

zwar dient zu ihrer Aufnahme ein im Straßenkörper liegender Kanal aus Beton, in dem die Profileisen auf Isolatoren ruhen. Gewöhnlich liegt der Kanal unter einer der Fahrschienen, so daß diese, die dann zweiteilig ausgeführt wird, die Decke des Kanals bildet und im Scheitel einen Schlitz von ca. 30 mm Breite freiläßt. Der Schlitz dient zur Einführung des unterirdischen Stromabnehmers und außerdem als Spurrille für die Spurkränze der Räder (Fig. 505). Zwei bewegliche

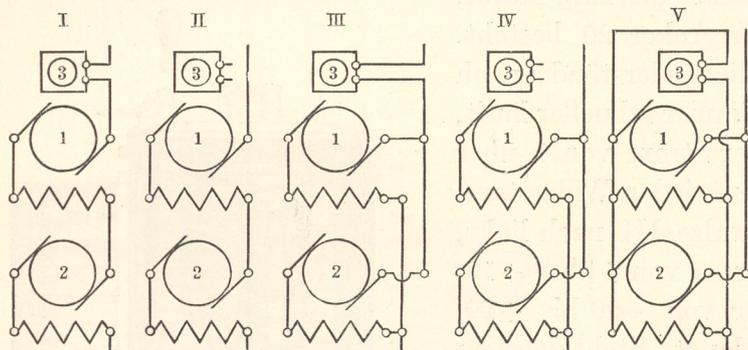


Fig. 504. Zusammenschaltung zweier Wagenmotoren.

(federnde) Zungen des Stromabnehmers legen sich nach Durchführung durch den Schlitz auf die Stromschienen auf und gleiten während der Fahrt auf ihnen entlang; sie führen Strom den Motoren zu und wieder zurück (*zweipolige* Ausführung). In Amerika findet sich ein ähnlicher Schlitzkanal häufig in der Mitte zwischen beiden Fahrschienen angeordnet. Daß die unterirdische Stromzuführung wenig verbreitet ist, erklärt sich nicht

nur durch die Kostspieligkeit der Anlage, sondern auch dadurch, daß in Gegenden, die mit größeren Schneefällen zu rechnen haben, leicht Betriebsstörungen eintreten.

### 3. Straßenbahnen mit Akkumulatorenwagen.

Lange Zeit herrschte die Tendenz, elektrische Oberleitungen in den Städten zu verbieten, da sie das Straßenbild beeinträchtigen sollten. Unter diesen Umständen versuchte man, Straßenbahnen mit Akkumulatoren zu betreiben. Die Akkumulatorenbatterie war unter den Sitzen angebracht und wurde an den Endpunkten der Fahrstrecke geladen. Diese Betriebsart hat sich aber als durchaus unwirtschaftlich erwiesen und ist für Straßenbahnen ganz wieder verschwunden. Dagegen beginnen sich Akkumulatorenwagen für andere Zwecke neuerdings einzuführen; wir kommen darauf Seite 226 zurück.

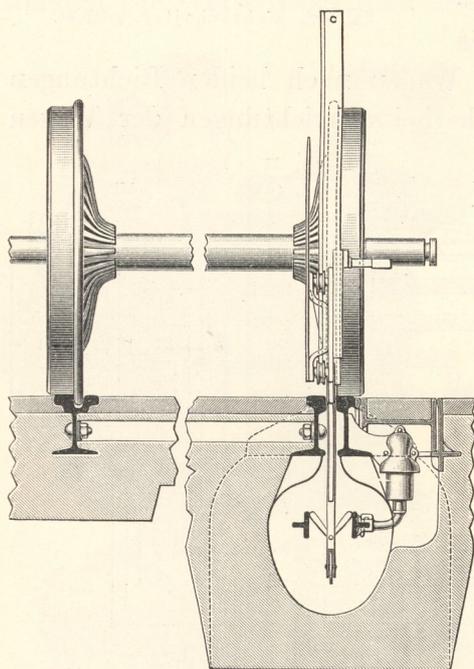


Fig. 505. Unterirdische Stromzuführung.

so daß zufällige Kurzschlüsse kaum zu befürchten sind. Wo solche doch möglich sind, wird die Stromschiene einseitig überdacht. Fig. 506 zeigt die Anordnung der Stromschiene, Fig. 507 die Art der Stromabnahme; dabei ist meist jeder Stromabnehmer doppelt am Wagen vorhanden.

Bei der oberirdischen Stromzuführung der Fernbahnen legt man besonderen Wert darauf, daß der Fahrdrabt keinen starken Durchhang hat. Vielmehr muß der Draht möglichst wagerecht liegen, damit die Stromabnehmerbügel trotz der großen Geschwindigkeit sicher am Draht entlang gleiten. Dieser Durchhang wäre aber bei einfacher Aufhängung um so mehr zu erwarten, als der Fahrdrabt bei langen Strecken und mit Rücksicht auf die erforderliche Festigkeit verhältnismäßig stark genommen werden muß, also hohes Gewicht hat. Deshalb verbindet man neuerdings

## II. Elektrische Fernbahnen.

Unter *Fernbahnen*, als Gegensatz zu den Straßenbahnen, sind hier auch die elektrisch betriebenen Stadt- und Ringbahnen zu verstehen. Bei diesen kommt außer der oberirdischen Stromzuführung vorzugsweise die Stromzuführung *mittels dritter Schiene* in Betracht, wobei allerdings ein besonderer, von anderem Verkehr abgeschlossener Bahnkörper Bedingung ist. Die Stromschiene ist aber nicht, wie bei der ersten Siemesschen Bahn, zwischen den Schienen angeordnet, sondern seitwärts vom Gleis und etwas erhöht,

(Fig. 508) den Fahrdrabt mit einem über ihm in Form einer Kettenlinie aufgehängten stählernen Tragedraht oder Trageseil in kurzen Abständen. Diese Aufhängung macht außerdem im Fall eines Drahtbruches das Herabfallen des stromführenden Fahrdrabtes auf die Erde unmöglich.

### 1. Vollbahnen mit Gleichstrom.

Als man anfang, den elektrischen Betrieb über das Gebiet der Straßenbahnen hinaus auf die Vollbahnen zu übertragen, benutzte man naturgemäß auch hier zunächst Gleichstrom. Dabei ließ man die Züge durch eine vorgespannte *elektrische Lokomotive* ziehen, die die Motoren enthielt, und der der Strom durch Oberleitung oder eine Seitenschiene zugeführt wurde. Diese Versuche hatten jedoch, wenigstens bei eigentlichen Fernbahnen, wenig Erfolg, und man beschränkte sich daher auf Stadt- und Vorortbahnen. Die Lokomotive nahm dann die Form des *Triebwagens* an, der nur in kleinen Stirnabteilungen die elektrischen Bedienungsapparate enthält, im übrigen aber gleichzeitig als Personenwagen dient. Ein oder mehrere *Triebwagen* ziehen eine Reihe anderer, nicht mit Elektromotoren ausgestatteter *Beiwagen (Anhängewagen)*.

Bei solchen Zügen, deren Triebkraft sich auf mehrere *Triebwagen* verteilt, ist die Anordnung eines gewöhnlichen *Kontrollers* im Führerstand schwierig und wird bei größeren Zügen ganz unmöglich, weil dann der *Kontroller* für die große Stromstärke sämtlicher Motoren des Zuges zu bemessen wäre, und weil alle Wagen durch zahlreiche *Starkstromkuppelungen* verbunden werden müßten. Man ordnet deshalb bei größeren Zügen in jedem *Triebwagen* *Fahrschalter* unter den Sitzen oder *Wagenkasten* an, versieht die *Walzen* mit kleinen Motoren und regelt diese alle zugleich vom jeweiligen vorderen Führerstande aus mittels eines kleineren *Fahrschalters* für die schwachen *Steuerströme*. Hierbei ist die *Leitungskuppelung* für die *Steuerströme* einfach, und die *Starkstromkuppelungen* können größtenteils oder ganz erspart werden. Statt der *Schaltwalzen* für die *Motorströme* ordnet man auch *Einzelschalter*, sogenannte *Schützen*, an (*Schützensteuerung*) und öffnet oder schließt sie elektromagnetisch oder mittels *Druckluftkolben*; die *Meisterwalze* (*Steuerschalter*) im Führerstande steuert dabei die *Elektromagnete* der *Schützen* direkt oder aber die mit *Elektromagneten* versehenen *Ventile* des *Druckluftantriebes*.

Zum *Bremsen* werden die *Motoren* von der *Oberleitung* abgeschaltet und durch regelbare *Widerstände* kurzgeschlossen. Die *Motoren* arbeiten dann als *Generatoren*, deren *Antriebskraft* die lebendige *Kraft* des *Wagens* ist; man bezeichnet diese Anordnung als *elektrische Bremse* oder *Kurzschlußbremse*. Sie wirkt bei schneller *Fahrt* rasch verlangsamernd, muß aber zum *Anhalten* sowie zur *Hemmung* auf fallender *Strecke* durch eine *mechanische Bremse* unterstützt werden. Beim *Betrieb* mit *Anhängewagen* führt man vielfach durch *Kuppelungen* den beim *Bremsen* erzeugten *Strom* statt in *Widerstände* in *Magnetbremsen* des *Anhängewagens*. Die *Magnetbremse* besteht aus *Ankerscheiben*, die auf den *Wagenachsen* festgekeilt sind, also mit *umlaufen*; in geringer *Entfernung* vor den *Ankerscheiben* sitzt am *Untergestell* ein *unbewegliches Elektromagnetsystem*, das bei *Erregung* durch den *Bremsstrom* die *Ankerscheibe* anzieht und die *Drehung* der *Wagenachse* hemmt.

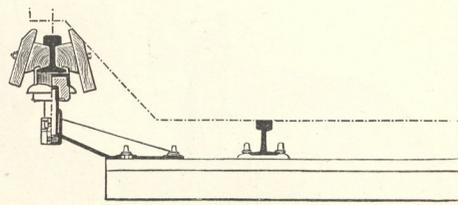


Fig. 506. Anordnung der Stromschiene.

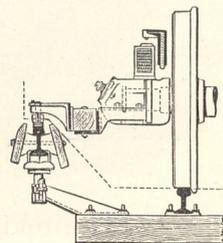


Fig. 507. Stromabnehmer auf der Stromschiene.

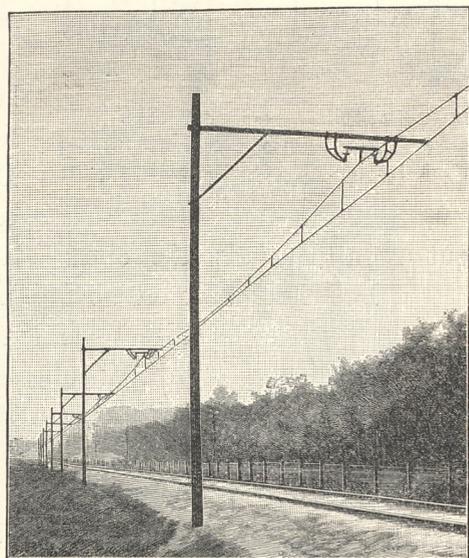


Fig. 508. Kettenaufhängung der Fahrleitung.

## 2. Vollbahnen mit Wechselstrom.

Für die elektrische Kraftübertragung auf größere Entfernungen eignet sich (vgl. S. 197) nur hochgespannter Wechselstrom. Zuerst verfiel man für den Bahnbetrieb auf den *dreiphasigen*

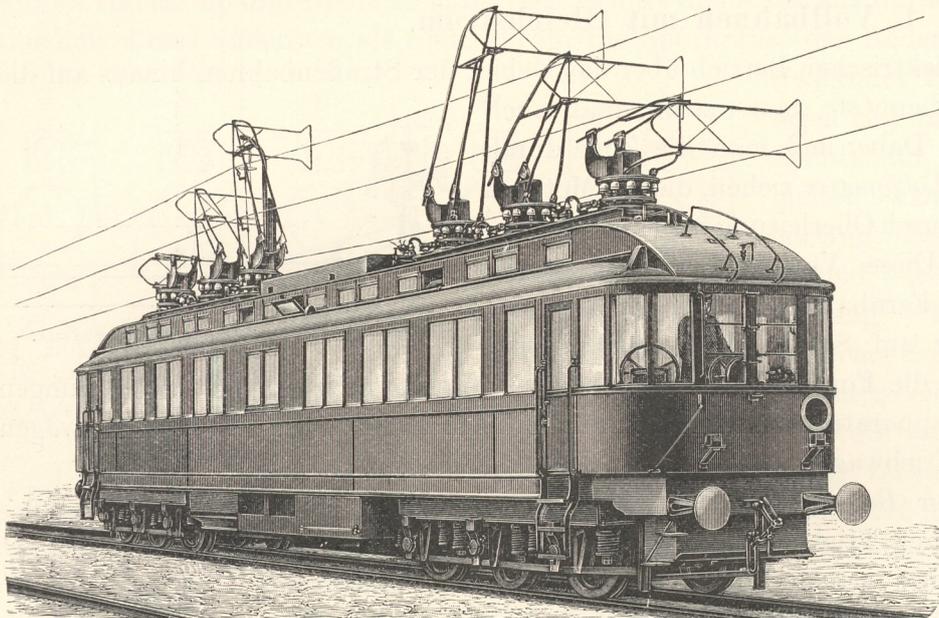


Fig. 509. Wagen der elektrischen Versuchsschnellbahn.

Wechselstrom (Drehstrom), da es zu jener Zeit (um 1900) Einphasenmotoren für den Bahnbetrieb noch nicht gab. Es bliebe freilich auch der Weg, den hochgespannten Wechselstrom zu besonderen, an der Bahnstrecke gelegenen Unterstationen zu leiten und ihn dort in Gleichstrom umzuwandeln, der dann den Arbeitsleitungen zugeführt wird. Aber solche Unterstationen sind teure Anlagen und müssen in verhältnismäßig geringen Entfernungen vorhanden sein.

Bei direkter Verwendung des Wechselstroms in den Bahnmotoren kann man wieder noch verschieden verfahren: Entweder wandelt man die Hochspannung in Transformatoren in Niederspannung um, die mittels der Arbeitsleitungen den Wechselstrommotoren der Fahrzeuge zugeführt wird. Oder man führt die Hochspannung den Arbeitsleitungen und Fahrzeugen direkt zu und transformiert erst im Wagen nur für die zu bedienenden Apparate und den entsprechenden Teil der Motoren den jeweils nötigen Stromteil in Niederspannung.

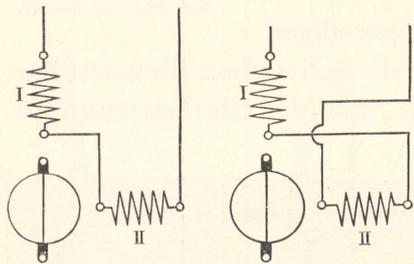


Fig. 510.

Fig. 511.

Schema des Repulsionsmotors mit zwei Wickelungen. Fig. 510 Rechtslauf, Fig. 511 Linkslauf.

Der Drehstrom hat aber viele Nachteile. Vor allem verlangt er drei Leitungen, was bei großen Strecken eine erhebliche Verteuerung der Anlage nach sich zieht; außerdem hat der Drehstrommotor die Eigenschaften des Gleichstrom-Nebenschlußmotors, d. h. seine Geschwindigkeit läßt sich weniger gut regulieren als die eines Hauptstrommotors.

Drehstrombahnen sind immerhin in großer Zahl gebaut worden, und man hat mittels dieses Systems auch die höchsten bisher überhaupt erreichten Eisenbahngeschwindigkeiten erzielt.

Dies geschah bei Schnellbahnversuchen auf der Militärbahn zwischen Marienfelde und Zossen in den Jahren 1901—03, wo man mit Motorwagen der in Fig. 509 abgebildeten Form Stundengeschwindigkeiten bis zu 210 km erreichte. Die Wagen, die mit zweimal drei Kontaktarmen ausgerüstet waren, hatten beim Anfahren einen Kraftbedarf zwischen 550 und 1000 PS, während dieser in gleichförmiger Fahrt bei einer Geschwindigkeit von 90 km sich auf 245 PS, bei 140 km Geschwindigkeit sich bereits auf 707 PS belief.

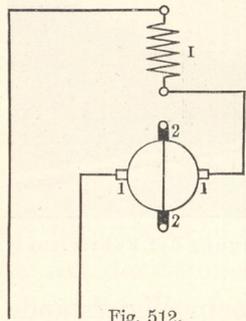


Fig. 512.

Schema des Winter-Eichberg-Motors.

Seitdem man brauchbare Einphasenmotoren besitzt, wird der Drehstrom für den Bahnbetrieb immer mehr durch den einphasigen Wechselstrom verdrängt. Die Induktionsmotoren für Einphasenstrom sind für den Bahnbetrieb unverwendbar, weil sie den Forderungen nicht genügen: mit voller Last anzugehen und in Tourenzahl und Drehungsrichtung weitgehend verändert werden zu können. Um so mehr eignen sich dafür die

*Kommutatormotoren* (vgl. S. 173), und zwar sowohl in der Form des Serienmotors als des Repulsionsmotors. Das Schema des letzteren ist in Fig. 371, S. 173, dargestellt. Will man einen Repulsionsmotor umsteuern, wie dies ja für Bahnbetriebe oft nötig ist, so muß man die Bürstenbrücke nach der entgegengesetzten Seite verschieben. Gewöhnlich trifft man aber eine andere Anordnung: Man bringt zwei Statorwickelungen an, die aufeinander senkrecht stehen (Zweiphasenwicklung), und schaltet beide Wickelungen hintereinander (Fig. 510). Wickelung I will ein Feld in vertikaler Richtung, Wickelung II ein Feld in horizontaler Richtung hervorrufen; die Ankerbürsten stehen vertikal. Der Strom, der von Wickelung I (Induktionswicklung) aus durch Transformation im Anker erzeugt wird, bewirkt in dem von der Wickelung II (Erregerwicklung) hervorgerufenen Felde eine Drehung. Grundsätzlich ist zwischen dem Repulsionsmotor mit einfacher und dem mit zweifacher Statorwicklung kein Unterschied, denn wenn von

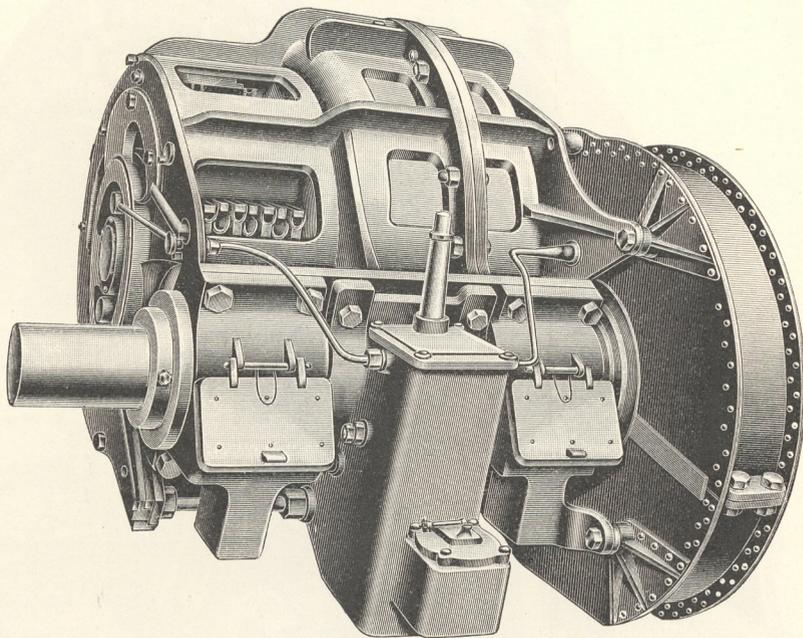


Fig. 513. Wechselstrommotor, Bauart Winter-Eichberg (350 PS Stundenleistung, 25 Perioden).

zwei Spulen die eine ein schwingendes Feld in senkrechter Richtung, die andere ein solches in wagerechter Richtung erzeugen will und beide von demselben Strome durchflossen werden, so ruft dies eine Schwingung in schräger Richtung (gegenüber den Ankerbürsten) hervor. Um die Drehrichtung eines solchen Motors umzukehren, vertauscht man einfach die Anschlüsse der Spule II, so daß das Schaltschema Fig. 511 entsteht.

Ganz besondere Bedeutung für den Bahnbetrieb hat eine Abart dieser Motoren erlangt, nämlich der *Repulsionsmotor* mit *Ankererregung*, wie er von Eichberg und Winter, andererseits von

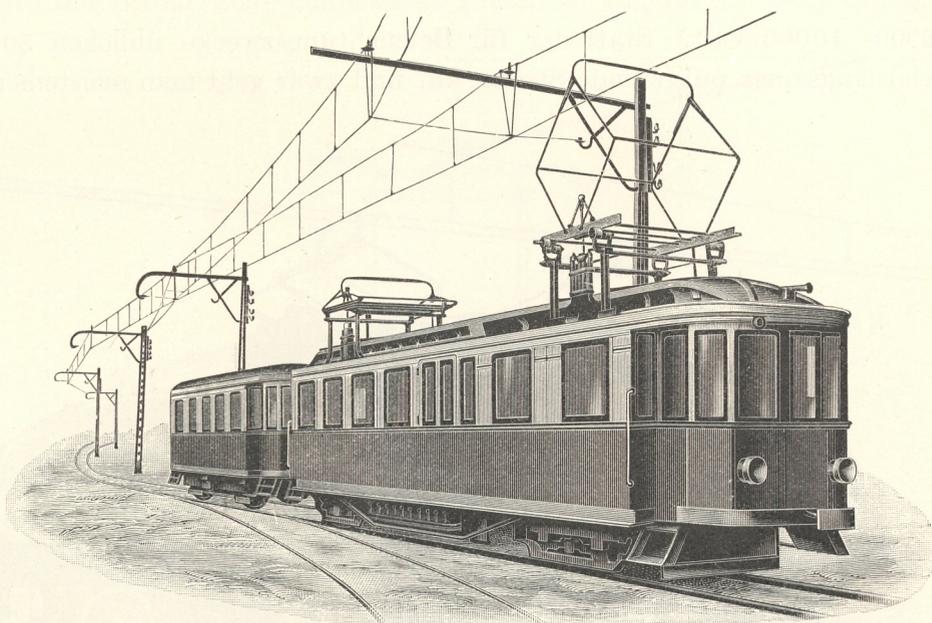


Fig. 514. Triebwagen mit Anhängewagen der A. E. G. (Wechselstrombahn Padua-Fusina).

Latour konstruiert worden ist. Der Winter-Eichberg-Motor hat statt der Statorwicklung II des Repulsionsmotors (Fig. 510) auf dem Anker ein zweites Bürstenpaar 1, 1 in horizontaler Richtung, das mit der Wickelung I hintereinander geschaltet ist, so daß das Schema Fig. 512 entsteht. Dadurch, daß Strom den Anker von der rechten zur linken Bürste 1, 1 durchfließt, entsteht im Anker ein Feld in horizontaler Richtung, gleich als ob eine Erregerwicklung II vorhanden wäre; 2, 2 sind die Bürsten der Kurzschlußwicklung. In Wirklichkeit benutzen Winter und Eichberg zur Ankererregung nicht unmittelbar den Motorstrom, sondern bringen ihn durch Zwischenschaltung

eines sogenannten Erregertransformators auf einen anderen Wert; hierdurch wird die Abhängigkeit der Statorwicklung von der Ankerwicklung beseitigt, und der Motor behält die Eigenschaft

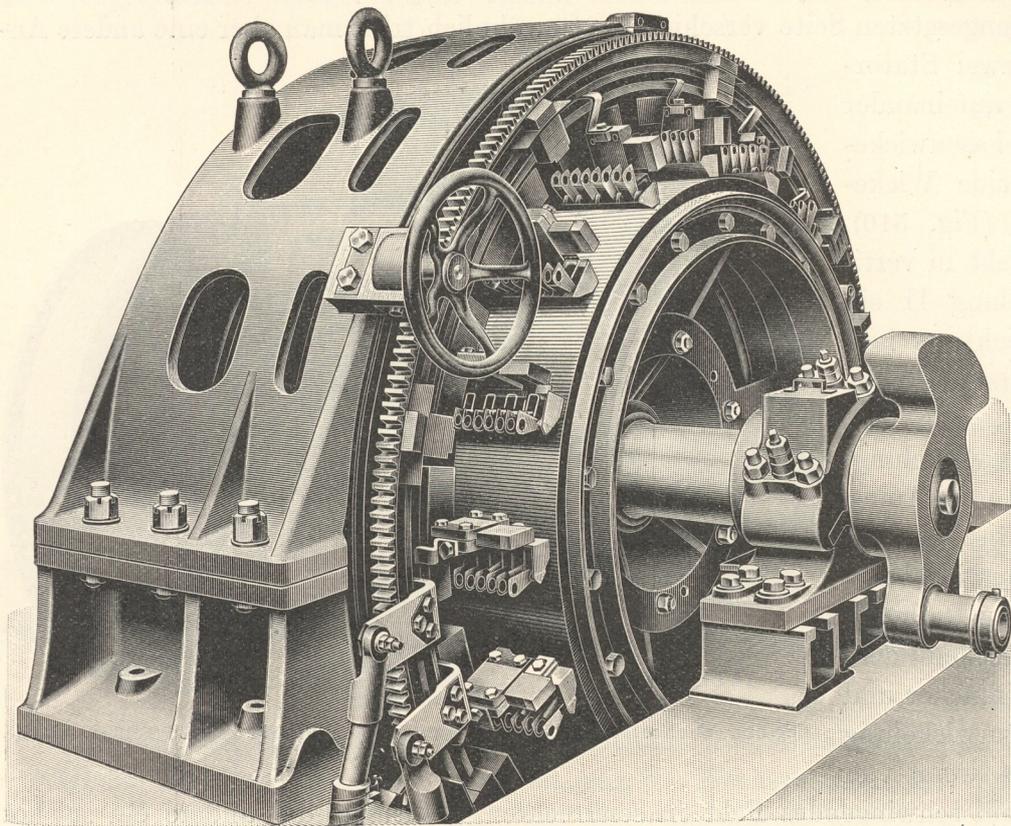


Fig. 515. Lokomotivmotor der Siemens-Schuckert-Werke (1600 PS, 15 Perioden, 10000 Volt, 400 Umdrehungen in der Minute).

des Repulsionsmotors, für höhere Spannungen ausführbar zu sein. Durch Änderung des Übersetzungsverhältnisses können in gewissen Grenzen Drehzahl, Leistungsfaktor und Kurzschlußspannung unter den Bürsten reguliert werden. Die Außenansicht eines großen Wechselstrommotors der Bauart Winter-Eichberg für 350 PS Stundenleistung zeigt Fig. 513.

Der Einphasenstrom kommt für den Bahnbetrieb mit recht hoher Spannung zur Verwendung, und zwar mit

6000—10000 Volt. Statt der für Beleuchtungszwecke üblichen 50 Perioden wendet man jetzt viel langsamer pulsierende Ströme an, und zwar geht man meistens auf  $\frac{1}{3}$  der üblichen Perioden,

d. h. auf  $15-16\frac{2}{3}$  Perioden pro Sekunde, herab. Für Vorortbahnen vereinigt man noch immer die Motoren

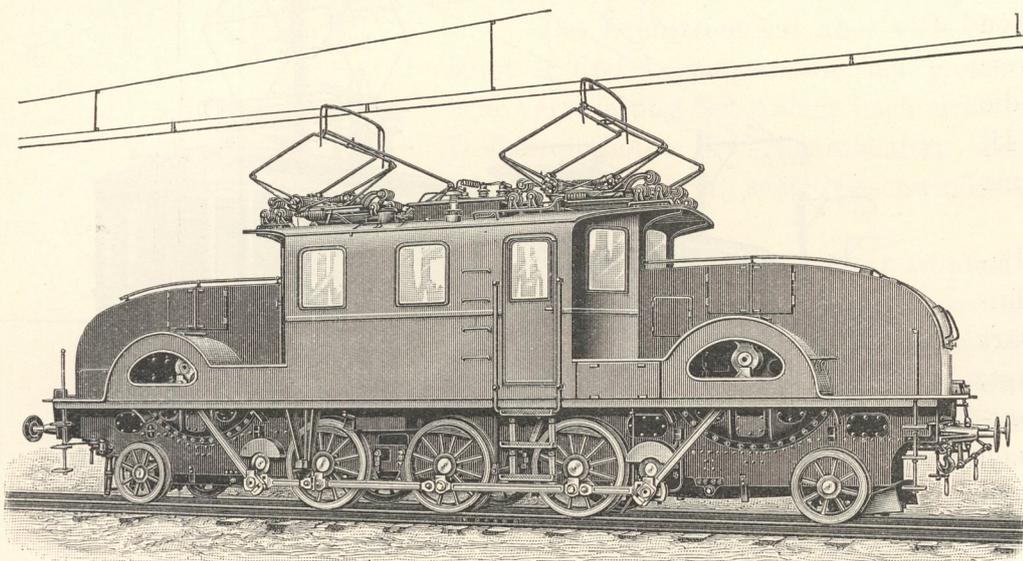


Fig. 516. Wechselstromlokomotive der Siemens-Schuckert-Werke (1-C-1, 1050 PS).

und Bedienungsapparate mit Personenwagen zu *Triebwagen*; einen solchen der Bahn Padua-Fusina (erbaut von der A. E. G.) zeigt Fig. 514.

Zum Ziehen schwerer Vollbahnzüge muß man be-

sondere *elektrische Lokomotiven* bauen. Die neueren Lokomotivmotoren erreichen hohe Leistungen und nehmen entsprechend viel Platz fort. Einen solchen Motor für 1600 PS Stundenleistung bei 15 Perioden, 10000 Volt, 400 Umdrehungen in der Minute, erbaut von den Siemens-Schuckert-Werken, zeigt Fig. 515. Für derartig große Motoren eignet sich die Zahnradübersetzung nicht mehr; man lagert die Motoren vielmehr hoch und fest im Lokomotivgestell und läßt sie

mittels einer Blindwelle und eines Parallelkurbelgetriebes auf die Triebräder wirken. Die Wechselstromlokomotive der Badischen Staatsbahn (Fig. 516) für 1050 PS läßt dies deutlich erkennen; sie enthält an jedem Ende einen Motor und in dem Raum dazwischen die Bedienungsapparate. Auch die eigenartige Form der Stromabnehmer ist daraus zu ersehen.

Die erste elektrisch betriebene

Hauptbahnstrecke Deutschlands bildet die Wechselstrombahn Dessau-Bitterfeld, die 1911 eröffnet wurde; sie ist nur ein 27 km langer Teil der für elektrische Zugförderung vorgesehenen Strecke Magdeburg-Halle-Leipzig (118 km) und hat Schnell-, Personen- und Güterzugverkehr, der ausschließlich elektrisch erfolgt. Der Generator erzeugt Ein-

phasenstrom von 3000 Volt und 15 Perioden. Transformatoren bringen den Strom auf 60 000 Volt, und mit dieser Spannung wird der Strom dem Unterwerke Bitterfeld zugeführt. Dort erfolgt die Rücktransformation auf

10 000 Volt, und diese Spannung wird in die Fahrdrathleitung geschickt. In Fig. 517 ist eine Güterzuglokomotive dieser Bahn wiedergegeben; bei ihr sind sämtliche Achsen als Triebachsen gekuppelt, um hohe Zugkraft zu erzeugen. Die Anordnung der Schnellzuglokomotiven legt mehr Wert auf die Erzielung hoher Zuggeschwindigkeiten; es werden mühelos solche von 110 km in der Stunde erreicht.

Die elektrische Lokomotive hat gegenüber der Dampflokomotive den Vorteil, stets betriebsbereit zu sein und beliebig lange Strecken ununterbrochen durchfahren zu können, während die Dampflokomotive nach ca. 200 km gewechselt werden muß und überhaupt durch Anheizen, Kohle- und Wassernehmen, Ausschlacken usw. über 50 Proz. der Zeit außer Dienst steht. Deshalb werden bei Einführung des elektrischen Betriebes zur Bewältigung eines gegebenen Fahrplanes nur halb so viel Lokomotiven wie bei Dampf erforderlich.

Auf die zum Teil recht verwickelten Schaltungs- und Regulierungseinrichtungen der Wechselstrombahnen kann hier nicht eingegangen werden.

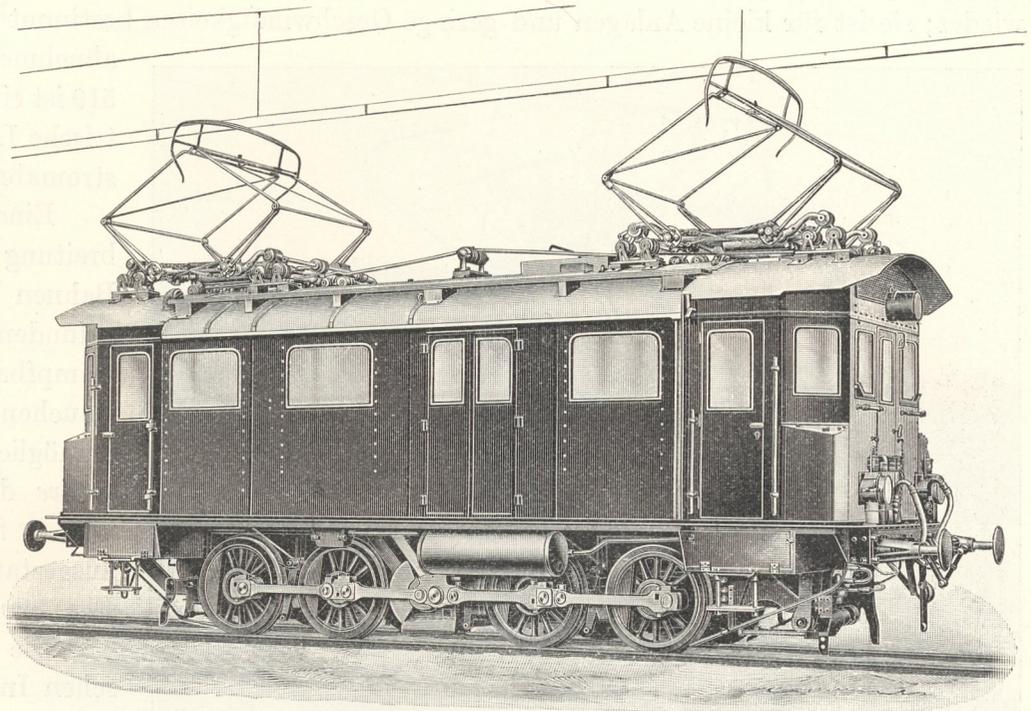


Fig. 517. Elektrische Güterzuglokomotive der Einphasenstrombahn Dessau-Bitterfeld.

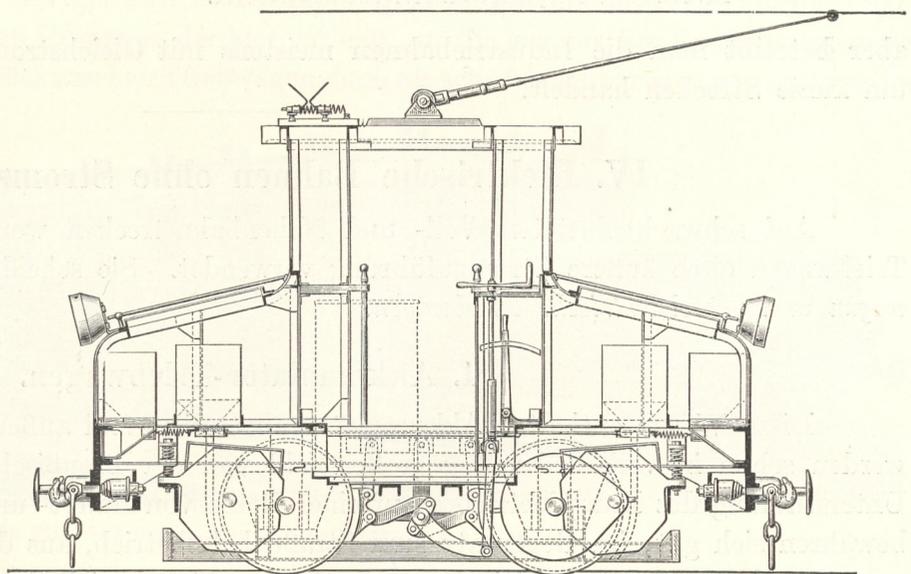


Fig. 518. Schmalspurige elektrische Lokomotive für Industriebahnen.