

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: 12.02.2026

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

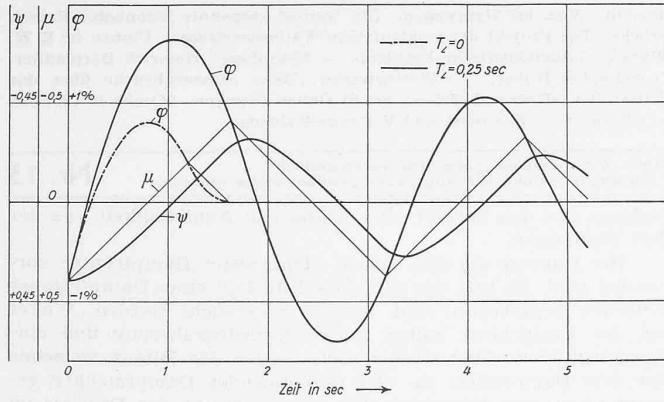


Abb. 2. Zeitlicher Verlauf der Änderung von μ , ψ und φ mit und ohne Dampfraum bei $\mu' = \pm \frac{1}{T_s}$

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 Drehzahlsteigerung kann man folgendermassen vorgehen. Es bedeuten G und G_1 wieder die dem Dampfraum zufließende, bzw. die aus ihm abfließende Dampfmenge. Ohne Dampfraum wäre das überschüssige Moment

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

Wegen des Dampfraums entlädt 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 $\frac{G_0 ND}{G_{\max}}$ 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:

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

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

Lösung der Grundgleichung.

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

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

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

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

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

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 Massstab 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 Massstäbe sind so gewählt, dass alle Kur-

ven vom gleichen Anfangspunkt ausgehen, d.h. der Massstab für μ verhält sich zum Massstab für ψ wie $(1 - L)$. Die Neigung der Geraden, der sich die Kurve für ψ asymptotisch nähert, ist (dank der Wahl des Massstabes) 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.

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 Zeitschnitte 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 Druckverhältnis, 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.

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

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 $p \pm q_i$ hat.

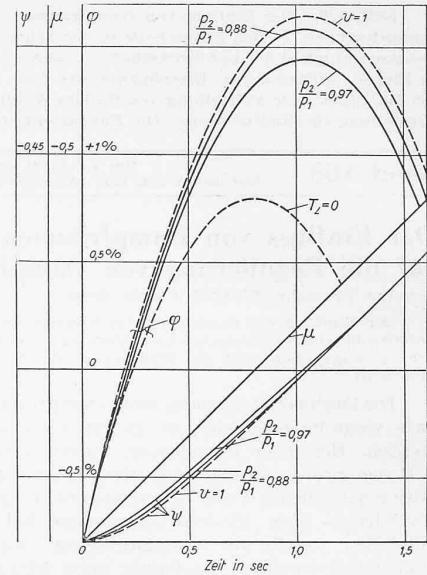


Abb. 3. Einfluss des Faktors v auf die ψ - und φ -Kurve.

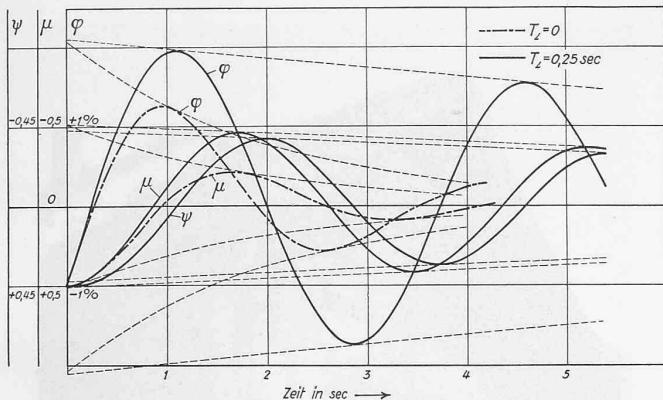


Abb. 4. Zeitlicher Verlauf der Änderung von μ , ψ und φ mit und ohne Dampfraum bei $\mu' = \frac{\sigma}{T_s}$

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

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

Ausserdem die Anfangsbedingungen:

$$\begin{aligned} C_{1\varphi} + C_{2\varphi} &= -\lambda \delta \\ C_{1\varphi} + C_{2\varphi} &= \lambda (1 - L) \\ C_{1\mu} + C_{2\mu} &= \lambda \end{aligned}$$

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

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

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

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 Ver-

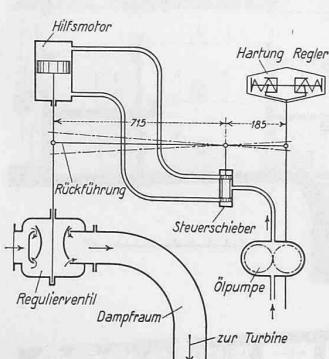


Abb. 5. Schema der Steuerung.

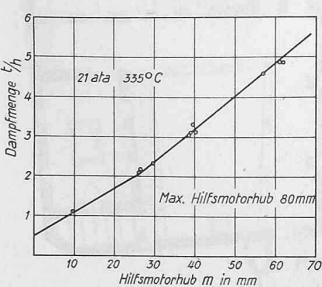


Abb. 6. Dampfmenge als Funktion des Hilfsmotorhubes. Charakteristik des Reglers.

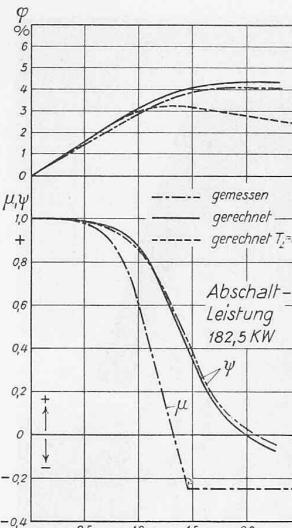


Abb. 7. Zeitlicher Verlauf der Änderung von μ , ψ und φ nach Rechnung und Versuch bei einer Abschaltleistung von 182,5 kW.

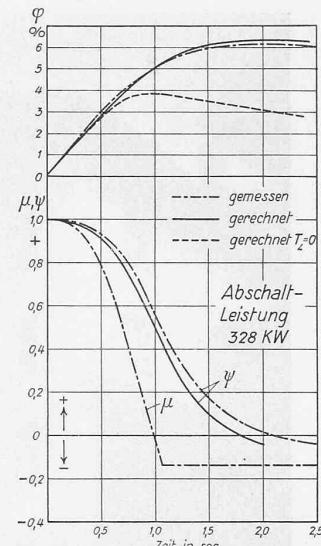


Abb. 8. Zeitlicher Verlauf der Änderung von μ , ψ und φ nach Rechnung und Versuch bei einer Abschaltleistung von 328 kW.

suchen 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 Unidichtheit des Ventils entsprechende Konstante ist. Bei vollkommenem 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 des Druckes im Dampfraum ausgehen und die durch Integration ermittelte Steigerung der Drehzahl mit der beobachteten vergleichen. Dabei ist $T_a = \frac{J \omega_{\text{mittel}} \omega_{\text{min}}}{L_{\text{max}}}$ falls man, wie es in der Praxis üblich ist, die Drehzahlerhöhung auf die Drehzahl zu Beginn der Entlastung bezieht.

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 grösseren Dampfräumen die Wirkung des Dampfräumes 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 Dampfräumes abhängig. Die Versuche stehen in guter Uebereinstimmung mit den theoretisch gefundenen Resultaten.