

Universal-Regulierung System Sewer für Hochdruck-Pelton-Turbinen

Autor(en): **Prášil, Franz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **73/74 (1919)**

Heft 23

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-35637>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

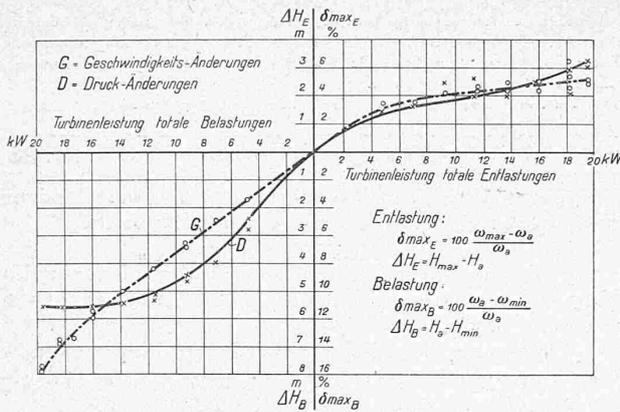


Abb. 10. Diagramm der maximalen Geschwindigkeit- und Druck-Änderungen. (In den Formeln für die maximale Ungleichförmigkeit bedeutet ω_0 die Winkelgeschwindigkeit, in jenen für die Druckänderung H_0 den Druck in m Wassersäule, je vor Entlastung bzw. Belastung).

schiedenen Belastungen und normaler Drehzahl einmal bei wirksamen, dann bei festgestelltem Regulator den Leistungsaufwand und Wasserkonsum für den Betrieb des Regulators und dessen Einfluss auf den Wirkungsgrad der Maschinen-Gruppe zu bestimmen.

Programm-Nummer 7 erforderte entsprechende Demontage zur Demonstration der leichten Beweglichkeit von Hand der Lenkflügel unter Wasserdruck.

Die Schwungmasse des ganzen Aggregates, also Generator und Turbine zusammengenommen, betrug 105 kgm^2 für alle Versuche.

Die Versuchsergebnisse.

Die bei den Versuchen nach den Programm-Nummern 1 und 2 erhaltenen quantitativen Resultate sind in der Tabelle I auf S. 263 zusammengestellt; die photographisch reproduzierten Tachogramme Abb. 9 (S. 266) veranschaulichen den qualitativen Verlauf der Reguliervorgänge. Das Diagramm Abbildung 10 fasst die Ergebnisse der Tabelle graphisch zusammen; aus diesem ist bereits deutlich der energische Einfluss der Lenkplatten-Verstellung bei Entlastung zu erkennen. Die Tachogramme der Entlastungsversuche von $4,0 \text{ kW}$ weisen diesen Einfluss noch undeutlich auf; in den Tachogrammen entsprechend 6, 8, 10 und 12 kW Entlastung aber ist durch das erste scharf gekennzeichnete Maximum der Geschwindigkeitsteigerung die durch die Lenkplattenverstellung hervorgerufene Energievernichtung deutlich ausgeprägt; diese tritt hierbei nur einmal auf; bei Entlastungen von 15,2, 16 und $17,2 \text{ kW}$ kommt die Lenkplatten-Verstellung mehrmals in Aktion, doch wird das erste Maximum niemals mehr überschritten. Die Belastungs-Tachogramme zeigen normalen Verlauf, da hierbei die Lenkplatten keinen Einfluss ausüben.

Besonders deutlich tritt die erhebliche Verminderung der Geschwindigkeitsteigerung beim Vergleich der aus den Versuchen Programm-Nummer 3 erhaltenen Tachogramme in Abbildung 11 hervor, in der solche Tachogramme übereinander kopiert sind, und im Vergleichs-Diagramm Abbildung 12. Es ist dabei zu beachten, dass, wie schon erwähnt, bei allen Versuchen die gleichen Schwungmassen in Bewegung waren.

Das den Versuchen nach Programm-Nummer 4 auf Abbildung 13 entsprechende Diagramm zeigt die geringe Drucksteigerung durch die Lenkplatten-Verstellung allein; im Maximum $0,7 \text{ m}$ Wassersäule bei grösstem Wasserdurchfluss entsprechend $18,4 \text{ kW}$ Belastung und 42 m Betriebsdruck.

Das Diagramm Abbildung 14 zeigt die Beharrungs-Umlaufzahlen bei verschiedenen Belastungen. Die Ungleichförmigkeit zwischen Leerlauf und Vollast beträgt, gemessen mit mechanischem Zählwerk oder am Maschinentachometer, $0,54 \%$ bzw. $0,46 \%$, im Mittel $0,5 \%$; hierbei ist zu erwähnen, dass der verwendete Fliehkraftregler für die in

Betracht kommenden Endstellungen der Hülse eine totale Ungleichförmigkeit von $4,18 \%$ besitzt, dass daher die Steuerungen und Rückführungen nahezu Isodromeinstellung bewirken.

Die nachstehende Tabelle II zeigt die Ergebnisse der entsprechend Programm-Nummer 6 durchgeführten Bremsversuche, Abbildung 15 die zugehörige graphische Zusammenstellung. Es ist zu erkennen, dass der Turbinen-Wirkungsgrad von $1/1$ bis $1/2$ Vollast über 80% , also mit Rücksicht auf die Grössenordnung der Maschineneinheit und der sehr hohen spezifischen Drehzahl von $n_s = 28$ für Vollast ein guter ist. Wie natürlich, ist der Wirkungsgrad der Einheit bei Betrieb mit Regulator kleiner als bei solchem ohne Regulator; die Versuchsergebnisse weisen auf einen Leistungsbedarf für den Betrieb der Regulierung von im Mittel $0,45 \text{ kW}$ hin.

Die Demonstration entsprechend Programm-Nummer 7 zeigte, dass bei verschiedenen Durchflussmengen die Lenkplatten leicht von Hand verstellt werden können.

Theoretische Kontrolle und Diskussion.

In den Tachogrammen ist bekanntlich die Geschwindigkeitsänderung auf einem von der Turbine aus bewegten Papierstreifen registriert; deren Werte $\delta = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}$ können an dem aufgedruckten Masstab abgelesen werden, die Kurven stellen den Verlauf dieser Werte in Funktion des Papierweges dar; da der Papierstreifen zwangläufig von der Turbine aus bewegt wird, ist die Papiergeschwindigkeit proportional der Winkelgeschwindigkeit der Turbine

Tabelle II. Bremsversuche an der Peltonturbine mit Universal-Regulierung System Seewer am 19. März 1919.

Zeit nachm.	Gefälle H m	Ueberfalls-höhe h mm	Wasser-menge Q l/sek	Drehzahl n Uml/min	Hy-draul. Leistg. $N_{hydr.}$ kW	Wirk.gr. Generat. $\eta_{gen.}$ $\%$	Elektr. Leistg. $N_{el.}$ kW	Turbinen Leistg. $N_{turb.}$ kW	Wirk.gr. Turbine $\eta_{turb.}$ $\%$
mit Regulator									
2 ¹⁵	41,1	168,3	62,0	550	25,0	87,5	18,0	20,6	82,4
2 ¹⁷	41,7	168,4	62,0	550	25,35	87,5	18,0	20,6	81,3
2 ²¹	42,0	157,7	56,0	550	23,05	87,4	16,0	18,3	79,4
2 ²²	42,0	157,0	55,5	552	22,85	87,4	16,0	18,3	80,1
2 ²⁶	42,9	132,5	43,0	552,5	18,1	87,0	12,2	14,0	77,4
2 ²⁹	42,9	131,3	42,5	552	17,9	87,0	12,2	14,0	78,2
2 ³²	43,4	103,2	30,0	553	12,76	85,5	8,0	9,36	73,3
2 ³⁴	43,4	102,9	30,0	553	12,76	85,5	8,0	9,36	73,3
2 ³⁶	43,8	39,6	7,7	554	3,31	Leerlauf erregt			
2 ³⁸	43,9	32,6	5,9	554	2,54	Leerlauf unerregt			
ohne Regulator									
2 ¹⁵	41,8	168,6	62,0	549	25,4	87,5	18,0	20,6	81,1
2 ¹⁶	41,8	168,6	62,0	549,5	25,4	87,5	18,0	20,6	81,1
2 ⁵⁰	42,05	156,6	55,4	?	23,0	87,4	16,12	18,45	80,2
2 ⁵²	42,05	154,8	54,5	551	22,5	87,4	16,12	18,45	82,0
2 ⁵³	42,5	143,3	48,5	551,5	20,2	87,2	14,36	16,45	81,4
2 ⁵⁷	42,6	143,0	48,4	552	20,25	87,2	14,36	16,45	81,2
3 ⁰⁰	42,9	129,2	41,5	549	17,5	87,0	12,12	13,93	79,6
3 ⁰³	42,9	129,2	41,5	549,5	17,5	87,0	12,12	13,93	79,6
3 ⁰⁵	43,1	112,8	34,0	552	14,4	86,4	9,96	11,5	79,9
3 ⁰⁷	43,1	112,6	34,0	552	14,4	86,4	9,96	11,5	79,9
3 ¹⁰	43,4	100,0	28,7	551,5	12,2	85,5	8,0	9,36	76,7
3 ¹²	43,4	99,8	28,7	550	12,2	85,5	8,0	9,36	76,7
3 ¹⁴	43,7	82,7	21,5	546	9,2	84,4	6,0	7,1	77,2
3 ¹⁵	43,7	83,4	22,0	545	9,4	84,4	6,0	7,1	75,5
3 ¹⁸	43,8	67,2	16,0	550,5	6,9	82,3	3,96	4,8	69,6
3 ²⁰	43,8	67,3	16,0	551	6,9	82,3	3,96	4,8	69,6
3 ²²	43,9	36,4	6,8	559	2,93	Leerlauf erregt			
3 ²⁵	43,9	27,0	4,5	559	1,94	Leerlauf unerregt			

und es kann die jedem Verschub zukommende Zeitdauer leicht berechnet werden; es ist:

$$\Delta s = v_a \cdot \frac{\omega}{\omega_a} \Delta t = v_a (1 + \delta) \Delta t.$$

In diesen Ausdrücken bedeuten ω die Winkelgeschwindigkeit zur Zeit t , ω_a die anfängliche Winkelgeschwindigkeit während des Beharrungszustandes vor der Belastungsänderung, v_a die durch ω_a bestimmte Geschwindigkeit der Papierbahn, die bei den Versuchen mit 5 mm in der Sekunde eingestellt war¹⁾; s den von der Papierbahn in der Zeit t zurückgelegten Weg. Durch entsprechende Umrechnung erhält man somit aus den Tachogrammen den zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeitsänderung, für den die bekannten Beziehungen gelten

$$\Theta \frac{d\omega}{dt} = M_t - M_w, \text{ oder } \Theta \frac{d\delta}{dt} = M_t - M_w \quad (I)$$

$$\Theta \frac{\omega^2 - \omega_a^2}{2} = \int_0^t (L_t - L_w) dt \text{ oder } \Theta [(1 + \delta)^2 - 1] \frac{\omega_a^2}{2} = A \quad (II)$$

Hierin bedeuten:

Θ das Massenträgheitsmoment der rotierenden Teile in $kg \cdot sec^2$,

M_t das von der Turbine abgegebene,

M_w das überwundene Kraftmoment in kg zur Zeit t ,

$L_t = M_t \omega$ bzw. $L_w = M_w \omega$ die entsprechenden Leistungen in $kg \cdot sec$,

$A = \int_0^t (L_t - L_w) dt$ die von der rotierenden Masse in

¹⁾ Die Tachogramme in Abb. 9 sind auf die Hälfte verkleinert, sodass einer Sekunde 2,5 mm Weg der Papierbahn entsprechen. Red.

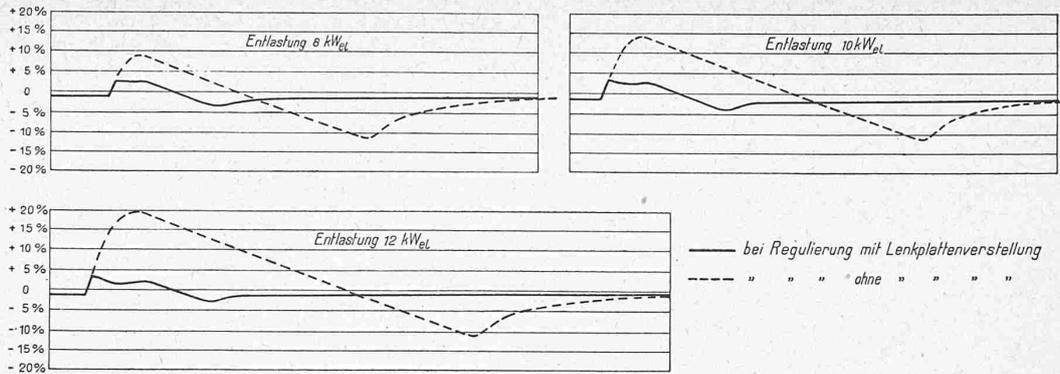


Abb. 11. Vergleichende Zusammenstellung der Reguliervorgänge bei gleichwertiger Entlastung, bei Regulierung mit und ohne Lenkplatten-Verstellung (nach den Original-Tachogrammen Abb. 9 auf Seite 266). — Zeitmasstab 2,5 mm = 1 sek.

der Zeit t aufgenommene Arbeit. Es können diese Formeln als Grundlage für die Kontrolle und Diskussion der Tachogramme verwendet werden.

Die Tachogramme Abbildung 12 geben den Vergleich der Wirksamkeit der Regulierung

- a) ohne Lenkflügel (gestrichelte Kurve in Abb. 11),
- b) mit Lenkflügel, für Entlastungen von 8, 10 und 12 kW (ausgezogene Kurve).

Im Falle a) erfolgt nach eingetretener Entlastung die Verminderung der Energiezufuhr lediglich durch das Schliessen der Düse mittels der Nadel. Der Maximalwert δ_{max} von δ tritt bei voller Entlastung dann ein, wenn die Leistungsabgabe der Turbine auf denjenigen Wert gesunken ist, der für die Ueberwindung der Eigenwiderstände nötig ist. Bezeichnet man mit τ die Zeit vom Beginn der Entlastung bis zum Eintreten von δ_{max} , mit τ' jedoch die Unempfindlichkeit, während der unmittelbar nach Entlastung eine Verstellung des Reguliermechanismus und somit auch eine Änderung in der Energiezufuhr nicht eintritt, so kann die aufgenommene Arbeit auch nach der Formel berechnet werden:

$$A_r = L_0 \tau' + \frac{L_0}{2} (\tau - \tau') = \frac{L_0}{2} (\tau + \tau') \quad (III)$$

Mit den Werten

$$\omega_a = \frac{\pi}{30} n_a = \frac{\pi}{30} 549 = 57,5 \text{ sek}^{-1}$$

und

$$\Theta = \frac{GD^2}{40} = \frac{105}{40} = 2,625 \text{ mkg sek}^2,$$

d. i. der Wert des durch Ablaufversuche gefundene Massenträgheitsmomentes, wurde nun

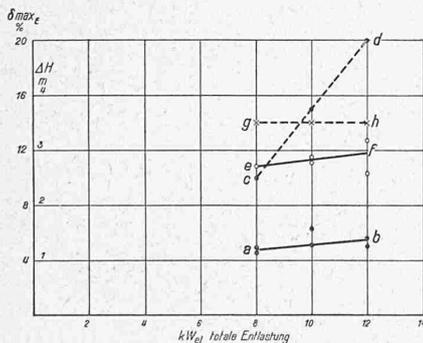


Abb. 12. Vergleich-Diagramme für die maximale Ungleichförmigkeit (ab mit, cd ohne Lenkplattenverstellung) und die Druckänderung (ef mit, gh ohne Lenkpl.-Verstellg.)

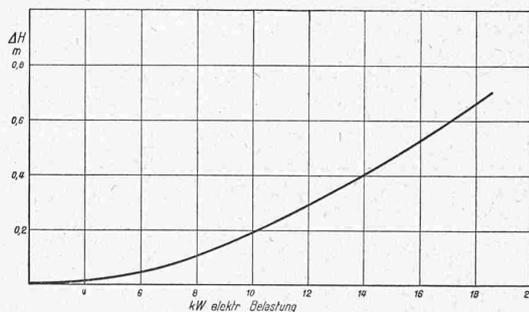


Abb. 13. Diagramme der Drucksteigerungen durch die Lenkplatten-Verstellung allein (zu Versuch-Programm-Nummer 4).

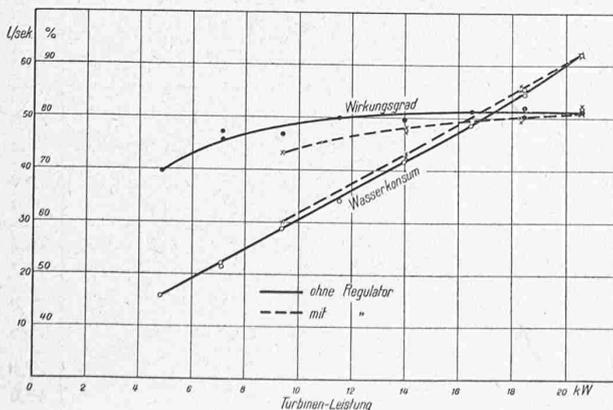


Abb. 15. Diagramme des Turbinen-Wirkungsgrades und des Wasserverbrauchs ohne und mit Regulator.

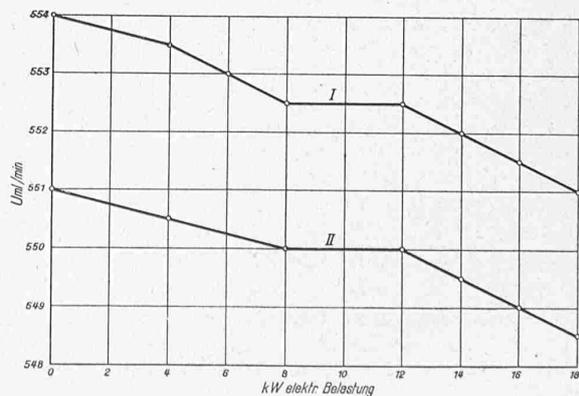


Abb. 14. Minütliche Umlaufzahlen bei Beharrung, I mit mechanischem Zählwerk, II mit Tachometer gemessen.

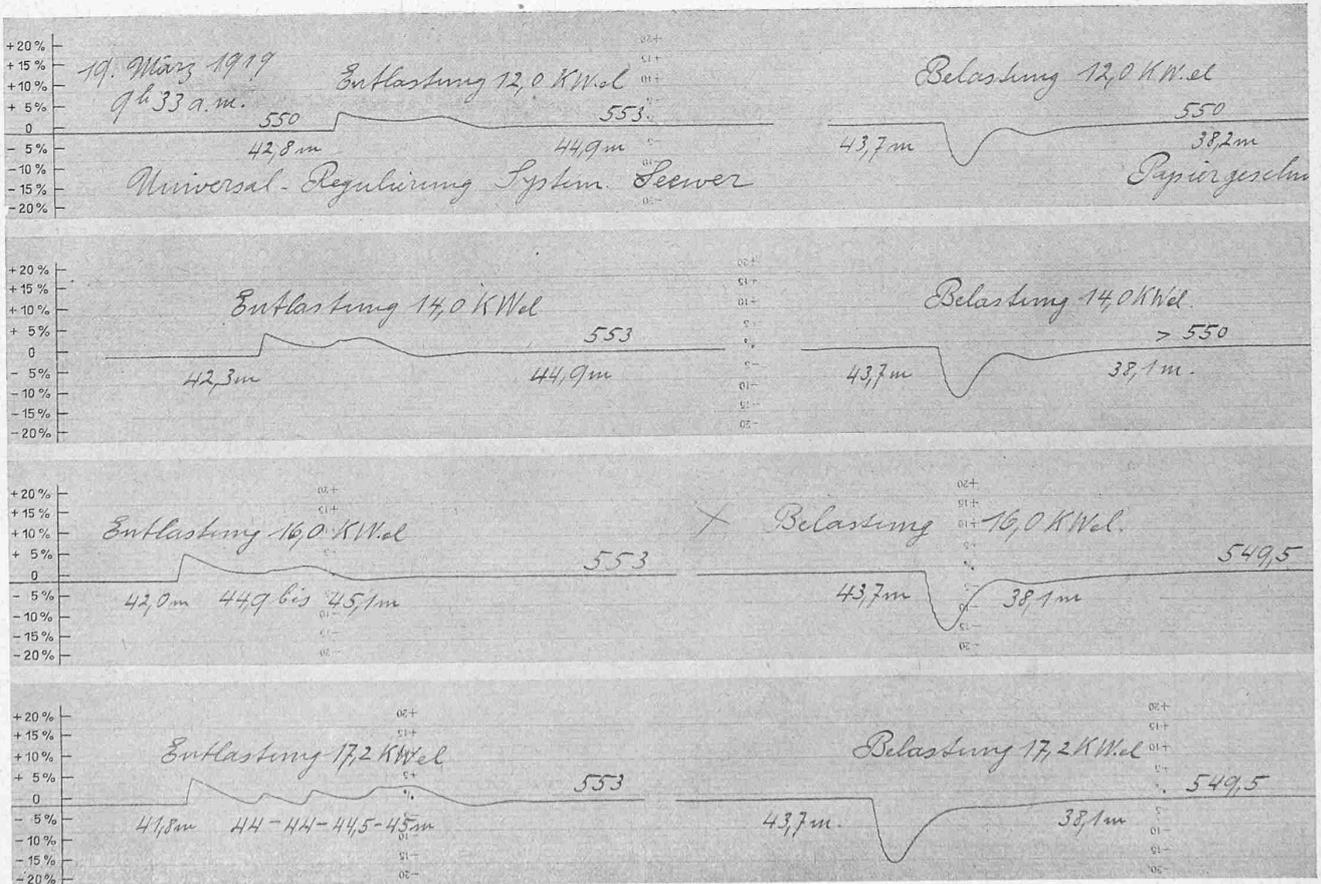
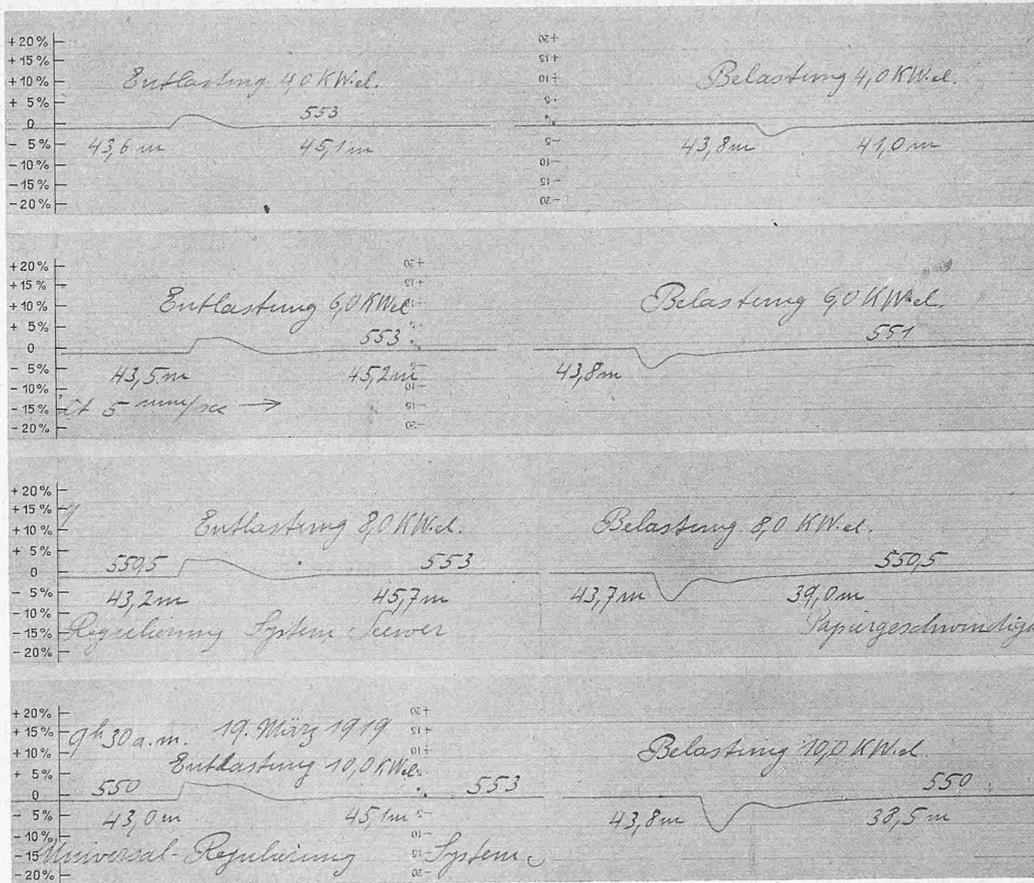


Abb. 9. Tachogramme der Versuche mit der Lenkplatten-Regulierung System Seewer für Hochdruck-Pelton-Turbinen. (Vergleiche die Tabelle I auf Seite 263 dieser Nummer.) — Zeitmasstab in der vorliegenden Reduktion 2,5 mm = 1 sek.

einmal A mittels der Formel (II) und dann A_r mittels (III) gerechnet, wobei sich nach einigen Versuchen gute Uebereinstimmung bei Einsatz von $\tau' = 0,3 \text{ sek}$ ergab, wie aus nachfolgender Tabelle III zu ersehen ist.

Tabelle III

Entlastung			δ_{\max}	A mkg	τ sek	A_u mkg	Differenz	
elektr. kW	a. d. Turb. kW	mkgsek					$A - A_r$ mkg	%
8	9,36	954,7	0,1040	949	1,685	947	+ 2	0,2
10	11,55	1178,1	0,1515	1413	2,088	1406	+ 7	0,5
12	13,78	1405,6	0,2020	1929	2,465	1942	- 13	0,7

In den selben Tachogrammen folgt auf die maximale Geschwindigkeitsteigerung ein fast lineares Verlaufen des Geschwindigkeitabfalls, entsprechend dem eben sich einstellenden Ablauf; die Neigung dieser Linie gegen die Papierbahn ergibt mit obigem Trägheitsmoment und mit $\omega = 57,5 \text{ sek}^{-1}$ das Moment der Eigenwiderstände der Maschinengruppe, bezw. die erforderliche Leistung zu

$$M_w = 2,625 \cdot \frac{0,1}{6,4} \cdot 57,5 = 2,35 \text{ mkg}$$

$$\text{bezw. } L_w = \frac{2,36 \cdot 57,5}{102} = 1,33 \text{ kW.}$$

Diese Ergebnisse können nun zur Diskussion der Tachogramme im Fall b) benützt werden (vergl. Abb. 11, Seite 265). Diese zeigen nach der ersten, der Entlastung folgenden Geschwindigkeitszunahme durch die scharfen Ecken in den Kurven eine fast plötzlich eintretende Abnahme der Energiezufuhr zur Turbine an, die eben durch die zerstreue Wirkung der Lenkflügel verursacht ist.

Tabelle IV

Entlastung			δ_{\max}	τ sek	A mkg	A_u mkg	Δ mkg
elektr. kW	a. d. Turb. kW	mkgsek					
8	9,36	954,7	0,0435	0,61	389	286	103
10	11,55	1178,1	0,0440	0,38	393	353	40
12	13,78	1405,6	0,0501	0,38	445	421	24

In vorstehender Tabelle IV sind wieder die Werte der Entlastungen, diejenigen von δ_{\max} und den entsprechenden Zeiten eingetragen und zudem die nach Formel (II) mittels δ_{\max} gerechneten Werte A der wirklich in der Zeit τ aufgenommenen Arbeiten und schliesslich die Arbeitswerte $A_u = L_0 \tau'$ gerechnet, die während der Unempfindlichkeitszeit $\tau = 0,3 \text{ sek}$ überschüssig von der Turbine abgegeben werden. Die Differenzen $A - A_u$ sind in der Rubrik Δ eingetragen; deren kleine Werte zeigen deutlich, dass die Wirkung der Zerstreue durch die Lenkflügel eine sehr rasche ist. Δ wird kleiner mit wachsender Entlastung, was darauf hinweist, dass die Verdrehung der Lenkplatten der Grösse der Entlastung angepasst wird; es kommt dies auch in den Werten von τ zum Ausdruck. Der weitere Verlauf der Tachogramme im Fall b) zeigt, dass nach dem ersten Geschwindigkeitsmaximum rasch wieder eine Rückführung der Lenkflügel in die meridionale Lage eintritt, sodass der wieder glatte, aber durch den Nadelverschieb reduzierte Strahl bezw. dessen Energie eine Erhebung zu einem zweiten Maximum verursacht, das jedoch das erste Maximum nicht überschreitet. Nach diesem zweiten Maximum reguliert die Nadel allein die richtige Energiezufuhr ein.

Aus den Tachogrammen Abbildung 9 ist nun zu ersehen, dass in geringem Mass bereits bei 14 und 16 kW Entlastung eine Wiederholung der Ablenkerwirkung nach dem ersten Maximum eintritt; bei der Entlastung um 17,2 kW tritt dies aber deutlich und zwar mehrfach hervor. Ein Ueberschreiten des ersten Maximums ist in keinem Falle vorhanden. Diese Wiederholungen sind durch die hohe Empfindlichkeit des intermittierenden Regulierventils für den Lenkflügel-Servomotor verursacht und weisen auf dessen energische Wirksamkeit hin.

Die Ergebnisse der mit der Versuch-Gruppe durchgeführten Prüfungsversuche und deren anhand der Theorie erfolgten Diskussion ergeben, dass das Prinzip der Energie-Vernichtung durch Strahlzerstreuung in der von Ing. Seewer ausgebildeten Weise zur Anwendung für die Regulierung von Hochdruck-Pelton-Turbinen gut geeignet ist und dass bereits bei dieser ersten Ausführung von relativ niedriger Grössenordnung Ergebnisse erzielt worden sind, die erwarten lassen, dass auch bei grösseren Ausführungen der Praxis der angestrebte Erfolg erzielt werden wird.

Zürich, im Mai 1919.

Von der mittelalterlichen Ornamentik des Basler Münsters.

Dr. K. Escher, Zürich.¹⁾

(Mit Tafeln 23 und 24.)

Jedes mittelalterliche Münster und jede Klosterkirche der Schweiz haben ihre eigenen architektur-geschichtlichen Werte und künstlerischen Vorzüge. Wir finden im Osten die schlichte, aber in den Verhältnissen so edle Schule von Hirsau, aber auch den gediegenen schweren Pfeilerbau der Lombardei mit Pfeilern, Emporen, Gewölben und ausgiebiger Dekoration. Wir finden Bauten des Cluniazenser- und Cisterzienserordens, den romanischen Stil in seiner vollsten Reife, die zarte Frühgotik, die pompöse Hochgotik und nicht minder die Spätgotik mit ihrem eigenartigen Nebeneinander von Nüchternheit und dekorativem Aufwand. Die meisten Denkmäler haben, abgesehen von modernen Zutaten, die ursprüngliche Einheit zu bewahren gewusst; das Basler Münster dagegen zeigt eine grosse Mannigfaltigkeit von Stilen, und trotzdem wirkt es künstlerisch viel einheitlicher als manches Denkmal, das sich „altertümliche“ Ergänzungen einer gelehrten aber ideenarmen Zeit gefallen lassen musste. Schon die denkbar herrlichste Lage auf der Pfalz hoch über dem mächtigen Bogen des Rheins bringt die baulichen Werte des Münsters in einer Weise zur Geltung, wie sie keinem andern Bauwerk der Schweiz gegönnt ist. Majestätisch, wie die universale Kirche des frühen Mittelalters, herrscht das romanische Langhaus (im Oberbau), das Querschiff mit seinen grossen ruhigen Flächen und edlen Verzierungen; eine seltene Raum- und Massenschönheit entfaltet der mehrseitige Chor, dessen plastische Verzierungen auch vom Prachtbedürfnis der Kirche eine Anschauung geben. Die gotischen Teile des XIV. Jahrhunderts (Kapellen an den Seitenschiffen, oberer Teil des Chors und Fassade) bringen die allmähliche Aufteilung der schweren Mauermaße und die Belegung der Fensterflächen durch das Linienspiel des Masswerkes. Und die schlanken Türme bieten in ihrem obern Abschluss trotz der ungleichwertigen Konstruktion doch den künstlerischen Reiz der eleganten Auflösung und der elastischen Bewegung. Allein ausser diesen stets anregenden Ansichten des Aeusseren und der mit Anmut verbundenen ehrwürdigen Pracht des Innern bietet das Basler Münster auch eine Fülle von interessanten Skulpturen, figürlichen wie auch schmückenden; auf diese, die den künstlerischen Geist der Architektur im Kleinen wiederholen, soll in den folgenden Zeilen hingewiesen werden.

Da der zur Verfügung stehende Raum eine eingehende Würdigung aller in Betracht kommenden Objekte verbietet, seien einige allgemeine Gesichtspunkte hervorgehoben und dabei auf die beigelegten Illustrationen verwiesen.

Die *romanische* Dekoration haben wir einmal im Langhaus, als Gesimse an einzelnen Pfeilern und hauptsächlich an den Emporen, zu suchen, wo zwischen den Zwergpfeilern je zwei Säulchenpaare den Kämpfer und darüber die Bogen tragen (Abb. 1). Wir finden sie aber auch an den Friesen der Krypta (Abb. 2 und 3), an Friesen und Kapitellen im Chorumgang sowie an seiner Aussenseite. Das Musterwerk des romanischen Stils ist aber die Galluspforte (Tafel 23). Etwa 1180 als Hauptportal an der Westfront des Münsters errichtet, kam sie nachträglich,

¹⁾ Vergl. unter Literatur auf Seite 274 dieser Nummer. Red.