

Auf andere Metallfadenlampen, wie die *Helionglühlampe* (Kohlenfaden mit einem Mantel von Siliziummetall) und die *Zirkonlampe*, kann hier nicht eingegangen werden.

### 3. Nernstlampe.

Eine besondere Stellung unter den Glühlampen nimmt die Nernstlampe ein, da ihr Glühkörper aus *Metalloxyden* besteht und — ebenfalls im Gegensatz zu Kohlenfaden- und Metallfadenlampen — *in freier Luft* glüht. Die Form des Nernstglühkörpers ist die eines *Stäbchens* aus Magnesia mit Zer- und Thoroxyd. Da die Oxyde dieser Erdmetalle bei niedriger Temperatur außerordentlich hohen elektrischen Widerstand haben und erst in erhitztem Zustande den Strom leiten, ist es nötig, das Glühstäbchen der Nernstlampe vorzuwärmen: Der Strom bringt (Fig. 493) eine Heizspirale 1—2 zum Glühen und erhitzt dadurch das im Innern sitzende Glühstäbchen 3. Hierdurch wird der Widerstand des Glühkörpers geringer, so daß er selbst den Strom leitet und nun in Weißglut gerät. Jetzt wird die parallel zum Glühstäbchen geschaltete Heizspirale 1—2 stromlos, und zwar dadurch, daß der Hauptstrom, weil er das Glühstäbchen 3 passieren kann, auch die Windungen des kleinen Elektromagnets 4 durchfließt, so daß der Anker 5 angezogen und der Heizstromkreis geöffnet wird.

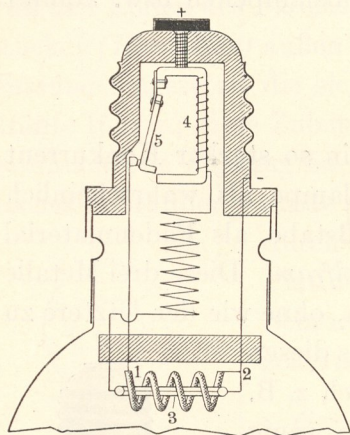


Fig. 493. Nernstlampe.

Die Nernstlampe ist vor allem eine Hochspannungslampe für 220 Volt, wird aber auch für 110 Volt gebaut; ihr Stromverbrauch ist 1,5 Watt pro Hefnerkerze. Unter der Konkurrenz der Metallfadenlampe verschwindet die Nernstlampe allmählich aus dem Verkehr.

## B. Elektrische Bahnen.

Eine besondere Form der elektrischen Kraftübertragung bildet die Ausnutzung der elektrischen Energie zum Transport von Fahrzeugen. Dies gilt wenigstens für die gebräuchlichsten Systeme elektrischer Bahnen. Ohne Fernübertragung arbeiten nur solche Bahnen, die ihre Stromquelle mit sich führen, also Akkumulatorenwagen und benzolektrische Triebwagen.

Die Möglichkeit, elektrische Energie den Fahrzeugen von weither zuzuführen, bietet große Vorteile gegenüber der Verwendung anderer Energieformen, bei denen es fast ausnahmslos nötig ist, daß das bewegte Fahrzeug die ganze Energiequelle mit sich führt. Das gilt vor allem für die Dampfeisenbahnen, bei denen der Heizstoff und das Wasser sowie der Dampfkessel außer der eigentlichen Dampfmaschine mittransportiert werden müssen. Wo dies nicht nötig ist, wie z. B. bei der feuerlosen Lokomotive (vgl. Abteilung „Eisenbahn“), beschränkt sich die Verwendung auf sehr kurze Strecken.

Zum Betriebe einer elektrischen Eisenbahn genügt es, an einem oder einigen Punkten der zu betreibenden Strecke ortsfeste Kraftquellen zu schaffen (Dampfmaschinen, Wasserturbinen usw.) und durch sie elektrische Generatoren treiben zu lassen. Die gewonnene elektrische Energie führt man durch Leitungen den Triebwagen der Bahn zu; die Wagen enthalten Elektromotoren, die die zugeführte elektrische Energie wieder in mechanische umwandeln und auf die Räder übertragen. Die Schwierigkeiten liegen dabei darin, den in Bewegung begriffenen Wagen den Strom sicher zuzuführen, also darin, daß die Stromleitung wegen der wechselnden Entfernung zwischen Stromquelle und Fahrzeug eine fortwährend wechselnde Länge haben muß.

W. v. Siemens, der Erfinder der elektrischen Bahnen, benutzte zuerst (1879) zur Stromzuführung die Schienen, und zwar zur Zuführung eine isolierte Mittelschiene, auf der eine Kontaktvorrichtung des Wagens schleifte, während die Stromrückführung durch die Räder und Außenschienen erfolgte. Dieses System ist aber wenig betriebssicher, da schon bei feuchter Witterung ein Stromübergang zwischen Mittel- und Außenschienen unvermeidlich ist, auch jeder quer auf das Gleis fallende Leiter Kurzschluß hervorruft. Zudem verbietet die Anordnung jede Verwendung höherer Spannungen wegen der Lebensgefahr bei etwaiger Berührung der Schienen.

Man teilt die elektrischen Bahnen nach der Art der Stromzuführung, d. h. nach der Form der *Arbeitsleitungen*, ein in: 1. *Bahnen mit oberirdischer Stromzuführung*, 2. *Bahnen mit unterirdischer Stromzuführung*, 3. *Bahnen mit dritter (Strom-) Schiene* und 4. *Bahnen ohne äußere Stromzuführung*.

Nach der Art des Verwendungszweckes unterscheidet man *Straßenbahnen*, *Stadtbahnen*, *Vollbahnen (Fernbahnen)* und *Industriebahnen*.

## I. Elektrische Straßenbahnen.

### 1. Straßenbahnen mit oberirdischer Stromzuführung.

Für Straßenbahnen kommt die oberirdische Stromzuführung am meisten in Betracht. Das

Schema einer Straßenbahn mit Oberleitung zeigt Fig. 494. In Wirklichkeit ist die Anordnung nicht so einfach, denn sonst würde ein Drahtbruch an irgendeiner Stelle den Betrieb auf der ganzen Strecke unterbrechen, was nicht geschehen darf. Man

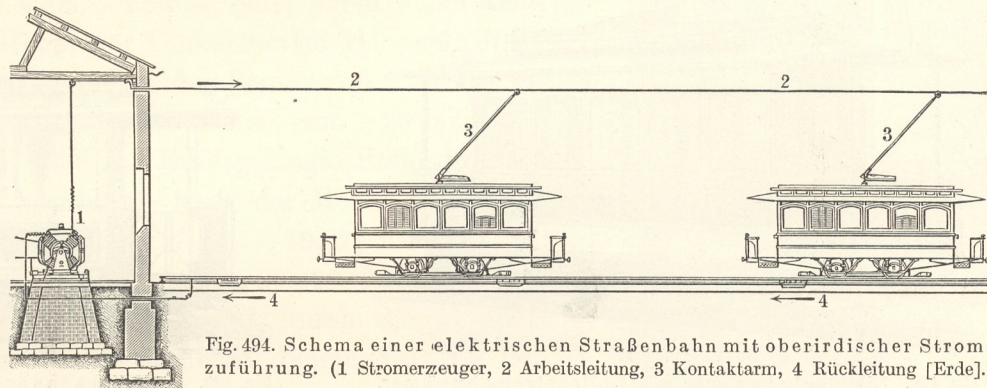


Fig. 494. Schema einer elektrischen Straßenbahn mit oberirdischer Stromzuführung. (1 Stromerzeuger, 2 Arbeitsleitung, 3 Kontaktarm, 4 Rückleitung [Erde].)

führt deshalb vom Generator längs der Strecke eine Hauptstromleitung (*Speiseleitung*), die aber nicht von den Wagenkontakten berührt wird, sondern vor allen Beschädigungen geschützt liegt. Der eigentliche *Fahrdraht (Trolleyleiter)*, über den Gleismitten, wird in Abständen von je 100 bis 300 m mit Strom aus der Speiseleitung versorgt (Schema Fig. 495), so daß bei Störung der Fahrleitung nur eine kurze Strecke stromlos wird.

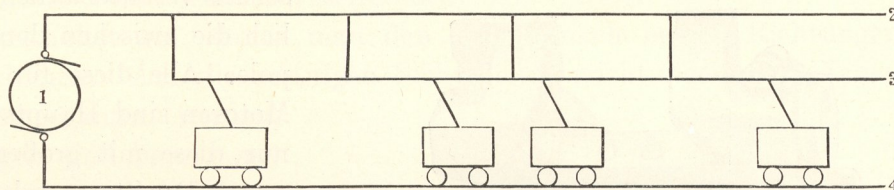


Fig. 495. Schema einer elektrischen Straßenbahn mit oberirdischer Stromzuführung und besonderer Speiseleitung. (1 Stromerzeuger, 2 Speiseleitung, 3 Arbeitsleitung [Fahrdraht], 4 Rückleitung [Schiene].)

Der Fahrdraht (Siliziumbronzedraht) ist isoliert an Querdrähten aus Stahl und mittels dieser, nochmals isoliert, zwischen Rohrmasten aufgehängt (Fig. 496), an deren Stelle oftmals auch Wandrosetten oder Auslegermasten treten.

Als Stromabnehmer vom Fahrdraht dient eine *Kontaktrolle (Trolley, Fig. 497)*, deren Haltestange auf dem Wagendach mittels eines Gelenkes befestigt ist (wegen der wechselnden Höhe des Fahrdrahtes) und durch Federn gegen den Draht gedrückt wird. Einen Straßenbahnwagen mit Rollenkontakt zeigt Fig. 498. Da die Rolle nicht selten vom Fahrdraht abspringt, verwendet man häufig statt ihrer einen *Gleitbügel* (Fig. 499).

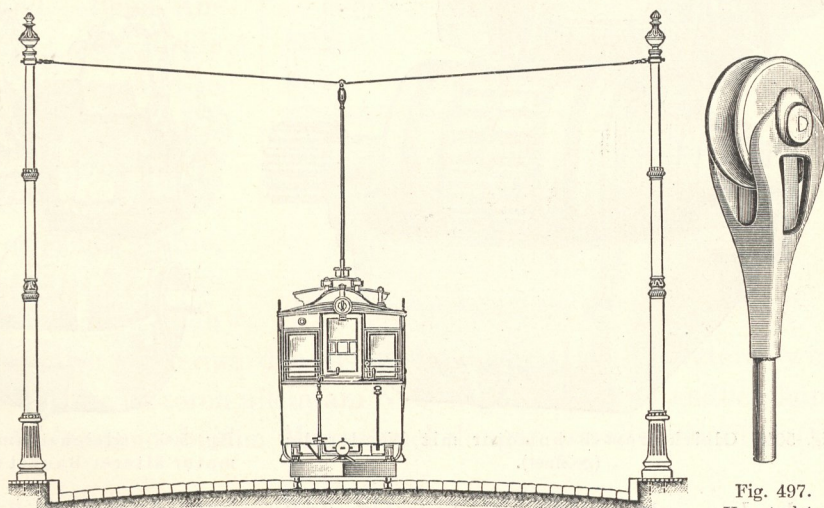


Fig. 496. Aufhängung der Leitung zwischen Rohrmasten.

Fig. 497. Kontaktrolle.

Für hohe Geschwindigkeiten ist der Bügelstromabnehmer die einzig mögliche Kontaktvorrichtung; namentlich wird durch sie die Führung der Drähte über Kurven und Weichen viel einfacher.

Der unten im Wagengestell sitzende Elektromotor ist, um gegen Beschädigungen, Staub und Schmutz geschützt zu sein, vollständig eingekapselt (*Kapselmotor*). Die Übertragung von ihm auf die Radachsen geschieht durch Zahnräder (einfaches Stirnradvorgelege 1:4 bis 1:6). Für Straßenbahnen kommt meistens Gleichstrom von 500—1000 Volt Spannung zur Anwendung. Einen älteren Gleichstrom-Bahnmotor zeigt (geöffnet) Fig. 500. Neuerdings rüstet man die

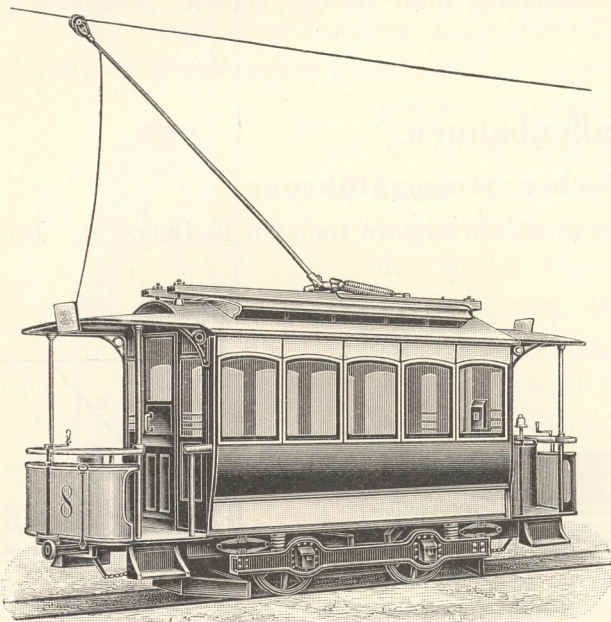


Fig. 498. Straßenbahnwagen mit Rollenstromabnehmer.

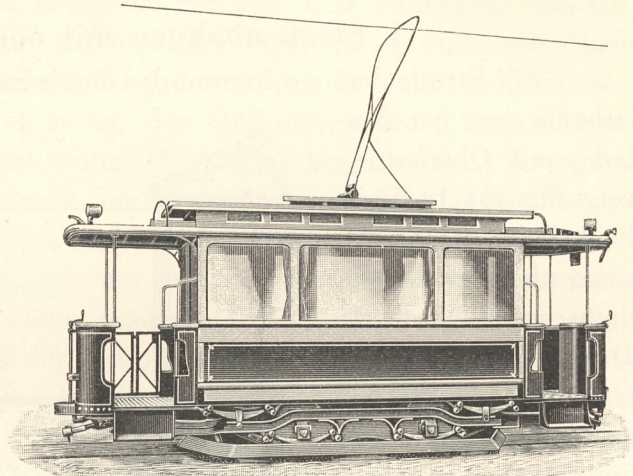


Fig. 499. Straßenbahnwagen mit Bügelstromabnehmer.

Motoren mit Wendepolen (vgl. S. 160) aus, und zwar zu dem Zweck, die Funkenbildung an den Bürsten zum Verschwinden zu bringen; einen solchen Motor der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft veranschaulicht Fig. 501; man erkennt deutlich die zwischen den Hauptpolen liegenden Wendepole. Alle diese für den Bahnbetrieb verwendeten Motoren sind Hauptstrommotoren (vgl. S. 172), da nur diese mit großer Zugkraft anlaufen.

Der Strom gelangt von dem Schleifkontakt aus nicht direkt zum Motor, sondern muß vorher einen *Fahrschalter* (*Kontroller*) passieren, der am Platze des Wagenführers angeordnet ist und dazu dient, die Geschwindigkeit des Wagens zu regeln sowie bei Bedarf auch die Fahrtrichtung umzukehren. Einen Fahrschalter zeigt (geöffnet) Fig. 502. Auf einer Walze, die vom Wagenführer mittels Kurbel gedreht wird, sitzt übereinander eine Reihe von Kontaktstücken, auf denen Federn schleifen können. Die Kontaktstücke werden mit den Ankerdrähten, mit der Magnetwicklung und mit Drahtwiderständen je

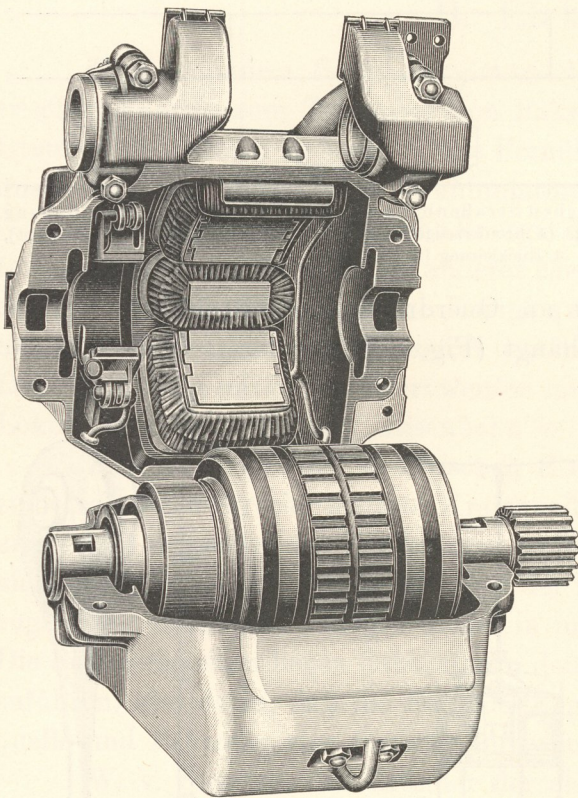


Fig. 501. Gleichstrom-Bahnmotor mit Wendepolen (geöffnet).

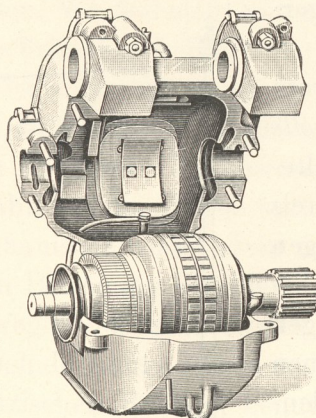


Fig. 500. Gleichstrom-Bahnmotor älterer Bauart (geöffnet).

nach den schleifenden Federpaaren in verschiedener Weise verbunden. Die Geschwindigkeit verändert man durch Einschaltung von Widerständen in den Stromkreis oder dadurch, daß man die mehrfach unterteilte Magnetwicklung parallel oder hintereinander schaltet. Damit der Motor rückwärts läuft, muß man die Stromrichtung im Anker oder in den Magneten (nicht in beiden

gleichzeitig!) umkehren, wozu der Kontroller noch eine zweite Walze (*Reversierwalze*) enthält, die nur bei Fahrtrichtungsänderungen benutzt wird. Das Schema eines ganz einfachen Fahr Schalters mit Reversierwalze zeigt Fig. 503; die Geschwindigkeitswalze ist mit I, die Reversierwalze mit III bezeichnet; II ist das System der Schleiffedern. Der Strom gelangt zuerst nach 1; bei der ersten Stellung von I geht er von 1 nach 10, 11, 2, dann durch alle fünf zwischen 2 und 7 eingeschalteten Widerstände und darauf erst zum Motor, der aus der Magnetwicklung 19 und dem Anker 20 besteht. Durch Weiterdrehen der Kurbel I werden die Widerstände nach und nach ausgeschaltet, so daß der Wagen immer schneller läuft. Schleift z. B. Kontakt 16 auf 7, so geht der Strom von 1 über 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 nach 7 und so ohne jeden Widerstand zum Motor. Steht der Hebel der Umkehrwalze III nach links, so läuft der Motor vorwärts, indem der Strom von 7 über +19, -19, 21, 22, 23, 26, dann durch den Anker von -20 bis +20, nach 27, 24, 25, 28, 8, 17, 18, 9 zur Erde gelangt. Steht dagegen der Hebel von III nach rechts, so läuft der Motor rückwärts, denn der Strom gelangt von 7 über +19, -19, 21 nach 29, 31, 27, durch den Anker von +20 nach -20, 26, 30, 32, 28, 8, 17, 18, 9 zur Erde, d. h. die Stromrichtung durch die Magnetwindungen ist dieselbe geblieben, während diejenige durch den Anker umgekehrt worden ist.

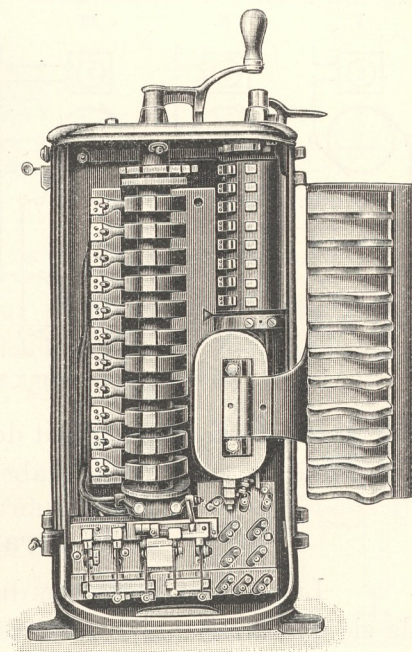


Fig. 502. Fahr Schalter, geöffnet.

Da an den Kontaktstücken der Fahr Schalter leicht Lichtbogen entstehen, so enthält der Fahr Schalter noch eine magnetische Ausblasevorrichtung. Auch weist jede Stirnseite des Wagens einen besonderen Fahr Schalter auf, damit man den Wagen nach beiden Richtungen führen kann, ohne ihn umzudrehen. Auf die sonstigen Sicherheitsvorrichtungen der Wagen soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden.

Größere Straßenbahnwagen sind immer mit mehreren Motoren ausgestattet; auch hat das Fahrgestell sehr häufig mehr als zwei Achsen.

Enthält der Wagen mehrere Motoren, so legt man sie zusammen in eine Schaltung (Fig. 504); in der Figur bezeichnet 1 den ersten Motor, 2 den zweiten Motor und 3 den Widerstand. Beim Anfahren (Stellung I der Figur) schaltet man beide Anker und beide Magnete mit dem Widerstand in Reihe. Zur Erhöhung der Geschwindigkeit werden die Widerstände allmählich abgeschaltet; ist dies ganz erfolgt (II), so hat die Geschwindigkeit die Hälfte des Wertes, den jeder Motor erreichen würde, wenn er allein an der Spannung läge. Zwecks weiterer Geschwindigkeitssteigerung schaltet man nun beide Motoren parallel und legt dabei wiederum den Widerstand vor (III). Letzterer wird dann wieder allmählich abgeschaltet, bis die Motoren allein am Netz liegen (IV), und endlich kann man für größte Tourenzahlen den Widerstand beiden Magnetwickelungen parallel schalten (V).

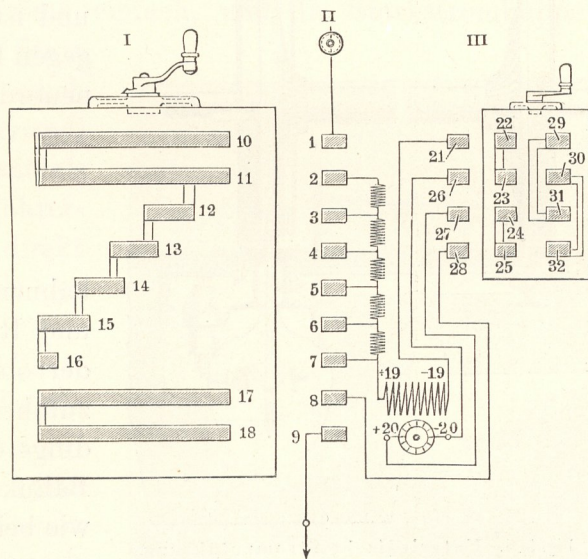


Fig. 503. Schema eines einfachen Fahr Schalters.

## 2. Straßenbahnen mit unterirdischer Stromzuführung.

Solche sind in der Anlage viel teurer als Bahnen mit Oberleitung und werden nur noch verhältnismäßig selten angelegt. Bei diesem System bestehen die beiden Arbeitsleitungen (Hin- und Rückleitung) aus schmiedeeisernen, meist T-förmigen Profilleisen, die unterirdisch liegen, und

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

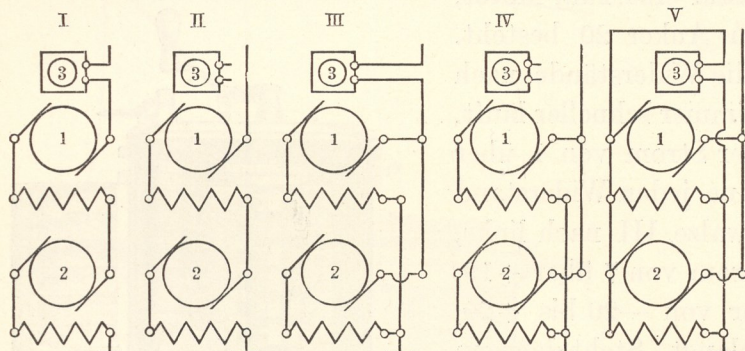


Fig. 504. Zusammenschaltung zweier Wagenmotoren.

(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.

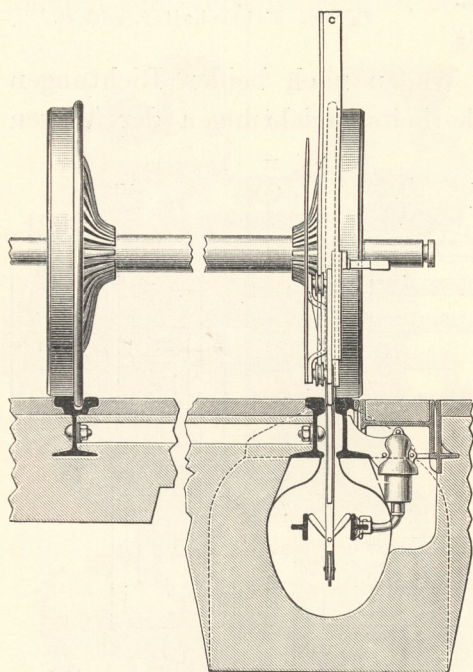


Fig. 505. Unterirdische Stromzuführung.

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

## 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,

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

(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 Controller 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 verlangsamend, 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.

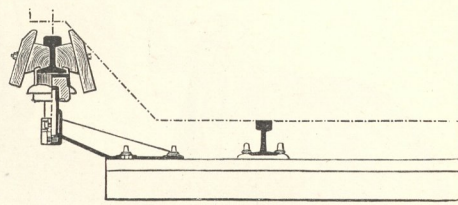


Fig. 506. Anordnung der Stromschiene.

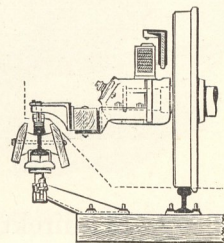


Fig. 507. Stromabnehmer auf der Stromschiene.

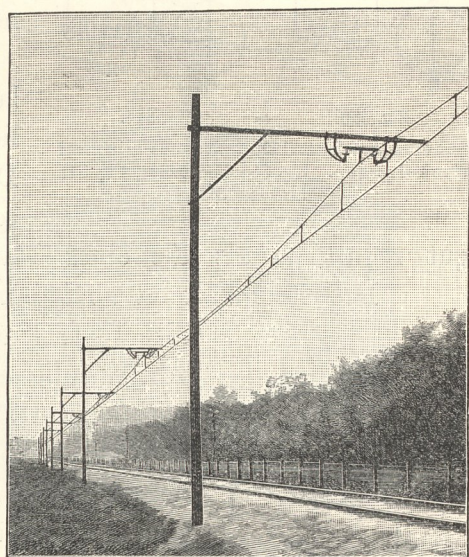


Fig. 508. Kettenaufhängung der Fahrleitung.

## 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*

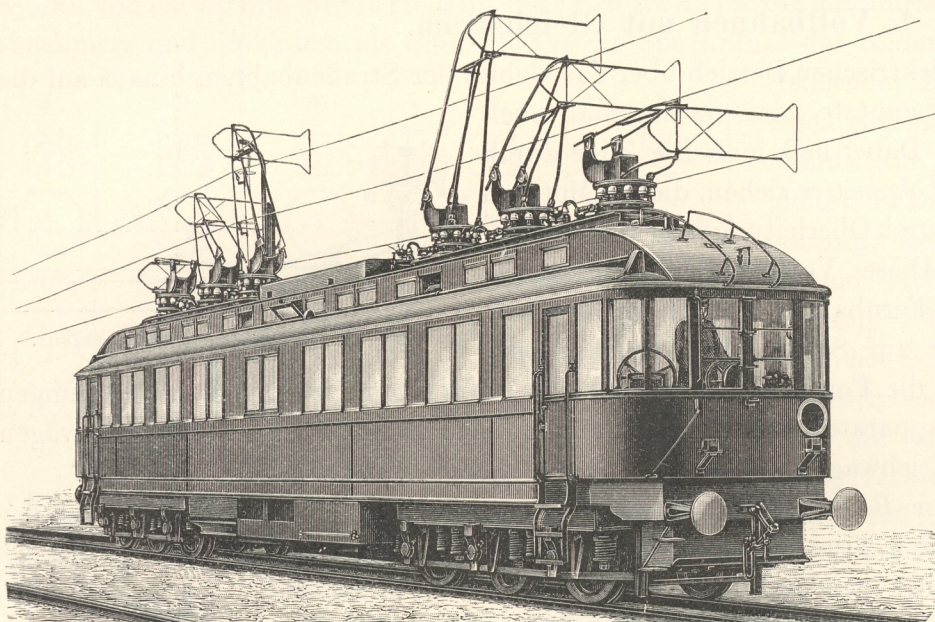


Fig. 509. Wagen der elektrischen Versuchsschnellbahn.

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.

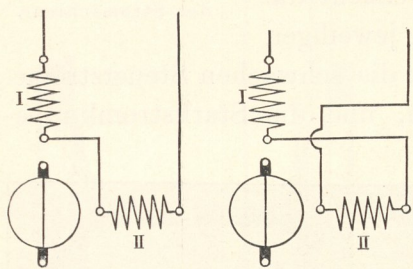


Fig. 510.

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.

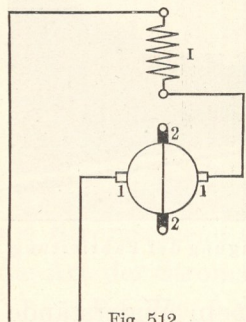


Fig. 512.

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

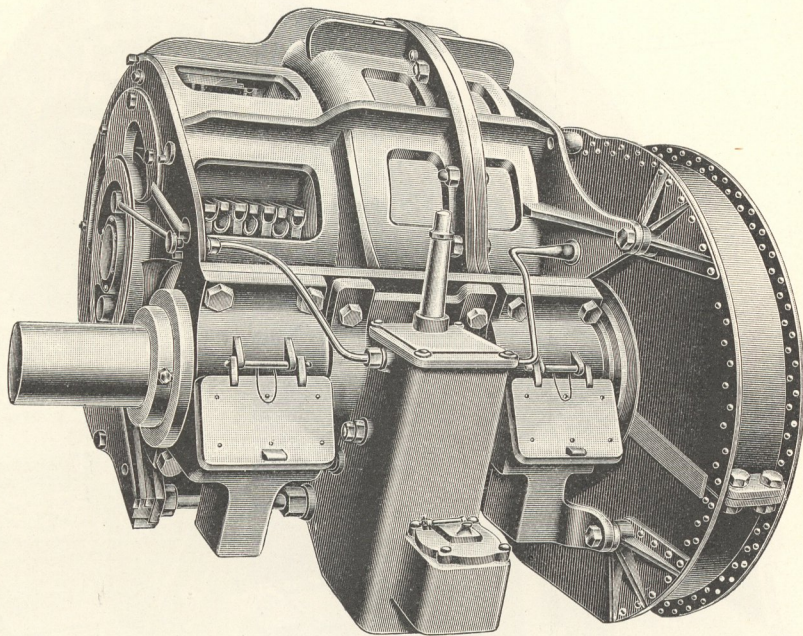


Fig. 513. Wechselstrommotor, Bauart Winter-Eichberg (350 PS Stundenleistung, 25 Perioden).

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

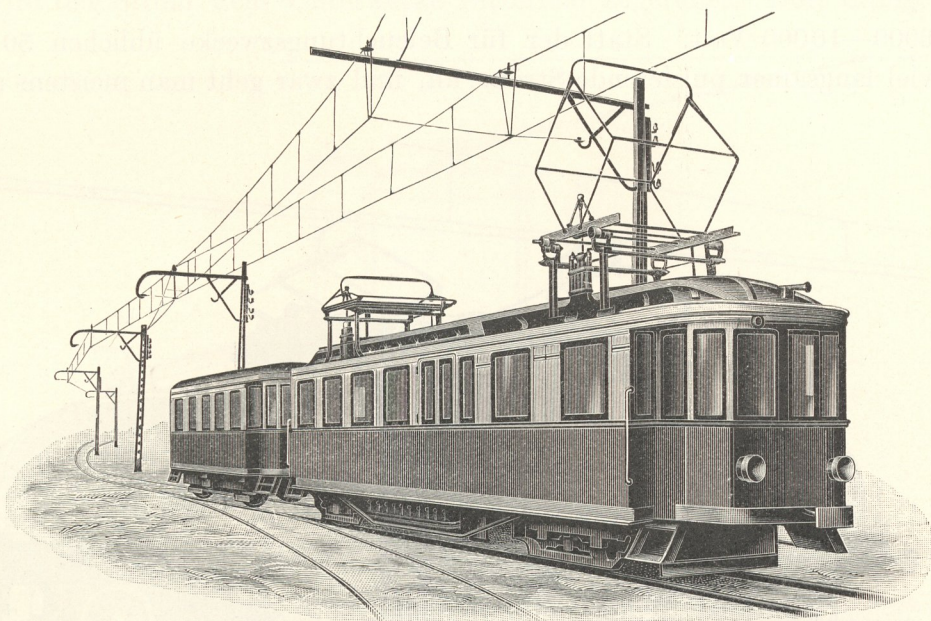


Fig. 514. Triebwagen mit Anhängewagen der A. E. G. (Wechselstrombahn Padua-Fusina).

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

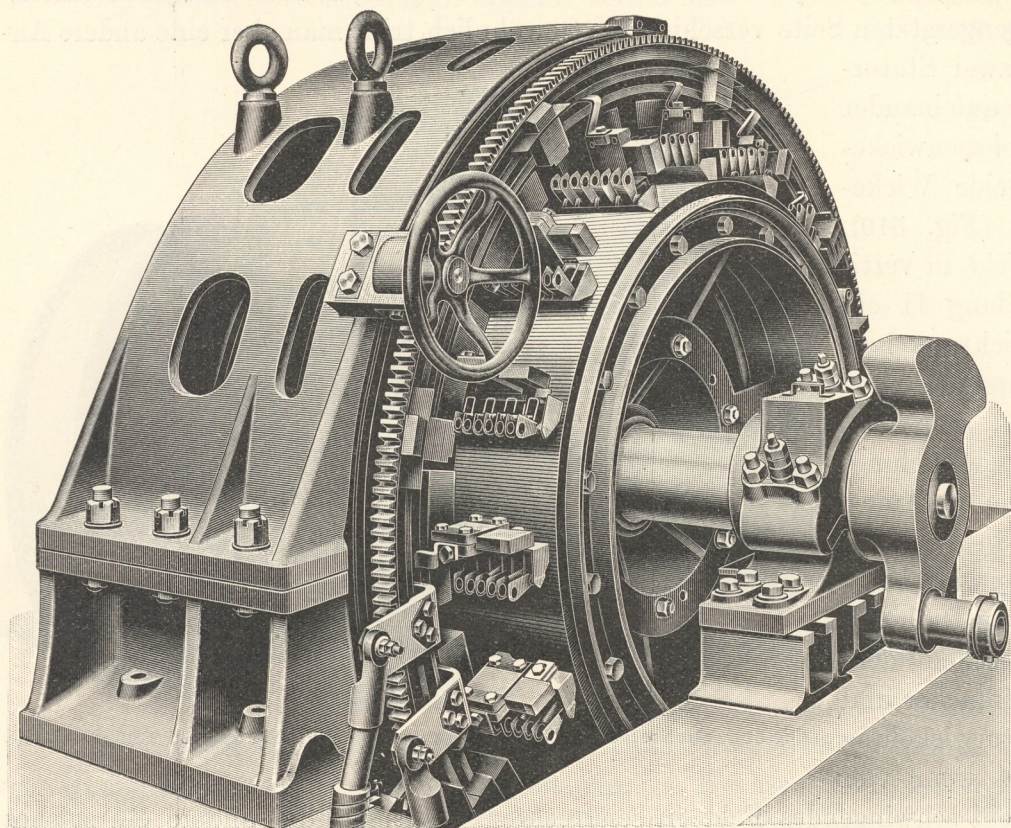


Fig. 515. Lokomotivmotor der Siemens-Schuckert-Werke (1600 PS, 15 Perioden, 10000 Volt, 400 Umdrehungen in der Minute).

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

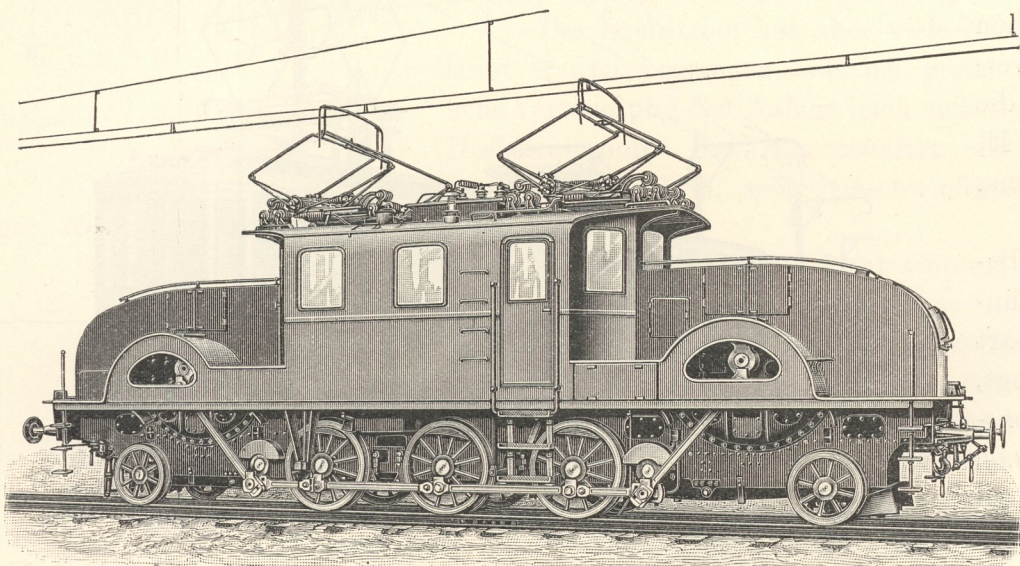


Fig. 516. Wechselstromlokomotive der Siemens-Schuckert-Werke (1-C-1, 1050 PS).

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 Fahrdrahlleitung 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.

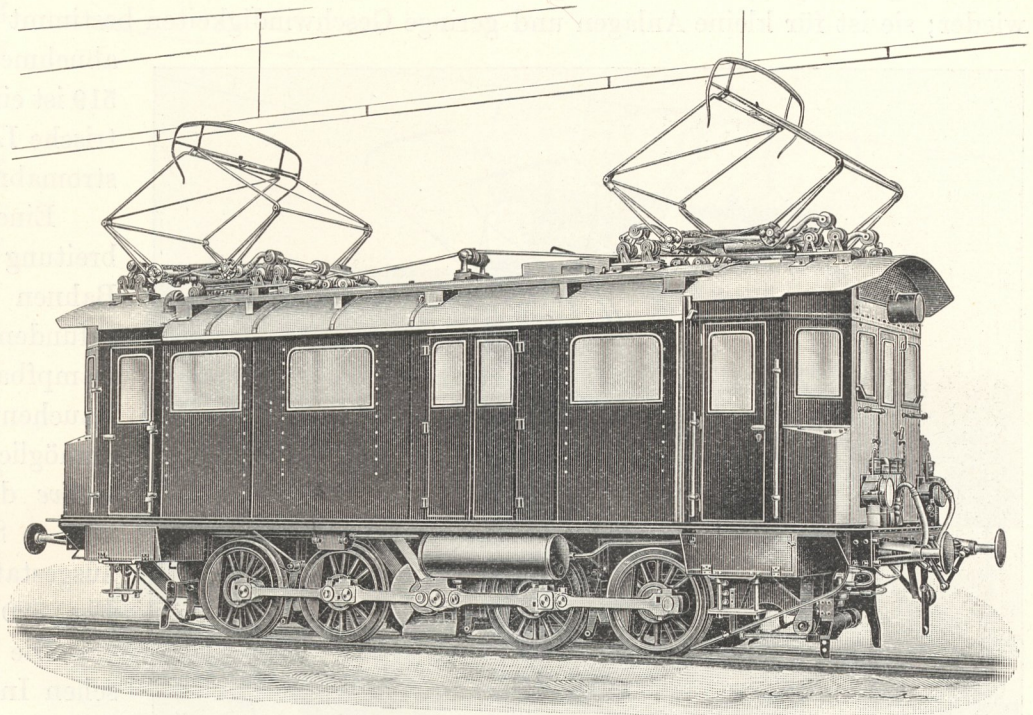


Fig. 517. Elektrische Güterzuglokomotive der Einphasenstrombahn Dessau-Bitterfeld.

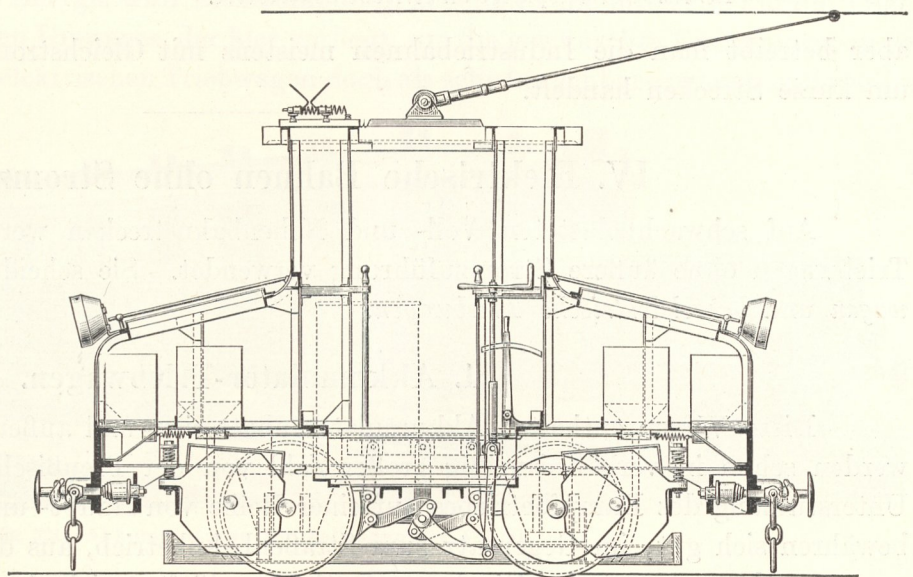


Fig. 518. Schmalspurige elektrische Lokomotive für Industriebahnen.

### III. Elektrische Industriebahnen.

Elektrische Bahnen werden für industrielle Zwecke immer mehr benutzt, da sie sich leicht anlegen lassen, ohne Schwierigkeit bedienbar sind und auch sonst mannigfache Vorteile bieten.

Fig. 518 gibt eine schmalspurige elektrische Lokomotive für Industriebahnen im Schnitt wieder; sie ist für kleine Anlagen und geringe Geschwindigkeiten bestimmt und mit Rollenstromabnehmer ausgestattet. In Fig. 519 ist eine normalspurige elektrische Lokomotive mit Bügelstromabnehmer dargestellt.

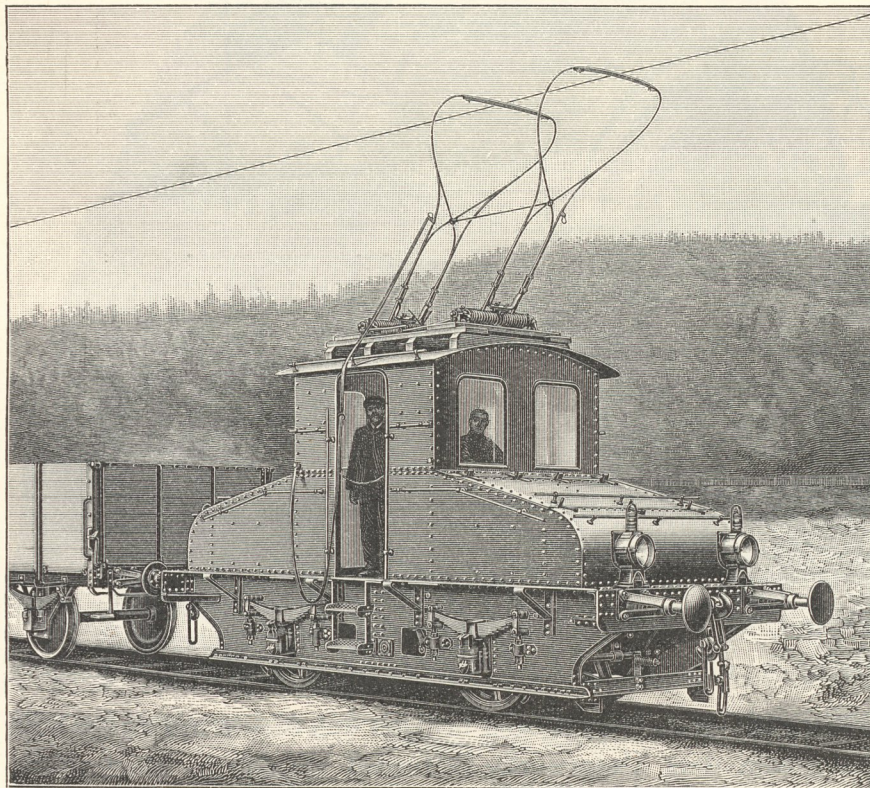


Fig. 519. Normalspurige elektrische Lokomotive.

Eine besonders große Verbreitung haben die elektrischen Bahnen im Bergbaubetriebe gefunden; unter Tage sind ja Dampfbahnen wegen der Rauchentwicklung so gut wie unmöglich. Eine *Grubenlokomotive* der A. E. G., die mit vier Stromabnehmerbügeln ausgestattet ist, wird durch Fig. 520 veranschaulicht.

Die Stromart der elektrischen Industriebahnen richtet sich nach den gegebenen Verhältnissen. Wo Wechselstrom ohnehin verfügbar ist, verwendet man das System der Wechselstrommotoren. Sonst

aber betreibt man die Industriebahnen meistens mit Gleichstrom, da es sich gewöhnlich nur um kurze Strecken handelt.

### IV. Elektrische Bahnen ohne Stromzuleitung.

Auf schwachbelasteten Voll- und Nebenbahnstrecken werden jetzt vielfach elektrische Triebwagen ohne äußere Stromzuführung verwendet. Sie scheiden sich in *Akkumulator-Triebwagen* und *benzolelektrische Triebwagen*.

#### 1. Akkumulator-Triebwagen.

Diese Wagen enthalten Akkumulatorenbatterien und außerdem die Antriebsmotoren; sie werden schon in verhältnismäßig großer Zahl von der Preussischen Staatsbahnverwaltung zur Unterstützung des Dampfbetriebes auf einer Reihe von Haupt- und Nebenstrecken benutzt und bewähren sich gut, im Gegensatz zum Straßenbahnbetrieb, aus dem sie ja (vgl. S. 220) wieder ganz verschwunden sind. Die besseren Erfolge dürften sich durch die Vervollkommnung und erhöhte Leistungsfähigkeit der Akkumulatoren erklären, denn die Versuche mit Akkumulatorenwagen auf Straßenbahnen liegen bereits eine Reihe von Jahren zurück.

Der in Fig. 521 abgebildete *Akkumulatoren-Doppelwagen* für Vollbahnen der A. E. G. hat die außergewöhnliche Länge von 25,6 m. Charakteristisch sind die beiden zweiachsigen Einzelwagen, die unter sich kurz gekuppelt sind, und die beiderseitigen niedrigen Vorbaue, welche die Akkumulatorenbatterien mit je 84 Elementen enthalten. Die Stromsammelr sind also, entgegen früheren Bauarten, von dem Aufenthaltsorte der Reisenden vollständig getrennt, so daß diese in keiner Weise durch Säuredämpfe belästigt werden können. Die Maximalgeschwindigkeit beträgt

50 km in der Stunde; der Doppelwagen enthält ein Abteil dritter und ein solches vierter Klasse, beide zusammen fassen 100 Plätze. Angetrieben wird der Doppelwagen durch zwei Hauptstrommotoren, von denen jeder eine Stundenleistung von 85 PS bei einer Betriebsspannung von 300 Volt besitzt.

Naturgemäß sind Akkumulatorenwagen von den Ladestationen abhängig und können nur verhältnismäßig kurze Strecken bis zur Neuladung durchfahren. Daß sie dennoch sich einer immer steigenden Beliebtheit erfreuen, liegt an ihrer großen Sauberkeit und außerordentlichen Betriebsicherheit.

## 2. Benzoelektrische Triebwagen.

Bei diesen Wagen dient zur Energieerregung eine Verbrennungsmaschine, nämlich ein Benzomotor, der einen elektrischen Generator antreibt. Die von

letzterem erzeugte elektrische Energie wird Elektromotoren zugeführt, die ihrerseits auf die Triebräder wirken. Trotz des großen Umweges, der hier vorliegt, um die gewünschte Energieform zu gewinnen, haben sich die benzoelektrischen Triebwagen doch als sehr brauchbar erwiesen und werden

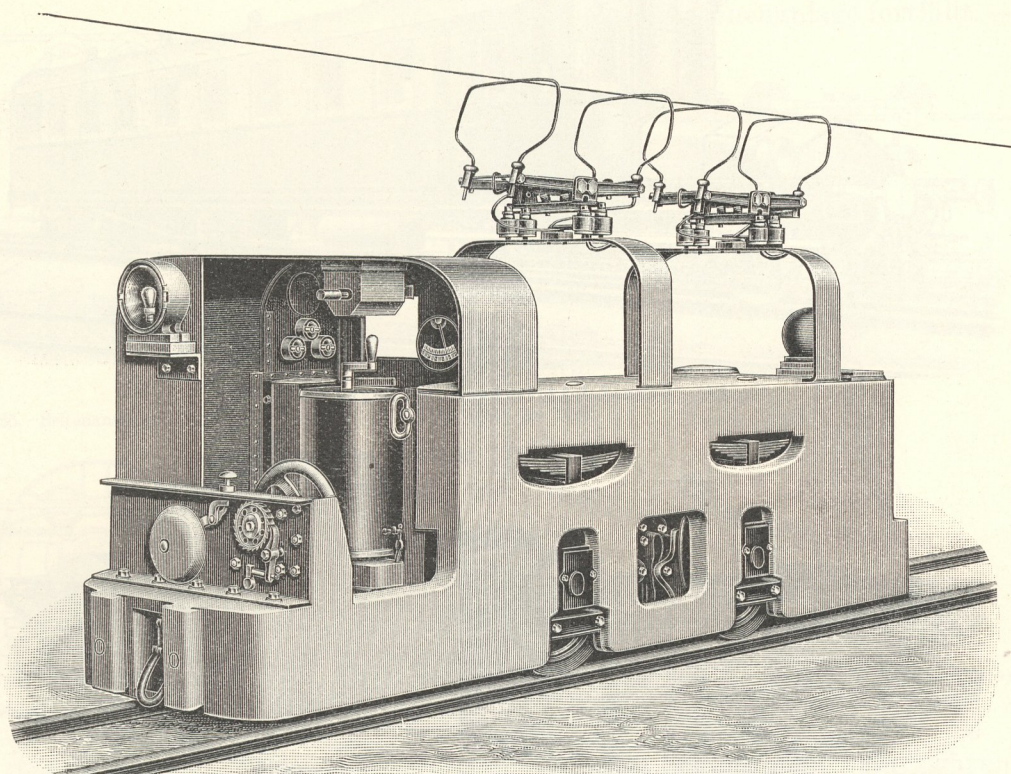


Fig. 520. Elektrische Grubenlokomotive der A. E. G. mit vier Stromabnehmern.

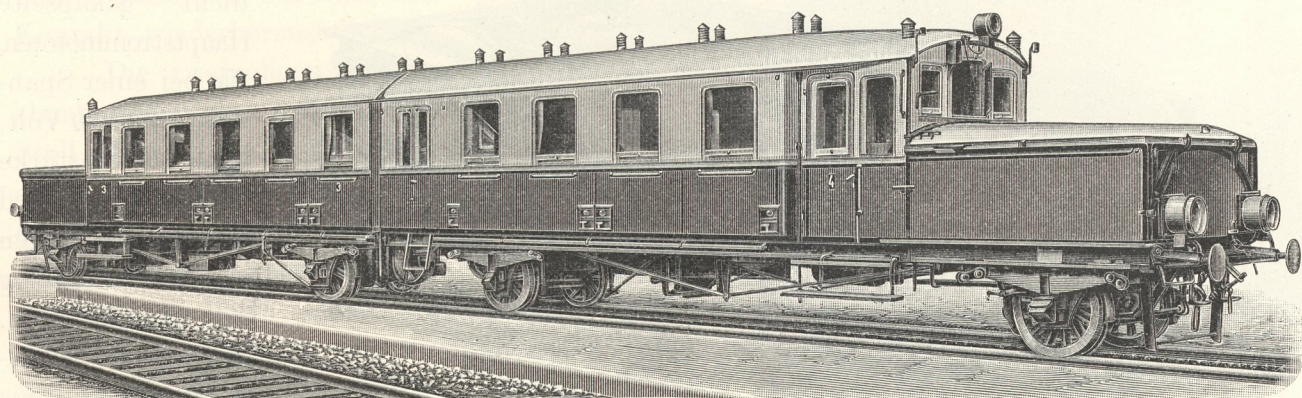


Fig. 521. Akkumulatoren-Doppelwagen der A. E. G.

auch von der Preußischen Staatsbahn mit verwendet. Die A. E. G. baut derartige Triebwagen sowohl mit größerer Leistung für Vollbahnen als auch mit geringerer Leistung für Neben- und Kleinbahnen.

Fig. 522 stellt den benzoelektrischen Triebwagen der A. E. G. für Vollbahnen dar. Er ruht auf zwei Drehgestellen, und sein Untergestell ist 20,75 m lang. Anordnung und Größe der Personenabteile entsprechen denen des beschriebenen Akkumulatorenwagens. Jedes Ende enthält einen Führerstand; der den Verbrennungsmotor tragende vorspringende Teil des Untergestells ist durch eine ausziehbare Schutzhaube abgedeckt. Das Maschinendrehgestell mit Benzomotor und Dynamo ist in Fig. 523 wiedergegeben. Der Motor hat 100 PS Nennleistung und sechs Zylinder; er macht bei Vollbelastung 700 Umdrehungen. Das Benzolreservoir ist geheizt, damit der Brennstoff

im Winter nicht erstarren. Die Kühlung des Motors erfolgt durch rückgekühltes Wasser, das durch eine Zentrifugalpumpe in Umlauf gesetzt wird. Die Pumpe fördert das Wasser durch einen im Wagendach liegenden Wabekühler, der durch einen darunter angeordneten Ventilator gelüftet wird. Das Anlassen der Maschine erfolgt durch Druckluft. Die mit dem Benzomotor direkt gekuppelte Nebenschlußdynamo hat eine Stundenleistung von 66 Kilowatt bei 700 Umdrehungen in der Minute, 300 Volt Spannung und 220 Ampere normaler Stromstärke. Den Strom für die Erregung liefert eine kleine Compoundmaschine von 3,5 Kilowatt bei 70 Volt Spannung. Den Wagenantrieb besorgen zwei wasserdicht gekapselte Hauptstrommotoren, die bei einer Spannung von 300 Volt, einer Stromstärke von 230 Ampere und 680 Umdrehungen eine Stundenleistung von 82 PS besitzen. Bei einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 4,315 können die Motoren dem Wagen auf ebener Strecke bis 70 km

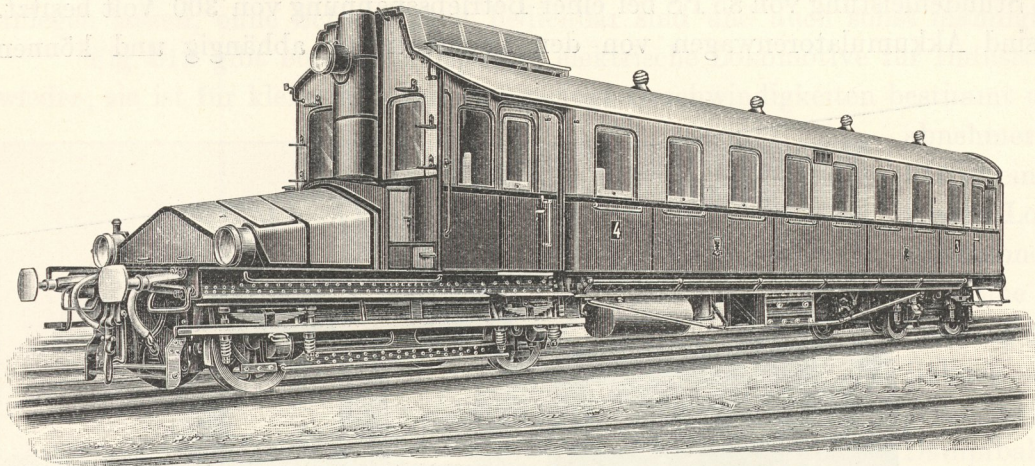


Fig. 522. Benzoelektrischer Triebwagen der A. E. G.

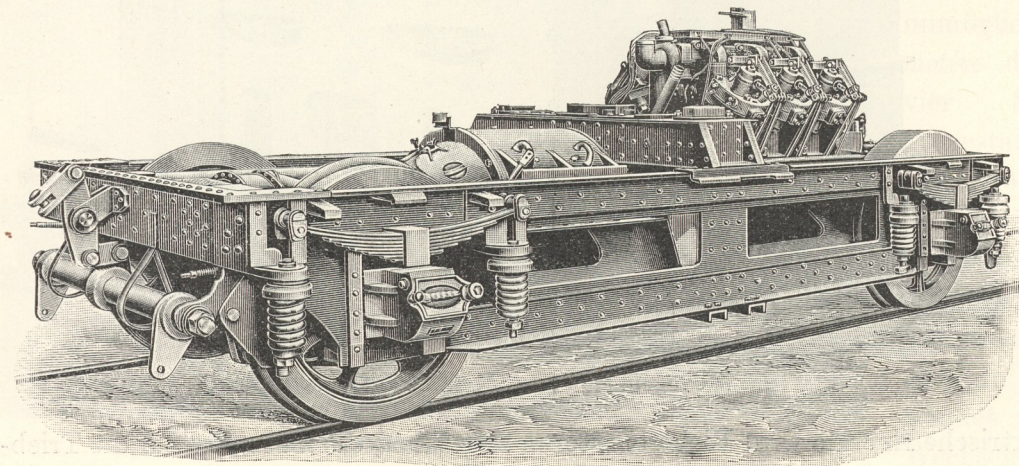


Fig. 523. Maschinendrehgestell des benzoelektrischen Triebwagens.

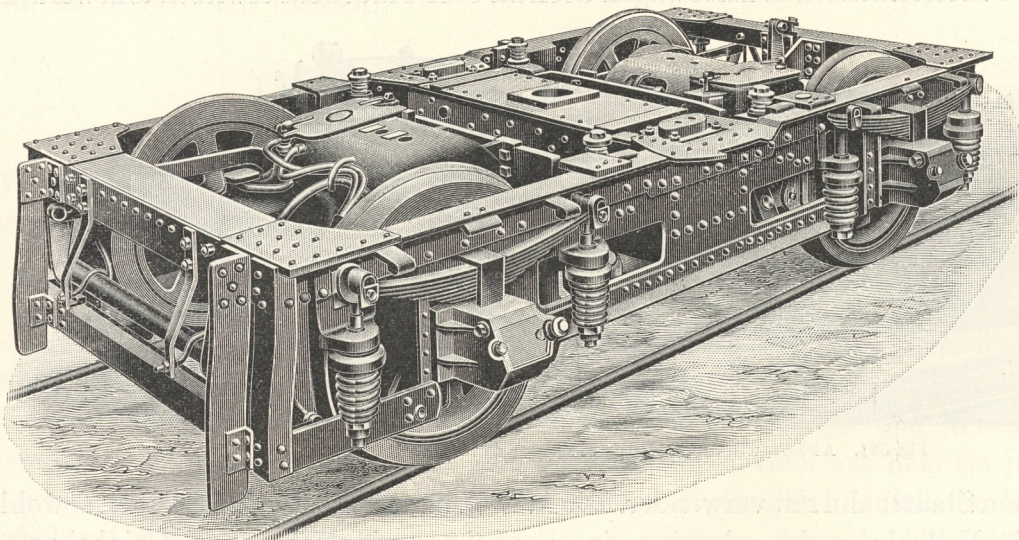


Fig. 524. Motorendrehgestell des benzoelektrischen Triebwagens.

Stundenleistung von 82 PS besitzen. Bei einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 4,315 können die Motoren dem Wagen auf ebener Strecke bis 70 km

Stundenleistung von 82 PS besitzen. Bei einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 4,315 können die Motoren dem Wagen auf ebener Strecke bis 70 km

Stundenleistung von 82 PS besitzen. Bei einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 4,315 können die Motoren dem Wagen auf ebener Strecke bis 70 km

## V. Gleislose elektrische Bahnen.

Die aus Amerika stammende gleislose Bahn steht in der Mitte zwischen den elektrisch betriebenen, Akkumulatoren mitführenden Motorwagen (Elektromobilen) und den elektrischen Schienenbahnen. Sie entnimmt den Strom oberirdisch gespannten Fahrdrähten mittels einer auf

diesen schleifenden Kontaktvorrichtung, bewegt sich aber im übrigen auf dem Fahrdamm der Straße ohne Gleisführung. Die Wagen sind also von dem Verlauf der Fahrdrableitung abhängig, jedoch weniger als die Schienenbahn, denn die Beweglichkeit des Stromabnehmers gestattet dem Wagen, seitlich auszubiegen. Gegenüber den Elektromobilen besteht der Vorteil, daß die Wagen keine schwere Akkumulatorenbatterie mitzuführen haben; gegenüber den Schienenbahnen dagegen der, daß die teure Schienenanlage fortfällt. —

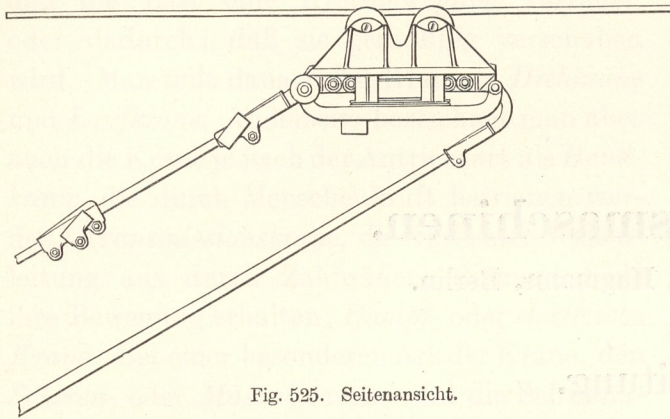


Fig. 525. Seitenansicht.

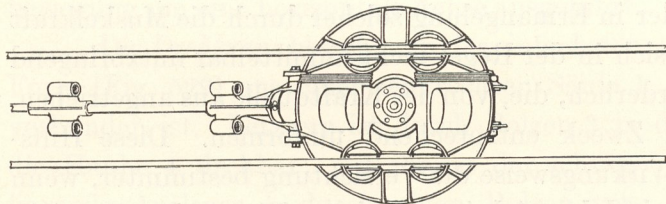


Fig. 526. Oberansicht.

Fig. 525 und 526. Stromabnehmer einer gleislosen Bahn (System Stoll).

Dafür muß die

Fahrleitung aus zwei isoliert nebeneinanderlaufenden Drähen für Hin- und Rückführung des Stromes bestehen, da ja die Gleise fehlen, die bei den Schienenbahnen der Rückleitung dienen. Trotzdem wird die Anlage hierdurch nicht teu-

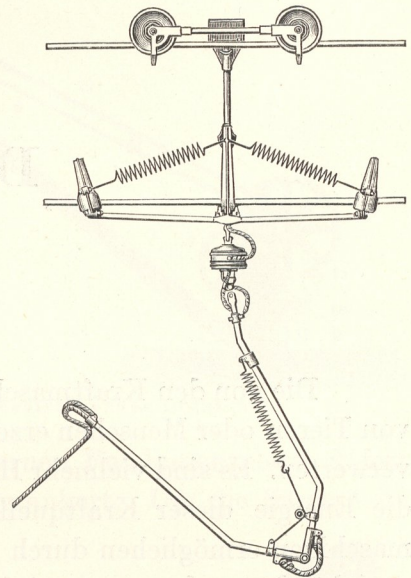


Fig. 527. Stromabnehmer für gleislose Bahnen (System Lloyd-Köhler).

rer, denn auch die (fast stets zweigleisigen) Schienenbahnen brauchen für jede Fahrtrichtung eine Fahrleitung. Sich entgegenkommende gleislose Bahnen tauschen — je nach dem System — die Stromabnehmer aus, oder der eine Wagen löst seinen Fahrkontakt und läßt den anderen Wagen passieren, um dann den Kontakt wiederherzustellen.

Die zweipoligen Stromabnehmer bestehen beim System Stoll (Fig. 525 und 526) aus einem vierräderigen Wägelchen, das auf den beiden, parallel nebeneinander ausgespannten Fahrdrähen läuft. Diese Anordnung ist jedoch nur eine von vielen. Bei dem System Lloyd-Köhler laufen die beiden Fahrdrähte übereinander (Fig. 527). Von dem oberen Drahte wird der Strom durch zwei Laufrollen abgenommen, von dem unteren durch einen Doppelschleifbügel.

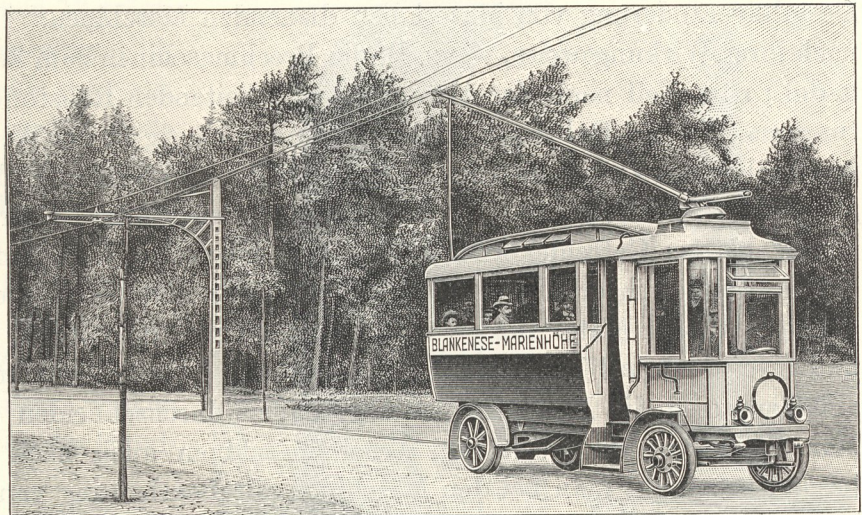


Fig. 528. Gleisloser elektrischer Omnibus (System Schiemann).

In erster Linie werden gleislose Bahnen für Personenbeförderung benutzt. So zeigt Fig. 528 einen gleislosen elektrischen Omnibus nach dem System Schiemann & Co., Wurzen. Aber auch für Lastenbeförderung ist die gleislose Bahn mit Erfolg versucht worden, und ihr hoher Vorzug für ländliche Gegenden liegt gerade darin, daß die gleiche Leitung von Omnibussen und Lastfahrzeugen benutzt werden kann. In neuester Zeit will man diese Bahnen auch mit einphasigem Wechselstrom betreiben, wodurch weitere Entwicklungsmöglichkeiten gegeben sind.