

JAHRG. XIV
HEFT 8

AUGUST
1927

BBC

MITTEILUNGEN

Herausgegeben von der Aktiengesellschaft BROWN, BOVERI & C^{IE}, BADEN (Schweiz)



EISENBAHN-FÄHRDAMPFER „SEIKAN MARU No. 1“ DER JAPANISCHEN STAATSBAHNEN.

INHALT:

	Seite		Seite
Temperaturschalter zum thermischen Schutz elektrischer Anlagen	195	Kleine Mitteilungen: Turbo-Getriebeanlage des Eisenbahn-Fährdampfers „Seikan Maru No. 1“	215
Die 4000-PS-Gleichstromlokomotiven der Paris-Orléans Bahn	197	Abnahmeversuche an einer 37 500-kW-Brown Boveri-Dreizylinder-Dampfturbine im Grosskraftwerk Zschornowitz	218
Der Quecksilberdampf-Grossgleichrichter als Umformer für elektrische Vorort-, Überland- und Vollbahnen. (Schluss)	203		

WECHSELSTROMMOTOREN MIT ZENTRIFUGALANLASSER



VERBINDEN EINFACHHEIT BEIM ANLAUF DES KLEINEN MOTORS
MIT KURZSCHLUSSROTOR

MIT

ANPASSUNGSFÄHIGKEIT IM ANLAUFSTROM UND DREHMOMENT
DES SCHLEIFRINGMOTORS

KEIN STERN-DREIECKANLASSER
KEIN ANLASSTRANSFORMATOR
KEIN ROTORANLASSER

KEINE SCHLEIFRINGE
KEINE BÜRSTEN
KEINE BÜRSTENABHEBUNG

DAHER

EINFACHE INSTALLATION
EINFACHER ANLAUF

EINFACHER BETRIEB
EINFACHE WARTUNG

IN DREI JAHREN ÜBER 5000 STÜCK GELIEFERT, DARUNTER MEHR ALS
700 STÜCK MIT JE ÜBER 30 kW LEISTUNG

BBC MITTEILUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON DER A.-G. BROWN, BOVERI & C^{IE} IN BADEN

JAHRG. XIV

AUGUST 1927

HEFT N^o 8

Die BBC Mitteilungen erscheinen monatlich einmal. Der Nachdruck von Aufsätzen und die Wiedergabe von Abbildungen sind nur unter Quellenangabe gestattet. Einzelheft Fr. 1.—; Jahresabonnement Fr. 10.—, ausschliesslich Verpackungs- und Portospesen.

TEMPERATURSCHALTER ZUM THERMISCHEN SCHUTZ ELEKTRISCHER ANLAGEN.

Dezimalindex 621.317.8.

Der Schutz elektrischer Maschinen und Apparate gegen schädliche Erwärmung infolge unzulässiger Überlastungen wurde früher der Bedienungsmannschaft anvertraut. Das Abschalten einer übermässig belasteten Einheit oder das Zuschalten einer Entlastungseinheit erfolgte durch den Maschinenwärter meistens gefühlsmässig oder nach dem ungefähren Stand des Stromanzeigers. In gleicher Weise vollzog sich bei Abnahme der Last die Ausserbetriebnahme der zugeschalteten Einheit. Diese Schutzmassnahmen werden aber in der Regel auf die genannte Weise vom Personal viel zu früh oder aber zu spät vorgenommen, wodurch sich entweder grosse Verluste einer vorzeitig zugeschalteten, also ungünstig belasteten Maschine oder dann Schädigungen infolge zu hoher Erwärmung ergeben.

Die A.-G. Brown, Boveri & Cie. hat einen erprobten Temperaturschalter auf den Markt gebracht, welcher je nach der Erwärmung der zu schützenden Maschine das rechtzeitige Zu- und Abschalten einer weiteren Einheit bewirkt. Der Apparat kann zur Abschaltung eines Maschinenaggregates und gleichzeitig zur Alarmierung der Bedienung verwendet werden. Man kann ihn derartig ausführen, dass die Wiederinbetriebnahme der betreffenden Maschine erst möglich wird, wenn die Temperatur auf einen vorher einstellbaren Wert gesunken ist. Dieser Temperaturschalter wird in vollständig bedienungslosen Anlagen zum selbsttätigen Zu- und Abschalten von Entlastungseinheiten und in solchen mit Wartung zum Abschalten der überlasteten Einheit oder zur Alarmierung der Bedienung zum Zuschalten einer Betriebseinheit vorteilhaft angewandt.

Temperaturschalter, von einem Strom beeinflusst, welcher demjenigen der zu schützenden Anlage proportional ist, können so ausgeführt werden, dass sie deren Erwärmungsverhältnisse nachahmen. Hierfür muss in der zu schützenden Wicklung und im aktiven Teil des Temperaturschalters die Temperatur beim Erwärmen

oder Abkühlen in gleichen Zeiten praktisch die gleiche Änderung erfahren. Zur Erreichung der vollen Sicherheit ist es jedoch vorteilhafter, den Apparat so vorzusehen, dass die Erwärmung bis zu dessen Ansprechtemperatur etwas rascher und die Abkühlung etwas langsamer erfolgen als in dem zu schützenden Maschinenteil. Dies ist besonders wünschenswert, wenn es sich um eine ältere Maschine handelt, deren ursprünglicher Zustand sich verändert hat und die erhöhten Schutz vor gefährlicher Erwärmung verlangt. Die Unabhängigkeit der Erwärmungszeit von der Abkühlzeit, die die erwünschte Anpassung an geänderte Betriebsverhältnisse gestattet, ist ein besonderer Vorzug des Temperaturschalters Bauart Brown Boveri gegenüber Erzeugnissen fremder Herkunft.

Der Temperaturschalter wird aus einem zylindrischen Blechgefäss mit einstellbarer Kühleinrichtung und einem konzentrisch angeordneten Ölbehälter gebildet, in dessen Inhalt zwei Thermoregulatoren und ein Heizwiderstand getaucht werden. Diese eingebauten Apparate werden oben durch einen Deckel abgeschlossen. An einem, am äusseren Zylinder angeschweissten Eisenbügel sind die Anschlussklemmen für den Heizwiderstand und die Thermoregulatoren angebracht. Der Temperaturschalter zeichnet sich durch seine grosse Einstellbarkeit aus, wodurch er für alle Betriebsfälle sehr anpassungsfähig wird. Die Beeinflussung der Ansprechzeiten erfolgt durch Änderung der Ölmenge, der Kühlung, der Heizleistung (letztere durch entsprechende Einstellung eines parallelen Widerstandes) und durch Einstellung der Thermoregulatoren. Da von diesen einer zum Zuschalten und einer zum Abschalten vorgesehen ist, ergibt sich ein grosser Einstellbereich, womit auch verhindert werden kann, dass bei Temperaturschwankungen um den eingestellten Wert sehr kurz nacheinander folgende Ein- und Abschaltungen der Entlastungseinheiten auftreten, die für die meisten Maschinen und Anlassvorrichtungen unzulässig wären.

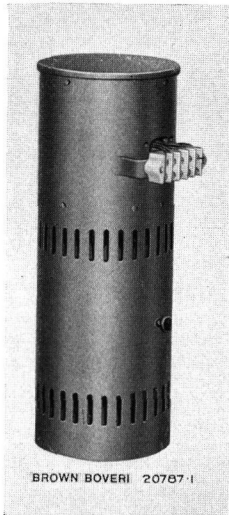


Abb. 1. — Temperaturschalter Bauart Brown Boveri.

Durch die Einstellung der beiden Thermoregulatoren kann die Zeit zwischen zwei Schaltungen auf einfache Weise festgelegt werden.

Zum Temperaturschalter gehören ein Stromwandler, ein Regulierwiderstand und der Schaltapparat. Der Stromwandler, welcher in der Zuleitung der zu schützenden Maschine liegt, speist den Heizwiderstand. Dieser erhält einen aussenliegenden, parallelgeschalteten Regulierwiderstand zur Einstellung der Heizleistung. Der Schaltapparat bewirkt das Zu- und Abschalten von Belastungseinheiten bei bedienungslosen Anlagen oder er setzt eine zu

schützende Einheit ausser Betrieb, oder alarmiert, wenn bediente Stationen in Frage stehen. Diese Eingriffe können von den Thermoregulatoren in der Ausführung als Präzisionsapparate mit ihren feinen Kontakten nicht unmittelbar, sondern nur mit Hilfe eines besonderen Schaltapparates einwandfrei ausgeführt werden.

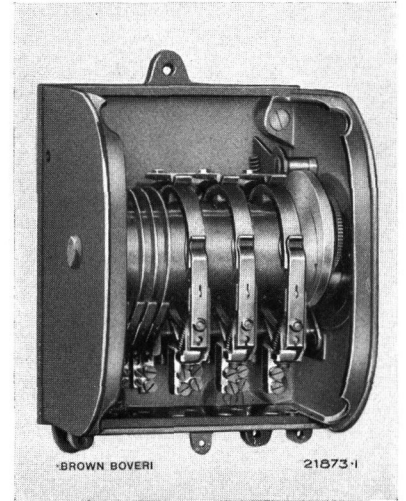


Abb. 2. — Schaltapparat zum Temperaturschalter.

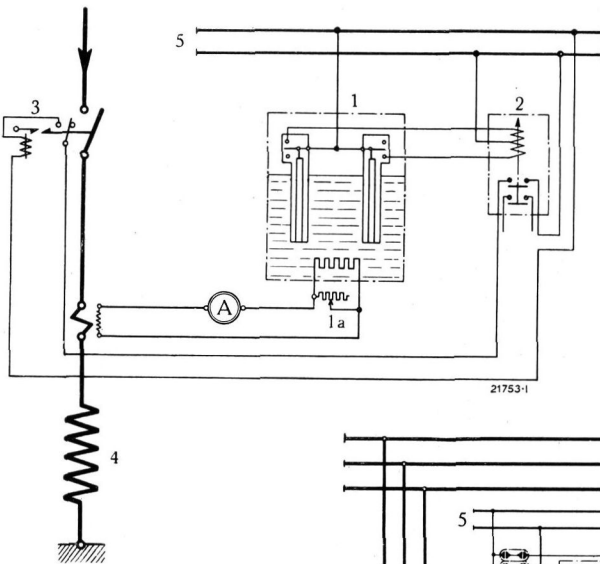


Abb. 3. — Allgemeines Schaltbild eines Temperaturschalters für den thermischen Schutz einer Dissonanzlöschspule.

- 1 = Temperaturschalter.
- 1a = Regulierwiderstand.
- 2 = Schaltapparat.
- 3 = Auslösespule.
- 4 = Dissonanzlöschspule.
- 5 = Hilfsstromquelle.

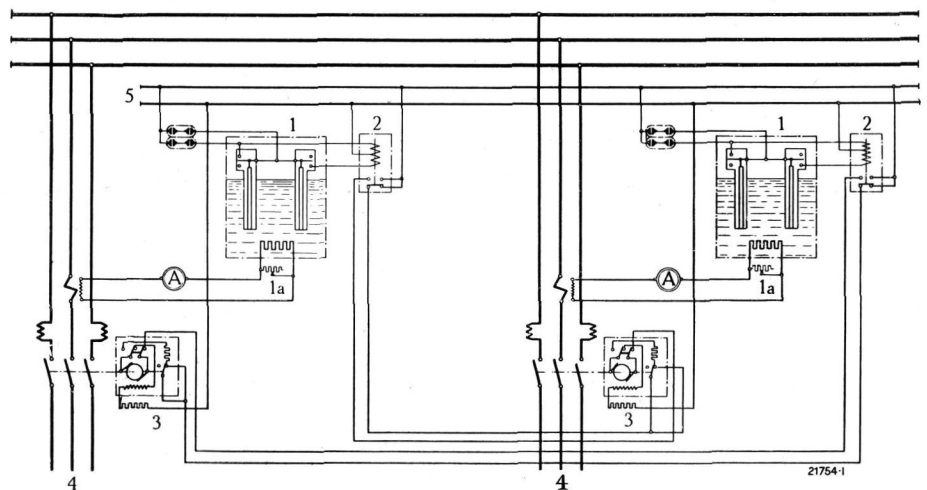


Abb. 4. — Allgemeines Schaltbild von zwei Temperaturschaltern für den thermischen Schutz von zwei selbsttätigen Umformereinheiten.

- 1 = Temperaturschalter.
- 1a = Regulierwiderstand.
- 2 = Schaltapparat.
- 3 = Elektrischer Schalterantrieb.
- 4 = Zu schützende Umformereinheiten.
- 5 = Hilfsstromquelle.

Die Temperaturschalter finden häufige Verwendung bei einzelnen Motoren und Generatoren, Einankerumformer- und Gleichrichteranlagen, Transformatoren, Dissonanzlöschspulen, Apparaten und Leitungsteilen. Die von der A.-G. Brown, Boveri & Cie. gewählte Anordnung ist in den meisten Ländern Europas, den Vereinigten Staaten von Amerika und andern Gebieten

durch Patente geschützt. Der Einbau in bestehende Anlagen ist leicht durchführbar und die Anschaffungskosten sind so gering, dass sie in kürzester Zeit durch die Betriebsersparnisse getilgt werden können. Diese ergeben sich durch die bessere Ausnützung der vorhandenen Maschinen und ihre Schonung vor schädlichen Erwärmungen. (MS 422) *F. Schmidlin.*

DIE 4000-PS-GLEICHSTROMLOKOMOTIVEN DER PARIS-ORLÉANS BAHN.

Dezimalindex 621. 334. 2 : 621. 331. 32 (44).

Die Compagnie du Chemin de Fer de Paris à Orléans in Paris hatte schon im Jahre 1900 mit der Elektrifikation einer ersten Teilstrecke ihres Netzes begonnen, und zwar handelte es sich damals um das unterirdisch angelegte Teilstück Quai d'Orsay-Gare d'Austerlitz. Im Jahre 1904 wurde der elektrische Betrieb auf das Teilstück Gare d'Austerlitz-Juvisy ausgedehnt, unter Beibehaltung der Betriebsspannung von 600 V Gleichstrom und Anwendung der dritten Schiene. Erst das Jahr 1919 brachte ein endgültiges Projekt zur Fortführung und Umänderung der begonnenen Elektrifikation auf bedeutenden Strecken des Netzes unter Anwendung des Gleichstromsystemes mit 1500 V und Stromabnahme sowohl von dritter Schiene als auch von einer Kontaktleitung. Gegenwärtig hat die Gesellschaft die ganze Strecke Paris-Vierzon (204 km) mit Einschluss des schon mit 600 V betriebenen Teilstückes Paris (Quai d'Orsay)-Juvisy für den neuen Betrieb mit 1500 V eingerichtet, ebenso die Zweiglinie Bretigny-Dourdan (24 km). Ferner ist die Fortführung des elektrischen Betriebes von Vierzon bis Brive (299 km) im nähern Stadium. Eine Reihe von Zweiglinien des Netzes der Paris-Orléans Bahn in der Gegend des Massif Central werden später nachfolgen.

Die zum Betrieb notwendige Energie wird teilweise aus den Dampfzentralen der Sté l'Union d'Electricité in Gennevilliers und Vitry, teilweise aus den hydro-elektrischen Zentralen der Gesellschaft selbst in Coindre, Chavanon und Vernéjoux und schliesslich auch aus dem hydraulischen Kraftwerk in Eguzon, das von der Société l'Union hydro-électrique unter Beteiligung der genannten Bahngesellschaft gebaut wurde, bezogen.

Durch 22 Unterstationen, die an der 506 km langen Strecke Paris-Brive verteilt sind, soll der in genannten Kraftwerken erzeugte Dreiphasen-Wechselstrom von 50 Perioden in Gleichstrom 1500 V umgewandelt werden. Die Übertragung der Energie von den Kraftwerken zu den Haupttransformatorenstationen

der Bahn geschieht mit 150 000 V. Die Speiseleitung der grössten Zahl der Unterstationen von den Haupttransformatoren weg hat 90 000 V. Nur zwei der Unterstationen in nächster Umgebung von Paris werden unmittelbar von den Mittelspannungs-Sammelschienen des Kraftwerkes Vitry mit 13 200 V gespeist.

Die Gleichstromleistung der in jeder Unterstation aufgestellten rotierenden Umformer beträgt einschliesslich Reservegruppe 4000 bis 6000 kW, wobei Einheiten von 1000 kW bei 750 V verwendet werden.

Die Kontaktleitung ist mit Vielfachaufhängung versehen und wird durch Gittermaste verschiedener Bauart je nach Zahl und Verlegung der Geleise getragen. Der übliche Mastenabstand beträgt 63 m. Jede Kontaktleitung besteht aus einem Tragkabel aus Bronze von 116 mm², einem Hilfsdraht aus Kupfer von 104 mm² und zwei Kontaktdrähten aus Profilkupfer von je 107 mm² Querschnitt. Ausserdem ist beabsichtigt, später die dritte Schiene als Verstärkungsleitung beizuziehen. Wo diese fehlt, sind schon heute für jede Kontaktleitung stellenweise Kabel von 260 mm² Querschnitt angeordnet.

Im Laufe des Jahres 1925 lieferte die Cie Electro-Mécanique, Paris, an die Cie du Chemin de Fer de Paris à Orléans zwei normalspurige Schnellzuglokomotiven, die nicht nur wegen ihrer aussergewöhnlichen Leistung, sondern auch wegen gewisser Einzelheiten der Ausführung und der genauen Erfüllung der schweren Bedingungen des Pflichtenheftes bemerkenswert sind.

Jede der Lokomotiven musste nämlich imstande sein, Personenzüge von 650 t und Schnellzüge von 530 t Anhängengewicht zwischen Paris und Vierzon zu befördern. Auf Geleisestrecken, die jetzt von Dampflokomotiven mit 120 km/h befahren werden, sollten diese Lokomotiven Geschwindigkeiten von 130 km/h erreichen, ohne aussergewöhnliche Stösse noch übermässige Erschütterungen und ohne irgendwelche Schädigungen am Geleise zu verursachen. Geleisekurven auf freier Strecke von 500 m Radius sollten

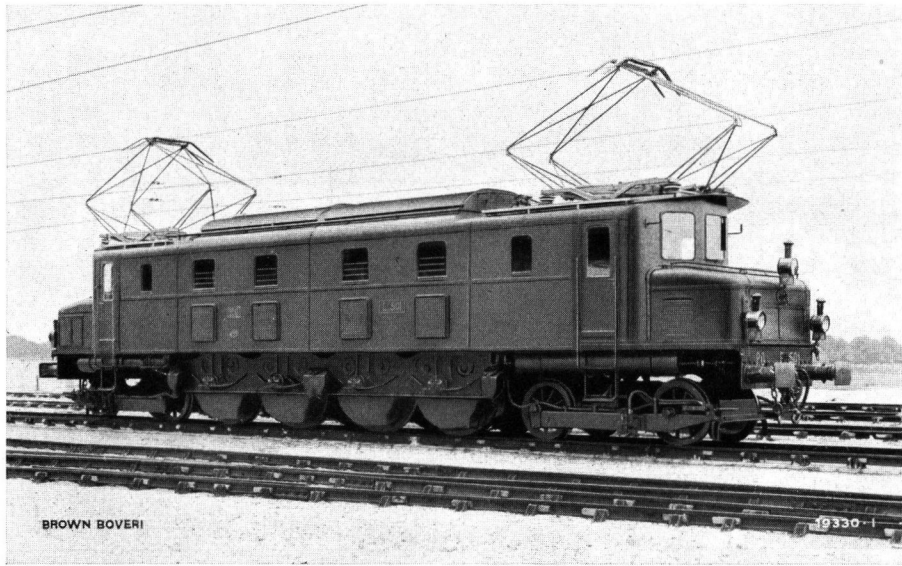


Abb. 1. — Gleichstromlokomotive der Paris-Orléans Bahn von 4000 PS Leistung.

und die Verteilung der Gewichte gehen auch aus Abb. 2 hervor. Die an den Triebrädern bei 1500 V Kontaktdrahtspannung und einer Fahrgeschwindigkeit von etwa 71 km/h erzeugte Stundenleistung beträgt 4000 PS, die Stundenzugkraft rund 15 900 kg, die Dauerleistung bei etwa 77 km/h 3300 PS, die Dauerzugkraft rund 11 400 kg. Bei der Anfahrt können bei gutem Schienenzustand Zugkräfte von 21 600 kg gleich 30 % des gesamten Adhäsionsgewichtes erzeugt werden.

mit 100 km/h, solche von 150 m Radius mit 40 km/h und ausserdem enge Depotkurven von 80 m mit einer Fahrgeschwindigkeit von etwa 6 km/h durchfahren werden können.

Diese Bedingungen führten zur Wahl einer 2 D 2-Lokomotive mit vier Triebachsen und je einem Führungsdrehgestell an jedem Lokomotivende, wie in Abb. 1 dargestellt. Der Triebachsdruck beträgt 18 t und erreicht damit den für diese Bahn höchstzulässigen Wert. Die Laufachsdücke des unsymmetrischen Drehgestelles betragen 10,5 t für die äussere und 13,0 t für die innere Achse, sodass sich ein Gesamtgewicht von 119 t ergibt. Die Hauptabmessungen

Die Hauptdaten der

Lokomotiven sind folgende:

Spurweite	1445	mm
Triebraddurchmesser	1750	mm
Laufraddurchmesser	970	mm
Gesamte Länge über Puffer	17780	mm
Gesamter Radstand	14150	mm
Radstand der Triebachsen	5750	mm
Zahnradübersetzung	1 : 2,55	
Zulässiger Achsdruck	18	t
Triebachsdruck	18	t
Belastung der innern Drehgestellachse	13,0	t
Belastung der äusseren Drehgestellachse	10,5	t
Reibungsgewicht	72	t
Gewicht des mechanischen Teiles	75,2	t
Gewicht der elektrischen Ausrüstung	43,4	t

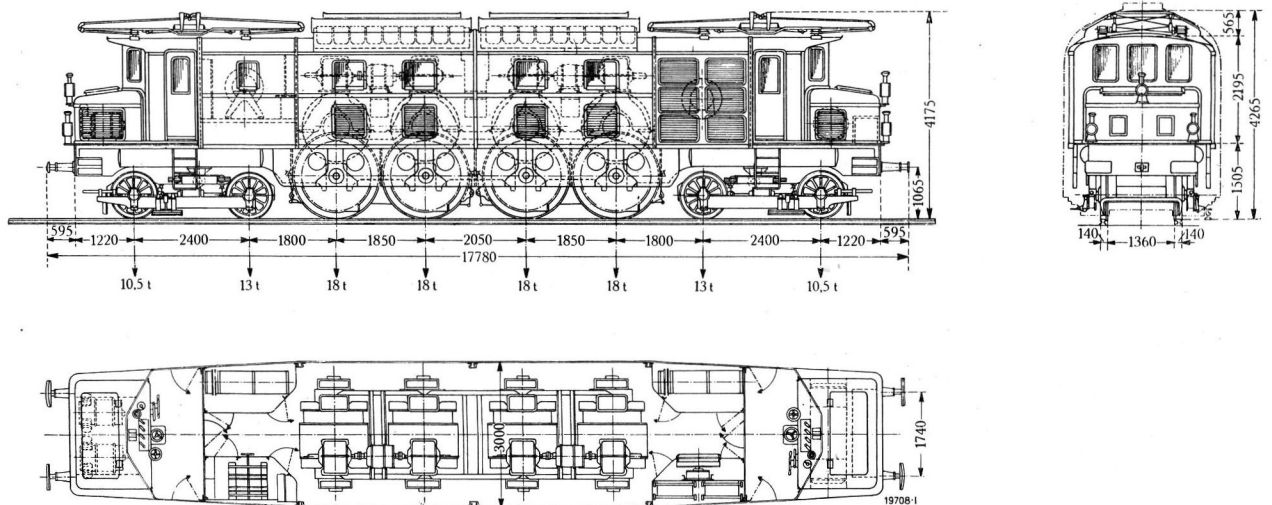


Abb. 2. — Umrisse und Gewichtsverteilung der Gleichstromlokomotive der Paris-Orléans Bahn von 4000 PS Leistung.

Gesamtes Gewicht der Lokomotive E 501	118,6 t
Gesamtes Gewicht der Lokomotive E 502 ¹⁾	124,7 t
Gewicht des abgefederten Teiles	100,5 t
Höhe des Schwerpunktes über Schienenoberkante	1530 mm
Höhe des Schwerpunktes des abgefederten Teiles	1680 mm
Normale Spannung am stromlosen Fahrdraht	1500 V.
Mittlere Spannung am Lokomotivbügel rd.	1350 V.
Höchste Spannung bei Rekuperation rd.	1800 V.
Gesamte Stundenleistung bei 1350 V . . .	3600 PS
und einer Fahrgeschwindigkeit von . . .	65 km/h
Gesamte Dauerleistung bei 1350 V . . .	3000 PS
und einer Fahrgeschwindigkeit von . . .	70 km/h

I. *Mechanischer Teil.* Der Lokomotivkasten wird von einem *Hauptrahmen* getragen, der in der Hauptsache aus zwei dreiteiligen Hauptrahmenblechen, die innerhalb der Triebräder liegen, besteht. Die Mittelteile der Hauptrahmenbleche haben eine Dicke von 25 mm und eine Entfernung voneinander von 1200 mm, die angenieteten Endbleche eine Dicke von 20 mm und eine innere Entfernung von 1160 mm. Die beiden Längsbleche sind durch kräftige Querbleche miteinander verbunden, namentlich zwischen den Triebachsen, über den Drehzapfen und an den Enden. Die Endbleche tragen die Zug- und Stossvorrichtungen. Der ganze Rahmen wird sowohl von den vier Triebachsen als auch über jedem Drehgestell durch den Drehzapfen und zwei seitlichen Abstützungen getragen.

Jedes Mittelstück des Längsrahmens wird ferner durch einen *Hilfsrahmen* verstärkt, der aus einem Blech von 18 mm Stärke besteht und ausserhalb der Triebräder angebracht ist. Dieser Hilfsrahmen ist durch Stahlgußstücke und Verbindungsbleche mit dem Hauptrahmen verbunden und weist weitere Verstärkungen aus Stahlguss für die Aufnahme der Lagerzapfen für die grossen Zahnräder der Antriebsmechanismen und für die Befestigung der Aussenlager der Motorwellen auf.

Alle gleichartigen Radsätze sind auswechselbar. Die *Triebräder* wurden mit 80 t Druck, die *Laufäder* mit 40 t mit Hilfe einer hydraulischen Presse auf die Wellen aufgesetzt. Die *Triebradsätze* laufen in Achskisten üblicher Ausführung. Die *Lauftradsätze* tragen Achsstummeln, an welchen die Stromabnehmerbalken der Schleifkontakte für die dritte Schiene befestigt werden. Die Achskisten der Drehgestelle erhielten in der Achsrichtung vergrösserte Anlaufflächen zur Aufnahme der grossen Axialdrücke.

¹⁾ Es sei hier schon vorweggenommen, dass die Lokomotive E 501 ohne, E 502 aber mit Rekuperationseinrichtung geliefert wurde.

Unterhalb der Achskisten der Triebachsen befinden sich Blattfedern, an welchen der Lokomotivrahmen mit Federstützen hängt. Die Endstützen sind unmittelbar am Lokomotivrahmen befestigt, die übrigen zwischen den Triebrädern liegenden Stützen an den Enden von Ausgleichhebeln, wodurch sich ein Belastungsausgleich der verschiedenen Achsen erzielen lässt. Dem Umstand, dass die Geleiseunebenheiten sehr leicht Änderungen der Auflagedrücke verursachen, wurde durch Anwendung von verschiedenen Federn, Spiralfedern und Blattfedern, bei der Aufhängung des Drehgestellrahmens auf den Laufachsen Rechnung getragen.

Die Bedingung, dass die Lokomotiven Kurven von nur 80 m Radius durchfahren sollen, erforderte eine besondere Bauart der *Drehgestelle*, d. h. ihrer Rückstellvorrichtung. Obwohl für die zwei mittleren Triebachsen ein Seitenspiel von 2×25 mm vorgesehen war, ergab sich bei der Einstellung der Lokomotive in die kleinsten Kurven ein einseitiger Drehgestellausschlag von 150 mm gegenüber der Lokomotivachse. Um bei der Fahrt in der Geraden eine gute Führung des Drehgestelles zu haben und um seine Schlingerbewegungen möglichst zu unterdrücken, erhalten die Federn starke Vorspannung. Es ist bekannt, dass durch das Schlingern der Drehgestelle periodische Schläge in seitlicher Richtung gegen die Schienen ausgeübt werden, mit unvermeidlichen Einwirkungen auf Geleise und Drehzapfen. Die Grösse der Schläge wächst proportional mit der Geschwindigkeit des Fahrzeuges. Durch die Federvorspannung wird nun das Schlingern, wenn nicht ganz unterdrückt, so doch bedeutend gedämpft, weil ein grosses Kräftepaar die Rückstellung des Drehgestelles in die Lokomotivachse anstrebt. Hingegen zeigte es sich, dass dadurch bei Anwendung gewöhnlicher Rückstellvorrichtungen die Seitendrücke auf die Mittelachsen bei Fahrt in engen Kurven so gross würden, dass ihr Herausdrücken aus dem Geleise befürchtet werden müsste. Dieser Gefahr wird durch eine besondere Bauart des Drehgestelles und seiner Federrückstellung begegnet und dadurch erreicht, dass die Rückstellkraft bei der Seitenverschiebung möglichst langsam ansteigt.

Der am Hauptrahmen befestigte Drehzapfen aus Stahlguss trägt an seinem untern Ende einen gleichschenkligen Hebel, der nur in der Längsrichtung der Lokomotive schwingen kann. Jedes Hebelende hat eine halbkugelförmige Abstützung, die in einer Kugelpfanne ruht. Jede dieser Pfanne ist im entsprechenden Stahlgussgehäuse des Drehgestellrahmens seitlich verschiebbar, sodass das Drehgestell sich entsprechend

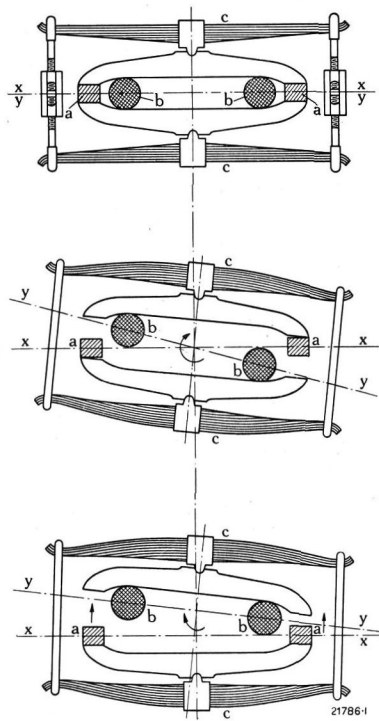


Abb. 3. — Zweipunktführung eines Drehgestelles.
 a = Feste Punkte am Drehgestell.
 b = Feste Punkte am Lokomotivrahmen.
 c = Rückstellfedern.
 x-x = Drehgestellachse.
 y-y = Lokomotivachse.

Eine einfache Verdrehung mit kleinem Winkel erfolgt bei der bekannten Schlingerbewegung der Drehgestelle, eine Seitenverschiebung mit Verdrehung

den Kurvenauschlägen verschieben und verdrehen kann. Auf den genannten Längshebeln des Drehzapfens wirkt nun eine Rückstellvorrichtung, bestehend aus Hebeln und Federn, ein. Die Wirkungsweise dieser Einrichtung geht aus den Abb. 3 bis 5 hervor. Die erste zeigt schematisch in drei Bildern die gewöhnliche Zweipunktführung eines Drehgestelles und seine rückführende Wirkung, sowohl bei Verdrehung wie auch bei einer Seitenverschiebung des Drehgestelles gegenüber der Längsachse der Lokomotive.

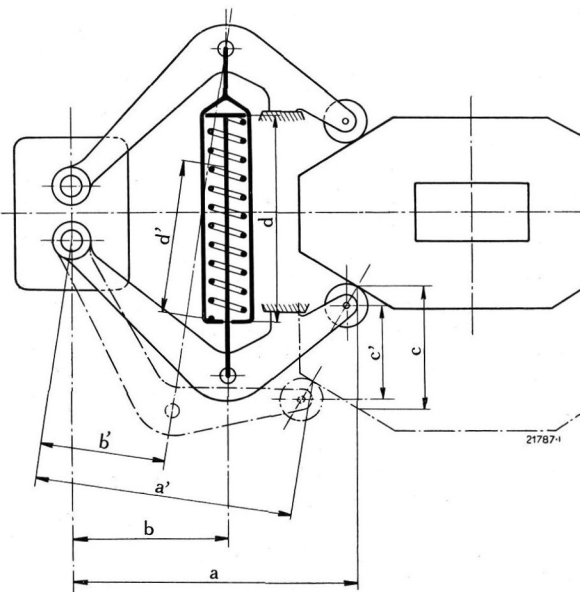


Abb. 4. — Schematische Darstellung der Rückstellvorrichtung.

bei der Fahrt in Kurven. Die Rückstellung erfolgt in den Pfeilrichtungen. Im übrigen sprechen diese Bilder für sich, so dass weitere Erklärungen überflüssig erscheinen. Erwähnt sei nur noch, dass bei einer Seitenverschiebung die Rückstellkraft gegen Verdrehung um den Drehzapfen sehr gering wird. Die Zunahme der Rückstellkraft wird bei einer solchen Vorrichtung geradlinig und mit ziemlicher Steilheit erfolgen, gemäss dem Federdiagramm ungefähr nach Linie 1 in Abb. 5, wobei a die Vorspannung, b die grösste seitliche Drehgestellverschiebung und c den grössten Federdruck bedeutet. Um diesen auf ein ungefährliches Mass zu bringen, wurde auf dem Drehgestell eine Rückstellfederung nach Abb. 4 angebracht, bestehend aus Kniehebeln, Federn und auf schiefen Flächen laufenden Rollen. Man sieht aus den eingetragenen Hebelverhältnissen in Ruhestellung (a, b) und beim grössten Ausschlag c des Drehgestelles von 150 mm (a', b') sowie den verschiedenen Federlängen in beiden Drehgestellagen (d, d') den Einfluss der getroffenen Massnahmen.

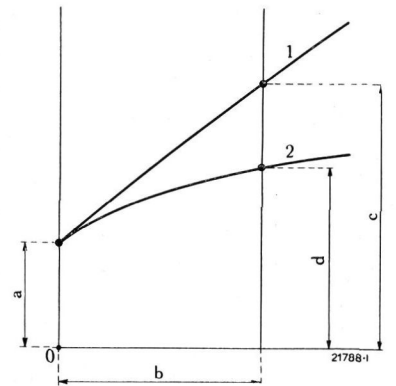


Abb. 5. — Diagramm der Rückstellkräfte.

Die Drehzapfenachse ist gegenüber der Mittellinie des Drehgestelles um 150 mm gegen die innere

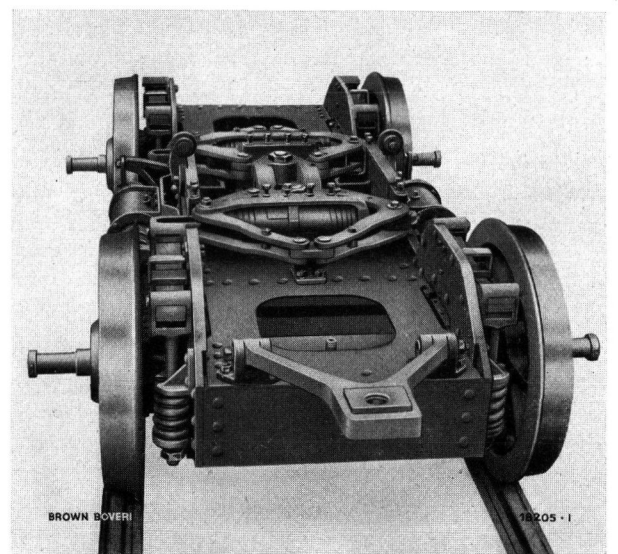


Abb. 6. — Drehgestell.

Achse verschoben, sodass die Achsdrücke verschieden sind, wie dies in der Tabelle auf Seite 198 angegeben ist.

Am Drehgestellrahmen der Lokomotive E 502 befindet sich versuchsweise eine umklappbare Deichsel, um das freie Drehgestell in ein Bisseldrehgestell mit verschiedenen Deichsellängen verwandeln zu können. Liegt die Deichsel gegen die Lokomotivmitte, so befindet sich der Führungspunkt 1000 mm innerhalb der innenliegenden Laufachse. Dreht man die Deichsel nach der Drehgestellseite, so liegt der Führungspunkt unmittelbar über der innern Laufachse. Der Drehzapfen mit seiner Seitenverschiebung dient in diesem Falle nur zur Gewichtsabstützung und zur Rückführung. Das ganze Drehgestell mit dieser Probedeichsel ist aus Abb. 6 ersichtlich. Die Versuche mit dieser Deichsel sind noch nicht abgeschlossen. Hingegen hat das beschriebene freie Drehgestell ohne Deichsel mit Rückstellvorrichtung seinen Zweck vollständig erfüllt. Die in Abb. 3 wiedergegebene Zweipunktführung, welche im Jahre 1922 durch die A.-G. Brown, Boveri & Cie. vorgeschlagen wurde, bildet die Grundlage dieser Drehgestellkonstruktionen. Die Federrückführung mit Kniehebeln, in Verbindung mit der Zweipunktführung des Drehgestelles, wurde von der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur entworfen, die den mechanischen Teil dieser Lokomotiven gebaut hat.

Das Drehgestell weist ferner links und rechts des Drehzapfens einstellbare Stützpfannen auf, die den Lokomotivkasten stützen, wenn er ins Schwanken kommt.

Jedes Drehgestell hat vier Bremsklötze üblicher Bauart der Bahngesellschaft mit auswechselbaren Bremschuhen. Auf diese wirken zwei Doppelbremszylinder für Druckluft.

Der Antrieb der Triebachsen erfolgt durch den bekannten *Brown Boveri-Einzelachsenantrieb*. Zum Unterschied von frühern Ausführungen wurde jedoch mit Rücksicht auf die hohe Motorleistung ein doppelseitiger Antrieb pro Triebachse gewählt, d. h. jeder Triebmotor hat zwei Wellenenden mit darauf gesetzten federnden Zahnritzeln, die mit einer Übersetzung von 1 : 2,55 je auf ein grosses, auf einem Zapfen laufendes Zahnrad arbeiten und von hier aus mit Hilfe kleiner, allseitig beweglicher Kuppelstangen und Hebeln mit Zahnsegmenten auf das Triebrad wirken. Abb. 7 zeigt diesen Antrieb mit den Zahnrädern, während in Abb. 8 Einzelheiten dieser Antriebe zu sehen sind. Zu beachten wäre noch, dass die Speichenöffnungen der Triebräder durch Stahlgusshäute verschlossen sind, um das Eintreten von Verunreinigungen in das Getriebe nach Möglichkeit zu verhindern. Bemerkenswert

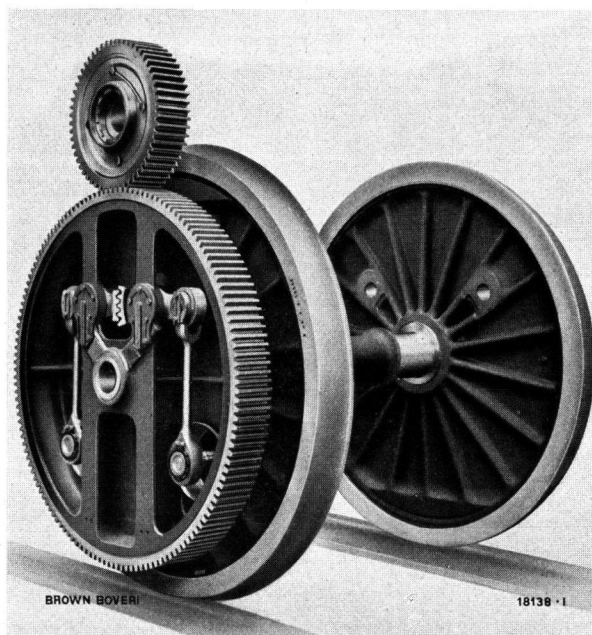


Abb. 7. — Triebbradsatz mit Einzelachsenantrieb Bauart Brown Boveri.

ist auch, dass das Zahnritzel wohl eine Federung aufweist, dass man aber auf die sphärische Einstellung,

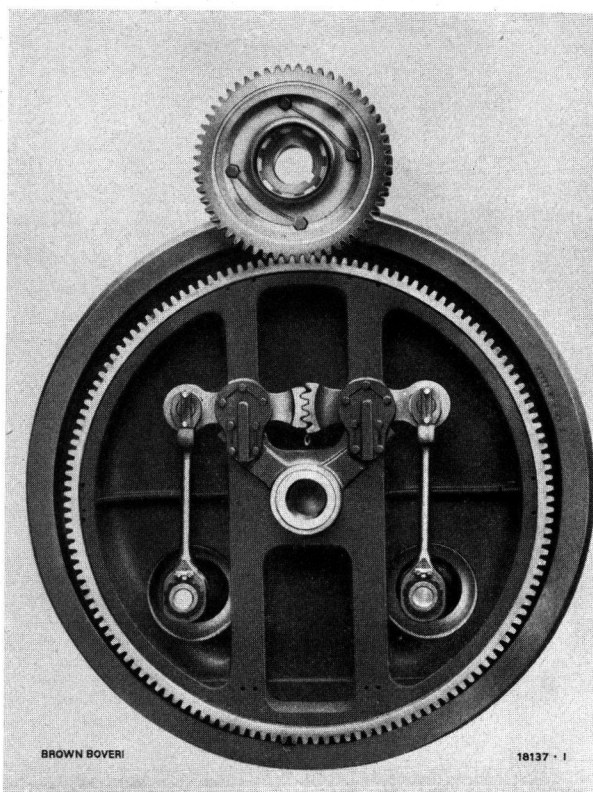


Abb. 8. — Anordnung des Einzelachsenantriebes Bauart Brown Boveri.

die bei frühern Ausführungen vorhanden war, verzichtete, da sich diese Einrichtung bei der geringen Zahnbreite als überflüssig erwies. Die Motorwelle liegt in vier Lagern, wovon zwei Motor- und zwei Aussenlager. Letztere sind mit dem Stahlgußstück, das den Lagerzapfen des grossen Zahnrades trägt, fest verbunden, sodass ein guter Zahneingriff gesichert ist. Dadurch ergeben sich sehr günstige Verhältnisse für Zahnräder und Lager und geringste Abnutzung derselben. Zu erwähnen wäre auch die selbsttätige Umlaufschmierung der Zahnräder und der Gelenkzapfen mit Hilfe der kleinen, am äussern Zapfende des grossen Zahnrades angeordneten Kolbenpumpe.

Das grosse Zahnrad taucht in ein Ölbad, fördert durch seine Drehung das Öl in seitliche Taschen, von wo es der kleinen Kolbenpumpe zufliesst. Diese treibt das Öl den Gelenken des Kuppelsystemes zu, von wo es wieder dem Ölbad zufliesst und nach einer gewissen Reinigung wieder Verwendung findet. Dieses System arbeitet vollständig selbsttätig, sodass das Personal sich nicht mit dieser Schmierung zu befassen hat¹⁾.

Das wichtigste Merkmal dieses Antriebes ist die vollständig gleichmässige Übertragung des Drehmomentes vom Motor zur Triebachse, hervorgerufen durch den Wegfall aller hin- und hergehenden Trieborgane, die ein wechselndes Moment erzeugen. Im Betrieb ergeben sich grosse Vorteile, von denen u. a. der eine hervorgehoben zu werden verdient, nämlich dass sich Zahnrad und Triebachse sehr leicht durch einfaches Losschrauben der beiden Kurbelzapfen des Triebrades voneinander lösen lassen.

Wie schon bemerkt, ist auf jeder Seite eines jeden Drehgestelles ein doppelter Bremszylinder vorhanden, der über einen einfachen Hebel auf die benachbarten zwei Bremsklötze einwirkt. Für die Bremsung der Triebachsen dienen zwei grössere Bremszylinder, von denen jeder über Gestänge auf die vier Bremsklötze zweier Triebachsen drückt. Bei Annahme eines Bremsdruckes von nur $3,5 \text{ kg/cm}^2$ wird der auf sämtliche Bremsklötze ausgeübte Druck $84\,000 \text{ kg}$ entsprechend rund 70% des Gewichtes der betriebsbereiten Lokomotive. Die *Druckluftbremse* ist eine Schnell- und Regulierbremse, System Westinghouse. Die Bremszylinder des Drehgestelles haben $8''$ engl. ($203,2 \text{ mm}$)

¹⁾ Siehe auch BBC Mitteilungen, Jahrgang 1927, Heft 3, Seite 90.

und die Triebachs-bremszylinder $14''$ engl. ($355,6 \text{ mm}$) Durchmesser. Der dreiteilige Bremsluftbehälter fasst insgesamt rund 1000 Liter . Ein weiterer Luftbehälter von 300 Litern dient zur Betätigung der Apparate, wovon später noch die Rede sein wird.

Die Bremsluft wird von zwei Kolbenkompressoren Bauart Brown Boveri, mit Motorantrieb verdichtet.

Die Lokomotive hat ferner eine *Handspindelbremse*, die von jedem Führerstand aus auf die zwei nächstliegenden Triebachsen einwirkt, unter Verwendung derselben Bremsklötze und Bremsgestänge, die auch für die Druckluftbremse dienen.

Da bei der hohen Motorleistung ein Schleudern der Triebräder beim Anfahren mit schweren Zügen zu befürchten war, wurde gleich von Anfang an in beide Lokomotiven eine Schleuderschutzvorrichtung eingebaut, welche dieser Gefahr begegnen soll. Versuche an andern Lokomotiven hatten nämlich ergeben, dass das Schleudern der Triebräder viel weniger eintritt, wenn vor jeder Erhöhung der Drehmomente die Bremsklötze leicht angezogen und nachher wieder gelöst werden. Die Wirkung der Vorrichtung erfolgt dadurch, dass durch ein Pedal im Führerstand eine Bremsung mit geringem Druck durch die Luftbremszylinder eingeleitet wird. Der Druck beträgt rd. $0,8$ bis $1,0 \text{ kg/cm}^2$ und wird durch ein Druckreduzierventil erhalten, das in die Bremsluftleitung von 6 bis 8 kg/cm^2 eingebaut ist. Auf diese Weise wird eine anormale Drehzahl einzelner Triebachsen namentlich beim Anfahren in Serie- und Serie-Parallelschaltung verhindert und ausserdem erreicht, dass die übrigen Triebachsen, die keine Neigung zum Schleudern zeigten, aber elektrisch im selben Stromkreis liegen wie die schleudernde Achse, ihr Drehmoment teilweise nicht auch verlieren.

Jedes Ende des Lokomotivrahmens ist mit der üblichen *Zug- und Stossvorrichtung* der französischen Bahnen ausgerüstet. Die Pufferplatten erhielten jedoch Rechteckform von $350 \times 550 \text{ mm}$, um in engen Kurven ein Überhaken der zusammenstossenden Puffer gekuppelter Fahrzeuge zu vermeiden. Der Zughaken ist seitenbeweglich.

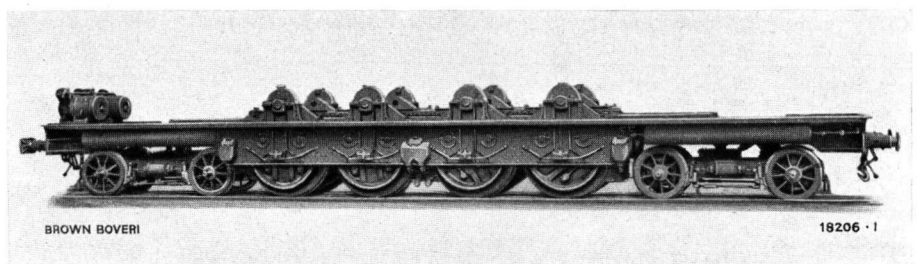


Abb. 9. — Rahmen der Lokomotive mit Triebrädern und Drehgestell.

In Abb. 9 ist der auf die Drehgestelle und Triebachsen gestellte Rahmen mit Kompressoren ersichtlich.

Der *Lokomotivkasten* besteht wie üblich aus dem im Mittelteil liegenden Maschinenraum und den an den Enden befindlichen Führerständen. Jeder Führerstand ist von aussen auf beiden Seiten durch Aufstieg und Drehtüre zugänglich. Die Fenster dieser Türen können gesenkt werden, die drei Stirnwindfenster sind dagegen fest. In der Mitte der Rückwand öffnet sich die Verbindungstüre zum Maschinenraum. Dieser ist rechteckig, hat zwei Seitenverbindungsgänge und in jeder Ecke einen Apparatschrank für die Hochspannungsapparate. Die Fenster in den Längswänden sind seitenverschiebbar. Unter ihnen sind feste Jalousien angebracht, die im Winter durch seitlich verschiebbare Bretter abgeschlossen werden können. Die Seitenwände und das Dach bestehen aus Eisenblechtafeln von 2,5 mm Dicke. Sowohl die Tafeln der Seitenwände, als auch die zwei Dachmittelteile sind abnehmbar, sodass Apparate und Motoren mit Leichtigkeit ausgebaut werden können. Die abnehmbaren Dachteile tragen die Anfahrwiderstände, die nach Lösen der Verschraubungen des Daches und der elektrischen Verbindungen entfernt werden können. Zwischen Führerstand und Puffer befinden sich Vorbauten, in welchen ebenfalls Apparate, Hilfsmaschinen und Batterie sowie die Motorkompressoren und Werkzeuge untergebracht werden.

Alle Türen von Apparatenkästen, die Leitungen oder Apparatenteile unter Hochspannung enthalten, sind mechanisch verriegelt und können erst nach Abschaltung der Spannung geöffnet werden.

Seitlich am Hilfsträger und nach aussen hin sind noch je vier *Sandstreukasten* befestigt, die in Abb. 9 gut sichtbar sind. Zur Sandstreuung wird Druckluft verwendet.

In den Führerständen befinden sich weiter zwei Geschwindigkeitsmesser, System „Teloc“, wovon der eine nur mit Zeigevorrichtung, der andere ausserdem mit Kilometerzähler und Registriervorrichtung versehen ist. Im Zusammenhang mit dieser Registriervorrichtung, welche die augenblickliche Fahrzeuggeschwindigkeit auf einem proportional mit der durchlaufenen Strecke abrollenden Papierstreifen aufzeichnet, steht noch eine Markiervorrichtung für die Wachsamkeit des Personals, worüber später noch berichtet wird.

Eine verriegelte, eiserne Leiter führt auf das Dach. Wird sie verwendet, so öffnet sich selbsttätig ein mit ihr gekuppelter Lufthahn, der die in den Stromabnehmer-Luftzylinder vorhandene Luft ausströmen lässt und dadurch einerseits eine Pfeife betätigt, andererseits die Stromabnehmer zum Niedergehen bringt.

(MS 423)

F. Gubler.

(Schluss folgt.)

DER QUECKSILBERDAMPF-GROSSGLEICHRICHTER ALS UMFORMER FÜR ELEKTRISCHE VORORT-, ÜBERLAND- UND VOLLBAHNEN.

(Schluss.)

Dezimalindex 621.313.73.

VIII. *Wirkungsgrad und Leistungsfaktor*. Wie bereits erwähnt, ist der Lichtbogenabfall im Gleichrichter selbst praktisch als unveränderlich zu betrachten. Er beträgt 19 bis 25 V je nach der Länge des Lichtbogenweges und der Grösse des Gleichrichters. Die diesem Spannungsabfall entsprechende Leistung muss zum grössten Teil durch Wasserkühlung des Gleichrichters abgeführt werden und stellt den einzigen Verlust in diesem dar. Der Wirkungsgrad einer Gleichrichteranlage ist praktisch nicht abhängig von der Belastung, sondern in erster Linie von der Spannung im Gleichstromnetz. Der Verlust im Transformator nebst Zuleitung ist gleich der Summe des Leerlaufverlustes und der Kupferverluste. Die letzteren ändern sich quadratisch mit der Belastung. Der Verlust im Gleichrichter ändert sich, unter Annahme eines gleichbleibenden Lichtbogenabfalles, linear mit der Belastung. Somit

setzt sich der Gesamtverlust einer Gleichrichteranlage aus drei Teilen zusammen, nämlich einem unveränderlichen Leerlaufverlust (Eisenverlust des Transformators und Verbrauch der Hilfsapparatur), einem linear mit der Belastung (Gleichrichterverluste) und einem quadratisch mit derselben variierenden Glied (Kupferverluste). Mit anderen Worten: Rechnet man den Verbrauch der Hilfsapparatur als Leerlaufverlust zu demjenigen des Transformators hinzu, so ist der Verlauf des Wirkungsgrades der ganzen Anlage in Abhängigkeit der Belastung identisch mit der im Verhältnis $\frac{E_g}{E_g + 24}$ abgeänderten Wirkungsgradkurve des Transformators unter Zugrundelegung der im erwähnten Sinne vergrösserten Leerlaufverluste. Dieser Faktor $\frac{E_g}{E_g + 24}$, der als Wirkungsgrad des Gleichrichters bezeichnet sei, ist

$\frac{E_g}{E_g + 24} = 1 - \frac{24}{E_g}$ und um so grösser, je grösser die Gleichspannung E_g ist. Der konstante Spannungsabfall von durchschnittlich 24 V im Gleichrichter bedeutet im Verhältnis zur Gleichspannung einen um so höheren Verlust, je kleiner die letztere ist. Der Umformungswirkungsgrad des Gleichrichters berechnet sich somit nach der einfachen Beziehung:

$$\eta = 100 \left(1 - \frac{24}{E_g} \right) \%$$

also für eine Anlage mit $E_g = 550$ V

$$\eta = 100 \left(1 - \frac{24}{550} \right) = 95,65 \%$$

für $E_g = 1500$ V

$$\eta = 100 \left(1 - \frac{24}{1500} \right) = 98,4 \%$$

und endlich für $E_g = 4000$ V

$$\eta = 100 \left(1 - \frac{24}{4000} \right) = 99,4 \%$$

In diesen Zahlen zeigt sich die gewaltige Überlegenheit des Quecksilberdampf-Grossgleichrichters über alle andern Umformerarten.

Kurz zusammengefasst heisst dies: Der Wirkungsgrad des Quecksilberdampf-Grossgleichrichters nimmt mit wachsender Betriebsspannung zu und ist praktisch unveränderlich, also von der Belastung unabhängig.

Die oben erhaltenen Werte liegen, besonders bei den Spannungen über 1000 V, weit über allen

von irgendeiner andern Umformerart erreichbaren Ergebnissen, und sowohl die absolute Höhe als auch die Konstanz dieser Werte in Bezug auf veränderliche Belastung lassen die grosse wirtschaftliche Überlegenheit des Grossgleichrichters, besonders bei den für die Grosstraktion brauchbaren Gleichspannungen, klar hervortreten. Dieser hohe Wirkungsgrad, in Verbindung mit der vollkommenen Unempfindlichkeit gegen Netzkurzschlüsse, machen den Gleichrichter für rauhe Betriebe bei hohen Spannungen besonders geeignet, und allen andern Umformern überlegen. In Abb. 39 und 40 ist der Wirkungsgrad einer Einzylinder-Gleichrichteranlage der Berner Oberland Bahnen, Umformerstation Zweilütschinen, in Abhängigkeit von der Belastung dargestellt. Es soll betont werden, dass diese Messungen Mittelwerte aus mehreren Ablesungen sind und ausnahmslos unter normalen Betriebsverhältnissen, nach einjährigem Betrieb in der Anlage selbst, mit Präzisionsinstrumenten gemacht wurden. Die gesamte gemessene Energie wurde betriebsmässig an die Fahrleitung abgegeben. Abb. 39 zeigt den Verlauf des Wirkungsgrades und des Leistungsfaktors bei Betrieb des Gleichrichters allein, während Abb. 40 dieselben Grössen im Parallelbetrieb des Gleichrichters mit einer Pufferbatterie bei einer Fahrdrachtspannung von 1575 V darstellt.

Infolge der eigenartigen Arbeitsweise des Gleichrichters ist der Primärstrom des Gleichrichtertransformators nicht sinusförmig, also nicht ähnlich der Spannungskurve. Vielmehr fliesst im Primärnetz und im Transformator ein angenähert trapezförmiger Strom, dessen Effektivwert bei gleichem Effekt etwas grösser ist als bei sinusförmigem Verlauf. Diese Vergrösserung

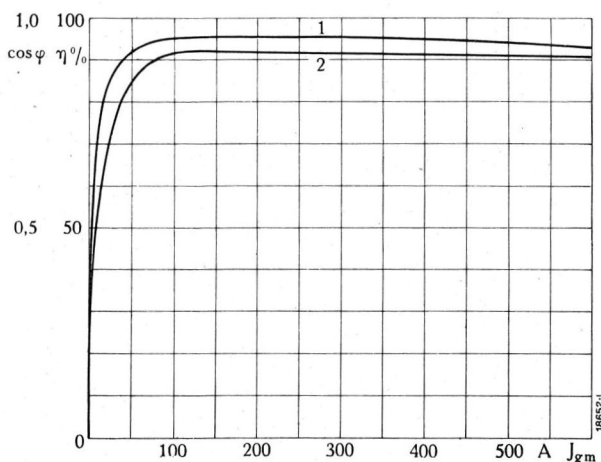


Abb. 39. — Wirkungsgrad und Leistungsfaktor der Sechschphasen-Gleichrichteranlage Zweilütschinen der Berner Oberland Bahnen.

Ein Gleichrichter Type HG 5/6, 1550 V, 420 A, 660 kW.

Kurve 1: Wirkungsgrad der ganzen Anlage einschliesslich Transformator und Verbrauch sämtlicher Hilfsapparate.

Kurve 2: Leistungsfaktor im Primärnetz bei $E = 7000$ V, 40 Perioden.

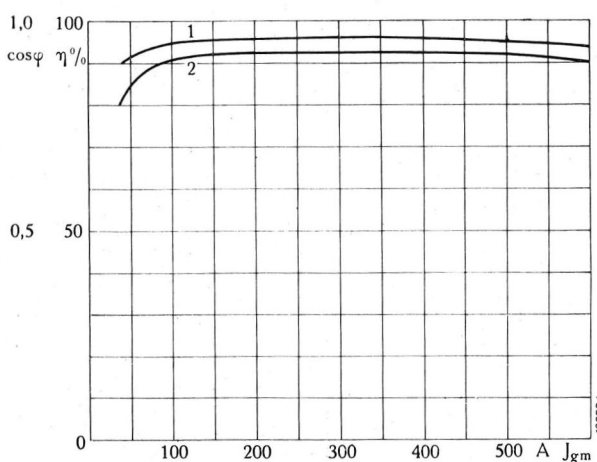


Abb. 40. — Wirkungsgrad und Leistungsfaktor der Sechschphasen-Gleichrichteranlage Zweilütschinen der Berner Oberland Bahnen.

Ein Gleichrichter Type HG 5/6, 1550 V, 420 A, 660 kW.

Kurve 1: Wirkungsgrad der ganzen Anlage einschliesslich Transformator und Verbrauch sämtlicher Hilfsapparate.

Kurve 2: Leistungsfaktor im Primärnetz bei $E = 7000$ V, 40 Perioden. Parallelbetrieb mit Pufferbatterie in Serie mit Asynchron-Zusatzgruppen.

des Effektivstromes bei unveränderter Leistung entspricht also einer Verminderung des Leistungsfaktors im Verhältnis:

$$v = \frac{\text{Effektivwert der Grundwelle des Stromes}}{\text{Effektivwert des Stromes}}$$

und da dieser Faktor $v < 1$ eine Folge der Verzerrung der Stromkurve ist, sei er mit *Verzerrungsfaktor* v bezeichnet, während das aus der Wechselstromtechnik bekannte Verhältnis:

$$\cos \varphi = \frac{\text{Eff. Wattkomponente der Grundwelle}}{\text{Effektivwert der Grundwelle}}$$

aus naheliegenden Gründen als *Verschiebungsfaktor* bezeichnet werden soll. Somit ist der Leistungsfaktor $\cos \psi$ im Primärnetz von Gleichrichter-Transformatoren das Produkt aus zwei Faktoren, nämlich: Leistungsfaktor $\cos \psi = v \cdot \cos \varphi = \text{Verzerrungsfaktor} \times \text{Verschiebungsfaktor}$.

Der Leistungsfaktor im Primärnetz von Gleichrichteranlagen liegt praktisch innerhalb der Grenzen 0,93 bis 0,9 für die gebräuchlichsten Schaltungen. Da der Gleichrichter als Umformer selbst keinen Leerlaufstrom aufnimmt, ist der Verlauf der Leistungsfaktorkurve in Abhängigkeit von der Belastung sehr flach und entspricht mit guter Annäherung derjenigen eines normalen Dreiphasentransformators, der sekundär dreiphasig symmetrisch mit einem Leistungsfaktor von rund 0,98 belastet wird. Die Abb. 39 und 40 geben Aufschluss über die praktisch erreichten Werte in der Anlage Zweilütschienen der Berner Oberland Bahnen, die seit drei Jahren zur vollen Zufriedenheit des Bestellers arbeitet.

Die Berechnung des Leistungsfaktors muss ausschliesslich unter Verwendung der Beziehung

$$\cos \psi = \frac{P}{J \cdot E \cdot \sqrt{3}} \text{ erfolgen,}$$

während die Gleichung

$$\cos \varphi = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2 \sqrt{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 - \alpha_1 \alpha_2}}$$

(wobei α_1, α_2 Wattmeterausschläge bedeuten)

immer grössere, also falsche Werte ergibt. Diese Differenz lässt sich auf sehr einfache Weise auf den Einfluss des Verzerrungsfaktors zurückführen, der bei der Bildung der zuletzt genannten Gleichung herausfällt und im Ergebnis $\cos \varphi$ nicht mehr enthalten ist. Sodann muss darauf hingewiesen werden, dass bei gewissen Schaltungen der Leistungsfaktor des Transformators nicht identisch ist mit dem Leistungsfaktor in der Zuleitung zum Transformator.

IX. *Der Transformator und die Saugdrosselspule.* Die Brown Boveri-Gleichrichter-Transformatoren werden durchwegs als Öltransformatoren mit natürlicher Luftkühlung ausgeführt.

Ausgenommen bei der sekundären Sternschaltung ohne Saugdrosselspule ist es in Bezug auf die elektrischen Eigenschaften belanglos, ob die Primärseite in Stern oder Dreieck geschaltet ist. Die Sternschaltung wird in den meisten Fällen, der besseren Raumaussnutzung für die Wicklung wegen, vorgezogen.

Die Sekundärseite wird allgemein bei Sternschaltung mit zwei herausgeführten Nullpunkten versehen, die je nach Schaltung unmittelbar oder über die Saugdrosselspule miteinander verbunden werden und zugleich den Minuspol des Gleichstromnetzes bilden.

Anzapfungen zur sekundären Spannungsregulierung oder zum Ausgleich von primären Spannungsschwankungen werden der Einfachheit halber immer auf der Primärseite, womöglich im Sternpunkt derselben angebracht. Die Umschaltung von Stufe zu Stufe kann dabei *während des Betriebes* mit einem *Primärstufenschalter in Öl* oder im stromlosen Zustande durch einen Anzapfschalter vorgenommen werden, der im Transformatorenkasten unter Öl eingebaut und von aussen durch Antrieb einstellbar ist. Ausserdem werden in gewissen Fällen Anzapfösen für festen Anschluss der Primärleitung vorgesehen, die nicht über Deckel geführt werden. Überschreitet der erforderliche Regulierbereich bei Transformatoren mit Primärstufenregulierung eine gegebene Grenze, so findet die der A.-G. Brown, Boveri & Cie. patentierte Spezialschaltung des Transformators mit Ausgleichwicklung Verwendung. Die vieljährigen und umfangreichen Erfahrungen an Gleichrichtertransformatoren, in Verbindung mit der A.-G. Brown, Boveri & Cie. patentierten, gefederten Wicklungsabstützung, setzen die Firma in Stand, die Gleichrichtertransformatoren mit verhältnismässig grosser Stufenzahl und weitem Regulierbereich vollständig kurzschlußsicher auszuführen und auch hier die strengsten Garantien zu erfüllen. Bei Doppel-Sechphasentransformatoren werden die beiden parallelen gleichphasigen Wicklungen jeder Sekundärphase gegenseitig soweit voneinander getrennt, mit andern Worten es wird die gegenseitige Streureaktanz soweit vergrössert, dass bei Aussetzen einer der beiden parallel geschalteten Anoden diese durch die auftretende Zusatzspannung automatisch zur Stromabgabe gezwungen wird.

Die einfache Dreieck-Sternschaltung oder Dreieck-Doppelsechphasenschaltung wird nur in denjenigen seltenen Fällen angewendet, in denen aus

irgendeinem Grunde (Parallelbetrieb mit anderen Maschinen), ein Spannungsabfall von mindestens 10% von Leerlauf bis Vollast verlangt wird. Die Schaltung der Saugdrosselspule geht aus Abb. 6, 41 und 42 hervor. Die Leistung der Saugdrosselspule, auf diejenige eines Einphasentransformators für Normalfrequenz umgerechnet, entspricht etwa 6% derjenigen des zugehörigen Haupttransformators. Auch die Saugdrosselspule wird als ölgekühlte Drosselspule ausgeführt.

X. Spannungsregulierung und Parallelbetrieb mit Umformern. Über die Spannungsregelung im Gleichstromnetz und die dazu nötigen Mittel gilt sinngemäss dasselbe wie für Wechselstromnetze, deren ankommende Spannung zeitlich veränderlich ist. Eine Spannungsregulierung im Gleichrichter selbst ist nicht möglich, da das Verhältnis zwischen der Wechselstrom- und Gleichstromspannung nicht verändert werden kann. Eine Variation der Gleichspannung kann deshalb nur durch eine entsprechende Veränderung der dem Gleichrichter zugeführten Wechselspannung erzielt werden. Im Interesse eines möglichst einfachen und wirtschaftlichen Betriebes ist es unbedingt ratsam, bei Bahnanlagen von einer genauen Regulierung der Fahrdrathspannung abzusehen; dies wenigstens solange, als nicht schon die Primärspannung allzugrossen Schwankungen unterliegt. Auch bei ungünstigsten Spannungsverhältnissen genügt es meistens, durch Primäranszapfungen am Transformator mit Stufenschalter oder Anzapf-schalter eine gewisse Anpassungsfähigkeit der Gleichrichtergruppe an die Betriebsverhältnisse zu schaffen.

In denjenigen Fällen, wo eine bestehende Gleichstrombahn durch Aufstellung von Quecksilberdampf-Grossgleichrichtern erweitert werden soll, wird in der Regel ein anstandsloser Parallelbetrieb der Gleichrichter mit den vorhandenen Aggregaten verlangt. Andererseits müssen mehrere Gleichrichter, die von einem gemeinsamen Primärnetz aus gespeist werden, zu einem stabilen Parallelbetrieb vereinigt werden können. Die Strom-Spannungscharakteristik eines Quecksilberdampflichtbogens im Vakuum stellt im Bereich der praktisch verwendeten Stromstärken, eine mit steigender Stromstärke abfallende Kurve dar. Da sich die Lichtbogenspannung als Spannungsabfall geltend macht, so ist diese Spannung in der Charakteristik negativ einzutragen, wodurch die generatorische Kennlinie nun mit steigender Stromstärke in Richtung der positiven Ordinaten ansteigt. Damit ist schon die Tatsache erklärt, dass parallelgeschaltete Gleichrichter, die von gemeinsamen Sammelschienen unmittelbar gespeist, auf gemeinsame Gleichstromsammelschienen geschaltet sind, nicht ohne weiteres parallel

arbeiten. Schaltet man indessen in den Anodenstromkreisen der einzelnen Gleichrichter eine genügend grosse Induktivität ein, so tritt durch deren Wirkung

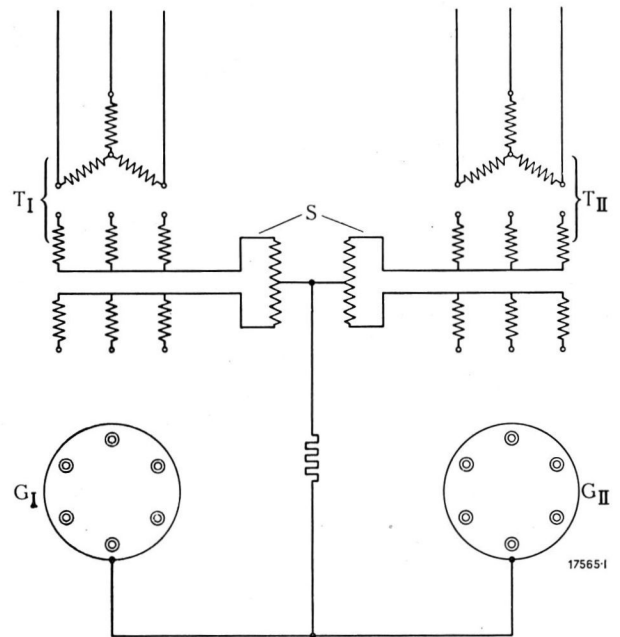


Abb. 41. — Schaltungsschema zweier parallel arbeitender Gleichrichter mit Einzeltransformatoren.

T = Transformator. S = Saugdrosselspule. G = Gleichrichter.

ein Abfall in der resultierenden Gleichspannung ein, der so gross gemacht werden kann, dass die resultierende Charakteristik des Gleichrichters abfallend

und somit der Parallelbetrieb der einzelnen Gleichrichter unter sich stabil wird. Die Wirkung dieser Induktivität kann durch natürliche Streuinduktivität des Transformators aufgebracht werden (je ein Transformator pro Gleichrichter oder Doppelsechschaltung, Abb. 41 und 42).

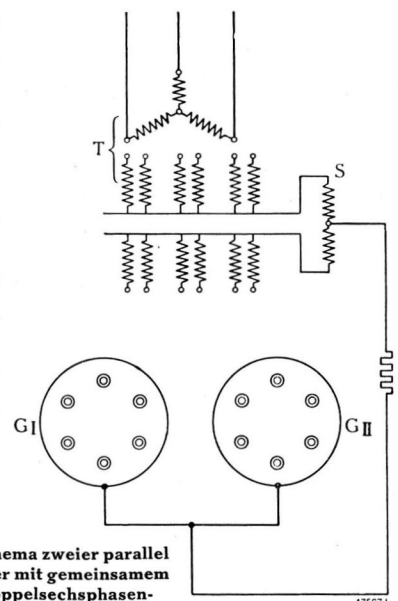


Abb. 42. — Schaltungsschema zweier parallel arbeitender Gleichrichter mit gemeinsamem Transformator in Doppelsechschaltung.

T = Transformator. S = Saugdrosselspule. G = Gleichrichter.

Steht ein Gleichrichter in Parallelbetrieb mit einem Motorgenerator, so wird man mit Rücksicht auf einen günstigen Jahreswirkungsgrad der Anlage dahin zielen, den Motorgenerator möglichst konstant mit Vollast zu beanspruchen und die Belastungsspitzen dem Gleichrichter zu überbinden, da dieser, abgesehen vom zugehörigen Transformator, einen von der Belastung praktisch unabhängigen Wirkungsgrad aufweist. Gibt man dem Motorgenerator im Verhältnis zum Gleichrichter eine verhältnismässig steile Charakteristik (grosser Spannungsabfall) und legt man zugleich die Charakteristik des Gleichrichters etwas tiefer als die andere, bezogen auf die Leerlaufspannung, so erkennt man, dass erst bei einer Belastung, die der Abszisse des Punktes P_2 , Abb. 43, also der Strecke $P_1 P_2$ entspricht, der Gleichrichter an der Stromabgabe teilnimmt, dass er aber sodann vermöge seines verhältnismässig geringen Spannungsabfalles, bei weiterer Zunahme

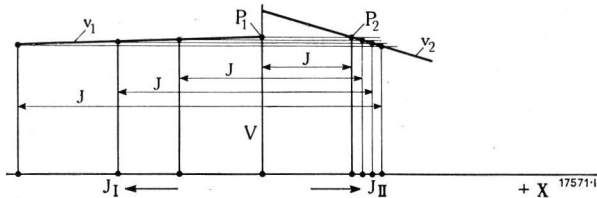


Abb. 43. — Beispiel der Belastungsverteilung zwischen Gleichrichter und Motorgenerator.

- $v_1 = V(J)$ Charakteristik des Gleichrichters.
 $v_2 = V(J)$ Charakteristik des Motorgenerators.
 J = Totalstrom.
 J_I, J_{II} = Gruppenstrom.

der Gesamtlast einen verhältnismässig immer grösseren Belastungsanteil übernimmt, während derjenige des Motorgenerators sich nur wenig vergrössert, wie die verschiedenen in der Abb. 43 eingezeichneten Punkte zeigen. Ist eine gleichmässige Verteilung der Belastung auf Motorgenerator und Gleichrichter für verschiedene Teilbelastungen erwünscht, so ist dies in den meisten Fällen einfach durch Änderung der Spannung des Motorgenerators mit Hilfe des Nebenschlussregulierwiderstandes möglich. Ist dies nicht zulässig, so ist die Gleichspannung des Gleichrichters durch Stufenschalter oder Anzapfschalter entsprechend einzustellen.

Im Gegensatz zum Motorgenerator ist die Gleichspannung eines Einankerumformers von der Drehstromfrequenz praktisch unabhängig, während sie proportional der Wechsellspannung ist, sodass allgemein der Parallelbetrieb eines Gleichrichters mit einem Einankerumformer in Hinsicht auf Spannungsschwankungen im Primärnetz ruhiger ist als mit einem Motorgenerator.

Gemäss den einleitend erklärten elektrischen Gesetzen ist eine Energierückgewinnung beim Gleichrichter unmöglich, da er den Strom nur in einer Richtung durchlässt. Eine solche Rückgewinnung ist nur in Verbindung mit andern rotierenden Umformern möglich. In den verschiedenen Unterstationen der Comp. des Chemins de fer du Midi sind Quecksilberdampf-Grossgleichrichter und Einankerumformer für 1500 V, Ausführung Brown Boveri aufgestellt, welche wegen der besonderen Verhältnisse dieser Vollbahn eine Rekuperation ermöglichen.¹⁾ Im übrigen ist zu bemerken, dass die Stromrückgewinnung aus betriebstechnischen Gründen nicht die Bedeutung erlangt hat, die man ihr ursprünglich zuschrieb.

XI. Die Anordnung der Gleichrichtergruppen.

Der Gleichrichter wird mit dem Luftpumpenaggregat zu einer Gruppe zusammengestellt. Für Hochspannungsanlagen gilt als Normalausführung nur die Anordnung mit einem Gleichrichter und einem Luftpumpenaggregat nach Abb. 44. Für besondere Anlagen mit Transformatoren mit Doppelsechphasenschaltung auf der Sekundärseite können zwei Gleichrichter mit je sechs Anoden nach Abb. 45 zur Aufstellung gelangen.

Eine Gleichrichtergruppe, bestehend aus Gleichrichter und Luftpumpenaggregat wird mit der die beiden Objekte verbindenden Vakuumleitung, wie bereits erwähnt, von der Erde isoliert. Die Aufstellung erfolgt zweckmässig in ähnlicher Weise wie bei Aufstellung von Transformatoren, in Nischen, wobei es auf einfache Weise möglich ist, die unter Spannung stehende Gleichrichtergruppe gegen zufällige Berührung, entsprechend den bestehenden Landesvorschriften, z. B. durch ein Geländer oder ähnlichem zu schützen. Eine solche Anordnung geht aus Abb. 46 hervor. Die Anordnung der übrigen Apparatur ist dort ebenfalls ersichtlich.

XII. Der Betrieb. Die Inbetriebsetzung einer Gleichrichteranlage ist sehr einfach. Ihre grundsätzliche Schaltung zeigt Abb. 47.

Zur Speisung aller Hilfsstromkreise wird ein kleiner Hilfstransformator 16 an die Hochspannungssammelschiene angeschlossen. Dieser ist für gewöhnlich dauernd eingeschaltet, sodass die Hilfssammelschienen immer unter Spannung stehen. An dieser Hilfsspannung ist der Isoliertransformator 5 der direkt zeigenden Vakuummessvorrichtung (siehe auch Abb. 26) angeschlossen, wodurch es möglich wird, die Luftleere im Gleichrichter dauernd kontrollieren zu können. Der Vorgang der Inbetriebsetzung nach Schema Abb. 47 ist folgender: Der Ölschalter 34 wird eingeschaltet, wodurch der Gleichrichter

¹⁾ Siehe BBC Mitteilungen, Jahrgang 1924, Heft 9.

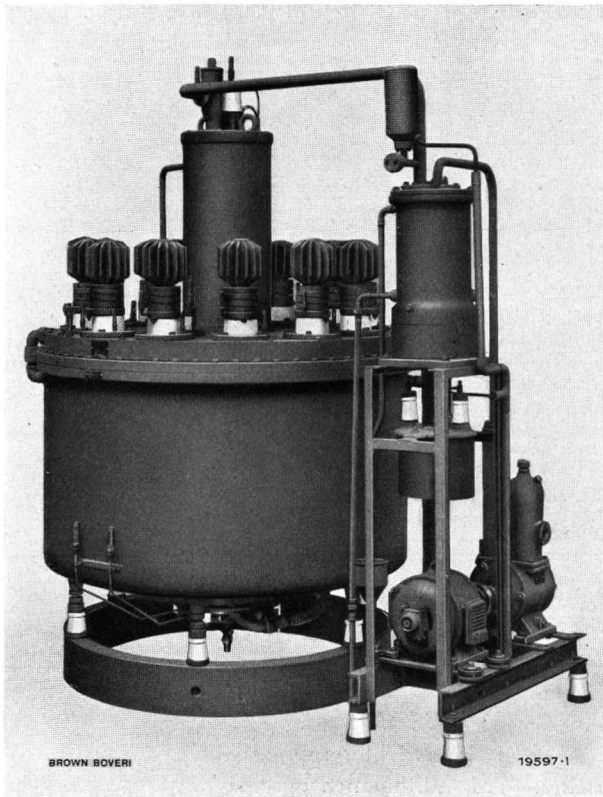


Abb. 44. — Gleichrichtergruppe bestehend aus:
Einem Gleichrichter Type GRZ 1612; einem Luftpumpenaggregat Type GRS.

automatisch gezündet und erregt wird. Hier auf wird der Selbstschalter 19 eingeschaltet, das Kühlwasser angestellt und der Gleichrichter ist betriebsbereit.

Die Ausserbetriebsetzung der Gleichrichtergruppe erfolgt sinnngemäss durch Auslösen des Ölschalters und des Selbstauschalters sowie durch Abstellen der Kühlung.

Langjährige Betriebserfahrungen zeigen, dass der Gleichrichter keinem Verschleiss unterliegt. Die

Elektroden sowie das Quecksilber befinden sich im luftleeren Raum, sodass eine Oxydation oder eine Zersetzung nicht eintreten können. Da der Gleichrichter ein vollständig ruhender Apparat ist, kommt auch das für rotierende Maschinen unvermeidliche Schmier-, Putz- und Kohlenbürsten-Material in Wegfall. Die Lebensdauer eines Gleichrichters ist deshalb eine fast unbegrenzte und die jährlichen Unterhaltskosten praktisch gleich Null. Desgleichen ist seine Wartung äusserst einfach. Sie beschränkt sich in der Hauptsache auf die Nachprüfung der im Gleichrichter herrschenden Luftleere, die am Instrument der direktzeigenden Vakuummessvorrichtung dauernd angezeigt wird. Ist die Luftleere auf den kleinstzulässigen Wert von etwa 0,008 mm Hg zurückgegangen, so ist das Luftpumpenaggregat für kurze Zeit in Betrieb zu nehmen. Besonders in Bahnanlagen mit schwankender Belastung ist es erfahrungsgemäss in vielen Fällen möglich, nach den ersten Betriebswochen das Luftpumpenaggregat bis auf einige Stunden in der Woche ausser Betrieb zu nehmen. Einige Aufsicht erfordert die Vorvakuum-pumpe sowie bei Anlagen mit Rückkühlung die Umwälzpumpe nebst Antriebsmotoren. Ferner ist bei Frischwasserkühlung die richtige Einstellung des Kühlwassers für Gleichrichter und Hochvakuum-pumpe von Zeit zu Zeit zu prüfen. Die verschiedenen Dichtungen

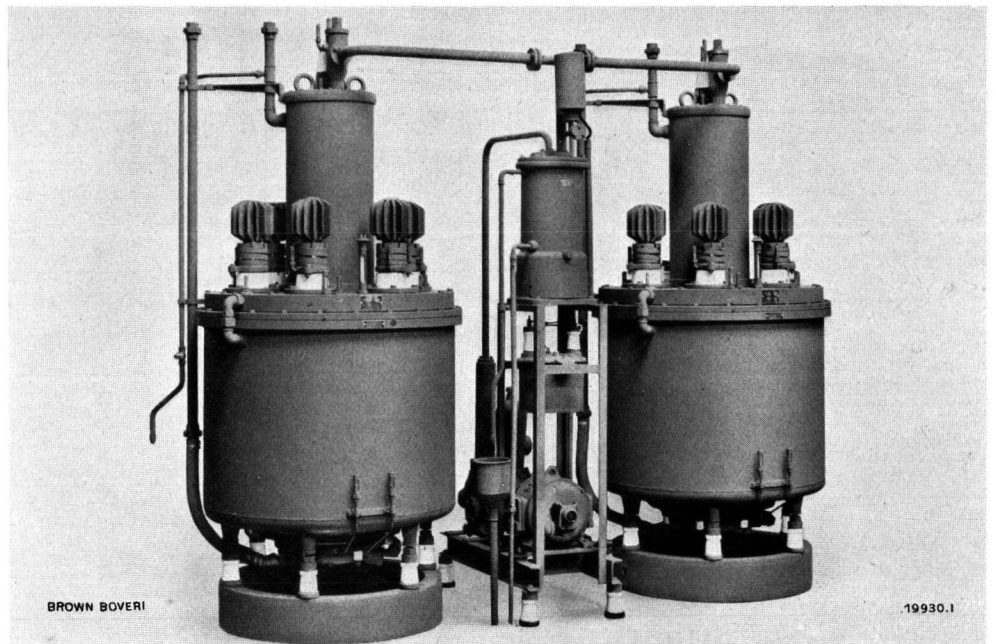


Abb. 45. — Gleichrichtergruppe bestehend aus:
Zwei Gleichrichtern Type GRZ 156.
Einem Luftpumpenaggregat Type GRS (Pumpe zwischen den Gleichrichtern).

sind zeitweilig auf ihren ordnungsmässigen Zustand zu untersuchen. Die Kontrolle der Quecksilberdichtungen erfolgt am besten jeweils nach Betriebsschluss, solange die Gleichrichter noch warm sind. Wie bei allen elektrischen Anlagen ist es auch bei einer Gleichrichteranlage erforderlich, dass sämtliche Schaltapparate periodisch einer Kontrolle unterzogen werden.

Da weder eine Festlegung der Polarität noch ein Synchronisieren beim Gleichrichterbetrieb nötig ist, so kann der Gleichrichter in Bezug auf einfache In- und Ausserbetriebsetzung praktisch auf die gleiche Stufe gestellt werden wie ein Transformator.

Da eine ständige Überwachung des Gleichrichters als statischer Umformer nicht nötig ist, eignet sich derselbe ganz besonders für bedienungslose Betriebe. Wegen der äusserst einfachen In- und Ausserbetriebsetzung sowie der geringen Wartung lässt der Gleichrichter das Ersetzen des Bedienungspersonals durch eine selbsttätige Ausrüstung durchaus zu. Die Automatisierung gestaltet sich infolgedessen entsprechend einfach. Eine Reihe seit längerer Zeit in Betrieb befindlicher bedienungsloser Gleichrichteranlagen für Bahnbetrieb haben die Zweckmässigkeit und Betriebsicherheit der selbsttätigen Ausrüstung Bauart Brown Boveri vollauf bestätigt.

Um bei Parallelbetrieb mehrerer Gleichstromgruppen allfällige Kurzschlüsse im Gleichrichter und ihre Folgen möglichst unschädlich zu machen, verwendet die A.-G. Brown, Boveri & Cie. eine besondere Schaltung des Überstromschutzkreises. Diese Schaltung gestattet, ohne Verwendung irgendwelcher Zwischenrelais, wahlweise unmittelbar auf die Auslösemechanismen des Primär- oder Gleichstromschalters

jeder Gruppe einzuwirken. Diese Schaltung beruht auf der Voraussetzung, dass bei Kurzschlüssen im Gleichstromnetz nur der kurzgeschlossene Sektor mit Hilfe des zugehörigen Feederschalters abgetrennt wird, ohne dass dabei die Schalter der Gleichstromgruppen auslösen dürfen. Andererseits muss bei einem Kurzschluss im Gleichrichter selbst die gestörte Gruppe möglichst rasch abgeschaltet werden, wobei wiederum, trotzdem ja ein Kurzschluss in einer Gruppe für die übrigen Gruppen einem Netzkurzschluss ungefähr gleichkommt, die Schalter der übrigen Gruppen nicht auslösen dürfen. Diese, der A.-G. Brown, Boveri & Cie. patentierte Schaltung beruht auf der Nutzbarmachung

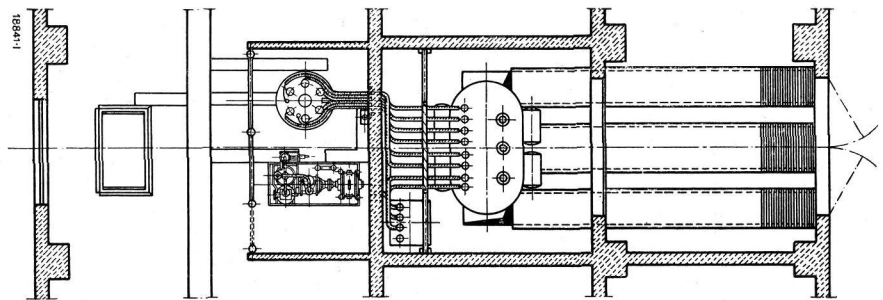
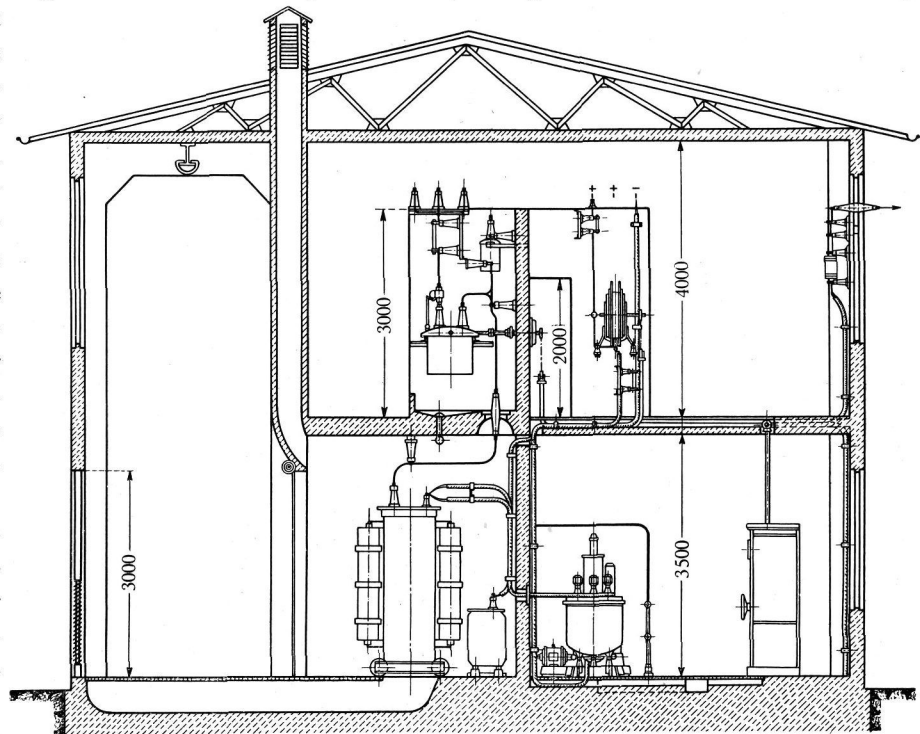


Abb. 46. — Zweckmässige Anordnung einer Unterstation mit Gleichrichter.

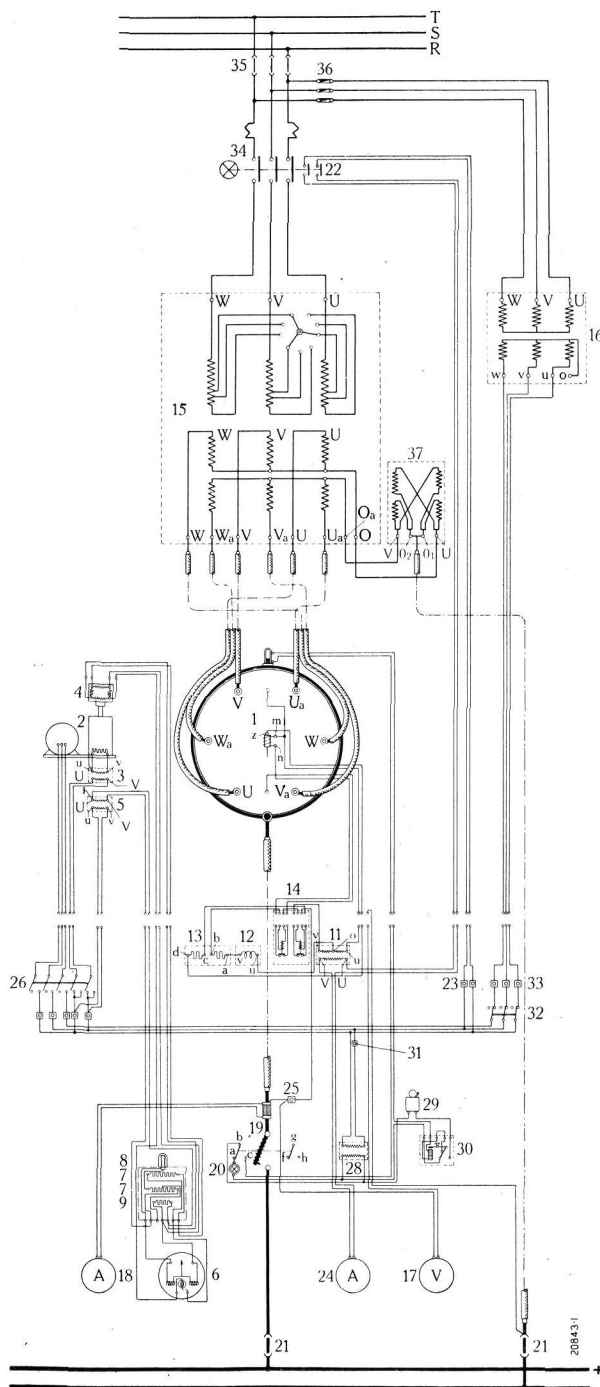


Abb. 47. — Schaltungsschema.

- | | |
|---|--|
| 1 = Gleichrichter | 20 = Signallampe. |
| 2 = Vakuumpumpe. | 21 = Trennschalter. |
| 3 = Isoliertransformator für Heizplatte. | 22 = Hilfskontakt am Ölschalter. |
| 4 = Hitzdrahtvakuummeter. | 23 = Sicherung für Erregertransformator. |
| 5 = Isoliertransformator für Vakuummeter. | 24 = Erregeramperemeter. |
| 6 = Anzeiginstrument für Vakuummeter. | 25 = Sicherung. |
| 7 = Vorschaltwiderstand. | 26 = Schalter. |
| 8 = Eisenwiderstand. | 27 = Sicherung für Vakuumpumpe. |
| 9 = Shunt. | 28 = Klingeltransformator. |
| 10 = Sicherung. | 29 = Glocke. |
| 11 = Erregertransformator. | 30 = Fallklappenrelais. |
| 12 = Erregerdrosselspule. | 31 = Sicherung für Klingeltransformator. |
| 13 = Erregerwiderstand. | 32 = Schalter. |
| 14 = Zündrelais. | 33 = Sicherung für Hilfstransformator. |
| 15 = Haupttransformator. | 34 = Ölschalter. |
| 16 = Hilfstransformator. | 35 = Trennschalter. |
| 17 = Voltmeter. | 36 = Röhrensicherung für Hilfstransformator. |
| 18 = Amperemeter. | 37 = Saugdrosselspulen. |
| 19 = Gleichstrom-Selbstauschalter. | |

Von den mehr als 200 bisher von Brown, Boveri & Cie. in Betrieb genommenen Grossgleichrichteranlagen für Bahnbetrieb haben nur etwa 2% zu leichten Störungen in den Telephonanlagen Anlass gegeben. Diese Störungen konnten mit einfachen Mitteln, durch unbedeutende kleine Änderungen in der Telephonanlage selbst, beseitigt werden. Immerhin ergibt sich auch bei Bahnanlagen mit Gleichrichterbetrieb, wie ja auch bei allen übrigen Stromsystemen für Bahnbetrieb, die Notwendigkeit, alle Telephonleitungen doppeldrätig zu führen und die Erde nicht als Rückleitung zu benutzen.

Die Betriebserfahrungen während der vergangenen zehn Jahre an rund 300 ausgeführten Anlagen haben bewiesen, dass die Gleichrichter Bauart Brown Boveri bei denkbar bescheidenster Beaufsichtigung und Wartung nach Dutzenden von schweren Kurzschlüssen keinerlei Schaden genommen haben.

XIII. Überblick über ausgeführte und bestellte Anlagen. Bis Ende November 1926 hat Brown, Boveri & Cie. 498 Gleichrichteranlagen mit 941 Quecksilberdampf-Grossgleichrichtern und einer Leistung von rund 457000 kW in Betrieb oder in Bau genommen. Davon entfallen die meisten Anlagen auf Bahnbetrieb und zwar 302 Anlagen mit rund 353650 kW. Aus Abb. 48 und 49 ist ersichtlich, wie sich die Leistung für die verschiedenen Bahnzwecke sowie für verschiedene Spannungen verteilt.

Nicht selten wird für städtische Umformerwerke von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, eine oder mehrere Gleichrichtergruppen nach Bedarf für Strassenbahnbetrieb bei 600 V oder für Licht- und Kraft-

der im Falle eines inneren Kurzschlusses auftretenden elektrischen Unsymmetrien im Transformator und gestattet also die Selektiv- und Momentanabschaltung irgendeiner gestörten Gruppe und nur dieser mit den einfachsten Mitteln, unabhängig von Zwischenrelais und Hilfsstromquellen.

betrieb bei beispielsweise 450 V zu verwenden. Dies kann durch Primäranszapfungen am Transformator auf einfachste Weise erreicht werden, wobei auch bei Betrieb mit teilweise stromloser Primärwicklung (entsprechend Betrieb mit der höheren Gleichspannung) infolge sorgfältiger Konstruktion die Kurzschlußsicherheit des Transformators voll und ganz gewahrt bleibt. Zu diesen „Zweispannungsanlagen“ sind auch die Fälle zu zählen, in denen eine Anlage infolge vermehrter Leistung oder zur Verminderung der Verluste usw. von einer vorhandenen Spannung auf eine höhere endgültig umgeschaltet werden soll. Von den von der A.-G. Brown, Boveri & Cie. gelieferten Gleichrichteranlagen sind 24 Anlagen mit 38 verschiedenen Quecksilberdampf-Grossgleichrichtern für Betrieb mit zwei verschiedenen Spannungen eingerichtet.

Die erste Hochspannungsanlage 1100 V (Lauchhammer) mit Quecksilberdampf-Grossgleichrichter mit Metallgehäuse wurde von Brown, Boveri & Cie. bereits im Jahre 1919 in Betrieb gesetzt. Die Anlage dient zur Speisung einer Grubenbahn. Für den gleichen Zweck wurden im Jahre 1920 weitere zwei Anlagen geliefert. Sodann folgte anfangs des Jahres 1921 die erste Hochspannungsanlage für Überlandbetrieb in Zweilütschinen der Berner Oberland Bahnen (Abb. 50)¹⁾ für 1550 V. Zum ersten Male für Vollbahnbetrieb gelangte der

Quecksilberdampf-Grossgleichrichter zur Anwendung in fünf verschiedenen Unterstationen der Compagnie des Chemins de fer du Midi²⁾, wo die installierte Gesamtleistung den ansehnlichen Wert von 19 200 kW bei 1575 V erreicht. Die Inbetriebsetzung der ersten Unterstation Lourdes erfolgte im Frühjahr 1923. Die Anordnung der Gleichrichtergruppen einer der gelieferten Unterstationen geht aus Abb. 52 hervor.

¹⁾ Siehe BBC Mitteilungen Jahrgang 1925, Heft 10.

²⁾ Siehe BBC Mitteilungen Jahrgang 1924, Heft 9.

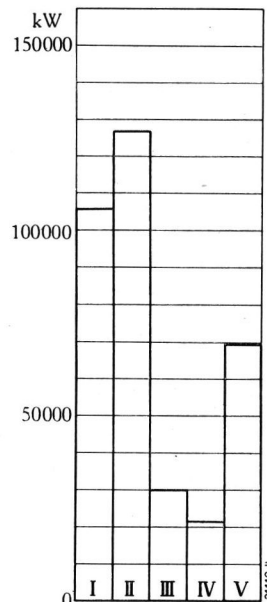


Abb. 48.

Verteilung der gelieferten Gleichrichter auf

- I = Strassenbahnen (105 840 kW).
- II = Hoch- und Untergrundbahnen (126 580 kW).
- III = Vorortbahnen (30 000 kW).
- IV = Überlandbahnen (21 520 kW).
- V = Vollbahnen (69 700 kW).

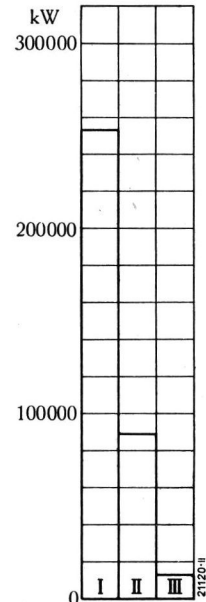


Abb. 49.

- I = Gleichspannungen von 200—1000 V.
- II = Gleichspannungen von 1001—2000 V.
- III = Gleichspannungen von 2001—5000 V.

Die erste und einzige 4000-V-Gleichrichteranlage der Welt wurde im Oktober 1924 von der A.-G. Brown,

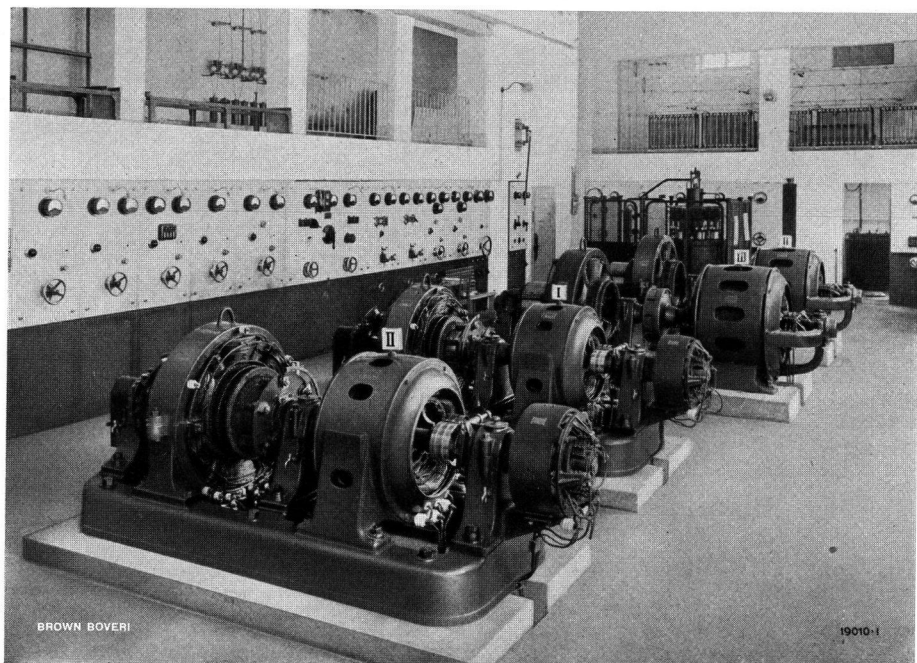


Abb. 50. — Gleichrichteranlage Zweilütschinen der Berner Oberland Bahnen. Ein Gleichrichter Type HG 5/6, 660 kW, 1550 V.

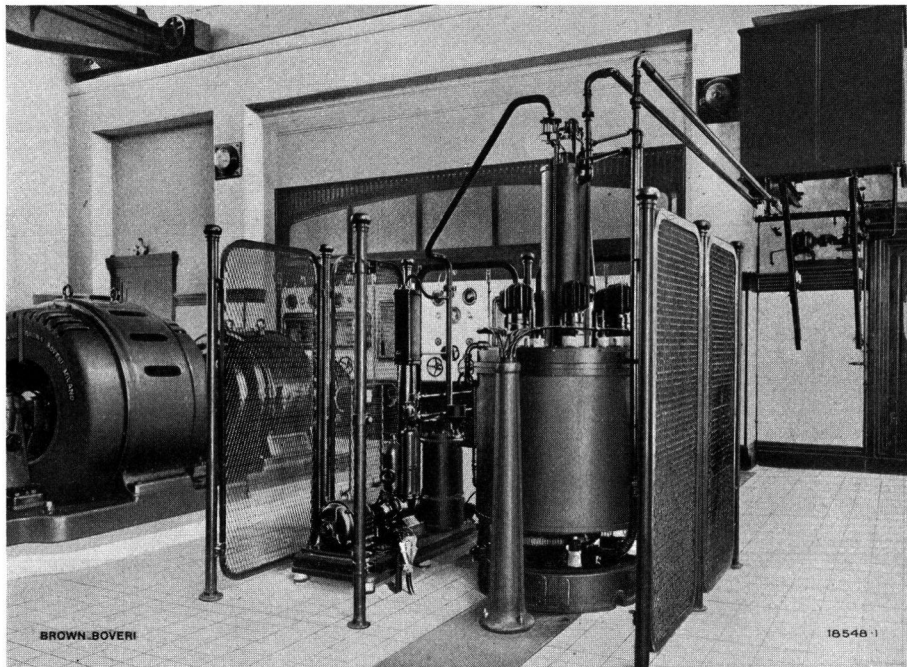


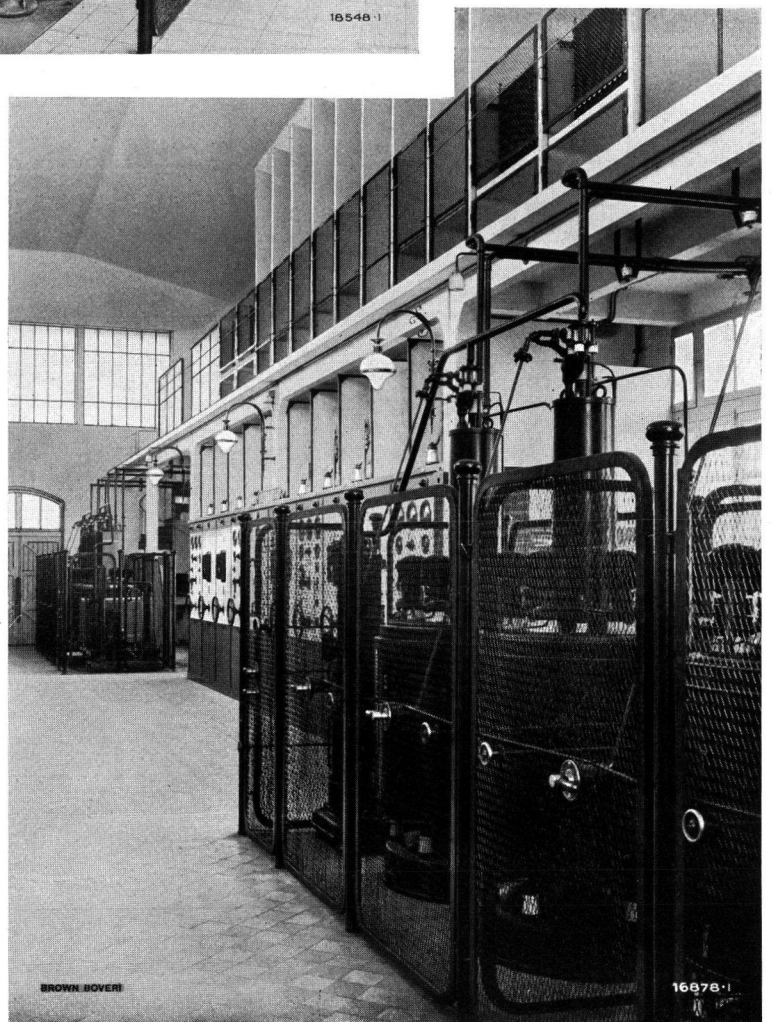
Abb. 51. — Gleichrichteranlage der Überlandbahn
Turin-Lanzo-Ceres.
Ein Gleichrichter Type GRZ 156, 800 kW, 4000 V.

Boveri & Cie. in Betrieb gesetzt und zwar in der Unterstation Ciriè der Vollbahn Turin-Lanzo-Ceres in Italien¹⁾ (Abb. 51). Diese Anlage ist insofern bemerkenswert, als zum ersten Male für Bahnbetrieb eine Gleichspannung von 4000 V in einem einzigen Grossgleichrichter erzeugt wird. Abb. 54 zeigt ein Tagesdiagramm und in untenstehender Tabelle sind die Messergebnisse der Zähler sowie der Wirkungsgrad der Anlage vom 15. August 1925 wiedergegeben.

Zähler primär	8629 kWh
Zähler sekundär	8200 kWh
Wirkungsgrad	95,3%
Betriebsdauer	20 Std.

Von den von der A.-G. Brown, Boveri & Cie. für die Elektrifizierung von Voll-

Abb. 52. — Gleichrichtergruppen in der Unterstation
Lannemezan der Compagnie des Chemins de fer
du Midi.
Vier Gruppen mit je zwei Gleichrichtern Type GRZ 156,
insgesamt 4800 kW, 1575 V.



bahnen gelieferten Gleichrichteranlagen sind ausser den bereits erwähnten die folgenden von besonderem Interesse:

Sieben 1500-V-Unterstationen für die Niederländischen Eisenbahnen mit 39 500 kW, eine Unterstation (Apica-Benevento-Foggia) der Italienischen Staatsbahnen mit 1700 kW bei 3000 V, eine Unterstation der Paris-Orléans Bahn 1500 V, 1500 kW, zwei Unterstationen für die Victorian Railways, Australien,

¹⁾ Siehe BBC Mitteilungen Jahrgang 1926, Heft 6.

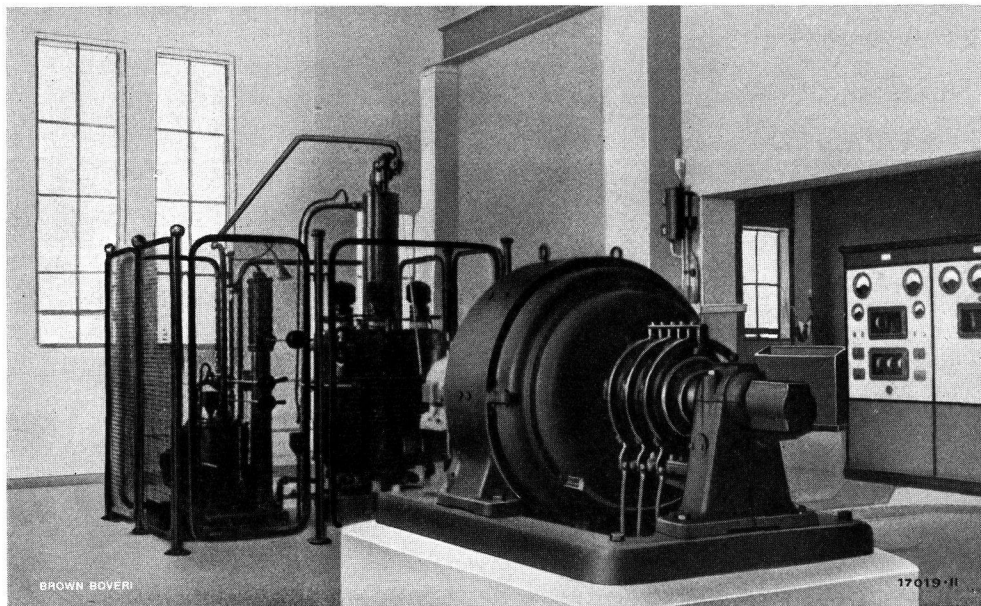


Abb. 53. — Bedienungslose Gleichrichteranlage im Haag.
Ein Gleichrichter Type GRZ 156, 400 kW, 1200 V.

Kato Railways Co., Japan; zwei Unterstationen für die Budapester Lokalbahnen mit 1000 kW bei 1200 V; eine Unterstation für Aichi-Denki-Nagaya, Japan, 1500 V, 1000 kW; eine Unterstation 1650V, 700 kW für F. C. de Zumaraga in Zumaya Urola, Spanien; eine Unterstation mit 610 kW bei 1425 V für Yoshino, Japan; für Holland je eine Unterstation 400 kW bei 1200 V im Haag

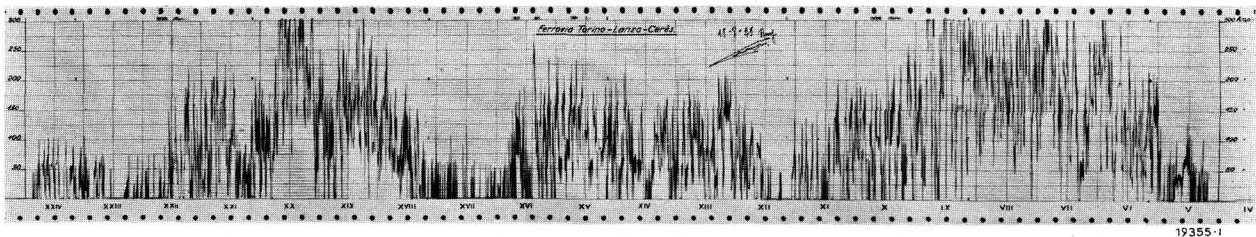


Abb. 54. — Tagesbelastungsdiagramm der Gleichrichteranlage der Überlandbahn Turin-Lanzo-Ceres.

mit 1800 kW bei 1460 V, eine Unterstation 1500 V und 4800 kW für die Japanischen Staatsbahnen, zwei Unterstationen 1500 V für N. S. W. Government Railways, Australien, mit 3650 kW, zwei Unterstationen 3000 V für Société Minière et Métallurgique de Peñaroya, Chemin de fer Conquista Puestollano, Spanien, mit 2800 kW und eine Unterstation 3000 V für Soc. Ferrovie Nord-Milano, Italien.

Als wichtige Unterwerke für Vorort- und Überlandbahnen sind zu nennen: Eine Unterstation 1200 V für Keissei Electr. Railways, Japan, mit 2100 kW; zwei Unterstationen 1500 V der Illinois Central Railroad, Chicago, mit 6000 kW; eine Unterstation 1500 V und 1000 kW für die

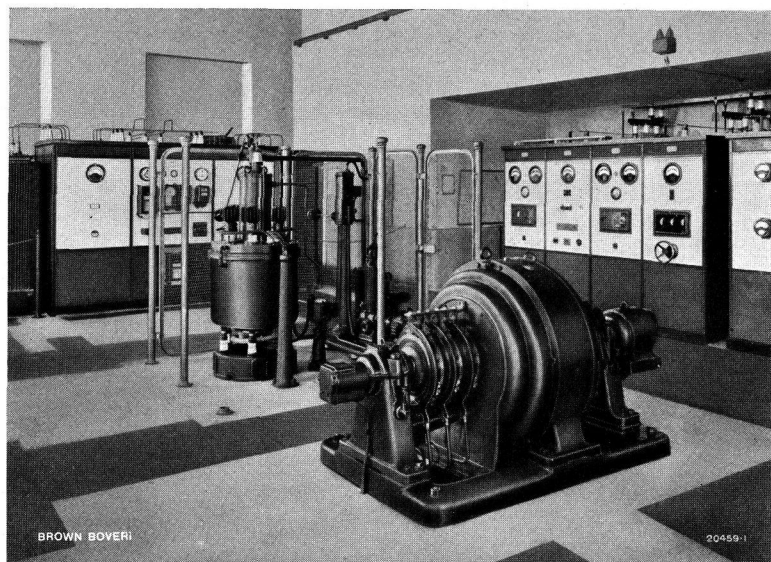


Abb. 55. — Gleichrichteranlage St. Lègier der Chemins de fer électriques Veveysans.
Ein Gleichrichter Type GRZ 136, 300 kW, 760 V.

(Abb. 53) und 250 kW bei 1200 V in Delft, für die Ekebergbahn, Oslo; eine Unterstation für 600 kW bei 1200 V, und eine Unterstation für Soc. An. Biellese per Distribuzione d'Energia Elettrica für 1100 kW bei 2500 V. Von den für die Schweiz gelieferten Anlagen sind folgende bemerkenswert: Bern - Muri - Worb 750 V, Aigle-Sépey 1350 V, Forchbahn 1200 V¹⁾, St. Léger bei Vevey 700 V²⁾ (Abb. 55), Rigibahn 750 V,

¹⁾ Siehe BBC Mitteilungen Jahrgang 1925, Heft 11.

²⁾ Siehe BBC Mitteilungen Jahrgang 1926, Heft 8.



Abb. 56. — Gleichrichteranlage der Compagnie des Chemins de fer Métropolitains de Paris, Unterstation Nation. Zwei Gleichrichter Type GRZ 56, 1080 kW, 600 V.

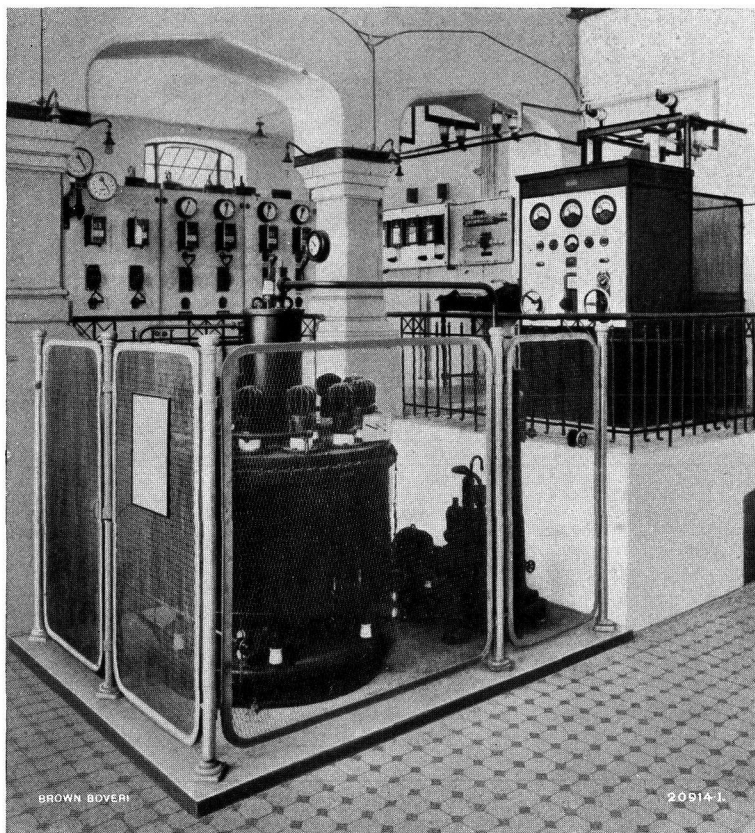


Abb. 57. — Gleichrichteranlage Bukarest, Unterstation Boulevard Carol. Ein Gleichrichter Type GRZ 1612, 1100 kW, 775/875 V.

Sibingen 800 V, Luterbach 1100 V, Bernina-Bahn 1000 V, Wynau 1100 V, Biel-Meinisbergbahn 1200 V und Schöllenenbahn 1200 V.

Für Betrieb von Hoch- und Untergrundbahnen sind geliefert und in Auftrag: Drei Unterstationen für die Cie des Chemins de Fer Métropolitains de Paris (Abb. 56) mit 8280 kW bei 600 V; eine Unterstation mit 1500 kW bei 1300 V für Gran Metropolitano, Barcelona; eine Unterstation für Metropolitano in Madrid mit 1500 kW bei 600 V, und vierzig Unterstationen für die Berliner Stadtbahn mit 108 000 kW bei 800 V.

Die vorstehend erwähnten Unterstationen, zusammen mit den im Bilde dargestellten Anlagen, dürften ein genügend anschauliches Bild von der grossen Verbreitung ergeben, welche der Grossegleichrichter Bauart Brown Boveri für Bahnbetrieb gefunden hat.

(MS 397) C. Brynhildsen, E. Kern.

KLEINE MITTEILUNGEN.

Turbo-Getriebeanlage des Eisenbahn-Fährdampfers „Seikan Maru No. 1“.

Dezimalindex 621.83 : 621.123 : 621.823. 4 (52).

Im Januarheft des Jahres 1927 der BBC Mitteilungen wurde im „Rückblick auf die Entwicklung der Brown Boveri-Konstruktionen im Jahre 1926“ u. a. auch eine Schiffsturbinenanlage erwähnt, die im nachstehenden näher beschrieben werden soll.

Es handelt sich um die beiden Turbo-Getriebebesätze für den Japanischen Eisenbahn - Fährdampfer „Seikan Maru No. 1“, die in den Badener Werkstätten der A.-G. Brown, Boveri & Cie. hergestellt worden sind. Schiff, Kessel, Kondensationsanlage und Hilfsmaschinen wurden dagegen von der Yokohama Dock Co. Ltd. in Yokohama (Japan) ausgeführt. Der Dampfer wurde für die Japanischen Staatsbahnen gebaut. Seine Hauptdaten sind die folgenden:

Länge über alles	111,7 m
Breite	15,85 m
Tiefgang	3,5 m
Grosstonnage	2300 t
Geschwindigkeit	13,5 Knoten
Maschinenleistung	2×1100 WPS
Kessel	2 Stück je 7,1 m ² Rostfläche und 270 m ² Heizfläche
Überhitzer	2 Stück je 56 m ² Heizfläche
Kesseldruck	14 kg/cm ²
Dampftemperatur	rd. 250° C
Propellerdurchmesser	rd. 3,0 m
Propellersteigung	rd. 4,0 m

Das Titelbild dieses Heftes und Abb. 1 zeigen den Aufbau des Dampfers, dessen Hauptdeck auf vier Schienensträngen 43 Waggons von je 15 t Ladefähigkeit aufnehmen kann. Auf dem mittleren Brückendeck befinden sich die Räume für den Kapitän und die Offiziere. Die hintere Brücke dient der Überwachung des Dienstes beim Verladen der Bahnwagen.

Die Hauptmaschinenanlage besteht aus zwei gleichen Turbogetriebebesätzen für die beiden Propellerwellen. Die Turbinendrehzahl beträgt bei einer Schiffsgeschwindigkeit von 13,5 Knoten (25 km) 5060 Umdrehungen. Sie wird

durch ein Doppelgetriebe auf die Propellerdrehzahl von 135 herabgesetzt. Der Aufbau von Turbine und Getriebe ist aus Abb. 2 zu ersehen. Vorwärts- und Rückwärts-Turbine sind in einem Zylinder untergebracht. Erstere wurde als kombinierte Aktions - Reaktionsturbine in der bekannten Brown Boveri-Ausführung geliefert, wogegen die am Abdampfende eingebaute Rückwärtsturbine nur mit einem zweikränzigen Aktionsrad ausgeführt ist. Die Vorwärtsturbine hat an entsprechender Stelle einen Anschluss für die Einführung des Abdampfes der Hilfsmaschinen sowie

des Leckdampfes vom Ausgleichkolben. Der Turbinenzylinder stützt sich vorne und hinten auf dem Fundament und ist ausserdem mit dem Getriebegehäuse fest verschraubt.

Das Doppelgetriebe hat Schraubenträger und eine Gesamtübersetzung von 1 : 37,4. Das mit der Turbinenwelle starr gekuppelte Ritzel des ersten Getriebes treibt die beiden auf den Zwischenwellen befindlichen Räder an, die ihrerseits über Torsionswellen mit den beiden Ritzeln der

zweiten Übersetzung gekuppelt sind. Der von der Schraubenverzahnung herrührende Axial Schub des ersten Ritzels wird mit dem Turbinenschub, derjenige des grossen Rades der zweiten Übersetzung durch den Propellerschub ausgeglichen. Die Axialschübe von Rad und Ritzel auf den Zwischenwellen heben sich gegenseitig auf. Diese Anordnung des Schubaussgleiches wurde der A.-G. Brown, Boveri & Cie. gesetzlich geschützt. Das Getriebegehäuse ist in den beiden Mittelebenen der ersten und zweiten Übersetzung geteilt. Am Unterteil ist gegen Achtern das Propellerlager angegossen. Am hinteren Ende der auf der Bordseite liegenden Zwischenwelle befindet sich eine Drehvorrichtung, die von einem Elektromotor oder von Hand betätigt werden kann. Die andere Zwischenwelle trägt an diesem Ende einen Geschwindigkeitsregler, der die Gruppe selbsttätig auf eine bestimmte, in gewissen Grenzen einstellbare Umdrehungszahl einstellt. Am Vorderende der Turbine befindet sich ausserdem ein Sicherheitsregler, der bei Überschreitung der höchstzulässigen Drehzahl um etwa 10 % die Dampfzufuhr zur Turbine abstellt. (Abb. 3.)

Die Oberflächen-Kondensatoren liegen seitlich neben den Turbinen. Für jeden Kondensator ist eine Kühlwasserpumpe und eine Luftpumpe vorhanden. Das Druckölsystem für die Regulierung der Turbine und die Schmierung der

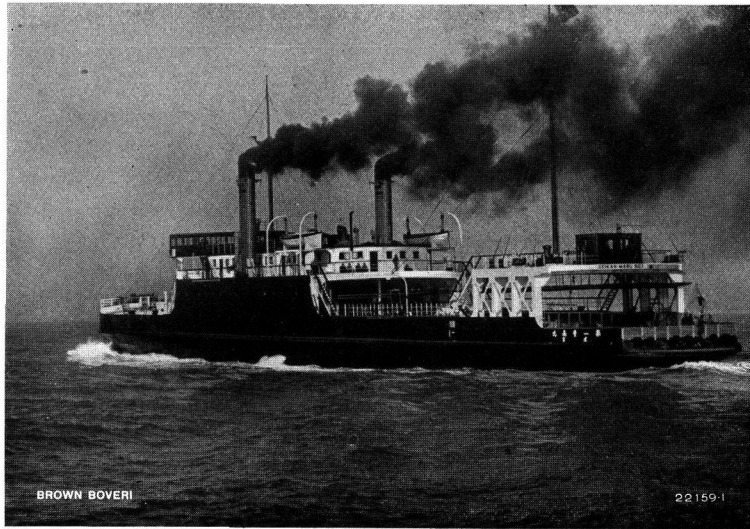


Abb. 1. — Eisenbahn-Fährdampfer „Seikan Maru No. 1“
(Ansicht des Hinterschiffes).

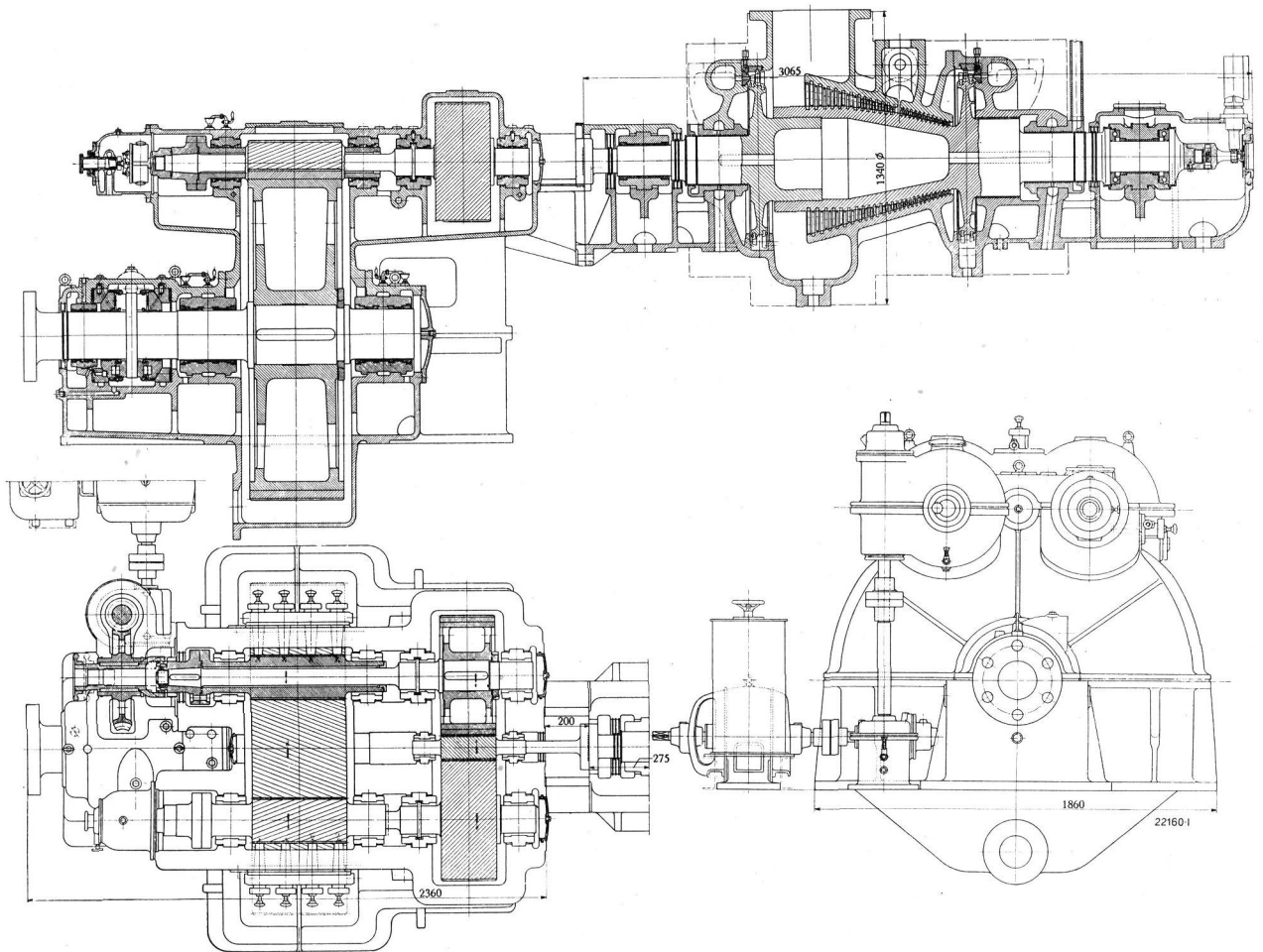


Abb. 2. — Turbine und Getriebe des japanischen Fährdampfers „Seikan Maru No. 1“.

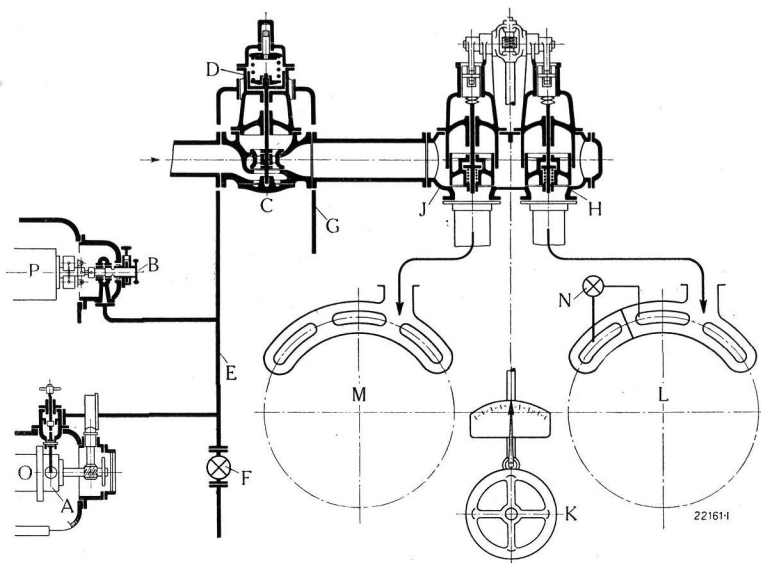


Abb. 3. — Schema der Ölsteuerung.

- A = Sicherheitsregler.
- B = Geschwindigkeitsregler.
- C = Regulier- und Schnellschlussventil.
- D = Ölkolben.
- E = Öldruckleitung.
- F = Ölregulierventil.
- G = Ölrücklauf.
- H = Vorwärts-Manövrierventil.
- J = Rückwärts-Manövrierventil.
- K = Handrad für die Ventile H und J.
- L = Vorwärtsturbine.
- M = Rückwärtsturbine.
- N = Überlastungsventil.
- O = Turbinenwelle.
- P = Zwischenwelle des Getriebes.

Lager und Getriebe dient beiden Anlagen gemeinsam. Es besteht aus zwei Ölpumpen, zwei Ölfiltern, zwei Kühlern, einem Sammelbehälter und den zugehörigen Leitungen. Für den Betrieb genügt je eine Pumpe, ein Filter und ein Kühler. Neben zwei Speisepumpen und einigen Pumpen für verschiedene Zwecke sind noch eine durch eine Kolbendampfmaschine angetriebene Dynamo und eine von der A.-G. Brown, Boveri & Cie. gelieferte Turbodynamo von 12 kW Leistung vorhanden.

Auf der im Monat November 1926 stattgefundenen Abnahmeprobefahrt wurden alle Vertragsbedingungen, einschliesslich derjenigen des gewährleisteten Dampfverbrau-

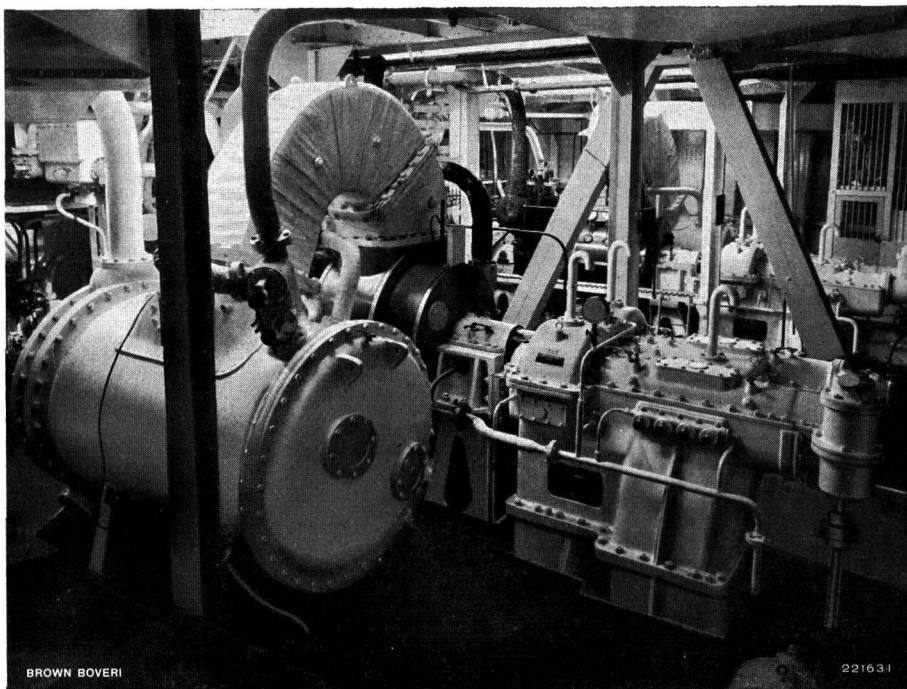
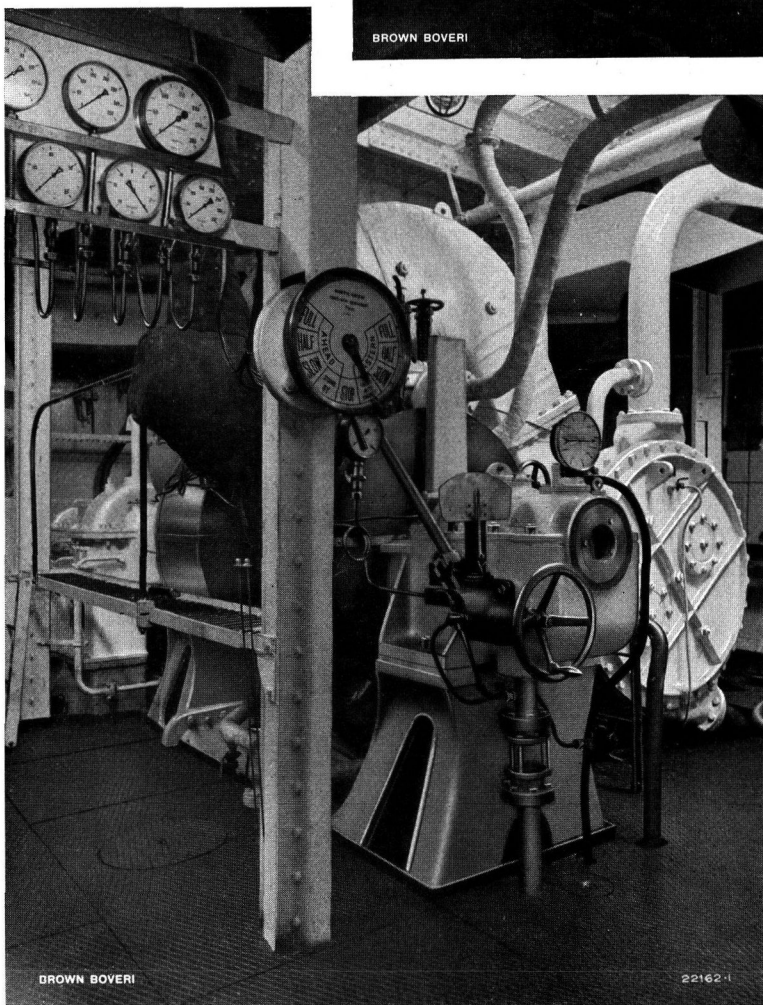


Abb. 4. — Aufnahme an Bord, von der Backbord-Getriebeseite aus gesehen.



ches von 5,00 kg/WPS bei 13,0 kg/cm² abs, 250° C, 93 % Vakuum im Kondensator zur vollsten Zufriedenheit des Bestellers erfüllt. Seit Dezember ist die „Seikan Maru No. 1“ im regelmässigen Eisenbahn-Fährdienst zwischen Hakodate und Aomori (Entfernung etwa 100 km) eingestellt.

Die Betriebsergebnisse der Anlage haben gezeigt, dass selbst für diese, infolge der kleinen Leistungen von nur 1100 WPS pro Welle, ungünstigen Verhältnisse der Turbinenantrieb, sowohl gegenüber der Kolbenmaschine wie auch gegenüber dem Dieselmotor, voll konkurrenzfähig ist. In Bezug auf Gewicht und Raumbedarf ist der Turbinenantrieb den beiden anderen ganz erheblich überlegen. Das Gesamtgewicht der beiden Turbinen-Getriebeanlagen beträgt rund 36 t, d. h. nur etwa 16 kg/WPS.

In Abb. 4 und 5 sind zwei Aufnahmen aus dem Maschinenraum wiedergegeben.

Ferner sei noch auf die Abb. 73 in dem eingangs erwähnten Januarheft der BBC Mitteilungen verwiesen¹⁾, die eine der beiden Gruppen auf dem Prüfstande der Badener Werkstätten der A.-G. Brown, Boveri & Cie. zeigt.

(MS 439)

J. Baasch.

¹⁾ BBC Mitteilungen, Jahrgang 1927, Heft 1, Seite 44.

Abb. 5. — Backbord-Maschinenstand.

Abnahmeversuche an einer 37 500-kW-Brown Boveri-Dreizylinder-Dampfmaschine im Grosskraftwerk Zschornowitz.

Dezimalindex 621. 165. 0068 (43).

An einer normalen Brown Boveri-Dreizylinder-Turbine im Kraftwerk Zschornowitz der Elektrowerke A. G. wurden vom 3. bis 5. Februar 1927 Abnahmeversuche durch den sächsisch-thüringischen Dampfkessel-Revisions-Verein in Halle ausgeführt.

Die Turbine ist für $14,5 \text{ kg/cm}^2$ abs, 325° C , 25° iges Kühlwasser und für Speisewasservorwärmung durch Anzapfung auf 110° gebaut. Die Garantien wurden einschliesslich Kraft- und Dampfbedarf der von Motor und Hilfsturbine angetriebenen Kondensationsanlage abgegeben. Bei der Beurteilung der Turbine allein wurde daher die Kuppelleistung der Turbine und der Dampfbedarf ohne Kondensationsanlage in Rechnung gesetzt. Bei den Versuchen ohne Dampfentnahme für die Speisewasservorwärmung arbeitet eine für Entnahme bemessene Turbine bekanntlich ungünstiger, weil die Dampfmenge im Hochdruckteil zu klein und im Niederdruckteil zu gross wird. Aus der daraus folgenden Verschiebung des Druckverlaufes entsteht eine Verschlechterung des Turbinenwirkungsgrades von $1,8\%$ bei Vollast, die bei der Beurteilung der Turbine ebenfalls berücksichtigt wurde.

Die Tabelle auf Seite 219 gibt die wichtigsten Ergebnisse der behördlichen Abnahmeversuche sowie die zur Beurteilung des Turbinenwirkungsgrades vorgenommene Analyse dieser Resultate.

In dem Bericht des Dampfkessel-Überwachungsvereins wurde besonders hervorgehoben, dass die Turbine mit nur einer Kühlwasserpumpe, d. h. einer Wassermenge, die dem

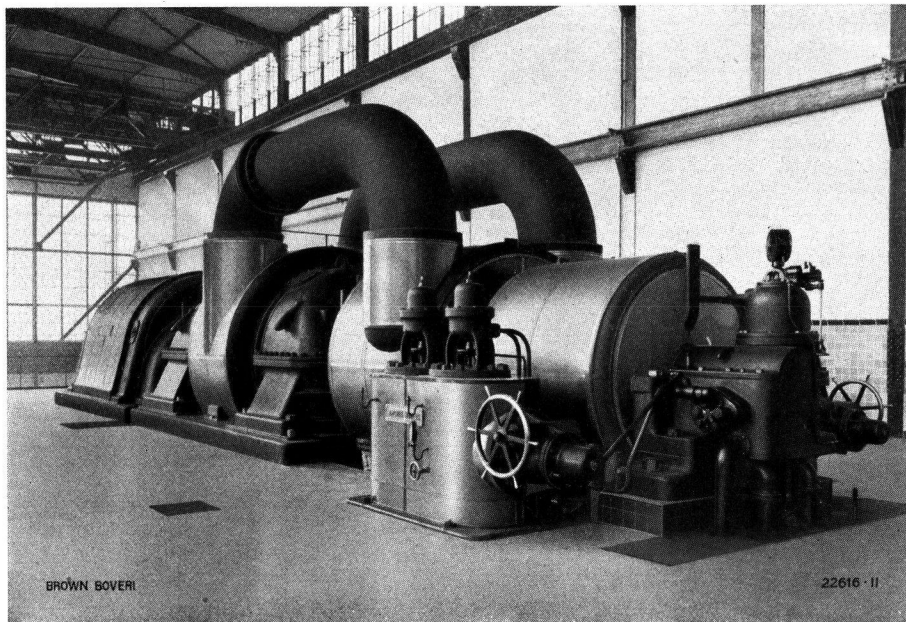


Abb. 1. — Dreizylinderturbine im Kraftwerk Zschornowitz.

46fachen der Dampfmenge entspricht, Vollast erreicht hat und die Garantien auch dabei unterschritten wurden. Es heisst weiter: „Die Versuche ergaben durchweg Übereinstimmung mit den Zusicherungen und gutes Arbeiten des

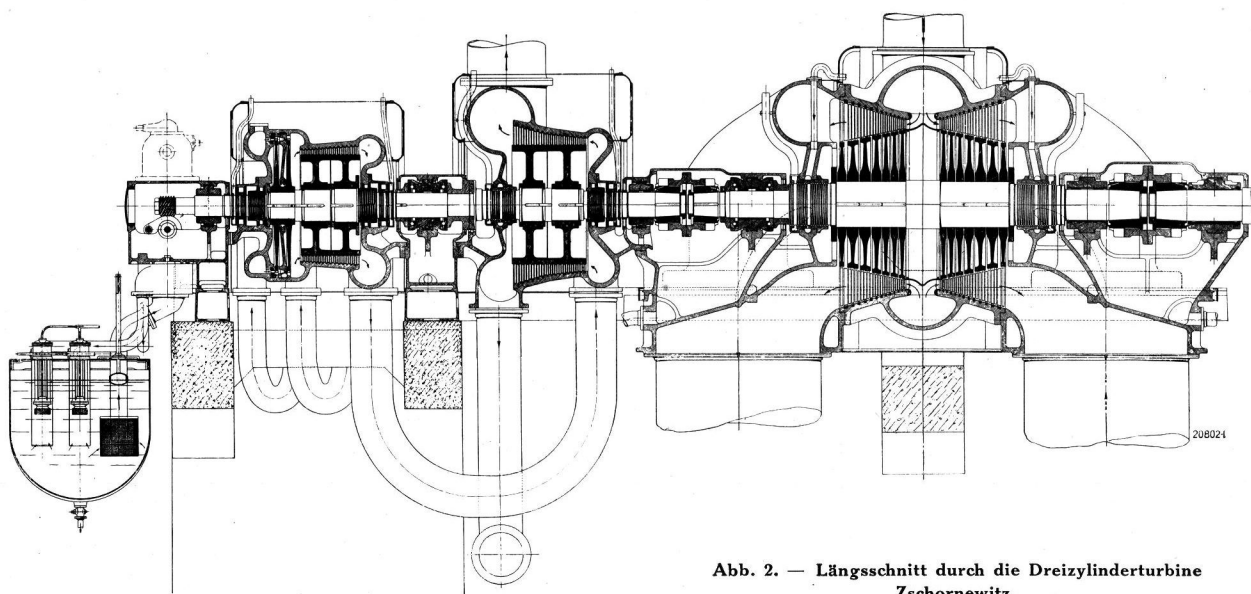


Abb. 2. — Längsschnitt durch die Dreizylinderturbine Zschornowitz.

Versuche an der 30 000/37 500-kW-Brown Boveri-Dreizylinder-Turbine im Kraftwerk Zschornowitz der Elektro-
werke A. G.; 3.—5. Februar 1927.

Versuch	I	II	III	IV	V	VI
1. Belastung	1/2	3/4	5/4	1/1	1/1	1/1
2. Klemmenleistung des Generators . . kW	15642	23258	38615	30895	31055	30439
3. Dampfdruck vor Ventil kg/cm ² abs	14,67	14,36	13,97	14,15	14,29	14,17
4. Dampftemperatur vor Ventil °C	328,5	324,8	336,6	330,0	325,1	327,1
5. Kühlwassertemperatur °C	25,02	25,01	25,05	25,06	25,2	26,99
6. Kondensatmenge kg/h	82411	116062	184923	148964	152300	162400
7. Dampfverbrauch einschliesslich Kondensationskraftbedarf kg/kWh	5,46112	5,11331	4,93154	5,000134	4,99315	5,3352
8. Leistung für die Kühlwasserpumpen . kW	547	560	1117	1103	553	
9. Nutzleistung kW	15095	22698	37498	29792	30502	30439
10. Vakuum %	95,1	94,5	94,45	94,73	93,4	92,7
11. Korrekturen auf Garantiewerte . . . %	+ 0,35	— 0,15	+ 0,43	+ 0,07	— 0,31	— 1,15
12. Korrigierter Dampfverbrauch . . . kg/kWh	5,4702	5,106	4,953	5,0036	4,9777	5,273
13. Garantierter Dampfverbrauch . . . kg/kWh	5,735	5,27	5,15	5,01	5,01	5,326
14. Garantieunterschreitung %	4,74	3,11	3,82	0,127	0,645	1,0
15. Drehzahl U/min	1511	1506	1509	1510	1508	
16. Wirkungsgrad des Generators . . . %	93	95	96,4	96	96	
17. Wirkungsgrad der Turbine einschl. Kondensationsanlage %	74,2	79,5	80,0	79,6	82,7	
18. Wärmehalt des Eintrittsdampfes . . kgCal/kg	739,3	737,8	744,4	740,4	738,0	739,0
19. Kondensattemperatur °C	32,125	34,0	32,15	32,216	36,97	105,0
20. Verbrauchte Wärme kgCal/kg	707,175	703,8	712,25	708,184	701,03	634,0
21. Wärmeverbrauch je Kilowattstunde nutzbare Energie kgCal/kWh	3870	3595	3530	3545	3490	3335
22. Gefälle kgCal/kg	227,5	223	225	225	217,5	
23. Schleierdampf der leerlaufenden Hilfsturbinen kg/h	755	807	1935,5	1972,9	935	
24. Umrechnung auf Turbine allein: Zeile $\frac{9 \cdot (6-23)}{2 \cdot 6}$	0,955	0,969	0,961	0,951	0,974	
25. Wirkungsgrad der Turbine allein: Zeile $\frac{17}{24}$ %	77,75	82,1	83,2	83,7	84,9	
26. Zuschlag, da Versuche mit geschlossener Entnahme %	1,0	1,5	2,0	1,8	1,8	
27. Kupplungswirkungsgrad der Turbine allein %	78,52	83,33	84,9	85,1	86,43	

elektrischen Teiles“ und „es muss hervorgehoben werden, dass die Maschine einen besonders ruhigen Gang hat.“

Die Versuche zeigen, dass der von der Turbine erreichte Wirkungsgrad ausgezeichnet ist, obwohl die Temperatur des Dampfes nur etwa 325° C beträgt. Die Erfahrung

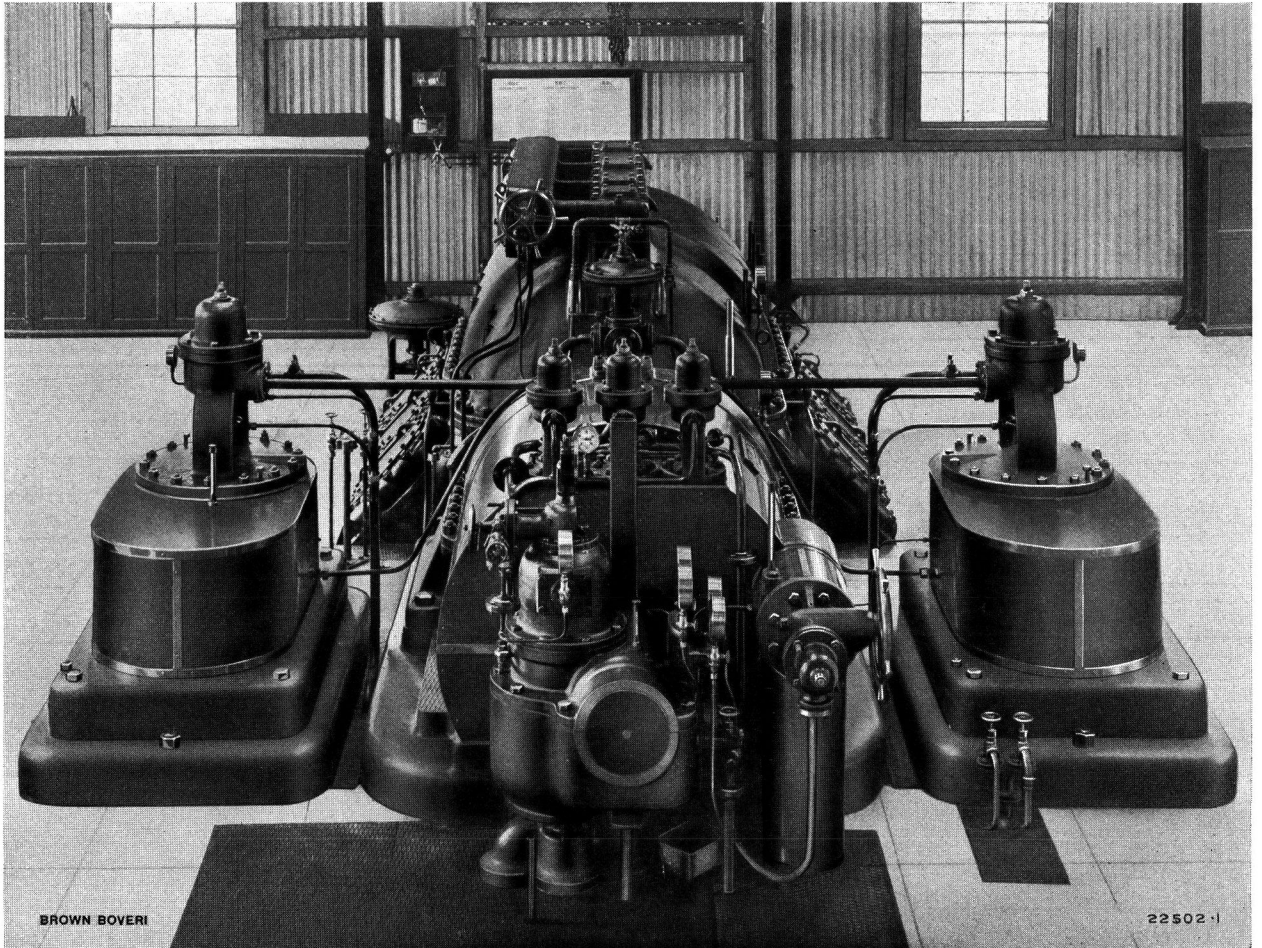
zeigt, dass durch Erhöhung der Dampftemperatur der Wirkungsgrad infolge der rückgewinnbaren Wärme und wegen Verringerung des ausgeschiedenen Wassers im Niederdruckteil noch höher sein könnte.

(MS 453)

P. Faber.

AKTIENGESELLSCHAFT
BROWN, BOVERI & C^{IE}
BADEN (SCHWEIZ)

WERKSTÄTTEN IN BADEN (AARGAU) UND MÜNCHENSTEIN BEI BASEL



ANGLO-AMERICAN CORPORATION OF SOUTH AFRICA, LTD. WEST SPRINGS (SÜDAFRIKA).
Turbokompressor für 340 m³/min angesogene Luftmenge, 7,0 kg/cm² abs, 1675 kW 4450 Umdrehungen.

TURBOKOMPRESSOREN - TURBOGEBLÄSE
TURBOGASSAUGER
TURBOGEBLÄSE FÜR PNEUMATISCHE FÖRDERANLAGEN
SPÜLLUFTTURBOGEBLÄSE FÜR DIESELANLAGEN USW.