

der Hysterisis im Eisen der Transformatoren, sowie der Abweichung der Gestalt der Stromkurve von der Sinuslinie zu betrachten sind. Bei diesen Versuchen wurden folgende Werte mittels geeichter Apparate bestimmt: Tourenzahl der Dynamo, scheinbarer Effekt und die Spannungen in den drei Stromkreisen von der Dynamo zu den Transformatoren mittels dreier Wattmeter, sowie aus diesen die Summe der drei Effekte, die Spannung und Stromstärke des Erregerstromkreises.

Die Resultate sind in den Tabellen I, II und III (S. 136 bis 139) zusammengestellt.

Wie schon oben gesagt, sind die sekundären Einflüsse bei Ermittlung der Effektverluste nicht berücksichtigt und die gefundenen Resultate als „scheinbarer Effekt“ in den Tabellen eingesetzt. Die Werte der Tabelle III (S. 138 u. 139) sind durch Interpolation aus den Tabellenwerten Nr. I graphisch gewonnen. Fig. 72 gibt einen Überblick über den scheinbaren Energieverbrauch der Lauffener Transformatoren für die Tourenzahlen 90, 120 und 150. Die Darstellung für die A. E.-G.-Transformatoren bezieht sich auf zwei in Reihe geschaltete und für den Oerlikon-Transformator auf nur einen. Aus der Tabelle III (S. 138 u. 139) und Fig. 72 ersieht man, daß der Leerlauf der Transformatoren bei konstanter Primärspannung mit der Periodenzahl abnimmt.

E. Wirkungsgrad der gesamten Arbeitsübertragung bei einer Spannung von etwa 25 000 Volt.

Eine der Hauptarbeiten der „offiziellen Prüfungskommission“ war es, den Wirkungsgrad der Lauffener Übertragung bei der Betriebsspannung von etwa 25 000 Volt und einer normalen effektiven Nutzleistung in Frankfurt zu ermitteln. Zur Bestimmung des Wirkungsgrades dienten drei geeichte Wattmeter, mittels derer der verbrauchte Effekt an der Lampenbatterie in Frankfurt gemessen wurde, sowie die beobachteten Ober- und Unterwasserstände und die Umdrehungszahl der Welle, mittels derer der von der Turbine, mit Benutzung der Resultate der schon erfolgten Bremsversuche, abgegebene Effekt berechnet wurde. Außerdem waren geeichte Ampèremeter und Voltmeter vorhanden, welche die Stromstärken in den drei Hauptstromkreisen der Wechselstrommaschine und dem Erregerstromkreise der letzteren, sowie die Spannungen der Hauptstromkreise des Erregerstromkreises und der Nutzspannungen in Frankfurt an der Lampenbatterie bestimmten. Für die erforderlichen Hochspannungsuntersuchungen benutzte man umstehende Schaltung (s. Fig. 73, S. 144). Aus derselben erhellt, daß die Maschine auf die parallel geschalteten Primärwickelungen zweier A. E.-G.-Transformatoren arbeitete und die Sekundärwickelungen der Transformatoren hintereinander geschaltet waren. Analog war die Schaltung der Transformatoren in Frankfurt mit der Fernleitung bzw. der Lampenbatterie.

Voruntersuchungen ergaben, daß man mit einer höheren Tourenzahl als 90 bei einer Spannung von 25 000 Volt, ohne die Primär-

Tabelle I. Lauffener Messungen

Energieübertragung in Lauffen.

Versuchsnummer	Zeit (Versuchsdauer) Min.	Wechselstrommaschine							Tur-		bine				Tourenzahl der Dynamo		Effektive Leistung der Turbine PS		Bemerkungen		
		Hauptstromkreise						Erregerstromkreis		Beaufschlagung		Gefällshöhe				gemessen	normal	bei normaler Tourenzahl		umgerechnet auf die gemessene Tourenzahl	
		Ableesungen am Ampèremeter			Ableesungen am Cardew-Voltmeter			Ampère	Weston-Voltmeter	Innenkranz	Außenkranz	Ableesungen		Benutztes Gefälle	Freihängen						
		I	II	III	Volt							Volt im Mittel	Oberwasser			Unterwasser					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1 a	10	1275	1210	1270	38,08	37,78	38,59	38,15	8,0	15,0	4/12	voll	0,539	0,589	3,767	0,082	92,15	159,3	216,4	178,0	Die Energieübertragung erfolgte mit zwei hintereinandergeschalteten A. E. - G. - Transformatoren. Am Versuchstage war die Witterung hell und trocken. Bei der Unterwasserablesung von weniger als 0,671 m hängt die Turbine frei und das nutzbare Gefälle beträgt 4,306 m. Die berechneten Turbineneffekte sub 21 enthalten einen Fehler von etwa 2,5 Proz. Bei Versuch 4 b waren größere Schwankungen im Wasserstand und in der Tourenzahl vorhanden.
1 b	10	1270	1205	1270	38,02	37,81	38,55	38,13	8,1	15,2	4/12	"	0,558	0,598	3,748	0,073	92,19	158,9	214,3	176,6	
2 a	10	1375	1300	1370	41,01	40,56	41,58	41,05	9,9	18,5	6/12	"	0,599	0,612	3,707	0,059	93,38	158,0	240,9	200,6	
2 b	10	1370	1305	1370	41,14	40,83	41,87	41,28	10,1	19,0	6/12	"	0,615	0,608	3,691	0,063	92,00	157,7	239,5	197,9	
3 a	4	1490	1400	1485	44,12	43,92	44,96	44,33	14,1	26,3	8/12	"	0,599	0,590	3,707	0,081	92,00	158,0	272,8	225,2	
3 b	5	1500	1415	1485	45,26	44,61	45,76	45,21	14,1	26,5	8/12	"	0,548	0,573	3,758	0,098	91,38	159,1	279,2	228,6	
3 c	5	1495	1405	1475	44,68	44,10	45,28	44,69	13,9	25,9	8/12	"	0,558	0,607	3,748	0,064	91,25	158,9	276,5	226,4	
3 d	5	1495	1400	1470	44,33	43,94	44,94	44,40	13,8	25,9	8/12	"	0,570	0,619	3,736	0,052	91,25	158,6	274,6	225,0	
3 e	5	1520	1425	1535	45,37	44,81	45,88	44,25	14,1	26,8	8/12	"	0,515	0,526	3,791	0,145	92,38	159,8	285,0	234,3	
4 a	15	1485	1395	1475	44,62	44,09	45,30	44,67	13,9	26,3	8/12	"	0,549	0,626	3,757	0,045	91,25	159,1	276,6	226,3	
4 b	10	1480	1395	1465	44,48	44,01	45,15	44,55	14,0	26,5	8/12	"	0,557	0,635	3,749	0,036	91,13	158,9	275,3	225,2	
5 a	5	1475	1410	1450	48,00	47,92	48,96	48,29	15,0	28,7	6/12	"	0,553	0,617	3,753	0,054	89,38	159,0	245,0	198,0	
5 b	5	1475	1410	1450	47,92	47,80	48,97	48,23	15,1	28,7	6/12	"	0,555	0,616	3,751	0,055	89,63	159,0	244,9	198,3	
5 c	5	1480	1415	1455	47,94	47,72	48,86	48,17	15,0	28,8	6/12	"	0,556	0,606	3,750	0,065	89,63	158,9	245,3	198,6	
5 d	5	1485	1415	1455	48,00	47,85	49,04	48,30	15,0	28,9	6/12	"	0,557	0,605	3,749	0,066	89,50	158,9	245,2	198,4	

Messungen in Frankfurt.

Versuchsnummer	Zeit (Versuchsdauer) Min.	Nutzleistung in Frankfurt					Spannung am Schaltbrett				Bemerkungen
		Stromkreise Watt			Summe der Leistungen I + II + III		Stromkreise			Mittel	
		I	II	III	Watt	PS	I	II	III		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 a	10	31900	33020	31460	96380	131,0	51,2	51,8	49,7	50,90	Die angegebenen Werte sind Mittelwerte aus je 30 Ableesungen. — Die eingeschalteten Glühlampen flimmerten ziemlich stark, trotzdem Stromstärke und Spannung konstant waren. Dieses Flimmern erklärt sich durch die geringe Periodenzahl der stromgebenden Dynamo. Zweimal mußten die Messungen unterbrochen werden, weil Hauptbleisicherungen im primären Stromkreise durchgeschmolzen waren. Der Versuch mußte auf Wunsch der Kgl. Württ. Generaldirektion der Verkehrsanstalten abgebrochen werden. — Bei der Effektberechnung (Rubrik 6 u. 7) wurde der Verlust in den Leitungen zwischen den sek. Klemmen der Transformatoren und der Schalttafel in Frankfurt a. M. nicht berücksichtigt. Die Witterung war dauernd gut (kalt und trocken).
1 b	10	31810	32820	31430	96060	130,5	51,0	51,7	49,6	50,77	
2 a	10	36970	38000	36270	111240	151,1	54,7	55,3	53,4	54,47	
2 b	10	36860	37620	36240	110720	150,4	54,7	55,5	53,3	54,50	
3 a	4	42150	43660	43090	128900	175,1	57,9	58,6	56,7	57,73	
3 b	5	43750	44980	43100	131830	179,1	59,0	59,8	57,5	58,77	
3 c	5	43240	44360	43100	130700	177,6	58,5	59,3	57,2	58,33	
3 d	5	42880	44040	42150	129070	175,4	58,5	59,0	56,9	58,13	
3 e	5	44440	45570	43500	133510	181,4	59,6	59,9	57,6	59,03	
4 a	15	43380	44690	42500	129570	176,0	57,1	59,4	57,3	57,93	
4 b	10	42810	43830	42010	128650	174,8	58,2	58,7	56,9	57,93	
5 a	5	37030	36550	34810	108390	147,3	66,1	67,5	65,2	66,27	
5 b	5	37000	36440	34820	108260	147,1	66,2	67,6	65,2	66,33	
5 c	5	36960	36540	34790	108290	147,2	66,2	67,6	65,3	66,37	
5 d	5	37140	36500	34820	108460	147,4	66,3	67,7	65,4	66,47	

maschine zu gefährden, keinen dauernden Betrieb aufrecht erhalten konnte. Da die normale Tourenzahl zu 160 bei 3,8 m Gefälle angenommen war, so mußten bei der Effektberechnung die gefundenen Resultate entsprechend durch folgende Relation:

$$E_x = E_n \cdot \frac{n_x}{n_n} \left(2 - \frac{n_x}{n_n} \right)$$

umgerechnet werden, in welcher

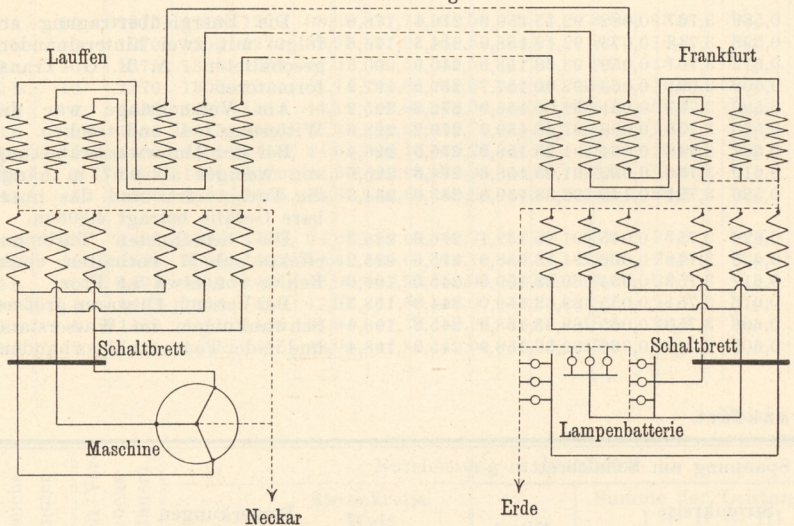
E_n den Effekt bei normaler Geschwindigkeit n_n und

E_x „ „ „ einer Geschwindigkeit n_x

bezeichnet.

Fig. 73.

Fernleitung



Hierbei sei jedoch bemerkt, daß die früher beschriebenen Turbinenbremsungen mit Geschwindigkeiten (145 bis 175 pro Minute) erfolgten, welche zu weit von der Tourenzahl 90 entfernt liegen, so daß die Umrechnung durch die oben genannte Relation nicht einwandfrei ist¹⁾. Da jedoch der hierdurch entstehende Fehler das Gesamtergebn der Untersuchung nicht sehr beeinflußt, so konnten die früher gefundenen Werte demnach in der oben angegebenen Weise verwertet werden. Die Beobachtungen in Lauffen und Frankfurt erfolgten (nach vorheriger telegraphischer Verständigung) gleichzeitig und zwar in kurzen und regelmäßig aufeinander folgenden Zwischenräumen; der Strom im Nebenschlusse der Wattmeter wurde hierbei kommutiert. Aus den jeweiligen Werten der mittleren Maschinenspannung $e_{1(m)}$ und der mittleren Nutz-

¹⁾ Die genaue Kenntnis für n_n fehlt. Für die Tourenzahl zwischen 150 und 170 käme der Fehler kaum in Betracht. In obigem Falle bedingt diese Unsicherheit einen Fehler von etwa 2,5 Proz.

spannung in Frankfurt $e'_{1(m)}$, sowie aus den Übersetzungsverhältnissen der Transformatoren in Lauffen ($1/160$) und in Frankfurt ($1/123$) sind die Hochspannungen ¹⁾ (s. Spalte 11 u. 12, Tab. II a. f. S.) unter Berücksichtigung der Relationen: $e_{1(m)} \cdot 2 \cdot 160 \cdot \sqrt{3}$ und $e'_{1(m)} \cdot 2 \cdot 123 \cdot \sqrt{3}$ gewonnen.

Aus Versuchsnummer 3 (Tabelle II) geht hervor, daß der größte Nutzeffekt von etwa 180 PS bei etwa 91,5 Umdrehungen pro Minute und 25 000 Volt Hochspannung übertragen wurde bei einem Wirkungsgrade von etwa 77,5 Proz.; hierbei ist der unter Rubrik 4 berechnete Turbineneffekt als richtiger Wert zugrunde gelegt. Zieht man die eventuell eintretenden Fehler mit in Rechnung, so kommt man demnach unter obigen Verhältnissen auf mindestens einen Wirkungsgrad von 75 Proz. Der Verlust im Erregerstromkreise beträgt bei obiger Belastung maximal nur 378 Watt, d. h. etwa 0,25 Proz. des Dynamoeffektes. Der Unterschied der Hochspannungen in Lauffen und Frankfurt kann durch den Einfluß der Kapazität der Fernleitung oder aber auch durch die Ungenauigkeit der Kenntnis der Transformationsübersetzung bedingt sein; inwieweit dieser Unterschied auf den einen oder anderen Umstand zurückzuführen ist, wurde nicht ermittelt.

Zur Kontrolle der durch Umrechnung gefundenen Turbineneffekte wurde die Belastung und Betriebsspannung der Versuchsreihe 3, Tabelle II (a. f. S.) in Frankfurt beibehalten und in Lauffen mittels dreier Wattmeter der von der Dynamo abgegebene Effekt gemessen. Aus dem Wirkungsgrade der Dynamo konnte man den Turbineneffekt berechnen und diesen Wert mit den gleichzeitig beobachteten Turbinenverhältnissen vergleichen. Wenngleich die Berechnung des elektrischen Effektes, durch eventuelle Selbstinduktions- und Kapazitätswirkung beeinflusst, nicht ganz sicher schien, so konnten die so gefundenen Werte doch zum Vergleiche für die Berechnung der Turbineneffekte bei niedriger Tourenzahl dienen. Die wenigen durchgeführten Untersuchungen führten jedoch zu dem Schlusse, daß die in der Spalte 4, Tabelle II (a. f. S.) durch Umrechnung gefundenen Werte den wirklich abgegebenen Turbineneffekten möglichst gleich kommen. Der genaueste Weg zur Ermittlung der Turbineneffekte bei niedriger Tourenzahl wäre ja eine weitere Bremsung gewesen. Leider konnte dieselbe sowie die weiteren Untersuchungen, wie unter den „Bemerkungen“, Tabelle I (S. 142 u. 143) schon erwähnt, wegen der Betriebseröffnung des Heilbronner Elektrizitätswerkes und des Einspruches der Königl. Württembergischen Generaldirektion der Verkehrsanstalten nicht stattfinden.

¹⁾ Bei dieser Methode der Bestimmung der Hochspannungen ist allerdings die Streuung der Transformatoren nicht berücksichtigt und außerdem die Annahme gemacht, daß die eingeführten bzw. entnommenen Ströme in die bzw. aus den Transformatoren sinusförmig verlaufen. Wenngleich also diese Methode Fehlerquellen enthält, so war man doch auf dieselbe angewiesen, da man damals noch keine Instrumente für Spannungen über 5000 Volt besaß.

Tabelle II. Lauffener Energieübertragung.
Gesamtresultate.

Versuchsnummer	Versuchsdauer Min.	Effekt in Frankfurt		Effekt der Turbine		Wirkungsgrad Proz.	Effekt im Erregerstromkreis Watt	Tourenzahl der Dynamo	Mittlere Stromstärke Amp.	Mittlere Maschinenspannung Lauffen $\epsilon_1 (m)$	Mittlere Nutzspannung Frankfurt $\epsilon_2 (m)$	Hochspannung		
		PS	3	PS	4							5	6	7
1														
1 a	10	131,0		178,0		73,7	120	92,15	1250	38,15	50,90	21100	21700	
1 b	10	130,5		176,6		73,9	123	92,19	1250	38,13	50,77	21100	21600	
2 a	10	151,1		200,6		75,4	183	93,38	1350	41,05	54,47	22800	23200	
2 b	10	150,4		197,9		76,0	192	92,00	1350	41,28	54,50	22900	23200	
3 a	4	175,1		225,2		77,8	371	92,00	1460	44,33	57,73	24600	24600	
3 b	5	179,1		228,6		78,9	375	91,38	1465	45,21	58,77	25100	25000	
3 c	5	177,6		226,4		78,5	360	91,25	1460	44,69	58,33	24800	24900	
3 d	5	175,4		225,0		78,0	357	91,25	1455	44,40	58,13	24600	24800	
3 e	5	181,4		234,3		77,4	378	92,38	1495	45,35	59,03	25100	25200	
4 a	15	176,0		226,3		77,8	365	91,28	1455	44,67	57,93	24800	24700	
4 b	10	174,8		225,2		77,6	371	91,13	1445	44,55	57,93	24700	24700	
5 a	5	147,3		198,0		74,5	430	89,38	1445	48,29	66,27	26800	28200	
5 b	5	147,1		198,3		74,3	433	89,63	1445	48,23	66,33	26700	28300	
5 c	5	147,2		198,6		74,1	432	89,63	1450	48,17	66,37	26700	28300	
5 d	5	147,4		198,4		74,2	434	89,50	1450	48,30	66,47	26800	28300	