

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 39 (1948)  
**Heft:** 22

**Artikel:** Der Escher-Wyss-Leistungsregler : Wirkungsweise und Betriebsergebnisse  
**Autor:** Hirt, M. / Seeberger, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057969>

### **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:** 18.01.2025

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

# BULLETIN

## DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

### Der Escher-Wyss-Leistungsregler

#### Wirkungsweise und Betriebsergebnisse

Von M. Hirt und F. Seeberger, Zürich

621.24 - 531.9 : 621.316.728

Es wird berichtet, wie ein neuer Regler Bedingungen erfüllt, wie sie im Verbundbetrieb von elektrischen Netzen vorliegen. Er reguliert die Übergabeleistung zwischen zwei Netzen einseitig frequenzunabhängig oder aber gegenseitig mit Einschluss der Frequenz; andererseits ermöglicht er, Gruppen, die an ein Verbundnetz angeschlossen sind, innerhalb eines bestimmten Frequenzbandes auf konstante Maschinenleistung arbeiten zu lassen, dabei aber so, dass sie bei einem Netzzusammenbruch helfend einspringen. Es liegt also ein wechselseitiges Spiel zwischen Leistungs- und Drehzahlregulierung vor, wobei in Störungsfällen diese immerhin überwiegt.

L'article décrit comment un nouveau régulateur de puissance permet de résoudre les problèmes posés par l'exploitation de deux réseaux travaillant en parallèle.

Lorsqu'un seul des deux réseaux: fournisseur ou récepteur, est chargé du réglage de la puissance transmise d'un

réseau à l'autre, ce régulateur assure ce réglage indépendamment de la fréquence. Lorsque par contre les deux réseaux doivent s'aider l'un l'autre pour assurer ce réglage, le régulateur de puissance est mis, en outre, sous la dépendance de la fréquence.

Enfin, lorsque plusieurs groupes alimentent un même réseau, ce nouveau régulateur de puissance permet de faire travailler chacun de ces groupes sous une charge constante déterminée, pour autant que la fréquence ne varie qu'à l'intérieur d'une bande dont la largeur peut être fixée à volonté. Dès qu'un décrochage imprévu, soit du côté producteur, soit du côté consommateur, produit une variation de fréquence dépassant les limites de la bande, les régulateurs de vitesse rentrent automatiquement en fonctions pour ramener la fréquence du réseau à sa valeur normale.

Le nouveau régulateur de puissance travaille donc en parallèle avec le régulateur de vitesse qu'il complète tout en lui laissant la possibilité d'intervenir en tout temps au cas où le réseau risquerait d'être déséquilibré par un décrochage imprévu, ce qui assure une très grande sécurité d'exploitation.

#### Einleitung

Im Bull. SEV Bd. 37 (1946) Nr. 3, S. 76...81, berichtete Th. Stein über die theoretischen Grundlagen vereinfachter Leistungsregler. In dieser Arbeit wurden die Übergabeleistungsregler, welche die Austauschleistung zwischen zwei Netzen konstant zu halten haben, behandelt. Mit den gleichen Reglern kann jedoch nach Umschalten des Leistungsmesssystems von der Fernmessung auf den Generator auch auf konstante Maschinenleistung geregelt werden. Zwei Regler, welche auf den in jenem Artikel beschriebenen Grundlagen beruhen, wurden in der Zwischenzeit in Betrieb genommen. Es sind Apparate, die an jeden Escher-Wyss-Drehzahlregler angeschlossen werden können. Die elektrische Ausrüstung der Regler stammt von Brown Boveri und von der Maschinenfabrik Örlikon, die durch ihre tatkräftige Mitarbeit zum guten Gelingen beitragen.

Mit zunehmendem Verbundbetrieb ist es mit den bisherigen Mitteln schwer, eine vereinbarte Austauschleistung zwischen zwei Netzen konstant zu halten. Bei Leistungs-Zu- und -Abschaltungen und daraus sich ergebenden Änderungen der Frequenz sprechen alle Drehzahlregler der verbundenen Netze, soweit sie nicht blockiert sind, an, wodurch die Austauschleistung falsche Werte annimmt. Durch Nachsteuern mit der Leistungsein-

stellvorrichtung der Turbinenregler müssen diese Abweichungen ständig auskorrigiert werden, was nie vollständig gelingt. Einen Vergleich zwischen Hand- und automatischer Nachsteuerung gestattet der Registrierstreifen Fig. 1.

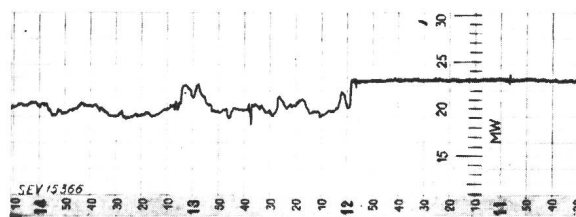
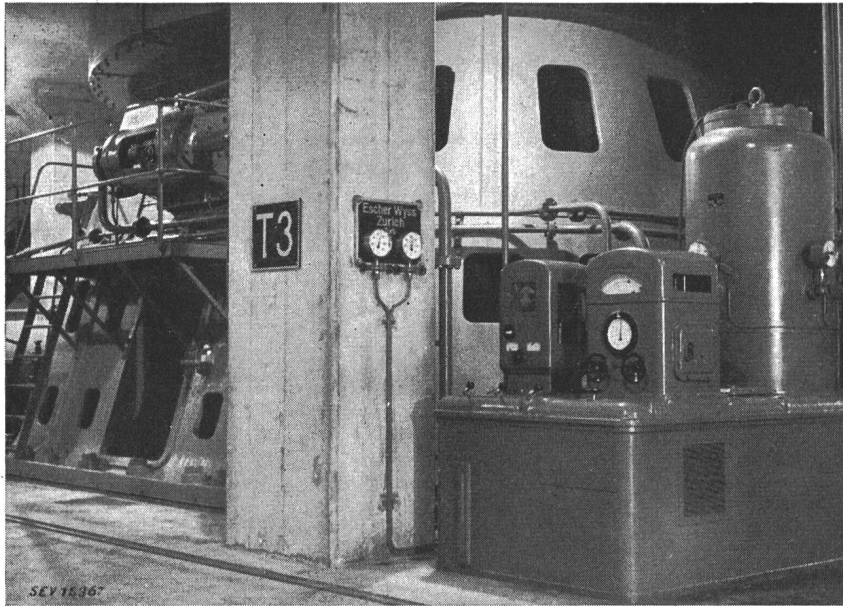


Fig. 1

Vergleich zwischen automatischer Regelung (bis 12 h) und Handregelung (ab 12 h)

Der eine der erwähnten Regler ist im Kraftwerk Innertkirchen aufgestellt und dient zur Konstanthaltung der zwischen den Netzen der BKW und der EOS auszutauschenden Leistung. Diese wurde zwar schon durch die im Kraftwerk Chandoline (Dixence) aufgestellten Regler konstant gehalten [siehe Gaden, D., und R. Keller: Le réglage fréquence-puissance des interconnexions. Bull. SEV Bd. 35 (1944), Nr. 13, S. 333...349]. Zur Gewährleistung eines stabilen Betriebes benötigen diese Regler aber eine gewisse Frequenzabhängigkeit, während dies der in Innertkirchen aufgestellte

Regler im *Alleinbetrieb* nicht benötigt, da die Steuerung des immer mitarbeitenden Drehzahlreglers einschliesslich Rückführung intakt bleibt,



stellen gestattet, da diese benötigt wird, sobald von Innertkirchen und von Chandoline aus *gemeinsam* auf konstante Übergabeleistung geregelt wird. Die Abhängigkeit der Übergabeleistung von der Frequenz ist bei gemeinsamer Regelung nötig, da sich sonst die Leistungsregler bei den kleinsten Abweichungen der beiden Sollwertstellungen, welche immer vorhanden sind, gegen die gleiche Endlage drängen würden, bis der eine davon ausser Betrieb gesetzt wäre.

Der andere Regler dieser Art befindet sich im Werk Schwanden der *Kraftwerke Sernf-Niedererbach A.G.* (KSN), dessen Energie über das Netz der Nordostschweizerischen Kraftwerke A.G. in sein Hauptabsatzgebiet,

Fig. 2

Erster Versuchs-Leistungsregler Innertkirchen

und nur die Steuerung des Leistungsreglers astatisch, also ohne Rückführung, arbeitet. Dies ermöglicht, auch bei sehr variabler Frequenz, eine

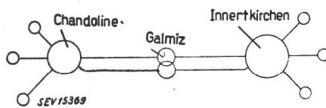


Fig. 3  
Schema der in Galmiz gekoppelten Netze

konstante Übergabeleistung einzuhalten. Der Regler ist gleichwohl mit einer Vorrichtung versehen, welche eine gewisse Frequenzabhängigkeit einzu-

d. h. nach St. Gallen, transitiert wird. Das Werk muss eine durch ein Programm festgelegte Konstantleistung an das NOK-Netz abgeben, ungeachtet des variablen Leistungsbedarfes im Netz Schwanden selbst. Die Übergabeleistung wird in der Freiluftstation beim Maschinenhaus gemessen und dem Leistungsregler direkt zugeführt. Er arbeitet daher, im Gegensatz zu demjenigen in Innertkirchen, welcher mit Gleichstrom gespeisen wird, mit Wechselstrom.

Diese Regler können ohne weiteres auch auf konstante Maschinenleistung umgeschaltet werden, wobei die Leistungskonstanz innerhalb eines einstellbaren Frequenzbereiches eingehalten werden kann. Die Breite dieses Frequenzbereiches wird durch Veränderung der Statik des Drehzahlreglers eingestellt. Sie können hauptsächlich Verwendung finden in Laufkraftwerken, die ihre Leistungsabgabe dem Wasserzufluss anzupassen haben. Da die Leistung dieser Werke derart festgelegt ist, dass sie nur während rund 50... 130 Tagen im Jahr Vollast abgeben können, wird die Zahl der im Betriebe stehenden Maschinen in der

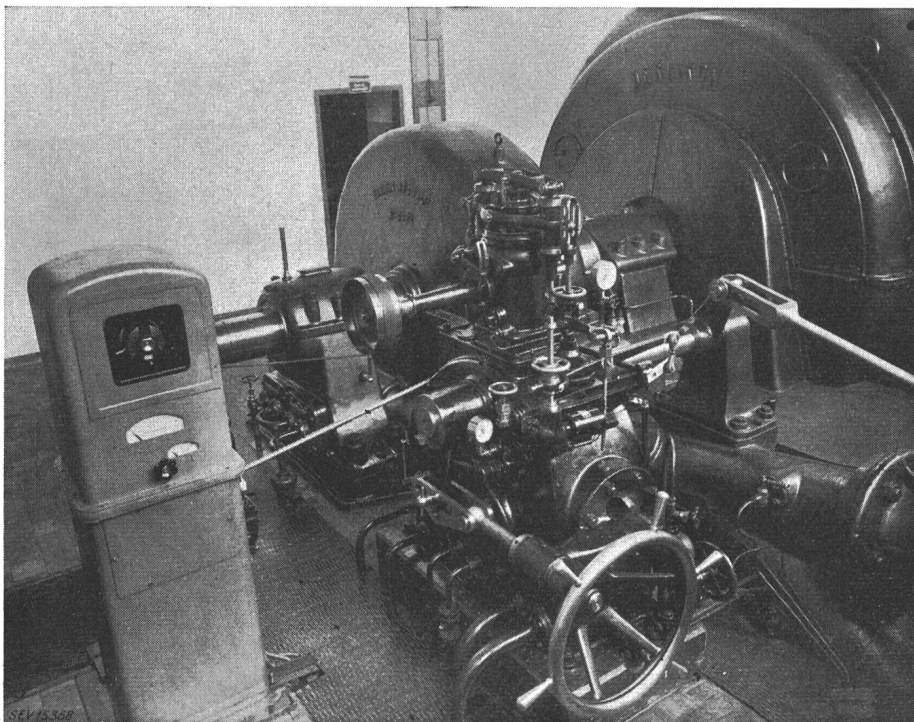


Fig. 4

Erster Versuchs-Leistungsregler Schwanden

übrigen Zeit derart gewählt, dass sie im Gebiete des besten Wirkungsgrades, also mit rund  $\frac{3}{4}$ -Last arbeiten.

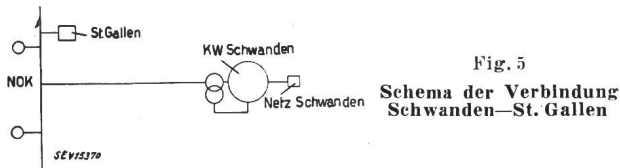


Fig. 5

Schema der Verbindung Schwanden—St. Gallen

Es ist deshalb eine Reserve vorhanden, die bei Störungen herangezogen werden kann. Bis dahin behelfen sich diese Werke mit der bei den meisten Reglern vorhandenen Leistungsbegrenzungsvorrichtung. Bei grossen Frequenzsenkungen ist es aber wünschenswert, dass ausser den Turbinen der Spitzen- auch diejenigen der Laufwerke zur Vermeidung von Netzzusammenbrüchen öffnen. Da aber bis zum Lösen der Leistungsbegrenzungsvorrichtung wertvolle Zeit verstreicht, kommt die Hilfe der Laufwerke meistens zu spät. Der Leistungsregler hingegen steuert innerhalb eines einstellbaren Frequenzbereiches auf konstante Maschinenleistung und gibt bei einer Frequenz, sobald sie einen einstellbaren Wert unterschreitet, die Maschine automatisch zum Öffnen durch den Drehzahlregler frei. Dasselbe gilt auch, wenn auf Übergabeleistung geregelt wird, wobei jedoch die Frequenzsenkung um so grösser sein muss, je grösser die momentane Öffnung des Leistungsreglers ist, da das durch den Drehzahlregler verursachte Öffnen der Turbine zuerst durch den Leistungsregler, welcher auf eine konstante Leistung regelt, kompensiert wird, bis der Leistungsregler in der Endlage des Schliessens angelangt ist. Fällt die Drehzahl noch weiter ab, so übernimmt der Drehzahlregler allein die Regelung der Turbine und öffnet sie. Umgekehrt kann in allen Fällen, wo Leistungsregler verwendet werden, die Turbine durch den Drehzahlregler geschlossen werden, unabhängig davon, in welcher Stellung sich der Leistungsregler befindet. Diese Möglichkeit und das Intakthalten der Hauptrückführung gewährleisten die grösstmögliche Betriebssicherheit.

Sollen die Regler nicht auf konstante Übergabeleistung, sondern nur auf konstante Maschinenleistung regeln, so vereinfacht sich die Leistungseinstellung, indem diese durch die Leistungseinstellvorrichtung des Drehzahlreglers, welcher den Leistungsregler automatisch nachsteuert, vorgenommen werden kann. Es erübrigen sich dadurch zusätzliche Steuerkabel für den Leistungsregler. Diese Regler können an alle bestehenden Drehzahlregler angeschlossen werden, während für neue Drehzahlregler eine einfachere, mechanische Lösung möglich ist.

### Der Aufbau des Reglers

Leistungsregler sind in der Schweiz seit mehreren Jahren im Betrieb, doch handelt es sich in der Hauptsache um Sekundärregler, welche auf die Leistungseinstellvorrichtung des Turbinenreglers korrigierend einwirken, nachdem die Maschinen-

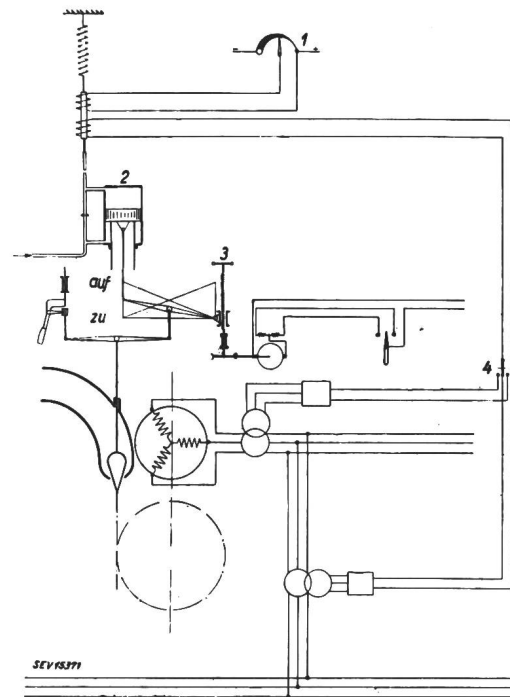


Fig. 6

Prinzipschema des Leistungsreglers

- 1 Sollwertstellpotentiometer des Leistungsreglers
- 2 Leistungsregler (ohne Rückführung, astatisch)
- 3 Leistungseinstellvorrichtung des Drehzahlreglers
- 4 Umschalter für Übergabe- oder Maschinenleistung

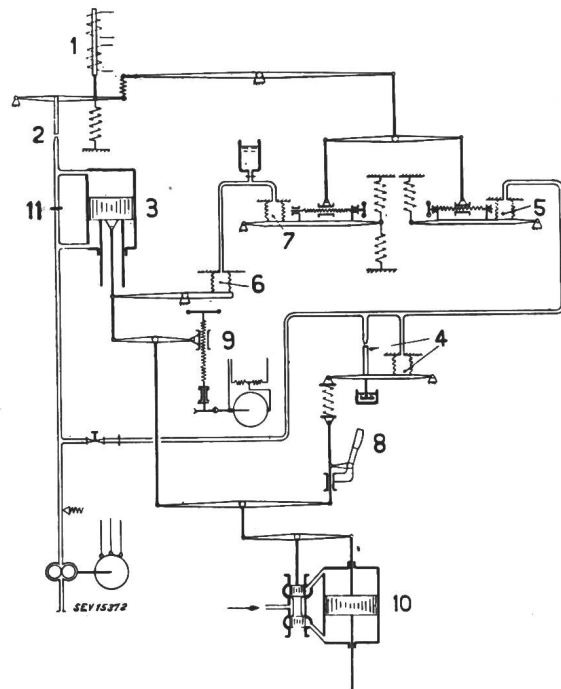


Fig. 7

Schema des Leistungsreglers Innertkirchen

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| Leistungsregler  | 7 Empfängerbalg für Temporärstatik |
| 1 Leistungsmesssystem  | 11 Blende                          |
| 2 Ventil   |                                    |
| 3 Servomotor   | Drehzahlregler                     |
| 4 Geber- (Ventil und Rückführbalg) und Empfängerbalg zur Frequenzübertragung | 8 Pendel                           |
| 5 Empfängerbalg zur Leistungseinstellvorrichtung                             | 9 Leistungseinstellvorrichtung     |
| 6 Geber- und   | 10 Hauptservomotor                 |

leistung unter Einwirkung des Drehzahlreglers schon verändert worden ist.

In ihrer Wirkung weit besser sind die *Primärregler*, zu welcher Art der schon erwähnte Regler in Chandoline gehört, weil diese direkt auf das Ventilstänge einwirken. Alle bis jetzt bekannten Leistungsregler benötigen jedoch ausser den eigentlichen Leistungsmeßspulen und Einstellpotentiometern weitere elektrische Apparate. Es war deshalb unser Bestreben, Leistungsregler mit den einfachen von den Drehzahlreglern her bekannten hydraulischen Steuerungen zu bauen, wobei zwei Modelle, das eine mit einem Gleichstrom-, das andere mit einem Wechselstrom-Leistungsmeßsystem, zur Lösung der verschiedenen Regelungsprobleme genügen.

Das Schema des in *Innertkirchen* aufgestellten Leistungsreglers ist in Fig. 7. dargestellt. Darin bedeutet 1 das Meßsystem, enthaltend eine Istwert- und eine Sollwertspule. Die Grösse des die Istwertspule durchfliessenden Gleichstromes entspricht bei Übergaberegulierung der in Galmiz gemessenen Leistung, deren Wert durch Hochfrequenz von Mühleberg nach Innertkirchen übertragen und dort umgeformt wird. Bei Regelung auf konstante Maschinenleistung wird der Messwert der Generatorleistung der betreffenden Gruppe ebenfalls in Gleichstrom umgeformt. Sind Istwert-

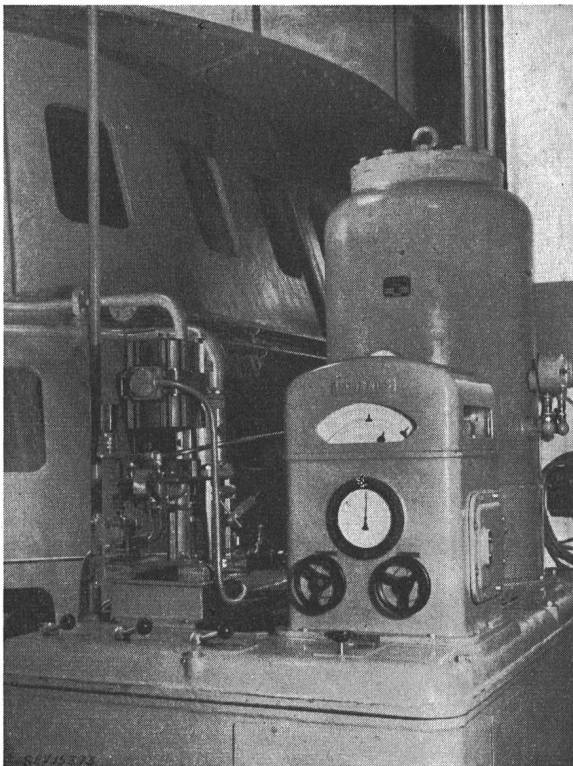


Fig. 8  
Leistungsregler Innertkirchen (links)  
und Drehzahlregler (rechts)

und Sollwertstrom gleich, so heben sich die Felder der beiden entsprechenden Spulen auf, und der Ventilkolben 2 ist in Mittellage. Infolgedessen befindet sich der Servomotorkolben 3 in Ruhelage, und zwar, da seine Steuerung astatisch ist, in einer von der Grösse der Übergabeleistung unabhängigen

Stellung. Dieser Kolben wirkt über die Leistungseinstellvorrichtung auf das Ventil des Geschwindigkeitsreglers der Turbine. Zur Sicherung der Sta-

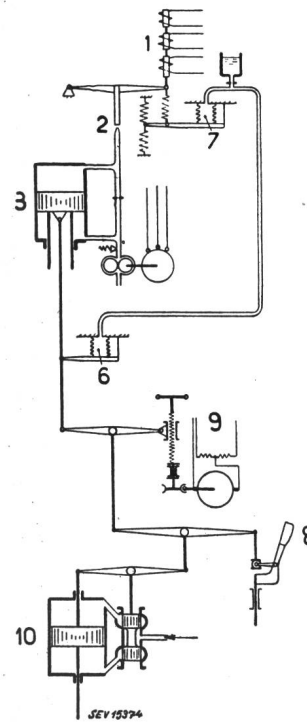


Fig. 9  
Schema des  
Leistungsreglers Schwanden  
*Leistungsregler*  
1 Leistungsmeßsystem  
2 Ventil  
3 Servomotor  
6 Geber- und  
7 Empfängerbalg für  
Temporärstatik  
*Drehzahlregler*  
8 Pendel  
9 Leistungseinstell-  
vorrichtung  
10 Hauptservomotor

bilität ist ähnlich wie beim Drehzahlregler ein Katarakt vorgesehen, der temporär die Leistungsstatik erhöht.

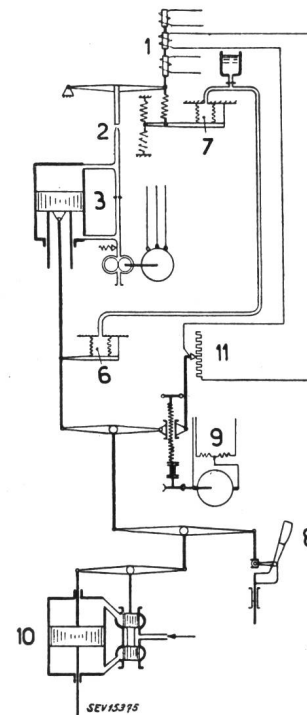


Fig. 10  
Schema des Reglers für  
konstante Maschinenleistung  
innerhalb eines schmalen  
Frequenzbandes  
*Leistungsregler*  
1 Leistungsmeßsystem  
2 Ventil  
3 Servomotor  
6 Geber- und  
7 Empfängerbalg für  
Temporärstatik  
*Drehzahlregler*  
8 Pendel  
9 Leistungseinstell-  
vorrichtung  
10 Hauptservomotor  
11 Potentiometer  
zur Nachsteuerung  
des Leistungsreglers

Die Frequenzabhängigkeit wird dadurch hergestellt, dass durch einen Geber 4 jeder Frequenz ein bestimmter Öldruck im Empfängerbalg 5 zugeordnet wird. Der Geber besteht aus einem Stempelventil, dessen Öffnung unter Zwischenschaltung einer Feder proportional zum Hub der Pendel-



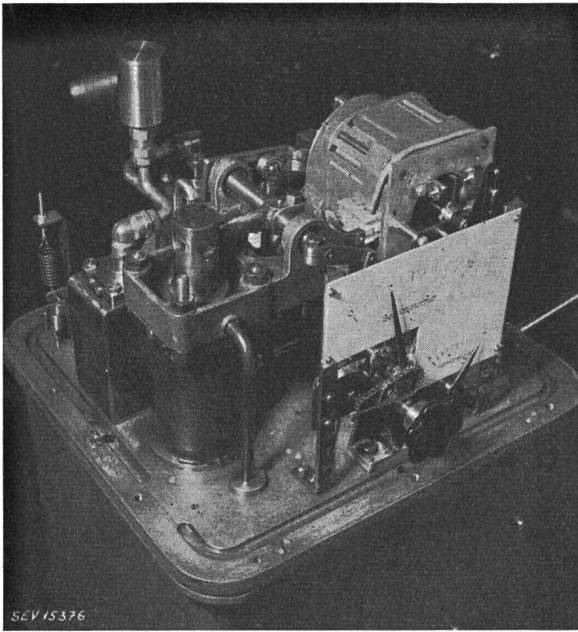


Fig 11  
Leistungsregler Schwanen

spindel des Drehzahlreglers verändert wird. Ferner gehört dazu ein Faltenbalg, in welchem der veränderlichen Ventilöffnung entsprechende Öl- druck herrscht, welcher der Kraft der genannten

Frequenzabhängigkeit einzustellen gestattet, über- trägt diese Abweichungen auf das Ventil des Leistungsreglers.

Der Aufbau des in *Schwanen* aufgestellten Reglers entspricht im wesentlichen demjenigen in Innertkirchen. Es sind alle dort verwendeten Organe vorhanden, mit Ausnahme der zur Einfüh- rung der Frequenzabhängigkeit dienenden.

Fig. 11 zeigt den Regler mit abgenommener Haube.

**Versuchsergebnisse und Betriebserfahrungen**

Der Leistungsregler in Innertkirchen befindet sich seit November 1947, derjenige in Schwanen seit Anfang Juni 1948 im Dauerbetrieb. Während der Regler in Schwanen ausschliesslich frequenz- unabhängig arbeitet, wurden mit demjenigen in Innertkirchen während kürzerer Zeitabschnitte auch Versuche mit frequenzabhängiger Regelung durchgeführt, um das Verhalten festzustellen, wenn zwei beidseitig der Meßstelle gelegene Gruppen gemeinsam auf die gleiche Übergabeleistung regeln. Ferner wurden noch einige Abschaltungen beid- seitig des Meßstelle vorgenommen.

*Versuche in Innertkirchen*

Wie Fig. 12 zeigt, gestattet *die frequenzunab- hängige Leistungsregelung* bei grossen, lang-

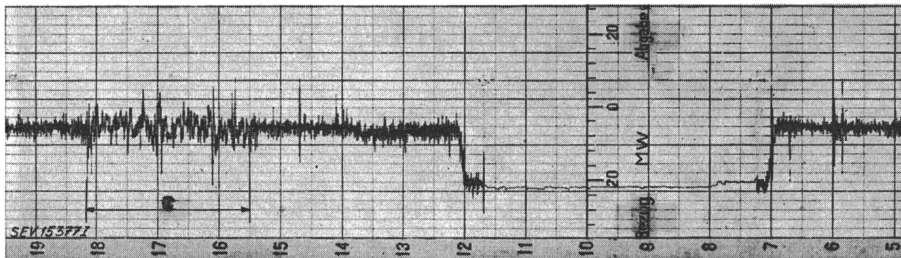


Fig. 12a  
Übergabeleistung in Innertkirchen frequenzabhängig geregelt c von Hand geregelt

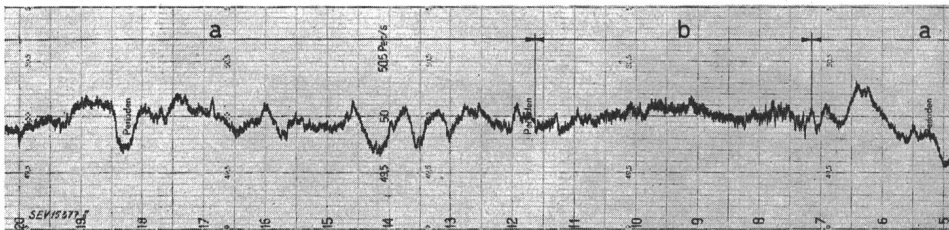


Fig. 12b  
Frequenzstreifen zu Fig. 12a  
a Frequenzhaltung durch ausländische Werke  
b Frequenzhaltung durch schweizerische Werke

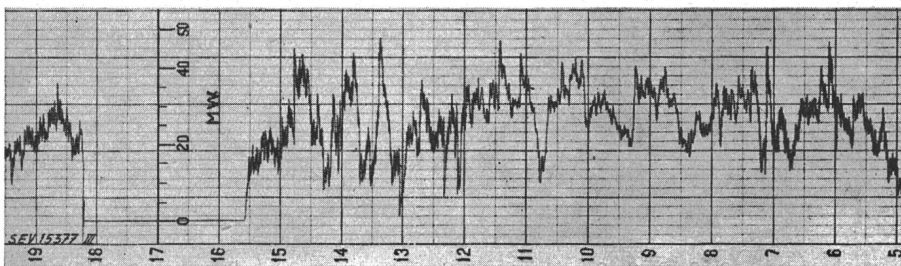


Fig. 12c  
Leistung der auf konstante Übergabeleistung regelnden Maschine

Feder das Gleichgewicht hält. Jede Abweichung von der Normalfrequenz erzeugt deshalb eine Ab- weichung des Empfängerbalges aus seiner Mittel- lage. Ein Verstellhebel, welcher die Grösse der

dauernden Frequenzabweichungen, den Mittelwert der Übergabeleistung absolut konstant zu halten. Dies ist besonders wichtig im Parallelbetrieb mit einem grossen Fremdnetz, wo eine oder mehrere

frequenzabhängig regulierende Maschinen nicht imstande wären, die Frequenz zu stützen. Bei der besseren Frequenzhaltung durch ein schweizerisches Werk sind auch die vorübergehenden Abweichungen der Übergabeleistung vom Mittelwert viel geringer (b in Fig. 12a).

Die starken Leistungsschwankungen an der leistungsgeregelten Maschine werden verursacht durch die Gegenwirkung der drehzahlgeregelten Maschinen, die dadurch entsteht, dass bei jeder Änderung der Übergabeleistung eine kleine Frequenzänderung auftritt, da der Leistungsregler, trotzdem er vor dem Drehzahlregler anspricht, eine gewisse Zeit zum Ausregeln der Änderung braucht. Infolge der verschiedenen Grösse der verbundenen Netze ist die durch diese Frequenzänderung verursachte Leistungsänderung der Turbinen ebenfalls verschieden gross, was wiederum die Übergabeleistung fälscht. Diese Abweichung zwingt den Leistungsregler zu erneuten Regelungsbewegungen, bis alle drehzahlgeregelten Maschinen zur Ruhe kommen. Durch Blockieren der drehzahlgeregelten Maschinen in Innertkirchen konnten die Leistungsstösse, welche die leistungsgeregelte

mit allen Maschinen in Innertkirchen gemeinsam durchgeführt würde. Dies hätte jedoch den grossen Nachteil, dass sich eine Störung in der Fernmess-einrichtung auf alle Maschinen auswirkte, was schwere Störungen im Netzbetrieb nach sich ziehen könnte. Um dies, sowie die Nachteile einer all-fälligen Blockierung der drehzahlgeregelten Maschinen zu vermeiden, ist vorgesehen, vorläufig nur eine Maschine auf konstante Übergabeleistung, die anderen jedoch innerhalb eines schmalen Frequenzbandes auf konstante Maschinenleistung regeln zu lassen, wodurch der Betrieb viel ruhiger wird. Bei verhältnismässig geringem Frequenzabfall ist der Leistungsregler in die Endlage des Schliessens gedrängt, und die Leistungshilfe der drehzahlgeregelten Maschinen tritt automatisch in Funktion.

Die Übergabeleistung verläuft bei *Abschaltungen* im KWO- und im EOS-Netz nach einer gedämpften Schwingung oder rein aperiodisch, je nach der eingestellten temporären Statik. Abschaltungen im grossen KWO-Netz machen sich an der Meßstelle nur mit einem kleinen Bruchteil ihres Wertes bemerkbar, während gleich grosse Abschaltungen im



Fig. 13  
Verlauf der  
Übergabeleistung bei  
einer Abschaltung von  
10 MW im EOS-Netz

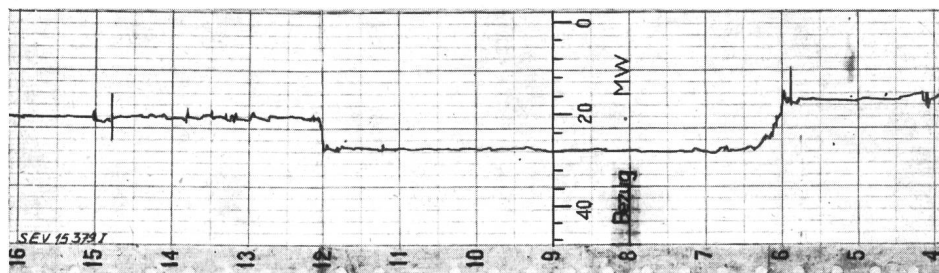


Fig. 14a  
Übergabeleistung in  
Innertkirchen und  
Chandoline  
gemeinsam,  
frequenzabhängig  
geregelt

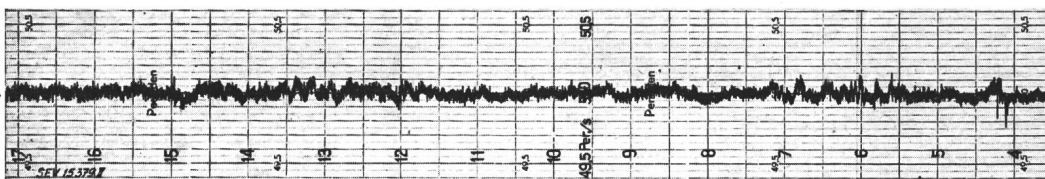


Fig. 14b  
Frequenzstreifen  
zu Fig. 14a

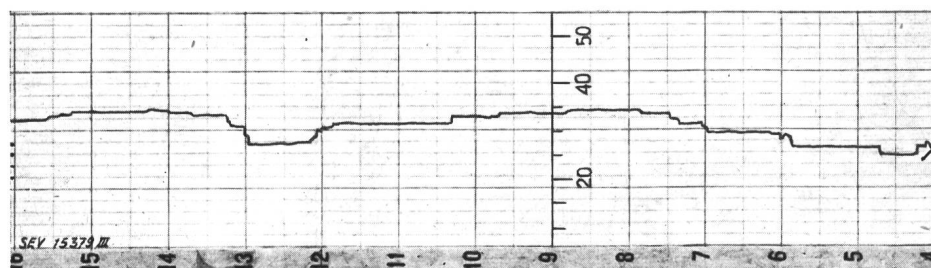


Fig. 14c  
Leistung der auf  
konstante  
Übergabeleistung  
regulierten Maschine  
in Innertkirchen

Maschine bei frequenzunabhängiger Regelung auszugleichen hat, beträchtlich reduziert werden.

Dem Übelstand könnte auch dadurch abgeholfen werden, dass die Regelung der Übergabeleistung

kleineren EOS-Netz sich fast voll auf die Übergabeleistung auswirken. In diesem Fall haben die leistungsgeregelten Maschinen einen grösseren Beitrag auszuregeln.

*Versuche mit gemeinsamer frequenzabhängiger Regelung der Übergabeleistung*

Bei gemeinsamer Regelung der gleichen Übergabeleistung übernehmen die leistungsgeregelten Maschinen bei den KWO und der EOS die Doppelaufgabe, Frequenz und Leistung konstant zu halten. Erschwerend wirkt, dass jeder Fehler in den beiden Fernmessenrichtungen oder eine ungenaue Einstellung der Übergabeleistung sowohl eine falsche Frequenz, als auch eine falsche Übergabeleistung hervorruft. Ebenso bedingt eine programmässige Änderung der Übergabeleistung, dass beide Kraftwerke den Sollwert in entsprechendem Sinn und Mass einstellen. Dies erschwert den Betrieb und erfordert eine gute Verständigung zwischen

beiden Kraftwerken. Bei einseitiger, frequenzunabhängiger Regelung der Übergabeleistung fallen diese Umstände dahin, da ein Werk die Frequenz, ein anderes die Übergabeleistung regelt. Die Verantwortlichkeiten für die Konstanz von Frequenz und Leistung sind damit eindeutig festgelegt.

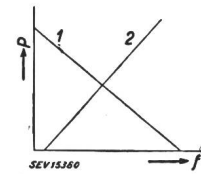


Fig. 15  
Einstelldiagramm für zweiseitige, frequenzabhängige Regelung der Übergabeleistung

*P* Übergabeleistung, *f* Frequenz  
1 Charakteristik für Leistungsabgabe  
2 Charakteristik für Leistungsbezug

Es wird sich später zeigen, ob die Frequenzhaltung bei frequenzabhängiger Leistungsregelung besser ist, als bei frequenzunabhängiger; dies wird

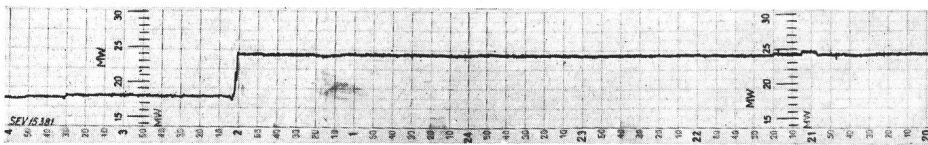


Fig. 16  
Tagesstreifen der Übergabeleistung der Kraftwerke Sernf-Niedererbach an das NOK-Netz

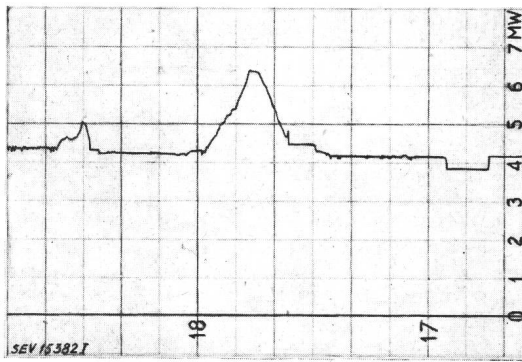


Fig. 17a

Maschinenleistung entsprechend Frequenz Fig. 17b

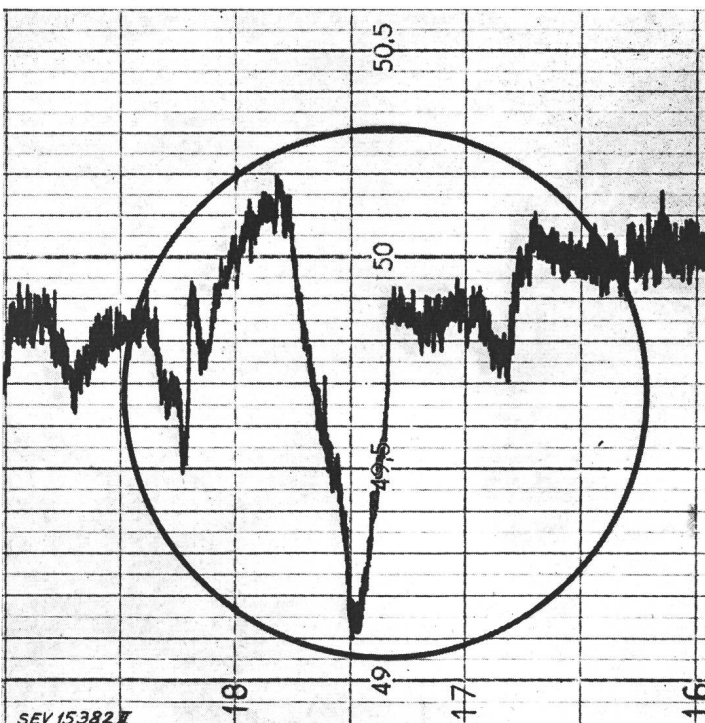


Fig. 17b

Frequenz am 10. Juni 1948

sich jedoch erst entscheiden lassen, wenn einmal alle grösseren Kraftwerke mit Leistungsreglern ausgerüstet sind, wobei die Einstellung des Sollwertes vorteilhafterweise von einer einzigen Stelle aus vorgenommen würde. Auf alle Fälle ist die frequenzunabhängige Leistungsregelung die richtige Regelungsart, solange Netze parallel geschaltet werden, die noch nicht in der Lage sind, eine gute Frequenz zu halten.

Auch ist bei frequenzabhängiger Regelung noch abzuklären, mit welcher Grösse die Frequenzabhängigkeit in kW/Hz für beste Frequenz- und Leistungshaltung eingestellt werden soll. In dem von *R. Keller* vorgeschlagenen Diagramm Fig. 15 für die Einstellung [siehe *Keller, R.: Neue Methoden der Frequenz-Leistungs-Regulierung im praktischen Betrieb. Brown Boveri Mitt.* Bd. 32 (1945), Nr. 7, S. 223...237] ist also die beste Neigung der Regler-Charakteristiken 1 und 2 zu erproben.

Es ist deshalb zu hoffen, dass weitere Versuche in dieser Richtung auch in anderen Netzen durchgeführt werden können.

Fig. 16 zeigt einen Registrierstreifen der Übergabeleistung im Kraftwerk Schwanden. Bei der Beurteilung dieses Streifens ist zu berücksichtigen, dass die zur SollwertEinstellung benötigte Spannung nicht absolut konstant war, weshalb auch der dem System aufgeprägte Sollwertstrom und damit die Übergabeleistung die gleichen relativen Schwankungen aufweisen.

Fig. 17a zeigt einen Registrierstreifen der Maschinenleistung, Fig. 17b das zugehörige Frequenzdiagramm. Der Leistungsregler regelt die Turbine innerhalb des eingestellten Frequenzbandes von 0,3 Hz auf konstante Maschinenleistung; bei einer grösseren Fre-



quenzabweichung wird sie von der Frequenz über den Drehzahlregler geregelt, da sich der Leistungsregler dann in einer seiner Endlagen befindet. Fig. 17 zeigt diesen Verlauf eindrucklich. In Netzen, welche grössere Frequenzschwankungen

zulassen, ist die Bandbreite entsprechend grösser einzustellen.

Adresse der Autoren:

M. Hirt und F. Seeberger, Escher-Wyss A.-G., Zürich 5.

## Gittertragwerke mit ausbetonierten Stahlrohren

Von R. Gonzenbach, Baden

621.315.668.1

*Der Autor beschreibt eine neue Mastkonstruktion für Hochspannungsleitungen, die durch die Motor-Columbus A.-G. für elektrische Unternehmungen, Baden, entwickelt wurde. Hervorgehoben werden die Vorteile der Gittertragwerke mit ausbetonierten Stahlrohren gegenüber Gittermasten aus Winkeleisen, im besonderen die bedeutende Stahlersparnis, die auch die Erstellungskosten der Leitungen wesentlich herabsetzt. Ferner wird über Festigkeitsprüfungen an einem 380-kV-Versuchsmast in Gösgen und über die Hochspannungsleitung Amsteg—Metlen der Aare-Tessin A.-G. berichtet.*

*L'auteur décrit un nouveau système de construction de pylônes de lignes à haute tension, développé par Motor-Columbus S. A. d'Entreprises Electriques, Baden. Il expose les avantages que présentent les supports métalliques à treillis en tubes d'acier remplis de béton par rapport aux pylônes à treillis en fers cornières. L'emploi du tube d'acier rempli de béton procure une économie notable d'acier, ainsi qu'une réduction appréciable du coût des lignes. Ensuite, l'auteur rend compte des essais de résistance d'un pylône 380 kV à Gösgen, et de la construction des pylônes de la ligne à haute tension Amsteg—Metlen, de l'Aar et Tessin S. A.*

Im Bestreben, die Kosten für die Hochspannungsleitungen und somit für die Energieübertragung zu senken, entwickelte Motor-Columbus in den letzten Jahren eine neue Bauweise für Fachwerke unter Anwendung von ausbetonierten Stahlrohren für Gittertragwerke.

Für Weitspannleitungen mit Gittermasten aus Winkeleisen sind erhebliche Stahlmengen nötig, z. B. für eine einsträngige 150-kV-Leitung nach üblicher Bauart 18...20 t/km, berechnet für schweizerische Verhältnisse. Die Kosten der Masten allein betragen ungefähr die Hälfte der gesamten Anlagekosten einer Leitung.

Da sich mit zunehmender Betriebsspannung die Leiterabstände und damit die Dimensionen der Masten vergrössern, werden für die Konstruktionselemente grössere Knicklängen nötig. Je grösser die Knicklänge wird, um so schlechter wird der Querschnitt des Profileisens ausgenutzt, indem die mittlere mechanische Beanspruchung beträchtlich zurückgeht.

Motor-Columbus ist dazu übergegangen, den Knickwiderstand von Stahlrohren durch Füllen der Rohre mit Beton zu erhöhen. In dem neuen Konstruktionselement, das auf diese Weise entsteht, wird das Eisen nicht gegen Knickung, sondern gegen Zug dimensioniert. Dadurch wird eine viel wirtschaftlichere Ausnutzung des Eisens und eine beträchtliche Eisengewichts-Verminderung erzielt. Bei der Bemessung auf Druck und Knickung wird die Festigkeit von Eisen und Beton gemeinsam berücksichtigt, was die Anwendung viel grösserer Knicklängen als bei Winkeleisen erlaubt. Somit wird auch die Zahl der Konstruktionselemente erheblich reduziert.

Der Beton, der zur Füllung der Rohre dient, wird durch diese gegen die Einwirkung der Witterung geschützt. Er stellt ein billiges und leicht transportierbares Füllmaterial dar. Das Füllen der Hauptrohre (Pfeiler) geschieht im allgemeinen nach der Mastmontage (Fig. 1). Wenn Traversen und Diagonalen mit Beton gefüllt werden, wird ihre Fül-

lung vor der Montage vorgenommen. Durch Vibrieren des Betons beim Einfüllen wird eine grössere Dichte erreicht und die Festigkeit der Konstruktion erhöht.

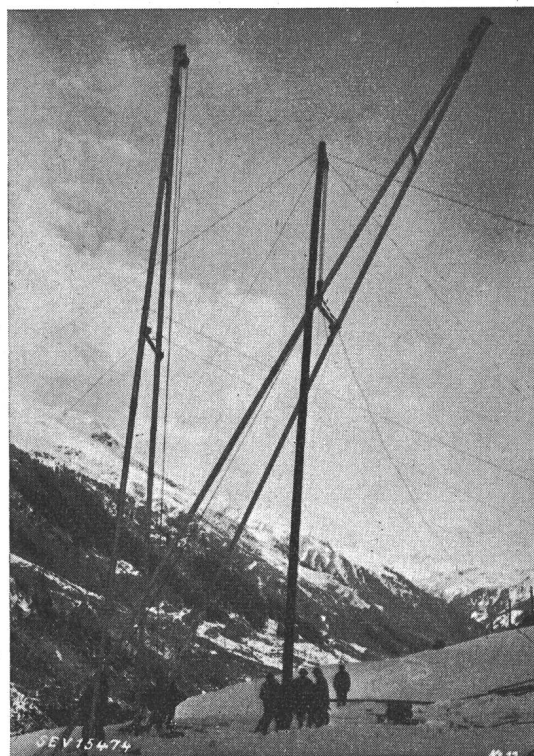


Fig. 1

Montage eines 150-kV-Tragmastes aus Stahlrohren  
Das Ausbetonieren der Pfeiler erfolgt erst nach der Montage

Die zu transportierenden Eisengewichte sind bedeutend geringer als bei Winkeleisenmasten, ein Umstand, der besonders in schwierigem Gelände und bei grossen Transportdistanzen sowie beim Fehlen von geeigneten Zufahrtstrassen sehr ins Gewicht fällt. Bei einer von Airolo ausgehenden 12 km langen Teilstrecke der 150-kV-Nufenenleitung beträgt