

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 119/120 (1942)  
**Heft:** 15

## Inhaltsverzeichnis

### 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:** 09.01.2026

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

INHALT: Reglerschwingungen und schiefwinklige Vektor-Diagramme. — Eine neue Form aufgelöster Staumauern. — Clubhütten des Schweizer Alpenclub. — Ein Verkehrshaus der Schweiz in Zürich. — Kohlennot und Einschränkung des Zementverbrauchs. — Mitteilungen:

«Hochwege» in den Schweizer Bergen (Plan Tanner). Von der Transsahara-Bahn. «U-Boot-Unterstände». — Wettbewerbe: Strassenbrücke Sulgenbach-Kirchenfeld über die Aare in Bern. — Nekrolog: Alfred Victor Ochsner. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Vortragskalender.

## Reglerschwingungen und schiefwinklige Vektor-Diagramme

Von Dipl. Ing. ALBERT LÜTHI, Zürich

Die rechnerische Behandlung von Reglerproblemen führt, wenn von Diskontinuitäten, wie Reibungen und toten Spielen, abgesehen wird und gegebenenfalls nur kleine Abweichungen von einem Gleichgewichts-, bzw. Bezugszustand untersucht werden, auf lineare homogene Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten. Es sei einleitend für einen einfachen Fall eine solche Gleichung hergeleitet. Gegeben sei eine in Abb. 1 schematisch dargestellte Turbine mit mittelbar wirkendem Drehzahlregler;  $T$  ist die Turbine,  $G$  der Generator.

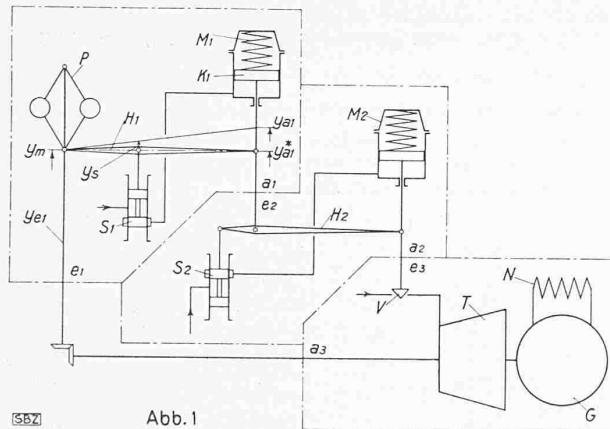


Abb. 1

Wir unterscheiden verschiedene «Glieder», die wir mit strichpunktierten Linien umsäumt haben. Deren erstes besteht u. a. aus einem Drehzahlpendel  $P$  und einem Steuerschieber  $S_1$ , der den Oelfluss von und zu einem Servomotor  $M_1$  beherrscht. Ein Rückführhebel  $H_1$  sei an der Muffe des Pendels, am Steuerschieber und an der Stange des federbelasteten Servokolbens  $K_1$  angelehnt. Das Pendel sei stabil, reibungs- und trägeheitslos; dann entspricht innerhalb des Hubbereiches der Muffe jeder Drehzahl eine Muffenstellung. Können die Rückwirkungen des zweiten Gliedes im Vergleich zu den Stellkräften des Kolbens  $K_1$  vernachlässigt werden, so entspricht jeder «festen» Muffenstellung eine «feste» Stellung des Servokolbens. Unter «fest» verstehen wir, dass die Muffe, bzw. der Kolben im Moment der Betrachtung und schon lange Zeit vorher bewegungsfest waren. Bewegt sich die Muffe, so weicht der Steuerschieber von seiner Mittellage ab und der Kolben  $K_1$  gerät in Bewegung. Wir sprechen dann von flüchtigen Stellungen und Hüben, die nur durch Momentanmessungen festgestellt werden können. Im folgenden seien  $y_{e1}$ ,  $y_m$ ,  $y_s$ ,  $y_{a1}$  die flüchtigen kleinen Abweichungen der Pendeldrehzahl, des Muffen-, Schieber- bzw. Kolbenhubes,  $y_{e1}^*$ ,  $y_m^*$ ,  $y_{a1}^*$  dagegen die entsprechenden festen Abweichungen von einer festen Bezugssstellung. Aus Abb. 1 folgt dann, dass die Schieberabweichung  $y_s$  proportional  $y_{a1} - y_{a1}^*$  ist. Ferner sei die Servokolbengeschwindigkeit  $\dot{y}_{a1}$  proportional  $y_s$ . Dann folgt, wenn  $Z_1$  eine positive Konstante ist:

$$-Z_1 \dot{y}_{a1} = y_{a1} - y_{a1}^*$$

Nun ist, da für feste Abweichungen der Steuerschieber in Mittellage steht und daher der Hebel  $H_1$  beim Übergang in eine andere Stellung um einen festen Punkt der Schieberaxe gedreht wird,  $y_{a1}^*$  proportional  $y_m^*$ . Ferner ist mit Rücksicht auf die das Pendel betreffenden Voraussetzungen und unter Annahme, dass die Rückwirkungen des Hebels  $H_1$  auf die Pendelmuffe vernachlässigt werden können,  $y_m^* = y_m = \text{Konstante } y_e$ <sup>1)</sup>. Hieraus folgt

$$c'_{11} y_{a1}^* = y_{e1}$$

<sup>1)</sup> Besteht zwischen  $y_e$  und  $y_m$  keine lineare Beziehung, so ersetzen wir näherungsweise, wie üblich, die Kurve der Beziehung zwischen beiden Größen durch deren Tangente im Bezugspunkte. Hiervon machen wir ständig Gebrauch ohne darauf zurückzukommen. Die Berechtigung hierzu schöpfen wir unter Beschränkung auf genügend kleine Abweichungen aus dem Reihenentwicklungssatz von Taylor.

wobei  $c'_{11}$  eine negative Konstante ist. Aus den obigen zwei Gleichungen folgt schliesslich die Bewegungsgleichung des ersten Gliedes:

$$y_{e1} = c'_{11} (Z_1 y_{a1} + y_{a1}^*) \dots \dots \dots \quad (1)$$

Hierin hat die Konstante  $Z_1$  die Dimension einer Zeit, da andernfalls die rechtsseitige Klammer unhomogen wäre. Die reelle Konstante  $c'_{11}$  nennen wir «feste» Uebersetzung, da für feste Abweichungen  $y_{a1}^*$  verschwindet und daher das «Hebelgesetz»  $y_{e1}^* = c'_{11} y_{a1}^*$  gilt.

Übergehend zum zweiten Gliede mit dem Steuerschieber  $S_2$ , dem Servomotor  $M_2$  und dem Rückführhebel  $H_2$ , erkennt man die gleichen Gesetzmässigkeiten wie beim ersten Gliede. Wieder soll die Rückwirkung des dritten Gliedes, genauer, des Turbinen-Einlassventiles  $V$ , gegenüber der Stellkraft des Servomotors  $M_2$ , vernachlässigt sein. Man erhält die Bewegungsgleichung:

$$y_{e2} = c'_{22} (Z_2 y_{a2} + y_{a2}^*) \dots \dots \dots \quad (2)$$

Die Konstante  $c'_{22}$  ist infolge der anderen Schieberanordnung diesmal positiv. Wir betrachten schliesslich das letzte Glied bestehend aus der Turbine  $T$  mit Einlassventil  $V$ , Generator  $G$  und Netz  $N$ . Der dem Turbinenrotor zugeführte Leistungsüberschuss  $\Delta L_e$  sei proportional der flüchtigen Ventilhubabweichung  $y_{e3}$ . Das heisst es sei  $\Delta L_e = k_e y_{e3}$ . Der vom elektrischen Netze aufgenommene Leistungsüberschuss sei proportional der flüchtigen Drehzahlabweichung  $y_{a3}$ , d. h. es gelte  $\Delta L_a = k_a y_{a3}$ . Für die Beschleunigung  $\dot{y}_{a3}$  des Rotors lässt sich dann schreiben:

$$Z_b \ddot{y}_{a3} = \Delta L_e - \Delta L_a = k_e y_{e3} - k_a y_{a3} \dots \dots \quad (3v)$$

oder wenn wir setzen:

$$Z_b \frac{1}{k_a} = Z_3, \quad \text{und} \quad c'_{33} = \frac{k_a}{k_e}$$

$$y_{e3} = c'_{33} (Z_3 \dot{y}_{a3} + y_{a3}) \dots \dots \dots \quad (3)$$

Hält man den Eingang der Glieder in der Bezugssstellung fest, wobei  $y_{eg} = 0$  ( $g = 1, 2, 3$ ) zu setzen ist, so ist der Ausgang dennoch einer «Eigenbewegung» fähig, denn die verbleibende homogene Gleichung hat die Lösung:

$$-\frac{z}{Z_g}$$

$$y_{ag} = a e$$

wobei  $e$  die Basis der natürlichen Logarithmen ist.  $Z_g$  ist daher die Zeit, die verstreicht, bis eine Auslenkung  $y_{ag}$  auf den  $e$ -ten Teil abgeklungen ist. Wir nennen sie «Folgezeit», da sie darüber Auskunft gibt, wie rasch der Ausgang den Bewegungen des Einganges folgt. Für  $Z_1$  und  $Z_2$  sind die Ausdrücke Schluss- oder Stellzeit gebräuchlich. Nun seien  $Y_{eg}$  und  $Y_{ag}$  die Masse, die die Bezugssstellung festlegen. Teilen wir die Gleichungen 1, 2, 3 beidseitig durch  $Y_{eg}$  und klammern rechts  $Y_{ag}$  aus, so erhalten wir das Gleichungssystem:

$$x_{eg} = c_g (Z_g \dot{x}_{ag} + x_{ag}) \quad g = 1, 2, 3 \dots \dots \quad (4)$$

Hierin ist  $c_g = c'_{gg} Y_{ag} / Y_{eg}$  eine dimensionslose Konstante. Auch die Größen  $x_{eg} = y_{eg} / Y_{eg}$ ,  $x_{ag} = y_{ag} / Y_{ag}$  sind dimensionslos. Wir nennen sie, wie üblich, «bezogene Abweichungen». Ergänzen wir die Gleichungen (3a) durch die Bedingungen  $x_{a1} = x_{e2}$ ,  $x_{a2} = x_{e3}$ ,  $x_{a3} = x_{e1}$  und eliminieren die überzähligen Unbekannten, so erhalten wir die Regulier-Differentialgleichung dritter Ordnung mit:

$$a_0 x_{e1} + a_1 \dot{x}_{e1} + a_2 \ddot{x}_{e1} + a_3 \dddot{x}_{e1} = 0 \dots \dots \quad (5)$$

$$a_0 = 1 - \frac{1}{c_1 c_2 c_3}$$

$$a_1 = Z_1 + Z_2 + Z_3$$

$$a_2 = Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3$$

$$a_3 = Z_1 Z_2 Z_3$$

wobei die Punkte Ableitungen nach der Zeit bedeuten. Man bemerkt sofort, dass die Koeffizienten dieser Gleichung symmetrische Funktionen der Konstanten der Glieder sind. Es ist daher für den zeitlichen Verlauf der Abweichungen gleichgültig, in welcher Reihenfolge drei gegebene Zeitgrössen als Folgezeiten oder drei dimensionslose Grössen als Konstante auf die Glieder verteilt werden.

Wir nennen eine Anordnung von Gliedern nach Abb. 1, wo ein Glied an das andere gereiht ist und schliesslich das letzte