

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-Turbine<sup>1)</sup>.

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.

<sup>1)</sup> Siehe auch Elektrotechn. Zeitschr., Heft 36, S. 788.

Die in Frage stehende Dampfturbine ist eine Aktionsturbine mit zehn Druckstufen. Ihre Normalleistung beträgt bei 10 Atm. und 3000 Umdrehungen pro Minute 500 PS. Direkt mit ihr gekuppelt war eine Drehstromdynamo von Siemens & Halske, Berlin. Da die Erregung dieser Dynamo von einer fremden Stromquelle erfolgte, so wurde diese Leistung später von der Bruttoleistung des Generators in Abzug gebracht. Die Kondensationsanlage, ein Oberflächenkondensator, wurde von einer besonderen Kraftquelle (Luftpumpe) angetrieben. Das Kühlwasser wurde teils dem städtischen Leitungsnetz, teils dem Brunnen der Fabrik entnommen, so daß eine Bestimmung des Kraftverbrauches für die Kondensationsanlage nicht gut möglich war. Aus diesem Grunde ist derselbe in den angegebenen Dampfverbrauchszahlen auch nicht berücksichtigt worden. Es wurde der Druck und die Temperatur des Dampfes an der Leitung kurz vor dem bei der Turbine befindlichen Wasserabscheider festgestellt, da aus örtlichen Gründen die Beobachtung vor dem Anlaß- bzw. Drosselventil unzulässig war. Bei den Versuchen mit Überhitzung ist auch vor dem Drosselventil ein Thermometer angebracht worden. Druck und Temperatur wurden unmittelbar vor dem ersten Leitrad am Turbinengehäuse und der Druck allein nochmals hinter dem ersten Laufrade gemessen, woraus eine Kontrolle der Speisewasserwägung abgeleitet werden kann. Außerdem sind der Druck am Zwischenrohr zwischen den Turbinenkörpern und Druck und Temperatur am Auspuffrohr beim Austritt aus der Turbine ermittelt worden. Zum Vergleich wurde das Vakuum auch am Kondensator selbst gemessen. Weitere Messungen ergaben Aufschluß über die Temperatur des Kühlwassers am Ein- und Austritt und die Temperatur des aus der Luftpumpe tretenden Kondensates. Die Kühlwassermenge ist zeitweilig durch einen Wassermesser, der bei Abstellung der Zirkulationspumpe in die städtische Leitung eingeschaltet war, festgestellt worden. Gezeichnete Manometer dienten zur Messung des Druckes. Das Vakuum bestimmte man direkt durch eine Quecksilbersäule, deren Höhe auf 0° C reduziert wurde. Die Kontrolle der Umdrehungszahl der Turbine geschah durch Handtourenzähler in Zwischenräumen von einigen Minuten. Eine Messung des Speisewassers ließ sich anderer, äußerer Umstände wegen nur auf die Art durchführen, daß eine Wägung des Kondensates aus der Luftpumpe vorgenommen wurde. Da man sich auf Ablesungen in zehnminütlichen Intervallen beschränken mußte, wurde die Tara der Wage nach jedesmaligem Ablesen aufs neue bestimmt. Der Beharrungszustand ergab sich einmal aus der Gleichheit der Kondensatlieferung, dann aber auch aus der Beständigkeit der Temperatur gewisser außen liegender Teile der Turbine. Die Belastung der Drehstromdynamo mit einer verketteten Spannung von 600 Volt erfolgte vermittelt eines Wasserwiderstandes. Wasserzu- und -abfluß bewirkte die Konstanthaltung der Belastung. Die erzeugte elektrische Energie wurde mittels Ampère- und Voltmeter von Siemens und Halske festgestellt. In

Lfd. Nr.	Beschaffenheit des Dampfes		Trockener, gesättigter Dampf								Überhitzter Dampf		
	Versuchsnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Dauer der Versuche	180	80	50	50	50	60	60	35	70	20	80	
2	Bruttoleistung	363,78	388,47	335,31	240,78	182,85	80,62			392,50	390,41	391,2	
3	Erreger-Voltampère	0,72	0,82	0,80	0,68	0,63	0,49		0,497	0,81	0,806	0,816	
4	Nutzleistung (abzüglich Erregung)	363,06	387,65	334,51	240,10	182,22	80,13			391,66	389,60	390,4	
5	Tourenzahl	2967	2967	2977	2983	2984	2995		3000	2972	2973	2968	
6	Druck	11,16	11,16	10,90	11,01	10,97	11,04		11,03	12,81	13,13	11,26	
7	Temperatur	187,2	187,6	184,7	185,3	185,1	184,9		184,9	247,1	258,5	226,6	
8	Sättigungstemperatur	183,7	183,7	182,6	183,1	182,9	183,2		183,15	189,95	191,02	184,1	
9	Überhitzung, lfd. Nr. 7—8	3,5	3,9	2,1	2,2	2,2	1,7		1,8	1,9	67,5	42,5	
10	Druck	(10,1) ?	10,11	9,03	6,92	5,47	3,07		1,22	9,72	9,72	9,80	
11	Temperatur	179,9	180,0	175,1	164,9	156,6	136		108,8	216,5	219	216,5	
12	Sättigungstemperatur	178,9	179,4	174,5	163,6	154,4	133,6		104,7	177,6	177,6	178,0	
13	Überhitzung, lfd. Nr. 11—12	1,0	0,6	0,6	1,3	2,2	2,4		4,1	38,9	41,4	38,5	
14	Druck	0,0715	0,0721	0,0679	0,0657	0,0661	0,0521		0,051	0,0653	0,0664	0,0692	
15	Temperatur	39,1	39,9	38,9	37,1	36,6	32,7		32,2	42,1	38,8	38,0	
16	Druck im Kondensator	—	0,046	0,0471	0,051	0,053	0,044		0,044	0,046	0,042	0,042	
17	Temperatur im Kondensator	22,5	22,4	22,2	22,8	24,1	—		16,5	20,2	20,5	20,4	
18	Barometerstand	736	731	730	730	730	733		26,2	27,1	22,4	23,7	
19	Dampfverbrauch pro Stunde	3585	3776,6	3368,5	2621,0	2124,2	1202,0		465	295,4	3381,1	3305,7	
20	Dampfverbrauch pro Nutz-Kilowatt-Stunde	9,874	9,742	10,070	10,916	11,657	15,00		—	8,633	8,539	8,98	

jeder Phasenleitung waren zwei Ampèremeter eingeschaltet, je einer bis 500 bzw. 600 Amp. und einer für die geringeren Belastungen, bis 250 bzw. 300 Amp. Die Ablesung der Spannung erfolgte durch zwei Voltmeter. Durch Umschaltung konnte die Ablesung der Spannung in allen drei Phasen vorgenommen werden. Die Leistung der fremden Energiequelle wurde gleichfalls mittels Ampère- und Voltmeter ermittelt. Sämtliche Instrumente wurden sowohl vor, als auch nach den Versuchen geeicht.

Die Turbine wurde anfangs mit mäßig beanspruchtem Überhitzer und Mischung des Dampfes mit den aus anderen zur Verfügung stehenden Kesseln, die keinen Überhitzer besaßen, betrieben, um trockenen, gesättigten Dampf zu gewinnen. Die kürzeste Versuchsdauer betrug 5 Minuten bei den Versuchen, wo nur die elektrische Energie gemessen wurde; die Ablesungen erfolgten sodann jede Minute. Bei gleichzeitiger Feststellung des Dampfverbrauches dauerten die Versuche mindestens 20, jedoch meistens 50 bis 60 Minuten. Bei Vollbelastung und trockenem, gesättigtem Dampfe betrug die Versuchsdauer 3 Stunden; bei den Versuchen mit überhitztem Dampfe war die Turbine den ganzen Tag in Betrieb, doch dauerte die eigentliche Beobachtung nur kurze Zeit.

In der nebenstehenden Tabelle sind die Resultate aller Versuche zusammengestellt. Die Versuche Nr. 1 bis 8 beziehen sich auf abnehmende Belastung bei möglichst konstanter Umdrehungszahl und konstantem Dampfdrucke. Mit dem Leerlauf beginnend und mit zunehmender Belastung ließ sich der Beharrungszustand nicht bzw. nur nach Verlauf von Stunden erreichen, wie z. B. der Versuch Nr. 8 zeigt. Bei diesem Versuche wurde die Maschine etwa 20 Minuten und mit halber Belastung betrieben, um versuchsweise kräftiger angewärmt zu werden, und da zeigte sich, daß die Temperatur der Maschine sowohl, als auch des Auspuffdampfes noch nach zwei Stunden im Sinken begriffen war. Für die Berechnung des Dampfverbrauches sind deshalb nur die letzten 35 Minuten benutzt worden.

Versuche Nr. 9, 10, 11 sind mit überhitztem Dampfe angestellt. Nr. 10 ist aber nur ein Teil des Versuches Nr. 9, da hier die höchste Temperatur von im Mittel  $258,5^{\circ}\text{C}$  herrschte. Versuch Nr. 9 ist also das Mittel aller dieser Versuche und begreift Nr. 10 in sich.

Alle Versuche verliefen ohne Störung. Die Erschütterungen der Turbinenwelle waren minimal. Die Lager wurden mit Öl von  $30$  bis  $35^{\circ}\text{C}$  Temperatur gespeist, welches mit  $40$  bis  $45^{\circ}\text{C}$  wieder abströmte.

#### Beispiel.

### Dampfverbrauchsversuche an der Zoelly-Turbogleichstromdynamo im Elektrizitätswerke Mühlhausen in Thüringen.

#### Daten und Garantien einer Zoelly-Turbogleichstromdynamo.

Die Dampfturbine mit einer Leistung von 600 PS bei 3000 Umdrehungen pro Minute ist direkt gekuppelt mit einer Gleichstromdynamo



Gründen. Bei den Dampfverbrauchsversuchen mit gesättigtem Dampfe wurden folgende Resultate und Ziffern erreicht:

Versuchsnummer . . . . .	1	2	3	4	5
Leistung ab Turbinenwelle in eff. PS	232,0	350,0	465,0	605,0	707,0
Nutzleistung in Kilowatt . . . . .	132,0	208,0	291,5	391,0	463,0
Tourenzahl . . . . .	3061	3050	3040	3030	3020
Abs. Druck in kg } vor dem Absperr- Temperatur °C } ventil {	8,63	8,48	8,51	8,50	8,53
Vakuum an der Turbine . . . . .	704	697	692	685	678
Vakuum vor dem Wechselventil . . .	702	698	693	687	682
Kühlwasserzulauf °C . . . . .	5	5	5	5	5
Kühlwasserablauf °C . . . . .	10,0	11,5	13,5	16,0	17,0
Kondensationstemperatur °C . . . .	14,0	17,0	20,0	23,0	25,0
Barometerstand . . . . .	740	740	740	740	740
Dampfverbrauch pro Stunde, total . .	1870	2482	3240	4156	4819
Dampfverbrauch pro eff. PS ab Welle	8,04	7,09	6,96	6,86	6,81
Dampfverbrauch pro nutzbare Kilowatt- Stunde . . . . .	14,14	11,90	11,10	10,60	10,40

Genauere Versuche der gleichen Turbinentypen an einem anderen Aufstellungsorte haben gezeigt, daß der Dampfverbrauch bei überhitztem Dampfe von 250°C Dampftemperatur nur 9,1 kg pro Kilowatt-Stunde beträgt.

**Ergebnis der Untersuchungen hinsichtlich Erfüllung der Garantien.**

Aus den Resultaten der Versuche geht hervor, daß die gegebenen Garantien des Dampfverbrauches bei gesättigtem Dampfe pro effektive Pferdestärke und Stunde zu 8,7, bzw. 8,2, bzw. 7,7 kg ohne Berücksichtigung der gewährten Toleranz nicht nur erreicht, sondern unterschritten sind.

**Beispiel.**

**Dampfverbrauchsversuche an der Zoelly-Turbodrehstromdynamo im Elektrizitätswerke Brakpan-Johannesburg (S.-A.).**

**Daten und Garantien einer Zoelly-Turbodrehstromdynamo.**

Die Dampfturbine von 600 PS bei 3000 Umdrehungen pro Minute ist mit einer 510 Kilowatt-Drehstromdynamo der Siemens-Schuckert-Werke für 750 Volt Spannung und einer Frequenz von 50 direkt gekuppelt. Die Gesamtanlage ist von den Siemens-Schuckert-Werken erbaut worden.

Die Leistungs- und Dampfverbrauchsgarantien sind:

1. Leistung: Die Leistung bei 11 Atm. und 90 Proz. Vakuum und  $\cos \varphi = 0,70$  beträgt 400 Kilowatt.

2. Dampfverbrauch:

a) Bei gesättigtem Dampfe:

Belastung in Kilowatt . . . . .	200	400.
Kilogramm Dampf pro Kilowatt-Stunde	13,0	10,8.

b) Bei überhitztem Dampf von 250° C:

Belastung in Kilowatt . . . . .	200	400.
Kilogramm Dampf pro Kilowatt-Stunde	11,5	9,5.

Auf diese Garantieziffern wird 5 Proz. Toleranz gewährt.

3. Reguliergarantien:

a) Bei gleichbleibender Belastung sollen die Umdrehungsschwankungen nicht mehr als  $\frac{1}{2}$  Proz. betragen.

b) Bei 50 bzw. 100 Proz. Entlastung soll die momentane Erhöhung der Umdrehungszahl 2 bzw. 4 Proz. nicht überschreiten.

### Messungen und Versuchsergebnisse.

Bezüglich der einzelnen Messungen verweise ich auf das früher Gesagte und die einzelnen Beispiele über Zoelly-Turbinen.

Die Versuche fanden bei einem Kesselüberdruck von 10,9 Atm. (gesättigter Dampf) bzw. 11,5 Atm. (überhitzter Dampf) und einem durch einen Oberflächenkondensator erzeugten Vakuum von 90 Proz. statt. Der Kraftverbrauch für die Kondensation beträgt etwa 3 Proz.; derselbe ist beim Dampfverbrauch der Turbine hier von früher mit berücksichtigt. — Die Belastung der Drehstromdynamo, welche mit einer verketteten Spannung von etwa 750 Volt arbeitete, wurde durch entsprechende Widerstände bewirkt. In jede Phasenleitung waren zwei Ampèremeter eingeschaltet; von diesen diente je einer zur Messung der kleinen Stromstärken und je einer für die großen Stromstärken; zur Spannungsmessung dienten Voltmeter. Sämtliche Instrumente

	Gesättigter Dampf		Überhitzter Dampf	
Mittlere Belastung in Kilowatt . . . . .	202	415	198	402
Umdrehungszahl . . . . .	3040	3020	3040	3020
Dampfdruck absolut in kg . . . . .	10,9	10,9	11,7	11,5
Dampf Temperatur ° C etwa . . . . .	182	182	250	250
Vakuum an der Turbine . . . . .	683	670	682	672
Barometerstand . . . . .	723	723	723	723
Dampfverbrauch pro Kilowatt-Stunde in kg . . . . .	11,8	10,1	10,5	9,1

wurden vor und nach den Messungen geeicht. Die Leistung der Erregung wurde ebenfalls mittels Präzisionsapparaten bestimmt. Der Leerlauf ohne bzw. mit Erregung erfolgte (bei gesättigtem Dampfe) mit einem Dampfverbrauche pro Stunde von nur 295,4 bzw. 465,4 kg; bei den weiteren Dampfverbrauchsversuchen wurden vorstehende Ziffern (s. Tabelle a. v. S.) erreicht.

Die Versuche bezüglich der Regulierung ergaben folgende Werte:

Bei gleichbleibender Belastung waren die Umdrehungsschwankungen nicht größer als  $\frac{1}{2}$  Proz.

Bei 100 Proz. plötzlicher Entlastung war die momentane Erhöhung der Umdrehungszahl = 3,3 Proz., bei 50 Proz. Entlastung = 2 Proz.

### Ergebnis der Untersuchungen hinsichtlich Erfüllung der Garantien.

Die Resultate beweisen, daß die gegebenen Garantien des Dampfverbrauches bei gesättigtem (13 bzw. 10,8 kg) und überhitztem (11,5 bzw. 9,5 kg) Dampfe und der Regulierung auch ohne Berücksichtigung der gewährten Toleranz nicht nur erreicht, sondern zum Teil bei weitem unterschritten sind.

Die Messungen und Versuche an anderen Dampfturbinen erfolgten in analoger Weise; es ist daher überflüssig, neben der großen Anzahl vorhandener Beispiele noch andere anzuführen.