Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 107/108 (1936)
Heft: 13

Artikel: Der Einfluss von Dampfräumen auf die Regulierung von Dampfturbinen
Autor: Weiss, Franz
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-48378

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 27.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

INHALT: Der Einfluss von Dampfräumen auf die Regulierung von Dampfturbinen. — Das Bürgerhaus in der Schweiz, Bd. XXVIII. — Ueber Trockentechnik in der Landwirtschaft. — Jahresversammlung des S.V.G.W. in Biel. — Mitteilungen: Eisenbahnbrücke über den grossen Wehrgraben bei Hallstatt. Zur Aufstellung von Hallers Waldmann-Denkmal. Wanderausstellung für Radfahrwege. Die Fundamente der neuen Strassenbrücke über die Waal bei Nymwegen. Die weitest gespannte Eisenbeton-Bogenbrücke. Das Projekt der rechtsufrigen Wallenseestrasse. Umbau im E.W. Wynau. Raumakustische Probleme. — Nekrologe: Heinrich Dorpmüller. D. Schindler-Huber. — Wettbewerbe: Neue Strassenbrücke über das Sittertobel («Kräzernbrücke») bei St. Gallen-Bruggen. Kirche in Clarens. — Literatur. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 108 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 13

Der Einfluss von Dampfräumen auf die Regulierung von Dampfturbinen

Von Ing. Dr. techn. FRANZ WEISS, Wien

Der Einfluss von dampfgefüllten Räumen auf den Regelvorgang wird untersucht, ein rechnerisches Verfahren zur Bestimmung der Drehzahlsteigerung angegeben und die Richtigkeit des Verfahrens durch Versuche überprüft.

Die Drehzahlsteigerung einer Dampfturbine bei Lastabschalten darf, wenn keine Störung im Betrieb eintreten soll, nicht zu gross werden. Bei ihrer Berechnung dürfen grosse Dampfräume, die z. B. bei grosser Entfernung der Regulierventile von der Turbine oder innerhalb des Turboaggregates bei langen Rohrleitungen vom Hochdruck- zum Niederdruckzylinder bei Zwischenüberhitzung entstehen, wegen der Arbeitsfähigkeit des Dampfes nicht vernachlässigt werden. Sie haben auch Einfluss auf die Stabilität der Regulierung. Ausserdem ist die Kenntnis des Druckverlaufes zwischen den einzelnen Stufen der Turbine bei Veränderung der Belastung zur Bestimmung des Druckunterschiedes bei der Berechnung der Festigkeit und Durchbiegung der Zwischenböden notwendig.

Grundbezeichnungen.

y = Abstand der augenblicklichen Muffenstellung von der neuen Gleichgewichtslage.

y_{max} = Ganzer Muffenhub entsprechend dem Ungleichförmigkeitsgrad des Reglers.

s = Abstand des Steuerschiebers aus der Mittellage.

s_{max} = Grösster Ausschlag des Steuerschiebers aus der Mittellage nach unten oder oben.

m = Augenblicklicher Abstand des Hilfsmotorkolbens von der neuen Gleichgewichtslage.

m_{max} = Ganzer Weg des Hilfsmotorkolbens von Leerlauf bis Vollast.

G = Der Ueberschuss der dem Dampfraum durch das Steuer-Ventil augenblicklich zufliessenden Dampfmenge über die zufliessende Dampfmenge Ga in der neuen Gleichgewichtslage.

G_1 = Der Ueberschuss der aus dem Dampfraum in die Turbine abfliessenden Dampfmenge über die durchströmende Dampfmenge Ga in der neuen Gleichgewichtslage.

G_0 = Dampfmenge, die dem Leerlauf entspricht.

G_{max} = Dampfmenge, die der Vollast entspricht.

p = Augenblicklicher Ueberdruck im Dampfraum über den Druck in der neuen Gleichgewichtslage.

p_{max} = Der Druck im Dampfraum, der der Vollast entspricht.

M = Die Differenz des augenblicklichen Kraftmomentes und des Kraftmomentes in der neuen Gleichgewichtslage.

M_{max} = Das Kraftmoment, das der Vollast entspricht.

$$\eta = \frac{y}{y_{max}}, \quad \sigma = \frac{s}{s_{max}}, \quad \mu = \frac{m}{m_{max}}, \quad \psi = \frac{p}{p_{max}}$$

$$\delta = \frac{\omega_0 - \omega_u}{\omega_m} = \text{Ungleichförmigkeitsgrad.}$$

$$\varphi = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} = \text{Geschwindigkeitsabweichung.}$$

T_a = Anlaufzeit der Turbine.

T_s = Schlusszeit des Hilfsmotors.

T_l = Anlaufzeit des Dampfraumes V.

$$\frac{G_0}{G_{max}} = L = \text{verhältnismässiger Leerlauf.}$$

Grundgleichungen.

Wenn kein Dampfraum vorhanden ist, gelten bei massenlosem Regler und starrer Rückführung bei mittelbarer Regelung folgende Gleichungen[1]):

Motorgleichung $\varphi' = \frac{\mu}{T_a}$ . . . . . (1)

Hilfsmotorgleichung a) $\mu' = \pm \frac{1}{T_s}$, b) $\mu' = \frac{\sigma}{T_s}$ . . (2)

Reglergleichung $\delta\eta + \varphi = 0$ . . . . . (3)

Steuergleichung $\sigma = \eta - \mu$ . . . . . (4)

Aus diesem System linearer Differentialgleichungen kann man bei vorgeschriebenen Anfangsbedingungen Lösungen errechnen und den Verlauf aller Grössen in Abhängigkeit von der Zeit bestimmen.

Die Motorgl. (1) gilt jedoch nicht, wenn Dampfräume vorhanden sind. Es soll nun der einfachste Fall eines Dampfraumes zwischen Steuerventil und Turbine untersucht werden. Weiter sei, der Einfachheit halber, reine Drosselregulierung und eine Kondensationsturbine vorausgesetzt. Aus der Bilanz zwischen den dem Dampfraum zu- und abströmenden Dampfmengen gewinnt man eine Bedingung für die Aenderung des Druckes im Dampfraum. Der Steuerprofilkegel sei so konstruiert, dass eine lineare Abhängigkeit zwischen der sekundlich zuströmenden Dampfmenge und dem Hilfsmotorhub besteht. Die sekundlich vom Dampfraum in die Turbine abströmende Dampfmenge ist bei einer Kondensationsturbine proportional dem Druck im Dampfraum. Wenn G_a die in der neuen Gleichgewichtslage sekundlich durchströmende Dampfmenge bezeichnet, so ist nach Abb. 1 die dem Dampfraum zufliessende Dampfmenge:

$$G_a + G = G_a + \frac{m}{m_{max}}(G_{max} - G_0) = G_a + \mu(G_{max} - G_0),$$

sofern der Druck im Dampfraum dem Druck bei Beharrungszustand entspricht. Während der Regulierung kann er aber von diesem abweichen; dann ändert sich die dem Dampfraum zufliessende Dampfmenge entsprechend. Bei Ueberschreiten der kritischen Geschwindigkeit im Steuerventil ist eine Aenderung des Druckes im Dampfraum ohne Einfluss auf die zufliessende Dampfmenge. Um den richtigen Wert für die zufliessende Dampfmenge zu erhalten, ist der obige Ausdruck mit einem, wie sich zeigen wird, nur wenig veränderlichen Faktor v zu multiplizieren, der während eines kleinen Zeitraumes als konstant angesehen werden kann. Wenn die kritische Geschwindigkeit erreicht ist, ist der Faktor $v = 1$. Die aus dem Dampfraum abfliessende Dampfmenge ist $G_a + kp$. Die Differenz der dem Dampfraum zu- und abfliessenden Dampfmenge gibt die sekundliche Zunahme ΔG an Dampfgewicht im Dampfraum. Es gilt daher folgende Gleichung:

$$[v\mu(G_{max} - G_0) - kp]\,dt = \Delta G\,dt = V\,d\gamma$$

Wir dürfen bei Drosselregulierung die Gültigkeit der isothermen Gasgleichung $\frac{p}{\gamma} = \text{const.}$ annehmen, d. h. $\frac{d\gamma}{\gamma_{max}} = \frac{dp}{p_{max}}$. Wird diese Beziehung eingesetzt und werden ausserdem die Grundbezeichnungen μ, ψ, T_l und L eingeführt, so lautet die Bedingungsgleichung für den Druck im Dampfraum:

$$v\mu(1 - L) - \psi = T_l\psi' \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1a)$$

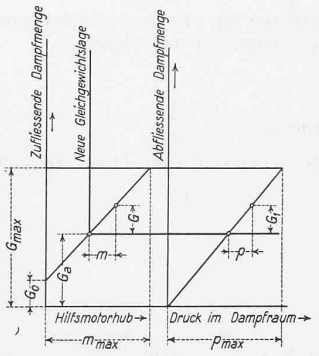

Abb. 1. Dem Dampfraum zufliessende Dampfmenge in Abhängigkeit vom Hilfsmotorhub und abfliessende Dampfmenge in Abhängigkeit vom Druck.

Der Ueberschuss $G_1 = kp$ (Abb. 1) der vom Dampfraum in die Turbine abströmenden Dampfmenge über G_a leistet die zu einer Drehzahlsteigerung notwendige Arbeit. Für das überschüssige Moment M ergibt sich, falls die Momentlinie zwischen Leerlauf und Vollast als linear angenommen wird entsprechend der Belastungslinie der Turbine:

$$G_1 = kp = \frac{G_{max} - G_0}{M_{max}} M$$

Andrerseits ist M der Winkelbeschleunigung $\vartheta = \omega_m\varphi'$ proportional:

$$\frac{M}{M_{max}} = \frac{\vartheta}{\vartheta_{max}},$$

oder, bei Einführung der Anlaufzeit $T_a = \frac{\omega_m}{\vartheta_{max}}$:

$$M = M_{max}\,T_a\frac{d\varphi}{dt}$$

Damit wird $kp = (G_{max} - G_0)\,T_a\varphi'$, oder:

$$\psi = (1 - L)\,T_a\varphi' \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1b)$$

Man erhält daher statt der Motorgl. (1) die zwei Gl. (1a) und (1b) und hiemit, wenn v konstant ist, ein System linearer Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten.

[1]) Vergl. Tolle. Regelung der Kraftmaschinen, 5. Aufl., S. 756 bis 763.

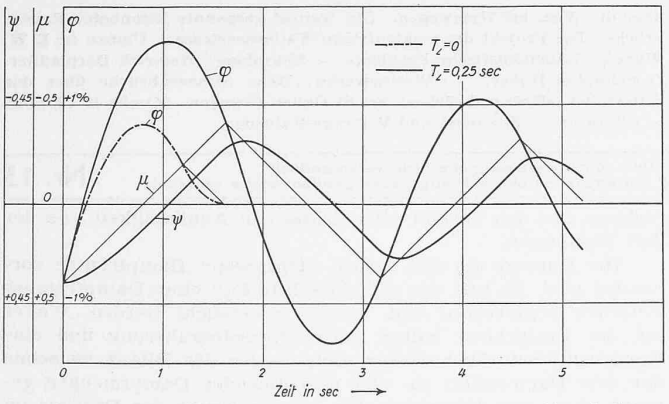

Abb. 2. Zeitlicher Verlauf der Aenderung von μ, ψ und φ mit und ohne Dampfraum bei $\mu' = \pm \frac{1}{T_s}$

Es ist leicht möglich, die gleichen Ueberlegungen auf ähnliche Fälle auszudehnen. So gilt z. B. die Gl. (1a) auch für einen Dampfraum zwischen Hoch- und Niederdruckteil einer Turbine, wobei meistens $v = 1$ gesetzt werden kann, da die Rückwirkung einer Druckänderung innerhalb der Turbine auf den Druck hinter dem Regulierventil gering ist. Für die Berechnung der Drehzahl-Steigerung kann man folgendermassen vorgehen. Es bedeuten G und G_1 wieder die dem Dampfraum zufliessende, bezw. die aus ihm abfliessende Dampfmenge. Ohne Dampfraum wäre das überschüssige Moment

$$M = G \frac{M_{max}}{G_{max} - G_0}$$

Wegen des Dampfraums entladet sich die zusätzliche Dampfmenge $G_1 - G$ durch den ND-Teil der Turbine und erzeugt ein zusätzliches Drehmoment ΔM. Man kann annehmen, dass der Wirkungsgrad und das Gefälle der ganzen Turbine trotz der zusätzlichen Dampfmenge nahezu unverändert bleiben. Wenn die auf den Niederdruckteil der Turbine bezüglichen Grössen mit dem Index ND bezeichnet werden, so ist

$$\Delta M = (G_1 - G) \frac{M_{max\,ND}}{G_{max} - G_{0\,ND}}, \text{ und das gesamte Moment}$$

$$M + \Delta M = \frac{G}{G_{max}} \frac{M_{max}}{(1 - L)} + \frac{G_1}{G_{max}} \frac{M_{max\,ND}}{(1 - L_{ND})} - \frac{G}{G_{max}} \frac{M_{max\,ND}}{(1 - L_{ND})} = M_{max}\, T_a\, \varphi',$$

wenn wieder $\frac{G_0}{G_{max}}$ mit L und $\frac{G_{0ND}}{G_{max}}$ mit L_{ND} bezeichnet wird. Wenn man den Quotienten $\frac{M_{max\,ND}}{M_{max}}$ mit β bezeichnet und ausserdem noch die Grössen μ und ψ einführt, so lautet die Differentialgleichung:

$$\mu \left[\frac{1}{1 - L} - \frac{1}{1 - L_{ND}} \beta \right] + \psi \frac{\beta}{1 - L_{ND}} = T_a\, \varphi' \qquad (1c)$$

Diese Gleichung tritt an die Stelle der Gl. (1b) bei einem Dampfraum zwischen Hoch- und Niederdruckteil der Turbine.

Lösung der Grundgleichung.

a) *Lösung bei der Annahme* $\mu' = \pm \frac{1}{T_s}$

Die Lösung des Systems der Differentialgl. (1a), (1b), (2a), ist

$$\mu = \lambda \pm \frac{t}{T_s}$$

$$\psi = C e^{-\frac{t}{T_l}} + a + b t$$

$$\varphi = \frac{1}{1 - L} \frac{1}{T_a} \left(a t + \frac{b}{l} t^2 - C T_l e^{-\frac{t}{T_l}} + C T_l \right) + \varphi_0 = -\delta\eta,$$

mit

$$a = v \left(\lambda \mp \frac{T_l}{T_s} \right) (1 - L),\ b = \pm \frac{v}{T_s} (1 - L),\ C = v \lambda (1 - L) - a$$

In Abb. 2 ist die Wirkung des Dampfraumes an einem Beispiel bei der Annahme $v = 1$ gezeigt. Beim Schnittpunkt der Motorgeraden μ mit der (in $1/\delta$ mal grösserem Masstab gezeichneten) φ-Linie wechselt das Vorzeichen in der Gleichung der Motorgeraden. Die Zahlenwerte des Beispiels sind folgende:

$$T_s = 2 \text{ sec},\ T_a = 10 \text{ sec},\ T_l = 0{,}25 \text{ sec}$$

$$\lambda = 0{,}4,\ \delta = 2\,\%,\ L = 10\,\%$$

Die Kurve für ψ ist die Summe einer Geraden und einer Exponentialkurve. Die Masstäbe sind so gewählt, dass alle Kurven vom gleichen Anfangspunkt ausgehen, d. h. der Masstab für μ verhält sich zum Masstab für ψ wie $(1 - L)$. Die Neigung der Geraden, der sich die Kurve für ψ asymptotisch nähert, ist (dank der Wahl des Masstabes) parallel zur Motorgeraden, da $b = \pm \frac{1}{T_s} (1 - L)$.

Die Asymptoten der ψ-Kurven sind um $\frac{T_l}{T_s}$ gegen die Motorgeraden verschoben, da

$$a = \left(\lambda \pm \frac{T_l}{T_s} \right) \times (1 - L).$$

Die φ-Kurven sind die Summe einer Parabel und einer Exponentialkurve.

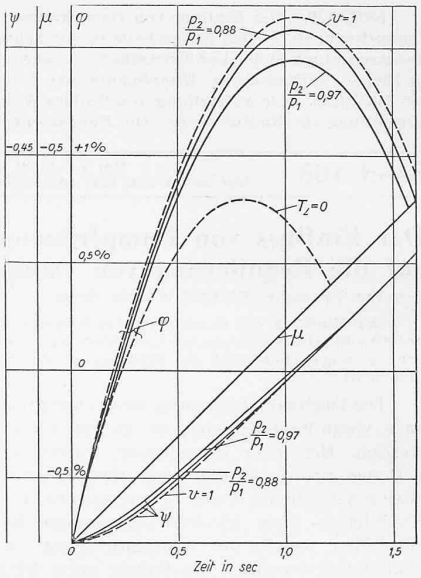

Abb. 3. Einfluss des Faktors v auf die ψ- und φ-Kurve.

Die Parabeln sind für alle Perioden gleich. Man ersieht aus Abb. 2, dass die Stabilität der Regulierung durch den Dampfraum wesentlich verschlechtert wird. Die Regulierung kann auch unstabil werden, wenn φ_{max} der zweiten Periode grösser wird als φ_{max} der ersten Periode.

Um den Einfluss des Faktors v zu zeigen, ist in Abb. 3 der Verlauf der ψ und φ-Kurven bei verschiedenem Druckverhältnis $\frac{p_2}{p_1}$ (p_1 Frischdampfdruck, p_2 Druck hinter dem Regulierventil bei Beginn der Regulierung) gezeichnet, $v = 1$ entspricht dem kritischen Druckverhältnis. Der Faktor v wurde dabei für kleine Zeitabschnitte konstant angenommen und nach der Formel von Bendemann als Funktion von $\frac{p_2}{p_1}$ errechnet. Die Abb. 3 zeigt, dass der Einfluss des Faktors v umso geringer ist, je mehr sich das Druckverhältnis $\frac{p_2}{p_1}$ im Anfangspunkt dem kritischen Druck-Verhältnis, bei dem $v = 1$, nähert. Damit man v als konstant annehmen kann, darf weder T_l zu gross, noch das Druckverhältnis $\frac{p_2}{p_1}$ im Anfangspunkt zu weit vom kritischen Druckverhältnis entfernt sein. Die ψ-Kurven haben bei gleichem T_l und verschiedenem $\frac{p_2}{p_1}$ die gleiche Asymptote.

b) *Lösungen bei der Annahme* $\mu' = \frac{\sigma}{T_s}$

Bei der Annahme $v = 1$ erhält man durch Substituieren folgende lineare Differentialgleichung dritten Grades für φ:

$$T_s\, T_a\, T_l\, \varphi''' + T_a (T_s + T_l)\, \varphi'' + T_a\, \varphi' + \frac{\varphi}{\delta} = 0$$

Dies ergibt die charakteristische Gleichung

$$T_s\, T_a\, T_l\, w^3 + T_a (T_s + T_l)\, w^2 + T_a\, w + \frac{1}{\delta} = 0$$

Die Stabilitätsbedingung lautet daher

$$T_a (T_s + T_l) > \frac{T_l T_s}{\delta}$$

oder, wenn man die Zeitverhältnisse $\tau_a = \frac{T_a}{T_s}$, $\tau_l = \frac{T_l}{T_s}$ einführt,

$$\tau_a (1 + \tau_l) > \frac{\tau_l}{\delta}$$

Man ersieht daraus, dass die Stabilität nicht mehr bei jedem positiven δ vorhanden sein muss, sie verlangt ein mit wachsendem τ_l wachsendes Produkt $\delta \tau_a$. Die Lösungen für μ, ψ und φ lauten:

$$\mu = C_{1\mu}\, e^{w_1 t} + e^{pt} (C_{2\mu} \cos qt + C_{3\mu} \sin qt)$$

$$\psi = C_{1\psi}\, e^{w_1 t} + e^{pt} (C_{2\psi} \cos qt + C_{3\psi} \sin qt)$$

$$\varphi = C_{1\varphi}\, e^{w_1 t} + e^{pt} (C_{2\varphi} \cos qt + C_{3\varphi} \sin qt)$$

wenn die charakteristische Gleichung eine reelle Wurzel w_1 und die konjugiert komplexen Wurzeln $p \pm qi$ hat.

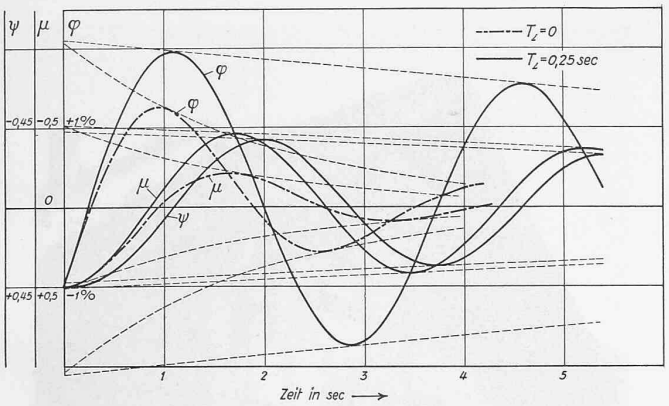

Abb. 4. Zeitlicher Verlauf der Aenderung von μ, ψ und φ mit und ohne Dampfraum bei $\mu' = \frac{\sigma}{T_s}$

Zwischen den Konstanten C_φ, C_ψ und C_μ bestehen folgende Beziehungen:

$$C_{1\psi} = (1 - L)\, T_a\, w_1\, C_{1\varphi}$$
$$C_{2\psi} = (1 - L)\, T_a\, (p\, C_{2\varphi} + q\, C_{3\varphi})$$
$$C_{3\psi} = (1 - L)\, T_a\, (p\, C_{2\varphi} - q\, C_{3\varphi})$$
$$C_{1\mu} = \frac{1}{1 - L}\, (1 + T_l\, w_1)\, C_{1\psi}$$
$$C_{2\mu} = \frac{1}{1 - L}\, [C_{2\psi}\, (1 + T_l p) + T_l q\, C_{3\psi}]$$
$$C_{3\mu} = \frac{1}{1 - L}\, [C_{2\psi}\, (1 - T_l p) - T_l q\, C_{3\psi}]$$

Ausserdem die Anfangsbedingungen:

$$C_{1\varphi} + C_{2\varphi} = -\lambda\, \delta$$
$$C_{1\psi} + C_{2\psi} = \lambda\, (1 - L)$$
$$C_{1\mu} + C_{2\mu} = \lambda$$

Aus diesen Gleichungen sind die Konstanten C_μ, C_ψ, C_φ berechenbar.

In Abb. 4 ist an einem Beispiel die Wirkung des Dampfraumes, insbesondere die schlechtere Stabilität der Regulierung, bei der Annahme $\mu' = \frac{\sigma}{Ts}$ gezeigt. Die Zahlenwerte des Beispieles sind folgende:

$$T_s = 1 \text{ sec}, \quad T_a = 10 \text{ sec}, \quad T_l = 0{,}25 \text{ sec}$$
$$\lambda = 0{,}4, \quad \delta = 2{,}5\,\%, \quad L = 10\,\%$$

Versuche.

Die Versuche zur Ueberprüfung der theoretisch gewonnenen Ergebnisse wurden an der Turbine des Versuchslaboratoriums der Technischen Hochschule in Wien vorgenommen. Die Turbine ist eine Gegendruckturbine mit einem Gegendruck von 1,25 ata und 21 ata Frischdampfdruck. Das Schema der Steuerung zeigt Abb. 5. In Abb. 6 ist die Charakteristik des Reglers dargestellt. Der Dampfinhalt der Turbine ist sehr klein, die Rohrleitung vom Regulierventil bis zur Turbine wegen besonderer Anordnung zu andern Versuchszwecken sehr lang, mit einem gesamten Volumen zwischen Ventil und erster Düsengruppe von 93 500 cm³. Es ist reine Drosselregulierung vorhanden. Bei den Versuchen wurde die Turbine, deren Generator durch einen Wasserwiderstand belastet war, durch plötzliches Abschalten des Schalters vollkommen entlastet und dabei die Manometer, der Hilfsmotorhub und eine Uhr kinematographisch aufgenommen. Die Aufnahme der Drehzahl erfolgte durch einen Tachographen. Ausserdem wurden im Beharrungszustand bei verschiedenen Hilfsmotorhüben die Dampfmengen gemessen, Abb. 6. Das Schwungmoment der Turbine und Kupplungen wurde auf rechnerischem Weg, das des Generators durch Auslaufversuche ermittelt. Das gesamte Trägheitsmoment J ergab sich zu 614,3 kgcmsec². Zur Ueberprüfung der Gleichung (1a) kann man aus ihr auf Grund der aufgenommenen Kurve des Hilfsmotorhubes in Funktion der Zeit die Kurve errechnen, die die Abhängigkeit des Druckes von der Zeit angibt, und mit der experimentell festgestellten Kurve vergleichen. Dabei ist zu beachten, dass, wenn das Regulierventil auf den Sitz geht, die zuströmende Dampfmenge eine der Undichtheit des Ventils entsprechende Konstante ist. Bei vollkommener Entlastung von einer grösseren Last ist dies meistens der Fall, und auch bei den Versuchen ging das Regulierventil immer bis zum Sitz. Zur Ueberprüfung der Gleichung (1b) kann man von der gemessenen Kurve bes Druckes im Dampfraum ausgehen und die durch Integration ermittelte Steigerung der Drehzahl mit der beobachteten vergleichen. Dabei ist $T_a = \frac{J\omega_{\text{mittel}}\, \omega_{\min}}{L_{\max}}$ falls man, wie es in der Praxis üblich ist, die Drehzahlerhöhung auf die Drehzahl zu Beginn der Entlastung bezieht.

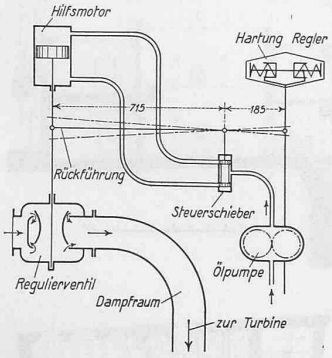

Abb. 5. Schema der Steuerung.

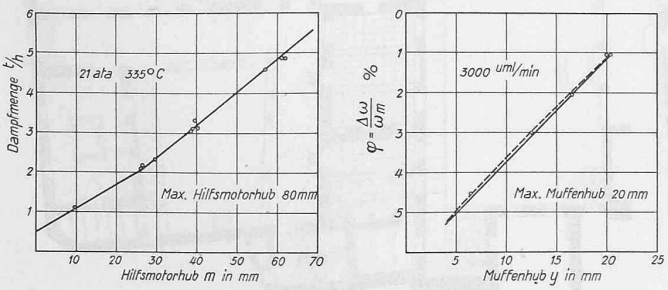

Abb. 6. Dampfmenge als Funktion des Hilfsmotorhubes. Charakteristik des Reglers.

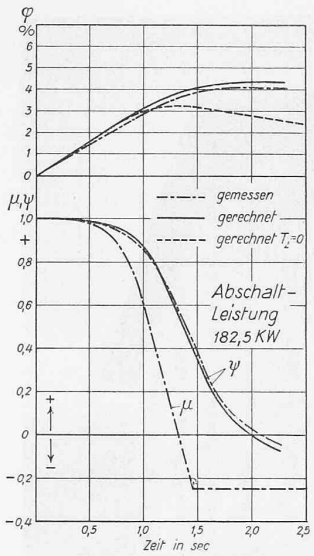

Abb. 7. Zeitlicher Verlauf der Aenderung von μ, ψ und φ nach Rechnung und Versuch bei einer Abschaltleistung von 182,5 kW.

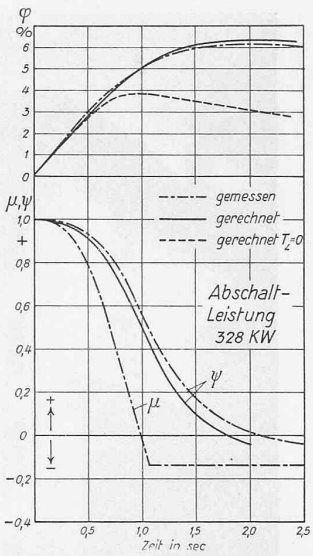

Abb. 8. Zeitlicher Verlauf der Aenderung von μ, φ und φ nach Rechnung und Versuch bei einer Abschaltleistung von 328 kW.

Die Abb. 7 und 8 zeigen das Ergebnis von zwei Versuchen, und zwar bei Abschalten einer Leistung von 182,5 kW und 328 kW. In den Abbildungen sind die Werte μ, ψ und φ eingetragen, wie sie die Messungen ergaben, ausgehend von den Anfangswerten $\mu = 1$, $\psi = 1$ und $\varphi = 0$. Die aus den Messwerten von μ errechnete ψ-Kurve und die aus den Messwerten von ψ errechnete φ-Kurve sind ebenfalls eingetragen. Ausserdem ist noch die φ-Kurve dargestellt, die sich aus der Kurve für μ ohne Berücksichtigung des Dampfraumes ergibt. Es wurde von den Kurven der Teil bis zur Erreichung der grössten Drehzahl herausgegriffen, da dieser die Unterschiede am deutlichsten zeigt und auch für die Praxis am wichtigsten ist. Die errechneten Kurven stimmen unter Berücksichtigung der Versuchsgenauigkeit mit den gemessenen Kurven sehr gut überein, während die Kurve für φ, die ohne Berücksichtigung des Dampfraumes gezeichnet ist, ein ganz verschiedenes Bild ergibt. Der Dampfraum darf daher in ähnlichen Fällen nicht vernachlässigt werden.

Zusammenfassung.

Es zeigt sich, dass bei grössern Dampfräumen die Wirkung des Dampfraumes auf die Drehzahlsteigerung nicht mehr vernachlässigt werden darf. Statt der Motorgleichung (1) sind die neuen Gl. (1a), (1b) oder (1c) für die Regulierung massgebend, die Stabilität der Regulierung ist auch von der Grösse des Dampfraumes abhängig. Die Versuche stehen in guter Uebereinstimmung mit den theoretisch gefundenen Resultaten.