

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 ¹⁾.

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

¹⁾ Siehe auch Electrical World, 20. Februar 1904.

Gesättigter, trockener Dampf bei 685 mm Vakuum¹⁾

Dampfdruck vor dem Drosselventil . . .	9,94	9,98	9,70	9,68	9,71	9,76	9,57	9,32
Vakuum am Auspuff des Niederdruckzylinders, bezogen auf 762 mm Luftdruck .	688	690	689	690	688	687	687	680
Überhitzung	—	—	—	—	—	—	—	—
Dampfqualität (Feuchtigkeit)	0,999	0,999	0,999	1,000	0,999	0,999	0,999	0,999
Tourenzahl pro 1 Min.	1201,1	1201,2	1199,4	1197,4	1295,6	1201,0	1200,0	1197,4
Leistung in Kilowatt	196,95	342,72	655,98	989,53	1321,46	1489,4	1713,5	1988,9
Kilogramm Dampf pro 1 Kilowatt-Stunde .	15,7	12,2	7,4	6,6	8,4	8,17	8,32	8,8
Prozentuelle Belastung	15,7	27,6	52,5	79,0	106	119	137	159

zu beschreibenden Versuchen aber wurde es sorgfältig in einem Reservoir, zusammen mit dem aus dem Auspuff gewonnenen Wasser, gesammelt, so daß der gesamte Dampfverbrauch bestimmt werden konnte. Die Regulierung der Turbine wird durch einen Zentrifugalregulator von hoher Empfindlichkeit bewirkt. Bei der untersuchten Maschine kam noch die alte Parson'sche Methode der Dampfzufuhr zur Verwendung, bei der der Dampf in periodischen Abständen eintritt; diese Perioden währen etwa $2\frac{1}{2}$ Sekunden. Der Regulator bestimmt die Zeitdauer jedes eigentlichen Auspuffes. Es findet daher keine Drosselung statt, sondern der Dampf tritt fast mit der Kesselspannung ein; hierdurch wird die größte Ausbeute der Wärme erreicht. Durch Verstellen der Regulatorfeder von Hand kann während des Ganges die Tourenzahl bei jeder Belastung eingestellt werden; dieses ist für den Parallelbetrieb mit anderen Wechselstrommaschinen sehr wertvoll. Außer diesem Pendelregulator ist noch ein Sicherheitsregulator vorhanden, welcher durch Drosselung des Dampfes die Überschreitung einer bestimmten maximalen Geschwindigkeit verhindert. Dadurch, daß dem Niederdruckzylinder durch eine besondere Röhrenleitung hochgespannter Dampf direkt vom Kessel zugeführt werden kann, wird es ermöglicht, eine Überlastung der Turbine bis zu 50 Proz. zu erreichen. Die Schmierung aller Lager des ganzen Maschinenaggregates wird automatisch vermittelt einer kleinen, von der Hauptwelle angetriebenen Plungerpumpe bewirkt.

¹⁾ Die Versuche mit 685 mm Vakuum wurden angestellt, um sich von der Einhaltung der Garantiezahlen zu überzeugen; die Versuche mit 712 mm Vakuum dienen zum Vergleiche.

42° C überhitzt und 685 mm Vakuum ¹⁾					Gesättigter, trockener Dampf bei 712 mm Vakuum ¹⁾			42° C überhitzt, 712 mm Vakuum			
10,00	10,00	9,96	9,74	9,64	9,93	9,67	9,62	9,98	9,93	9,71	9,60
689	687	689	688	688	712	713	713	712	712	714	714
42	42,5	42,1	41,5	41,5	—	—	—	42	43,5	42	43,5
—	—	—	—	—	0,999	0,999	1,000	—	—	—	—
1201,0	1212,9	1209,0	1205,1	1200,6	1198,0	1200,6	1197,4	1217,0	1214,4	1203,8	1199,4
191,0	333,5	664,67	986,23	1293,9	334,78	972,0	1363,95	198,4	333,15	077,64	1274,2
15,2	11,9	9,18	8,36	7,98	11,98	8,60	8,10	13,70	10,97	8,10	7,62
15,3	26,7	53,1	79,0	103,8	26,8	77,8	109,1	15,9	26,6	78,0	102,0

Die Turbine war, wie schon oben gesagt, direkt gekuppelt mit einer sechspoligen Drehstromdynamo von 11 000 Volt und 60 Perioden. Ihre Tourenzahl betrug 1200 pro Minute und ihre normale Leistung 1250 Kilowatt, jedoch vermochte sie dauernd 25 Proz. und vorübergehend bis zu 50 Proz. mehr zu leisten.

Die Garantiezahlen für den ganzen Maschinensatz waren die folgenden: Bei 11 Atm. Admissionsdruck und einem Vakuum von 685 mm, gemessen mit einem Quecksilberbarometer, bei einem äußeren Luftdruck von 762 mm, soll der Dampfverbrauch bei verschiedenen Belastungen die in unten stehender Tabelle angegebenen Werte nicht erreichen:

Belastung Proz.	Trockener, gesättigter Dampf	40° C über- hitzter Dampf
	kg/PS	
100	6,66	5,85
75	7,04	6,20
50	7,72	6,86
25	9,85	8,80

Die Untersuchungen wurden in den Prüfräumen der Westinghouse-Gesellschaft mit den für diesen Zweck dort vorhandenen Instrumenten ausgeführt.

Bei der Prüfung mit überhitztem Dampf wurde die Überhitzung mit einem besonderen durch Gas geheizten Überhitzer erreicht. Der

¹⁾ Siehe Anmerkung S. 214 unten.

Auspuff wurde in einem Gegenstrom-Oberflächenkondensator niedergeschlagen, welcher sowohl kurz vor, als auch nach den Versuchen auf seine Dichtigkeit untersucht wurde, um die sich hieraus ergebenden Korrekturen bei der Berechnung des Dampfverbrauches anbringen zu können. Die Ablesungen aller Instrumente wurden in regelmäßigen Zwischenräumen von 5 Minuten vorgenommen. Der Strom der Dynamo wurde von 11 000 Volt durch Transformatoren auf 550 Volt umgeformt und in Wasserwiderstände geleitet. Alle Instrumente aber waren zwischen Dynamo und Transformator geschaltet. Zur Spannungsmessung dienten zwei Voltmeter, welche mit jeder der drei Phasen verbunden werden konnten.

Die Voltmeter waren an Reduziertransformatoren mit einem Übersetzungsverhältnis 100:1 angeschlossen. Ebenso kamen zwei Ampèremeter zur Verwendung. Außerdem war noch ein Siemens'sches Elektrodynamometer in die einzelnen Leitungen eingeschaltet. Bei geringer Belastung wurden nur die letzteren Apparate abgelesen, da die Ampèremeter dann keine genauen Ablesungen mehr gestatteten. Alle Instrumente wurden kurz vor und nach dem Gebrauch geeicht. Während einer jeden Messung wurden drei Ablesungen gemacht und die Mittelwerte in Rechnung gezogen. Bei den Wärmemessungen mit gesättigtem Dampf wurde, damit auch sicher ganz trockener Dampf zur Verwendung kam, bei jedem Versuch vorher bestimmt, wie weit der Überhitzer angewärmt werden mußte, um das in den Leitungen vor der Maschine sich bildende Kondensat wieder zu verdampfen. Die Tourenzahl wurde an der Ölpumpe ermittelt, die im Verhältnis 31:4 von der Welle angetrieben wurde.

Die Resultate der Versuche bezüglich Geschwindigkeitsschwankungen waren nun die folgenden:

Bei einer plötzlichen Belastung von 0 Kilowatt auf 1342 Kilowatt fand eine Änderung in der Tourenzahl von 2,20 Proz. statt, ebenso bei einer plötzlichen Entlastung von 1342 Kilowatt auf 0 Kilowatt eine Änderung von 2,07 Proz. Bei einer Tourenzahl von 1372 pro Minute, d. i. 14,35 Proz. Überschreitung der normalen Tourenzahl, funktionierte der Sicherheitsregulator sehr gut. Die übrigen Versuchsergebnisse sind in der vorstehenden Tabelle (S. 214 u. 215 oben) niedergelegt.

Messungen an einer Zoelly-Turbine¹⁾.

Im folgenden gebe ich die Resultate der Messungen, welche an einer Dampfturbine des Systems Zoelly in den Werkstätten der Firma Escher, Wyss & Cie. von Herrn Prof. Dr. Stodola gemeinschaftlich mit dem Direktor des städtischen Elektrizitätswerkes Zürich, Herrn Ingenieur Wagner, ausgeführt wurden. Der Bericht dieser Herren sei hier nur im Auszuge mitgeteilt.

¹⁾ Siehe auch Elektrotechn. Zeitschr., Heft 36, S. 788.