

### Elektrisierung der deutschen Reichsbahnstrecke Halle—Magdeburg\*).

Von Dipl.-Ing. H. Tetzl

Hierzu Tafel 11.

#### 1. Entwicklungsgang.

Die Königl. Preussischen Staatsbahnen stützten die erste deutsche Fernbahnelektrisierung auf Stromerzeugung aus der Bitterfelder Braunkohle, in der Erkenntnis, daß der elektrische Bahnbetrieb niedrige Strompreise und dichten Verkehr voraussetzt. Eine entsprechende Verkehrsstärke war in der Gegend von Bitterfeld durch die ebenfalls den großen Braunkohlevorräten zu verdankende Ansiedlung namhafter Großindustrien in dieser Gegend gegeben. So wurde am 18. Januar 1911 der planmäßige elektrische Hauptbahnbetrieb zwischen Dessau und Bitterfeld eröffnet. Dies war nur ein verhältnismäßig bescheidenes Anfangsstück eines weiter reichenden Elektrisierungsplanes, in dem schon von vornherein die Elektrisierung der Gesamtstrecke Leipzig—Magdeburg über Dessau damals betrieben wurde. Eine ausreichende Streckenbelastung gewährleistete im nördlichen Teil besonders damals die Landwirtschaft, im südlichen der große Verkehrsknotenpunkt Leipzig, dessen Verbindung mit Berlin ja bis Bitterfeld den gleichen Weg benutzt. Die noch stärker befahrene Strecke Leipzig—Halle wurde mit einbezogen, da man vorausschauend einen steigenden Nachbarortsverkehr zwischen beiden Städten erwartete. Außerdem elektrisierte man auch die Güterverbindungsstrecken zwischen den Leipziger Verschiebebahnhöfen Wahren, Schönefeld und Engelsdorf, deren Verkehrsbeziehungen zu den eben genannten Fernbahnen dies selbstverständlich erforderten. Der naturgemäße Abschluß dieser Pläne mußte die Elektrisierung der zweiten Hauptverbindung zwischen Leipzig und Magdeburg über Halle—Köthen sein. Von ihr bildete die erwähnte Strecke Leipzig—Halle etwa das erste Viertel, welches ja mit seinen 38 km Streckenlänge für sich allein keine wirtschaftliche elektrische Betriebsführung ergeben konnte. Der Weltkrieg unterbrach diese Arbeiten und nach seiner Beendigung schwand die Möglichkeit des Weiterbaues nach Inbetriebnahme der Strecken Magdeburg—Dessau—Leipzig—Halle infolge der deutschen Geldentwertung und Wirtschaftsschrumpfung. Erst den Arbeitsbeschaffungsmaßnahmen der neuen deutschen Regierung im Jahre 1933 gelang es, die noch fehlende Strecke Halle—Köthen—Magdeburg, über die ein stärkerer Verkehr fließt als über Dessau, endlich ebenfalls zu elektrisieren. Am 7. Oktober 1934 wurde nach einjähriger Bauzeit der regelmäßige elektrische Betrieb auf diesem Schlußstück des Hauptstreckenringes zwischen Leipzig und Magdeburg (Abb. 1) eröffnet.

#### 2. Art und Umfang des Betriebs.

Die betrieblichen Leistungen auf den nunmehr elektrisch befahrenen Strecken sind durch den Wirtschaftsaufschwung der letzten beiden Jahre in lebhaftem Steigen begriffen. Außer der erwähnten Großindustrie bei Bitterfeld und den beträchtlichen, vielseitigen Industrie- und Gewerbeunternehmungen in Leipzig, Halle und Magdeburg spielen dabei große Fabrikanlagen um Dessau und Köthen, ferner der auf die elektrischen Strecken ausstrahlende Verkehr des Staßfurter und Bernburger Salz- und Kaliegebiets und der Mansfelder Kupferindustrie eine Rolle, nicht zu vergessen den zeitweilig starken landwirtschaftlichen Verkehr (Zuckerrüben). Sehr wichtig ist ferner

\*) Über die allerjüngste Elektrisierung der Deutschen Reichsbahn, der Strecke Augsburg—Nürnberg soll in späteren Aufsätzen berichtet werden.

der starke Abgangsverkehr zwischen Ost- und Westdeutschland (Dresden, Chemnitz, Breslau, Oberschlesien einerseits, Hamburg, Bremen, Ruhrgebiet, Köln, Niederlande andererseits). Gewisse wichtige Personenverkehrswege zwischen Hamburg, Warnemünde, Saßnitz einerseits, München, Italien andererseits führen ebenfalls über die Strecke Magdeburg—Halle. Die Länge der jetzt elektrisierten Strecken und Gleise ist aus der Zahlentafel 1 zu entnehmen.

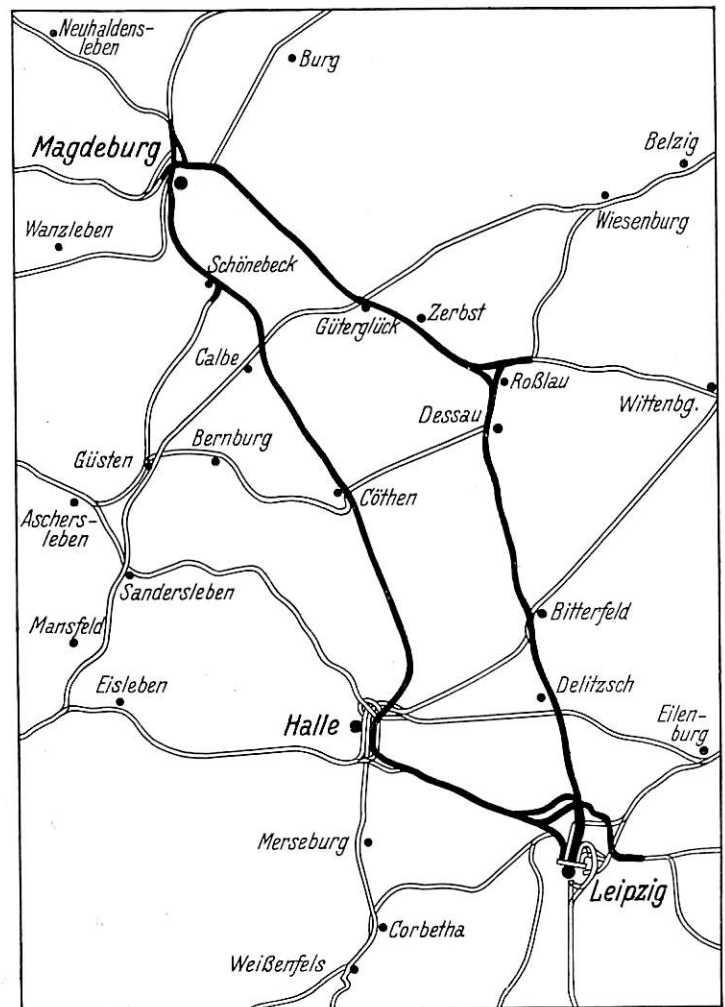


Abb. 1. Elektrisches Streckennetz Leipzig—Magdeburg.  
— Elektrisierte Linien, — Mit Dampf betriebene Linien.

Aus der großen Längensumme elektrisch ausgerüsteter Gleise im Vergleich zu den Streckenlängen geht hervor, daß zahlreiche große Bahnhöfe zu elektrisieren waren, wiederum ein Zeichen der überragenden Industrie- und Handelsentwicklung in dieser Gegend. Sämtliche Strecken sind zudem zweigleisig, teilweise viergleisig (Magdeburg—Schönebeck, Leipzig—Wahren).

In der Zahlentafel ist unter Nr. 1 bis 3, das bis Herbst 1922 elektrisch ausgerüstete Netz zusammengefaßt. Unter 4 bis 6 ist die Erweiterung bis Herbst 1934 angeführt. Die Strecke Schönebeck—Bad Salzungen ist als eine Art Magdeburger Vorortstrecke angeschlossen worden, die Güterstrecke Wahren—Leipzig Magdeburg—Thüringer Bahnhof (Nr. 6) kam

wegen des schon elektrisierten Betriebes an ihren beiden Endpunkten und wegen zahlreicher Zugdurchläufe hinzu.

Die z. Z. betrieblich zugelassenen Höchstgeschwindigkeiten betragen von Leipzig bis Bitterfeld 120 km/h, von dort bis Magdeburg 100 km/h und von Leipzig über Halle nach Magdeburg 110 km/h. Die Steigerung der Höchstgeschwindigkeit auf der letzteren Strecke dürfte in absehbarer Zukunft zu erwarten sein. Gegenwärtig kann der Abschnitt Halle—Köthen schon mit 160 km/h befahren werden, wovon zu technischen Versuchszwecken auch öfters Gebrauch gemacht wird. Die Höchstgeschwindigkeiten der Güterzüge betragen 50 bis 70 km/h.

Zahlentafel 1.

Elektrisch betriebene Strecken in den Reichsbahndirektionsbezirken Halle und Hannover.

| Nr. | Bezeichnung der Strecke                          | Streckenlänge<br>km | Länge der mit Fahrleitung ausgerüsteten Gleise |                |                |
|-----|--|---------------------|--|----------------|----------------|
|     |  |                     | Freie Strecke<br>km                            | Bahnhöfe<br>km | Zusammen<br>km |
| 1   | Halle (S)—Leipzig                                | 44,11               | 55,18  | 89,36          | 144,54         |
| 2   | Leipzig—Dessau—Magdeburg und Magdeburg—Rothensee | 130,11              | 182,83   | 234,62         | 417,45         |
| 3   | Leipzig—Wahren und Wahren—Schönefeld—Engelsdorf  | 16,32               | 16,38  | 89,26          | 105,64         |
|     |  | 190,54              | 254,39   | 413,24         | 667,63         |
| 4   | Halle (S)—Köthen—Magdeburg                       | 87,00               | 140,10   | 180,60         | 320,70         |
| 5   | Schönebeck—Bad Salzelmen                         | 3,00                | 3,50   | 4,20           | 7,70           |
| 6   | Wahren—Leipzig M-Th Bhf.                         | 6,44                | 9,60   | 11,00          | 20,60          |
|     |  | 96,44               | 153,20   | 195,80         | 349,00         |

### 3. Stromversorgung.

Die Stromversorgung des gesamten Netzes, also auch der neu hinzugekommenen Strecke Halle—Magdeburg deckt das Braunkohlenkraftwerk Muldenstein, dessen eingebaute Maschinenleistung z. Z. etwa 33 000 kW beträgt. Eine Dampfturbine von 10 000 kW für gemischten Frischdampf- und Speicherdampfbetrieb mit Übersetzungsgetriebe für ihren mit 1000 Umdr. i. d. Min. laufenden Einphasenstromerzeuger wurde im Jahre 1934 an Stelle einer auszumusterten kleineren Maschine aufgestellt. Der neue Maschinensatz entspricht im großen ganzen einem schon vorhandenen gleich großen. Die ebenfalls schon bestehende Ruths-Wärmespeicheranlage wurde dabei um eine weitere Einheit vergrößert. Ferner ist man bestrebt, auch die Kesselfeuerungen und die Kesselanlage in zeitgemäßer Weise zu verbessern, z. B. durch Erprobung der Krämer-Mühlenfeuerung (Kohlenstaubmahlung in einer Feuerungskammer unmittelbar aus Rohkohle).

### 4. Fernleitung.

Das Fernleitungsnetz des elektrisch betriebenen Bahngebietes wird noch mit 60 kV gespeist, einer Spannung, die z. Z. der Errichtung dem Stande der Technik entsprach, und auch für die räumlich gegebenen Entfernungen und Leistungen heute noch ausreicht. Es ist so angelegt, daß jedes Umspannwerk durch zwei voneinander unabhängige Leitungsschleifen vom Kraftwerk aus gespeist werden kann. Außerdem können die Fernleitungen so geschaltet werden, daß

jedes Umspannwerk über mindestens eine kein sonstiges Unterwerk speisende Leitung erreicht wird, so daß also jedes Werk einen eigenen Abzweig im Kraftwerk benutzen kann. Eine Ringleitung war infolgedessen nicht erforderlich. Außer den über die älteren Strecken verteilten Umspannwerken zur Speisung der Fahrleitungen mit 15 kV in Wahren, Marke und Gommern, wurde die Errichtung eines neuen Umspannwerkes für die Strecke Halle—Magdeburg in Köthen erforderlich. Zu seinem Anschluß an das Kraftwerk wurde eine neue Fernleitung mit zwei Seilschleifen von Muldenstein über Marke nach Köthen errichtet, die abweichend von dem überwiegenden Teil der bisherigen Leitungen nicht am Bahnkörper, sondern ebenso wie gewöhnliche Drehstrom-Hochspannungsleitungen auf eigenem Wege verläuft.

Beim Umspannwerk Marke wurde die neue Leitung über eine neue Freiluftschaltstelle (Abb. 2) mit den schon bestehenden Leitungen und den Umspannwerkssammelschienen verbunden, so daß beliebige Umschaltungen zwischen den verschiedenen Leitungsabschnitten an dieser Stelle vorgenommen werden können. Zur Bedienung dieser Schaltstelle wurde die vorhandene Schaltwarte des Umspannwerkes erweitert. Der dortige Schaltwärter überwacht also auch die neue Schaltanlage.

Zwischen Marke und Köthen wurden wie heute bei allen derartigen Leitungen Stahlluminiumseile verlegt. Sie sind in der Weise gefertigt, daß über eine Stahlseele von sieben Einzeldrähten, die den mechanischen Zug aufzunehmen hat, ein Aluminiummantel aus 26 Einzeldrähten geschlagen ist. Der reine Aluminiumquerschnitt beträgt 166 mm<sup>2</sup> Querschnitt, der des Stahlseils 28 mm<sup>2</sup>. Sämtliche Aluminiumleitungsseile hängen waagrecht nebeneinander an Jochen der aus Winkel-eisen gefertigten und an ihrer Spitze durch ein stählernes Erd- oder Blitzschutzseil verbundenen Maste. Die Verbindungsklemmen sind nach den neuesten, für Stahl-Aluminiumleitungen entwickelten Formen so eingerichtet, daß die Stahlseele und der Aluminiummantel voneinander unabhängig eingespannt sind. Die Leitungsstrecke Muldenstein—Marke ist

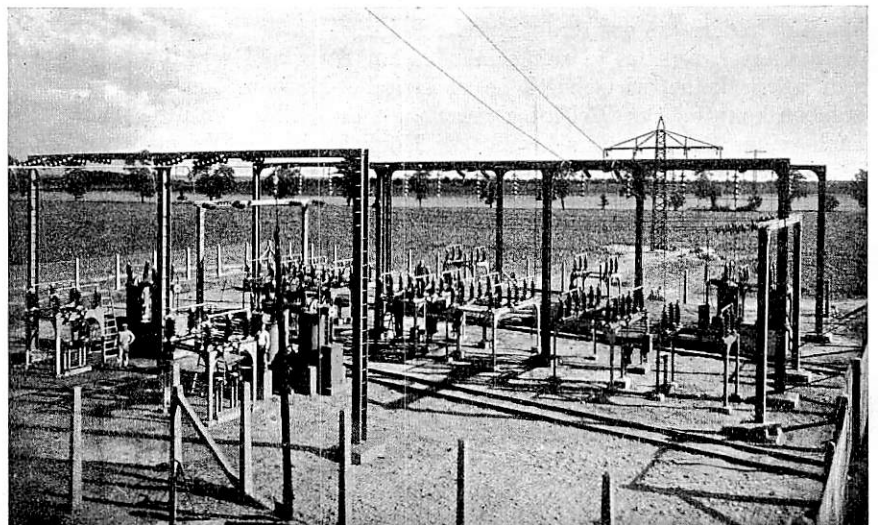


Abb. 2. Schaltstelle Marke.

durch die Abgase chemischer Fabriken gefährdet. Dieser Abschnitt wurde daher mit gewöhnlichen Kupferseilen von 95 mm<sup>2</sup> bespannt. Ihre Leitfähigkeit ist die gleiche wie die der Aluminiumseile. In der Nähe des Kraftwerkes stehen die Maste in einem Überschwemmungsgebiet und mußten daher auf hochgezogene säulenartige Gründungen gesetzt werden (Abb. 3).

Zur Vereinfachung der Fernleitungskreuzung mit der Bahnstrecke Berlin—Leipzig wurde das Anfangsstück einer Leitungsschleife gekabelt. Hierbei fand erstmalig in Deutsch-

land ein Druckgaskabel Verwendung, bei dem die Kabelleiter mit ihrer Isolierung für den Fall von Wärmeänderungen nachgiebig gelagert sind, daher also höhere Erwärmungen ertragen als bei gewöhnlichen Kabeln. Die Bauart ermöglicht daher beträchtliche Ersparnisse an Kabelbaustoffen, besonders an Blei.

### 5. Umspannwerk.

Für das Umspannwerk Köthen (Abb. 4 und Taf. 11) wählte man geschlossene Hallenbauform mit wenigen Zwischenwänden auf der 60 kV-Seite, Zellenbauform bekannter Art für die 15 kV-Seite. Diese beiden Abteilungen wurden rechts und links von einer die Mitte bildenden Schaltwarte errichtet, an deren Rückseite sich eine geräumige, hohe Werkstatt für Umspanner, Ölschalter usw. anschließt. Zwei Umspanner von je 6000 kVA Dauerleistung sind im Freien neben dem 60 kV-Schaltheis aufgestellt. Wenn man sie in die Werkstatt befördern will, braucht man dazu einen gewöhnlichen Tiefladewagen entsprechender Tragfähigkeit. Jeder Umspanner wiegt rund 30 t. Bei warmem Wetter werden die außen an den Ölkesseln der Umspanner fächerförmig angebrachten Kühlkörper durch zwei Motorlüfter von unten nach oben angeblasen (Abb. 5). Besondere Ölkühler und Umlaufpumpen wurden dadurch vermieden.

Sämtliche Schaltverbindungen geschehen durch Ölschalter und auf der Oberspannungsseite zweiarmige Drehtrennschalter, auf der Unterspannungsseite durch Messertrennschalter. In

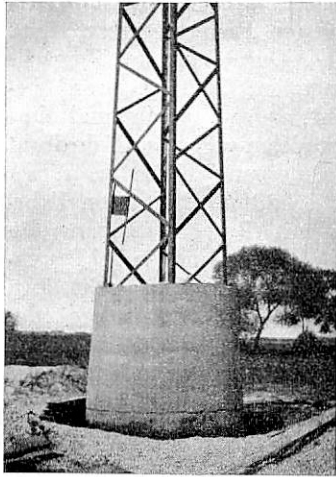


Abb. 3. Mastgründung im Überschwemmungsgelände.

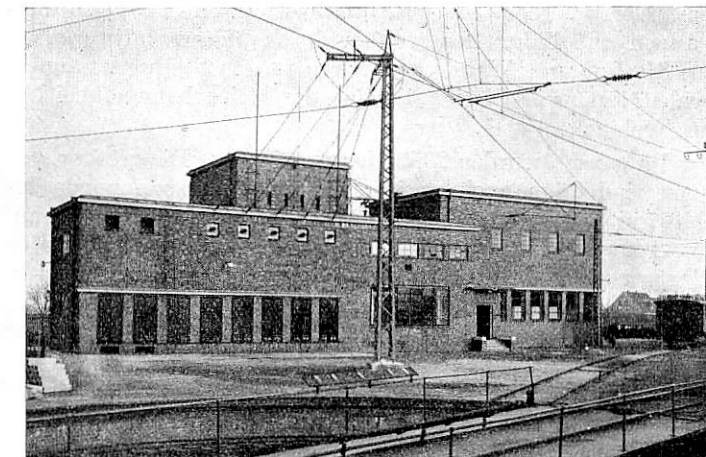


Abb. 4. Gesamtansicht des Umspannwerks Köthen.

jedem der beiden Schalthäuser liegen die Antriebe in einem Bedienungsgang, den der Schaltwärter von seinem Schreibtisch aus überblicken kann. Fernantriebe von der Schalttafel aus haben nur die 60 kV-Ölschalter bekommen. Die einpoligen 60 kV-Ölschalter gehören paarweise zu den beiden Leitungsästen jeder Schaltverbindung. Sie stehen längs eines Beförderungsganges im Oberspannungshaus. Die zugehörigen Trennschalter und Sammelschienen liegen im Obergeschoß über ihnen, vom Bedienungsgang aus sichtbar. Ähnlich ist die Gesamtanordnung im Unterspannungshaus; nur stehen hier die Ölschalter, die hier nur einpolige Schaltungen ausführen, in Zellen, die sich ins Freie öffnen. Der

andere Pol der 15 kV-Stromkreise wird durch die Fahrseilen und die Erde gebildet. Für den Eigenbedarf des Unterwerks sind zwei kleine Umspanner von 15000/220 V eingebaut, ferner eine Akkumulatorenbatterie für die Werkbeleuchtung mit Lademaschine sowie einem Quecksilberdampfgleichrichter. Es besteht zur Sicherheit ein Anschluß an das städtische Elektrizitätswerk für diese Nebenbetriebe. Außerdem ist in den häufiger zu betretenden Räumen und der in der Nähe gelegenen Fahrleitungswerkstatt Heizung mit 220 V Bahnstrom eingerichtet. Zur Feststellung von Fahrleitungskurzschlüssen ist in üblicher Weise ein Vorschaltwiderstand mit Meßanlage und einem Prüfumspanner eingebaut. Das Unterwerk ist mit fünf Bahnseilabzweigen an die Fahrleitungsanlagen des Bahnhofes Köthen und an die nach Norden und Süden von ihm ausgehenden Streckengleise angeschlossen.

### 6. Fahrleitung.

Die Fahrleitungen des elektrischen Bahnnetzes waren noch zum größten Teil an Querjochen sowohl auf freier Strecke,

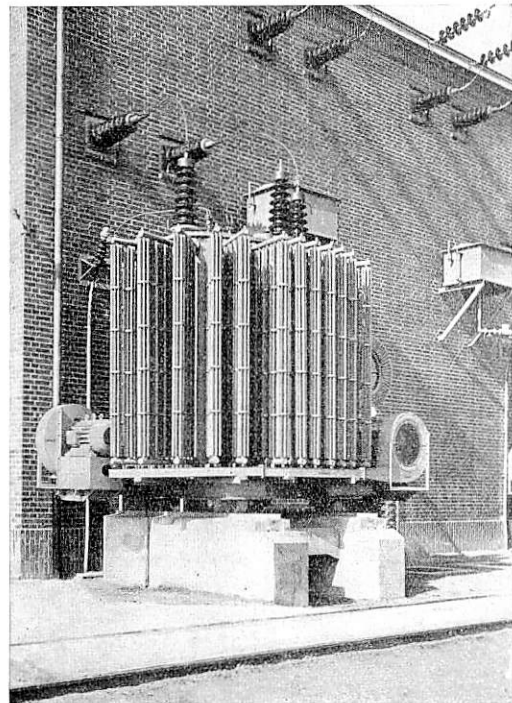


Abb. 5. Umspanner 60/15 kV des Umspannwerks Köthen.

als auch in Bahnhöfen aufgehängt, da sie eine der ältesten Leitungsbauarten für Fernbahnen sind. Bei der Neuelektrisierung Halle—Magdeburg bediente man sich aber der in den letzten zehn Jahren entwickelten, wesentlich vereinfachten und verbesserten Bauformen und der von der Deutschen Reichsbahn entwickelten Einheitsbauteile. Hervorzuheben ist die vollständige Trennung der Leitungsanordnungen beider Streckengleise voneinander und die Verwendung der Querseilaufhängung (Abb. 6) an hohen, seitlich neben den Gleisanlagen stehenden Masten auf den Bahnhöfen. Letztere Bauweise wurde auch auf den viergleisigen Bahnstrecken gewählt.

Die Streckenmaste wurden z. T. durch Schweißung aus zwei U-Eisen mit Blechquerstreifen hergestellt. Das Kettenwerk hängt an Rohrauslegern, die um senkrechte Bolzen drehbar an den Masten gelagert sind und durch ein waagrechtes Halteseil an der Mastspitze abgefangen werden. Bei dieser Anordnung sind nur zwei Stabisolatoren unmittelbar neben den Befestigungsstellen am Mast erforderlich, während der Luftraum über den Gleisen nur von leichten und dünnen Teilen durchschnitten sind. Hierdurch wird die Durchsichtigkeit der

Leitungsanordnung weitgehend verbessert. Wo neben den Gleisen Signale stehen, wurden die drei davorstehenden Maste seitlich vom Gleis abgerückt (Sehkeil), um die Signalförmchen für den Blick des Lokomotivführers freizulegen. Das Kettenwerk besteht aus einem Stahltragseil und kupfernem Rillenfahrdraht, beide verbunden durch Hängeseile. Dort, wo Lokomotivrauch oder Fabrikabgase das Tragseil angreifen können,

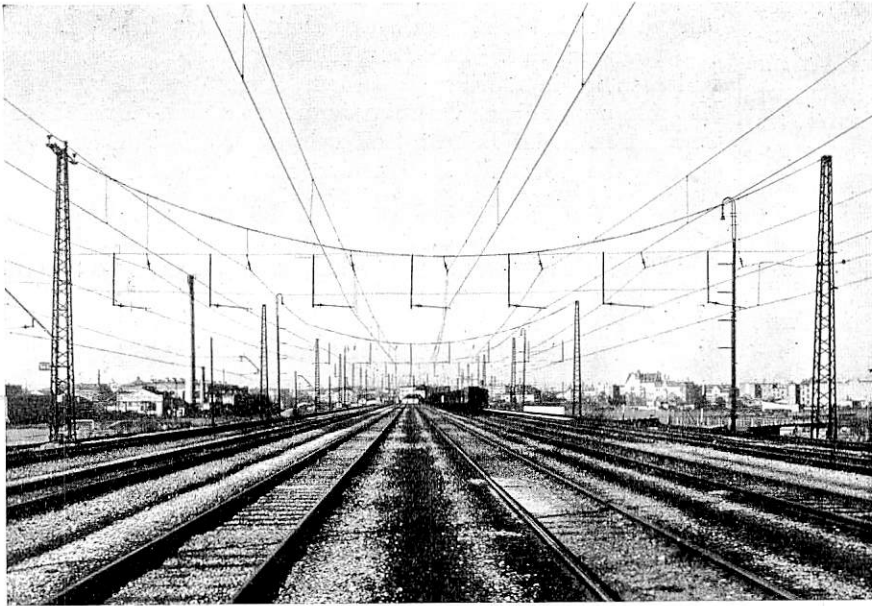


Abb. 6. Neue Fahrleitungsanlage mit Querseilen auf Bahnhöfen.

wurde Bronzeseil verwendet. Diese Bronzeseilstrecken überwiegen die Stahlseilstrecken um das  $2\frac{1}{2}$ fache. Der Fahrdrahtquerschnitt ist einheitlich  $100\text{ mm}^2$ . Bei Nachbarschaft des Dampfbetriebes, d. h. besonders auf größeren Bahnhöfen,

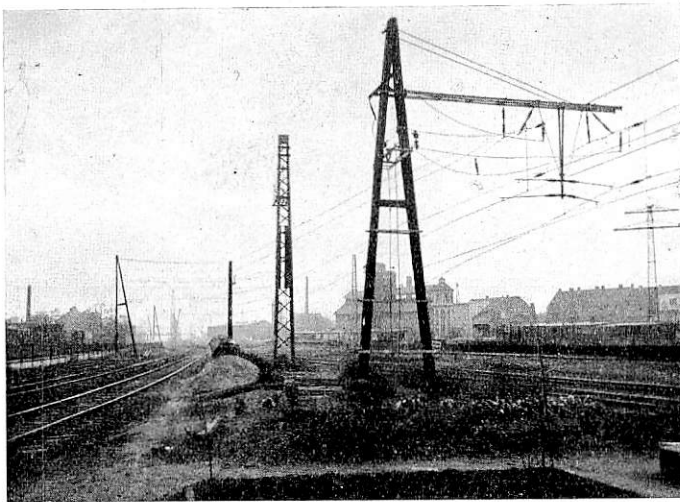


Abb. 7. Behelfsmäßiger Holzfahrleitungsmast.

wurden doppelte Isolation der Fahrleitungsaufhängung für erforderlich gehalten. Eine besonders schwierige Stelle für den Fahrleitungsbau war der Bahnhof Schönebeck, der während der Elektrisierung einem vollständigen Gleisumbau unterworfen wurde. Infolgedessen mußten an vielen Stellen vorläufige Aufhängungen der Fahrleitungen errichtet werden. Hierzu benutzte man ebenso wie auch an einigen demnächst umzulegenden Streckengleisen Holzmaste. Einen besonders großen und wichtigen Bahnhofsmast dieser Art von etwa 18 m Höhe zeigt Abb. 7 bei der Querseilüberspannung des genannten Bahnhofs.

Abweichend von der bisherigen Regel wurde auf der Strecke Halle—Magdeburg die feste Aufhängung des Tragseils von Mast zu Mast verlassen und dieses Tragseil ebenso wie der Fahrdraht durch Gewichtsnachspanner gleichbleibendem Zug unterworfen. Sowohl die Auslegerspitze wie der Seitenhalter des Fahrdrahts, der hier ohne Isolator mit möglichst geringer Masse ausgebildet werden konnte, wandern also bei Temperaturänderungen in der Gleisrichtung, ausgenommen am Festpunkt einer Kettenwerkslänge. Dabei drehen sich die Ausleger um einen geringen Winkel in ihren Lagerungen am Mast. Bei Querseilaufhängung ist die Längsbeweglichkeit des Tragseils durch entsprechend lange Pendelisolatoren unterhalb des Querseils und des oberen Richtseils geschaffen. Hierdurch wird gleicher Durchhang des Tragseils bei allen vorkommenden Temperaturen bezweckt, in der Absicht, den waagrecht und ohne Knick an den Stützpunkten verlegten Fahrdraht unabhängig von Wärme und Kälte in dieser gradlinigen Lage zu erhalten. Die alten Fahrleitungsanordnungen mit fester Verlegung des Tragseils an den Stützpunkten bringen bei Durchhangänderungen Knicke in den Fahrdraht dort, wo er in fester Höhenlage am Ausleger oder Querseil aufgehängt ist. Solche selbst geringfügigen Knicke lassen den Stromabnehmerbügel bei hohen Geschwindigkeiten (über  $130\text{ km/h}$ ) vom Fahrdraht abprellen. Dadurch wird die Stromabnahme unterbrochen und starke Lichtbogenbildung verursacht. Für die Fahrgeschwindigkeiten der neuesten elektrischen Schnellfahrzeuge mußte man also auf entsprechende Verbesserung der Fahrdrahtlage Bedacht nehmen und schlug dazu den hier angegebenen Weg ein. Bei Bahnunterführungen wurde die Fahrdrahttrampe bis zu  $1:300$  geneigt. Für sehr hohe Fahrgeschwindigkeiten scheint selbst diese schwache Neigung jedoch noch etwas zu steil zu sein. Die Mastschalter zum Abtrennen einzelner Fahrleitungsgruppen auf Bahnhöfen werden durch Motorschaltwerke an den Masten und Wandschaltkästen in den Stellwerksräumen fernbetätigt. Diese Teile sind bei der Reichsbahn einheitlich durchgebildet.

Im ganzen wurden 2950 Maste errichtet. Die größten von ihnen sind 25 m hoch und tragen Querüberspannungen bis zu 107 m Spannweite. Die Baugeschwindigkeit belief sich auf etwa 1 km Freileitung je Tag. Längs der ganzen Strecke mußten selbstverständlich die Schwachstromleitungen des Fernmelde- und Sicherungsdienstes verkabelt werden. Hierzu waren 225 km Kabel zu beschaffen, die dicht neben dem Bahnkörper eingegraben wurden. Ferner wurden sämtliche Licht- und Kraftstromleitungen auf den Bahnhöfen in Kabel gelegt. Die Beleuchtung von Bahnhöfen an das Fahrleitungsnetz anzuschließen, wie es anderwärts mit Erfolg geschehen ist, bot sich keine Gelegenheit, weil bereits eine ausreichende Stromversorgung der Bahnhöfe aus privaten Elektrizitätswerken bestand. Nur die Bahnhöfe Halle und ein Teil des Hauptbahnhofs Leipzig sind durch Umformer- und Gleichrichteranlagen an das Bahnnumspannwerk Wahren angeschlossen. Sie werden also nicht mit umgespanntem Bahnstrom, sondern mit Gleichstrom versorgt.

#### 7. Triebfahrzeuge.

In den ersten Jahren des elektrischen Betriebes bildeten die hier behandelten Strecken das Erprobungsgebiet des sehr vielgestaltigen und erst in der Entwicklung befindlichen Einphasenlokomotivbaues. Dies ist begreiflich, weil diese Fahrzeugantriebsform ja damals ganz neu war. Im Lauf der

Jahre kam man aber zu einer gewissen Einheitlichkeit. Seit etwa 1924 wurden als Regel Schnellzuglokomotiven in der Achsanordnung 2 C 2 (Abb. 8) für die bis 110 km/h fahrenden

von etwa 20 Jahren leisten sie noch nützliche Dienste im leichteren Güterverkehr. Für den Verschiebedienst wurde der Dampfbetrieb wie überall in Preußen beibehalten. Dies

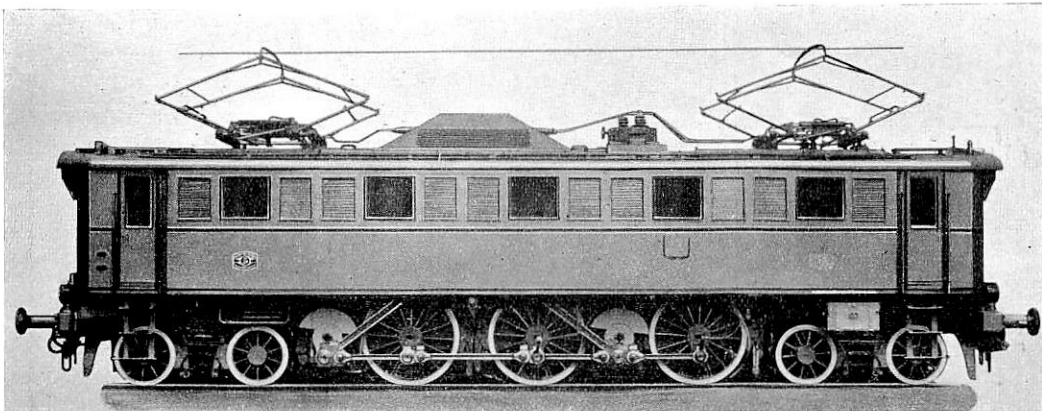


Abb. 8. 2 C 2-Schnellzuglokomotive.

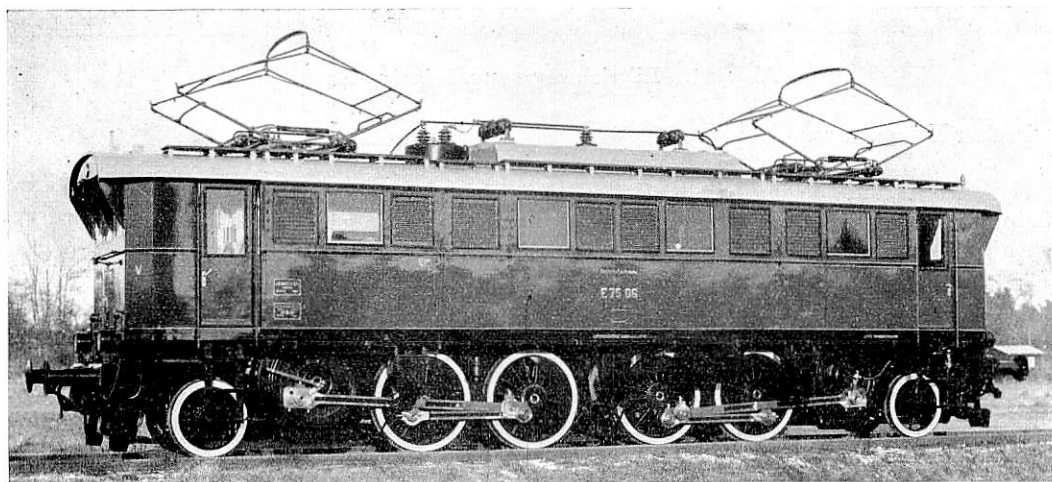


Abb. 9. 1 B B 1-Güterzuglokomotive.

Züge, Personenzuglokomotiven 2 D 1 für bis 90 km/h fahrenden Züge und Güterzuglokomotiven der Achsanordnung 1 B—B 1, später mit geänderter Rahmenanordnung 1 B B 1 (Abb. 9)

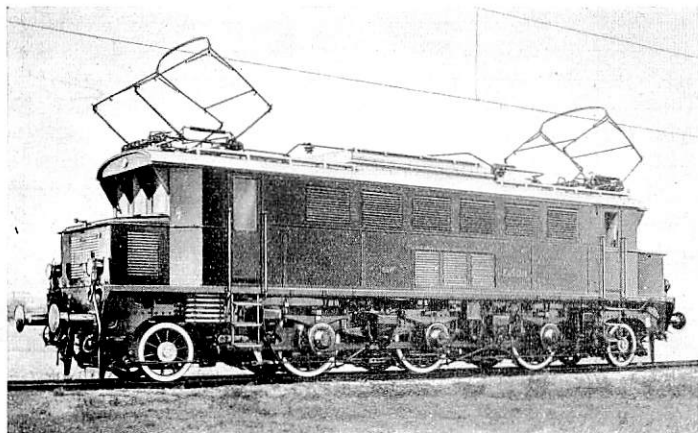


Abb. 10. 1 Co 1-Schnellzuglokomotive mit Tatzenmotoren.

verwendet. Sie sind mit ihrer Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h außer für Güterdienst auch für langsamer fahrende Personenzüge im Gebrauch. Aus der Anfangszeit haben sich noch kleine B—B-Güterzuglokomotiven für 50 km/h Höchstgeschwindigkeit bis heute erhalten. Trotz ihres Alters

der Dampfbetrieb wie überall in Preußen beibehalten. Dies rechtfertigt sich dadurch, daß fast alle größeren Knotenpunkte wegen der dort anschließenden Dampfstrecken mit Dampflokomotiven besetzt bleiben mußten und daß die im Industriegebiet sehr zahlreichen Anschlußgleise und sonstigen Nebengleise der Bahnhöfe ein beträchtliches Anlagekapital erfordert hätten, wenn man sie mit Fahrleitungen hätte bespannen wollen. Alle erwähnten elektrischen Lokomotiven haben Stangenantrieb, die Schnellzug- und Personenzuglokomotiven mit einem einzigen großen Motor von 2200 kW Stundenleistung, die Güterzuglokomotiven mit je zwei Motoren von zusammen etwa 1500 kW Stundenleistung mit zwei durch Zahnradübersetzung angetriebenen Stangentriebwerken.

Seit 1927 ging der Elektrolokomotivbau zum Einzelachs-antrieb über, wobei auf den genannten Strecken einheitlich wie für sämtliche elektrisierten deutschen Vollbahnen 1 Do 1-Schnellzuglokomotiven in Dienst gestellt wurden. Einige von ihnen erhielten Tatzenmotoren auf den Treibachsen, die meisten jedoch im Rahmen gelagerte Doppelmotoren mit gefedertem Hohlwellenantrieb. Später, etwa 1933, bestellte die Deutsche Reichsbahn für die Flachlandstrecken, wie sie hier vorliegen, zur Ersparnis an Beschaffungskosten eine verkleinerte Form der Schnellzuglokomotiven mit der Achsanordnung 1 Co 1 (Abb. 10). Sie stimmen mit den ersterwähnten Schnellzuglokomotiven in der grundsätzlichen Bauweise und in der Antriebsform überein. Es wurde also auch hier ein Teil mit Tatzenmotoren geliefert, die Mehrzahl mit Hohlwellenantrieb, jedoch nur einem Motor je Achse. Die 1 Dq 1-Lokomotiven wurden auf Strecken mit stärkeren Steigungen überführt. Die Stundenleistung der 1 Co 1-Lokomotiven beträgt etwa 2200 kW, die Höchstgeschwindigkeit 120 km/h. Einige von ihnen sind versuchsweise für 130 km/h gebaut und gelegentlich bis zu 165 km/h erprobt worden. Die steigenden Geschwindigkeitsansprüche im Schnellzugverkehr, verbunden mit den besonders während der Leipziger Messe sehr hohen Zuggewichten (bis 750 t) werden weiterhin wieder Lokomotiven mit vier Treibachsen erforderlich machen, wofür eine mit 140 km/h Höchstgeschwindigkeit und gleichen Motoren wie die 1 Co 1-Lokomotive entworfene Bauart ausgeführt wird.

Als Lokomotive für den Güterzug- und nicht schneller als 90 km/h fahrenden Reisezugdienst werden jetzt Bo—Bo-Lokomotiven von etwa 2200 kW Stundenleistung beschafft. Es ist also für die Zukunft damit zu rechnen, daß nur noch drei Regelgattungen elektrischer Lokomotiven das Bahnnetz zwischen Leipzig und Magdeburg bedienen werden.

Für den Nachbarortsverkehr Leipzig—Halle und für Eil-

züge zwischen Leipzig—Dessau—Magdeburg stehen seit 1927 drei Wechselstromtriebwagenzüge zur Verfügung, die aus je zwei zweimotorigen Triebwagen, Achsanordnung 1 A—A 1, zweiter und dritter Klasse und einem vierachsigen Steuerwagen bestehen, der gewöhnlich zwischen den Triebwagen läuft (Abb. 11). Zeitweilig werden verstärkte Züge mit drei bis vier Triebwagen und zwei bis drei Beiwagen gebildet. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt 100 km/h. Für die Zukunft sind zum Ausbau des Triebwagenverkehrs paarweise kurz gekuppelte zweimotorige Triebwagen für 120 km/h mit 900 kW Stundenleistung (der Doppelpaarung) im Bau.

Bis zur Eröffnung des elektrischen Betriebes zwischen Halle und Magdeburg betrug der Lokomotivbestand 33 Schnellzug- und Personenzug-, sowie 53 Güterzuglokomotiven. Dieser Bestand war ohne Vermehrung auch dem Betrieb des erweiterten Netzes zugrunde gelegt und zwar insofern mit Recht, als diese Vergrößerung des Netzes den Wegfall kurzer Pendelfahrten und durch Ringverkehr Leipzig—Magdeburg—Leipzig eine wesentlich bessere Ausnutzung der Fahrzeuge brachte. Wenn der Lokomotiv- und Triebwagenbestand dennoch jetzt so gut wie ohne Reserve eingesetzt werden muß, so erklärt sich das durch die allgemeine Verkehrsbelebung und Vermehrung der Züge.

Lieferung der ortsfesten elektrischen Anlagen für die Erweiterung:

Bahnstrom-Turbogenerator Muldenstein, Dampfteil: Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft, Stromerzeuger: Siemens-Schuckert. Fernleitung: Siemens-Schuckert, Druckkabel:

Felten & Guillaume, Unterwerksausrüstung: Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft. Fahrleitungsanlage Halle—Magdeburg: Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft, Wahren—Leipzig MTH: Brown-Boveri & Cie.

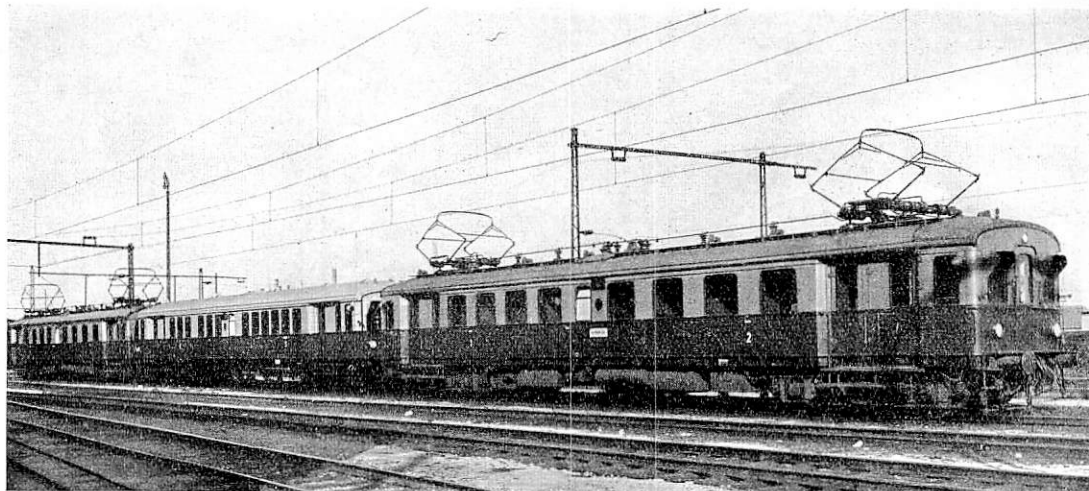


Abb. 11. Eiltriebwagenzug Leipzig—Halle.

#### Schrifttum.

Nähere Angaben über ortsfeste Neuanlagen finden sich in der Zeitschrift „Elektr. Bahnen“ Jahrgang 1935, H. 1 bis 3, ferner über die angeführten elektrischen Lokomotiven in der gleichen Zeitschrift an den beigefügten Stellen:

|                           |                                       |
|---------------------------|---------------------------------------|
| 2 C 2 . . . . .           | Elektr. Bahnen 1928, Heft 10, S. 291, |
| 1 B—B 1 . . . . .         | „ „ 1925, „ 11, „ 414,                |
| 1 BB 1 . . . . .          | „ „ 1930, „ 10, „ 305,                |
| 1 Do 1 . . . . .          | „ „ 1930, „ 5, „ 129,                 |
| 1 Co 1 AEG . . . . .      | „ „ 1933, „ 7, „ 151,                 |
| 1 Co 1 SSW . . . . .      | „ „ 1935, „ 5, „ 123,                 |
| Bo—Bo SSW . . . . .       | „ „ 1933, „ 7, „ 157,                 |
| Bo—Bo AEG-MSW . . . . .   | „ „ 1932, „ 11, „ 245,                |
| 1 Do 1 140 km/h . . . . . | „ „ 1934, „ 8, „ 169.                 |

## Die Elektrisierung der Tauernbahn.

Von Ministerialrat Ing. Ernst R. Kaan, Elektrisierungsdirektor der Österreichischen Bundesbahnen.

Die Tauernbahn, das ist die Linie Schwarzach-St. Veit—Spittal-Millstättersee der Österreichischen Bundesbahnen, ist eine der wichtigsten Eisenbahnübergänge in den östlichen Alpen. Neben ihrer Wichtigkeit für den österreichischen Binnenverkehr kommt ihr eine besondere Bedeutung zu im Nord-Südverkehr Deutschlands, der tschechoslowakischen Republik und Polens mit Italien und Jugoslawien sowie besonders mit den Adria Häfen Triest und Venedig. Schon das österreichische Bundesgesetz vom Jahre 1920, mit dem die etwa bis zum Jahre 1930 vollendete große Elektrisierungsaktion der Österreichischen Bundesbahnen verfügt worden ist, hat die Einführung des elektrischen Betriebes auf dieser Linie vorgesehen, die infolge ihrer Anlageverhältnisse — sie ist eine ausgesprochene Gebirgsstrecke — für die elektrische Zugförderung besonders geeignet ist. Hinzu kommt, daß sie landschaftlich besonders reizvolle Gebiete durchzieht, die vom Fremdenverkehr sehr bevorzugt sind. An dieser Linie liegt auch der weltbekannte Kurort Badgastein mit seinen heilkräftigen Thermalquellen.

Die Elektrisierungsarbeiten auf dieser Strecke wurden in zwei Abschnitten durchgeführt. Zunächst wurde im Jahre 1932 die Nordrampe einschließlich des großen Tauerntunnels, der in einer Länge von 8551 m den Hauptstock dieses Gebirgszuges durchfährt, somit die Teilstrecke Schwarzach-St. Veit

für den elektrischen Betrieb ausgerüstet. Die Arbeiten auf der Südrampe der Tauernbahn, das ist der Teilstrecke Mallnitz—Spittal-Millstättersee, wurden im Jahre 1934 und im heurigen Jahre durchgeführt. Mit der am 14. Mai d. J. in Anwesenheit des Präsidenten des Bundesstaates Österreich und der Vertreter der Bundesregierung feierlich begangenen Eröffnung des elektrischen Betriebes auf der Südrampe ist das Werk vollendet.

Die Tauernbahn überwindet, von Norden nach Süden ansteigend, in einer Länge von 46,5 km von Schwarzach-St. Veit bis etwa in die Mitte des Tauerntunnels einen Höhenunterschied von 635 m mit Höchststeigungen von 27<sup>0</sup>/<sub>00</sub> bei Durchföhrung von fünf Tunneln, abgesehen von dem Scheiteltunnel. Vom höchsten Punkt fällt sie wieder gegen Süden bis zum Bahnhof Spittal-Millstättersee in einer Länge von 34,5 km um 686,5 m mit Neigungen bis zu 28<sup>0</sup>/<sub>00</sub>, wobei weitere elf Tunnel mit einer Gesamtlänge von 4390 m durchfahren werden. Einer dieser Tunnel hat eine Länge von 881 m und mußte ebenso wie der große Scheiteltunnel infolge ungünstiger natürlicher Ventilationsverhältnisse mit einer Entlüftungsanlage ausgerüstet werden. Diese Entlüftungsanlagen wurden natürlich nach Aufnahme des elektrischen Betriebes außer Betrieb gesetzt. Nicht nur die Neigungs-, sondern auch die Richtungsverhältnisse der Tauernbahn sind ungünstig; es kommen Krümmungshalbmesser von 250 m vor. Die Strecke ist ein-

gleisig, nur der Streckenteil zwischen den Bahnhöfen Böckstein und Mallnitz, den Scheiteltunnel enthaltend, ist zweigleisig.

Die notwendige Energie für den Betrieb der Strecke wird dem bestehenden Übertragungsleitungsnetz der Österreichischen Bundesbahnen mit einphasigem Wechselstrom von 55 kV mittlerer Spannung und  $16\frac{2}{3}$  Hertz entnommen. Zuzufolge den

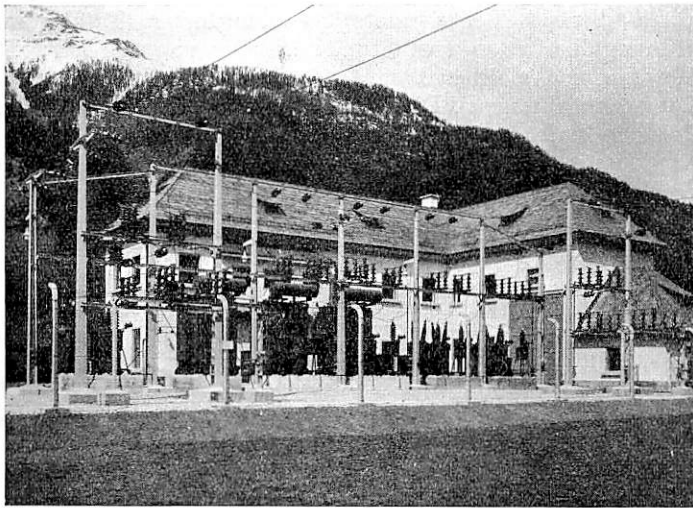


Abb. 1. Unterwerk Mallnitz.

derzeit vorhandenen recht beträchtlichen Energieüberschüssen waren keinerlei Erweiterungsbauten der bahneigenen Kraftwerkanlagen erforderlich, so daß die Energie praktisch kostenlos zur Verfügung steht. Zur Energieversorgung werden in erster Linie die nächstgelegenen bahneigenen Kraftwerke (das Stubachkraftwerk und das Mallnitzkraftwerk) herangezogen. Bei den derzeitigen Verkehrsverhältnissen beträgt der jährliche Energiebedarf etwa 13 Millionen kWh ab Kraftwerk, für die Speisung der Strecke dient zunächst ein bestehendes Unterwerk in Schwarzach-St. Veit, das für die Versorgung

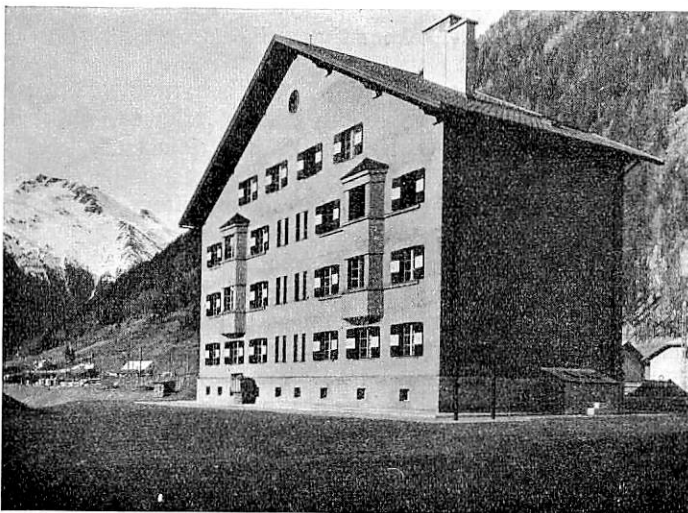


Abb. 2. Wohnhaus in Mallnitz.

der elektrisch betriebenen Hauptlinie westlich von Salzburg errichtet worden ist und das, abgesehen von zusätzlichen Schalteinrichtungen, keinerlei Erweiterung erfahren hat. Es enthält drei Transformatoren von je 2100 kVA Grundleistung für 2,5fache Überlastung durch 10 Minuten. Weiters wurde nächst dem Bahnhof Mallnitz ein neues Unterwerk (Abb. 1) errichtet, das, ebenso wie jenes in Schwarzach-St. Veit, die Abspannung auf den Fahrleitungsstrom von 15 kV mittlerer

Spannung besorgt. Dieses Unterwerk wurde in gleicher Weise wie die zuletzt errichteten anderen Unterwerke der Österreichischen Bundesbahnen als Halbfreiluftanlage angelegt; es enthält vorerst drei (im späteren Vollausbau vier) selbstkühlende Transformatoren für je 2400 kVA Grundleistung, die in Zwischenräumen von je 60 Minuten auf 6000 kVA,

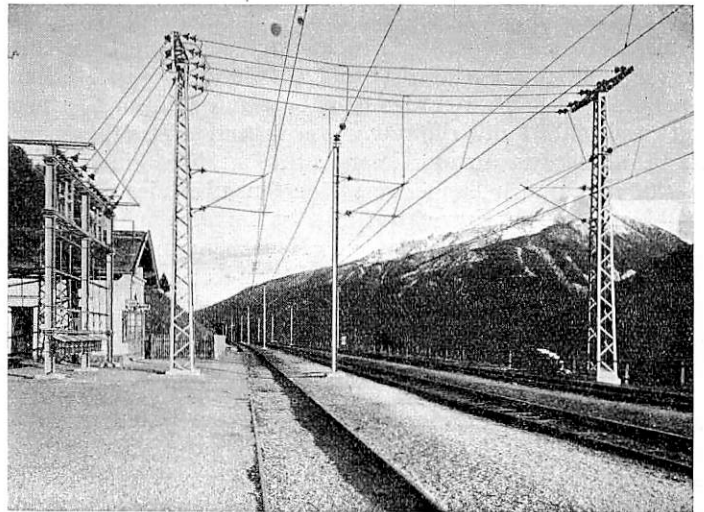


Abb. 3. Fahrleitung in einem Bahnhof.

20 Minuten hindurch, überlastbar sind. Das Übersetzungsverhältnis 55000/16500 V kann durch zwei unterspannungsseitige Anzapfungen um  $\pm 5\%$  im spannungslosen Zustand geändert werden. In die beiderseitigen Sammelschienensysteme sind Längstrennmesser eingebaut, die das Unterwerk in zwei voneinander unabhängige Werkhälften zerlegen. Die Eigenbedarfsanlage kann wahlweise an die eine oder die andere Unterwerkshälfte angeschlossen werden. Dadurch wird es ermöglicht, bei schweren Störungen den Betrieb in einer Werkhälfte weiterzuführen. Dem Unterwerk ist eine kleine Werkstätte für Instandhaltungsarbeiten und ein Abstellraum für die Transformatoren mit einer Laufwinde angegliedert.

Da es in Mallnitz nicht möglich erschien, für die Bediensteten, denen die Bedienung des Unterwerkes und die Instandhaltung der Leitungsanlagen obliegt, die Unterkunft sicherzustellen, wurde es notwendig, dortselbst ein Wohnhaus zu errichten, das 13 Wohnungen enthält (Abb. 2).

Für die Fahrleitung (Abb. 3 und 4) wird die Einheitsbauart der Österreichischen Bundesbahnen mit gewissen Vereinfachungen angewendet. Diese besteht aus dem Längstragwerk (Fahrdraht, Trageil, Hänger und Klemmen), den Auslegern, vereinzelt auch Jochen, den Verstärkungs-, Umgehungs- und Schalterleitungen samt zugehörigen Schalteinrichtungen, den Isolatoren und den Masten. In der offenen Strecke und in den

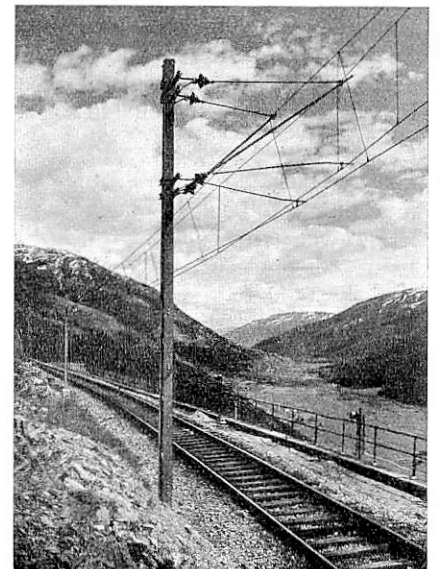


Abb. 4. Fahrleitung.

Bahnhöfen ist das Fahrleitungsgestänge mit Kettenaufhängung gleichartig; Fahrdraht und Trageil haben selbsttätige Gewichtsnachspannung und sind derart an Drehauslegern befestigt, daß, unabhängig voneinander, Längsbewegungen von Fahrdraht und Trageil möglich sind. In den Tunneln dagegen ist das Trageil fest. Auf der freien Strecke und in den Bahnhöfen ist die Fahrdrathöhe 5750 mm, bei schienengleichen Straßenkreuzungen 6000 mm, in den Tunneln 4950 mm über Schienoberkante. Unter Brücken und sonstigen Überbauten beträgt die Mindestfahrdrathöhe 4950 mm. Das normale Spannfeld ist in der Geraden 60 m lang und wird im Gleisbogen entsprechend der Krümmung verringert. Das sogenannte Zickzack beträgt auf der offenen Strecke über ein Spannfeld  $\pm 400$  mm, in den Tunneln bis höchstens über vier Spannfelder  $\pm 200$  mm. Ein Spannabschnitt ist im allgemeinen 1200 m lang; an jedem Ende erfolgt eine Nachspannung, in der Mitte des Abschnittes ist ein Festpunkt angeordnet. Sämtliche Tragwerke (Maste) sind aus Eisen. Ausnahmlich der Tunnel sind alle Teile der Fahrleistungsanlagen von den geerdeten Tragwerkteilen durch Vollkernisolatoren mit einfachem Schirm getrennt; in den Tunneln werden Doppelschirmisolatoren verwendet. Die Fahrleitungen der Bahnhöfe werden von der freien Strecke durch Streckentrenner mit Fahrleitungskettenwechsel abgetrennt. An manchen Streckenteilen wurde es erforderlich, zur Spannungserhaltung eine Verstärkungsleitung herzustellen, die in schwierigen Streckenteilen verkabelt wurde. Sie hat im allgemeinen einen Querschnitt von  $120 \text{ mm}^2$ . Der Leiterquerschnitt der Kabelstrecken beträgt  $240 \text{ mm}^2$ . Der Fahrdraht ist ein Profilkupferdraht gleichen Querschnittes für die freie Strecke und für die durchgehenden Hauptgleise der Bahnhöfe und zwar  $100 \text{ mm}^2$ ; in den Bahnhöfen ist sein Querschnitt  $65 \text{ mm}^2$ . Die Trageile der offenen freien Strecke und der Bahnhöfe sind im allgemeinen Bronzeseile von  $35 \text{ mm}^2$  Querschnitt; die Trageile der Tunnel Bronzeseile von  $50 \text{ mm}^2$  Querschnitt.

Die Erdungen der Tragwerke (mit Ausnahme jener in Tunneln) werden mit verzinktem Weicheisendraht von 8 mm Durchmesser bzw. mit verzinktem Stahlseil von  $50 \text{ mm}^2$ , einzelne besondere Erdungen mit weichem Kupferseil von  $35$  und  $50 \text{ mm}^2$  Querschnitt durchgeführt. Die Hänger zwischen Fahrdraht und Trageil sind aus 49fädigem Bronzeseil von  $10 \text{ mm}^2$  Querschnitt.

Die längs der ganzen Tauernbahn verlaufenden staatlichen und Bahnfernmeldeleitungen sind bereits im Jahre 1932 verkabelt worden, so daß anlässlich der Elektrisierung der Tauernbahn nur mehr die Verkabelung von solchen Fernmeldeleitungen in einer Länge von 20 km in der Strecke Rothen-thurn—Spittal—Millstättersee—Möllbrücke—Sachsenburg der Linie Villach—Innichen notwendig war.

Da gegenwärtig auf der Tauernbahn infolge der Verhältnisse im Oberbau (es sind nur leichte Schienenprofile verlegt), kein höherer Achsdruck als 16 t zulässig ist, werden zunächst vorhandene leichtere Lokomotiven verschiedener älterer Lokomotivreihen auf der Tauernbahn in Dienst gestellt werden. Neu hinzu kommen lediglich zwei Triebwagenbauarten, die jedoch ebenfalls nicht nur auf der Tauernbahn, sondern auch auf den anschließenden elektrisierten Strecken verkehren werden. Um das für viele Zwecke (z. B. Verkehr zwischen größeren Sommerfrischen und Sportplätzen) bestehende Bedürfnis nach kleinen Zügeinheiten zu befriedigen, wurden Personentriebwagen bestellt. Die Wagen mit der Achsfolge Bo-2 werden für eine Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h gebaut und erhalten eine Stundenleistung von 400 kW (zwei Motoren in Tatzlageranordnung von je 200 kW). Bei voller Besetzung — 80 Sitzplätze — wird ein solcher Wagen rund 50 t wiegen. Er wird normal allein fahren, doch ist er auch in

der Lage, auf den Steilstrecken einen und auf den Talstrecken mehrere Personenanhängewagen mitzuführen. Die zweite Bauart, ein Gepäcktriebwagen der Achsanordnung Bo-Bo soll für leichtere Personen- und Güterzüge, außerdem für den Vorspanndienst und gegebenenfalls auch für den Vershubdienst Verwendung finden. Er enthält zwei Räume zur Aufnahme von Gepäckstücken; einer hiervon kann auch als Postabteil dienen. Bei viermotoriger Anordnung (Tatzlageranordnung) besitzt er eine Stundenleistung von 800 kW. Die Motoren sind gleicher Bauart wie die des früher genannten Personentriebwagens. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt ebenfalls 90 km/h.

Zum Ersatz der auf der Tauernbahn verwendeten vorhandenen leichteren Lokomotiven und zur Ergänzung des Standes an besonders leistungsfähigen elektrischen Lokomotiven wurden acht Stück für Personen- und Güterzugdienst bestimmte Lokomotiven der neuen Einheitsbauart Reihe 1170.200 der Österreichischen Bundesbahnen bestellt. Diese Lokomotiven der Bauart Bo-Bo (Abb. 5) erhalten Einzelachs-antrieb Bauart Sécheron und eine Stundenleistung von 2200 PS. Der Achsdruck beträgt 20 t.

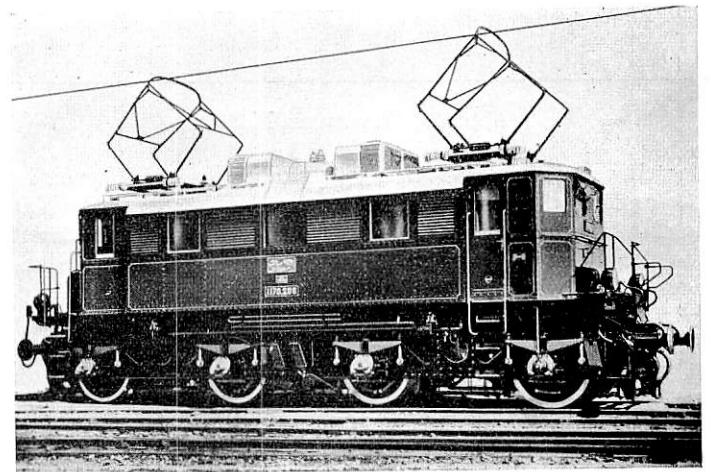


Abb. 5. Lokomotive Reihe 1170.200.

Die Ersparnis an Reisezeit über diese rund 81 km lange Tauernbahnlinie beträgt im elektrischen Betrieb gegenüber dem Dampfbetrieb bei den Schnell- und Personenzügen 22 bis 25%, bei den Güterzügen 50% in der Bergfahrt; in der Talfahrt kann im Güterverkehr so lange keine Zeitersparnis erzielt werden, als die Güterzüge von Hand gebremst werden.

Die Hoffnung, daß infolge Einführung des elektrischen Betriebes auf der Tauernbahn eine Verkehrssteigerung eintreten wird, hat sich erfüllt, trotzdem selbst seit der Eröffnung der elektrischen Zuförderung auf der Nordrampe ein verhältnismäßig kurzer Zeitraum abgelaufen ist. Besonders der Güterverkehr hat sich über alle Erwartungen hinaus gesteigert. Dies ist allerdings nicht allein auf ein neu hinzukommendes Verkehrsaufkommen infolge der Fahrzeitverkürzung, sondern in bedeutendem Maße auch darauf zurückzuführen, daß Güterzüge im Transitverkehr durch Österreich in der Nord-Südrichtung und umgekehrt von anderen Nord-Südlinien, die noch im Dampfbetrieb stehen, übergeleitet worden sind und zwar aus dem Grunde, weil, abgesehen von der Verkürzung des Durchlaufes, mit dieser Maßnahme Traktionskosten erspart werden; dem beträchtlichen Kohlenverbrauch auf diesen Gebirgsstrecken steht die praktisch kostenlos zur Verfügung stehende elektrische Energie gegenüber.

Für den Entschluß, die Tauernbahn zu elektrisieren, war neben den wirtschaftlichen Gesichtspunkten vom Standpunkte des Betriebes der Österreichischen Bundesbahnen hauptsächlich



die Tatsache ausschlaggebend, daß auch eine verhältnismäßig so kleine Elektrisierungsarbeit in bedeutendem Maße geeignet ist, Arbeitsgelegenheiten zu schaffen. Es konnte nicht weniger als 250 Unternehmungen verschiedener industrieller Zweige Beschäftigung geboten werden und es wurden durch mehrere Jahre hindurch etwa 1600 Arbeiter beschäftigt

die zum Großteil neu in die Arbeit eingestellt. Diese Erwägungen waren für die Regierung maßgebend, der Unternehmung „Österreichische Bundesbahnen“ die Mittel für diese Arbeiten in der Höhe von rund 11 Millionen österreichischen Schillingen, die durchweg im Inlande, z. T. im Anleihewege, aufgebracht wurden, zur Verfügung zu stellen.

## Die Elektrifizierung der Hauptstrecke Budapest—Hegyeshalom der Kgl. Ungarischen Staatsbahnen.

Von Ministerialrat Ing. Kornelius von Lánér, Budapest.

Im Monat April dieses Jahres wurden die Elektrifizierungsarbeiten auf dem ungarischen Teil Budapest—Hegyeshalom der Hauptstrecke Budapest—Wien vollendet (Abb. 1).

Diese technische Leistung ist dadurch besonders bemerkenswert, daß hier zum erstenmal eine elektrische Zugförderung mit unmittelbarer Speisung mit 50 Hertz Wechselstrom verwirklicht wurde.

Für die Elektrifizierung der 190 km langen Hauptstrecke waren weniger eisenbahntechnische Gründe als der Umstand maßgebend, daß infolge der Kohlenknappheit Rumpf-Ungarns die heimischen Kohlenvorräte so wirtschaftlich wie möglich ausgenützt werden müssen. Hierfür erwies sich als geeignetste Lösung die Erzeugung elektrischer Energie unmittelbar in

daß das zu wählende System die geringsten Anlagekosten erfordern. Sie wird dadurch erfüllt, daß bei diesem System die Speisung der Bahn mit 50 Hertz-Strom durch einfache Umspannwerke unmittelbar aus dem Industriekraftwerk erfolgt, ferner dadurch, daß die Fahrleitung mit der verhältnismäßig hohen Spannung von 16000 Volt gespeist wird. Was die Anschaffungskosten der Phasenumformerlokomotiven anbelangt, sind diese wohl höher als jene der Gleichstromlokomotiven, jedoch nicht höher als jene der Einphasenlokomotiven. Der rotierende Umformer ist nämlich zwar teurer als der Umspanner der Einphasenlokomotiven, dafür kann aber der einfache Drehstrommotor billiger hergestellt werden, als die Kommutatormotore der Einphasenlokomotiven.

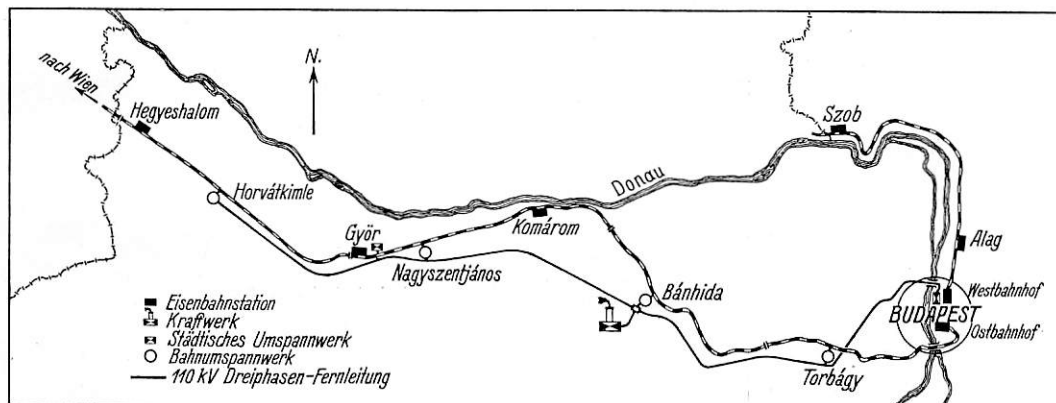


Abb. 1. Die elektrifizierte Hauptlinie Budapest—Hegyeshalom.

einem Braunkohlenbecken und ihre teilweise Verwendung für elektrische Zugförderung. Diese Grundlagen der Kraftwirtschaft konnten am günstigsten auf der obengenannten Hauptstrecke verwirklicht werden, da diese den ausgedehntesten Braunkohlenbezirk Ungarns — das Tataer Kohlenrevier — durchquert, wo bereits im Jahre 1930 in Bánhida ein Überlandkraftwerk mit  $3 \times 30000$  PS Leistung errichtet wurde. Ein weiterer Grund für die Wahl dieser Strecke war, daß sie die größte Verkehrsdichte aufweist.

Das hier zur Ausführung gelangte Phasenumformersystem Bauart von Kandó wurde bereits in Heft 1 des Jahrganges 1935 des Org. Fortschr. Eisenbahnwes. kurz erläutert. Dieser Aufsatz bezog sich aber nur auf die Elektrifizierung der Teilstrecke Budapest—Komárom. Im vorliegenden Aufsatz soll im kurzen die nunmehr vollendete Umstellung der ganzen Strecke Budapest—Hegyeshalom auf elektrischen Betrieb geschildert werden.

Unter Berücksichtigung des Umstandes, daß der Gesamtverkehr dieser Strecke immerhin kaum eine Million Tausendbruttotonnenkilometer im Jahre erreicht und demzufolge die Jahresleistung der bereits elektrisch betriebenen Hauptbahnen Europas bei weitem nicht erreicht, war bei der Auswahl des Systems die größtmögliche Wirtschaftlichkeit ausschlaggebend. Als günstigste Lösung wurde das von Kálmán von Kandó bereits im Jahre 1918 entwickelte Phasenumformersystem erachtet. Dieses System erfüllte auch die zweite Hauptbedingung,

ungefähr 1000 Volt Spannung erzeugt; der Hauptmotor der Lokomotive wird nun vom Mehrphasenstrom gespeist.

Der Umformer ist in sinnreicher Weise so gebaut, daß er für den Hauptmotor stets eine Spannung liefert, die bei der jeweiligen Belastung des Motors den besten Wirkungsgrad sichert. Der Wert des Leistungsfaktors bleibt nicht nur stets gleich, sondern der Motor kann sogar auf voreilenden Strom erregt werden, was eine beträchtliche Verbesserung des Leistungsfaktors des Kraftwerkes zur Folge hat. Der Phasenumformer besitzt auch den weiteren Vorteil, daß er — infolge des Umstandes, daß sein Kurzschlußstrom kleiner als der Vollaststrom ist — gegenüber dem Netz und dem Kraftwerk als idealer selbsttätiger Schalter dient.

Der mit Kühllöl gefüllte Ständer des Phasenumformers ist in einem geschweißten Mantel eingebaut und vom Läufer durch ein in die Luftspalte eingesetztes Bakelitrohr getrennt. Zur Kühlung des Läufers dienen in die Nuten des Eisenkörpers eingebaute kupferne Kühlröhren mit ständigem Wasserumlauf. Das Kühllöl, sowie das Kühlwasser werden in je einem durch Luft wirksam gekühlten Röhrensystem großer Oberfläche gekühlt.

Die Beschleunigung (Anlassen) des Phasenumformers auf die normale Umdrehungszahl  $n = 1500/\text{Min.}$  erfolgt mittelst eines an die Welle des Umformers angebauten Anwurfmotors, der von der Oberleitung unmittelbar mit 16000 Volt Spannung gespeist wird und mit Phasenverschiebung arbeitet.

Der Phasenumformer ist verhältnismäßig verwickelt, sein Aufbau ist jedoch so vollkommen durchdacht, daß diese vollkommen gekapselte Maschine außer dem Anlassen keiner weiteren Bedienung bedarf. Der beste Beweis hierfür ist der Umstand, daß unter den 26 bereits im Betrieb befindlichen Lokomotiven schon einige sind, die eine Laufleistung von 300000 km aufweisen, ohne daß das Öffnen des Phasenumformers bisher notwendig gewesen wäre.

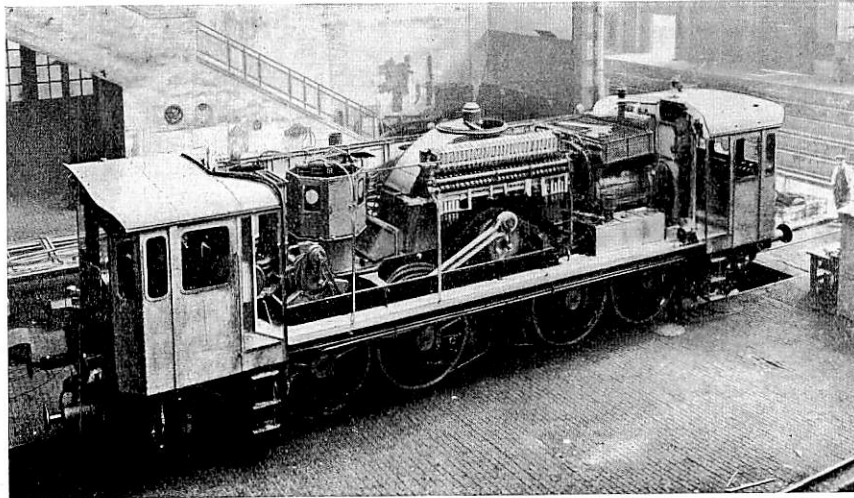


Abb. 2. Aufbau der 1 D 1-Elektrolokomotive.

Der aus der Generatorwicklung des Phasenumformers gewonnene 1000 Volt-Mehrphasenstrom gelangt durch die mit Preßluft betätigte Hauptschaltgruppe und über sechs resp. zehn Schleifringe in den Läufer des Fahrmotors, dessen äußere Wicklung zwar 72-polig ist, der jedoch mittels des Hauptschalters auf 36 Pole umgeschaltet werden kann. Das durch Drehstrom gespeiste äußere Wicklungssystem liefert nun die 1. und die 2. synchrone Geschwindigkeitsstufe. Das innere Wicklungssystem des Läufers ist eine 24polige sechsphasige Wicklung, die aus 36 Gruppen besteht. Diese Wicklung kann auch auf 18 Pole umgeschaltet werden, falls der Motor durch Zweiphasenstrom gespeist wird. Auf letztere Weise ergibt sich nun die 3. und die 4. synchrone Geschwindigkeitsstufe. Die 48 Anschlüsse des Ständers führen zu den fest angeordneten Elektroden des Flüssigkeitsanlassers; die Regelung des Widerstandes findet mittelst eines durch Preßluft gesteuerten Wehres statt, der das Heben oder das Senken der Wasseroberfläche herbeiführt. Die Abmessungen und das Gewicht des im Betrieb vollkommen bewährten Flüssigkeitsanlassers sind bedeutend geringer als jene eines metallischen Anlassers derselben Leistung.

Die oben kurz geschilderten Einrichtungen sind aus Abb. 2 ersichtlich.

Erwähnenswert ist noch die halb selbsttätige Regelvorrichtung der Lokomotive. Beim Anfahren wird entsprechend der jeweilig vom Lokomotivführer betätigten Hebelstellung die Erregung des Phasenumformers und der Wasserstand des Anlassers mittelst eines Wattrelais selbsttätig geregelt. Die Regelung beruht darauf, daß die Anzahl der während der Beschleunigungsperiode aufgenommenen Kilowatt sich nur auf einen gewissen, durch den Lokomotivführer eingestellten Wert erhöht, ferner, daß der Motor immer die für seine Belastung günstigste Spannung erhält, wobei der Leistungsfaktor = 1 ist, bzw. einen voreilenden Wert erreicht. Nach Erreichung der synchronen Geschwindigkeit gestaltet sich die Regelung vollkommen selbsttätig.

Das Drehmoment des Motors wird mittelst des Kandó'schen Gelenkrahmens auf die Triebachsen der Lokomotive

übertragen. Die an beiden Enden der Motorwelle angebrachten Kurbeln sind mit den Gelenkrahmen mittelst Schrägstangen verbunden. Der Kandórahmen gleicht die zwischen den abgefederten und den nicht abgefederten Massen auftretenden gegenseitigen Bewegungen durch eine geringe Verdrehung aus.

Die ungemein einfache Handhabung und die Verlässlichkeit des Systems und des Phasenumformers beweist am besten die Tatsache, daß das Lokomotivpersonal, welches aus den

Reihen der Dampflokomotivführer gewählt und in drei Monaten ausgebildet wurde, seinen Dienst einwandfrei und ganz selbständig versieht, ferner, daß die Instandhaltung und die Aufsicht der Lokomotiven durch neu ausgebildete Angestellte ausgeführt wird, die vorher weder mit elektrischen Lokomotiven, noch überhaupt mit elektrischen Maschinen zu tun hatten. Die laufenden Ausbesserungen und die Untersuchungen der Lokomotiven werden im Lokomotivschuppen in Budapest, die größeren Ausbesserungen in der nördlichen Hauptwerkstätte in Budapest ausgeführt.

Von den bereits angelieferten 26 Lokomotiven haben nur zwei die Achsfolge F, alle übrigen gehören in eine einzige Gattung mit der Achsfolge 1 D 1. Diese Einheitsbauart eignet sich gleich gut zur Beförderung sämtlicher Zuggattungen (Abb. 3). Die Lokomotiven entsprechen auch den Eigentümlichkeiten der Strecke, von der rund  $\frac{2}{3}$  eine ausgesprochene Flachlandstrecke ist und nur der übrige Teil Steigungen bis zu  $6,7\text{‰}$  und Krümmungen

Die Hauptangaben der Phasenumformerlokomotiven sind:

| Achsfolge   | 1 D 1  | F      |         |
|---|--------|--------|---------|
| Entfernung der Achsen von den Puffern und voneinander . . . . .                           | 1785   | 2795   | mm      |
|   | 1950   | 1270   | „       |
|   | 1730   | 1220   | „       |
|   | 2900   | 2860   | „       |
|   | 1730   | 1720   | „       |
|   | 1950   | 1270   | „       |
| Laufkreisdurchmesser der Trieb- und Kuppelräder . . . . .                                 | 1660   | 1150   | „       |
|   | 1040   | —      | „       |
| Dienstgewicht der Lokomotive . . .  | 98,500 | 94,000 | t       |
| Gewicht des mech. Teiles . . . . .  | 51,000 | 49,700 | „       |
|   | 47,200 | 44,000 | „       |
|   | 0,300  | 0,300  | „       |
| Reibungsgewicht . . . . .   | 72,000 | 94,000 | „       |
| Größter Achsdruck . . . . .   | 18,500 | 17,500 | „       |
| Länge über Puffer . . . . .   | 13830  | 13430  | mm      |
| Anzahl der Hauptmotoren . . . . .   | 1      | 1      |         |
| Stundenleistung des Motors an der Welle bei der 3. und 4. Geschwindigkeitsstufe . . . . . | 2500   | 2500   | PS      |
|   | 3500   | 3500   | „       |
| Geschwindigkeit bei 50 Hertz  | 24,2   | 16,6   | km/Std. |
|   | 50     | 34,3   | „       |
|   | 75     | 51,5   | „       |
|   | 100    | 68,3   | „       |
| Größte Zugkraft am Zughaken auf ebener gerader Strecke in kg                              | 15127  | 22100  | kg      |
|   | 15000  | 22000  | „       |
|   | 11336  | 16900  | „       |
|   | 8105   | 12350  | „       |

bis 400 m herab enthält. Nebst anderen Vorteilen hat die Verwendung der Einheitsbauart selbstverständlich den großen Vorteil, daß dadurch sehr günstige Lokomotivdienstpläne und beträchtliche kilometrische Leistungen erreicht werden

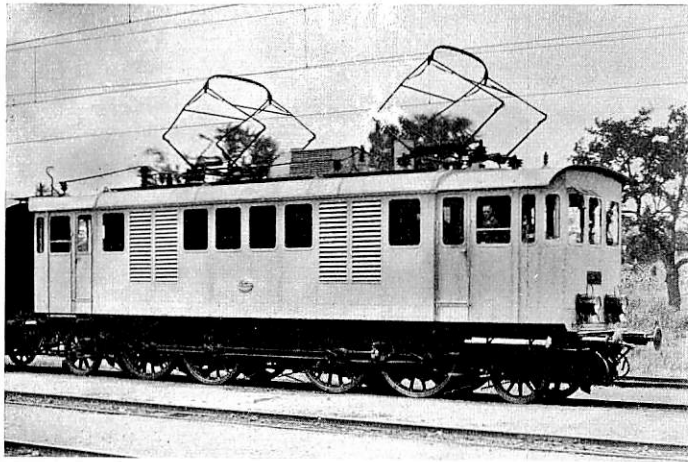


Abb. 3. Ansicht der 1 D 1-Einheitslokomotive.

können. Die Laufleistung einer Lokomotive im Jahresdurchschnitt wird rund 100000 km erreichen.

Die Einheitslokomotiven müssen bei den Übernahmeprobefahrten einen über 600 t schweren Zug, bestehend aus 17 vierachsigen Personenwagen, in der Ebene mit 100 km/Std., auf der Steigung mit der 3. synchronen Geschwindigkeit, nämlich mit 75 km/Std. im Beharrungszustand befördern.

Die Elektrifizierung der Hauptstrecke Budapest—Hegyeshalom vollzog sich in zwei Abschnitten. Als erster Abschnitt wurde die Teilstrecke Budapest—Komárom auf elektrischen

Betrieb umgestellt, wobei gleichzeitig die nötigen Erfahrungen mit den ersten vier Versuchslokomotiven gesammelt werden konnten. In diesem Zeitraum ist auch das zum Vollbetrieb notwendige Personal herangebildet worden. Während des

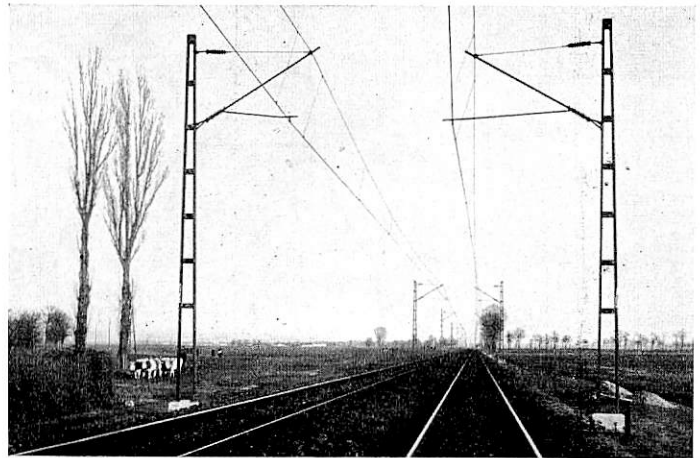


Abb. 4. Fahrleitung auf offener Strecke.

Anfangsbetriebes vom Herbst 1932 bis zum Herbst des Jahres 1934 sind dann die Arbeiten der ganzen Strecke vollendet worden (siehe Abb. 4).

Seit dem Herbst des vergangenen Jahres wurden sämtliche Personen- und Schnellzüge, seit April dieses Jahres alle Züge auf der ganzen Strecke elektrisch befördert.

Elektrische Triebwagen sind bisher nicht beschafft worden, da sich hierfür noch kein Bedarf zeigte. Falls solche später beschafft werden sollen, wird beabsichtigt, hierfür eine für 50 Hertz Wechselstrom geeignete einfachere Lösung zu treffen.

## Elektrisierungen in Holland.

Von Obergeringieur van Lessen, Utrecht.

Am 15. Mai dieses Jahres wurde die Strecke Schiedam — Rotterdam dem elektrischen Betrieb übergeben. Anlässlich dieses Neuzuganges mögen einige kurze Mitteilungen gemacht werden über die elektrische Zugförderung der Niederländischen Eisenbahnen.

Schon im Jahre 1908 wurde die elektrische Zugförderung in Holland eingeführt, am 1. Oktober dieses Jahres wurde nämlich die Strecke Rotterdam—den Haag—Scheveningen als elektrische Bahn in Betrieb gesetzt. Der Strom wurde in einem bahneigenen Kraftwerk erzeugt und als Einphasenstrom 25 Hertz mit 10000 Volt Spannung den Motorwagen zugeführt. Die Ergebnisse waren derart günstig, daß die Direktion der holländischen Eisenbahngesellschaft sich im Jahre 1918 entschloß, den elektrischen Betrieb auf ihrer Hauptstrecke Amsterdam—Rotterdam ebenfalls einzuführen. Dem Stande der Technik entsprechend war zu untersuchen, ob und in welcher Weise eine Änderung des Stromsystems veranlaßt sei. Eine hierfür eingesetzte Studienkommission kam zu dem Schluß, daß für die weitere Elektrifizierung der Eisenbahnen das Gleichstromsystem mit 1500 Volt Fahrdrabtspannung zu empfehlen sei. Demzufolge wurden im Jahre 1921 die Vorbereitungen getroffen für die Elektrifizierung der Strecke Amsterdam—Rotterdam nach dem Gleichstromsystem und den Umbau der Strecke den Haag—Rotterdam—Scheveningen auf Gleichstrom. Die Frage, ob die Stromversorgung durch bahneigene Kraftwerke erfolgen solle, wie von der Eisenbahnverwaltung bevorzugt, oder die Stromlieferung von schon bestehenden, für die allgemeine Stromversorgung dienenden Kraftwerken zu beziehen sei, wurde von der Regierung im

letztgenannten Sinne entschieden. Die Eisenbahngesellschaft hatte demzufolge für ihren Bedarf an elektrischer Energie Verträge mit allgemeinen Stromversorgungswerken abzuschließen.

Die günstigen Erfahrungen nicht nur in technischer, sondern auch in wirtschaftlicher Hinsicht waren Anlaß zu weiterer Ausdehnung der elektrisch betriebenen Strecken. In untenstehender Zusammenstellung sind die bis jetzt elektrifizierten Strecken angegeben.

### Zusammenstellung.

|   | Elektrischer Betrieb eröffnet | Streckenlänge | Länge der Oberleitung |
|---|-------------------------------|---------------|-----------------------|
| Rotterdam—den Haag—Scheveningen . . . . . | 1. Oktober 1908               | 33 km         | 70                    |
| Amsterdam—Rotterdam . . .                 | 1. Oktober 1927               | 86 „          | 240                   |
| Haarlem—Ymuiden . . . . .                 | 15. Mai 1927                  | 12 „          | 26                    |
| Rotterdam—Schiebroek . . .                | 1. Oktober 1927               | 4 „           | 8                     |
| Amsterdam—Alkmaar . . . .                 | 15. Mai 1931                  | 39 „          | 102                   |
| Velsen—Uitgeest . . . . .                 | 15. Mai 1931                  | 9 „           | 18                    |
| Rotterdam—Dordrecht . . .                 | 15. Mai 1934                  | 20 „          | 43                    |
| Schiedam—Hoek van Holland                 | 15. Mai 1935                  | 24 „          | 51                    |
| Insgesamt . . . . .                       |                               | 227 km        | 558                   |

### Stromversorgung.

Die Kraftwerke der Gemeinden Rotterdam und den Haag und die gekuppelten Kraftwerke der Gemeinde Amsterdam

und der Provinz Noord-Holland zu Velzen übernehmen die Stromversorgung des ganzen Gebietes. In Abb. 2 ist angegeben, in welcher Weise die Kraftwerke mit den Unterwerken

statt, alle Meldungen über den Betrieb des Unterwerks werden dort mittels Licht- und Läutesignalen aufgenommen und telephonisch den technischen Befehlstellen weitergeleitet. Diese Befehlstellen sind mit Leidschendam, Haarlem und Uitgeest, wo sich das technische Personal für die Unterwerke und der Oberleitung befindet, telephonisch verbunden.

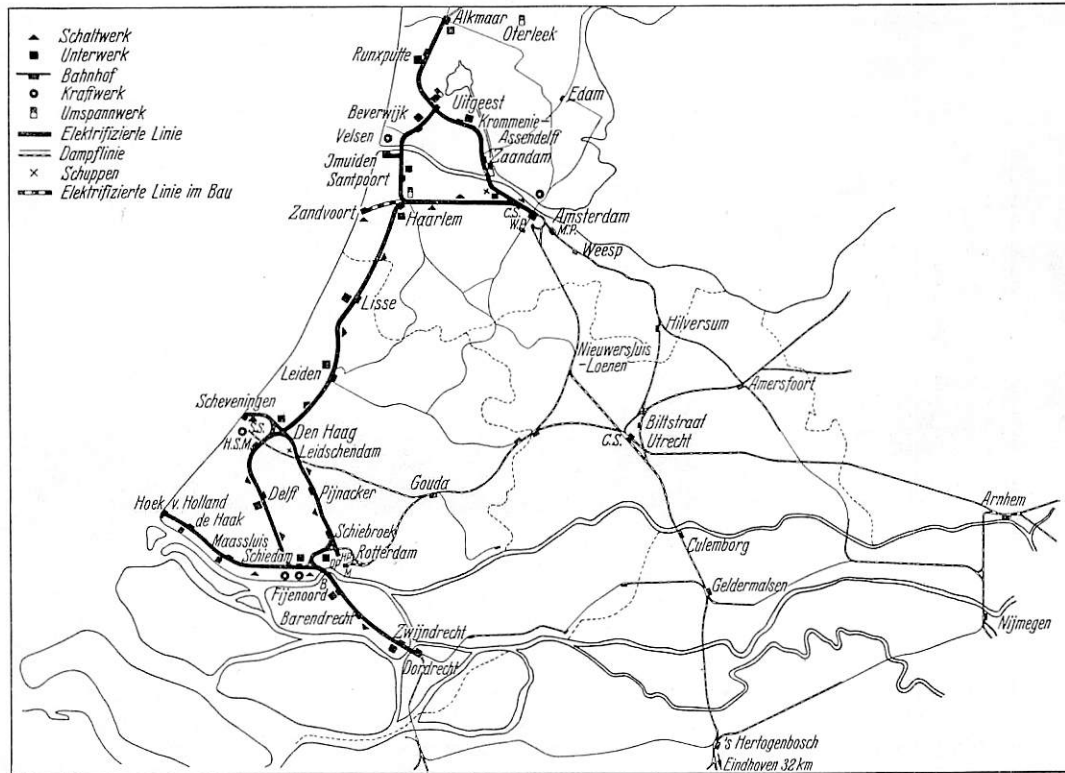


Abb. 1.

gekuppelt sind. Es war nicht möglich, für alle Unterwerke dieselbe Drehstromspannung zu verwenden. Zum größten Teil wird die Energie den Unterwerken mit 10 000 Volt Spannung zugeführt, im Stromlieferungsgebiet der Gemeinde Rotterdam wird ein Unterwerk (Schiebroek) mit 5000 Volt gespeist, die weiteren Unterwerke (die alle in den letzten Jahren gebaut wurden) werden mit 25000 Volt Drehstrom gespeist.

Die gesamten Unterwerke sind von der Eisenbahnverwaltung errichtet worden und werden von ihr betrieben, das Kabelnetz ist, insofern es auf Eisenbahngelände liegt, Eigentum der Eisenbahn. Die Umformung von Drehstrom in Gleichstrom findet fast ohne Ausnahme mittels Gleichrichter statt; nur in einem Unterwerk (den Haag), das im Jahre 1925 erbaut wurde, sind zwei Motorgeneratoren aufgestellt.

|                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| Das Kabelnetz enthält drehstromseitig |         |
| 25000 Volt Kabel                      | 56,5 km |
| 10000 „ „                             | 91,8 „  |
| 5000 „ „                              | 7,2 „   |

Außerdem sind 60,6 km Drehstromleitung 10000 Volt als Freileitung ausgeführt.

In 19 Unterwerken sind insgesamt aufgestellt:

|                                     |         |                  |
|-------------------------------------|---------|------------------|
| 2 Motorgeneratoren Dauerleistung je | 1000 kW | 2000 kW          |
| 13 Gleichrichter                    | „       | 1200 kW 15600 kW |
| 21 Gleichrichter                    | „       | 1000 kW 21000 kW |

Gesamtleistung 38600 kW

Die Motorgeneratoren und die 1000 kW Gleichrichter sind belastbar mit 1500 kW während 2 Stunden und mit 3000 kW während 5 Minuten. Die 1200 kW Gleichrichter sind belastbar mit 1800 kW während 2 Stunden und mit 4800 kW während 40 Sekunden. Alle Unterwerke, mit Ausnahme des Unterwerks den Haag, sind für vollautomatischen Betrieb eingerichtet, die In- und Außerbetriebsetzung findet vom nächsten Bahnhof

Dieses Unterwerk wird vom Rotterdamer Kraftwerk Galileistraat unmittelbar mit 25000 Volt Drehstrom gespeist mittels zweier Kabel  $3 \times 95 \text{ mm}^2$ , während es mit einem 25 kV-Kabel mit dem nächstliegenden Unterwerk Maafluis verbunden ist. Vorläufig ist ein Gleichrichter aufgestellt, für einen zweiten Gleichrichter ist Platz vorgesehen.

Wie aus dem Hauptstromschema (Abb. 3) hervorgeht, ist eines der Speisekabel vom Kraftwerk Galileistraat normal mit dem Speisekabel Maafluis durchverbunden, während das zweite Kabel Unterwerk Schiedam speist. Die ganze 25 kV-Anlage ist völlig geschlossen ausgeführt, die Sammelschienen, Trennschalter, Meßtransformatoren usw. befinden sich in Ölbehältern.

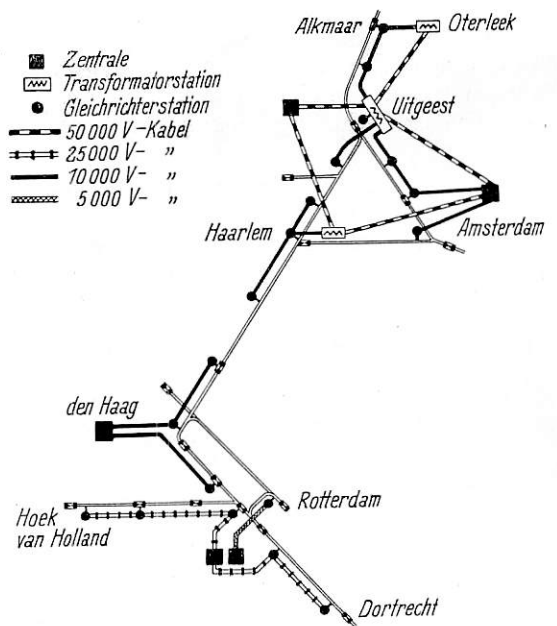


Abb. 2.

Abb. 4 zeigt ein Bild von einem Teil dieser Hochspannungsanlage, während Abb. 5 das Äußere des Gebäudes veranschaulicht. Die Gleichrichter sind teils solche der Bauart Brown, Boveri & Cie., teils solche der General Electric Comp. Abb. 6 zeigt die letztere Ausführung.

Das Personal für die Unterhaltung der Unterwerke und der Oberleitungsanlagen (das Personal ist für die beiden Zwecke ausgebildet, wodurch eine Ersparnis an Personal erreicht wird)

maste mit Ausleger (Abb. 7) und teilweise Portale, wie in Abb. 8, verwendet. Die Abbildung läßt erkennen, daß die Fahrleitung aus zwei nebeneinanderliegenden Drähten besteht.

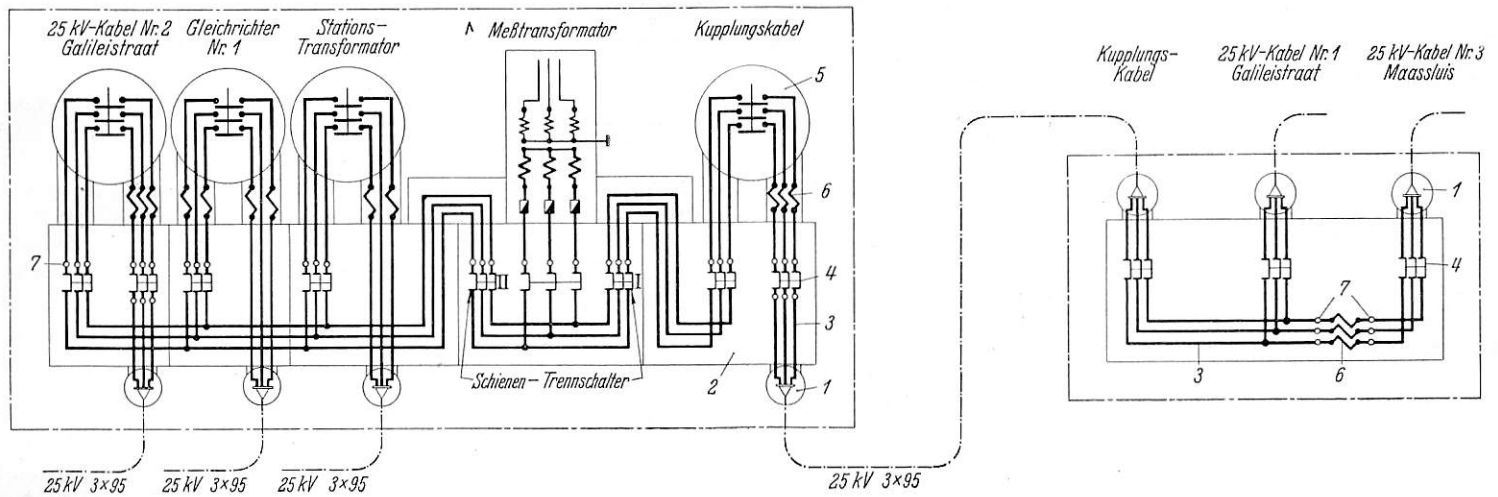


Abb. 3.

umfaßt 12 Aufsichtsbeamte und 84 Obermonteure und Monteure.

Die Erfahrungen mit dem vollautomatischen Betrieb der Unterwerke sind sehr günstig, nicht nur in technischer Hinsicht, sondern auch was die Betriebskosten anbetrifft. Die

Die Portalkonstruktion wurde entworfen für Strecken, wo die Bodenverhältnisse so schwierig sind, daß es erforderlich war, nur leichte Betonfundierungen zu verwenden. Diese Kon-

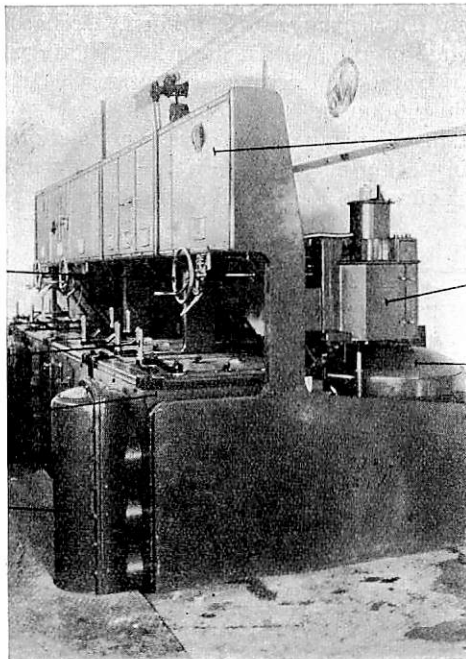


Abb. 4.

Bedienungs- und Unterhaltungskosten der Unterwerke betragen nur ungefähr 2,5% der Gesamtbetriebskosten.

#### Oberleitungsanlagen.

Die Oberleitung für alle Strecken besteht aus zwei Fahrdrähten, 100 mm<sup>2</sup> Querschnitt pro Gleis, welche in 100 mm Entfernung an einem Bronzekabel (Querschnitt 70 mm<sup>2</sup>, Leitfähigkeit 70% von reinem Kupfer) aufgehängt sind. Damit ein genügend Kupferquerschnitt erhalten wird, ist jedes Gleis außerdem mit zwei Verstärkungsleitungen zu je 120 mm<sup>2</sup> Querschnitt versehen.

Die Fahrdrähte sind in Entfernungen von 1200 bis 1500 m automatisch nachgespannt, Zugkraft je Fahrdraht 1000 kg. Zur Unterstützung der Oberleitung werden teilweise Flach-

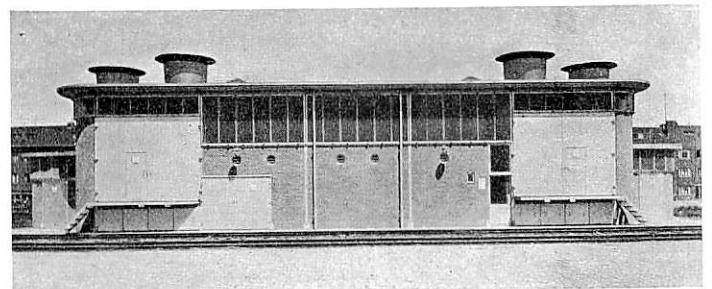


Abb. 5.

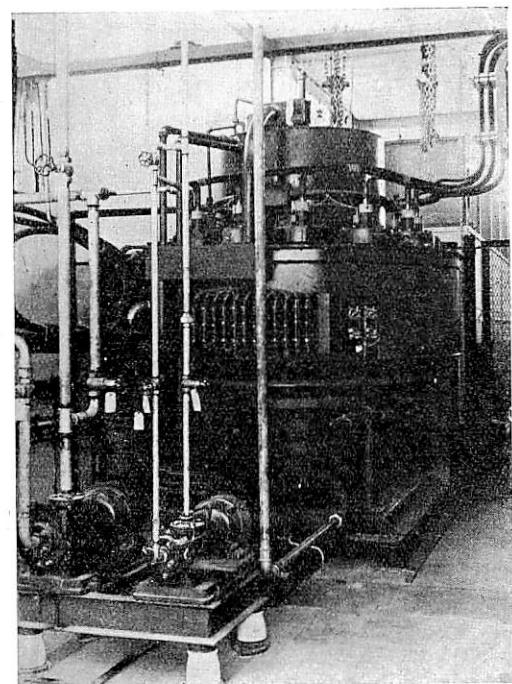


Abb. 6.

struktions hat den Vorteil, daß die Betonfundierungen unabhängig von der Errichtung der Portale hergestellt werden können. Wie aus der Abbildung hervorgeht, werden die

Portale mittels zweier Bolzen bei A mit dem Fundament verbunden und aus zwei Teilen, die bei B verbunden werden,

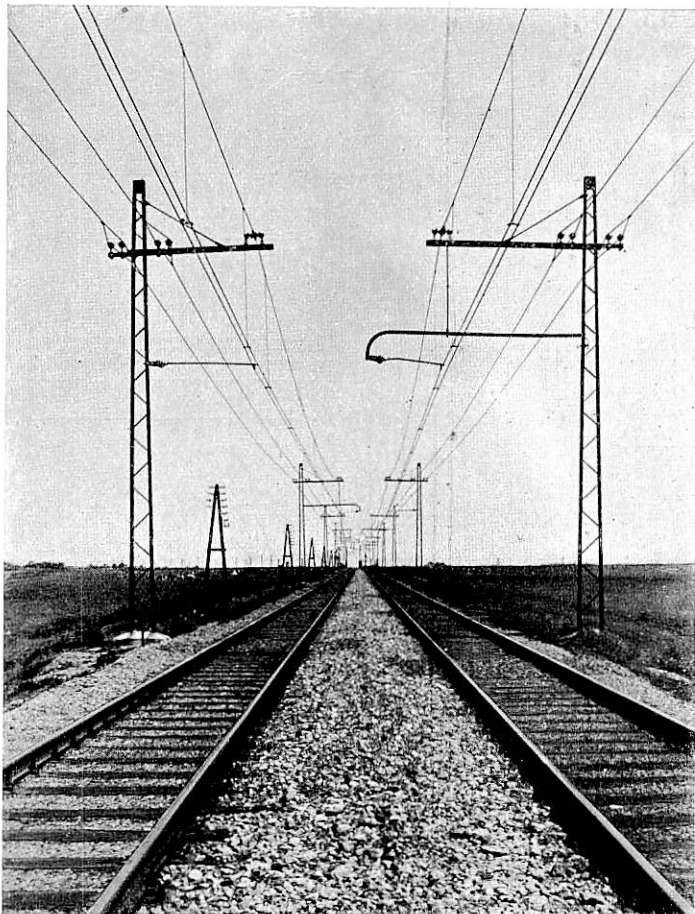


Abb. 7.

befinden sich acht Triebwagenzüge im Bau. Diese bestehen aus zwei Wagenkästen, die auf drei Drehgestellen aufrufen. Diese Züge sind in Stromlinienform ausgeführt und können mittels automatischer Kupplung zu größeren Zuglängen zusammengesetzt werden.

Die Zusammensetzung der Züge erfolgt nach dem Verkehrsbedürfnis und schwankt zwischen Zweiwagenzügen und Zehnwagenzügen; letztere enthalten vier Motorwagen.

Jeder Motorwagen enthält vier Motoren von je ungefähr 200 PS Stundenleistung. Die Zugschaltung ist elektropneumatisch, Steuerstrom 24 bis 32 Volt. Die Heizung arbeitet mit 1500 Volt Spannung, pro Wagen sind zwei Stromkreise zu je 16 Heizkörpern zu 450 Watt vorgesehen.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt auf der Strecke Amsterdam—Dordrecht 100 km/h, auf den übrigen Strecken 90 km/h. Die Strecke Amsterdam—Rotterdam wird von den Schnellzügen in 74 Minuten zurückgelegt, diese Züge halten unterwegs fünfmal, der mittlere Abstand zwischen den Bahnhöfen ist also ungefähr 14 km, die mittlere Fahrgeschwindigkeit (unter Abzug von Bahnhofsaufhalten zu 8 Minuten) etwa 79 km/h. Für Personenzüge ist abhängig von dem Bahnhofabstand die mittlere Reisegeschwindigkeit niedriger, diese beträgt z. B. bei einem mittleren Haltabstand von vier Kilometern 64,5 km/h.

Die Betriebspflege findet, dem Umlauf der Züge angepaßt, sechs- bis neuntägig statt, in dieser Frist haben die Züge ungefähr 3500 bis 5800 km zurückgelegt. Nach ungefähr 100000 km werden die Motorwagen zur Untersuchung der mechanischen Einrichtungen (Radreifen, Drehgestelle, usw.) gehoben. Die Motoren werden nach 200000 km nachgesehen, während die Untersuchung der gesamten elektrischen Ausrüstung nach 400000 km stattfindet.

Die Erfahrungen mit der elektrischen Zugförderung sind nicht nur in technischer, sondern auch in wirtschaftlicher Hinsicht sehr günstig. Es hat sich herausgestellt, daß auf den

an Ort und Stelle ausgeführt. Für Strecken, wo mit der Elektrifizierung Starkstrom- oder Schwachstromkabel zu verlegen sind, ist eine derartige Montage von großem Vorteil. Die Betonfundierungen werden zuerst ausgeführt. Hiernach werden die Kabel verlegt, was sehr schnell und bequem vorgenommen werden kann, weil die Kabel unmittelbar von den Trommeln auf den Eisenbahnwagen abgerollt werden können, solange die Portale noch nicht aufgestellt sind.

Die Oberleitungsanlagen in den Bahnhöfen, wo mehr als zwei Gleise ausgerüstet sind, wurden entweder mit Querseilaufhängung oder mit Aufhängung an eisernen Quergerüsten ausgestattet.

#### Betriebsmittel.

Weil ein sehr großer Teil der Züge dem lokalen Verkehr dient, werden bis jetzt ausschließlich Motorwagenzüge verwendet; die Züge, welche dem durchgehenden Verkehr dienen, sowie die Güterzüge werden mit Dampflokomotiven befördert. Insgesamt sind 155 Motorwagen, Gewicht 60 t, und 153 Anhängewagen, Gewicht 40 t im Betrieb. Für die Strecke Rotterdam—Hoek van Holland

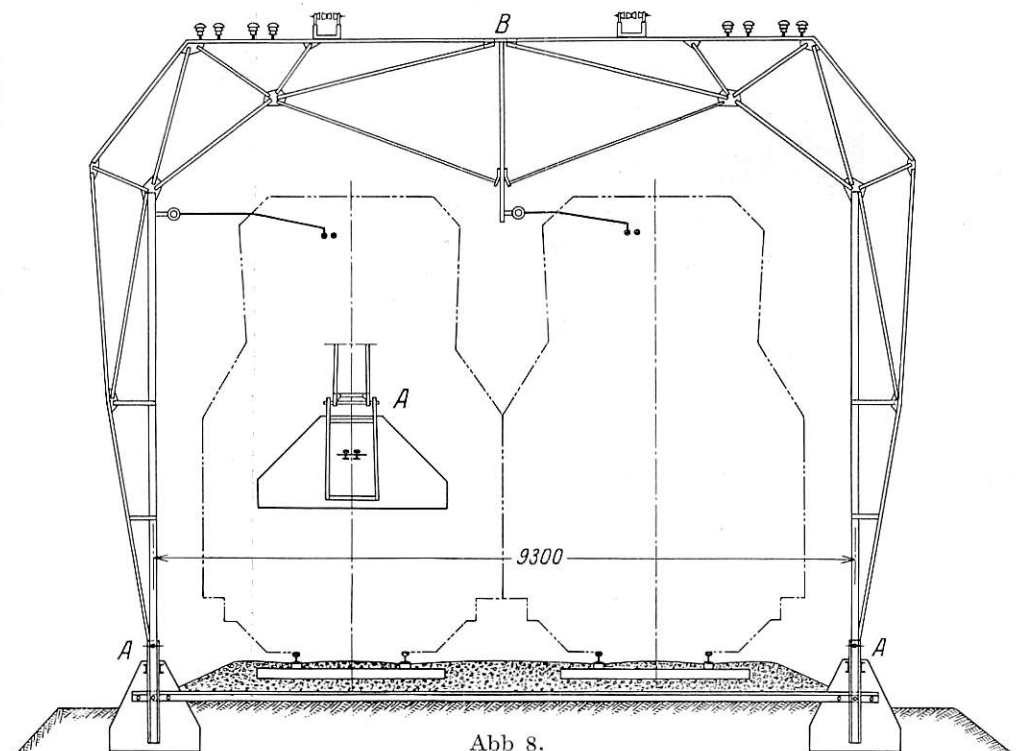


Abb 8.

Bahnstrecken, wo diese Zugförderung eingeführt worden ist, eine starke Steigerung des Verkehrs eingetreten ist.

# Rundschau.

## Drehumformer und Stromrichter zum Anschluß an vorhandene Drehstromnetze\*).

Zur Umwandlung von Drehstrom in Gleichstrom oder Einphasenwechselstrom niedriger Frequenz, wie er besonders bei elektrischen Vollbahnen gebräuchlich ist, dienen Drehumformer und neuerdings auch Stromrichter.

Der Drehumformer ist weitgehend ausgereift. Als Gleichstromerzeuger finden Motorgeneratoren und hauptsächlich die billigeren Einankerumformer Verwendung. Bei letzteren können die ursprünglich vorhandenen Schwierigkeiten beim Anlassen und bei Kurzschlüssen bezüglich der Kommutierung heute als überwunden gelten. Trotzdem wird der Einankerumformer durch den noch einfacheren und wirtschaftlicheren Gleichrichter in zunehmendem Maße verdrängt.

Stärker konnten diejenigen Umformer ihre Stellung behaupten, die zur Umwandlung von Drehstrom in Einphasenwechselstrom dienen. Man unterscheidet zwischen starren und elastischen Umformern. Letztere, auch Schlupfumformer genannt, sind zwar teuer in der Anschaffung, aber vielseitiger verwendungsfähig und daher zumeist wirtschaftlicher.

Bemerkenswerte Schlupfumformeranlagen zur Speisung von Bahnnetzen befinden sich in Pfrombach an der Isar (20000 kVA), in Barmbeck bei Altona (8600 kVA) und in dem Schweizer Werk Seebach (8600 kVA). Trotz der vielen Maschinensätze, die bei Schlupfumformern zur Regelung der Spannung, Frequenz, der Wirk- und Blindleistung erforderlich sind, erreicht der Gesamtwirkungsgrad derartiger Anlagen Spitzenwerte über 87% und mittlere Betriebswerte von etwa 84%.

Höhere Wirkungsgrade als bei Drehumformern lassen sich erzielen, wenn man zur Energieumformung Stromrichter benutzt. Hierbei fallen auch alle bewegten Massen und schweren Fundamente fort.

Der bekannteste Stromrichter ist der Gleichrichter. Die größten Gleichrichteranlagen für Bahnzwecke sind bei der Berliner S-Bahn in Betrieb.

Neuerdings werden die Gleichrichter mit Gittersteuerung zum Abschalten von Kurzschlüssen gebaut, ferner zur stufenlosen Regelung der Gleichspannung. Die Verwendung von Einphasengleichrichtern mit einer derartigen Spannungsregelung ist auf Fahrzeugen der Höllentalbahn vorgesehen. Mittels der Gittersteuerung läßt sich auch die Energierichtung verändern. Der Gleichrichter kann dann als Wechselrichter arbeiten und in das Drehstromnetz zurückspeisen. In dieser Arbeitsweise ist er für Bergbahnen verwendbar, deren Fahrzeuge Bremsvorrichtungen zur Energierückgewinnung haben.

Die Umformung von Drehstrom in Einphasenwechselstrom beliebiger Frequenz kann neuerdings gleichfalls durch gittergesteuerte Stromrichter, die man als Umrichter bezeichnet, vorgenommen werden. Der Umrichter besteht aus zwei Gleichrichtergruppen, die im Gegentakt arbeiten und je eine Halbwelle des Wechselstroms erzeugen. Die Gittersteuerung erhält ihren Takt vom Drehstromnetz mit 50 Hz, ferner vom Wechselstromnetz mit Bahnfrequenz, z. B.  $16\frac{2}{3}$  Hz, und dient zur Regelung der Frequenz, der Spannung, der Wirk- und der Blindleistung.

In seiner einfachsten Schaltung liefert der Umrichter eine trapezförmige Wechselspannung. Eine angenäherte Sinusform wird erzielt, wenn der Eingangstransformator des Umrichters abgestufte Sekundärwicklungen erhält. Bei nicht abgestuften Wicklungen läßt sich die Trapezkurve durch Zusatzspannungen, die von einer umlaufenden Hilfsmaschine oder von gesteuerten Gleichrichtern geliefert werden, zur Sinuskurve ergänzen. Eine Umformung der Spannungskurve kann ferner ohne zusätzliche Einrichtungen erfolgen, wenn man die Rückwirkungen der im Bahnnetz befindlichen eisengesättigten Transformatoren ausnutzt. Schließlich läßt sich die Angleichung an die Sinusform durch unterschiedliche Zündung der Gleichrichterventile mittels der Gittersteuerung erreichen.

Ebenso wie der Drehumformer kann der Umrichter sowohl für starren als auch für elastischen Betrieb gebaut werden. Eine

\*) Auszug aus einem am 21. Januar 1935 im Außeninstitut der Technischen Hochschule Berlin vom Verfasser gehaltenen Vortrag.

unerwünschte Eigenart des Umrichters ist jedoch, daß er dem Drehstromnetz stark verzerrte Ströme entnimmt und so der Drehspannung netzfremde Frequenzen aufzwingen kann. Um dieses zu verhüten, wird mit dem Umrichter ein Energiespeicher verbunden, der aus umlaufenden Maschinen oder aus elektrischen Schwingungskreisen bestehen kann. Ferner läßt sich das Drehstromnetz durch Kompensationseinrichtungen vor den genannten Rückwirkungen schützen.

Der Umrichter ist in voller Entwicklung begriffen und verspricht technische Fortschritte, die nicht allein dem elektrischen Bahnbetrieb sondern auch anderen Zweigen der Elektrotechnik zugute kommen können. Die Deutsche Reichsbahn fördert daher diese Entwicklung tatkräftig. Sie führt mit einer von den Siemens-Schuckert-Werken entwickelten, elastisch arbeitenden Umrichteranlage im reichsbahneigenen Saalach-Kraftwerk seit längerer Zeit ergebnisreiche Versuche durch. Zur Speisung der Wiesentalbahn ist ein von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft entwickelter Umrichter vorgesehen, der z. Z. im Unterwerk Basel aufgestellt wird. Ferner hat die Reichsbahn bei der Firma Brown, Boveri & Cie. einen elastischen Umrichter mit Energiespeicher bestellt, der in Pforzheim aufgestellt wird und das süddeutsche Bahnnetz speisen soll.

Dr. Kasperowski.

## Stand der Elektrifizierung in Nordafrika.

In einem Gebiet, das vor kurzem noch fast eine reine Wüste war, hat Frankreich heute planmäßig ein Bahnnetz ausgebaut, von dem bereits über 650 km Hauptstrecken auf neuzeitlichste elektrische Zugförderung umgestellt sind. Am meisten fortgeschritten sind dabei die Bahnen Marokkos, weniger die Algiers. Als Ziel ist — etwa in den nächsten zehn Jahren — die durchgehende elektrische Verbindung Marrakesch-Tunis zu erwarten, da bereits 560 von den 2400 km umgestellt sind. Im tunesischen Netz selbst wird wohl außer dem Anteil der genannten Hauptstrecke Dampfbetrieb bestehen bleiben.

### Die Marokkanischen Bahnen.

Der westliche Teil des Netzes von Marrakesch bis Petit Jean ist bereits völlig auf 3000 V Gleichstrom umgestellt; der östliche Teil Fez—Hodeida, erst kurz eröffnet, arbeitet noch mit Dampf. Das Verbindungsstück Petit Jean—Fez gehört zur französisch-spanischen Tanger-Fez-Bahn und ist systemgleich mit den Weststrecken umgestellt. Die Verstromung begann 1927 im Phosphatgrubengebiet südlich Casablanca und umfaßt jetzt 640 Streckenkilometer, von denen die letzten 90 km noch im Bau sind. Da die Strecke vom Innern zur Küste ständig fällt, werden die 1200 t schweren Lastzüge mit Nutzbremse abgestützt, die Leerzüge fahren mit 400 t zu Berg. Im Jahre 1933 wurden an der Einführung in die Unterwerke 17 Millionen kWh verbraucht.

Die elektrische Arbeit wird in einem Dampfkraftwerk in Casablanca und in einem Wasserkraftwerk westlich von Sidi-el-Aida erzeugt mit  $4 \times 6000$  bzw.  $4 \times 4500$  kW-Maschinensätzen. Die 5500 V ab Generator werden mit 60000 V in Fernleitungen bis Marrakesch und Fez übertragen, u. a. auch als Stromversorgung in die Staatsminen bei Kaurig. Insgesamt 20 Unterwerke liegen in Abständen von 55 bis 75 km und sind alle mit umlaufenden Maschinensätzen ausgerüstet. Auf der Gleichstromseite arbeiten immer zwei 1500 V-Erzeuger in Reihe. Die Streckenversorgung ist völlig nach den Erfahrungen auf den französischen 1500 V-Heimatlinien durchgebildet. Der Ohmsche Widerstand der Oberleitungen beträgt etwa 0,6 Ohm/km, der der Rückleitung 0,03 Ohm/km (Schienen von 33 kg Metergewicht mit einem parallelen 50 mm<sup>2</sup>-Kupferleiter). Die 26 Stück Bo + Bo-Lokomotiven, zwei verschiedene Lieferungen, wiegen 73 und 80 t und entwickeln 1060/1400 bzw. 1400/1600 Dauer/Std.-PS in den Bereichen von 40 bis 50 km/h. Die Höchstgeschwindigkeit ist von 60 auf 90 km/h hinaufgesetzt worden, bei der ersten Lieferung nachträglich durch Übersetzungsänderung. Die Nutzbremskräfte liegen um 12000 kg bei etwa 200 A Rückstrom. Den Personenverkehr besorgen zehn Triebwagen zu 500/700 Dauer/Std.-PS. Sie führen erste und zweite Klasse, die drei bis vier Anhänger dritte und vierte. Tags verkehren Speisewagen, nachts Schlafwagen in eigens dafür gestreckten Fahrplänen.

Der Abschnitt Petit Jean—Fez wird von drei 2000 kW-Unterstationen versorgt, deren eine zwei Eisengleichrichtersätze je 1000 kW besitzt. Da die Zugfolge sehr gedehnt ist, schalten sich die Stationen bei Ein- und Austritt eines Zugs in ihren Abschnitt selbsttätig zu und ab. Die sieben Bo + Bo-Lokomotiven gleichen im wesentlichen den schon beschriebenen.

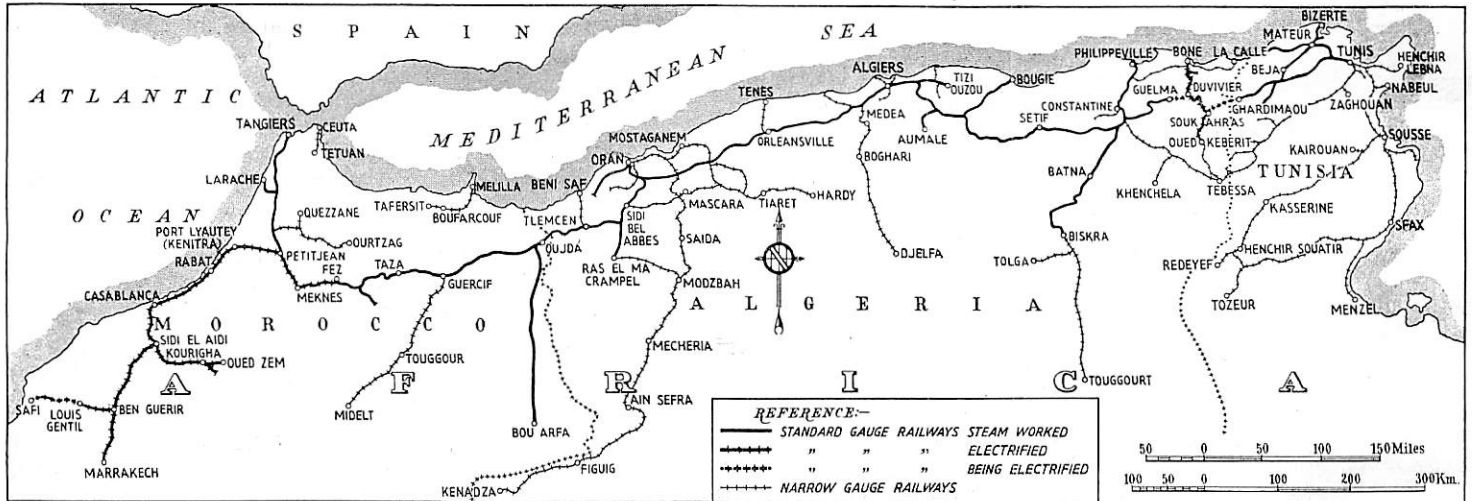
Der Grubenbezirk bildet ein eigenes Stromgebiet, das seine Fahrleitung mit drei 750 kW-Eisengleichrichtern versorgt, die zu den ersten Ausführungen für 3000 V gehören. Die fünf Lokomotiven sind leichter und schwächer und entwickeln nur 7500 kg Zugkraft und 45 km Höchstgeschwindigkeit.

Die Algerischen Bahnen.

Die beiden Eigentumsgruppen, Staat und Paris-Lyon-Mittelmeer-Bahn, stehen jetzt unter gemeinsamer Leitung. Als der jährliche Umschlag aus dem Hinterland des Hafens Bone 1 Million

Nacht sehr vorteilhaften Dehnungsausgleich ergeben hat. Die Bahn verfügt über 30 Co + Co-Lokomotiven, von denen jedoch bei der jetzigen Unterbeschäftigung der Gruben ein Drittel abgestellt sind. Die Zwillingmotoren jeder Achse entwickeln 340/400 Dauer/Std.-PS. 30 Schaltstufen und acht wirtschaftliche Geschwindigkeitsstufen werden von der Abfahrt bis 35 km/h durchlaufen, die Höchstgeschwindigkeit beträgt 70 km/h. Die Anfahrzugkraft von 21200 kg kann bis 9 km/h hinauf gehalten werden. Die Lokomotiven wiegen 115 t bei 16,4 m Länge über Puffer.

Der spezifische Arbeitsverbrauch für die Zugförderung beträgt 34,5/45,1 Wh je Brutto/Netto-tkm an der Einführungsschiene der Unterwerke gemessen. Die Nutzbremung liefert 15% des Gesamtverbrauchs zurück, wovon 9/10 vom Fahrleitungsnetz unmittelbar aufgenommen werden können (400 kW Rückarbeitspitze bei



Übersichtskarte der elektrisch betriebenen Eisenbahnen in Marokko, Alger und Tunis.

- Zeichenerklärung:
- Regelspur Dampfbetrieb
  - ||| ||| ||| „ elektrischer Betrieb
  - ||| + + + ||| „ in Umstellung auf elektrischen Betrieb
  - ||| ||| ||| Schmalspur

Tonnen Erz und 0,7 Millionen Tonnen Phosphate überstieg, konnte die vorhandene eingleisige Dampfstrecke den Verkehr nicht mehr bewältigen. Der kritische Streckenabschnitt war dabei eine 11 km lange, engkurvige Rampe 1:40, von der noch dazu die Hälfte in einem Tunnel lag. Die Umstellung wurde von 1929 bis 1933 durchgeführt. Der frühere Bestand von 75 meist fünfkuppligen Drillingslokomotiven mit insgesamt 5400 t Reibungsgewicht ist durch 30 elektrische Lokomotiven von zusammen 3500 t Reibungsgewicht ersetzt worden. Der Strom wird in Bone mit Dampf erzeugt und mit 90 kV in die 140 km lange Fernleitung geschickt. Drei Stahlaluminiumseile von je 240 mm<sup>2</sup> und das Erdseil aus 60 mm<sup>2</sup>-Stahl führen mit mittleren Mastabständen von 250 m bei einer höchsten Spannweite von 645 m landein. Vier Unterwerke enthalten zusammen fünf 2500 kW-Umformersätze und zwei 2000 kW-Eisengleichrichtersätze. Die Umformer vertragen 50% Überlast für 2 Stunden und 200% für 5 Minuten. Die Hochleistungsschnellschalter verarbeiten 52500 A bei 3000 V. Die Stationen sind ferngesteuert entweder von der zentralen Befehlsstelle aus oder selbsttätig nach vorbestimmten Schaltzeiten. Die Stromlieferungsgesellschaft vergütet für Rückstrom ins 90 kV-Netz 80% des Brauchstrompreises bei etwa 1,5% Rücklieferung. Da die Streckenverhältnisse das nicht überall lohnend machen, konnte ein Unterwerk billiger mit Gleichrichtern ausgelegt werden.

Die Strecken werden über Aluminium-Speiseleiter von 400 bis 500 mm<sup>2</sup> versorgt, wobei je nach Bedarf bis zu vier Seile parallel liegen. Der Fahrdraht aus 107 mm<sup>2</sup>-Kupfer ist alle 250 m eingebunden. Die Trageile sind auf Haupt/Nebenstrecken aus 79/53 mm<sup>2</sup>-Stahl. Die Kette ist in Kurven nach dem neuerdings immer beliebter werdenden Komponentensystem Kurvenzug-Eigengewicht aufgehängt, was gerade bei den großen nordafrikanischen Temperaturschwankungen von 50° C zwischen Tag und

8000 kW Lastspitze). Nur die bereits erwähnten 1,5% gehen in die Hochspannungsseite zurück. Danach verblieb für 1933 eine Gesamtarbeitsabnahme des Netzes von rund 16 Millionen Netto-kWh.

Die Ergebnisse der nordafrikanischen Elektrifizierung haben überall so befriedigt, daß an der laufenden Umstellung der wirtschaftlich wie strategisch gleichwertigen Querverbindung Marrakesch—Tunis rüstig weitergearbeitet wird. Sch-l. Electr. Railw. Tract., Nov. 1934.

### Erweiterung des elektrischen Vorortbetriebes im Osten Londons.

Die Southern Ry hat neuerdings 37 Streckenkilometer = 80 Gleiskilometer Vorortlinien nach Sevenoaks auf elektrischen Betrieb umgestellt. Die Stromversorgung aus dem 33 kV — 50 Hertz — Netz der Central Electricity Board und die t der Umformung in 18 Gleichrichterstationen (2500 kV-Eisengleichrichter) auf 660 Volt an der Stromschiene sind völlig beibehalten worden. Bemerkenswert sind die Fahrplanverbesserungen u. a. mit durchgehenden Schnellwagen London—Bridge—Petts Wood und L. B.—Orpington mit rund 100 km/h Reisegeschwindigkeit bei Fahrzeiten von 15 bis 20 Min. Die bewährten Fahrzeugbauarten und Zugeinheiten zu 2-, 3- und 8-Wagenzügen sind ebenfalls nachgebaut worden. Ein 3-Wagenzug enthält z. B. 4. 275 PS-Motoren der Regeltype mit Tatzlager-Aufhängung, die zu den schwersten z. Z. vorhandenen selbstbelüftenden Gleichstromfahrmotoren gehören. Sch-l. (El. Ry. Traction vom 8. Februar 1935.)

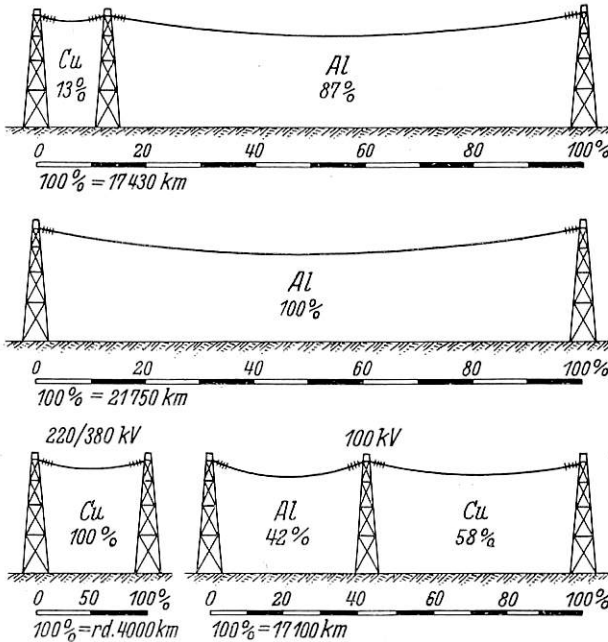
### Verwendung von Aluminium an Stelle von Kupferfreileitungen.

Bekanntlich ist Deutschland infolge mangelnder Devisen gezwungen die Einfuhr von Rohstoffen möglichst einzuschränken



und soweit irgend möglich heimische Stoffe zu verwenden. Unter den hochwertigen Stoffen, die Deutschland nicht in genügender Menge besitzt und auf deren Einfuhr es daher angewiesen ist, befindet sich Kupfer. Während bei elektrischen Maschinen der Ersatz durch Aluminium sich wenig empfiehlt, weil die Abmessungen sich vergrößern, der Wirkungsgrad schlechter wird,

dem des Kupfers beträgt, so wiegt die Aluminiumleitung nur halb soviel wie die leitwertgleiche Kupferleitung. Bei Verwendung von Aluminiumleitungen mit Stahlseele, dem sogenannten Stahlaluminiumseil, ist zu dem Gewicht des allein als elektrisch leitend angesehenen Aluminiummantels noch der des Stahlkerns hinzuzurechnen.



Vereinigte Staaten von  
Amerika und Kanada

Gesamtlänge des 220 kV-Netzes = 17 430 km  
Seil. Hiervon: 2310 km, also 13 % Kupfer-  
leitungen und 15 120 km, also 87 % Leicht-  
metall-, vorwiegend Stahlaluminiumlei-  
tungen

Großbritannien

Seit 1927 im 132 kV-Teil des „National-Grid“  
insgesamt 21 750 km Seil eingebaut, hiervon  
100 % Stahlaluminium-, keine Kupfer-  
leitungen

Dagegen Deutschland

Seit 1927 im 100 kV- und 220/380 kV-Netz  
insgesamt etwa 21 100 km Seil eingebaut, davon  
sind 66 % Kupferleitungen, im 220/380 kV-  
Netz ausschließlich Kupferleitungen

Verwendung von Aluminium im Freileitungsbau.

begegnet die Verwendung für Freileitungen, auch für Sammelschienen und Kabel keiner Erinnerung. Bei der Verwendung von Kupfer für Freileitungen, Sammelschienen und Kabel wird die hohe elektrische Leitfähigkeit des Kupfers mit 57 gegenüber höchstens 33 bei Aluminium in die Rechnung eingesetzt. Beim Austausch von Kupfer gegen Aluminium muß also der Aluminiumquerschnitt etwa 1,62mal so groß sein wie der Kupferquerschnitt. Da aber das spezifische Gewicht des Aluminiums nur 30,4 % von

Übrigens ist die Verwendung von Aluminium für diesen Zweck keineswegs auf Deutschland beschränkt, im Gegenteil ist die Verwendung von Aluminium aus allgemein wirtschaftlichen Gründen für diese Zwecke geboten und andere Staaten sind hier viel weiter vorangegangen. In welchem Umfange dies der Fall, zeigt die nachstehende kleine Skizze, die wir der Zeitschrift „Deutsche Technik“ entnehmen.

## Verschiedenes.

### 37. Mitglieder-Versammlung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker.

Die Tagung, die vom 20. bis 22. Juni in Hamburg stattfand, hatte durch den Vortrag des Oberpostrats Dr. Banneitz „Über Fernsehen“ ihren besonderen Anreiz. Mit den heutigen Fernsehapparaten wird das in 40 000 Bildpunkte (180 Zeilen) zerlegte Bild in  $\frac{1}{25}$  Sek. übertragen, so daß die Bildgüte bereits als recht gut zu bezeichnen ist. Eine weitere Verbesserung wird angestrebt. Größtes Interesse fand die von der Deutschen Reichspost gebaute versuchsmäßige Einrichtung der Verbindung des Fernsprechers mit dem Fernseher, also gegenseitiges Sprechen und Sehen von zwei verschiedenen Stellen aus. Die gleichzeitige Entwicklung eines Fernsehkabels stellt die Schaffung eines Fernsehkabelnetzes in Deutschland in Aussicht. Ebenso werden jetzt mit Hilfe einer vollständigen fahrbaren Fernsehsendeanlage die Unterlagen zur Durchführung eines Fernsehrundfunks gewonnen, indem die Reichweiten des Ultrakurzwellensenders von hohen Bergen ermittelt werden. Die in Hamburg gezeigte Sendeanlage bestehend aus zwei Ultrakurzwellensendern, der Stromversorgungsanlage, den Verstärkern, der Filmzerlegeeinrichtung, Mikrophon und sonstigen Zubehör ist in 14 schweren Lastkraftwagen eingebaut, zu denen noch sechs Wagen für Personal und Zubehör kommen. Der Zug beansprucht eine Fahrtiefe von rund 1 km, birgt nicht weniger als 1700 PS und erfordert 30 Personen zur Bedienung.

Die Vorträge der Tagung erstreckten sich über verschiedene Fachgruppen. In der Fachgruppe „Bahnen“ sprach Dr. e. h. Werner Usbeck zu dem Problem „Steigerung der Fahrgeschwin-

digkeiten bei der Reichsbahn“. Durch die rasche Entwicklung des Kraftwagenüberlandverkehrs und durch die ungeahnten Reisegeschwindigkeiten des Flugzeuges war die Eisenbahn gezwungen, um den neuen Beförderungsbedingungen gerecht zu werden, ebenfalls auf eine allgemeine Steigerung der Geschwindigkeit im Bahnbetrieb hinzuwirken. Unter diesem Gesichtspunkt sind eine Reihe von Meisterwerken entstanden, so die 05 Dampflokomotive mit 192 km/h, ferner die E 18 Elektrische Lokomotive mit 4000 PS Dauerleistung und einer Höchstgeschwindigkeit von 180 km/h und weiter die neuen Wechselstromtriebwagen mit 1200 PS und 160 km/h. In dem weiteren Aufbauprogramm der Reichsbahn ist die Strecke Augsburg—Berlin zur Elektrifizierung vorgesehen, wovon die Teilstrecke bis Nürnberg bereits in Betrieb genommen wurde. Die Stromversorgung des Abschnittes Nürnberg—Berlin soll aus dem Landesnetz erfolgen. Zu diesem Zweck hat die Deutsche Reichsbahn in bahneigenen Kraftwerken zur Probe elastische Umrichter erstellt, welche gestatten mittels Gleichrichtern das Bahnnetz mit  $16\frac{2}{3}$  Perioden aus dem Drehstromnetz zu speisen. Im Saalachkraftwerk wurde ein elastischer Umrichter erstellt, der die Strecke: Freilassing—Reichenhall—Berchtesgaden speist. In dem Bahnkraftwerk in Basel wird ein Schaltumrichter mit Zusatzanoden für 4000 kVA-Leistung eingebaut und im Betrieb der Wiesenthalbahn geprüft. Anfangs wird dieser Umrichter starr betrieben, er kann jedoch jederzeit als elastischer Umrichter geschaltet werden. Zur trägheitslosen Steuerung des Umrichters hat man die transformatorische Gitterspannungskopplung gewählt. Weiterhin soll in Pforzheim ein elastischer Umrichter mit 4300 kVA-Leistung mit Schwingungskreis erprobt werden. Elastische Kopplung heißt hierbei, daß

die Leistung jederzeit ohne große Schwierigkeiten nach jeder Richtung hin übertragen werden kann. Von großer Bedeutung sind noch die Versuche mit den Gleichrichterlokomotiven. Es wird hier die Maschine unmittelbar mit 50periodischem Wechselstrom gespeist. Die Lokomotive enthält einen Transformator, gittergesteuerten Gleichrichter und Gleichstrommotoren. Der gittergesteuerte Gleichrichter dient außer für die Erzeugung des Gleichstromes als Anlaß- und Regelteil. Eben erwähnte Maschinen werden auf der Höllentalbahn erprobt.

Zu dem Thema: „Durch Einphasen-Gleichrichter gespeiste Gleichstrombahnmotoren“ sprach Obering. Dr. Ing. Karl Töfflinger, Berlin. Aus wirtschaftlichen und konstruktiven Gründen hat sich ergeben, daß für Gleichrichterfahrzeuge nur Einphasengleichrichter in Frage kommen, wenn auch der von ihnen gelieferte Gleichstrom stark verzerrt ist (Wellenstrom). Dem Gleichstrom ist ein Wechselstrom der doppelten Frequenz der Grundschwingung überlagert mit einer Amplitude von etwa 100% der Gleichstromspannung. Hierdurch entstehen in den Ankerwindungen Fehlerströme, die zum starken Feuern des Kollektors führen. Auch die hierbei auftretenden Wechselstrom- und Gleichstromwendefehler müssen durch irgendwelche Hilfsmittel unterdrückt werden. Besonders wichtig ist es dabei, den letzteren Fehler möglichst klein zu halten. Zu diesem Zweck schaltet man die Haupt- und Wendepolwicklungen parallel, außerdem schaltet man noch Ohmsche Widerstände vor und letzten Endes kann man noch durch entsprechende Wahl der Leiterquerschnitte wie Windungszahlen erreichen, daß man ohne jede Glättungseinrichtung funkenfreien Lauf erzielt. Der nicht kompensierte Motor erwies sich auch bei einer Spannungsregelung durch Gittersteuerung besonders brauchbar. Alle bisherigen Versuche in dieser Richtung lassen den Schluß zu, daß sich jeder Gleichstrombahnmotor ohne großen Aufwand den Bedingungen des Einphasengleichrichterbetriebes anpassen läßt.

Die Ausführungen von Regierungsbaumeister a. D. Ernst Dozler, Berlin zu „Neuzeitlichen Straßenbahnsteuerungen“ haben auch für die Steuerung von Triebwagen Bedeutung. Der Wettbewerb der Autofahrzeuge zwingt bei den Straßenbahnfahrzeugen zur Erhöhung der Reisegeschwindigkeit durch Hebung der durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit, was nur durch gesteigerte Anfahrbeschleunigung und Bremsverzögerung erreichbar ist. Hierzu muß von der bisherigen Fahrshalterbauart mit insgesamt etwa 10 bis 12 Anfahrstufen und 6 bis 7 Stufen für die elektrische Bremse abgegangen werden. Bei der Dresdner Straßenbahn wurde ein von Beckemühl geschaffenes Schaltwerk im Wagen zentral angeordnet, das für das Anfahren und Bremsen je eine Nockenschaltwalze mit je 15 Stufen enthält. Die Anfahrwalze wird unter der Überwachung durch einen Stromwächter von einem Solenoid selbsttätig bewegt, die Bremswalze mittels eines Fußhebels über ein Gestänge durch die Körperkraft des Fahrers betätigt. Die Widerstände zu beiden Walzen sind voneinander getrennt. Beachtenswert ist die konstruktive Durchbildung des Anfahrchaltes, bei dem mit nur 12 Nockenschaltern 22 Widerstandsstufen erzielt werden. Neuerdings ging man auch zu der Entwicklung vielstufiger handbedienter Fahrshalter über, die auf dem Führerstand wie bisher angeordnet werden können. Das hierbei angewendete Schaltverfahren erzielt mit nur 16 Nockenschaltern 30 Fahrstellungen einschließlich der Reihen- und Parallelschaltung und Feldschwächung der Motoren, sowie 21 Bremsstellungen. Die Abmessungen dieser Fahrshalter bleiben im Rahmen der üblichen. Wenn auch bei einer 22stufigen Anfahr- bzw. 15stufigen Bremsung der Mittelwert der Zug- bzw. Bremskraft schon 90 bzw. 83% des größten Spitzenwertes beträgt, so hat man, um das Anfahr- und Bremsvermögen noch weiter zu steigern, die Stufenzahl noch weiter vermehrt, womit Funkenbildung an einem dann zu verwendenden Schaltkollektor aus-

geschlossen ist, so daß der Regelvorgang auch frei von Rundfunkstörungen sein wird. Das Feinschaltwerk weist  $3 \cdot 80 = 240$  rastenlose Stufen in der Motorserienschaltung, weitere 80 Feinstufen in der Motorparallelschaltung und 240 Bremsstufen auf. Die ein geschlossenes Ganzes bildende Kollektorschalteneinrichtung ist infolge ihrer gedrängten Bauart auch für eine zentrale Unterbringung im Triebwagen bestens geeignet.

Die Fachgruppe „Stromrichter“ brachte ebenfalls recht interessante Vorträge. Dr. Ing. Meyer, Berlin verglich die Betriebseigenschaften des Marx-Stromrichters mit denen anderer Stromrichter für Spannungen über 1000 V. Der Marxsche Stromrichter hat im Laufe der letzten Jahre so weitgehende Verbesserungen erfahren, daß er heute zu den kräftigsten seiner Art zählt. Mit einem einzigen Element ist es heute möglich, hohe Sperrspannungen und große Ströme zu beherrschen, ohne daß die Elektroden einer zu großen Abnutzung unterworfen sind. Die Ventile sind bisher laboratoriumsmäßig gebaut worden für Betriebsspannungen von 380 bis 700 000 V und für Stromstärken von 0,2 bis 1000 A, wobei große Stromstärken auch für hohe Spannungen anwendbar sind. Der Wirkungsgrad der Gleichrichter ist bei hohen Spannungen sehr günstig. Der Zündvorgang wie die Löschung im Stromrichter läßt sich durch entsprechend geformte Elektroden, Gegenelektroden, mit richtigem Winddruck und durch Wasserkühlung der Elektroden einwandfrei herbeiführen. Mit einer Hilfsfunkenstrecke, die mit hochfrequenten, niedergespanntem Strom zum Überschlag gebracht wird, bringt man die Zündung zwischen den Hauptpolen in Gang. Das Gegenfeld und die Windführung bewirkt, daß beim Absinken der Spannung der Lichtbogen erlischt, um erst bei der nächsten Halbwelle wieder aufzuflammen. Durch die Verbesserung des Zündvorganges sind die Verluste wesentlich herabgedrückt worden und damit erweiterte sich der Anwendungsbereich des Ventils. Bei Betriebsspannungen von 1000 bis 20 000 V sind die Verluste gegenüber anderen Gleichrichterarten etwas größer. Seine kräftige Bauart jedoch macht den Marxschen Gleichrichter allen anderen wieder überlegen. Er ist unempfindlich gegen Erschütterungen und Temperaturschwankungen, weshalb er auch im Freien aufgestellt werden kann. Ferner sind bei ihm bei Stromrichtungsänderungen keinerlei Umschaltungen nötig. Bei Spannungen über 20 000 V und großen Leistungen kommen nur Lichtbogenstromrichter in Frage. Selbst bei sehr hohen Spannungen und Kleinleistungen hat er wegen seines einfachen Aufbaues gegenüber anderen Gleichrichtern den Vorzug. Es ist vielleicht nur noch eine Frage der Zeit, um mit ihm das Problem der Gleichstrom-Hochspannungsübertragung zu lösen.

Der von Obering. Alfred Siemens, Berlin, gehaltene Vortrag über Hochspannungs-Eisenstromrichter mit Luftkühlung brachte die neuesten Errungenschaften auf diesem Gebiet. Er führte u. a. aus, daß es gelungen sei, neue Vakuumdichtungen zu bauen, bei denen mittels Weichlot die mit Porzellan umhüllten Strom-einführungen und dem Eisengehäuse abgedichtet werden. Die hiermit erzielten Ergebnisse wirkten sich bei den Neukonstruktionen sehr gut aus. Durch geeignete Porzellanumhüllungen der Anoden und Gitter hat man hohe Spannungsfestigkeit und gute Steuereigenschaften erreicht. Durch die Anbringung von Lüftern und den Einbau von Kühltangas im Vakuumkessel, dessen Kühlwasser in besonders angebrachten Luftkühlern wieder rückgekühlt wird, ferner durch die Neukonstruktion einer luftgekühlten Hochvakuumpumpe ist der Wirkungsgrad der Anlage verbessert worden. Kleinere Einheiten können heute auch mit Eisengehäuse und luftgekühlt bezogen werden. Ferner ist es gelungen, durch die oben erwähnten Neuerungen Eisengleichrichter für hohe Spannungen zu bauen, so daß das Problem der Fernübertragung von hohen Gleichspannungen vielleicht schon in kurzer Zeit gelöst werden kann.

## Berichtigung.

In Heft 9 vom 1. Mai 1935 hat unser R. D.-Berichterstatter auf Grund von Veröffentlichungen in Revue général Chemin de fer und in Engineering über die von den französischen Bahnen beschafften Meßwagen für Lokomotiven und den neu geschaffenen Lokomotivprüfstand in Vitry sur Seines berichtet und darin an verschiedenen Stellen zum Ausdruck gebracht, daß sich diese Einrichtungen an die entsprechenden Einrichtungen der Deutschen Reichsbahn anlehnen.

Wir werden darauf aufmerksam gemacht, daß dies nicht zutrifft, die wesentlichen Einrichtungen vielmehr selbständig von

dem Leiter der Versuchsabteilung des Office Central d'Etudes de Matériel de Chemin de fer, Herrn Oberingenieur Place entwickelt wurde. Insbesondere sind die Kraftmesser und Bremsen in Vitry und in Grunewald vollkommen verschieden. Der Entwurf des französischen Zentralamtes für den Prüfstand war im Dezember 1929, als Krupp mit den Entwürfen betraut wurde, bereits beendet.

Wir geben diese Richtigstellung unseren Lesern gerne zur Kenntnis.

Die Schriftleitung.