abgelassen; bei den jetzt

<sup>1)</sup> Siehe auch Electrical World, 20. Februar 1904.