

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 44 (1953)  
**Heft:** 13

**Artikel:** Gasgefüllte Elektronenröhren und ihre Anwendungsmöglichkeiten  
**Autor:** Hübner, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059952>

### **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:** 03.04.2025

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

# Gasgefüllte Elektronenröhren und ihre Anwendungsmöglichkeiten

Von R. Hübner, Wettingen

621.385.38

Der Autor gibt einen Überblick über die Anwendungsmöglichkeiten des Thyratrons, der wichtigsten gasgefüllten Elektronenröhre. Er widmet sich vornehmlich den Anwendungen in Geräten kleinerer Leistung, so für verschiedene Motorsteuerungssysteme, Beleuchtungsregelungen und Punktschweissgeräte.

L'auteur donne un aperçu sur les possibilités d'application du Thyatron, le plus important des tubes électroniques à remplissage gazeux. Il traite notamment l'application du Thyatron dans des appareils de petite puissance, tels que différents systèmes de commande de moteur, de réglage de lumière et de commande de machines à souder par points.

## I. Motorsteuerungen

### 1. Allgemeines

Die elektronische Motorsteuerung ist zu einem bedeutenden, sich zusehends erweiternden Teilgebiet der industriellen Elektronik geworden. Sie erfolgt mit Hilfe von Thyratrons, deren Leitfähigkeit in bereits beschriebener Weise<sup>1)</sup> durch besondere Gitterregelung kontinuierlich geändert werden kann. Im Zusammenhang mit Gleichstrom-Nebenschlussmotoren ergeben sich damit sehr günstige Regelmöglichkeiten.

Die Wirkungsweise wird aus der Motorgleichung verständlich:

$$n = k \frac{U_a - I_a R_a}{I_f}$$

$$M = k' I_a I_f$$

$$P = M n = k'' (U_a I_a - I_a^2 R)$$

wobei

$U_a$	Ankerspannung
$I_a$	Ankerstrom
$n$	Drehzahl des Ankers pro Minute
$k', k''$	Konstante
$I_f$	Feldstrom
$M$	Drehmoment
$P$	Last.

Die Elektronik ist imstande, durch Verwendung geeigneter Regelschaltungen eine dieser Grössen  $n$ ,  $M$  oder  $P$  konstant zu halten. So kann z. B. die Drehzahl unabhängig von der Last gemacht werden. Dazu muss die Ankerspannung derart geregelt werden, dass bei grösserer Belastung ( $I_a$ ) die Zunahme von  $I_a R_a$  selbsttätig kompensiert wird. Soll das Drehmoment unabhängig von der Drehzahl immer konstant bleiben, so gilt es,  $I_a$  und  $I_f$  konstant zu halten, während die Ankerspannung entsprechend gesteuert werden muss. Zur Konstanthaltung der Leistung mit Motoren, die eine hohe Feldschwächung gestatten, wird  $M$  durch  $I_f$  entsprechend  $n$  geregelt. Ausserdem lassen sich mit elektronischen Steuerungen noch eine Vielzahl von Regelmöglichkeiten und Nebenaufgaben erfüllen, wie z. B. Motorreversieren, Drehzahlverstellung, Steuerung der Drehzahl nach einem bestimmten Gesetz (Programmsteuerung), Begrenzung des Anfahr- und Betriebsdrehmomentes, sowie des zulässigen maximalen Einschaltstromes auf einen vorgegebenen Wert usw.

In Fig. 1 ist eine industriell ausgeführte Motorsteuerungsanlage dargestellt, die eine grosse Zahl dieser Regelaufgaben auszuführen gestattet.

<sup>1)</sup> siehe Hübner R., Das Thyatron als Schalt- und Regelröhre und seine industriellen Anwendungsmöglichkeiten. Bull. SEV Bd. 43 (1952), Nr. 19, S. 760...764.

Aus den oben gegebenen Formeln geht hervor, dass durch Verändern der Ankerspannung  $U_a$  eine Regelung der Drehzahl möglich ist. Mit zunehmender Drehzahl wächst die Leistung bei konstantem  $I_f$ .

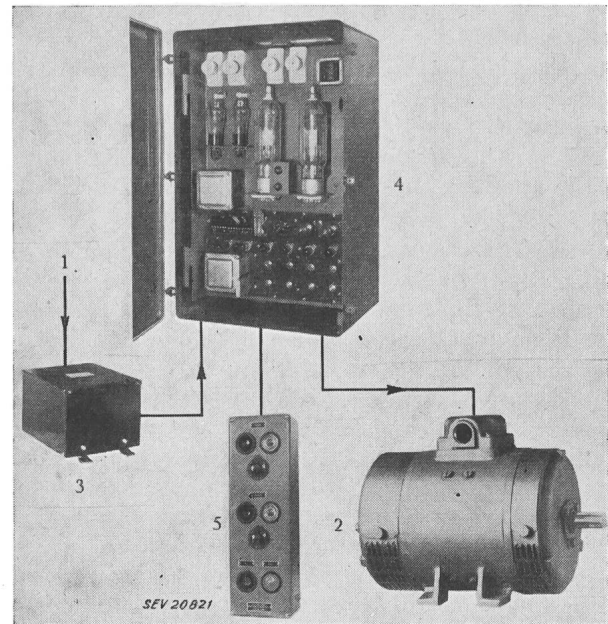


Fig. 1

Thyatronantrieb Brown Boveri, eine elektronische Präzisionssteuerung mit grossem Drehzahlbereich  
Drehzahlbereich 1 : 50, Leistung bis 12,5 kW

1 Wechselstromnetzanschluss; 2 zu steuernder Gleichstrom-nebenschlussmotor; 3 Netztransformator; 4 Röhrensteuer-gestell mit den beiden Steuerthyratrons und 2 Dioden für die Feldgleichrichtung; 5 Kommandostation für Druckknopf- und Fernsteuerung

Um die Leistung konstant zu halten, verwendet man meistens Motoren, die eine starke Feldschwächung gestatten. Fig. 2 zeigt die durch gittergesteuerte Gleichrichter gebotenen Möglichkeiten. Bei allen diesen Steuerungen ergibt sich ausserdem der grosse Vorteil, sämtliche Aufgaben mittels einfacher kleiner Potentiometer und Druckknöpfen einstellen und schwachstrommässig fernsteuern zu können.

### 2. Motorsteuerung zur Drehzahlstabilisierung mittels der Ankerspannung

Fig. 3 zeigt das vereinfachte Schema der Steuerung eines 1,5-kW-Motors auf konstante Drehzahl bei konstantem Feld. Die Gleichrichtung des Feldstromes erfolgt über die beiden Dioden  $D_1$  und  $D_2$  (Typ DQ2), während der Anker über 2 Thyratrons  $T_1$  und  $T_2$  (Typ TQ2/3, für eine Sperrspannung von 2 kV und einen Maximalstrom von 3,2 A) gespeist wird. Die gleichgerichtete Spannung betrage an den Ankerklemmen  $U_a = 440$  V. Die Gitter dieser Röhren erhalten über eine Phasenbrücke  $R_1 R_2 C_1 C_2$  um

90° phasenverschobene Steuerwechselfspannungen ( $U_g = 4...8\%$  der Anodenwechselfspannung), welche einer positiven Gleichspannung von etwa 20...40 V überlagert sind, die über  $D_3$  an  $C_3$  entsteht. Der Steuerteil  $St$  enthält ausserdem noch eine Triode  $T_3$ , welche über das Potentiometer  $P$ , das der Feldspannung parallel liegt, eine der Motordrehzahl ent-

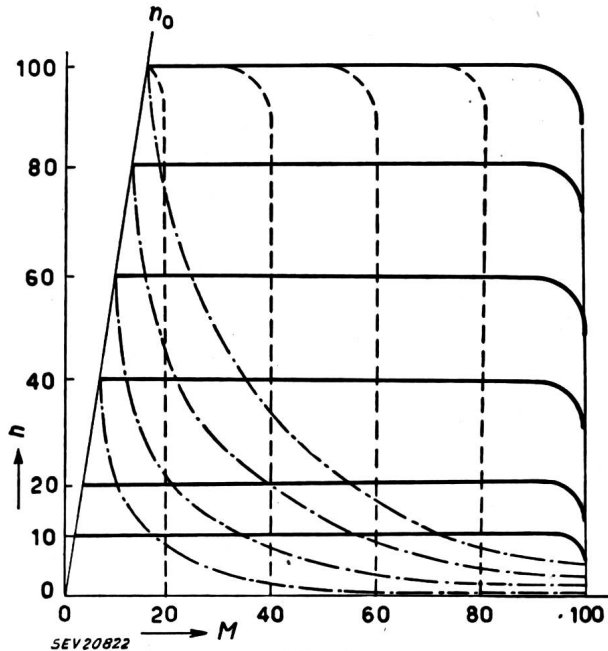


Fig. 2

Durch gittergesteuerte Gleichrichter gebotene Regelmöglichkeiten

- konstante Drehzahl  $n$ , unabhängig vom Drehmoment  $M$  (Drehzahlregelbereich bis 1:100)
- - - konstantes Drehmoment  $M$ , unabhängig von der Drehzahl  $n$  (Drehmoment-Regelbereich bis 1:100)
- · - konstante Leistung  $P$ , durch Feldstromregelung mit sich anpassender Drehzahl  $n$  und hyperbolisch fallender Drehmomentenkurve (Drehzahl- oder Drehmomentregelbereich bis 1:5)
- 0... $n_0$  Leerlauflinie

sprechende Vorspannung erhält, welche  $T_3$  so steuert, dass bei wachsender Drehzahl und damit wachsendem  $U_a$  das Gitter von  $T_3$  positiver wird. Es fliesst dann mehr Strom durch die Triode  $T_3$ , die bestrebt ist, die Kapazität  $C_3$  umzuladen. Dadurch

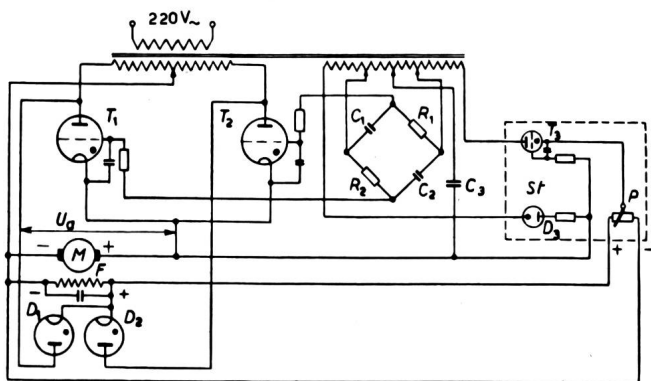


Fig. 3

Prinzipschema einer Motorsteuerungsanlage (1,5 kW) zur Drehzahlstabilisierung

Durch die Ankerspannung werden über eine Phasenbrücke zwei Thyratrons gesteuert. Konstanter Feldgleichrichter mit zwei Dioden

- $T_1, T_2$  Thyratrons TQ2/3;  $D_1, D_2$  Dioden DQ2;  $M$  Motor;  $F$  Feldwicklung;  $U_a$  Ankerspannung;  $R_1, R_2, C_1, C_2$  Phasenbrücke;  $C_3$  Kondensator;  $St$  Steuerteil mit Triode  $T_3$ , Diode  $D_3$  und Potentiometer  $P$

werden die Gitter der Thyratrons negativer und bewirken eine Zündverzögerung, geringeren Stromdurchgang und Sinken der Motordrehzahl. Derartige Anordnungen gestatten Laständerungen mit nur 2...3% Gleichspannungsänderung fast vollständig auszugleichen. Allerdings bedarf es dabei noch einer Kompensation des durch den Ankerwiderstand verursachten Spannungsabfalles.

### 3. Lastunabhängige Drehzahlstabilisierung einer zwei-phasigen Motorsteuerungsanlage mit Tachodynamo

An die Stelle der Triode  $T_3$  (Fig. 3), welche die der jeweiligen Drehzahl proportionale Gegenspannung liefert, tritt hier eine kleine Tachodynamo, die mit der Motorachse fest gekuppelt ist, wobei grundsätzlich auch ein Wechselfspannungserzeuger in Verbindung mit einer zur Gleichrichtung dienenden Diode benützt werden könnte.

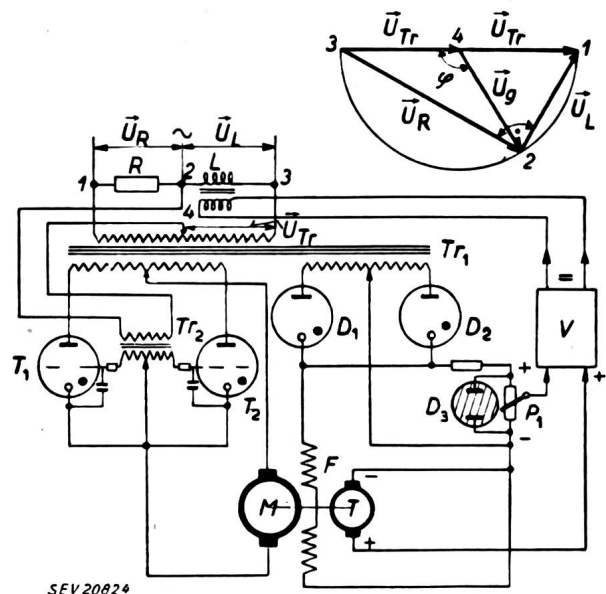


Fig. 4

Vereinfachtes Prinzipschema einer Motorsteuerungsanlage mit Tachodynamo

Lastunabhängige Drehzahlregelung von 1% Genauigkeit. Das Feld wird konstant gehalten, der Ankerstrom wird über die beiden Thyratrons entsprechend der sich durch die Laständerungen ergebenden Drehzahländerung geregelt

- $T_1, T_2$  Thyratrons;  $D_1, D_2$  Dioden des Feldgleichrichters;  $Tr_1$  Brückentransformator;  $Tr_2$  Gittertransformator;  $L$  Brücken-Drosselspule;  $R$  Brücken-Widerstand;  $M$  Motor;  $T$  Tachodynamo;  $V$  Verstärker;  $D_3$  Stabilisatorröhre;  $P_1$  Potentiometer;  $\vec{U}_L, \vec{U}_R, \vec{U}_{Tr}$  Spannungen an den Brückenelementen;  $\vec{U}_g$  Gitterspannung

In Fig. 4 ist eine Prinzipschaltung einer Steuerung mit Tachodynamo dargestellt, bei der die Gittersteuerung nur mit Wechselfspannung erfolgt. Die Regelung auf «konstante Drehzahl» wird hier so vorgenommen, dass über das Potentiometer  $P_1$  ein Teil der vom Feldgleichrichter  $D_1, D_2$  gelieferten und durch  $D_3$  stabilisierten Gleichspannung abgenommen wird, der wieder der Gleichspannung der Tachodynamo gegengeschaltet ist. Die resultierende Fehlerspannung wird in einem Verstärker  $V$  entsprechend verstärkt und durch die gesättigte Drosselspule  $L$  in entsprechende Änderungen des durch sie fliessenden Vormagnetisierungsstromes umgesetzt. Ein mit zunehmender Drehzahl steigender Gleichstrom vermindert die Permeabilität und damit die

ihr proportionale Induktivität  $L$ , womit sich der Vektor  $\vec{U}_g$  der Phasenbrücke ( $L, R, \vec{U}_{Tr}$ ) verkleinert und den Punkt 2 auf dem Halbkreis über der Transformatorspannung  $\vec{U}_{Tr}$ , im Uhrzeigersinn, nach rechts verschiebt. Dementsprechend wird der Phasenwinkel  $\varphi$  zwischen Anoden- und Gitterwechselspannung grösser und die Röhre wird dadurch zeitlich später geöffnet, der Stromdurchgang und damit die Drehzahl verringert. Wird der Gittertransformator  $Tr_2$  als Impulstransformator ausgeführt, so lässt sich damit eine noch höhere Regengenauigkeit erreichen. Für eine Motorleistung von z. B. 6 kW bei einer Ankerspannung von 440 V genügen 2 Thyratrons TQ 2/6 und 2 Dioden DQ2.

**4. Steuerung eines Dreiphasen-Nebenschluss-Kommutatormotors mit elektronischem Impulsregler**

Der bei diesen Motoren unerwünschte Drehzahlabfall zwischen Leerlauf und Vollast, insbesondere bei niederen Drehzahlen, kann durch einen elektronischen Impulsregler in einfacher Weise praktisch vollkommen kompensiert werden. Das Prinzip ist in Fig. 5 dargestellt. Der Impulsregler 4 vergleicht da-

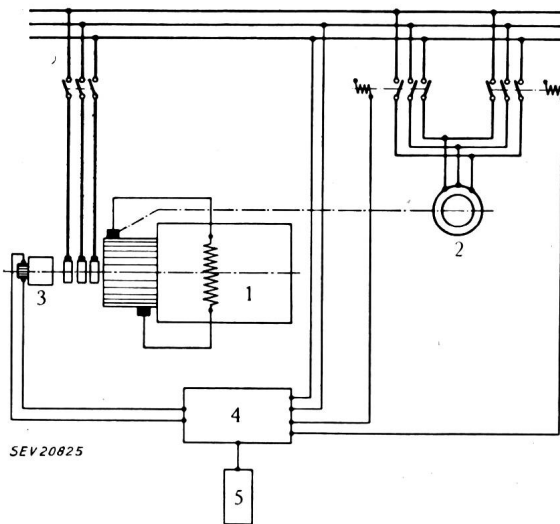


Fig. 5

**Prinzipschema eines Antriebes mit Dreiphasen-Nebenschluss-Kommutatormotor**  
(System Brown Boveri)

Die eingestellte Drehzahl wird durch einen elektronischen Impulsregler mit grosser Genauigkeit konstant gehalten  
1 Nebenschluss-Kommutatormotor; 2 Bürstenverstellmotor;  
3 Tachodynamo; 4 Elektronischer Impulsregler; 5 Kommandostation

bei die durch eine Tachodynamo 3 gemessene Drehzahl mit dem durch ein Potentiometer in der Kommandostation 5 eingestellten Sollwert der Drehzahl. Entsprechend der entstehenden Differenzspannung wird der Bürstenverstellmotor 2 für Vor- oder Rückwärtslauf impulsweise betätigt. Er verstellt die Bürsten des Kommutatormotors 1 so weit, bis die Soll-drehzahl wieder erreicht ist.

**5. Steuerungen für kleinere Gleichstrom-Motoren (bis 3 kW)**

Fig. 6 zeigt eine für die Steuerung kleinerer Gleichstrom-Motoren geeignete Schaltung. Die Steuerung der in Vollweggleichrichtung geschalteten Röh-

ren und damit der Drehzahl des 0,75-kW-Motors mit 300 V Anker- und Feldspannung geschieht mittels reiner Wechselspannung über eine Phasenbrücke. Die Wirkungsweise ist aus dem Vorhergegangenen

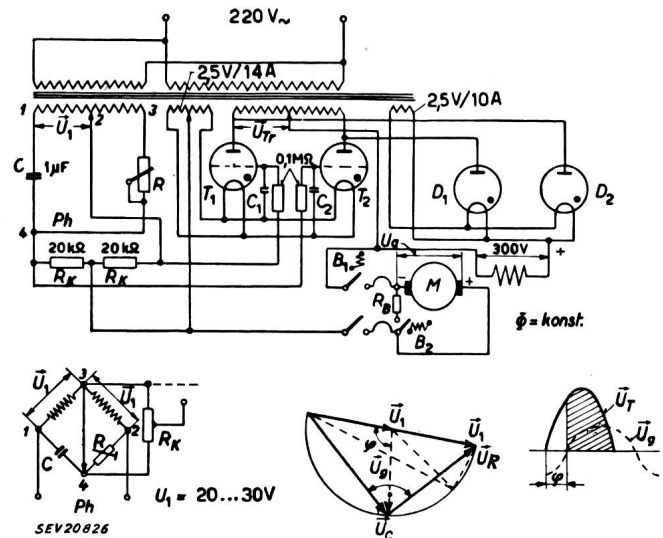


Fig. 6

**Steuerung der Drehzahl kleiner Gleichstrommotoren bis 3 kW**

Steuerung durch Ankerstromregelung über Thyatronröhren, deren Stromdurchgang durch phasenverschobene Wechselspannung mit Hilfe einer Phasenbrücke in einfacher Weise verändert werden kann (Drehzahl-Regelmöglichkeit bis 1 : 50)

$U_a$  Ankerspannung (300 V);  $T_1, T_2$  Thyratrons in Vollweggleichrichter-Schaltung;  $D_1, D_2$  Dioden;  $B_1$  Betriebsschütz;  $B_2$  Bremsschütz;  $M$  Motor;  $C_1, C_2$  Kapazitäten von 500 pF

und der Figur mit den Brückenschaltbildern leicht verständlich. Der Effektivwert der nötigen Transformatorspannung  $U_{Tr}$  errechnet sich aus:

$$U_{Tr} = \frac{(U_a + 16)}{0,9} = 350 \text{ V}$$

Die erforderlichen Thyratrons (Typ TQ1/2) müssen mindestens für eine maximale Sperrspannung von  $\frac{U_a}{0,318} = 950 \text{ V}$  bemessen sein. Die TQ 1/2 besitzt

eine Sperrspannung von 1250 V. Der mittlere Ankerstrom beträgt etwa 2,5 A. Da beiden Röhren ein mittlerer Strom von  $2 \times 1,5 = 3 \text{ A}$  entnommen werden darf, ist die TQ1/2 somit sowohl hinsichtlich Sperrspannung als auch strommässig geeignet. Der maximale momentane Spitzenstrom beträgt für beide Röhren 12 A. Die relativ geringe Anheizzeit von 30 s und die weitgehende Temperaturunabhängigkeit (durch kombinierte Gas-Hg-Füllung) lässt die Röhre besonders bei niederen Umgebungstemperaturen als besonders geeignet erscheinen.

Bei Betrieb mit Motoren mit unter 100 V Ankerspannung müsste zum sicheren Zünden der Röhre mit einem positiven Gitterspannungsimpuls gearbeitet werden.

**6. Steuerungen kleinerer Motoren (bis 3 kW) ohne Netztransformator**

In Fig. 7 wird eine von der Reliance Electric & Engineering Company propagierte, interessante Schaltung ohne Netztransformator angegeben. Durch



den Wegfall des Transformators lassen sich rund 25 % der Kosten einsparen. Eine Drehzahlregelung ist bis etwa 1 : 7 möglich. Der Anker befindet sich hier im Zweig einer aus 2 Dioden und 2 Trioden (Thyatronen) bestehenden Brückenschaltung. Die Dioden  $V_3$  und  $V_4$  dienen als Rückweg für den durch

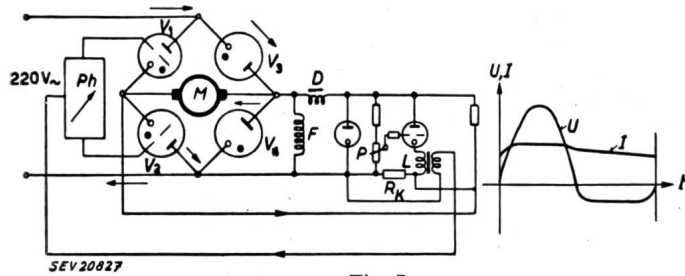


Fig. 7

**Prinzip einer Motorsteuerung ohne Netztransformator**

Diese Steuerung gestattet eine Drehzahlregelung im Verhältnis von maximal 1 : 7. Der Motor liegt hierbei in einer durch Dioden und Thyatronen gebildeten Phasenbrücke  $V_1, V_2$  Thyatronen;  $V_3, V_4$  Dioden;  $M$  Motor;  $Ph$  Phasenbrücke;  $U$  Feldspannung;  $I$  Feldstrom

Pfeile angedeuteten Ankerstrom in jeder Halbperiode und zugleich als Halbwellengleichrichter für den Feldstrom. Die an der Feldwicklung liegende Gleichspannung wird nach Siebung durch die Drosselspule  $D$  als «Vergleichsspannung» verwendet und an einem Potentiometer  $P$  abgegriffen, mit dem die Drehzahl fest eingestellt oder geregelt werden kann. Dies geschieht so, dass damit zunächst der Kathodenstrom einer Kathodenfolgestufe geregelt wird. Dieser erzeugt an  $R_K$  eine Spannung, die der vom Anker abgenommenen Teil-Spannung entgegenwirkt.  $L$  ist eine Gleichstromwicklung auf einem gesättigten Transformator, dessen Sekundärwicklung einen Teil einer Phasenbrücke  $Ph$  darstellt, mit der die an den Gittern der beiden Thyatronen  $V_1$  und  $V_2$  liegende Wechselspannung in ihrer Phase gegenüber der Anodenspannung beeinflusst werden kann. Normalerweise genügt eine Verschiebung bis zu  $140^\circ$ .

Obwohl nur eine Halbperiode, nämlich über  $V_3$  für die Feldspeisung ausgenutzt werden kann ( $V_4$  stellt dabei einen unendlich grossen Widerstand dar), ergibt sich doch über beide Halbperioden ein fast gleichmässiger Strom  $I$ . Das rührt daher, dass in der zweiten Halbperiode, in der  $V_4$  zündet, der in der hochinduktiven Feldwicklung  $F$  gespeicherte Ausschaltstrom über  $V_4$  fließen kann, also in der gleichen Richtung wie der Feldstrom in der ersten Halbperiode. Während in der ersten Halbperiode die volle positive Wechselspannung an der Feldwicklung liegt, stellt sich in der zweiten Halbperiode eine entgegengesetzt gerichtete, ca.  $-16\text{ V}$  betragende, nahezu konstante Spannung ein. Diese Art Gleichrichter wird auch als «freischwingender (free-wheeling) Gleichrichter» bezeichnet.

**II. Beleuchtungsregelung**

Gasgefüllte Hoch- und Niederspannungs-Entladungslampen, sowohl mit Warm- als auch mit Kaltkathoden lassen sich durch Änderung der Amplitude der Speisespannung *nicht* einwandfrei regeln. Eine kontinuierliche, allmähliche Änderung ihrer

Leuchtstärke von Null bis zum Maximum wird bei konstanter Speisespannung durch entsprechende Änderung des sie durchfliessenden Stromes erreicht. Die Steuerung des Stromes kann mit Thyatronen fast leistungslos vorgenommen werden. Ein Beispiel einer verhältnismässig einfachen Lösung zeigt das

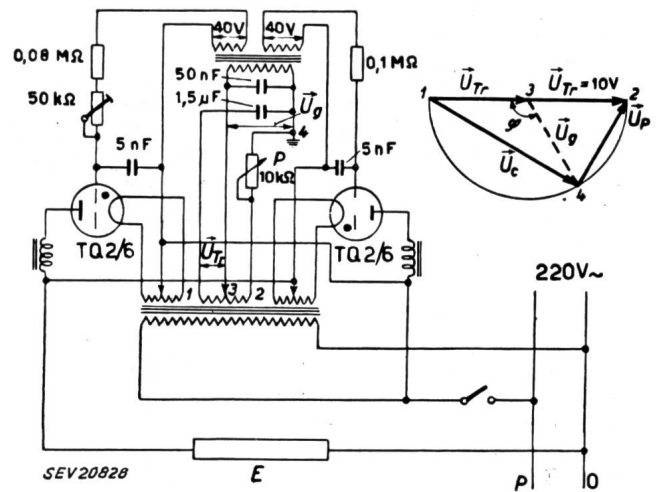


Fig. 8a

**Gegen-Parallelschaltung zweier Thyatronen zur stufenlosen Beleuchtungsregelung von Leuchtstofflampen**

Durch Verlegen des Potentiometers  $P$  ausserhalb des Gerätes oder durch Steuerung desselben mit einem kleinen, durch Relais zu betätigenden Servomotor, lässt sich eine sehr einfache Fernsteuerung erreichen, die aus nur drei Druckknöpfen für «hell», «dunkel» und «stop» besteht und die nur 4 Schwachstromleitungen benötigt

$E$  Entladungslampen;  $P$  Potentiometer; TQ2/6 Thyatronen

Prinzipschema des von Brown, Boveri & Cie. entwickelten «Thyalux»-Lichtsteuergerätes (Fig. 8a und b).

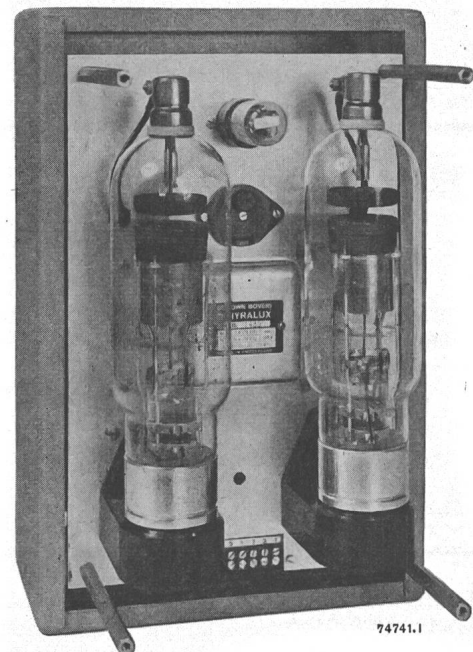


Fig. 8b

Thyralux-Gerät mit abgenommenem Vorderdeckel, bestückt mit 2 Thyatronen Typ TQ 2/6

Wie aus der Schaltung ersichtlich ist, sind die beiden Thyatronen in «Gegen-Parallelschaltung» und in Serie mit der Belastung geschaltet. Die Phasenverschiebung der Steuergitter-Wechselspannung und

damit die Leuchtstärke der Leuchtröhren wird durch Veränderung des Potentiometers  $P$  in einer Phasenbrücke vorgenommen. Wird dieses wie im Thyraluxgerät mit einem kleinen Servomotor über ein Intervall von ca. 10 s allmählich gedreht, so bedarf es nur dreier Druckknöpfe zur gesamten Steuerung. Das mit 2 Röhren TQ2/6 bestückte Thyraluxgerät gestattet den Anschluss von maximal 40 Fluoreszenzlampen Typ TL 220 V/40 W.

Sollen nur Glühlampen (keine Entladungslampen) geregelt werden, so kann dies ebenfalls mit einer Thyraluxschaltung oder mittels gesättigter Drosselspulen geschehen. Ein Schaltungsbeispiel hierfür zeigt Fig. 9. Die beiden in Serie geschalteten

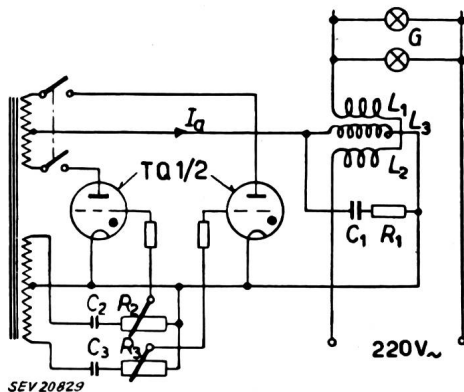


Fig. 9

Lichtstärkeregelung von Glühlampen mittels gesättigter Drosselspulen

Die Regelung erfolgt durch Veränderung der Induktivität der Drosselspulen. Die kontinuierliche Regelung geschieht wiederum mittels gittergesteuerter Thyatronen (z. B. Typ TQ1/2), über die Potentiometer  $R_2$  und  $R_3$   
G Glühlampen

Wicklungen  $L_1$  und  $L_2$  sind auf einem hochgesättigten Kern einer Eisendrosselspule aufgebracht, die noch eine dritte gleichstromdurchflossene Wicklung  $L_3$  mit vielen Windungen dünnen Drahtes trägt, wodurch nur ein relativ geringer Steuerstrom (etwa 5% des Laststromes) benötigt wird. Fließt durch  $L_3$  kein Strom (Thyatronen gesperrt), so ist der Spannungsabfall an  $L_1$  und  $L_2$  so gross, dass die Glühlampen  $G$  nicht aufleuchten. Je grösser  $I_a$ , um so mehr wird die Drosselspule gesättigt und desto geringer ist der Spannungsabfall an  $R_L = \omega (L_1 + L_2)$ . Bei voller Beleuchtung beträgt dieser nur ca. 5% der Speisenspannung, wobei der Ohmsche Widerstand der Wicklungen  $L_1 + L_2$  sehr klein sein soll.  $R_1C_1$  kompensiert die induktive Belastung der Steuerröhren.  $R_2C_2$  und  $R_3C_3$  besorgen die Phasenverschiebung für die Gittersteuerung.

### III. Elektrische Schweißung

Für kleine Schweißleistungen lassen sich mit Thyatronen (auch ohne Ignitron) geeignete billige Steuerungen aufbauen, wie die folgenden Schaltungshinweise zeigen:

#### 1. Einfaches Ein-Röhren-Punktschweißgerät mit geringer Schweißfrequenz

Die für dieses Gerät geeignete Schaltung ist in Fig. 10 wiedergegeben. Das Thyatron arbeitet hier sowohl als Gleichrichter für den Relaisgleichstrom

(Relais  $B_1$ ), als auch als Zeitgeber, wobei das zeitbestimmende Glied  $R_2C_3$  ist. Durch das  $C_3$  parallel geschaltete Potentiometer  $P$  kann eine Feinregulierung der Zeitintervalle erfolgen.

Die Apparatur arbeitet folgendermassen: Beim Drücken des Schaltknopfes  $D$  lädt sich  $C_2$  auf; dadurch wird das Relais  $A_1$  erregt, das seinen Kontakt  $a_1$  schliesst. Damit kann sich die Kapazität  $C_3$  über  $a_1$  entladen. Nach  $t_1$  s (Punkt  $a$  in Fig. 10b) zündet die Röhre.  $B_1$  schliesst  $b_1$  (Schweissperiode) und öffnet gleichzeitig  $b_2$ . Die Kapazität  $C_3$  kann sich wieder über  $R_2$  und  $R_1$  negativ aufladen, so dass die

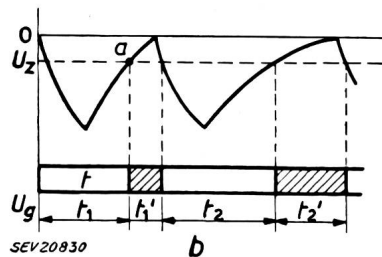
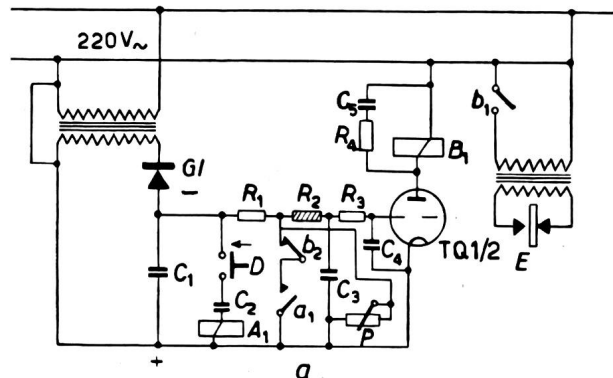


Fig. 10

Einröhren-Punktschweißgerät für geringe Schweißfrequenzen  
Thyatron-Relais-Steuerung

- a) Schaltschema  
E Schweißelektroden; GI Gleichrichter;  $A_1, B_1$  Relais;  
 $a_1, b_1, b_2$  Relaiskontakte  
b) Schema der durch  $C_3, R_2$  und  $P$  bestimmten  
Zeitintervall-Regelung  
 $U_2$  Zündspannung;  $t_1, t_2 \dots$  Kontakt  $b$  offen;  
 $t_1', t_2' \dots$  Kontakt  $b$  geschlossen

Röhre zum Beginn einer der folgenden negativen Halperioden des Anodenwechselstromes schliesslich sperrt. Die Schweissperiode ist damit beendet;  $B_1$  wird stromlos,  $b_1$  öffnet wieder.

Die Schweissintervalle und Schweisszeiten sind durch die Gitterkreisglieder bestimmt und hängen nicht von der Dauer des Drückens des Knopfes  $D$  ab. Der maximale Schweißstrom wird durch die Güte des Kontaktes  $b_1$ , die maximale Schweißfrequenz durch die Kreisglieder  $RC$  und durch die Relais mit maximalem Schaltstrom von 1...2 A begrenzt. Der Schweißstrom wird maximal einige 100 A betragen, er lässt sich nicht regulieren.  $C_5$  und  $R_4$  dienen zur Glättung und zum Halten des Relais.  $R_3$  wird zur Gitterstrombegrenzung und  $C_4$  zur «Stromspitzen»-Unterdrückung eingeschaltet. Als Thyatron genügt die Brown-Boveri-Röhre TQ1/2. Als Anwendungsgebiet kommt z. B. Punktschweißen in der Uhrmacher-Branche in Frage.

2. Punktschweissmaschine mit Stromspitzen bis zu 3000 A

Die Inbetriebnahme und Arbeitsweise dieser für kleine Punktschweißungen sehr zweckmässigen Anlage, deren Schema durch Fig. 11 gezeigt wird, ist folgende: Durch Einschalten des Schalters  $S_1$  auf Stufe I wird die Vorheizung in Betrieb gesetzt. Nach

$R_{21}$  wird zweckmässig so eingestellt, dass der maximal zulässige Anodenstrom nicht überschritten wird. Für die  $V_4$  wird zweckmässigerweise ein Thyatron vom Typ TQ2/6 mit 40 A Spitzenstrom verwendet. Mit Rücksicht auf die kurzen Arbeitszeiten, kann bis zur maximalen Stromspitze eingestellt werden. Für  $V_2$  und  $V_3$  können Kleinthyratrons,

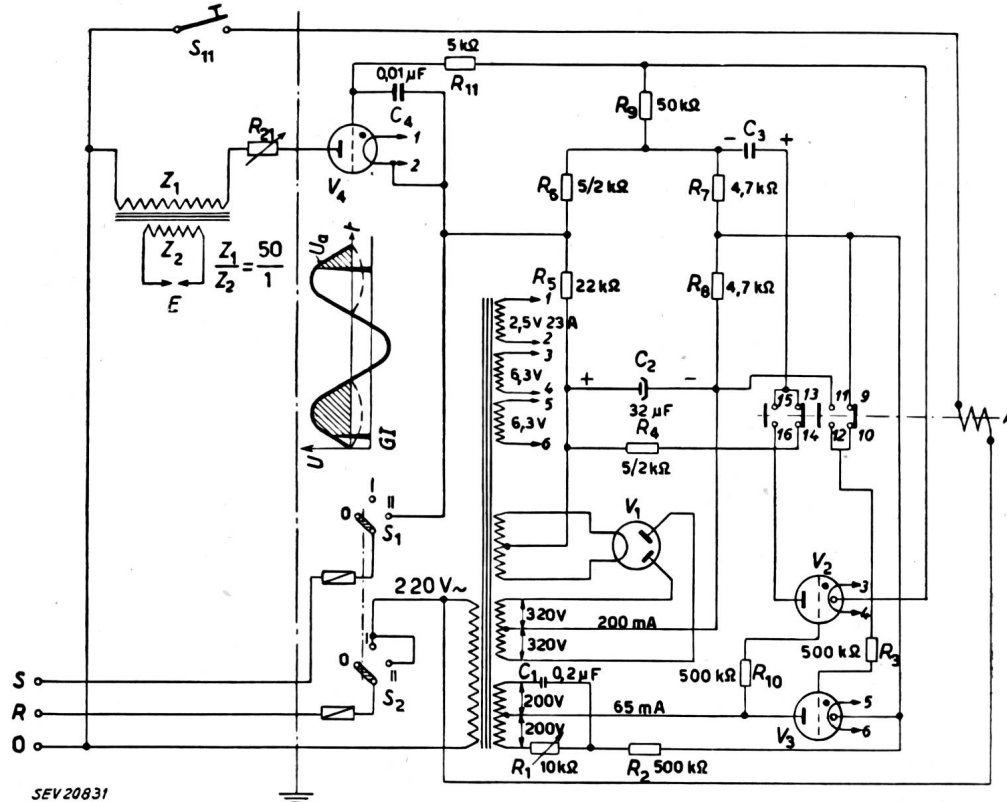


Fig. 11  
Kleinpunktschweissmaschine mit einem Thyatron TQ 2/6 (ohne Ignitron)  
Diese Anlage gestattet Punktschweißungen bis 3000 A und  $1/100$  s Schweißdauer  
 $V_4$  Thyatron TQ2/6;  
A Schweiß-Relais;  
E Schweißelektroden;  
GI Gitterimpuls  
(Weitere Angaben siehe im Text)

2 min darf auf Stufe II weitergeschaltet werden, wodurch die Anlage betriebsbereit ist. Durch Drücken des Fuss-Schalters  $S_{11}$  fliesst durch das Relais A Strom, die Kontakte 13, 14 und 9 und 10 werden geöffnet, 15, 16, 11 und 12 geschlossen. Damit wird die Anode der Röhre  $V_2$  über den in der Ruhezeit aufgeladenen Kondensator  $C_3$  an ein positives Potential gelegt. Das Gitter der bisher geöffneten  $V_3$  wird gegenüber ihrer Kathode an eine negative Spannung umgeschaltet, die Röhre sperrt und stellt praktisch einen unendlich hohen Widerstand dar, wodurch die Überbrückung der Phasenglieder  $R_1$  und  $C_1$  aufgehoben wird. An das Gitter von  $V_2$  gelangt jetzt eine in ihrer Phase verschiebbare Gitterwechselspannung, so dass die Röhre in deren positiver Halbwelle zündet. Der Kondensator  $C_3$  entlädt sich kurzzeitig über die praktisch einen Kurzschluss darstellende Röhre  $V_2$ , so dass an deren Kathodenwiderstand  $R_9$  ein starker positiver Impuls auftritt, der das an Netzwechselspannung liegende Thyatron  $V_4$  öffnet und bis zum Nulldurchgang der positiven Halbwelle des Netzwechselstromes geöffnet hält. Die Schweißzeit kann sich daher nur auf maximal  $1/2$ -Periode, also  $1/100$  s erstrecken. Sie lässt sich mit Hilfe des Phasenschiebers  $R_1$  bis auf nahezu Null verringern. Dabei wird natürlich auch der durch  $V_4$  fließende Strom verringert. Mit der Regelung durch  $R_1$  erfolgt also gleichzeitig auch eine Stromregelung.

z. B. des Typs EC50, mit je ca. 10 mA gewählt werden. Für  $V_1$  eignet sich jede beliebige direkt geheizte Gleichrichterröhre mit 200 mA, z. B. der Typ 5U4G. Jeder Schweißpunkt erfordert ein Niederdrücken des Fußschalters  $S_{11}$ , wobei durch die entsprechend gewählte Übersetzung des Schweißstromtransformators ein Schweißstrom von etwa 3000 A erzielbar ist, womit sich Schweißkörper bis zu einigen Zehntelmillimeter Dicke gut verbinden lassen. Im Röhrenbau

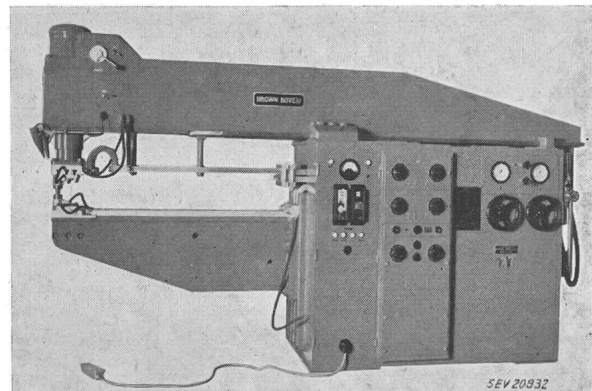


Fig. 12  
Grösste bisher gebaute Punkt- und Nahtschweissmaschine  
Maximale Schweißleistung 1000 kVA, grösste Armausladung 1500 mm, höchste Elektrodendruckkraft 3000 kg. Diese Maschine steht in der Schweisshalle der Flug- und Fahrzeugwerke A.-G., Altenrhein (Schweiz), in Betrieb



z. B. für Gitterschweißungen usw. kann dieses Gerät gute Dienste leisten.

Werden *grössere Schweissleistungen* und Apparate vielseitiger Verwendungsmöglichkeiten gewünscht, so müssen die elektronischen Steuerungen mit *Thyratrons* und *Ignitrons* aufgebaut werden. Hiefür stehen ausgereifte Konstruktionen zur Verfügung. Eine maximale Schweissleistung von 1000 kVA lässt sich z. B. mit der kombinierten, druckluftbetätigten Punkt- und Nahtschweissmaschine mit rein elektronischer Steuerung (Fig. 12) erzielen. Die Maschine gestattet das Punktschweissen von Leichtmetallblech bis zu 14 mm Gesamtdicke, sowie von Stahlblech bis zu 50 mm Blechstärke mehrschichtiger Verbindungen, ferner Nahtschweissen von 2 + 2

mm Leichtmetall und 3 + 3 mm Stahlblech. Überdies wird beim Punktschweissen die Wahl von 15 verschiedenen Schweissprogrammen mit Vorwärmen, Schweissen, Nachglühen, Vorpressen und Nachpressen mit gleichem oder erhöhtem Druck möglich.

Mit diesen Hinweisen über industrielle Verwendungsmöglichkeiten von Thyratrons ist deren Anwendungsmöglichkeit keinesfalls erschöpft. Diese ist so gross und vielseitig, dass eine auch nur teilweise Wiedergabe den Rahmen dieser Arbeit überschreiten würde.

Adresse des Autors:

Roland Hübner, dipl. Ing., Nägelistrasse 14, Wettingen (AG).

## Das Albula-Jubiläum der Rhätischen Bahn (1903...1953) im Lichte der technischen Entwicklung des Traktionsdienstes

Von A. Bächtiger, Landquart

061.75 : 625.1(494.262.2)

Bei der im Jahre 1889 erfolgten Eröffnung der ersten Teilstrecke der damaligen Bahngesellschaft Landquart-Davos war es offensichtlich, dass damit nur ein erster Anfang einer grosszügigen Verkehrsentwicklung im Kanton Graubünden eingeleitet sei. Wenig später dehnte sich der Schienenstrang schon von Landquart über Chur nach Thusis aus und es konnte lediglich noch eine Frage der Zeit sein, durch das Albulamassiv ins Engadin, die Sonnenstube des grössten Schweizer Kantons, vorzustossen. Dies durfte um so eher gewagt werden, als die rund 50 km lange Strecke Landquart-Davos bereits in Höhen von mehr als 1600 m ü. M. führte und Steilrampen von rd. 45 % überwand. Es war aber ge-

Mit den auf der Davoser Linie in grösserer Zahl vorhandenen 2/2 + 2/3-Mallet-Dampflokomotiven mit rd. 80 m<sup>2</sup> Heizfläche konnten beachtliche Transportleistungen vollbracht werden. Der ständig zunehmende Verkehr zeigte aber bald, dass für die Albulastrecke noch stärkere Einheiten notwendig waren, und schon 1904 konnten die ersten 4 Dampflokomotiven, 4/5 gekuppelt, mit Schlepptender und rd. 120 m<sup>2</sup> Heizfläche in Betrieb genommen werden (Fig. 1). Inert nur 4 Jahren erhöhte sich die Zahl dieser Maschinen auf insgesamt 14, später 29 Stück, deren letzte mit dem Schmidtschen Dampfüberhitzer ausgerüstet waren. Dank der entwickelten Leistung von rd. 800 PS und ca. 65 t Dienstgewicht konnten in 35 % Steigung Anhängelasten von 90... 100 t bei etwa 30 km/h bergwärts geführt und auf der Ebene Höchstgeschwindigkeiten von 45 km/h erreicht werden. Die Fahrzeit eines Schnellzuges Chur-St. Moritz betrug damals ca. 3 h. Abgesehen von der trotz Spezialeinrichtungen unangenehmen Rauchplage infolge der zahlreichen Tunnel ergeben sich mit dieser Traktionsart, die mit den 2 Lokomotiven Nrn. 107 und 108 in Notfällen jetzt noch durchgeführt wird, beträchtliche Betriebskosten. Schon die Anheizzeit von 5...6 h bringt in einzelnen Fällen zahlreiche Umtriebe;

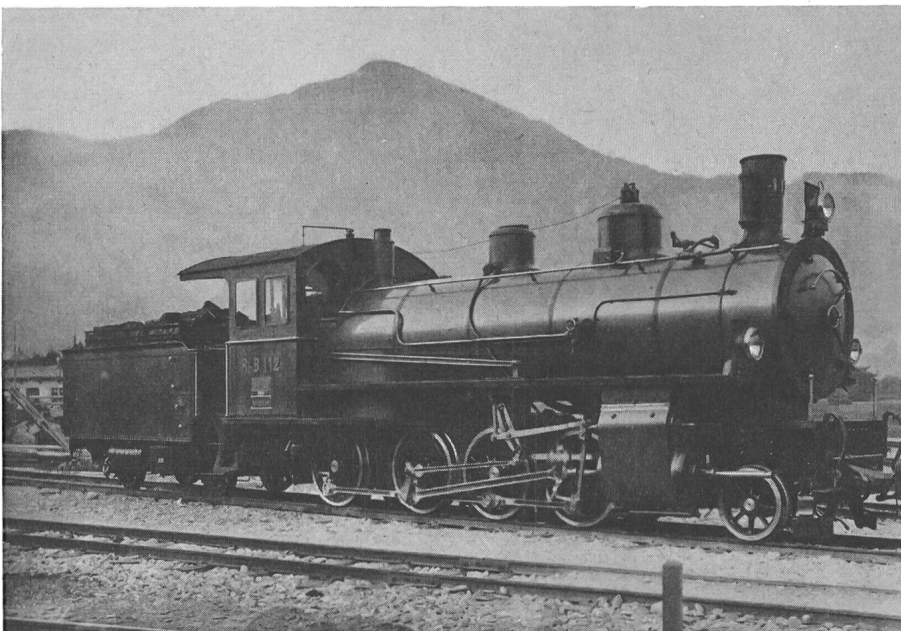


Fig. 1  
4/5 gekuppelte Heissdampflokomotive Rh.B. Serie 101-129, mit Schlepptender; 800 PS; Gewicht total 65 t

radezu der Beginn eines neuen Zeitabschnittes, als im Jahre 1903 die Albulabahn, das Glanzstück des zu diesem Zeitpunkt schon mit «Rhätische Bahn» bezeichneten Verkehrsunternehmens, eingeweiht wurde. Mit ihren 90 km Streckenlänge Chur-St. Moritz und Höhen der Endpunkte von 600 m ü. M. bzw. 1800 m ü. M. durfte diese neue Alpenlinie ohne Überheblichkeit sich an die Seite einer Gotthardbahn stellen und sich sehen lassen. Entsprechend grosse Anforderungen wurden damit, besonders im Hinblick auf den damaligen Stand der Technik, an den Traktionsdienst gestellt.

die Führung ist nur zweimännig möglich und es müssen pro Tag bei 60 000 Bruttotonnenkilometern in den mittleren Betriebsverhältnissen und 32 km/h Reisegeschwindigkeit rd. 5 t Kohlen pro Lokomotive aufgewendet werden, was nach den gegenwärtigen Lohn- und Preisansätzen allein Fr. 200.— für Lokomotivpersonal und Fr. 675.— für Kohlen ausmacht; pro Bruttotonnenkilometer müssen also 1,46 Rp. aufgewendet werden. Schon um das Jahr 1903 fanden sowohl im In- wie im Ausland entscheidende Versuche mit dem elektrischen Betrieb auf längeren Eisenbahnstrecken statt, die der verant-