

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 88 (1970)  
**Heft:** 16

**Artikel:** Theodor Stein zum 75. Geburtstag  
**Autor:** Ostertag, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-84483>

#### 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:** 22.01.2026

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

## Theodor Stein zum 75. Geburtstag

*«Alte Liebe rostet nicht!» Die Wahrheit dieses Satzes beweistest Du mit dem nachfolgenden Aufsatz; denn schon als wir vor über einem halben Jahrhundert zusammen studierten, begeisterte Dich, wie übrigens auch mich, die Reglerdynamik. So wünsche ich und mit mir die ganze Bauzeitung Dir zur 75. Wiederkehr des Tages (18. April 1895), an dem Du das Licht der Welt erblicktest, recht herzlich weiterhin Gesundheit, Arbeitslust und Lebensfreude.*

*Dein A. Ostertag*

## Integrator für PID-Regelung von Wasserturbinen

DK 621.311.21:62-531.9

Von T. Stein, dipl. Ing. ETH, De Pretto-Escher Wyss, Schio/Italien

### Zusammenfassung

Für elektrische Regler mit proportional-integralem PI-Einfluss erreicht der neu entwickelte elektrische Integrator kein besseres Regelverhalten. Er ergibt hingegen durch Hinzufügen zum proportional-differentialen PD-Einfluss den einfachsten PID-Regler mit unabhängig einstellbarem P-, I- und D-Einfluss. Das gestattet, im Vergleich mit bisherigen PID-Reglern bei gleicher Stabilitätsgrenze, dank 5,6mal schnellerer Reaktion als nur 4,2mal schnellerer bei PI-Regelung, die stärkste erreichbare Reduktion der Frequenzausschläge herbeizuführen.

### 1. Elektrischer Integrator

In einer früheren Arbeit [1] wurde gezeigt, dass es trotz der Vielzahl der angewendeten Abarten von Wasserturbinen-Reglern für das Übertragungsverhalten nur auf die Konstanten des proportionalen (P), integralen (I) und differentialen (D) Einflusses der Regeleinrichtung ankommt. Für den Integral-Einfluss hat man bisher einen integral astatisch wirkenden Servomotor oder einen Servomotor mit nachgiebiger Rückführung verwendet.

Obgleich von J. Daniel [2] schon 1950 ein Integrator als weitere Variante eines Regelementes mit Integral-Einfluss vorgeschlagen wurde, hat sich dieses Element bei mechanisch-hydraulischen Regeleinrichtungen nicht bewährt; im Gegensatz zum konstanten Drosselquerschnitt der Ölbremse einer nachgebenden Rückführung sind beim Integrator kleine, veränderlich gesteuerte Ventilquerschnitte erforderlich, wodurch störende Unempfindlichkeiten durch Reibung, Spiel und Überdeckungen entstanden [1].

Beim kürzlich in Italien von der Ente Nazionale per l'Energia Elettrica (ENEL) entwickelten Integrator [3] wird das astatische integrale Übertragungsverhalten dieses Regelementes auf elektronischem Wege verwirklicht, wodurch die angegebenen Mängel der hydraulischen Bauart wegfallen.

Durch Anwendung des Integrators soll in Wasserkraftwerken mit mehreren mechanisch-hydraulischen Reglern unter Beibehaltung des bisherigen PI-Verhaltens ein Übergang auf

elektrische Regelung erfolgen. Dabei werden die vorhandenen Servomotoren als reine Verstärker ohne Integralwirkung weiterverwendet. Der I-Einfluss wird durch einen zentralen elektrischen Integrator eingeführt.

Die Verfügbarkeit über das Regelement eines elektrischen Integrators bietet neue Möglichkeiten für die Verbesserung der elektrischen Regler von Wasserturbinen beim Übergang zum PID-Verhalten der Regeleinrichtung. Bis jetzt verwendete man hierfür eine Kombination von PD-Regelung mit nachgiebiger Rückführung für den I-Einfluss [4], [5].

### 2. Vorübergehende Statik entscheidend für Druckstoss-Stabilisierung

Der Druckstoss mit seiner Wirkung in verkehrter Richtung entspricht einer negativen Statik [1]. Nur durch hohe positive Statik des Reglers lässt sich deshalb der Druckstoss-Einfluss kompensieren und Stabilität erreichen. Ursprünglich genügte dazu eine grosse permanente Statik. Bei der Tendenz zu grösseren Anlaufzeiten der Schwungmassen würde dies praktisch zu ganz unzulässig hohen permanenten Statiken führen. Man musste deshalb die permanente durch eine vorübergehende Statik ergänzen, die dann durch astatische Integrierung mit der Zeit beseitigt wird, wodurch man zur PI-Regelung kommt. Der proportionale P-Einfluss ist der Reziprokwert der vorübergehenden Statik. Die Zeitkonstante des integrierenden I-Einflusses darf nicht zu kurz sein, weil sie sonst die stabilisierende Wirkung des P-Einflusses zu schnell beseitigt. Bei Senkung des I-Einflusses gibt es einen Wert hierfür, bei dem das Regelverhalten optimal ist.

### 3. Ergebnisse der Analog-Simulierung

Soll bei der Regelung von Wasserturbinen, wo Druckstöße auftreten, eine bestimmte Regelzeit  $T_{1/10}$  (bis zum Abklingen des ersten Frequenzausschlages auf 1/10 seines Höchstwertes) eingehalten werden, so muss nach [6] die I-Zeitkonstante mindestens sechsmal grösser sein als die Anlaufzeit  $T_w$  der Wassermassen. H. Schiott hat durch ausführliche Simulierung mit Analog-Computer festgestellt [7], dass