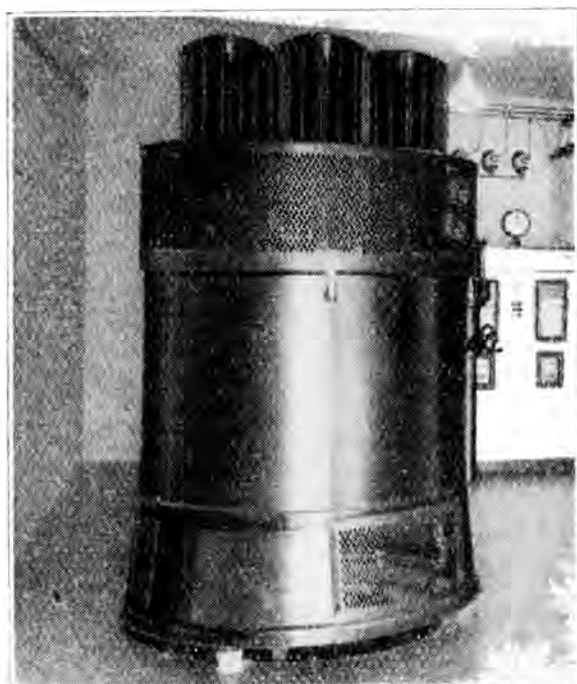




Aus dem Archiv der
Berliner Verkehrsseiten

Unterwerke für den Betrieb von Strassenbahnen

Von Dr. Trautvetter (Berlin-Südende).

Die ersten elektrischen Strassenbahnen, auch die Berliner, sind aus Pferdebahnen hervorgegangen, die meist im Besitz von Aktiengesellschaften waren.

Obwohl Werner von Siemens schon im Jahre 1881 die erste elektrische Strassenbahn in Lichterfelde bei Berlin vom Bahnhof der Anhalter Bahn nach der Kadettenanstalt mit Erfolg in Betrieb gesetzt hatte, ging die grosse, schnelle Weiterentwicklung in Nordamerika vor sich. In Deutschland wurden nur kümmerliche Versuche mit allen möglichen Betriebsarten gemacht. In Berlin führte man im Jahre 1885 Akkumulator-Triebwagen ein, die damals noch durchaus unbrauchbar waren. 1889 schickte die Berliner Strassenbahn-Gesellschaft zwei Ingenieure zum Studium elektrischer Bahnen nach Amerika und anderen europäischen Grossstädten. Erst 1896 wurde eine Strassenbahnlinie nach dem amerikanischen System Thomson-Horsten mit 50 Triebwagen vom Zoologischen Garten nach Treptow dem Verkehr übergeben. Am 25. Januar 1898 wurde die „Grosse Berliner Pferdeisenbahn“ in „Grosse Berliner Strassenbahn“ umgetauft.

Zu dieser Zeit bestanden schon in vielen deutschen Städten elektrische Strassenbahnen (in Frankfurt a. M. seit 1884, in Halle seit 1891, in Gera und Bremen seit 1892, in Hannover, Dresden, Breslau, Essen, Chemnitz und anderen Städten seit 1893). Diese Bahnen führten in der Oberleitung, die allmählich alle anderen Systeme verdrängt hatte, Gleichstrom mit Spannungen von 500 bis 600 Volt. Neuerdings baut man Vorort- und Ueberlandbahnen mit Spannungen von 1200, 2400, ja 4000 Volt. Die meisten Strassenbahnen, die von Privatgesellschaften in den Jahren 1884 bis 1894 gebaut

wurden, errichteten in der Regel ein eigenes Kraftwerk („Zentrale“) mit Gleichstromerzeugern („Dynamos“), die von Dampfmaschinen oder Gasmaschinen angetrieben wurden. Es waren um diese Zeit schon grössere Gleichstrom-Kraftwerke für Licht und Kraft durch grosse Privatgesellschaften oder Kommunen erbaut worden. Im Jahre 1885 entstanden z. B. die „Berliner Elektrizitäts-Werke“, die heutige „Bewag“. Von ihr bezog die Grosse Berliner Strassenbahn ihren Strom, der als Drehstrom mit 6000 Volt Spannung erzeugt wird. Die meisten öffentlichen Kraftwerke jedoch lieferten zunächst nur Gleichstrom mit 2×110 Volt und machten den Strassenbahnen für die Belieferung mit Gleichstrom von 500 bis 550 Volt Spannung zu teure Angebote. Nach Einführung von 220-Volt-Lampen beschafften manche Werke Stromerzeuger, die von 440 bis 500 Volt umschaltbar waren, andere entschlossen sich, besondere Gleichstrommaschinen für 550 Volt aufzustellen. Werke, die, wie die Bewag, von Anfang hochgespannten Drehstrom erzeugten, mussten für den Verbrauch in Licht- und Kraftnetzen und in Strassenbahnanlagen Transformatoren-Unterwerke zur Herabsetzung der Hochspannung und Umformerwerke zur Umformung des Drehstroms in Gleichstrom erbauen. Für Strassenbahnnetze geringer Ausdehnung und mit gleichmässigem Betrieb genügt ein Umformerwerk. Ausgedehnte Strassenbahnnetze, die u. U. auch in Vororte oder über Land führen (wie in Berlin), können nicht von einem Punkt aus gespeist werden. Für sie ist eine grössere Anzahl Unterwerke erforderlich.

Die kleinen Bahnkraftwerke hatten grosse Schwierigkeiten bei allen Erweiterungen. Mit diesen wurden die Verluste in den Speiseleitungen grösser, man musste Streckenzusatzmaschinen und grosse Pufferbatterien aufstellen. Als grosse

Ueberlandwerke entstanden, war der Bahnstrom billiger zu beziehen als selbst herzustellen. Aus den Bahnkraftwerken wurden meist Umformerwerke, in denen man den von einem benachbarten Ueberlandwerk gelieferten hochgespannten Drehstrom in Bahn-Gleichstrom umformte. Zur Umformung wurden bisher drei Arten von rotierenden Maschinen benutzt: Motorgeneratoren, Kaskadenumformer und Einankerumformer. Ein Motorgenerator besteht in der einfachsten Form aus einem Drehstrommotor und einem Gleichstromerzeuger. Beide sind durch eine elastische oder starre Kuppelung zu einem Maschinensatz verbunden. Der Drehstrommotor ist die Antriebsmaschine, die durch den Drehstrom angetrieben wird und ihrerseits den Generator antreibt. Der hochgespannte Drehstrom kann aber nicht ohne weiteres in den Motor eingeführt werden. Er muss meistens vorher durch einen Transformator auf niedrigere Spannung gebracht werden. Ferner muss man zum Anlaufen dem Motor entweder Gleichstrom aus einer Batterie zuführen oder, wenn solche nicht vorhanden, einen Anwurfmotor und eine fremderregte Drehstrom-Erregermaschine benutzen. Die Anlaufzeit beträgt im besten Falle $\frac{1}{2}$ bis 1 Minute, meistens etwa 3 Minuten. (Abb. 1 Drehstrom-Gleichstrom-Umformer der Bergmann-Elektrizitäts-Werke im Umformerwerk Mauerstrasse der Bewag.) Motorgeneratoren wendet man hauptsächlich bei grossen Belastungsschüssen im Drehstromnetz und für sehr hohe Gleichstromspannungen an. Sie haben den niedrigsten Wirkungsgrad aller Umformer.

Der Kaskadenumformer (Abb. 2, Kaskadenumformer der SSW im Umformerwerk Schmidstrasse der Bewag) ist ein Mittelding zwischen Motorgenerator und Einankerumformer. In ihm ist zum Teil das Prinzip der Transformatoren benutzt. Der Drehstrom wird dem Ständer des Motors zu-

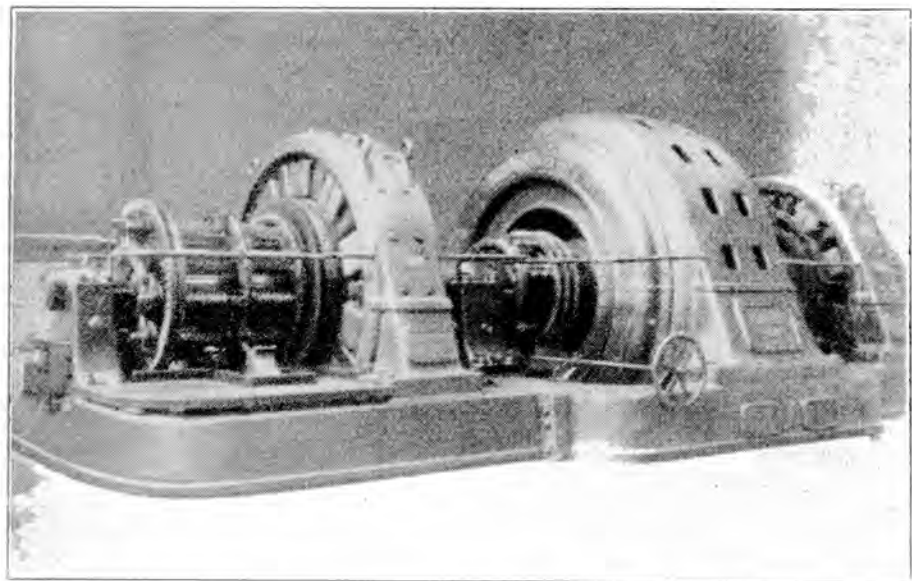


Abb. 1. Motorgenerator der Bergmann-Elektrizitäts-Werke im Umformerwerk Mauerstrasse der Bewag.

geführt und im Läufer zum Teil in Drehstrom geringerer Spannung und Periodenzahl, zum Teil in mechanische Leistung umgewandelt. Die mechanische Leistung wird durch die gemeinsame Welle auf den Gleichstromerzeuger übertragen und dort in Gleichstrom umgesetzt. Der Drehstrom des Läu-

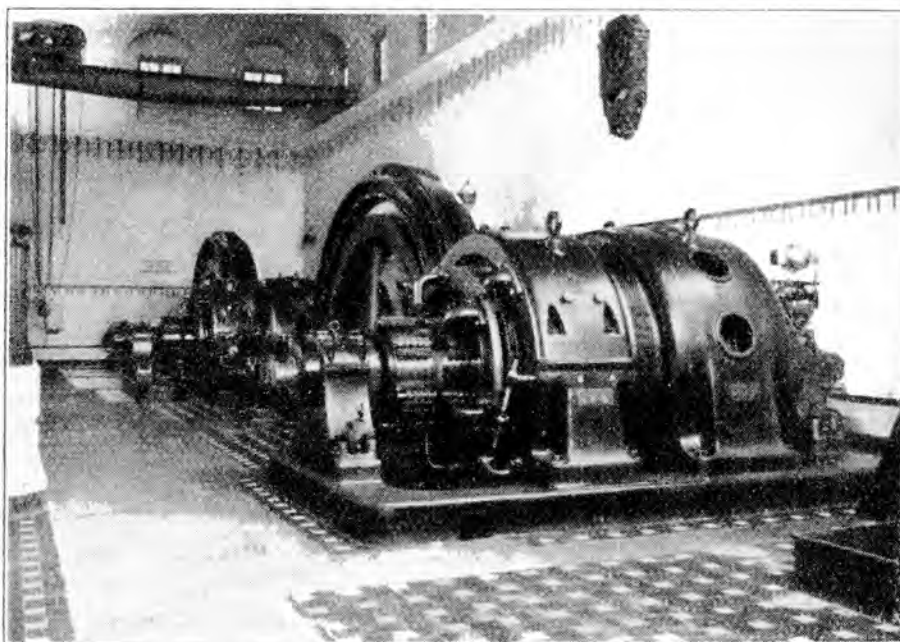


Abb. 2. Kaskadenumformer der SSW, 800 KW Leistung, 670 Volt Gleichstrom, 500 Umdr.-Min.

fers fliesst zur Gleichstromankerwicklung und wird dort gleichfalls zu Gleichstrom. Der Kaskadenumformer eignet sich für schwere Bahnbetriebe. Seine Vorteile sind: Günstiger Wirkungsgrad bei Teilbelastung, geringer Raumbedarf, Wegfall der Schleifringbürsten.

Der Einankerumformer (Abb. 3, Einankerumformer der AEG im Umformerwerk Königin-Augusta-Strasse) erfordert in der Regel auch einen Anwurfmotor und einen Drehtransformator, weil die Drehstromspannung gleich der Gleichstromspannung sein muss. Der Einankerumformer hat von allen rotierenden Umformern den höchsten Wirkungsgrad, weil er den Umweg über die mechanische Energie vollständig vermeidet, und ist am billigsten. Der rotierende Teil ist besonders klein. Er wird zurzeit am meisten angewandt. (Von den 18 Bahnnumformwerken der Bewag ist die grosse Mehrzahl mit Einankerumformern ausgerüstet.) Alle Maschinenumformeranlagen erfordern ständige, gute fachmännische Bedienung und Aufsicht. Das Anlassen, Synchronisieren, Polarisieren, Verhindern von Rundfeuer, Abheben der Bürsten, Sicherung gegen Kurzschlüsse usw. macht um so mehr Sorgen, als die versorgten Strassenbahnbetriebe ständig erweitert werden und Verkehrsschüsse und Belastungsschwankungen immer grösser werden. Man verbesserte mit der Zeit notgedrungen

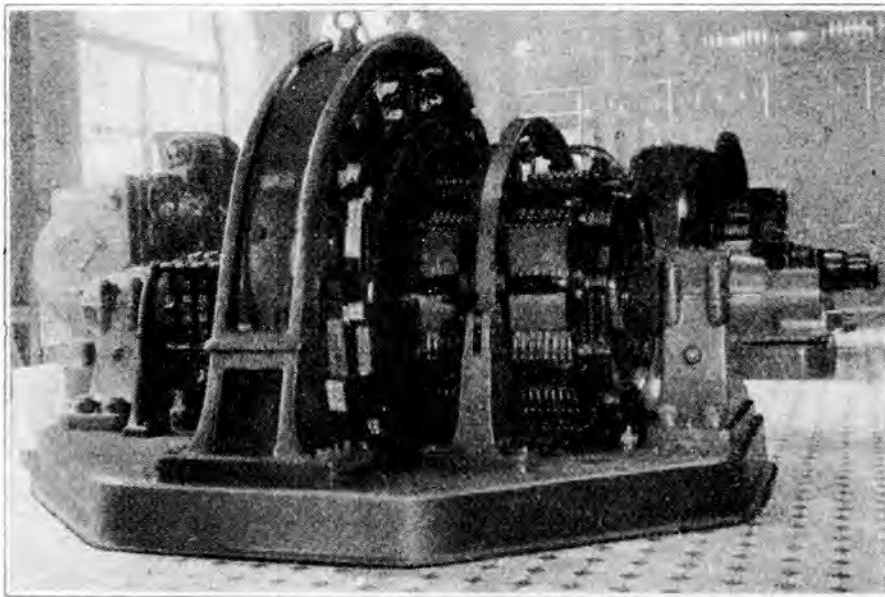


Abb. 3. Einanker-Umformer der AEG im Umformerwerk Berlin, Königin-Augusta-Strasse, der Bewag.

die Maschinenanlagen und entwickelte selbsttätige Umformerwerke.

Auch auf diesem Wege ging uns Amerika voran. Schon vor dem Weltkrieg gab es dort eine Anzahl selbsttätiger Umformerwerke für Bahnbetrieb. In Deutschland verzögerten erklärlicherweise die Kriegs- und Nachkriegsereignisse gleichgerichtete Arbeiten. In Amerika baute allein die General Electric Co. bis 1. Juni 1925 rund 2000 selbsttätige Einrichtungen. („Der elektrische Betrieb“, 1926, Nr. 1 und 2.) Die erste selbsttätige Schaltanlage für Einankerumformer in einem öffentlichen Betriebe Deutschlands ist für die Bewag bzw. Berliner Strassenbahn im Jahre 1924 durch die A E G als Versuch ausgeführt worden. Auch mit Selbstanlauf eines Kaskadenumformers wurden Versuche gemacht. Der Selbstanlauf der Maschine erfolgt bei solchen Anlagen in der Regel durch Fernschaltung von einer Zentralstelle aus durch eine Kontaktuhr oder durch ein elektrisches Kontaktinstrument in Abhängigkeit von der Netzspannung oder der Belastung einer anderen Maschine. Eine Abschaltung im Falle einer dauernden Störung wird durch ein optisches oder akustisches Signal der Zentralstelle gemeldet. Auch in nicht ferngesteuerten, sondern vollkommen selbsttätigen Umformwerken (ja, auch in bedienten) ist die Einrichtung für den Selbstanlauf das wichtigste und schwierigste Mittel, das sich immer der Eigenart der Maschine anpassen muss. („Siemens-Zeitschrift“ 1928, Nr. 5, 6, 8, „Selbstanlauf von Umformern“ von Dipl.-Ing. Krieg.)

Die wesentlichen Vorteile selbsttätiger Umformerwerke sind: Erhöhte Wirtschaftlichkeit, ständig (24 Stunden täglich) bereite Ueberwachung, ständige Betriebsbereitschaft, Vermeidung von Schaltfehlern, Vermeidung unnötigen Leerlaufes, Ersparnisse an Speiseleitungen bei Gleichrichteranlagen, da die Errichtung solcher Umformerwerke nicht abhängig vom Wohnsitz des Bedienungsmannes ist, sondern in den geeignetesten Punkten des Bahnnetzes erfolgen kann.

Alle diese Vorzüge, ohne die noch verbleibenden Nachteile der rotierenden Umformer, vereinigt in sich der Quecksilberdampf-Gleichrichter. Man kann ihn im Gegensatz zu umlaufenden Maschinen „statischen (festen) Umformer“ nennen. An festen Einbau in Haupt- oder Unterwerke ist er aber nicht gebunden, er benötigt kein Fundament. Neuerdings werden bei der Reichsbahn zur Bahnunterhaltung Turmwagen benutzt, die Akkumulatoren und einen Gleichrichter für die Speisung der Motoren bei gestörter Stromversorgung mitführen. Die Ladung der Batterie und die Umformung des Einphasenstromes in Gleichstrom besorgt der Gleichrichter. Auch eine neue Art von Verschiebelokomotiven mit Gleichrichtereinrichtung befindet sich in Bau.

Ganz besonders eignet sich der Gleichrichter für elektrische Bahnen mit stark wechselnden Belastungen. Während diese von Unterwerken mit rotierenden Umformern nur durch Pufferbatterien

oder zusätzliche Maschinensätze, unter starkem Absinken des Wirkungsgrades, aufgenommen werden können, bleibt der Quecksilberdampf-Gleichrichter fast unberührt von Belastungsschwankungen. Bei $\frac{1}{2}$ Belastung beträgt der Wirkungsgrad eines Gleichrichters 90 v. H., eines Einankerumformers 76,5 v. H. und eines Motorgenerators nur 58 v. H. Während bei Maschinen mit schwächer werdender Belastung die Verluste steigen, fallen sie bei Gleichrichtern, d. h. die Hauptverluste sind hier direkt proportional den Belastungen.

Es gibt Quecksilberdampf-Gleichrichter mit Glasgefäß und solche mit Eisengefäß. Die ersten nennt man kurz „Glasgleichrichter“, die zweiten „Eisengleichrichter“. Die Bezeichnungen „Kleingleichrichter“ und „Grossgleichrichter“ vermeidet man besser, denn die „Glasgleichrichter“ („Kleingleichrichter“) können auch schon recht beträchtliche Leistungen abgeben. Der Quecksilberdampf-Gleichrichter wird oft als Schaltapparat betrachtet, bei dem als Schaltorgan ein im luftleeren Raum des Glas- oder Eisengefäßes bewegter und gesteuerter Lichtbogen oder Stromfaden dient. Man bezeichnet ihn auch als elektrisches Ventil, weil er Strom nur in einer Richtung durchlässt. „Gleichrichter“ heisst er, weil er aus einphasigem oder dreiphasigem Wechselstrom, dessen Charakteristik man in Wellenform darstellt und der ständig seine Richtung ändert, Gleichstrom macht, der in der zeichnerischen Darstellung annähernd eine Gerade ist, die den immer in derselben Richtung verlaufenden Gleichstrom darstellt. Allerdings sind dem Gleichstrom noch sogenannte „Oberwellen“ überlagert. Bei sogenannter „Dreiphasenschaltung“ treten diese ziemlich stark auf, bei der meist für Bahnen ausgeführten „Sechphasenschaltung“ sind die Wellen schon wesentlich geglättet, bei der voraussichtlich bald in Verwendung kommenden „Zwölphasenschaltung“ sind sie kaum noch bemerkbar.

Für Strassenbahnen, Vorort- und Ueberlandbahnen kommen je nach Betriebsverhältnissen Gleichrichter mit Glas- oder Eisengefäß in Betracht (Abb. 4 und Abb. 5). Für kleinere Anlagen mit geringen Steigungen und verhältnismässig gleichmässigem Betrieb kommen Glasgleichrichteranlagen in Betracht. Ihre Wirtschaftlichkeit ist hauptsächlich abhängig von ihrer Lebensdauer. Minderwertige Glasgleichrichter versagen sehr schnell, schon nach weniger als 2000 Benutzungsstunden. Gute Gleichrichter zeigen eine Brenndauer bis zu 25 000 Stunden. Bei der Lieferung wird nur eine mittlere Lebensdauer von 10 000 Stunden (etwa 3 Jahre) angesetzt.

Glasgleichrichter für gleichmässigen Betrieb vertragen 500 Volt Dauerbelastung, bei Stossverkehr werden nur 275 Volt zugelassen. Bei Versuchen wurden 1650 Volt ohne Schaden erreicht. Kurzzeitig vertragen sie bis 200 v. H. Ueberbelastung. Ihre Leistungsfähigkeit ist vor allem abhängig von der Güte des Vakuums und dem Dampfdruck und damit von der Temperatur. Glas-

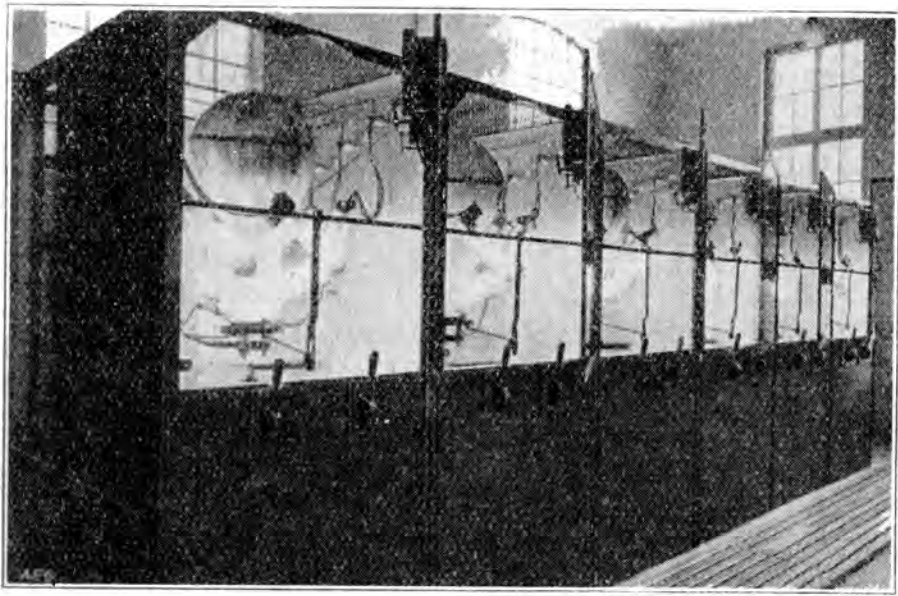


Abb. 4. Glasgleichrichter der A E G im Unterwerk Hohwisch der Bremer Strassenbahn.

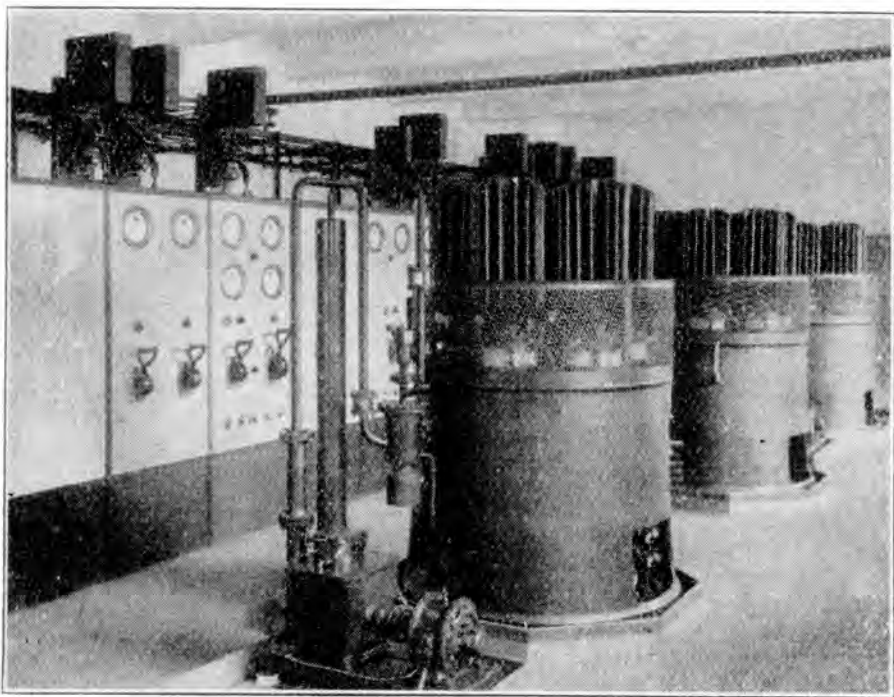


Abb. 5. Gross-Gleichrichter-Anlage (Eisengefässe) der SSW für zusammen 3000 Amp. bei 550 Volt Gleichstrom.



Abb. 6. Gleichrichter-Unterwerk der Bewag in Pankow, Idastrasse. (Erdgeschoss: Transformatoren, erstes Obergeschoss: Gleichrichter.)

gleichrichter erfahren eine Leistungssteigerung von etwa 150 v. H. bei Kühlung des Kolbens durch einen Ventilator. Seit Peter Cooper Hewitt den Glasgleichrichter erfand (1901), bis zur Gegenwart, stieg ihre Stromstärke von 40 Amp. auf 400. Für die sogenannten „Eisengleichrichter“ (Grossgleichrichter) hat man bis vor wenigen Jahren eine Stromstärke von 2000 Amp. als Grenze angesehen, heute ist diese bis auf 20 000 Amp. hinaufgerückt. Damit ergibt sich für alle Fälle ein gewaltiger Vorsprung der Gleichrichter vor den Maschinenumformern. Es ist jetzt im Prinzip möglich, die höchsten zurzeit von der Wirtschaft und dem Verkehr benötigten Umformerleistungen mit einer Einheit eines Quecksilberdampf-Gleichrichters zu bewältigen. Mängel der Gleichrichter, wie Rückzündungen, ungenügendes Vakuum, ungenügend geglätteter Gleichstrom mit überlagerten Wechselstromkomponenten, sind neuerdings beseitigt. Ihre Nachteile gegenüber Maschinen sind das Fehlen der Stossdämpfung, die Unmöglichkeit, Blindstrom hervorzubringen, und mit Stromrückgewinnung auf Netz und Kraftwerk zurückzuarbeiten.

In Deutschland finden im Gegensatz zu Amerika die vollkommen selbsttätigen Gleichrichter-Unterwerke für Strassenbahnen und andere elektrische Bahnen schnelle und freudige Aufnahme. Vorzügliche Versuchsanlagen, wie die von Siemens-Schuckert, haben an der Verbesserung der Gleichrichter wesentlichen Anteil. Die Gleichrichter-Unterwerke sind mit ihrem geringen Raumbedarf, mit ihrem einfachen Aufbau und ihrer sicheren Selbstbetätigung ganz besonders dazu berufen, sofort schnellste Hilfe bei Erweiterungen des Netzes, an Ausläuferstrecken und bei sonst ungenügenden Spannungsverhältnissen im Fahrdrabt zu leisten (Abb. 6). Weitere Beispiele ferngesteuerter Unterwerke mit Glasgleichrichtern sind: die Elektrizitätswerke Apolda, Breslau, Freiburg i. Br., Göttingen, Neisse O.-S.

Vollkommen selbsttätige Unterwerke besitzen: Grosse Kasseler Strassenbahn (Glasgleichrichter), Elektrizitätswerk Marburg (Glasgleichrichter), Elektrizitätswerk Stuttgart (Eisengleichrichter), Kreisbahn Flensburg-Glücksburg (Eisengleichrichter) und viele andere.

Das Strassenbahnnetz der B V G wird zurzeit durch 30 Unterwerke der Bewag mit Gleichstrom versorgt. Drei davon besitzen Glasgleichrichter, sechs Eisengleichrichter. Die ersten arbeiten vollkommen selbsttätig, ohne besonderes Aufsichtspersonal, die zweiten sind ebenfalls für selbsttätigen Betrieb eingerichtet, werden aber, um Erfahrungen zu sammeln, die Anlagen in sauberem Zustand zu erhalten usw., zurzeit noch von einem Mann überwacht. Drei Umformwerke der Bewag haben zurzeit noch gemischte Maschinen- und Gleichrichteranlagen. Abb. 7 stellt die Glasgleichrichteranlage im Unterwerk Lichtenrade der Bewag für Bahnbetrieb dar, Abb. 8 die Schalttafel für Unterwerk Westend (mit Eisengleichrichtern) für den gleichen Zweck.

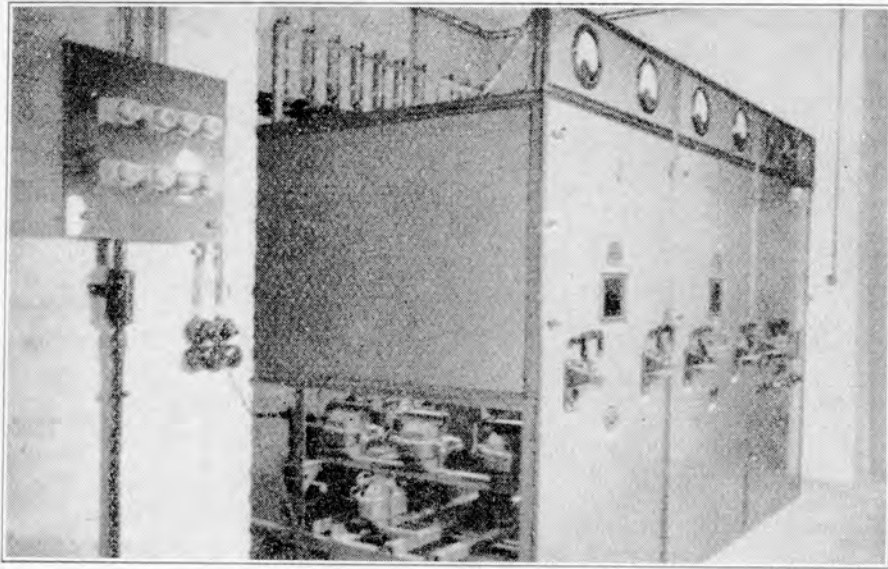


Abb. 7. Unterwerk Lichtenrade der Bewag mit Glas-Gleichrichtern der Bewag für Strassenbahnbetrieb.

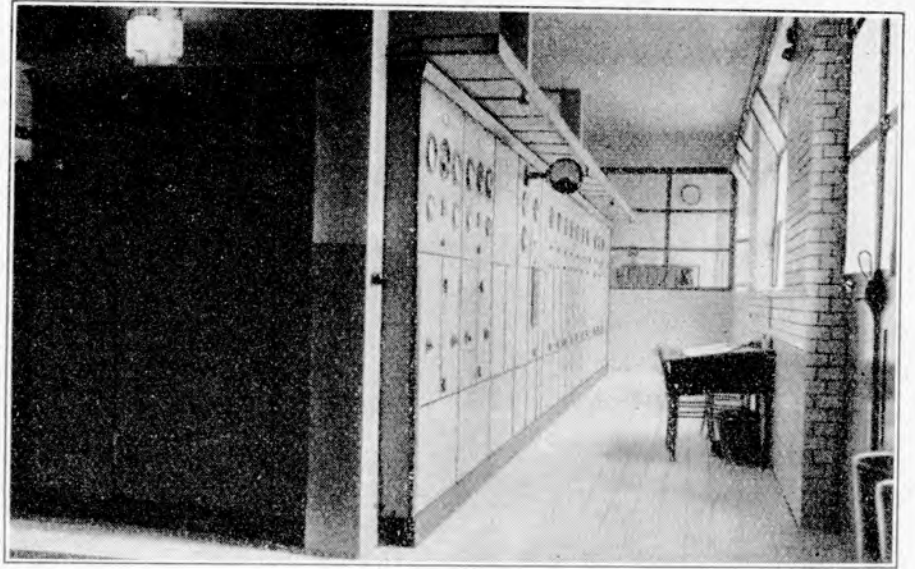


Abb. 8. Unterwerk Westend (Königin-Elisabeth-Str.) mit Eisen-Gleichrichtern der BBC. Schalttafel von vorn.

