

berechnet, wobei die Höhe h_m als Mittelwert einer Anzahl — etwa alle zwei Minuten — erfolgter Beobachtungen eingesetzt wurde.

Für jede Wassermessung wurde eine Tabelle (s. S. 90) aufgestellt, aus welcher die mittlere Wassergeschwindigkeit v sich in bekannter

Weise als $v = \frac{v_1 + v_2 + \dots}{n}$ [s. S. 8, Formel (6)] ergab; hier bedeutet

n die Anzahl der Messungen. Die Wassermenge resultierte somit [s. S. 4, Formel (12)] aus

$$V = 3,3 (2,038 - h_m) \cdot v \text{ cbm/sec.}$$

Gefällebestimmung.

Durch gegenseitige Einnivellierung eines T-Eisens des Podiums direkt vor der Einlaßfalle und eines T-Eisens am Turbinenhaus direkt über dem Auslaufe wurde der Höhenabstand zu 1,224 m ermittelt. Die Tiefe des Ober- bzw. des Unterwasserspiegels unter dem T-Eisen sei zu H_o bzw. H_u durch Pegelbeobachtung ermittelt, so ist das Gefälle $z = 1,224 - H_o + H_u$ (s. S. 19 u. 20).

Die Messungen des Nutzgefälles erfolgten während der ganzen Versuchszeit alle zwei Minuten.

Versuchsergebnisse.

Bei der Wassermessung, Pegelbeobachtung und Bremsung waren mehrere Beobachter — mit gleichgerichteten Uhren behufs Zeitangabe der Notierungen — tätig. — Die Versuchsergebnisse der Wassermessung sind in Tabelle I (S. 90) und der absoluten Pferdestärken, Nutzeffekte usw. bei 25,50 und 80 mm Leitschaufelöffnung in Tabelle II (S. 91) zusammengestellt. — Die Versuche mußten bei geringerem Gefälle als normal durchgeführt werden, da der Untergraben noch nicht entsprechend erweitert war und sich das Wasser somit stark aufstaute; demzufolge wurde auch die Tourenzahl der Turbine herabgemindert, um entsprechende normale Betriebsverhältnisse für die Turbine zu erzielen. Bei 2 m Gefälle soll die Turbine 35,5 Touren machen; es war somit die Tourenzahl proportional den Quadratwurzeln aus den Gefällen verringert worden, d. h. bei 1,434 m ist die normale Tourenzahl

$$n = 35,5 \cdot \sqrt{\frac{1,434}{2}} = 30,$$

entsprechend $4 \cdot 30 = 120$ Touren an der Vorgelegewelle.

Da das Wasser mit großem Gefälle zuflöß, so mußte mit einer schweren Leerschütze die Höhe des Oberwasserspiegels fortwährend reguliert werden, um eine Überflutung zu vermeiden; es mußten somit häufige Beobachtungen angestellt werden, um sichere Mittelwerte für Gefälle und Tourenzahl zu erhalten, da beide Größen Schwankungen unterlegen waren. Beim Vergleich — bezüglich der Berechnung des

Tabelle I.
Wassermessung.

Versuch I			Versuch II			Versuch III		
Profilpunkt	Ableseung der Sekunden für 50 bis 250 Flügel-umdrehungen	Flügel-umdrehungen pro Sekunde	Profilpunkt	Ableseung der Sekunden für 50 bis 250 Flügel-umdrehungen	Flügel-umdrehungen pro Sekunde	Profilpunkt	Ableseung der Sekunden für 50 bis 250 Flügel-umdrehungen	Flügel-umdrehungen pro Sekunde
1 oben	—	0,747	1 oben	38,0	1,224	1 oben	26,5	1,845
	68,0			80,0			53,0	
1 unten	129,0	1,030	1 unten	119,0	2,330	1 unten	81,0	3,470
	201,0			169,0			110,0	
2 unten	—	1,485	2 unten	22,0	2,810	2 unten	14,5	3,760
	47,0			36,0			26,5	
2 unten	96,5	0,865	2 oben	54,0	2,360	2 oben	40,0	3,210
	147,5			71,5			54,0	
3 oben	—	1,410	3 oben	21,5	3,125	3 oben	14,5	3,980
	33,0			42,0			29,0	
3 unten	68,0	1,800	3 unten	63,0	3,280	3 unten	44,5	4,420
	101,0			80,0			62,0	
4 unten	—	1,990	4 unten	15,5	3,380	4 unten	11,5	4,770
	51,7			14,5			10,5	
4 oben	110,0	2,030	4 oben	30,5	3,360	4 oben	21,5	4,550
	173,5			29,0			21,0	
4 unten	—	—	—	44,5	—	—	31,5	—
	—			58,5			42,0	
4 unten	—	—	—	74,0	—	—	52,5	—
	—			14,5			11,0	
4 oben	24,5	—	—	29,5	—	—	21,5	—
	49,0			44,0			33,0	
4 oben	74,0	—	—	59,0	—	—	44,0	—
	—			74,5			55,0	

Tabelle II.

Versuch u. Wasser- messung Nr.	Min.	Leitschäufel- öffnung in mm	Wagedruck in kg	Minutielle Umdrehungen des Vorgelege	N_1 (Bremsleistung)	N_e	H_0 m	H_u m	Gefälle $z = 1,224 - H_0 + H_u$	Mittl. Wassertiefe $2,038 - h_m$	Mittlere Wasser- geschwindigkeit im Messquerschnitt in m	Wassermenge V in cbm	Absolute Pferde- stärken $V \cdot z \cdot \gamma \cdot 1000$ $N_a = \frac{\quad}{75}$	Nutzeffekt der Turbine	Gesamtnutzeffekt der Anlage	Beaufschlagung
I	22	25	60	132	32,6	35,3	0,355	0,855	1,704	1,688	0,3508	1,956	44,4	79,5	73,4	0,38
				129			0,342	0,843								
				130			0,350	0,835								
				127			0,362	0,800								
				128			0,350	0,830								
				127			0,345	0,820								
128	0,356	0,815														
128	0,332	0,840														
im Mittel				128,7			0,349	0,8297				1,956	44,4	79,5	73,4	0,38
II	25	50	110	134	62,1	65,4	0,390	0,780	1,618	1,641	0,6478	3,510	75,7	86,0	82,0	0,72
				136			0,365	0,750								
				132			0,380	0,755								
				134			0,380	0,755								
				133			0,385	0,772								
				133			0,390	0,815								
—	0,410	0,824														
—	0,430	0,830														
—	0,440	0,836														
im Mittel				133,7			0,3966	0,7908				3,510	75,7	86,0	82,0	0,72
III	19	80	140	124	71,3	74,55	0,395	0,607	1,434	1,644	0,8775	4,750	91,0	82,0	78,4	voll
				119			0,382	0,604								
				120			0,405	0,605								
				121			0,397	0,600								
				118			0,385	0,600								
				121			0,388	0,604								
121	0,403	0,605														
im Mittel				120,5			0,3936	0,6036				4,750	91,0	82,0	78,4	voll

Beaufschlagungsgrades der Turbine — mußten die Wassermengen auf gleiches Gefälle reduziert werden, wobei die Schluckfähigkeit proportional den Quadratwurzeln aus den Gefällen ist.

Bei Versuch III mit einem Gefälle von 1,434 m verarbeitet die Turbine voll beaufschlagt 4,750 cbm, während sie bei Versuch II mit 1,618 m Gefälle bei 50 mm Schaufelöffnung 3,510 cbm und bei voller Beaufschlagung $V = 4,750 \sqrt{\frac{1,618}{1,434}} = 5,050$ cbm schlucken würde; die Beaufschlagung bei Versuch II beträgt somit $\frac{3,510}{5,050} = 0,7$.

Für die Turbine war bei 2 m Gefälle eine Maximalleistung von 109 PS garantiert. Der Nutzeffekt bei diesem Gefälle und bei 1,434 m Gefälle bleibt der gleiche, doch ist die benötigte Wassermenge eine größere; dieselbe berechnet sich zu:

$$V = 4,750 \cdot \sqrt{\frac{2}{1,434}} = 5,5 \text{ cbm.}$$

Der Nutzeffekt der Turbine bzw. der Gesamtnutzeffekt der Anlage beträgt laut den auf S. 91 tabellarisch zusammengestellten Messungs- und Rechnungsergebnissen (Tabelle II) 82,0 bzw. 78,4 Proz. Es resultiert somit eine Leistung an der Turbinenwelle von

$$\frac{5,5 \cdot 2 \cdot 1000 \cdot 82}{75 \cdot 100} = 120 \text{ PS}$$

und eine Nutzarbeit von

$$\frac{5,5 \cdot 2 \cdot 1000 \cdot 78,4}{75 \cdot 100} = 115 \text{ PS.}$$

Die Messungswerte und Berechnungen, sowie Resultate über die Wassermenge und Bremsung sind aus Tabelle I u. II (S. 90 u. 91) zu ersehen.

Die für die Rechnung eingesetzten Reibungskoeffizienten sind niedrig und die Bremsung selbst, wie ersichtlich, genau durchgeführt. Die Nutzeffekte der Turbine ergaben sich zu (s. auch Tabelle II, S. 91):

79,5 Proz. bei 25 mm Schaufelöffnung oder ganzer Beaufschlagung.

86,0 " " 50 " " " " " "

82,0 " " 80 " " " " " "

Aus den einzelnen Berechnungen und Tabellenwerten geht somit hervor, daß die von der Firma J. M. Voith geleisteten Garantien bei weitem erfüllt sind.

Aus dem Versuch III (Tabelle I, S. 90) ergaben sich:

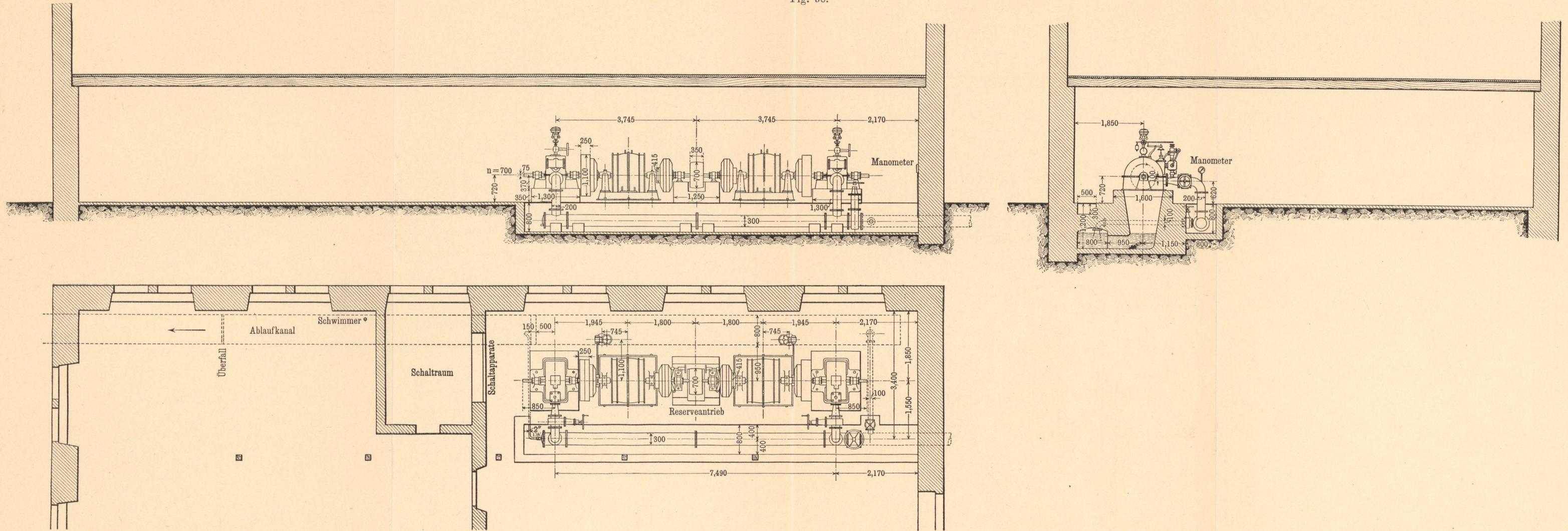
die mittlere Anzahl der Flügelumdrehungen pro Sek. zu $\frac{30,005}{8} = 3,7506$,

somit die mittlere Wassergeschwindigkeit [s. Formel (10), S. 13] zu

$$v_{III} = 0,33 + 0,226 \cdot 3,7506 = 0,8776,$$

die mittlere Wassertiefe zu 1,644 m.

Fig. 58.



Hieraus resultiert eine Wassermenge [s. Formel (12), S. 14]:

$$V_{\text{III}} = 3,3 \cdot 1,644 \cdot 0,8776 = 4,750 \text{ cbm.}$$

In analoger Weise erhielt man aus Versuchen II und I (S. 90) für die mittlere Anzahl der Flügelumdrehungen pro Sekunde:

$$\frac{21,869}{8} = 2,7336 \quad \text{bzw.} \quad \frac{11,357}{8} = 1,4196,$$

sowie für

$$v_{\text{II}} = 0,03 + 0,226 \cdot 2,7336 = 0,6478 \text{ m} \quad \text{und}$$

$$v_{\text{I}} = 0,03 + 0,226 \cdot 1,4195 = 0,3508 \text{ m} \quad [\text{s. Formel (10), S. 13},$$

$$\text{mittlere Wassertiefe} \quad . \quad . \quad . \quad 1,641 \text{ m} \quad \text{und} \quad 1,688 \text{ m}$$

und

$$V_{\text{II}} = 3,3 \cdot 1,641 \cdot 0,6478 = 3,510 \text{ cbm} \quad \text{und}$$

$$V_{\text{I}} = 3,3 \cdot 1,688 \cdot 0,3508 = 1,956 \text{ cbm} \quad [\text{s. Formel (12), S. 14}].$$

Bremsversuche an der Turbinenanlage des Elektrizitätswerkes Grabs (Schweiz).

(Turbinen der Aktiengesellschaft vorm. J. J. Rieter & Cie., Winterthur.)

Die wichtigsten Daten der Anlage.

Die hydraulische Anlage des Elektrizitätswerkes Grabs besteht aus zwei Hochdruckturbinen mit horizontaler Achse (System Pelton). Dieselben sind im unteren Teile des Laufrades durch einen Leitapparat von nur einer regulierbaren Zelle beaufschlagt. Die Turbinen nutzen ein außerordentlich hohes Gefälle von 220 m bei einer normalen Wassermenge von 0,052 cbm pro Sekunde aus. Das Wasser wird den Maschinen durch eine Rohrleitung zugeführt. Entsprechend dem hohen Gefälle und der verhältnismäßig kleinen Wassermenge, insbesondere aber mit Rücksicht auf den Antrieb der Stromerzeuger, wurde für die Turbinen eine Umdrehungszahl von 700 pro Minute gewählt. Die effektive Leistung der Turbinen ist je 110 PS.

Die Laufräder, sogenannte Löffelräder, haben einen äußeren Durchmesser von 850 mm; die Turbinen sind demnach sehr kompensiös gebaut. Die Beaufschlagung wird durch einen Zungenschieber, der eine Verengung der Leitradzelle ermöglicht, geregelt. (Die Gesamtanlage zeigt Fig. 58.)

Die Regulierung erfolgt durch einen Präzisionsregulator mit hydraulischer Wirkung, indem die Verstellung des Schiebers mittels Druckwasser erfolgt (vgl. S. 64 u. f.); dasselbe wird vor dem Absperrschieber der Hauptleitung entnommen und, bevor es in den Druckzylinder gelangt, durch ein Filter gereinigt. Die Regulierung erfolgt derart, daß das durch ein Federpendel beeinflusste Verteilungsventil den Wasserdruck in dem Steuerzylinder ändert; der Zylinderkolben, auf welchen