

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 21/22 (1893)
Heft: 17

Inhaltsverzeichnis

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.01.2025

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

INHALT: Ueber die Regulierung von Turbinen. I. — Die Vollendung des Gotthardbahnnetzes. — Die Bauten der schweiz. Landesausstellung in Genf 1896. — Aus der Baugeschichte der Stadt Luzern. II. — Miscellanea: Neue Strassenbrücke über den Neckar zwischen Stuttgart und Cannstatt. Elektrische Strassenbahnen. Ueber die mutmass-

liche Dauer der eisernen Brücken. Neue Schnellzuglokomotive der englischen Nordbahn. Neubau des bayerischen Nationalmuseums in München. Internationale Ausstellung in Tasmania. — Litteratur: Festschrift. Die Theorie der Beobachtungsfehler und die Methode der kleinsten Quadrate. — Hierzu eine Tafel: Die Vollendung des G.-B.-Netzes.

Ueber die Regulierung von Turbinen.

Von *Aurel Stodola*, Professor am eidg. Polytechnikum in Zürich.

I.

Das Problem der Regulierung wurde bisher vielfach behandelt, indessen vorwiegend in Anwendung auf Dampfmaschinen oder auf die dynamischen Verhältnisse des Regulators selbst. In den grundlegenden Arbeiten von Kargl (Civil-Ingenieur 1871—73), Wischnegradsky (Civil-Ing. 1877), Grashof (Theoret. Maschinenlehre) und anderer ist die sogenannte schädliche Massenwirkung des Regulators in erschöpfender Weise untersucht und in Bezug auf diesen schwierigen Gegenstand vollständige Klarheit geschaffen worden. Man kann heute das Regulatorproblem als erledigt betrachten, umso mehr, als seither auch die Praxis eine Anzahl von Typen geschaffen hat, denen man eine fast ideale Vollkommenheit zusprechen muss, d. h. welche so gut wie frei von Massenwirkung sind. Man weiss, dass es um diesen Zweck zu erreichen, notwendig ist, die Energie des Regulators nach Möglichkeit zu steigern und gleichzeitig die Masse desselben nach Möglichkeit zu reducieren. Auch ist es im allgemeinen vorteilhaft, eine Oelbremse zu verwenden. Die meisten modernen, raschlaufenden Federregulatoren entsprechen obiger Forderung, und wir können deshalb, um die folgende Untersuchung zu vereinfachen, einen idealen Regulator mit unendlich grosser Energie voraussetzen, welcher somit auf jede Geschwindigkeitsänderung des Motors momentan reagiert, d. h. momentan jene Lage einnimmt, welche im Beharrungszustande seinem Gleichgewichte entspricht.

Für die Turbinenregulierung kommen nun, neben der Forderung eines an sich möglichst vollkommenen Regulators, die nachstehenden zwei Hauptmomente in Betracht:

1. es ist im allgemeinen zur Verstellung des Steuer- oder Absperrorgans eine bedeutende Kraft erforderlich;
2. es übt jede Veränderung des Abflusses auf die in Bewegung befindliche Wassermasse der Zuleitung eine Rückwirkung aus, die sich in Druckschwankungen kundgibt.

Der erste Umstand hat zur Anwendung der indirekten Zustellung unter Zuhilfenahme eines Farcot'schen „Servomotors“ oder eines mechanischen Relais geführt, welche bekannten Auslösemechanismen die Energie des Regulators in indirekter Weise beliebig zu steigern, also einen beliebig grossen Widerstand zu überwinden gestatten. Dem zweiten, insbesondere für Hochdruckturbinen wichtigen Moment, suchte man durch schwere Schwungräder, in die Zuleitung eingebaute Windkessel, grosse Leitungsdurchmesser etc. Rechnung zu tragen. Es mangelt indessen bis jetzt jeder Anhaltspunkt, um beurteilen zu können, ob und unter welchen Umständen der angestrebte Zweck: Vermeidung der Druckschwankung mit den genannten Mitteln erreichbar ist. Es soll deshalb die Aufstellung eines hierfür geeigneten Kriteriums die Hauptaufgabe der nachfolgenden Untersuchung bilden.

Es werde hiebei eine Aktions-Turbine vorausgesetzt, bei welcher die Regulierung durch stetige Aenderung des Leitkanalquerschnittes erfolgt, so dass man die ausströmende Wassermenge dem Querschnitt einfach proportional setzen kann. Fast vollkommen wird dieser Voraussetzung entsprochen bei Turbinen mit einem einzigen Leitkanal, der durch eine Zunge reguliert wird; ziemlich genau bei Schieberabschluss, auch wenn mehrere Leitzellen vorhanden sind. Die Verhältnisse gestalten sich verschieden, je nachdem das Absperrorgan dem Regulator in seiner Bewegung momentan, — oder nur mit einer gewissen Verspätung folgt. Der erste Fall ist sehr nahe verwirklicht bei dem hydraulischen Servomotor; man kann die Dimensionen die-

ses Apparates so gross wählen, dass der Kolben nur Bruchteile einer Sekunde benötigt, um in jede durch den Regulator vorgeschriebene Lage zu gelangen. Der zweite Fall hat Bezug auf alle mechanischen, d. h. von der Turbinenwelle mittelst Transmission angetriebenen Hilfsmotoren, bei welchen schon wegen der plötzlichen Einschaltung der Bewegung die Geschwindigkeit eine gewisse Grenze nicht überschreiten darf.

Die Hilfsmotoren wirken demnach entweder momentan oder verspätet, und die Untersuchung soll diesem charakteristischen Merkmale entsprechend in zwei Abschnitte geteilt werden.

I. Regulierung mit momentan wirkendem Hilfsmotor.

Bei dieser kann die Kombination von Regulator und Hilfsmotor ersetzt gedacht werden durch einen idealen, statischen Regulator mit unendlich grosser Energie, welcher direkt auf das Absperrorgan einwirkt. Jeder Leistung der Turbine entspricht dann im Beharrungszustand ein bestimmter Wasserkonsum pro Zeiteinheit, demnach eine bestimmte Grösse des Leitkanalquerschnittes, eine besondere Lage der Regulatorhülse und eine bestimmte Geschwindigkeit im Zuflussrohr. Wenn nun z. B. wegen plötzlicher Entlastung die Turbine eine beschleunigte Bewegung annimmt, somit der Regulator den Leitkanal zu verengen beginnt, wird als erste Folge hievon, vor der Mündung, im Zuflussrohr, eine Druckerhöhung stattfinden; denn es kann die Wassermasse im Druckrohr nicht momentan die kleinere, dem neuen Beharrungszustande entsprechende Geschwindigkeit annehmen, sie muss sich vielmehr vor der Mündung gewissermassen stauen, so lange, bis der Ueberschuss der ihr innewohnenden lebendigen Kraft aufgezehrt ist. Diese Druckerhöhung wird ferner ein Anwachsen der Ausflussgeschwindigkeit aus dem Leitapparat bewirken; und da nun durch denselben Querschnitt ein grösseres Wasserquantum und mit vergrösserter Geschwindigkeit, d. h. vermehrtem Arbeitsvermögen austritt, muss auch der vollkommene Regulator überregulieren, d. h. er muss, auch wenn die dem künftigen Beharrungszustand entsprechende Leitkanalgrösse erreicht ist, diese noch so lange vermindern, bis die Reduktion der ausströmenden Wassermenge den Ueberschuss ihrer lebendigen Kraft aufgewogen hat. Von da ab bewegt sich der Regulator nach abwärts und bewirkt Störungserscheinungen entgegengesetzter Art, d. h. Vergrösserung des Leitkanalquerschnittes, Druckabnahme in der Zuleitung, abermaliges Ueberregulieren, infolge dessen eventuell Wiederbeschleunigung der Druckwassersäule u. s. w. Man sieht, dass sich dieses Spiel einigemal wiederholen kann, somit, dass der Uebergang nicht stetig, sondern im allgemeinen in Form oscillatorischer Druck- und Geschwindigkeitsschwankungen stattfinden wird. Es kommt nun darauf an, ob die aufeinanderfolgenden Impulse sich in ihrer Wirkung fördern oder hemmen. Die anzustellende Untersuchung wird zeigen, dass unter bestimmten Umständen die hervorgerufenen Druck- und Geschwindigkeitsschwankungen an Amplitude zunehmen, somit einerseits die Regulierung illusorisch wird, andererseits Gefahr für den Bestand der Leitung vorhanden sein kann.

Das mit besonderem Augenmerk hierauf zu behandelnde Problem kann wie folgt formuliert werden:

Es seien gegeben die Anfangswerte der Geschwindigkeit, des Leitkanalquerschnittes, der Pressung, der Belastung und die sonstigen Dimensionen einer im Beharrungszustande arbeitenden Druck-Turbine. In einem für die Zeitählung als Null vorausgesetzten Momente ändere sich die Belastung plötzlich auf einen von da ab konstanten kleineren oder grösseren Wert. Welchen Verlauf nimmt, lediglich unter Einwirkung des Regulators, — der Druck