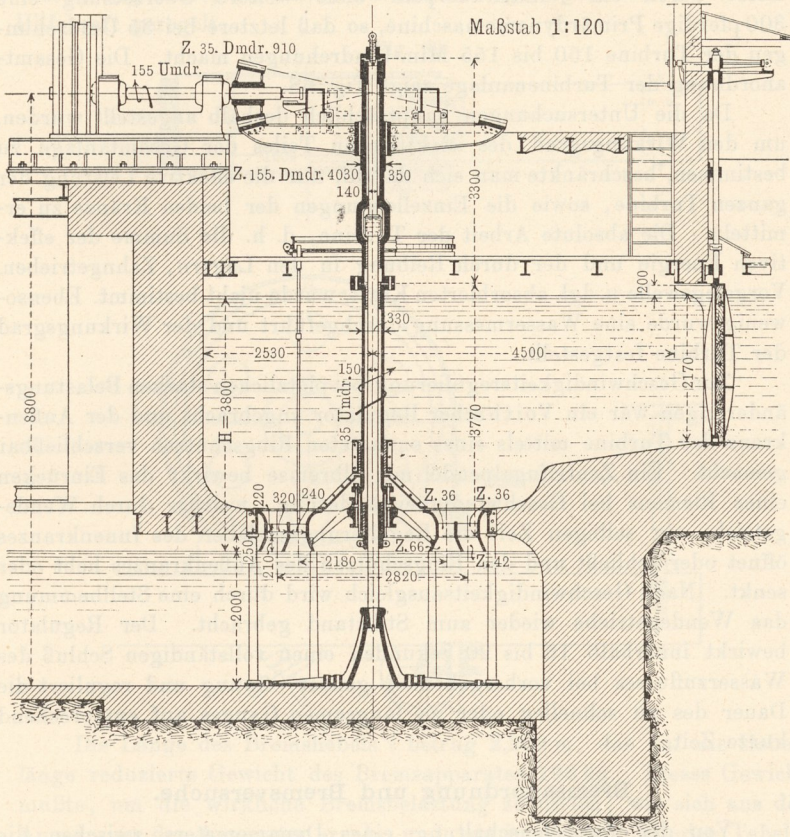


### A. Bremsung der Turbine.

Die Anlage besteht aus vier gleich gebauten Turbinen, von welchen jedoch nur eine untersucht worden ist. Diese war eine zweikränzige Kombinationsturbine mit einer garantierten Leistung von 304 PS bei 3,8 m Nutzgefälle, 8000 Liter Wasserverbrauch pro Sekunde und 35 Um-

Fig. 68.



drehungen pro Minute. Der äußere Schaufelkranz war als Reaktionsturbine System Jonval gebaut für 4000 Liter pro Sekunde und 3,8 m Gefälle. Dieses ergibt bei einem Wirkungsgrad von 75 Proz. und einer Tourenzahl von 35 pro Minute eine Leistung des äußeren Kranzes allein von 152 PS. Der innere Schaufelkranz war als Aktionsturbine gleichfalls für 4000 Liter in der Sekunde und 3,8 m Gefälle gebaut, und beträgt die Leistung des inneren Schaufelkranzes allein bei demselben Wirkungsgrade und derselben Tourenzahl wie oben gleichfalls 152 PS. Der innere Schaufelkranz war mit einer Schieberregulierung



versehen, derart, daß die Beaufschlagung von einem Sechstel zu einem Sechstel geändert werden konnte. Der äußere Schaufelkranz war durch einen Ringschützen verschließbar, so daß durch Verengung der Durchflußöffnung eine Verringerung der Beaufschlagung herbeigeführt werden konnte. Als Maß dieser Beaufschlagung galt demgemäß bei den späteren Versuchen die Höhe der Ringschützenöffnung in Millimeter.

Die Turbine hat einen Fontaineschen Oberwasserzapfen und betreibt durch ein Winkelräderpaar ohne weitere Übersetzung eine 300 pferdige Primärdynamomaschine, so daß letztere bei 35 Umdrehungen der Turbine 150 bis 155 Min.-Umdrehungen macht. Die Gesamtanordnung der Turbinenanlage zeigt Fig. 68.

Da die Untersuchungen hauptsächlich deshalb angestellt wurden, um den Wirkungsgrad des elektrischen Teiles der Gesamtanlage zu bestimmen, beschränkte man sich darauf, nur die effektive Leistung der ganzen Turbine, sowie die Einzelleistungen der beiden Kränze zu ermitteln. Die absolute Arbeit der Turbine, d. h. die Summe der effektiven Energie und der durch Reibung in den Lagern, Zahngetrieben, Vorgelegewelle u. dgl. absorbierten Kraft, wurde nicht bestimmt. Ebenso wenig wurde eine Wassermessung durchgeführt und der Wirkungsgrad der Turbine festgestellt.

Zur Geschwindigkeitsregulierung bei plötzlichen starken Belastungsänderungen war ein Voithscher Regulator angebracht und der Außenkranz der Turbine mittels eines entlasteten Ringschützen verschließbar gemacht. Ein Zentrifugalpendel mit Ölbremse bewirkt das Einrücken eines Riemens bei Geschwindigkeitsänderung, welcher durch Wendetriebe zur selbigen Zeit die Regulierungsschieber des Innenkranzes öffnet oder schließt und den Ringschützen des Außenkranzes hebt oder senkt. Nach Geschwindigkeitsausgleich wird durch eine Stellhemmung das Wendetriebe wieder zum Stillstand gebracht. Der Regulator bewirkt innerhalb 16 bis 20 Sekunden einen vollständigen Schluß des Wasserzufflusses bei vorhergehender ganzer Öffnung und reguliert die Dauer des zu schnellen oder zu langsamen Ganges auf entsprechend kurze Zeit.

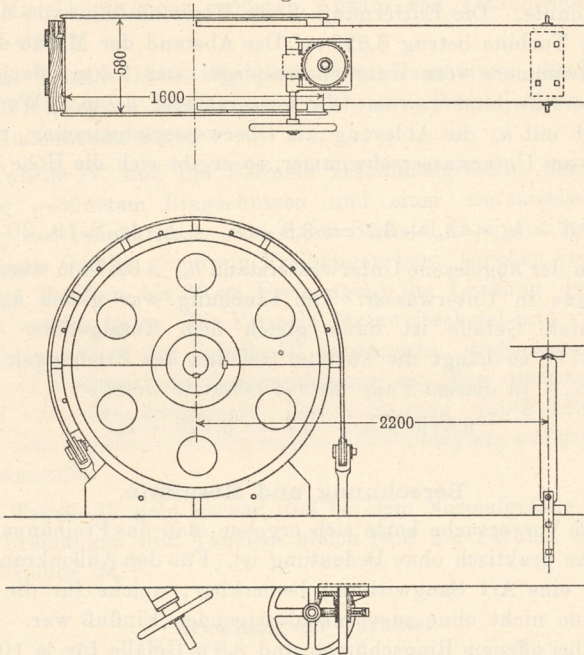
### Bremsanordnung und Bremsversuche.

Von der Zwischenschaltung eines Dynamometers zwischen die Turbine und Dynamomaschine zur Messung des Effektes, welcher von der Turbine auf die Dynamomaschine übertragen wurde, mußte wegen der unlösbaren Verbindung beider Maschinen und der Größe des Effektes Abstand genommen werden. Es blieb kein anderer Weg zur Bestimmung des übertragenen Effektes, als die Beaufschlagung und das Gefälle während des Normalbetriebes zu beobachten und vorher oder später unter tunlichst denselben Umständen den Effekt anstatt auf die Dynamomaschine auf ein Bremsdynamometer zu leiten und zu messen. Die Bremsscheibe wurde direkt auf der Welle der Dynamomaschine, da wo



gewöhnlich der Induktor sitzt, angebracht. Die Anordnung der Scheibe und des Bremshebels ist aus Fig. 69 zu ersehen. Der Hebel drückt mittels einer senkrechten Stütze auf eine Dezimalwage. Mittels Schraube und Schneckenrades erfolgte die Anspannung des Bremsbandes von Hand aus. Durch eingeschraubte Rohrstützen in die Löcher der Bremsklötze wurde mittels Kautschukschläuchen aus einem über der Bremse mit Wasser aus der Wasserleitung gefülltem Fasse den Bremsklötzen Wasser zugeführt; der Zufluß wurde durch eine eigens hierzu bestimmte Hilfskraft geregelt.

Fig. 69.



Die Länge des Bremshebels  $l$  betrug 2,209 m, das auf die Hebel­länge reduzierte Gewicht des Bremsapparates 196 kg. Dieses Gewicht mußte, um die wirkliche Bremsbelastung zu finden, wie sich aus der Anordnung des Apparates ergab, und wie in der beifolgenden Tabelle geschehen, von dem Wagschalengewicht in Abzug gebracht werden.

Die Größe der gebremsten Arbeit der Turbine berechnet sich dann nach der Formel (31)

$$N_1 = \frac{G \cdot l \cdot n}{716,2} \quad (\text{s. S. 53}),$$

hierbei bedeutet

- $l$  die Länge des Bremshebels,
- $G$  die wirksame Bremsbelastung,
- $n$  die Umdrehungszahl der Welle pro Minute.



Die Anzahl der Umdrehungen wurde durch einfaches Zählen festgestellt, sowie außerdem mit einem Tachometer kontrolliert.

### Gefällebestimmung.

Zur Bestimmung des Gefälles dienten zwei Schwimmer, der eine im Oberwasser direkt über der Turbine, der andere in der Unterwassergasse hinter derselben. Die Schwimmer waren mit Stangen versehen und an diesen waren Marken angebracht, deren Abstand von einer gemeinsamen, festen Horizontallinie an einem Maßstabe abgelesen werden konnte. Die Entfernung dieser Horizontallinie von der Unterkante der Turbine betrug 6,829 m. Der Abstand der Marke des Unterwasserschwimmers vom Unterwasserspiegel war 7,5 m, derjenige des Oberwasserschwimmers vom Oberwasserspiegel 3,7 m. Werden nun bezeichnet mit  $h_o$  die Ablesung am Oberwasserschwimmer, mit  $h_u$  die Ablesung am Unterwasserschwimmer, so ergibt sich die Höhe des Totalgefälles

$$z = 7,5 - h_u + h_o - 3,7 = 3,8 - h_u + h_o \text{ (s. S. 19, 20 u. 39).}$$

Wenn der abgelesene Unterwasserstand  $h_u > 0,671$  m war, so taucht die Turbine in Unterwasser. Die Tauchung war gleich  $h_u - 0,671$ . Das benutzte Gefälle ist dann gleich dem Totalgefälle. Ist aber  $h_u < 0,671$ , so hängt die Turbine frei und das Freihängen ist gleich  $0,671 - h_u$ . In diesem Falle ist das benutzte Gefälle

$$6,829 + h_o - 3,7 = 3,129 + h_o.$$

### Berechnung und Resultate.

Durch Vorversuche hatte sich ergeben, daß das Freihängen für den Innenkranz praktisch ohne Bedeutung ist. Für den Außenkranz machte sich aber eine Art Saugwirkung bemerkbar, welche für die Leistung der Turbine nicht ohne zu vernachlässigenden Einfluß war. Es ergab sich, daß bei offenem Ringschützen und 3,8 m Gefälle für je 10 cm Freihängen (Tauchen als negatives Freihängen gerechnet) eine Zunahme (bzw. Abnahme) des Effektes von 4,68 PS stattfindet. Diese Zunahme findet aber nur in den Grenzen, in welchen sich die Versuche bewegten, nämlich zwischen 10 cm Tauchen und 30 cm Freihängen, mit genügender Sicherheit statt. Ob das Tauchen für den Innenkranz von Einfluß war, ist nicht untersucht worden.

Da sich das normale Gefälle von 3,8 m nicht einhalten ließ, so mußten die gefundenen Werte der Leistung der Turbine auf dieses Normalgefälle reduziert werden, um miteinander vergleichbare Resultate zu erzielen. Die Leistung der Turbine ändert sich aber mit der 1,5. Potenz des benutzten Gefälles, gemessen vom Oberwasserspiegel bis Unterkante Turbine bei Freihängen; bzw. vom Oberwasserspiegel bis Unterwasserspiegel bei Tauchung.



Die Formel für diese Rechnung lautet:

$$N_{3,8} = N_1 \left( \frac{3,8}{z} \right)^{1,5},$$

wobei bedeutet

$N_{3,8}$  die Leistung der Turbine bei dem Normalgefälle von 3,8 m.  
 $z$  das jeweilige Gefälle.

Alle beobachteten und berechneten Werte finden sich in den Tabellen zusammengestellt; es sei jedoch bemerkt, daß in denselben nur die Mittelwerte einer größeren Anzahl von Einzelbeobachtungen angeführt sind.

In der Tabelle III ist für beide Kränze zusammen die Korrektur bezüglich Freihängens oder Tauchens ebenso angebracht, wie in Tabelle II für den Außenkranz allein.

In Tabelle IV sind die Formeln zusammengestellt, nach welchen bei völlig geöffnetem Ringschützen und einer stufenweisen Beaufschlagung des Innenkranzes von einem Sechstel zu einem Sechstel für ein beliebiges Gefälle  $z$  und ein Freihängen bzw. Tauchen von  $f$  Meter (von 10 cm Tauchen bis 30 cm Freihängen) die Leistung der Turbine berechnet werden kann. Die Formeln für zweisechstel und viersechstel Beaufschlagung sind der Tabelle III entnommen, diejenigen für fünfsechstel und sechssechstel Beaufschlagung aus den übrigen Tabellen berechnet, die für dreisechstel Beaufschlagung durch Interpolation gefunden und diejenige für einsechstel Beaufschlagung auf graphischem Wege festgestellt.

Aus Tabelle IV geht hervor, daß bei dem Normalgefälle von 3,8 m und bei Freihängen und Tauchen gleich Null die Turbine 356 PS zu leisten imstande ist.

### Bremsung der Turbine.

Tabelle I. Innenkranz.

| Nr. | Beaufschlagung | Touren der Dynamowelle pro Minute | Belastung<br>kg | Gemessene Leistung<br>PS | Benutztes Gefälle<br>m | Reduktion                                 |
|-----|----------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|---|
|     |                |                                   |                 |                          |                        | auf Normalgefälle = 3,8 m; Leistung<br>PS |
| 1   | $\frac{6}{6}$  | 153,6                             | 393,3           | 185,8                    | 3,695                  | 193,7                                     |
| 2   | $\frac{5}{6}$  | 152,2                             | 325,0           | 152,5                    | 3,822                  | 151,1                                     |
| 3   | $\frac{4}{6}$  | 150,6                             | 255,0           | 118,3                    | 3,830                  | 116,9                                     |
| 4   | $\frac{3}{6}$  | 151,0                             | 185,0           | 86,0                     | 3,837                  | 84,8                                      |

Tabelle II. Außenkranz.

| Nr. | Höhe der Ring-schützen-öffnung<br>mm | Touren der Dynamowelle pro Minute | Belastung<br>kg | Gemessene Leistung<br>PS | Benutztes Gefälle<br>m | Freihängen<br>mm | Tauchen<br>mm | Reduktion auf Normal-gefälle = 3,8 m; Leistung<br>PS |
|-----|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|------------------|---------------|--|
| 1   | 228,50                               | 166,14                            | 314,3           | 161,3                    | 3,782                  | 110,3            | —             | 162,3  |
| 2   | 206,75                               | 167,40                            | 299,0           | 154,0                    | 3,805                  | 79,0             | —             | 153,7  |
| 3   | 186,00                               | 156,80                            | 314,0           | 151,7                    | 3,800                  | 61,0             | —             | 151,7  |
| 4   | 168,00                               | 163,10                            | 284,0           | 142,1                    | 3,801                  | 67,0             | —             | 142,1  |
| 5   | 146,75                               | 155,20                            | 274,0           | 132,5                    | 3,794                  | 63,0             | —             | 132,9  |
| 6   | 128,00                               | 169,20                            | 234,0           | 121,9                    | 3,808                  | 96,0             | —             | 121,5  |

Tabelle III. Beide Kränze zusammen.

| Nr. | Beaufschlagung (Ringschützen völlig geöffnet) | Touren der Dynamowelle pro Minute | Belastung<br>kg | Gemessene Leistung<br>PS | Benutztes Gefälle<br>m | Freihängen<br>mm | Tauchen<br>mm | Reduktion auf Normal-gefälle = 3,8 m; Leistung<br>PS |
|-----|---|-----------------------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|------------------|---------------|--|
| 1   | $\frac{2}{6}$                                 | 156,3                             | 444             | 213,4                    | 3,771                  | 12               | —             | 215,3  |
| 2   | $\frac{4}{6}$                                 | 167,2                             | 534             | 269,7                    | 3,772                  | —                | 21            | 279,2  |

Tabelle IV. Wahrscheinliche Werte der Leistung der Turbine, bei völlig geöffneten Ringschützen des Außenkranzes und bei variabler Beaufschlagung des Innenkranzes.

$z$  = Gefälle.

$f$  = Größe des Freihängens bzw. Tauchens der Turbine in Meter.

| Beaufschlagung des Innenkranzes | Wahrscheinliche Leistung der Turbine in PS                    |
|---------------------------------|---|
| $\frac{1}{6}$                   | $N_1 = 188,3 \left(\frac{z}{3,8}\right)^{1,5} + 46,8 \cdot f$ |
| $\frac{2}{6}$                   | $N_1 = 215,3 \left(\frac{z}{3,8}\right)^{1,5} + 46,8 \cdot f$ |
| $\frac{3}{6}$                   | $N_1 = 247,1 \left(\frac{z}{3,8}\right)^{1,5} + 46,8 \cdot f$ |
| $\frac{4}{6}$                   | $N_1 = 279,2 \left(\frac{z}{3,8}\right)^{1,5} + 46,8 \cdot f$ |
| $\frac{5}{6}$                   | $N_1 = 313,4 \left(\frac{z}{3,8}\right)^{1,5} + 46,8 \cdot f$ |
| $\frac{6}{6}$                   | $N_1 = 356,0 \left(\frac{z}{3,8}\right)^{1,5} + 46,8 \cdot f$ |