



Bibliothek
des
Reichs-Eisenbahn-Amtes.

Nº 1214.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298837

Preisgekrönt vom Vereine Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen.

Die

Eisenbahn-Technik der Gegenwart.

Herausgegeben von

Dr. Ing. Barkhausen

Geh. Regierungsrate, Professor der Ingenieurwissenschaften a. D., Hannover.

Dr. Ing. Blum

Wirklichem Geheimem Oberbau-
rate, Berlin.

† von Borries

Geh. Regierungsrate u. Professor,
Berlin.

Courtin

Oberbaurate, Karlsruhe.

von Weiss

Geheimem Rate, München.

I. Band:

Eisenbahnmaschinenwesen

(Seite 3—5).

II. Band:

Eisenbahnbau

(Seite 6—9).

III. Band:

Eisenbahnunterhaltung und -Betrieb

(Seite 10—11).

IV. Band:

**Zahnbahnen, Stadtbahnen, Lokomotiven u. Triebwagen für Schmal-
spur-, Förder-, Strassen- und Zahnbahnen, Fahrzeuge der Klein-
bahnen und Elektrischen Bahnen, Elektrische Bahnen, Seilbahnen.**

(Seite 12—15).

Mit über 5000 Abbildungen im Text und 80 lithographierten Tafeln.

Das Inhalts-Verzeichnis der einzelnen Teile befindet sich auf den folgenden Seiten.

Die Abnahme einzelner Teile verpflichtet nicht zum Bezuge auch der übrigen Teile des
ganzen Werkes.

Wiesbaden.

C. W. Kreidel's Verlag.

Frühjahr 1914.

Verzeichnis der Herausgeber und Mitarbeiter.

- Abt, Ingenieur in Luzern.
*) Barkhausen, Dr. Ing., Geheimer Regierungsrat, Professor a. D., Hannover.
† Bathmann, Oberbaurat in Stettin.
Baumann, Baurat in Karlsruhe.
Berndt, Geheimer Baurat, Professor in Darmstadt.
† von Beyer, Eisenbahn-Bau- und Betriebsinspektor a. D. in Posen.
Biber, Ministerialrat in München.
*) Blum, A., Dr. Ing., Wirklicher Geheimer Ober-Baurat in Berlin.
Blum, O., Dr. Ing., Professor in Hannover.
Borchart, Oberbaurat in Magdeburg.
*) † von Borries, Geheimer Regierungsrat, Professor in Berlin.
Brückmann, Direkt. d. Berl. Maschinenbau-Akt.-Ges. v. L. Schwartzkopf in Berlin.
Busse, Eisenbahn-Direktor a. D. in Kopenhagen.
Clausnitzer, Ober- und Geheimer Baurat in Weimar.
*) Courtin, Ober-Baurat a. D. in Karlsruhe.
Dauner, Bauinspektor in Stuttgart.
Dietz, Baurat in Berlin.
Dolezalek, Dr. Ing., Geheimer Regierungsrat, Professor in Berlin.
Ebert, Oberregierungsrat in München.
Fraenkel, Regierungs- und Baurat in Erfurt.
Garbe, Dr. Ing., Geheimer Baurat a. D. in Berlin.
Gölsdorf, Dr. Ing., Sektionschef in Wien.
† Grimke, Eisenbahn-Bauinspektor a. D. in Cassel.
Groeschel, Dr., Oberregierungsrat in München.
Grossmann, Ober-Inspektor in Wien.
Halfmann, Regierungs- und Baurat in Berlin.
Hammel, Direktor bei I. A. Maffei in München.
Hefft, Dr. phil., Obermaschinen-Inspektor in Karlsruhe.
Himbeck, Regierungs-Baumeister a. D. in Berlin.
† Jäger, Eisenbahn-Präsident in Augsburg.
Kittel, Oberbaurat in Stuttgart.
Kohlhardt, Regierungs- und Baurat in Wittenberge.
Kumbier, Geheimer Baurat und vortragender Rat in Berlin.
Kuntze, Geheimer Baurat in Berlin.
Laistner, Baurat in Stuttgart.
Lehners, Regierungs- und Baurat in Halberstadt.
† Leissner, Eisenbahn-Bauinspektor a. D., Direktor der Lokomotiv-Bauanstalt von Henschel & Sohn in Cassel.
† Leitzmann, Geheimer Baurat a. D. in Darmstadt.
von Lemmers-Danforth, Regierungs- und Baurat in Mühlheim-Ruhr.
von Littrow, Hofrat in Wien.
Mayscheider, Regierungsrat in München.
Meyeringh, Regierungsbaumeister in Witten.
Naderer, Obermaschinen-Inspektor in Neuaußing bei München.
Nitschmann, Geheimer Ober-Baurat in Berlin.
Patté, Ober-Baurat in Erfurt.
† Paul, Regierungs- und Baurat z. D. in Lippstadt.
† Reimherr, Regierungsbaumeister a. D. in Berlin.
Richter, Baurat in Leipzig.
Riemer, Regierungsbaumeister in Stettin.
Rimrott, Dr. Ing., Eisenbahn-Direktionspräsident in Danzig.
Sanzin, Dr., techn. Masch.-Oberkommissär, Doz. a. d. techn. Hochschule Wien.
† Scholkmann, Geheimer Oberbaurat in Berlin.
Schrader, Geheimer Regierungsrat in Falkenberg.
† Schubert, Geheimer Baurat in Berlin.
Schugt, Regierungs- und Baurat a. D. in Neuwied.
Schumacher, Geheimer Baurat in Potsdam.
Sommerguth, Regierungs- und Baurat a. D. in Berlin.
Staby, Oberregierungsrat in Ludwigshafen.
Troske, Professor in Hannover.
† Unger, Regierungs- und Baurat in Berlin.
Wagner, Ober- und Geheimer Baurat in Breslau.
† Walzel, Ober-Inspektor in Wien.
Wehrenfennig, Baurat a. D. in Wien.
*) von Weiss, Geheimer Rat in München.
Zehme, Obergeringieur, Schriftleiter der Elektrotechn. Zeitschrift, Privatdozent an der technischen Hochschule in Berlin.

*) Herausgeber.



III - 306656



III 15885

BPV-10 410/2017

Akc. Nr. 5162/50

Die Lokomotiven der Gegenwart.

Bearbeitet von

Baumann, Karlsruhe; **Courtin**, Karlsruhe; **Dauner**, Stuttgart; **Gölsdorf**,
Wien; **Hammel**, München; **Kittel**, Stuttgart.

Mit 684 Abbildungen im Text und 11 lithographierten Tafeln.

Dritte umgearbeitete Auflage. — Erste Hälfte.

Preis 24.— Mark, gebunden 27.— Mark.

- ❖—
- A1a) **Einteilung und allgemeine Anordnung der Lokomotiven für Haupt- und Nebenbahnen.** Gölsdorf.
 - b) **Leistungsfähigkeit und Berechnung der Lokomotiven.** Kittel und Dauner.
 - c) **Bewegung der Lokomotiven in geraden Strecken und Krümmungen.** Berechnung der Gegengewichte. Baumann.
 - d) **Kessel und Zubehör.** A. Courtin.
 - e) **Laufwerk.** Gölsdorf.
 - f) **Triebwerk.** Hammel.

Besprechung über die zweite Auflage:

Schon nach kurzer Zeit ist die Herausgabe einer zweiten Auflage des ersten Abschnittes vom ersten Bande der Eisenbahn-Technik der Gegenwart, der „Lokomotiven“, erforderlich geworden. Ein Beweis, wie sehr die Herausgabe dieses Werkes einem dringenden Bedürfnis entsprochen und welchen Beifall er bei den Berufsgenossen gefunden hat.

Den erheblichen Fortschritten im Lokomotivbau entsprechend, hat die zweite Auflage eine fast völlige Umarbeitung erfahren. Die Abschnitte über Zahnrad-Lokomotiven und Lokomotiven für Strassen- und Kleinbahnen sind in dieser Auflage weggelassen und sollen in einem neuen Bande des Werkes Aufnahme finden. Der gewonnene Raum ist dazu verwendet, teils die übrigen Abschnitte zu ergänzen, teils besondere Abschnitte über Verwendung von Heissdampf und Vorschriften für den Bau der Lokomotiven und Tender hinzuzufügen. Einzelne Abschnitte haben neue Bearbeiter gefunden, so ist in der neuen Auflage der Abschnitt „Kessel und Zubehör“ durch den Baurat Courtin in Karlsruhe und der Abschnitt „Tender“ durch den Oberregierungsrat Weiss in München bearbeitet.

Überall sieht man die bessernde Hand, neuere Anordnungen und Bauarten der Lokomotiven, die sich bewährt haben, sind aufgenommen, dafür jedoch die Angaben über veraltete Bauarten weggelassen.

Auch die Ausstattung des Buches ist eine wesentlich bessere geworden, nicht nur ist bei der neuen Auflage ein tadelloses Papier verwendet, sondern auch der Druck und die Abbildungen im Text sowie die Tafeln entsprechen jetzt allen Anforderungen. — Das Studium der neuen Auflage kann allen Fachgenossen nur warm empfohlen werden.

D.
Archiv für Eisenbahnwesen.

Die Wagen, Bremsen, Schneepflüge und Fährschiffe.

Bearbeitet von

C. Biber, München; Borchart, Magdeburg; Busse, Kopenhagen; Courtin, Karlsruhe; Halfmann, Tempelhof; Dr. Hefft, Karlsruhe; v. Littrow, Triest; Patté, Kattowitz; Staby, Ludwigshafen.

Zweite, umgearbeitete Auflage.

Mit 731 Abbildungen im Text und 12 lithographierten Tafeln.

Preis 27 Mark, gebunden 30 Mark.



- a) Personenwagen für Haupt- und Nebenbahnen. C. Biber.
- b) Gepäck- und Postwagen für Haupt- und Nebenbahnen. Dr. Hefft.
- c) Güterwagen und Dienstwagen für Haupt- und Nebenbahnen. C. Borchart und H. v. Littrow.
- d) Anordnung der Achsen, Achslagen, Federn, Bremsen-, Zug- und Stosseinrichtungen, Kuppelungen, Heizung, Lüftung, Beleuchtung. Bearbeitet von Patté.
- e) Durchgehende Bremsen und Signalvorrichtungen. Staby.
- f) Schneepflüge und Schneeräummaschinen. Halfmann.
- g) Eisenbahnfähren. Busse.
- h) Vorschriften für den Bau der Wagen. Courtin.

Besprechungen über die zweite Auflage:

Diese 2. Auflage des vom Verein deutscher Eisenbahnverwaltungen preisgekröntes Werk bietet, wie die 1. Auflage, eine bis auf den heutigen Stand fortgeführte Uebersicht über das darin behandelte wichtige Gebiet der Eisenbahntechnik und erteilt über die darin vorkommenden Fragen Auskunft. Es wird daher allen, die sich mit diesen Fragen zu beschäftigen haben, ein zuverlässiger Ratgeber sein. —r.

Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen.

Wer die ändern, in neuer Auflage bereits erschienenen Teile des rühmlichst bekannten Sammelwerks kennt, wird bei dem vorliegenden Bande seine Erwartungen nicht getäuscht sehen. Er erscheint mit allen Vorzügen seiner Vorgänger: Erweitert, knapp und scharf in der Darstellung, mit ausgezeichneten Abbildungen, mit deutlichem Druck auf gutem Papier.

Polytechnische Rundschau.

Für jeden, der mit dem Entwerfen von Eisenbahnfahrzeugen, auch solchen für elektrischen Betrieb zu tun hat, ist der erste Band der Eisenbahntechnik der Gegenwart, besonders der die Wagen behandelnde Teil, ein unentbehrliches Hilfsmittel geworden.

Auf die Vervollkommnungen und Verbesserungen des Inhaltes im einzelnen können wir hier nicht eingehen. Der Band wird auch in der neuen Auflage als ein wertvolles, bisher einzig dastehendes Nachschlagewerk gelten können.

Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen.

Die Eisenbahn-Werkstätten.

Bearbeitet von

Meyeringh, Witten; Richter, Leipzig; Troske, Hannover; Wagner, Breslau;
von Weiss, München.

Die zweite Auflage ist in Bearbeitung.



- I. Allgemeine Anordnung und Grössenbemessungen. Troske.
- II. Lokomotivwerkstätten und Kesselschmieden. Troske.
- III. Wagen-Werkstätten. E. von Weiss.
- IV. Dreherei. Wagner.
- V. Weichen- und Bau-Werkstätten. Meyeringh.
- VI. Schmiede, Giesserei und Kupferschmiede. Richter.
- VII. Tischlerei, Lackiererei, Polsterei. E. von Weiss.

Besprechungen über die erste Auflage:

Dem reichen und tiefen Inhalt des Werkes entspricht die Sprache und sein äusseres Gewand. — Die grosse Reichhaltigkeit an bildlichen Darstellungen muss dem Werke als besonderer Vorzug nachgerühmt werden. Die Abbildungen sind überall auf die springenden Punkte zugeschnitten. Sehr anzuerkennen ist es, dass die hauptsächlichsten Abmessungen der Abbildungen beigezeichnet sind; sie sind dem Praktiker von besonderem Wert. — — — Möge das Werk fleissig gekauft und studiert werden.

Zeitung des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen.

Die mannigfachen Vorzüge gegenüber Werken ähnlichen Inhaltes im Vereine mit der sehr übersichtlichen Anordnung des Stoffes und der gefälligen äusseren Ausstattung verleihen diesem Werke in hohem Masse die Eignung, dem bestandenen Bedürfnisse in der eisenbahntechnischen Fachliteratur zu entsprechen, und zu einem Handbuche zu werden, dessen Vortrefflichkeit sicherlich bald in einer ausgedehnten Verbreitung den besten Ausdruck finden wird.

Rotter, Wien (Organ für Eisenbahnwesen).

— — Das Buch muss als eine verdienstvolle Arbeit bezeichnet werden, die nicht nur Studierenden, sondern auch allen in der Praxis stehenden Eisenbahntechnikern und Lokomotivkonstruktoren eine Fülle von Anregung und Belehrung bietet.

Centralblatt der Bauverwaltung.

Linienführung und Bahngestaltung.

Bearbeitet von

† Paul, Lippstadt; Schubert, Berlin; A. Blum, Berlin.

Zweite umgearbeitete Auflage.

Mit 121 Abbildungen im Text und 3 lithographierten Tafeln.

Preis M. 5,40, in Halbfranz geb. M. 7.—.

- o—
- I. **Bahngattungen, Grundlagen für deren Gestaltung und Wahl.** † Paul. a) Einteilung der Eisenbahnen in verschiedenen Klassen. b) Gesetzliche und sonstige Vorschriften für die einzelnen Klassen. c) Grundsätze für die Wahl der Art der Bahn.
 - II. **Aufsuchen und Entwerfen einer Bahnlinie.** † Paul. a) Allgemeines: Vorbedingungen für die Ausführung von Vorarbeiten, Geschäftsgang bis zur Feststellung des Entwurfes, Enteignungsverfahren. b) Allgemeiner Einfluss der Gelände-Gestaltung auf die Linienführung. Allgemeine Wechselwirkungen zwischen Bau- und Betriebskosten. c) Ausführung von Vorarbeiten.
 - III. **Anforderung des Betriebes an die Gestaltung und Einteilung der Bahn.** † Paul. a) Zahl der Gleise. b) Zahl, Länge und Ausstattung der Bahnhöfe. c) Abstände der Lokomotiv- und Wasserstationen, deren Grösse und Leistungsfähigkeit.
 - IV. **Lage der Bahn zum Hochwasser, Schutzmassregeln gegen Wasserschäden, Rutschungen, Frostwirkungen, Felsstürze, Feuersgefahr und Schnee.** Schubert. a) Lage der Bahn zum Hochwasser, Schutzmassregeln gegen Wasserschäden. 1. Sicherung der Aufträge und Brücken. 2. Sicherung der Einschnitte. b) Schutzmassregeln gegen Eis. c) Sicherungen gegen Rutschungen und Frostwirkungen. 1. Sicherung der Einschnitte und Anschnitte. 2. Sicherung der Aufträge. d) Feuerchutz und Sicherung gegen Windbruch. e) Schneeschutzanlagen.
 - V. **Lage und Gestaltung der Bahn bei kreuzenden Verkehrswegen, Ausrüstung der Bahn auf freier Strecke mit Nebenanlagen.** A. Blum. a) Art der kreuzenden Verkehrswege und Mittel zur Aufrechterhaltung des beiderseitigen Verkehrs. b) Forderungen für die Durchführbarkeit und Sicherheit des Verkehrs. c) Gestaltung und Sicherung der Kreuzungen in Schienenhöhe. d) Ausrüstung der Bahn auf freier Strecke mit Nebenanlagen.

Der ersten Auflage gegenüber ist in dem vorliegenden Werk ein wesentlicher Fortschritt darin zu erkennen, dass die Disposition straffer und die Darstellungsweise leichter verständlich ist, so dass es auch für Studierende leichter ist, sich in den Stoff hineinzuarbeiten. Das Buch ist mit vielen guten Abbildungen ausgestattet und enthält für alle Eisenbahnen eine Fülle wertvollen Stoffes in übersichtlicher und klarer Weise zusammengestellt.

Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure.

Oberbau und Gleisverbindungen.

Bearbeitet von

A. Blum, Berlin; † Schubert, Berlin; Himbeck, Berlin; Fraenkel.

Mit 440 Abbildungen im Text und 2 lithographierten Tafeln.

Zweite umgearbeitete Auflage.

Preis Mk. 12.—, in Halbfranz geb. M. 14.50.

I. Oberbau.

- a) Allgemeine Grundlagen für die Anordnung des Oberbaues, die verschiedenen Oberbauanordnungen. A. Blum.
- b) Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen über Berechnung des Oberbaues. Blum.
- c) Herstellung und Entwässerung der Unterbaukrone, der Bettung und der Bahnkrone auf der freien Strecke und auf den Bahnhöfen. Schubert.
- d) Der Bau des Gleises. Blum.

II. Gleisverbindungen.

- a) Weichen und Kreuzungen. Himbeck.
 1. Einleitung. 2. Allgemeine Anordnung der einfachen Weiche. 3. Bogenweichen. 4. Doppelweichen. 5. Die Ablenkvorrichtung. 6. Verbindungsstangen, Stellvorrichtung und Weichensignale. 7. Herzstücke, Radlenker und Merkzeichen. 8. Anordnung der Weichenschwellen und Schienenteilung. 9. Weichen für Schmalspur. 10. Kletter-Weichen. 11. Kreuzungen. 12. Kreuzungweichen, Weichenverschlingungen. 13. Verwendung der Weichen zu Gleisverbindungen. 14. Berechnung der Weichen.
- b) Drehseiben und Schiebebühnen. S. Fraenkel.
 1. Drehseiben für Wagen und Lokomotiven. 2. Schiebebühnen für Wagen und Lokomotiven.

In der neuen Auflage sind die Gleisverbindungen mit dem Oberbau in demselben Abschnitt vereinigt, während sie in der ersten Auflage den Abschnitt „Bahnhofsanlagen“ einleiteten. Diese Änderung ist zweckmässig und sachgemäss. Eine weitere nicht unerhebliche Änderung besteht in der Abtrennung desjenigen, was in der früheren Auflage auf die besonderen Arten des Oberbaues für Kabel-, Zahnstangen-, Seilbahnen und Hochbahnen besonderer Art und auf die besondere Gestaltung des Oberbaues für elektrische Bahnen Bezug hatte. In einzelnen Abschnitten sind ferner Änderungen in der Anordnung des Stoffes vorgenommen, und es braucht kaum besonders erwähnt zu werden, dass die seit Erscheinen der ersten Ausgabe gemachten Fortschritte gebührende Berücksichtigung gefunden haben; überholte Bauformen sind ausgemerzt und die neueren durch gediegene Abbildungen erläutert. Um zu zeigen, wie sorgfältig dem neuesten Stande der Technik Rechnung getragen ist, sei nur auf die Ausführungen hingewiesen, welche sich auf die Stahlschienen, die aus mehreren Stoffen zusammengesetzten Querschwellen, die Mittel gegen das Lösen der Schraubenmuttern, auf die Lage und den Abstand der Schwellen, Stossanordnungen mit ganz enger Schwellenlage, Ablenkvorrichtungen bei Weichen u. a. beziehen. Im ganzen ist der Umfang des vorliegenden Bandes, wenn die gleichen Stoffgebiete verglichen werden, um etwa den vierten Teil gegen die frühere Auflage vermehrt.

Auf die vorzügliche Auswahl und Darstellung der Abbildungen ist bereits früher hingewiesen. Dass Wert auf die Wahl eines genügend grossen Massstabes gelegt ist und den Abbildungen überall die wichtigen Abmessungen beigezeichnet sind, darf zum Lobe des Buches wiederholt werden. Seine Gebrauchsfähigkeit für die Zwecke der Praxis wird dadurch ausserordentlich erhöht.

Zeitung des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen.

Bahnhofs-Anlagen.

Bearbeitet von

Dr. Ing. O. Blum, Hannover, Kumbier, Erfurt, † Jäger, Augsburg.

Mit 348 Abbildungen im Texte und 11 lithographierten Tafeln.

Zweite umgearbeitete Auflage.

Preis Mk. 16.80, in Halbfranz gebunden Mk. 19.50.

- I. Gleisanordnungen auf der freien Strecke und Gleisentwickelungen bei Bahnhöfen.** Bearbeitet von Dr. Ing. O. Blum. a) Anlagen von Nebengeleisen auf der freien Strecke. 1. Ausweichgleise auf eingleisigen Bahnen. 2. Überholungsgleise auf der freien Strecke zwei- und mehrgleisiger Bahnen. 3. Anschlussgleise. b) Anordnung der Gleise auf vier- und mehrgleisigen Bahnen. 1. Einleitung. 2. Richtungs- und Linienbetrieb. 3. Strecken mit mehr als vier Gleisen. 4. Der Betrieb auf dreigleisigen Bahnen. c) Gleisentwickelungen bei Bahnhöfen und Bahnabzweigungen.
- II. Bahnhöfe.** a) Einleitung. Bearbeitet in erster Auflage von Laistner in zweiter Auflage von Kumbier. 1. Zweck und Einteilung der Stationen im allgemeinen. 2. Einteilung der Bahnhöfe, bzw. Bahnhofsteile, nach ihren besondern Zwecken. 3. Einteilung der Bahnhöfe nach ihrer äussern Gestaltung. 4. Lage der Bahnhöfe. 5. Länge, Neigung, Richtung, Höhenlage der Bahnhöfe. 6. Vorerhebungen für die Entwurfbearbeitung. 7. Darstellungsweise der Bahnhofsentwürfe und ihrer Einzelanlagen. b) Haltepunkte. Bearbeitet in erster Auflage von Laistner, in zweiter Auflage von Kumbier. c) Ausbildung der Bahnhöfe im allgemeinen. Bearbeitet in erster Auflage von Laistner, in zweiter Auflage von Kumbier. d) Kleinere und mittlere Bahnhöfe. Bearbeitet in erster Auflage von Laistner, in zweiter Auflage von Kumbier. Beispiele. e) Grössere Bahnhofsanlagen. 1. Allgemeines. Bearbeitet in erster Auflage von Laistner, in zweiter Auflage von Kumbier. 2. Personenbahnhöfe. Bearbeitet in erster Auflage von Laistner, in zweiter Auflage von Kumbier. Beispiele. 3. Abstellbahnhöfe. Bearbeitet von Kumbier. 4. Güterbahnhöfe. 5. Verschiebebahnhöfe.
- III. Bahnsteiganlagen und Verladerrampen.**

Die Darstellung bezieht sich im wesentlichen auf deutsche Verhältnisse und berücksichtigt die neuesten Bestimmungen der deutschen B.-O. und die im Frühjahr 1909 herausgegebene Neufassung der „Technischen Vereinbarungen“. Aus alledem dürfte zu ersehen sein, dass die vorliegende zweite Auflage der „Bahnhofsanlagen, dem heutigen Stande der Wissenschaft dieses Faches wohl entspricht; sie darf als eine wertvolle Bereicherung des heimischen technischen Schrifttums bezeichnet werden.

Zentralblatt der Bauverwaltung, 30. X. 09.

Signale u. Sicherungsanlagen.

Bearbeitet von
† Scholkmann, Berlin.

Mit 1008 Abbildungen im Text und 16 lithographierten Tafeln.

Preis M. 36.—, in Halbfranz gebunden M. 40.—.

- I. Einleitung. Allgemeine Einteilung und Einrichtung der Signale, Block- und Stellwerksanlagen.
- II. Allgemeine Gestaltung der Stellwerke und ihrer Zubehörteile. Mittel zur Fernbedienung und Sicherung der Signale und Weichen.
- III. Streckensicherung durch elektrische Blockung der Strecken- und Bahnhofsignale.
- IV. Die bauliche Einrichtung der Stellwerksanlagen.
- V. Weichensicherung durch Handverschluss.
- VI. Sicherung der Zugfolge, Streckenblockung.
- VII. Stellwerke mit Kraftantrieb, Kraftstellwerke.
- VIII. Das Entwerfen von Stellwerken.
- IX. Schlussbetrachtung.
- X. Die elektrischen Lätewerke.
- XI. Anhang: Auszug aus der preussischen Anweisung für das Entwerfen von Stellwerken.

Der Mangel eines Handbuches, das eine erschöpfende, bis auf die neueste Zeit reichende Darstellung und kritische Besprechung der Signal- und Sicherungs-Anlagen der Eisenbahnen bietet, ist in technischen Kreisen schon lange empfunden worden. Der vorliegende Teil der Eisenbahn-Technik der Gegenwart wird daher von vielen Seiten mit Freuden begrüßt werden. . . . Es ist darin nicht nur eine Fülle von Stoff niedergelegt, sondern der Inhalt ist auch in einer klaren und gründlichen Weise verarbeitet worden, die auf jeder Seite erkennen lässt, dass der Verfasser das behandelte Gebiet vollständig beherrscht.

Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen.

Das Werk, auf dessen überaus reichen Inhalt wir im einzelnen leider nicht näher eingehen können, erscheint in hohem Masse geeignet, eine vorhandene Lücke im eisenbahntechnischen Schrifttum auszufüllen, die besonders von dem akademisch gebildeten Eisenbahntechniker empfunden wurde; denn die vorhandenen ähnlichen Werke sind teils für einen anderen Leserkreis bestimmt, teils sind sie veraltet. Die Ausdrucksweise ist klar und bestimmt; die in den Text eingefügten zahlreichen, in angemessenen Maßstäben gezeichneten vortrefflichen Abbildungen erleichtern das Studium ungemein.

Centralblatt der Bauverwaltung.

Wir besitzen jetzt erst ein Kompendium, das alles Wissenswerte im Signal- und Sicherungswesen bis in die jüngste Zeit verfolgt und bei allem Eingehen in die Einzelheiten doch nie den Blick für das Ganze vermissen lässt.

Österr. Eisenbahn-Zeitung.

Die Unterhaltung der Eisenbahnen.

Bearbeitet von

Bathmann, Berlin; **Fränkel**, Dortmund; **Garbe**, Berlin; **Schubert**, Sorau;
Schugt, Neuwied; **Schuhmacher**, Potsdam; **Troske**, Hannover; **Weiss**, München.

Mit 146 Abbildungen im Text und 2 lithographierten Tafeln.

Preis M. 10.60, in Halbfranz geb. M. 13.—.

- I. Unterhaltung der Strecke.** a) Bahnkörper und Zubehör – Böschungen der Einschnitte und Dämme, Unterhaltung der Einfriedigungen, der Bahnübergänge und Nebenwege, Schneeschutzanlagen, Forstschutzstreifen. Schubert. b) Durchlässe, Brücken, Unter- und Überführungen, Tunnel. Bathmann. c) Oberbau einschliesslich des Verlegens. Geräte, Schienen- und Schwellendauer. Schubert.
- II. Unterhaltung der Bahnhöfe.** a) Weichen und Kreuzungen, Signal- und Stellwerkanlagen. Schubert. b) Drehscheiben, Schiebebühnen, Wagen, Kräne, Wasserstationen. Fränkel. c) Vorplätze, Bahnsteige, Ladestrassen, Bahnsteigtunnel, Bahnsteighallen, Entwässerungsanlagen. d) Hochbauten: 1. äussere Teile (Mauern und Wände, Dächer und Abdeckungen, Schornsteine, Rauchrohre, Schlote, Essen); 2. innere Teile (Türen, Fenster, Fussböden, Anstriche und Tapeten, Gas- und Wasserleitungen, Sicherung gegen Feuer.) Schugt.
- III. Unterhaltung der Betriebsmittel.** a) Betrieb der Werkstätten
1. Einleitung. 2. Einteilung und Leitung der Werkstätten. 3. Einteilung und Ausführung der Arbeiten. 4. Wirtschaftsführung. 5. Anweisung und Aufschreibung der Arbeitsausführungen. 6. Aufstellung der Lohn- und sonstigen Rechnungen. 1. Materialien-Verwaltung. 8. Inventar-Verwaltung. 9. Regelung der schriftlichen Arbeiten. 10. Arbeitsordnung. 11. Bewachung der Werkstätten. b) Unterhaltung der Lokomotiven: 1. des Kessels, 2. des Lauf- und Triebwerkes. Garbe und Troske. c) Unterhaltung der Wagen: 1. Personenwagen. Schuhmacher. 2. Güterwagen. Weiss.

Eine Fülle von Erfahrungen ist in diesen Abschnitten niedergelegt, die allen, welche sich mit der Unterhaltung des Bahnbestandes zu beschäftigen haben, von reichem Nutzen sein werden.

Zeitung des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen.

Betrieb, statistische Ergebnisse und wirtschaftliche Verhältnisse der Eisenbahnen.

Bearbeitet von

v. Beyer, Posen; Blum, Berlin; v. Borries, Hannover; Clausnitzer, Elberfeld; Grossmann, Wien; Leissner, Cassel; Nitschmann, Berlin; Zehme, Nürnberg.

Mit 93 Abbildungen im Text und einer lithographierten Tafel.

Preis M. 12.—, in Halbfranz geb. M. 14.50.

A. Betriebsdienst.

- I. Betrieb der Haupt- und Nebenbahnen. a) Bestimmungen der Betriebs- und Bahnordnung, der Signalordnung, der Technischen Vereinbarungen usw. Erklärung und Vergleich mit den Einrichtungen ausländischer Bahnen. Clausnitzer. 1. Zustand, Unterhaltung und Bewachung der Bahn. 2. Zustand der Betriebsmittel. 3. Handhabung des Betriebes. 4. Signalordnung. b) Streckendienst, Einteilung, Absperrung der Bahn, Dienst der Streckenbeamten. v. Beyer. c) Stationsdienst einschliesslich der Handhabung der Signale innerhalb der Bahnhöfe und auf den Signalstationen der freien Strecke. Nitschmann. d) Fahrdienst: 1. Einteilung und Fahrgeschwindigkeit der Züge. 2. Fahrpläne, Fahrordnungen, Kreuzungen, Überholungen, Verlegen derselben, Zugfolge. Clausnitzer. 3. Lokomotivdienst. 4. Wagendienst. Leissner. 5. Zusammensetzung und Dienst der Begleitmannschaften. Clausnitzer. e) Verschiebedienst. Blum.
- II. Betrieb der Kleinbahnen. v. Beyer.
- III. Betrieb der elektrischen Bahnen. Zehme.
- IV. Schmierung u. Schmiermittel, Warmlaufen der Lager. Grossmann.

B. Statistische Ergebnisse und wirtschaftliche Angaben der Eisenbahnen.

- I. Statistische Angaben über die Haupteisenbahnen im allgemeinen, deren Betrieb und Kosten. v. Borries.
- II. Wirtschaftliche Verhältnisse und Beförderungspreise der Kleinbahnen. v. Beyer.
- III. Wirtschaftliche Verhältnisse der elektrischen Bahnen.
C. Zehme.

Die eingehende Bearbeitung des immensen Stoffes, welcher das ganze Gebiet des Verkehrs- und Zugförderungsdienstes umfasst, wird auf Grund der gesetzlichen Vorschriften aufgebaut und werden die vielfachen Zweige des gewaltigen Eisenbahnwesens in musterhafter Weise behandelt. Alle Zweige des Strecken-, Stations-, Maschinendienstes u. s. w. sind in einer ausserordentlich knappen und klaren Weise besprochen.

Die Eisenbahningenieure werden das Werk mit ausserordentlicher Befriedigung verwenden, denn nicht nur das eigene Spezialfach wird ihnen Anregung gewähren, auch die anderen Gebiete des Betriebsdienstes werden in ihrem logischen Zusammenhange näher treten. Deutsche Gründlichkeit und deutsches Wissen ist auf allen Seiten des ausgezeichneten Werkes zu finden.

Wochenschrift für den öffentl. Baudienst.

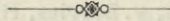
Die Zahnbahnen der Gegenwart.

Bearbeitet von

C. Dolezalek, Hannover.

=====*Mit 208 Abbildungen im Texte.*=====

Preis 6 Mark 60 Pf., in Halbfranz gebunden 8 Mark 60 Pf.



- I. **Neigungsgrenze bei Reibungsbahnen.**
- II. **Zahnbahnen.** — a) Allgemeines. — b) Die Zahnstange. — 1. Entwicklung und Einteilung. — 2. Leiterzahnstangen. — 3. Stufenzahnstangen. Bauart Abt. — 4. Liegende Doppelleiterzahnstange, Bauart Locher. — c) Verhältnis des Zahnrades zur Zahnstange. — 1. Zahn-
druck und Auftrieb. — 2. Beispiel. — 3. Neigungsgrenze. — 4. Beanspruchung der Zahnstangen und Rad-Zähne.
- III. **Verschiedene Betriebsarten der Zahnbahnen.** — a) Reine Zahnbahnen. — 1. Der Zug. — 2. Die Fahrgeschwindigkeit. — 3. Die Lokomotiven. — α . Die Dampflokomotiven. — A. Lokomotiven mit einem Triebzahnrad. — B. Lokomotiven mit zwei Triebzahnradern. — C. Lokomotiven mit drei Triebzahnradern. — D. Lokomotive der Pilatusbahn. — E. Die Bremsen. — F. Zugkraft, Leistung und Gewicht. — β . Die elektrischen Lokomotiven und Triebwagen. — A. Allgemeines. — B. Lokomotiven mit einem Triebzahnrad. — C. Triebwagen mit einem Triebzahnrad. — D. Lokomotiven mit zwei Triebzahnradern. — E. Triebwagen mit zwei Triebzahnradern. — F. Die Bremsen. — G. Zugkraft, Leistung und Gewicht. — 4. Spurweite. — 5. Krümmungen. — 6. Oberbau. — 7. Strassenübergänge auf Zahnbahnen. — 8. Weichen auf Zahnbahnen. — 9. Neigungsverhältnisse der reinen Zahnbahnen. — b) Gemischte Reibungs- und Zahnbahnen. — 1. Betriebsarten. — 2. Der Zug. — 3. Die Fahrgeschwindigkeit. — 4. Die Lokomotiven. — α . Die Dampflokomotiven. — A. Lokomotiven mit einem Zylinderpaar und einem Triebzahnrad. — B. Lokomotiven mit zwei Zylinderpaaren und einem Triebzahnrad. — C. Lokomotiven mit zwei Zylinderpaaren und zwei Triebzahnradern. — D. Die Bremsen. — E. Zugkraft, Leistung und Gewicht. — β . Elektrische Lokomotiven. — 5. Spurweite und Krümmungen. — 6. Oberbau. — 7. Übergang von der Reibungsbahn zur Zahnbahn. — 8. Neigungsverhältnisse gemischter Bahnen. — 9. Ausführungsbeispiele gemischter Bahnen.
- IV. **Verzeichnis von Veröffentlichungen.**

Das Buch behandelt dieses Sondergebiet des Eisenbahnwesens in Kürze, ist aber klar und deutlich abgefasst und mit zahlreichen, äusserst sauberen und deutlichen Abbildungen geziert. Viele Ausführungsbeispiele erhöhen seinen Wert. Wir sind überzeugt, dass das eine wirklich fühlbar gewesene Lücke in der technischen Literatur ausfüllende Werk nicht nur dem Studierenden, sondern auch dem ausübenden Ingenieur als Leitfaden von grossem Nutzen sein wird, und empfehlen es deshalb auf das wärmste.
(*Technisches Gemeindeblatt VIII No. 14*)

Stadtbahnen, Lokomotiven und Triebwagen für Schmalspur-, Förder-, Strassen- und Zahn-Bahnen.

Bearbeitet von

Dr. Ing. O. Blum, Berlin; Rimrott, Berlin; † von Borries, Berlin;
Abt, Luzern.

Mit 325 Abbildungen im Text und 16 lithographierten Tafeln.

Preis M. 12.60, in Halbfranz gebunden M. 15.—.

Stadtbahnen. O. Blum.

- I. Allgemeines.
- II. Die verschiedenen Arten der Stadtbahnen, deren Vorteile und Nachteile.
- III. Linienführung.
- IV. Bauart und Bauausführung.
 - a) Belastungen, freier Raum, Oberbau.
 - b) Bau und Bauausführung der Stadtbahnen.
 - c) Bau und Bauausführung der Tiefbahnen.
- V. Stationsanlagen.
- VI. Eigentümlichkeiten des Betriebes städtischer Bahnen.

Betriebsmittel für Schmalspur-, Förder-, Strassen- und Zahn-Bahnen.
Rimrott, † von Borries und Abt.

Die kurze Aufzählung des Inhaltes lässt bereits erkennen, welch reichen Stoff der vorliegende Band enthält. Die meisterhafte Durcharbeitung und übersichtliche Gruppierung des Stoffes, die guten Abbildungen machen das Studium des Werkes zu einem Genuss.

Archiv f. Eisenbahnwesen.

Das vorliegende Werk ist sehr sorgfältig bearbeitet und mit vielen mustergültigen Abbildungen versehen; es bringt eine Auslese des Neuesten aus den hier behandelten Gebieten der Eisenbahntechnik, so dass es als ein durchaus zeitgemässes bezeichnet werden kann. Wir empfehlen seine Anschaffung nicht nur den Studierenden des Eisenbahnbaues und des Eisenbahnmaschinenwesens, sondern auch allen in der Praxis stehenden Ingenieuren des Eisenbahnfachs sowie den Lokomotivkonstrukteuren angelegentlichst. Das Werk reiht sich den bisher erschienenen Bänden der „Eisenbahntechnik der Gegenwart“ würdig an. *Techn. Gemeindeblatt X 20. VII. 07.*

Fahrzeuge

für

Schmalspur-, Förder- und Strassen-Bahnen

Städtische Bahnanlagen.

Bearbeitet von

Rimrott in Danzig, † **von Borries**, Berlin, **Abt** in Luzern,
O. Blum in Hannover.

Mit 158 Abbildungen im Texte.

Preis: M. 5.—, gebunden M. 7.50.

Wagen der Schmalspur- und Klein-Bahnen. Von Rimrott.

- a) Allgemeines über Schmalspur- und Strassen-Bahn-Wagen.
- b) Wagen für Fahrgäste, Gepäck und Post.
 1. Zwei- und dreiachsige Wagen. — 2. Vierachsige Wagen. —
 3. Gepäck- und Postwagen.
- c) Wagen für Zahnbahnen, bearbeitet von † von Borries unter Mitwirkung von Roman Abt.
- d) Güterwagen für Schmalspurbahnen. Von Rimrott.
 1. Offene Wagen. — 2. Bedeckte Güterwagen. — 3. Wagen für besondere Zwecke. — 4. Selbstentladende Wagen.
- e) Wagen für Förderbahnen.
- f) Rollböcke.
- g) Ausführung der Einzelteile der Wagen.
 1. Achssätze und Achsbüchsen. — 2. Tragfedern und deren Aufhängung. — 3. Zug- und Stoss-Vorrichtungen, Kuppelungen. —
 - 4. Bremsen. — 5. Unter- und Drehgestelle. — 6. Heizung, Lüftung, Beleuchtung. — 7. Kasten, Anstrich, innere Ausstattung.

Städtische Bahnanlagen. Von Dr. Ing. O. Blum.

I. Bauart.

Fahrzeuge für elektrische Eisenbahnen.

Bearbeitet von

E. C. Zehme, Berlin.

Mit 242 Abbildungen im Texte und 6 lithographierten Tafeln.

Preis M. 10.—, gebunden M. 12.50.

- E. I. Fahrzeuge für elektrische Eisenbahnen.
- 1 a) Einleitung.
 - b) Maschinen-Ausrüstung der Fahrzeuge.
 - 1. Die Triebmaschine.
 - 2. Der Aufbau der Triebmaschinen.
 - 3. Triebwerke.
 - 4. Anordnung und Lagerung der Triebmaschinen im Fahrzeuge.
 - 5. Regelung der Triebmaschinen.
 - 6. Stromabnehmer.
 - 7. Sonstige elektrische Einrichtungen der Fahrzeuge.
- E. II. Die Wagen der Straßenbahnen.
- a) Die Untergestelle der Straßenbahnwagen.
 - b) Drehgestelle der Straßenbahnwagen.
 - c) Die Wagenkasten der Straßenbahnen.
 - d) Die Bremsen der Straßenbahnwagen.
 - e) Die Sandstreuvorrichtungen der Straßenbahnwagen.
 - f) Schutzvorrichtungen und Bahnräumer.
 - g) Die Anhängewagen.
 - h) Sonstige Fahrzeuge für Straßenbahnen.
 - 1. Güter- und Postwagen.
 - 2. Schneefegewagen.
 - 3. Salzstreuwagen.
 - 4. Sprengwagen.
 - i) Gewichte der Straßenbahnwagen.
 - k) Beispiele ausgeführter Straßenbahnwagen.
- E. III. Die Fahrzeuge der elektrischen Stadt- und Haupt-Eisenbahnen.
- a) Einleitung.
 - b) Die Baubedingungen für die Fahrzeuge der Stadtschnellbahnen.
 - 1. Leistungsfähigkeit.
 - 2. Die Reisegeschwindigkeit.
 - 3. Fahrgelegenheit.
 - 4. Betriebsicherheit.
 - 5. Wirtschaft.
 - 6. Wahl zwischen Triebwagen u. Lokomotiven bei Stadtschnellbahnen.
 - c) Die Baubedingungen für die Fahrzeuge der Haupteisenbahnen.
 - d) Die Triebmaschinen der elektrischen Stadt- und Haupteisenbahnen.
 - 1. Bestimmung der Leistung.
 - 2. Berechnung und Ausführung der Triebmaschinen für elektrische Stadt- und Hauptbahnen.
 - e) Die Schalteinrichtungen der Fahrzeuge der elektrischen Stadt- und Hauptbahnen.
 - 1. Die Stromabnehmer.
 - 2. Die Steuerungen der elektrischen Stadt- und Hauptbahnen.
- E. IV. Beispiele ausgeführter Fahrzeuge für Stadt- und Hauptbahnen.
- a) Triebwagen der Untergrundbahn Neuyork.
 - b) Triebwagen der Tiefbahn Baker-Straße—Waterloo in London.
 - c) Triebwagen der Drehstrom-Hauptbahn des Veltlin.
- E. V. Elektrische Lokomotiven für Stadt- und Hauptbahnen.
- a) Verwendung der Lokomotiven.
 - b) Baubedingungen für elektrische Lokomotiven.
 - 1. Baubedingungen für den mechanischen Teil.
 - 2. Baubedingungen für den elektrischen Teil.
 - c) Beispiele ausgeführter Hauptbahnlokomotiven.

Die Eisenbahn-Technik der Gegenwart.

Herausgegeben von

Dr. Ing. Barkhausen,

Geheimen Regierungsrate,
Professor der Ingenieurwissenschaften a. D., Hannover.

Dr. Ing. Blum,

Wirklichem Geheimen Oberbaurate,
Berlin.

† von Borries,

Geheimen Regierungsrate,
Professor an der Technischen Hochschule
Berlin

Courtin,

Oberbaurate, Karlsruhe.

von Weiss,

Geheimen Rate, München.

- I. Band. **Das Eisenbahnmaschinenwesen.**
1. Abschnitt. **Die Eisenbahn-Fahrzeuge.**
 1. Teil. **Die Lokomotiven.** I. Hälfte. Dritte umgearbeitete Auflage. (Seite 3.) Mit 684 Abbildungen im Texte und 11 lithographierten Tafeln. Preis M. 24.—, gebunden M. 27.—.
 2. Teil. **Die Wagen, Bremsen, Schneepflüge u. Fährschiffe.** Zweite, umgearb. Auflage. (S. 4.) Mit 731 Abbild. im Text u. 12 lithogr. Tafeln. Preis M. 27.—, gebunden M. 30.—
 2. Abschnitt. **Die Eisenbahn-Werkstätten.** (Seite 5.)
Mit Abbildungen im Text und lithographierten Tafeln. Zweite Auflage ist in Bearbeitung.
- II. Band. **Der Eisenbahnbau.**
1. Abschnitt. **Linienführung und Bahngestaltung.** Zweite umgearbeitete Auflage. (Seite 6.)
Mit 121 Abbild. im Text und 3 lithogr. Tafeln. Preis M. 5.40, geb. M. 7.—.
 2. Abschnitt. **Oberbau- und Gleisverbindungen.** Zweite umgearbeitete Auflage. (Seite 7.)
Mit 440 Abbildungen im Text und 2 lithographierten Tafeln. Preis M. 12.—, gebunden M. 14.50.
 3. Abschnitt. **Bahnhofsanlagen.** Zweite umgearbeitete Auflage. (Seite 8.)
Mit 348 Abbild. im Text u. 11 lithogr. Tafeln. Preis M. 16.80, geb. M. 19.50.
 4. Abschnitt. **Signale und Sicherungsanlagen.** (Seite 9.)
Mit 1008 Abbild. im Text u. 26 lithogr. Tafeln. Preis M. 36.—, geb. M. 40.—.
- III. Band. **Unterhaltung und Betrieb der Eisenbahnen.**
1. Hälfte. **Unterhaltung der Eisenbahnen.** (Seite 10.)
Mit 146 Abbild. im Text und 2 lithogr. Tafeln. Preis M. 10.60, geb. M. 13.—.
 2. Hälfte. **Betrieb, statistische Ergebnisse und wirtschaftliche Verhältnisse.** (Seite 11.) Mit 93 Abbildungen im Text und 1 lithogr. Tafel. Preis M. 12.— geb. M. 14.50.
- IV. Band. **Zahnbahnen. Stadtbahnen. Lokomotiven und Triebwagen für Schmalspur-, Förder-, Strassen- und Zahnbahnen. Fahrzeuge der Kleinbahnen und elektrischen Bahnen. Elektrische Bahnen. Seilbahnen.**
- Abschnitt A. **Zahnbahnen.** Mit 208 Abbild. im Texte. Preis M. 6.60, geb. M. 8.60. (Seite 12.)
- Abschnitt B und C. **Stadtbahnen. Lokomotiven und Triebwagen für Schmalspur-, Förder-, Strassen- und Zahnbahnen.** (Seite 13.)
Mit 325 Abbild. im Texte u. 16 lithogr. Tafeln. Preis M. 12.60, geb. M. 15.—.
- Abschnitt C (Schluss) und D. **Fahrzeuge für Schmalspur-Förder- und Strassenbahnen. Städtische Bahnanlagen.** (Seite 14.) Mit 158 Abbildungen im Texte. Preis M. 5.—, geb. M. 7.50.
- Abschnitt E. **Fahrzeuge für elektrische Eisenbahnen (S. 15).**
Mit 242 Abbild. im Text und 6 lithogr. Tafeln. Preis M. 10.—, geb. M. 12.50.

Preisgekrönt vom Vereine Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen.

DIE EISENBAHN-TECHNIK DER GEGENWART.

UNTER MITWIRKUNG VON

ABT, LUZERN; † BATHMANN, STETTIN; BAUMANN, KARLSRUHE; BERNDT, DARMSTADT;
† VON BEYER, POSEN; BIBER, MÜNCHEN; A. BLUM, BERLIN; O. BLUM, HANNOVER;
BORCHART, MAGDEBURG; † VON BORRIES, BERLIN; BRÜCKMANN, BERLIN; BUSSE, KOPEN-
HAGEN; CLAUSNITZER, WEIMAR; COURTIN, KARLSRUHE; DIETZ, BERLIN; DOLEZALEK,
BERLIN; EBERT, MÜNCHEN; FRAENKEL, ERFURT; GARBE, BERLIN; GÖLSDORF, WIEN;
† GRIMKE, CASSEL; GROESCHEL, MÜNCHEN; GROSSMANN, WIEN; HALFMANN, BERLIN;
HAMMEL, MÜNCHEN; HEFFT, KARLSRUHE; HIMBECK, BERLIN; † JÄGER, AUGSBURG;
KITTEL, STUTTGART; KOHLHARDT, WITTENBERGE; KUMBIER, BERLIN; W. KUNTZE,
BERLIN; LAISTNER, STUTTGART; LEHNERS, HALBERSTADT; † LEISSNER, CASSEL; † LEITZ-
MANN, DARMSTADT; VON LEMMERS-DANFORTH, MÜLHEIM-RUHR; VON LITTROW, WIEN;
MAYSCHIEDER, MÜNCHEN; MEYERINGH, WITTEN; NADERER, NEUAUBING; NITSCHMANN,
BERLIN; PATTE, ERFURT; † PAUL, LIPPSTADT; † REIMHERR, BERLIN; RICHTER, LEIPZIG;
RIEMER, STETTIN; RIMROTT, DANZIG; SANZIN, WIEN; † SCHOLKMANN, BERLIN; SCHRA-
DER, FALKENBERG; † SCHUBERT, BERLIN; SCHUGT, NEUWIED; SCHUMACHER, POTSDAM;
SOMMERGUTH, BERLIN; STABY, LUDWIGSHAFEN; TROSKE, HANNOVER; † UNGER, BERLIN;
WAGNER, BRESLAU; † WALZEL, WIEN; WEHRENFENNIG, WIEN; VON WEISS, MÜNCHEN;
ZEHME, BERLIN.

HERAUSGEGEBEN VON

Dr. Ing. **BARKHAUSEN**

GEHEIMEM REGIERUNGSRATE,
PROFESSOR DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN A. D., HANNOVER.

Dr. Ing. **BLUM**

WIRKLICHEM GEHEIMEM OBER-
BAURATE, BERLIN.

COURTIN

OBERBAURATE, KARLSRUHE.

VON WEISS

GEHEIMEM RATE, MÜNCHEN

VIERTER BAND

ZAHNBAHNEN. STADTBAHNEN. LOKOMOTIVEN UND TRIEB-
WAGEN FÜR SCHMALSPUR-, FÖRDER-, STRASSEN- UND ZAHN-
BAHNEN. FAHRZEUGE DER KLEINBAHNEN UND ELEK-
TRISCHEN BAHNEN. ELEKTRISCHE BAHNEN. SEILBAHNEN.

MIT ABBILDUNGEN IM TEXTE UND LITHOGRAPHIERTEN TAFELN.

WIESBADEN

C. W. KREIDEL'S VERLAG

1914.

ZAHNBAHNEN. STADTBAHNEN. LOKOMOTIVEN
UND TRIEBWAGEN FÜR SCHMALSPUR-, FÖRDER-,
STRASSEN- UND ZAHN-BAHNEN. FAHRZEUGE
DER KLEINBAHNEN UND ELEKTRISCHEN BAHNEN.
ELEKTRISCHE BAHNEN. SEILBAHNEN.

HERAUSGEGEBEN VON

Dr. Ing. **BARKHAUSEN**

GEHEIMEM REGIERUNGSRATE,
PROFESSOR DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN A. D., HANNOVER.

Dr. Ing. **BLUM**

WIRKLICHEM GEHEIMEM OBER-
BAURATE, BERLIN.

COURTIN

OBERBAURATE, KARLSRUHE.

VON WEISS

GEHEIMEM RATE, MÜNCHEN.

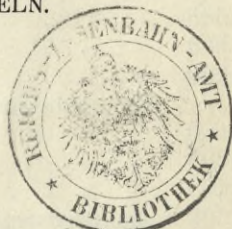
ABSCHNITT E.

FAHRZEUGE FÜR ELEKTRISCHE EISENBAHNEN.

BEARBEITET VON

E. C. ZEHME, BERLIN.

MIT 242 ABBILDUNGEN IM TEXTE UND 6 TAFELN.



H:1214

WIESBADEN

C. W. KREIDEL'S VERLAG.

1914.

320

ALLE RECHTE VORBEHALTEN.

NACHDRUCK VERBOTEN.

ÜBERSETZUNGEN IN ALLE SPRACHEN, AUCH IN DIE UNGARISCHE UND
RUSSISCHE, VORBEHALTEN.

WISSENSCHAFTLICHE VERLAGS-ANSTALT
D. W. FRIEDRICH VERLAG

1911

Inhaltsverzeichnis *).

	Seite
E. I. Fahrzeuge für elektrische Eisenbahnen	633
Ia) Einleitung	633
b) Maschinen-Ausrüstung der Fahrzeuge	636
1. Die Triebmaschine	636
α. Allgemeines	636
β. Gleichstrom-Triebmaschinen	637
A. Anordnung	637
B. Die Berechnung der Gleichstrom-Reihenschluß-Triebmaschine	639
γ. Wechselstrom-Triebmaschinen	647
δ. Drehstrom-Triebmaschinen	648
ε. Einwellen Wechselstrom-Triebmaschinen mit Stromwender	652
A. Die Reihenschluß-Triebmaschine mit Stromwender für Einwellen-Wechselstrom	653
B. Die „kompensierte Repulsions“-Triebmaschine mit Stromwender für Einwellen-Wechselstrom	663
C. Die doppeltgespeiste Triebmaschine für Einwellen-Wechselstrom	668
D. Die einfache „Repulsions“-Triebmaschine	670
2. Der Aufbau der Triebmaschinen	673
α. Allgemeine Bauart	673
β. Achsen, Lager und Schmierung	677
3. Triebwerke	679
α. Zahnradgetriebe	679
β. Kuppelungen zwischen Triebmaschine und Triebachse	682
γ. Trieb- und Kuppel-Stangen	683
4. Anordnung und Lagerung der Triebmaschinen im Fahrzeuge	684
α. Anordnung der Triebmaschinen	684
β. Lagerung der Triebmaschinen	685
A. Lagerungen auf der Triebachse	685
B. Aufhängungen im Wagenrahmen	685
5. Regelung der Triebmaschinen	686
α. Regelungsverfahren	686
A. Regelung der Gleichstrom-Triebmaschine	686
B. Regelung der Drehstrom-Triebmaschine	692
C. Regelung der Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschinen mit Stromwender	694
β. Regelungsvorrichtungen	695
A. Einfache Fahrschalter	695
B. Ausführung der Vielfach-Fahrschalter der Zugsteuerungen	703
C. Induktionsregler für Zugsteuerungen	708
6. Stromabnehmer	709
α. Der einfache Rollen-Stromabnehmer	709
β. Der einfache Bügel-Stromabnehmer	711

*) Ein buchstäblich geordnetes Sach- und Namenverzeichnis wird mit jedem vollen Bande ausgegeben.

	Seite
γ. Einfache Walzen-Stromabnehmer	712
δ. Hochleitung-Stromabnehmer für hohe Fahrgeschwindigkeiten	714
ε. Die Umkehr-Stromabnehmer für Hochleitung	715
ζ. Stromabnehmer für die „dritte Schiene“	718
7. Sonstige elektrische Einrichtungen der Fahrzeuge	720
α. Anfahrwiderstände	720
β. Schmelzsicherungen	722
γ. Selbsttätige Ausschalter, Handausschalter	724
δ. Blitzschutzvorrichtungen	725
ε. Leitungen	726
ζ. Abspanner, Transformatoren	727
η. Beleuchtung der Fahrzeuge	727
θ. Luftpumpen	728
ι. Meßgeräte	728
κ. Elektrische Heizkörper	729
E. II. Die Wagen der Straßenbahnen	729
a) Die Untergestelle der Straßenbahnwagen	729
b) Drehgestelle der Straßenbahnwagen	737
c) Die Wagenkasten der Straßenbahnen	740
1. Sitzeinteilung	740
2. Wagenkastengestell	741
3. Wagendach	741
4. Endbühnen	741
5. Streckenschilder und Lampen	743
d) Die Bremsen der Straßenbahnwagen	744
1. Handbremsen	745
2. Elektrische und magnetische Bremsen	747
3. Luftdruckbremsen	750
e) Die Sandstreuvorrichtungen der Straßenbahnwagen	756
f) Schutzvorrichtungen und Bahnräumer	757
g) Die Anhängewagen	758
h) Sonstige Fahrzeuge für Straßenbahnen	759
1. Güter- und Post-Wagen	759
2. Schneefegewagen	759
3. Salzstreuwagen	763
4. Sprengwagen	763
i) Gewichte der Straßenbahnwagen	764
k) Beispiele ausgeführter Straßenbahnwagen	765
E. III. Die Fahrzeuge der elektrischen Stadt- und Haupt-Eisenbahnen	776
a) Einleitung	776
b) Die Baubedingungen für die Fahrzeuge der Stadtschnellbahnen	776
1. Leistungsfähigkeit	776
2. Die Reisegeschwindigkeit	791
3. Fahrgelegenheit	791
4. Betriebsicherheit	793
5. Wirtschaft	793
6. Wahl zwischen Triebwagen und Lokomotiven bei Stadtschnellbahnen	794
α. Reibungsgewicht	794
β. Totes Gewicht	794
γ. Zuglänge	794
δ. Rasche Zugbildung	794
ε. Wirtschaft	795

INHALTSVERZEICHNIS.

	Seite
c) Die Baubedingungen für die Fahrzeuge der Haupteisenbahnen . . .	795
d) Die Triebmaschinen der elektrischen Stadt- und Haupt-Eisenbahnen	796
1. Bestimmung der Leistung	796
α. Bestimmung der Maschinengröße für Stadtbahnen	796
β. Bestimmung der Maschinengröße für Haupteisenbahnen	798
2. Berechnung und Ausführung der Triebmaschinen für elektrische Stadt- und Haupt-Bahnen	800
e) Die Schalteinrichtungen der Fahrzeuge der elektrischen Stadt- und Hauptbahnen	808
1. Die Stromabnehmer	809
α. Die Stromabnehmer für die „dritte“ Schiene	809
β. Die Stromabnehmer für Oberleitungen	812
2. Die Steuerungen der elektrischen Stadt- und Hauptbahnen	818
 E. IV. Beispiele ausgeführter Fahrzeuge für Stadt- und Hauptbahnen	 836
a) Triebwagen der Untergrundbahn Neuyork	836
b) Triebwagen der Tiefbahn Baker-Straße—Waterloo in London	843
c) Triebwagen der Drehstrom-Hauptbahn des Veltlin	846
 E. V. Elektrische Lokomotiven für Hauptbahnen	 847
a) Verwendung der Lokomotiven	847
b) Baubedingungen für elektrische Lokomotiven	847
1. Baubedingungen für den mechanischen Teil	848
α. Einfluß der Anordnung und Aufhängung der Achsen	849
β. Einfluß der Größe des Trägheitsmomentes um die senkrechte Drehachse	851
γ. Einfluß der Höhenlage des Schwerpunktes	851
2. Baubedingungen für den elektrischen Teil	853
α. Einzel-Triebmaschinen an den Achsen	853
A. Triebmaschinen mit Zahnradübersetzungen	853
B. Triebmaschinen an den Achsen ohne Zahnradübersetzung	855
β. Lokomotiven mit Triebmaschinen am Lokomotivrahmen	856
A. Lokomotiven mit tief liegenden Triebmaschinen	856
B. Lokomotiven mit hoch liegenden Triebmaschinen	858
c) Beispiele ausgeführter Hauptbahnlokomotiven	860

Verzeichnis der Herausgeber und Mitarbeiter.

- Abt, Ingenieur in Luzern.
- *) Barkhausen, Dr. Ing., Geheimer Regierungsrat, Prof. a. D. in Hannover.
- † Bathmann, Oberbaurat in Stettin.
- Baumann, Baurat in Karlsruhe.
- Berndt, Geheimer Baurat, Professor in Darmstadt.
- † von Beyer, Eisenbahnbau- und Betriebsinspektor a. D. in Posen.
- Biber, Ministerialrat in München.
- *) Blum, A., Dr. Ing., Wirklicher Geheimer Oberbaurat in Berlin.
- Blum, O., Dr. Ing., Professor in Hannover.
- Borchart, Oberbaurat in Magdeburg.
- *) † von Borries, Geheimer Regierungsrat, Professor in Berlin.
- Brückmann, Direktor der Berliner Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft
vormals L. Schwartzkopff in Berlin.
- Busse, Eisenbahndirektor a. D. in Kopenhagen.
- Clausnitzer, Ober- und Geheimer Baurat a. D. in Weimar.
- *) Courtin, Oberbaurat in Karlsruhe.
- Dauner, Bauinspektor in Stuttgart.
- Dietz, Baurat in Berlin.
- Dolezalek Dr. Ing., Geheimer Regierungsrat, Professor in Berlin.
- Ebert, Oberregierungsrat in München.
- Fraenkel, Regierungs- und Baurat in Erfurt.
- Garbe, Dr. Ing., Geheimer Baurat a. D. in Berlin.
- Gölsdorf, Dr. Ing., Sektionschef in Wien.
- † Grimke, Eisenbahn-Bauinspektor a. D. in Cassel.
- Groeschel, Dr., Oberregierungsrat in München.
- Großmann, Oberinspektor in Wien.
- Halfmann, Regierungs- und Baurat in Berlin.
- Hammel, Direktor der Lokomotivbauanstalt J. A. Maffei in München.
- Hefft, Dr. phil., Obermaschineninspektor in Karlsruhe.
- Himbeck, Regierungsbaumeister a. D. in Berlin.
- † Jäger, Eisenbahn-Präsident in Augsburg.
- Kittel, Oberbaurat in Stuttgart.
- Kohlhardt, Regierungs- und Baurat in Wittenberge.
- Kumbier, Geheimer Baurat und Vortragender Rat in Berlin.
- Kuntze, W., Geheimer Baurat in Berlin.
- Laistner, Baurat in Stuttgart.
- Lehners, Regierungs- und Baurat in Halberstadt.
- † Leifsner, Eisenbahn-Bauinspektor a. D., Direktor der Lokomotiv-Bau-
anstalt von Henschel und Sohn in Cassel.
- † Leitzmann, Geheimer Baurat a. D. in Darmstadt.
- von Lemmers-Danforth, Regierungs- und Baurat in Mülheim-Ruhr.
- von Littrow, Hofrat in Wien.
- Mayscheider, Regierungsrat in München.
- Meyeringh, Regierungsbaumeister in Witten.
- Naderer, Obermaschineninspektor in Neuaußing bei München.
- Nitschmann, Geheimer Oberbaurat in Berlin.
- Patté, Oberbaurat in Erfurt.
- † Paul, Regierungs- und Baurat z. D. in Lippstadt.
- † Reimherr, Regierungsbaumeister a. D. in Berlin.

*) Herausgeber.

- Richter, Baurat in Leipzig.
 Riemer, Regierungsbaumeister in Stettin.
 Rimrott, Dr. Ing., Eisenbahndirektions-Präsident in Danzig.
 Sanzin, Dr. techn., Maschinen-Oberkommissär, Dozent an der Technischen Hochschule in Wien.
 †Scholkmann, Geheimer Oberbaurat in Berlin.
 Schrader, Geheimer Regierungsrat in Falkenberg.
 †Schubert, Geheimer Baurat in Berlin.
 Schugt, Regierungs- und Baurat a. D. in Neuwied.
 Schumacher, Geheimer Baurat in Potsdam.
 Sommerguth, Regierungs- und Baurat a. D. in Berlin.
 Staby, Oberregierungsrat in Ludwigshafen am Rhein.
 Troske, Geheimer Regierungsrat, Professor in Hannover.
 †Unger, Regierungs- und Baurat in Berlin.
 Wagner, Ober- und Geheimer Baurat in Breslau.
 †Walzel, Oberinspektor in Wien.
 Wehrenfennig, Baurat a. D. in Wien.
 *) von Weifs, Geheimer Rat in München.
 Zehme, Ehemaliger Ober-Ingenieur der Siemens-Schuckert-Werke, Schriftleiter der Elektrotechnischen Zeitschrift, Privatdozent an der Technischen Hochschule in Berlin.

Bemerkung.

In Übereinstimmung mit den übrigen Bänden des Werkes ist auch in diesem Abschnitte danach gestrebt worden, nach Möglichkeit deutsche Bezeichnungen einzuführen, zum Teile in Abweichung von den Fachausdrücken des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, womit sich der Verfasser zwecks einheitlicher Gestaltung des Werkes einverstanden erklärt hat.

Abschnitt E. Elektrische Eisenbahnen.

Bearbeitet von E. C. Zehme.

E. I. Fahrzeuge für elektrische Eisenbahnen.

I. a. Einleitung.

Die elektrischen Bahnen haben ihre erste Entwicklung in Deutschland, ihre erste Blüte in Amerika gehabt. Nachdem die Ausstellungsbahnen in Berlin 1879, Düsseldorf 1880, Frankfurt 1881 den Beweis der Lebensfähigkeit der Anordnung erbracht hatten, entstanden nach einander folgende Betriebsbahnen:

- 1881. Groß-Lichterfelde bei Berlin, 2,42 km lang, mit Stromzuführung durch die Fahrschienen, erbaut von Siemens und Halske, Berlin;
- 1883. Güterbahn in Brannenburg bei Rosenheim, mit oberirdischer Stromzuführung durch Rollen mit Schleifbürste, erbaut von S. Schuckert, Nürnberg;
- 1883. Mödling bei Wien, 4,4 km lang, mit oberirdischer Stromzuführung durch in Röhren gleitende Schiffchen, erbaut von Siemens und Halske, Berlin;
- 1884. Offenbach-Frankfurt, 6,7 km lang, Ausführung wie in Mödling;
- 1885. Richmond in den Vereinigten Staaten, Strafsenbahn, oberirdische Stromzuführung durch Rolle, erbaut von Frank J. Sprague;
- 1886. Ungerer Bad-Schwabing bei München, 0,75 km lang mit Stromzuführung durch die Fahrschienen, erbaut von S. Schuckert, Nürnberg.

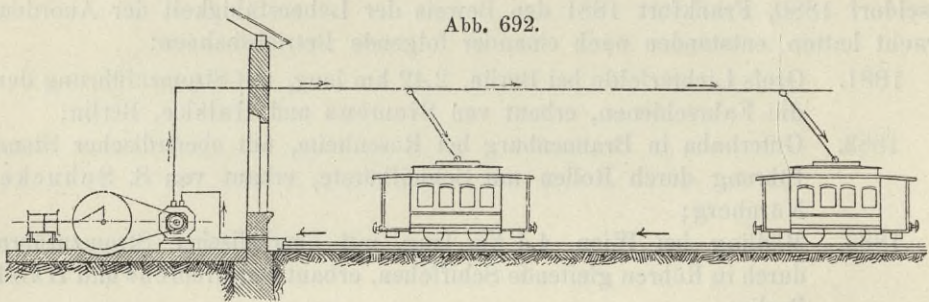
Die ersten Anlagen waren kostspielig und im Betriebe unzuverlässig. Man schwankte zwischen verschiedenen Anordnungen, machte auch mit Speicherbetrieb und unterirdischen Stromzuführungen Versuche, ohne zu einem durchschlagenden Erfolge zu gelangen. Im Jahre 1885 begann die weitere Entwicklung der elektrischen Bahnen in Amerika, wo man in der richtigen Erkenntnis, daß die Frage des elektrischen Bahnbetriebes vor allem eine Frage der Stromzuführung vom Kraftwerke zum Fahrzeuge sei, an der oberirdischen Stromzuführung festhaltend allmählich eine hinsichtlich der Einfachheit, Betriebsicherheit und der Kosten brauchbare Ausführungsform fand. Sie erinnert an die der oben aufgeführten, von F. Tischendörfer entworfenen Güterbahn in Brannenburg.

Textabb. 692 zeigt in einfacher Weise die Teile einer elektrischen Bahn mit oberirdischer Stromzuführung. Der in der Maschinenanlage befindliche Stromerzeuger liefert, von einer Kraftmaschine getrieben, den Strom, der dem Wagen durch die Luftleitung zugeführt wird, während die Rückleitung durch die Schienen erfolgt. Die

auf der Strecke befindlichen Wagen sind neben einander geschaltet, erhalten also alle die volle Netzspannung.

Die Einfachheit dieser Anordnung verschaffte ihr in kurzer Zeit allgemeinen Eingang bei den Strafsenbahnen der Vereinigten Staaten, so daß alle Neuanlagen elektrischen Betrieb vorsahen und alle Pferde- und Kabel-Bahnen zu ihm übergingen. In Europa erhielt zuerst im Jahre 1891 die Stadt Halle eine elektrische Bahn amerikanischen Ursprunges von Sprague. Den Bedenken der Stadtverwaltungen gegen die Drahtnetze in Strafsen und auf Plätzen begegnete man meist durch verzierte Ständer und Maueranker, so daß diese Bauart bald auch in Europa große Verbreitung erlangte.

Nur in Budapest und streckenweise auch in einigen anderen großen Städten wurde seiner Zeit die oberirdische Zuleitung nicht zugelassen, so daß eine unterirdische geschaffen werden mußte, die von Textabb. 692 nur dadurch abweicht, daß die Stromzuführung und die Rückleitung in einen unter einer Fahr- schiene gemauerten Graben verlegt sind, in den die Stromabnehmer des Wagens hineingreifen. Diese Leitungsart beeinträchtigt das Strafsenbild allerdings nicht, erfordert aber große Sauberkeit, besonders im Winter, und gute Entwässerung des



Stromlauf einer elektrischen Bahnanlage.

Grabens; sie ist kostspielig und lohnt sich nur bei starkem Verkehre. Hierin lag der Grund für die damalige Beschränkung dieser Leitungsart auf wenige Ausführungen in Europa. Auch haben sich an einigen Orten geschlossene unterirdische Zuleitungen eingebürgert, so in Paris und London.

Zu diesen im Betriebe erprobten Bauarten trat dann, als man zur Einführung des elektrischen Betriebes auf Neben- und Haupt-Bahnen überging, die Stromzuführung durch eine dritte Schiene, die Stromschiene; daneben haben eine Reihe von Bahnen hauptbahnähnlicher Art, beispielsweise die Isartalbahn von Schuckert, und neuerdings alle mit hochgespanntem Strome arbeitenden Bahnen die oberirdische Stromzuführung wieder aufgenommen. Die Stromschiene besitzt zwar alle für einen starken Betrieb erforderlichen Eigenschaften: sie ist dauerhaft, leicht zu verlegen und läßt bei ausreichender Sicherung gegen Unfälle eine einfache und sichere Stromabnahme zu, doch erschwert sie die Gleiserhaltung, ist in verzweigten Gleisstraßen recht unbequem für die Bahnhofbediensteten, und zur Zeit nur bei Spannungen bis etwa 1000 Volt anwendbar, für höhere Spannungen, wie sie im Hauptbahnbetriebe in Betracht kommen, aber untauglich.

Die hier genannten Betriebsarten leiden alle an unmittelbarer Abhängigkeit des Betriebes von der Wirksamkeit der Leitungen und der Maschinenanlage,

deren Zustände sich unmittelbar auf weiten Strecken, oder gar auf der ganzen Linie, fühlbar machen, und mit Rücksicht auf die Landesverteidigung für die Einführung des elektrischen Betriebes auf den bestehenden Stammlinien der Haupteisenbahnen geradezu ein Hindernis darstellen.

Andere Betriebsarten, die die freie Beweglichkeit und Selbständigkeit der Fahrzeuge gewähren, sind aus wirtschaftlichen Gründen im Großen noch nicht zur Anwendung gekommen. Hierher gehören alle mit einer selbstständigen Stromerzeugungsanlage oder mit elektrischen Speichern ausgerüsteten Fahrzeuge. Die ersteren erhalten entweder nach dem Vorgange Heilmanns²⁰⁴⁾ eine vollständige Dampfanlage, die einen Stromerzeuger antreibt, oder zu gleichem Zwecke eine Verbrennungsmaschine. Der Strom wird in gewöhnlicher Weise den auf die Triebachsen des Fahrzeuges wirkenden elektrischen Triebmaschinen zugeführt. Die von Heilmann in dieser Weise ausgestatteten Lokomotiven zur Förderung ganzer Züge boten trotz der im Vergleiche zu reinen Dampflokomotiven zweckmäßigeren Arbeitsweise der Dampfmaschine und der Kessel eher Nachteile als Vorzüge, so daß sie bald wieder aufgegeben wurden. Dagegen haben sich einzeln fahrende Kraftwagen dieser Bauart bei sparsamem, aber nicht unwichtigem Ortsverkehre auf Haupt- und Neben-Bahnen behauptet. Dasselbe gilt von den mit elektrischen Speichern versehenen Triebwagen, deren Ladung meist in bahneigenen Kraftwerken bewirkt wird, und die zuerst bei den pfälzischen Eisenbahnen in Ludwigshafen a./Rh., dann auf dem Netze der preussisch-hessischen Staatseisenbahnen ausgedehnte Anwendung gefunden haben.

Erwähnenswert sind noch die in den Jahren 1901 bis 1903 vorgenommenen Schnellfahrversuche der „Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen“ auf der Militärbahn Berlin-Zossen, bei denen mit zwei Fahrzeugen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft und der Siemens und Halske-Aktien-Gesellschaft unter Anwendung von Drehstrom mit 10000 Volt verketteter Spannung die bis dahin für unerreichbar angesehene Fahrgeschwindigkeit von 210 km/St erzielt wurde. Vom Standpunkte des elektrischen Antriebes war an der Möglichkeit solcher Fahrgeschwindigkeiten nicht zu zweifeln; die Schnellbahnfrage ist lediglich eine Frage der Bahnanlage und des Fahrzeuges in seiner Beziehung zu dieser. Darin, sowie in der Bestimmung des Bewegungswiderstandes bei hohen Fahrgeschwindigkeiten haben die Versuche, soweit ihre kurze Dauer es ermöglichte, zur Klärung der Anschauungen beigetragen²⁰⁵⁾.

Die großen Vorzüge des elektrischen Betriebes vor anderen Betriebsarten, vornehmlich vor dem Dampfbetriebe: rasche Folge kleinerer Züge auf Kleinbahnen, hohes Reibungsgewicht bei Stadt- und Vorort-Bahnen, geringes Gewicht und geringe Länge der Lokomotiven bei Hauptbahnen, sowie größere Reinlichkeit und angenehmere Fahrt, sind heute allgemein anerkannt. Diese Erkenntnis hat dazu geführt, daß überall, wo mit der elektrischen Übertragung der Arbeit auf sehr weite Strecken nicht zu rechnen war, also auf Straßsen-, Stadt- und Vorort-Bahnen, ausschließlich elektrischer Betrieb in Frage kommt. Bei den Haupteisenbahnen konnte mit Rücksicht auf die großen Stromversorgungsgebiete nicht mit ihm gerechnet werden, solange man auf Gleichstrom-Triebmaschinen angewiesen war, die entweder die Verteilung von Gleichstrom in den bei diesem gegebenen engen Spannungsgrenzen, oder die Verteilung von hochgespanntem Wechselstrom und dessen teure und umständliche

²⁰⁴⁾ Organ 1894, S. 40, 237, 239; 1895, S. 22, 44. ²⁰⁵⁾ Denninghoff: Über die Zugwiderstände der Eisenbahnfahrzeuge, Glasers Annalen 1906, Bd. 58, S. 223.

Umformung in Gleichstrom längs der Bahnlinie nötig machten. Die den Elektrotechnikern ständig vorschwebende Frage der Erbauung einer in einfacher Weise mit Hochspannung zu betreibenden und nur eine einfache Stromzuführung verlangenden Wechselstrom-Triebmaschine ist erst in der letzten Zeit der Lösung nahe gerückt, so daß nun auch allmählich mit der Einführung des elektrischen Betriebes auf Hauptseisenbahnen gerechnet werden kann.

I. b. Maschinen-Ausrüstung der Fahrzeuge.

Die elektrische Einrichtung der Triebfahrzeuge, Triebwagen oder Lokomotiven, besteht aus den Triebmaschinen, dem Triebwerke und den elektrischen Schaltvorrichtungen.

b. 1. Die Triebmaschine.

1. a. Allgemeines.

In der elektrischen Triebmaschine wird die dem Wagen elektrisch zugeführte Arbeit in die Antriebsarbeit umgesetzt. Ihre Wirkungsweise ist derjenigen eines Stromerzeugers entgegengesetzt und beruht darauf, daß ein vom Strome durchflossener Leiter, der Ankerdraht, unter der Einwirkung eines magnetischen Feldes in Bewegung versetzt wird. Man benutzte anfangs gewöhnliche Stromerzeuger als Triebmaschinen, erkannte jedoch bald, daß, wenn auch der innere Vorgang beider Maschinen auf gleichen Grundsätzen beruht, ihre Ausbildung doch nach verschiedenen Gesichtspunkten durchzuführen sei. Für eine Bahn-Triebmaschine sind folgende Eigenschaften erforderlich:

Leichtigkeit, damit der Kraftverbrauch des Wagens und die Herstellungskosten möglichst herabgedrückt werden, und in den gegebenen Raum möglichst starke Maschinen eingebaut werden können.

Starker Bau, dauerhafte Ausführung, Schutz gegen Nässe und Staub. Die Triebmaschine ist heftigen Stößen und Erschütterungen ausgesetzt und arbeitet unter sprungweise wechselnden Belastungen. Durch ihre Lage unter dem Fahrzeuge hat sie auch unter Feuchtigkeit und Staub zu leiden.

Zugänglichkeit und Einfachheit, damit sie leicht bedient und mit möglichst geringem Aufwande erhalten werden kann.

Vorzügliche Stromdichtigkeit²⁰⁶⁾, weil die Abdichtung unter den Einwirkungen der Stöße, der Nässe, der Wärme und des Staubes leidet, und weil bei Benutzung der Schienen als Rückleitung zwischen dem Maschinengestelle und allen elektrischen Innenteilen hohe Spannungen herrschen. Die elektrische Betriebstüchtigkeit des Fahrzeuges ist eine bei Bahnen unerläßliche Bedingung.

Hohe elektrische und magnetische Beanspruchung der Wicklungen beziehungsweise der Eisenquerschnitte, verbunden mit größtmöglicher Abkühlung aller der Erwärmung stark ausgesetzten Teile.

Neben der Erfüllung dieser Hauptbedingungen ist ein guter Wirkungsgrad anzustreben. Der Schwerpunkt liegt jedoch weniger hier, als in den erstgenannten

²⁰⁶⁾ Für „isoliert“ ist im Folgenden „stromdicht“ gebraucht. Die Schrifteleitung.

Eigenschaften, weil eine Bahn-Triebmaschine selten mit gleichmäßiger Belastung, noch weniger mit der regelmässigen Leistung arbeitet.

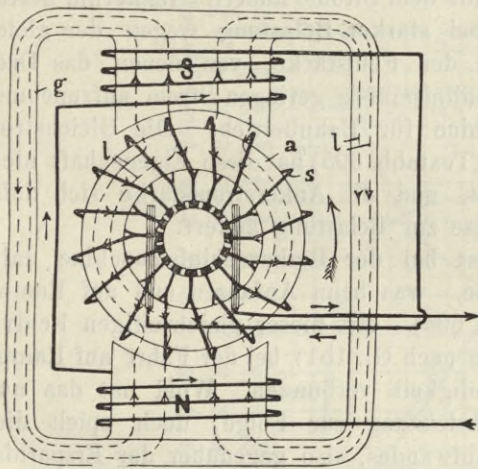
1. β . Gleichstrom-Triebmaschinen.

β . A. Anordnung.

Die Gleichstrom-Triebmaschine beherrschte bis vor einem Jahrzehnte das ganze Gebiet der elektrischen Bahnen. Ihre Wirkung beruht auf der Umkehrung des Vorganges der Stromerzeugung. Bewegt man eine geschlossene Drahtschleife quer durch ein Magnetfeld, so dafs sich die Zahl der die Schleife durchdringenden magnetischen Kraftlinien ändert, so wird in dem Drahte ein Strom erzeugt.

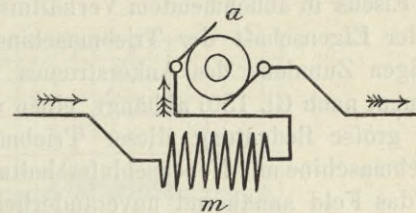
Schickt man also umgekehrt in einen im Magnetfelde befindlichen, frei beweglichen Leiter einen Strom, so erfährt der Stromträger eine Bewegung quer zu den Kraftlinien. In Textabb. 693 ist g das Magnetgestell, dessen Spulen das Magnetfeld mit den Polen S und N erzeugen. Das Feld wird in der üblichen Weise durch die Kraftlinien l dargestellt, die im Magnetgestelle g , dem Anker a und dem zwischen den Polen und dem Anker befindlichen Luftraume verlaufen. Die Anker-

Abb. 693.



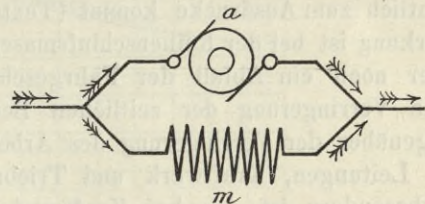
Schaltung und Stromlauf der Gleichstrom-Reihenschluss-Triebmaschine.

Abb. 694.



Reihenschluss-Schaltung der Gleichstrom-Triebmaschinen.

Abb. 695.



Nebenschluss-Schaltung der Gleichstrom-Triebmaschine.

wicklung s liegt in Reihe mit der Magnetwicklung, die Schaltung heisst dementsprechend Reihenschluss-Schaltung (Textabb. 694).

Die der Reihenschluss-Triebmaschine aufgedrückte Klemmenspannung e wird zu einem Teile dazu verwendet, den elektrischen Widerstand w der Triebmaschine zu überwinden, was nach dem Ohmschen Gesetze gemäfs dem Ausdrucke

$$e_1 = J \cdot w$$

vor sich geht, worin e_1 den ersten Teilbetrag der Klemmenspannung e , J die Stromstärke und w den Widerstand der Triebmaschine bedeuten. Der andere, weitaus gröfsere Teil der Klemmenspannung wird durch die elektromotorische Gegenkraft E aufgehoben, die die laufende Triebmaschine dadurch erzeugt, dafs sich die auf

den Anker gewickelten Leiter wie beim Stromerzeuger quer zu den Kraftlinien des Feldes bewegen. Die Gleichung lautet also:

Gl. 149) $e = Jw + E^{207}$)

Das ist die erste Hauptgleichung der Gleichstrom-Reihenschlufs-Triebmaschine. Die zweite für das Drehmoment M_d der Triebmaschine ist

Gl. 150) $M_d = c \Phi J$

worin c einen die Zahl der Ankerleiter und der Pole enthaltenen Festwert, Φ die Stärke des Magnetfeldes und J die Stromstärke der Triebmaschine bezeichnen. Aus den weiter ausgeführten Gl. 149) u. 150) läßt sich die Gleichung für E entwickeln

Gl. 151) $E = c_1 \Phi n$

worin c_1 einen die Zahl der Ankerleiter und die Polzahl berücksichtigenden Festwert und n die Drehzahl der Triebmaschine bedeuten.

Dies sind die Grundgleichungen der Gleichstrom-Triebmaschine mit Reihenschlufsschaltung, aus denen sich alle Eigenschaften ablesen lassen. Beim Anlaufe ist n , also E klein, somit muß $J.w$ in Gl. 149) groß sein, und wenn w sich nur wenig ändert, die Stromstärke J einen hohen Wert erreichen. Da hiermit aber zugleich das Feld Φ sehr stark wird, würde nach Gl. 150) die Stromstärke nur mit $\sqrt{M_d}$ zunehmen. Das ist nicht ganz der Fall, da sich die Magnetstärke wegen der Sättigung des Eisens in abnehmendem Verhältnisse mit dem Strome ändert. Immerhin besteht in der Eigenschaft der Triebmaschine, bei starker Belastung wegen der gleichzeitigen Zunahme des Ankerstromes und der Feldstärke, von denen das Drehmoment nach Gl. 150) abhängt, einen verhältnismäßig geringen Strom aufzunehmen, die große Bedeutung dieser Triebmaschine für Bahnbetrieb. Die Gleichstrom-Triebmaschine mit Nebenschlufsschaltung (Textabb. 695) hat diese Eigenschaft nicht, da das Feld annähernd unveränderlich ist, und die Ankerstromstärke sich daher in annähernd gleichbleibendem Verhältnisse zur Belastung ändert.

Die Möglichkeit der Überlastung ist bei der Reihenschlufsmaschine daher größer, als bei der Nebenschlufsmaschine, was beim Anfahren und auf Rampen deutlich zum Ausdrucke kommt (Textabb. 696). Mit dieser gleichzeitigen Feldverstärkung ist bei der Reihenschlufsmaschine nach Gl. 151) bei der Fahrt auf Rampen aber noch ein Abfall der Fahrgeschwindigkeit verbunden. Wohl hat das auch eine Verringerung der zeitlichen Betriebsleistung zur Folge, doch spielt diese gegenüber der Verringerung des Arbeitsaufwandes, also gegenüber der Ersparnisse an Leitungen, Kraftwerk und Triebmaschinen wirtschaftlich keine große Rolle. Insbesondere ist das bei Kraftwerken der Fall, die mit wenigen großen Zug-einheiten belastet werden, während die Mehrbelastung der einen oder andern Strecke bei der Versorgung eines größeren Streckennetzes durch ein Kraftwerk wegen des Ausgleiches weniger fühlbar wird.

Außer den schon genannten Nachteilen haftet der Nebenschlufsmaschine noch der des ausgedehnten Baues und vor allem der schwierigen Nebenein-schaltung zweier oder mehrerer Maschinen an. Da es nicht durchführbar ist, die Raddurchmesser im Wagen oder Zuge einander völlig gleich zu halten, so tritt wegen der Verschiedenheit der elektromotorischen Gegenkräfte der Fall ein, daß sich die Belastung ungleich auf die Maschinen verteilt, daß sogar die eine

²⁰⁷⁾ Bei einer ausgeführten Triebmaschine für Hauptbahnen waren die entsprechenden Werte beispielsweise: $600 = 75 + 525$.

Man erkennt hieraus das Größenverhältnis von $J.w$ und E .

oder andere von ihnen nicht mehr als Triebmaschine, sondern, vom Fahrzeuge getrieben, als Stromerzeuger arbeitet, und die anderen Maschinen des Wagens oder Zuges die ganze Belastung und den zusätzlichen Strom dazu aufnehmen müssen. Nebenschlufsmaschinen sind also schon deshalb für Bahnbetrieb unbrauchbar. Dafs sich mit ihnen leichter ein Stromrückgewinn auf langen Gefällen einrichten läfst, als mit Reihenschlufsmaschinen, bleibt bei dem zweifelhaften Nutzen dieser Schaltung an sich und auch des Stromrückgewinnes aufser Betracht.

Von den weiteren zur Berechnung einer Triebmaschine erforderlichen Beziehungen ist noch die Formel für das Drehmoment in kgm anzuführen:

$$\text{Gl. 152) } \dots \dots \dots M_d = \frac{p \Phi z i}{9,81 \pi} \cdot 10^{-8}$$

in der

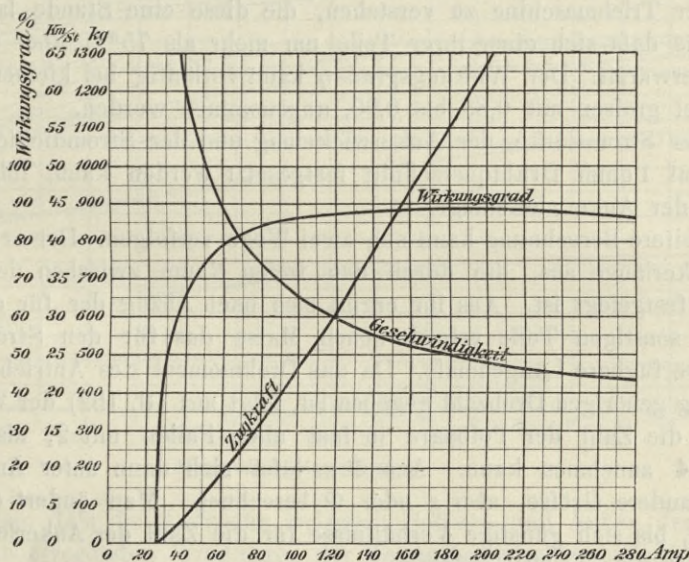
Φ die Zahl der einem Polpaare zukommenden Kraftlinien des Ankers in Einheiten von 10^6 ,

p die Zahl der Polpaare der Maschine,

z die Zahl der wirksamen Ankerdrähte auf dem Ankerumfang,

i die Stromstärke im Ankerdrahte in Amp. bedeuten.

Abb. 696.



Kennlinie der Reihenschlufs-Gleichstrom-Triebmaschine.

β. B. Die Berechnung der Gleichstrom-Reihenschlufs-Triebmaschine.

Man ist beim Entwurfe einer Triebmaschine für Bahnen nicht so frei, wie bei ortsfesten, da der Raum insbesondere bei Triebwagen und großen Zugkräften enge Grenzen zieht. Für die Wahl der grundlegenden Mafse, das heifst der Länge oder des Durchmessers des Ankers, stehen in den Bauanstalten in den vorhandenen Bahn-Triebmaschinen genügende Anhaltspunkte zur Verfügung. Das Verhältnis

$$\text{Ankerlänge} : \text{Ankerdurchmesser}$$

nimmt bei zunehmender Zugkraft ab, da die Ankerlänge bei großen Maschinen durch die Spurweite der Bahnanlage begrenzt wird, also jede Vergrößerung der

Maschine eine solche des Ankerdurchmessers bedingt. Bei kleineren Maschinen, vor allem denjenigen für Strafsenbahnbetrieb, gilt bei Schmalspur dasselbe, bei Regelspur nur in stark hügeligem Gelände, oder bei Antrieben für mehrere Anhängerwagen. Man kann deshalb, da diese letzteren Fälle bei allen Kleinbahnen mehr oder weniger vorliegen, und bei den in Strafsen gebetteten Gleisen starke Triebmaschinen nötig sind, für alle Bahnarten übereinstimmend von dem durch den mechanischen Aufbau der Triebmaschine in der Richtung der Achse festgelegten freien Raum für den Anker und Stromwender ausgehen, und danach die weiteren Abmessungen berechnen.

Dies geschieht dann in der Weise, daß man mit der Regelleistung L des Antriebes in P. S. und der hierfür bestimmten Drehzahl die Regelstromstärke ermittelt. Da 1 P. S. 736 Watt oder Volt-Ampere entsprechen, so folgt die Stromstärke J der Maschine in Amp. zu

$$\text{Gl. 153) } \dots \dots \dots J = \frac{L \cdot 736}{\eta e}$$

worin e die Klemmenspannung in Volt und η den elektrischen Wirkungsgrad bedeuten.

Unter der Regelleistung L ist nach allgemeinem Übereinkommen diejenige Leistung der Triebmaschine zu verstehen, die diese eine Stunde lang abzugeben vermag, ohne daß sich einer ihrer Teile um mehr als 75°C . über die Außenluft von 15°C . erwärmt. Der Wirkungsgrad η kann vorläufig bei kleineren Maschinen mit 0,83, bei großen mit 0,88 bis 0,90, angenommen werden.

Aus der Stromstärke, der Ankerwicklung und der Stromdichte, die etwa zu 4,5 Amp. auf 1 qmm Drahtquerschnitt festgesetzt werden kann, folgt der Drahtquerschnitt der Ankerwicklung.

Die weitere Berechnung kann nun zwei Wege verfolgen. Der erste Weg geht von der Ankerlänge aus, die durch den freien Raum zwischen den Rädern des Fahrzeuges festgelegt ist. Aus ihr ergibt sich nach Abzug der für die Zahnräder, Lager und sonstigen Teile erforderlichen Masse das für den Stromwender und den Anker verfügbare Längenmaß. Da das Drehmoment des Antriebes bei der zur Regelleistung gehörigen Drehzahl gegeben ist, folgt aus Gl. 152) der Wert von $\Phi \cdot z$, wobei man die Zahl der Polpaare in fast allen Fällen mit 2, also die Polzahl selbst mit 4 annehmen kann. Aus $\Phi \cdot z$ läßt sich dann unter Annahme von Φ oder z die andere Größe, also z oder Φ berechnen. Man ändert diese Annahme so lange ab, bis sich günstige Verhältnisse für die Zahl der Ankerleiter z und die magnetische Induktion Φ ergeben.

Auf dem zweiten Wege nimmt man den Ankerdurchmesser an, wobei das bei ausgeführten vierpoligen Bahnmaschinen größerer Abmessung ermittelte Verhältnis

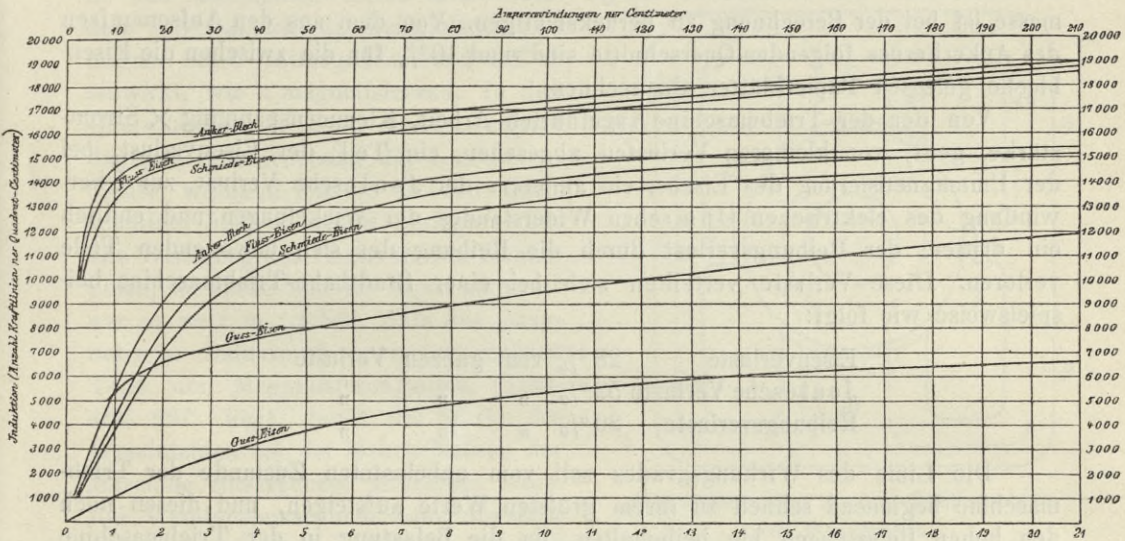
Höhe der Triebmaschine: Ankerdurchmesser = 1,65 bis 1,85

zu Grunde gelegt werden kann. Mit diesem Ankerdurchmesser zeichnet man die Ankernehmung auf, aus der sich unter bestimmten Annahmen für die Zahl und Größe der Nuten die Zahl z der Ankerdrähte ergibt. Aus Gl. 152) folgt dann Φ , das durch die höchstzulässige Kraftliniendichte auf 1 qcm geteilt die Länge des Poles, also des Ankers ergibt. Da die Ankerlänge aber durch die beschränkte Länge der ganzen Triebmaschine begrenzt wird, ist der zweite Rechnungsweg nur bei kleinen Triebmaschinen gangbar.

Hiernach bleibt noch der Magnet des Antriebes zu berechnen. Die Polzahl ist aus der vorhergehenden Rechnung bekannt, desgleichen die Anzahl Φ der Kraftlinien auf ein Polpaar in Einheiten von 10^6 . Die Magnetwicklung ist zu berechnen, die diese Zahl an Kraftlinien in den Anker hineinschickt. Die Kraftlinien nehmen hierbei den Weg durch den Polkern, Luftraum, Zahn, Ankernern, Zahn, Luftraum, benachbarten Polkern, Joch zum ersten Polkerne zurück.

Auf diesen Teilwegen sind die magnetischen Widerstände, also die zur Erzeugung der Kraftlinien erforderlichen Amperewindungen der Magnetwicklung verschieden. Man geht für irgend einen Weg von dem Querschnitte aus, berechnet damit die Kraftlinienzahl B auf 1 qcm, das heisst die „magnetische Induktion“. Daneben stellt man die mittlere Länge l cm des betreffenden Weges fest. Aus der Erregungstafel (Textabb. 697)²⁰⁸ ergibt sich dann die für 1 cm Weg, und durch Malnehmen mit l die für den ganzen Teilweg erforderliche Zahl von Amperewindungen. Man

Abb. 697.



Magnetisierungslinien.

wird hierbei finden, dass der Luftraum zwischen Polkern und Anker den weitaus größten Anteil an erregenden Windungen der Magnetwicklung erfordert. Auch die Streuung, das heisst die Zahl der sich mit Umgehung der Ankernut schließenden Kraftlinien ist in Rechnung zu stellen. Hierfür sind bei voller Belastung der Triebmaschine etwa 15% zuzuschlagen.

Da bei Reihenschluss-Antrieben die Magnetspule von demselben Strom durchflossen wird, wie die Ankerwicklung, ergibt sich aus dem Teilen der Amperewindungen durch diese Stromstärke die Zahl der Windungen eines Kraftlinienkreises. Bei großen Triebmaschinen wird man den Strom meist auf zwei nebeneinander geschaltete Drähte verteilen, da sich bei der für Spulen zulässigen höchsten Stromdichte von etwa 2,5 Amp./qmm ein für die Wicklung der Spule zu starker Leiterquerschnitt ergibt.

²⁰⁸) Siehe Kapp, Dynamomaschinen für Gleich- und Wechselstrom.

Über einzelne Unterlagen dieser Berechnung einer Reihenschluss-Triebmaschine seien noch folgende Angaben gemacht. Die Kraftliniendichte, „magnetische Induktion“, werde im Luftspalte zwischen Pol und Anker zwischen 6000 bis 8000 genommen, im Fusse des Ankerzahnes bis 24000, im Polkerne zu 14000 bis 18000 Kraftlinien auf 1 qcm. Die die Triebmaschine umgebenden Außenwände des Magnetgestelles können ihrer Bauart nach als magnetisch leitend in Rechnung gesetzt werden. Man verlegte die Ankerwicklung in wenige grobe Nuten, wobei an Raum für Absonderungsmittel gespart wird, doch zieht man heute wieder die früher gebräuchliche feine Nutung vor.

Die Stromdichte in den Ankerdrähten beträgt 4 bis 5 Amp./qmm, in den der Abkühlung weniger ausgesetzten Magnetspulen 2 bis 3 Amp./qmm. Die Ankerkerne werden aus Blechen von 0,5 bis 1 mm Stärke mit zwischengelegten Papierblättern gebildet, um die sonst im Eisen ebenso, wie in den Ankerdrähten entstehende elektrische Induktion und die daraus folgenden Wirbelströme möglichst herabzusetzen. Die dadurch der Länge nach entstehende Verminderung der Eisenmasse ist bei der Berechnung zu berücksichtigen. Von dem aus den Außenmaßen des Ankerkernes folgenden Querschnitte sind rund 10% für die zwischen die Eisenbleche gelegten Papierblätter abzurechnen.

Von der der Triebmaschine zugeführten Arbeit, Klemmenspannung \times Stromstärke, geht, von kleineren Verlusten abgesehen, ein Teil: der Eisenverlust, bei der Ummagnetisierung des Eisens, ein anderer: der Joulesche Verlust, zur Überwindung des elektrischen Ohmschen Widerstandes der Wicklungen und endlich ein dritter: der Reibungsverlust durch die Reibung der sich bewegenden Teile verloren. Diese Verluste verteilen sich bei einer Stadtbahn-Triebmaschine beispielsweise wie folgt:

Eisenverluste	28 %	vom	ganzen	Verluste
Joulesche Verluste	52 %	"	"	"
Reibungsverluste	20 %	"	"	"

Die Linie des Wirkungsgrades soll vom unbelasteten Zustande der Triebmaschine beginnend schnell zu ihrem größten Werte aufsteigen, und diesen nach den hohen Belastungen hin beibehalten, da die Belastung in der Triebmaschine fortwährend wechselt. (Textabb. 696.)

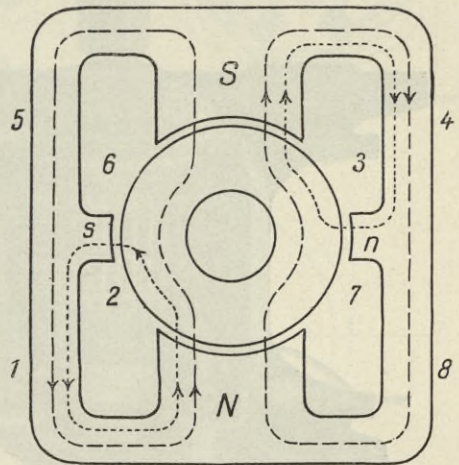
Den in elektrischer und auch mechanischer Beziehung schwächsten Punkt der Gleichstrom-Triebmaschine bildet ihr Stromwender. Man kann ihn nicht entbehren, da die Ankerwicklung in ihrer Lage zu den Magneten der Maschine stets in gleicher Weise vom Betriebsstrom durchflossen werden muß. Seine elektrische Schaltung zur Ankerwicklung geht aus Textabb. 693 hervor. In den von den Schleifbürsten kurzgeschlossenen Ankerspulen entsteht also eine Stromumkehrung und elektromotorische Kraft, deren Überwindung eine elektromotorische Gegenkraft, das heißt ein bestimmtes magnetisches Wendefeld voraussetzt.

Das Hauptfeld erfährt nun durch die Rückwirkung des durch seine Wicklung selbst zu einem Magneten gewordenen Ankers eine der Bauart der Maschine entsprechende Verschiebung entgegen der Drehrichtung. Die Bürsten müßten daher in dem der Drehrichtung der Maschine entgegengesetzten Sinne stark verschoben werden, was aber bei Bahnantrieben wegen deren wechselnder Drehrichtung nicht zugänglich ist. Die Bürsten müssen hier vielmehr genau auf die zwischen zwei

Magnetpolen befindlichen Ankerspulen eingestellt werden, und geben deshalb zum Feuern Anlaß. Dieser Übelstand läßt sich durch Herabminderung der Ankerrückwirkung mittels großer Lufträume zwischen Anker und Pol und starker Magnetfelder bei kleinem Ankerfelde einschränken, doch besteht in dem Stromwender an sich immerhin eine Beschränkung der Klemmenspannung und mithin der Betriebsspannung der ganzen Anlage.

Hier leistet nun der im Jahre 1904 von M. Breslauer mit Erfolg wieder eingeführte Wendepol zwischen zwei Hauptpolen gute Dienste, der dem Felde in der Wendezone diejenige Stärke und Richtung gibt, die es an dem Orte hat, wo die Bürsten bei einer Verschiebung funkenfrei laufen würden. Textabb. 698 zeigt den Verlauf der Kraftlinien in einer Triebmaschine mit Wendepolen. Die Kraftlinien des Wendepoles n schließen sich also nicht durch den Wendepol s , sondern durch den Hauptpol S und ebenso die Kraftlinien des Wendepoles s durch den Hauptpol N . Die Kraftliniendichte in den Hauptpolen bleibt aber trotzdem unverändert, da beispielsweise s ebenso stark entmagnetisierend auf S einwirkt, wie n magnetisierend. In den Querschnitten 1, 2, 3 und 4 erfolgt dagegen eine Erhöhung der Kraftliniendichte, während letztere in den Querschnitten 5, 6, 7 und 8 geringer wird. Die Sättigung des Eisens in den Wendepolen, im Joche und im Ankerkerne ist nur so weit zu treiben, daß die „magnetische Induktion“ noch im geraden Teile der Magnetisierungslinie (Textabb. 697) liegt, damit die Stärke des Wendefeldes bei der Mehrbelastung der Maschine entsprechend zunehmen kann. Bei Wendepolmaschinen kann die sonst übliche Spannung von 600 bis 750 Volt auf 1000 bis 2000 Volt erhöht werden.

Abb. 698.



Kraftlinienverlauf in einer Triebmaschine mit Wendepolen.

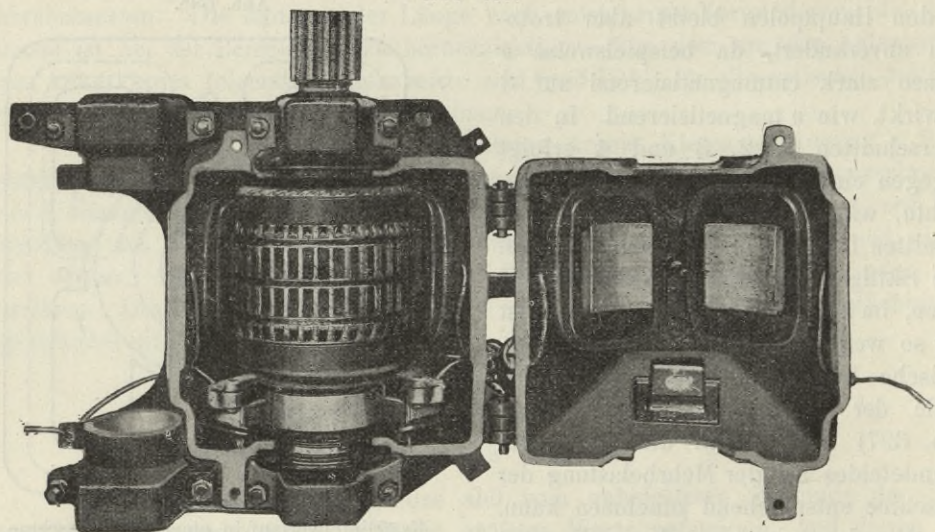
Der Stromwender besteht aus kreisförmig zusammengesetzten und stromdicht gesonderten Kupferstreifen. Der Hohlring wird beiderseitig durch schwalbenschwanzförmige Ringe gefast und dadurch fest zusammengepreßt. Die erwähnten Ringe können entweder selbst als Nabe ausgebildet oder gleichmütig auf eine gesonderte Nabe aufgebracht werden. Auf völliges Rundlaufen des Stromwenders ist ganz besonders zu achten, da jede Abweichung unruhiges Verhalten und Feuern der Bürsten zur Folge hat. Die die einzelnen Streifen des Stromwenders von einander trennenden Glimmerplättchen sind so stark zu bemessen, daß sie stromdicht sind und nicht langsamer durch die Kohlenbürsten abgeschliffen werden als die Streifen des Stromwenders. Wenn das der Fall wäre, würden sie allmählich als Rippen hervortreten und die Bürste zum Hüpfen oder Zittern bringen. Da die Güte des Glimmers bei dem immer fühlbarer werdenden Glimmermangel abnimmt, sind diese Vorschriftsmaßregeln schwer zu erfüllen, deshalb helfen sich die Bahnverwaltungen mehr und mehr mit dem Auskratzen der Glimmerplatten auf etwa 2 bis 3 mm. Der in diesen Ritzen

abgelagerte Kohlenstaub hat nicht zu Nachteilen geführt, so daß man sogar von dem Ausblasen der Fugen abschen kann.

Besondere Aufmerksamkeit ist auf genügend großen Übergangswiderstand zwischen den äußeren Stirnenden der Stromwenderstreifen und der benachbarten Nabe zu richten, die leitend mit der Erde verbunden ist.

Die Ankerwicklung wird auf der Lehre gewickelt und in einzelnen Rahmen von außen in die Ankeruten eingelegt, wo sie gegen die Fliehkraft entweder durch auf ihre Stärke eingelassene Drahtbunde oder besser durch in die Ankeruten in Richtung der Achse eingeschobene, schwalbenschwanzförmige Keile aus Hartholz, Vulkanfaser oder dergleichen gesichert werden. Ankerleiter von großen, schwer zu verarbeitenden Querschnitten werden als Stäbe in die Nuten geschoben und an den Stirnseiten des Ankers durch besondere Streifen verbunden.

Abb 699.



Gleichstrom-Reihenschluß-Triebmaschine für Straßenbahnen. Bauart Westinghouse.

Die Magnetwicklung wird gleichfalls auf Lehren gewickelt und ohne Hülse unmittelbar auf die Polkerne geschoben, wo sie durch besondere Halter oder einfacher durch die auf die Polkerne gesetzten Polschube festgehalten wird. Große Querschnitte des Wickeldrahtes werden in doppeldräftigen Wicklungen oder Kupferbändern aufgebracht.

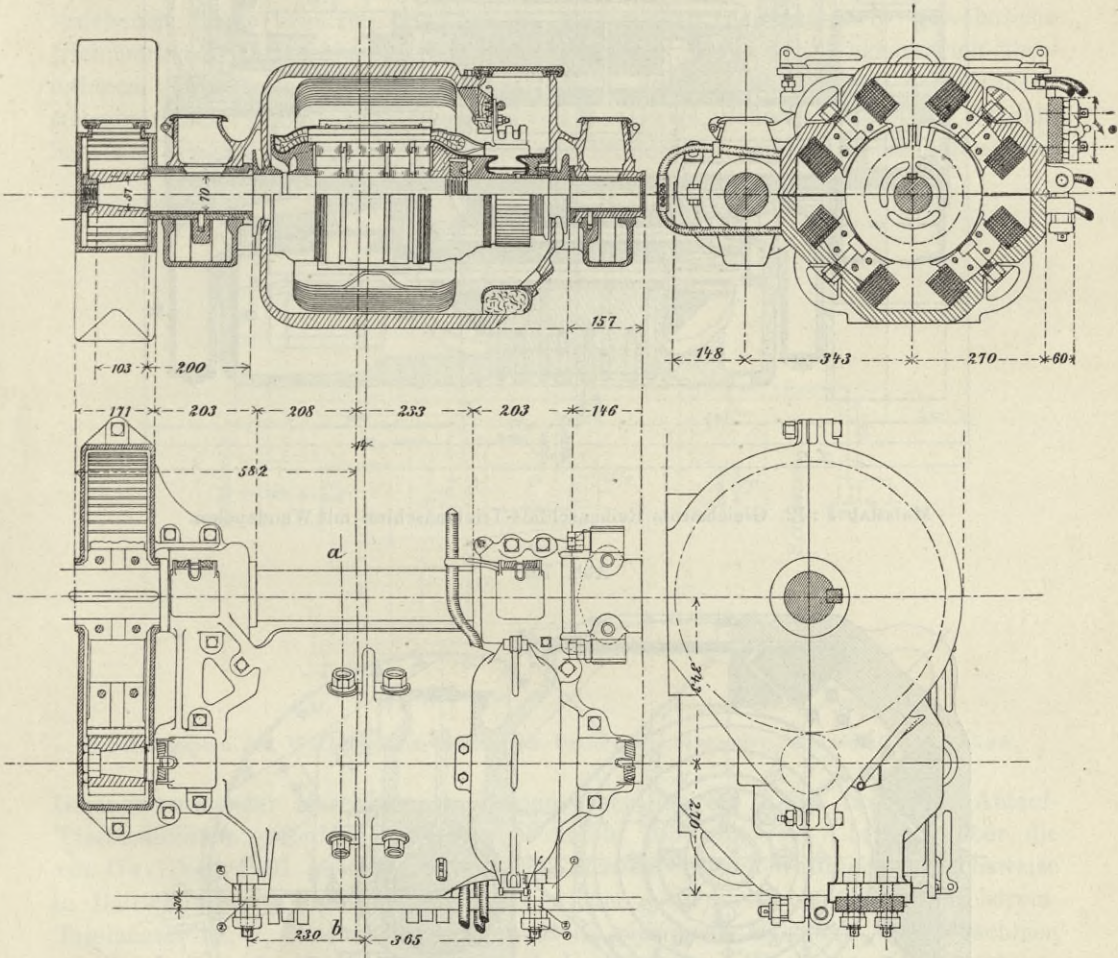
Textabb. 699 stellt von unten gesehen eine aufgeklappte Gleichstrom-Reihenschluß-Triebmaschine von Westinghouse dar. Der Oberteil trägt den Anker und alle Lager, der Unterteil wird nur durch die Hälfte des Magnetgestelles gebildet. Diese Triebmaschine ist vierpolig und hat eine Stundenleistung von 30 P. S. bei 600 Umdrehungen in der Minute, ist etwa 600 mm breit und hoch und wiegt rund 850 kg.

In Textabb. 700 ist eine ähnliche Triebmaschine in vollständiger Zeichnung dargestellt. Der Antrieb der Wagenachse erfolgt in der üblichen Weise durch ein einfaches, in einem mit Schmierstoff gefüllten Schutzkasten laufendes Zahnradpaar

der Übersetzung 1:5. Die Polkerne sind gleichfalls geblättert, und mittels Kopfschrauben mit außen liegenden, gesicherten Muttern am Magnetgestelle befestigt, indem sie zugleich die Magnetspulen in ihrer Lage halten.

Textabb. 701 und 702 veranschaulichen eine Triebmaschine mit Wendepolen, für die Stadtbahn Köln-Bonn von den Siemens-Schuckert-Werken ausgeführt. Der Anker besitzt Stabwicklung und ist durch vier Strahlschlitze zwischen den Blechen

Abb. 700.

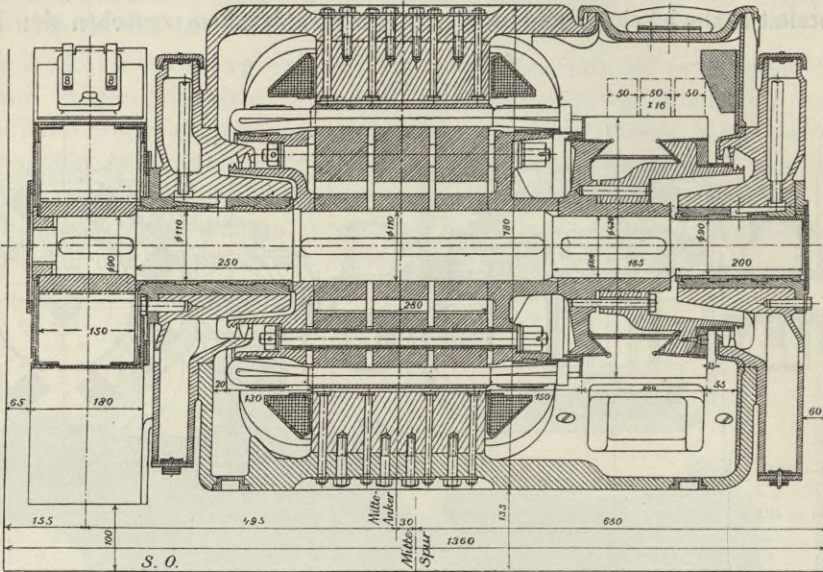


Maßstab 1:15. Gleichstrom-Reihenschluß-Triebmaschine für Straßenbahnen.

gelüftet. Die Ankerlager sind zwecks völliger Ausnutzung des verfügbaren Raumes in den Anker beziehungsweise Stromwender eingebaut. Die Klemmenspannung beträgt 1000 Volt, die Stundenleistung 130 P. S. bei 700 Umdrehungen in der Minute. Die Triebmaschine hat vier Haupt- und vier Wende-Pole. Die letzteren bestehen aus vollem Eisen und sind zur Dämpfung der Wirbelströme mit Strahlschlitzen versehen. Die Wicklungen der Wendepole liegen mit denen der Hauptpole und dem Anker in Reihe und werden bei Umkehrung der Fahrrichtung zu-

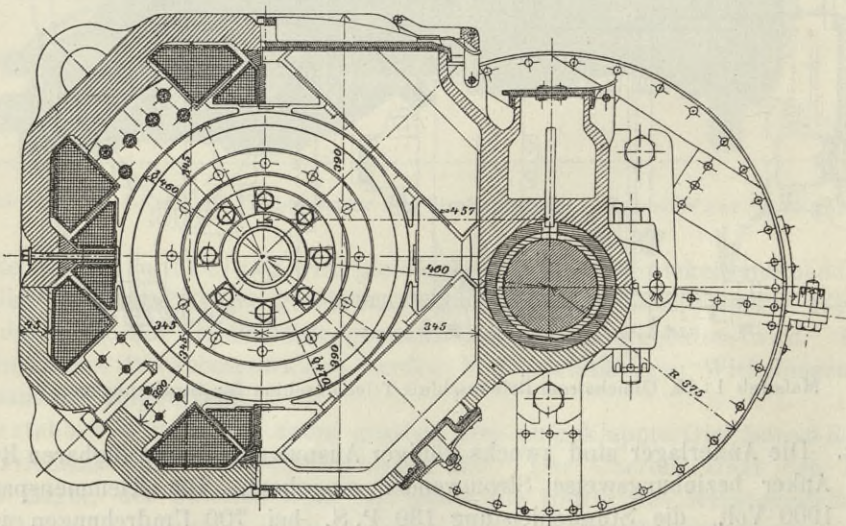
gleich mit dem Anker umgeschaltet. Die Zahnradübersetzung ist 1:3,1, die Spur der Bahn beträgt 1435 mm, der Triebradurchmesser 950 mm. Zwei Triebmaschinen

Abb. 701.



Mafstab 1:12. Gleichstrom-Reihenschluss-Triebmaschine mit Wendepolen.

Abb. 702.



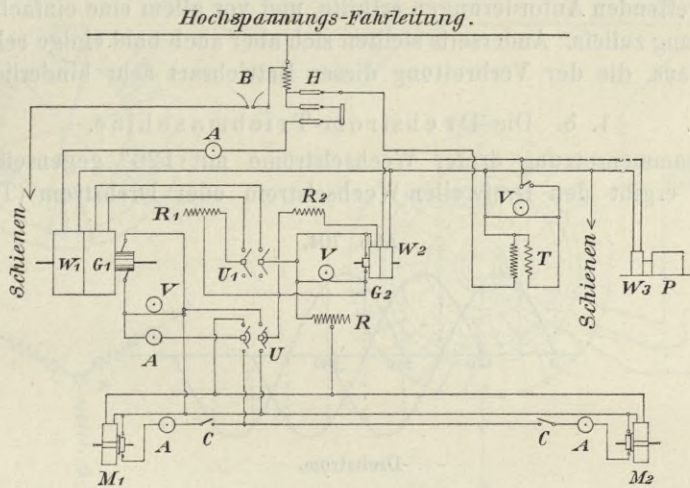
Mafstab 1:12. Querschnitt zu Textabb. 701.

sind fähig, einen aus dem Trieb- und einem Anhängewagen bestehenden Zug von etwa 54 t mit 75 km/St Geschwindigkeit fortzubewegen.

1. γ . Wechselstrom-Triebmaschinen.

Die Entwicklung der Bahn-Triebmaschinen für Wechselstrom weist alle Formen von Triebmaschinen auf, die im ortsfesten Betriebe im Laufe der Zeit Verwendung gefunden haben. Die ungleichläufigen, „asynchronen“, und gleichläufigen, „synchrone“, Einwellen- („Einphasen“-²⁰⁹⁾) Triebmaschinen, die mit Rücksicht auf ihre Anlaufverhältnisse nicht zum unmittelbaren Antriebe der Triebachsen der Fahrzeuge verwendet werden konnten, suchte man wenigstens in der Anordnung zu verwerten, daß man sie auf Lokomotiven zum Antriebe eines Stromerzeugers in ununterbrochenem Laufe benutzte, und den so gewonnenen Gleichstrom in gewöhnliche Gleichstrom-Triebmaschinen leitete, die in üblicher Weise den Wagenantrieb übernahmen. Diese „Umformerlokomotiven“, die in der Entwicklungszeit des Wechselstrombetriebes für Bahnen insbesondere von Oerlikon, Schweiz, bearbeitet wurden, besaßen demgemäß eine recht verwickelte Einrichtung, zumal für die anfängliche

Abb. 703.



Schaltungsplan der Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer-Lokomotive, Bauanstalt Oerlikon.

Ingangsetzung der Maschinen zu Beginn einer längern Fahrt besondere Anlauf-Triebmaschinen erforderlich waren. Textabb. 703 gibt eine Übersicht über die von Oerlikon 1901 gebaute, und auf der Strecke Seebach-Wettingen versuchsweise in Betrieb gesetzte Umformerlokomotive wieder: W_1 ungleichläufige Wechselstrom-Triebmaschine, G_1 Gleichstromerzeuger mit W_1 gekuppelt, M_1 und M_2 Triebmaschinen an den Lokomotivachsen, W_2 G_2 mit niedergespanntem Wechselstrom betriebener Hilfsumformer, der den Erregerstrom für G_1 liefert und auch zum Anlassen des Hauptumformers W_1 G_1 dient, T zugehöriger Abspanner²¹⁰⁾, W_3 Wechselstrom-Triebmaschine für die Luftpumpe P , H Hochspannungstromabnehmer, B Blitzschutzvorrichtung, A Strommesser, U und U_1 Umschalter, V Spannungsmesser, R_1 und R_2 Regelungswiderstände, C Ausschalter. Der Fahrdrabt wurde mit Einwellen-Wechsel-

²⁰⁹⁾ Statt „Phase“ ist im folgenden „Welle, statt „synchron“ ist „gleichläufig“ gesetzt. Die Schriftleitung.

²¹⁰⁾ Statt „Transformator“, Vorrichtung zum Herabsetzen der Spannung, ist „Abspanner“ gesetzt. Die Schriftleitung.

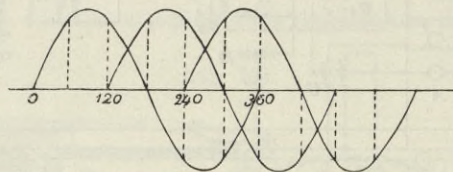
stromen von 15000 Volt Spannung gespeist, der in einem Abspanner der Lokomotive zunächst in Strom von 750 Volt abgespannt und dann in die Haupt-Triebmaschine geleitet wurde. Wenn diese Bauart nun auch für weitere Betriebe hauptsächlich wegen der späteren Arbeiten an den Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschinen, an denen Oerlikon selbst in hervorragendem Maße beteiligt war, nicht mehr in Betracht kam, so bot sie doch die Möglichkeit einer sparsamen und feinen Regelung der eigentlichen Triebmaschinen der Fahrzeuge und damit der Fahrgeschwindigkeit. Diese bestand, entsprechend einem von dem Amerikaner Ward Leonard 1891²¹¹⁾ für andere Zwecke angegebenen Verfahren darin, daß man dem eigentlichen Betriebsstrom durch Veränderung der Magneterregung des Gleichstromerzeugers beliebige Spannungen gab, wie aus Textabb. 703 gleichfalls zu folgern ist.

Einen wesentlichen Fortschritt machte die Entwicklung der Wechselstrom-Triebmaschine durch Übertragung der ortsfesten Drehstrom-Triebmaschine auf Bahnbetrieb seitens der schweizerischen Bauanstalt Brown, Boveri und Co. bei der Straßenbahn in Lugano. Es zeigte sich, daß diese Maschine an sich alle die Zugkraft betreffenden Anforderungen erfüllte, und vor allem eine einfache und dauerhafte Ausführung zuliefs. Andererseits stellten sich aber auch bald einige sehr gewichtige Nachteile heraus, die der Verbreitung dieser Betriebsart sehr hinderlich waren.

1. δ. Die Drehstrom-Triebmaschine.

Die Zusammensetzung dreier Wechselströme mit 120° gegenseitiger Wellenverschiebung ergibt den Dreiwellen-Wechselstrom oder Drehstrom (Textabb. 704).

Abb. 704.



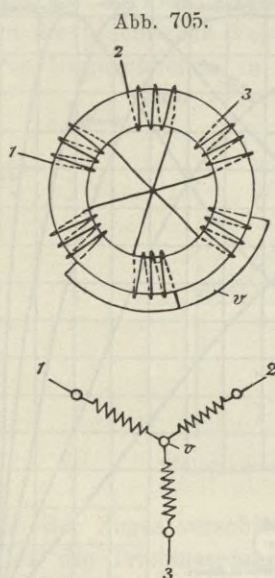
Drehstrom.

Wickelt man die drei Leitungen, wie in Textabb. 705 angegeben, auf die sechs Pole einer Maschine, so folgt aus dem Verhalten der Ströme nach Textabb. 704, daß sich die Magnetachse um die Achse der Maschine dreht; ein solches Magnetfeld wird ein „Drehfeld“ genannt. Es kann mit einem mit Gleichstrom gespeisten, mechanisch in Drehung versetzten Magnetgestelle verglichen, und durch dieses ersetzt werden. Baut man in ein solches Magnetgestell einen mit einer in sich kurzgeschlossenen Wicklung versehenen Anker ohne Stromwender ein, so werden in dessen Wicklung durch das Drehfeld in derselben Weise Ströme erzeugt, wie wenn man bei einem Gleichstromerzeuger mit fest stehendem Magnetfelde den Anker mechanisch antreibt. Dieser induzierte Strom wirkt nach dem Lenzschen Gesetze der Bewegung entgegen, er sucht bei der Drehstrom-Triebmaschine die gegenseitige Bewegung zwischen Magnetfeld und Ankerwicklung zu verhindern, sein Träger, der Ankerdraht läuft also dem Drehfelde nach, das heißt die Triebmaschine setzt sich in Bewegung und leistet Arbeit. Die Wicklung des Magnetgestelles, bei diesen Triebmaschinen „Ständer“ genannt, hat also die Aufgaben, die Magneterregung zu bewirken und im Anker den Arbeit-

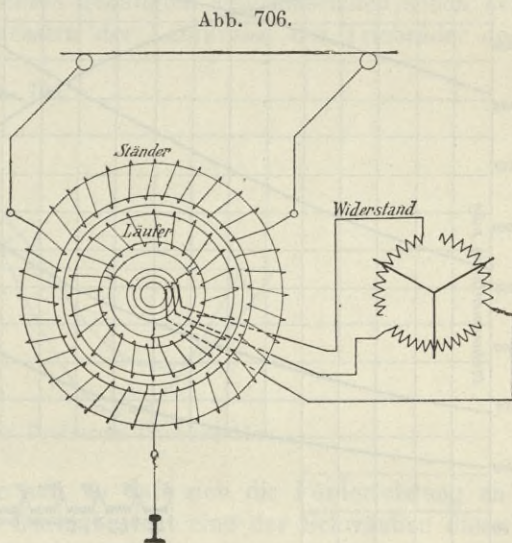
²¹¹⁾ The Electrical Engineer, New-York, 1891, I.

strom zu erzeugen. Bei Drehstrom-Triebmaschinen liegt also nur der eine Teil, der Ständer, am Netze. Der Anker, hier „Läufer“ genannt, würde ohne Bewegungswiderstand die Geschwindigkeit des Drehfeldes annehmen, er bleibt der Höhe der Belastung entsprechend hinter diesem zurück. Diesen Unterschied nennt man „Schlüpfung“ oder „Schlupf“. Die Schlüpfung muß so groß sein, daß die tatsächliche Bewegung des Feldes gegen den Ankerdraht den von der Belastung geforderten Strom erzeugt. Da der elektrische Widerstand der Läuferwicklung nur gering ist, genügt hierzu eine geringe stromerzeugende Kraft, das heißt die Schlüpfung beträgt selbst bei voller Belastung der Triebmaschine nur wenige Hundertstel der Drehfeldgeschwindigkeit.

Die Läuferwicklung wird nun statt einwellig in Wirklichkeit mehrwellig hergestellt. Textabb. 706 stellt die Wickelung einer vollständigen Drehstrom-Trieb-



Wickelung der drei Leitungen des Drehstromes auf sechs Pole einer Drehstrom-Triebmaschine; Sternschaltung.



Schaltungsplan der Drehstrom-Triebmaschine.

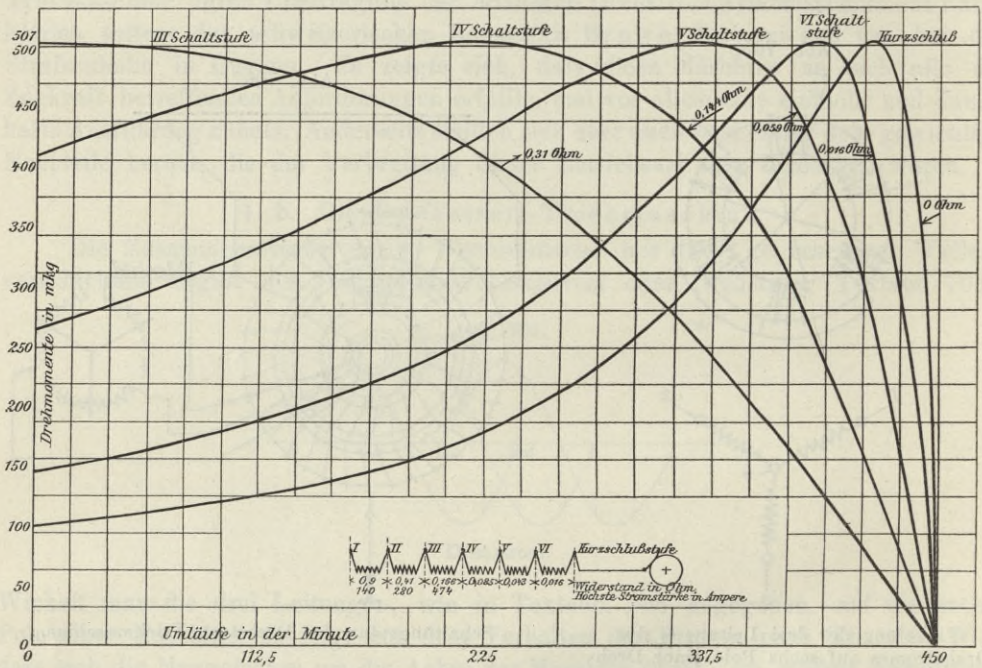
maschine dar. Die Wickelung des Magnetgestelles, des Ständers, ist im Sterne geschaltet, der Läufer besitzt dreiwellige Sternwicklung. In jeder Welle ist ein regelbarer Vorschaltwiderstand angeordnet. Die Wechselwirkung des Läufer- und Ständer-Feldes macht es neben der Verhinderung der Stromüberlastung der Läuferwicklung erforderlich, in die letztere bei der Anfahrt Widerstände einzuschalten. Dadurch wird das Drehmoment bei der Anfahrt erhöht und die Schlüpfung vergrößert, wie Textabb. 707 zeigt, während der Wert des größten Drehmomentes an sich unverändert bleibt. Aus Textabb. 707 geht auch hervor, daß der Vorschaltwiderstand im Läuferstromkreise einer gegebenen Triebmaschine bei hohen Drehgeschwindigkeiten unvorteilhaft ist, und ferner, daß man mit ihm für eine gegebene Belastung die Umlaufzahl der Maschine regeln kann. Die Umlaufzahl der Maschine ist nach dem oben Gesagten durch diejenige des Drehfeldes begrenzt. Mit der Einschaltung von Widerständen in den Läuferstromkreis

steigt indes auch der auf die Leistung bezogene Verlust der Maschine; diese Regelungsart ist also unwirtschaftlich, und kann für Dauerfahrten nicht in Betracht kommen.

Die Magneterregung der Drehstrom-Triebmaschine hängt von der zugeführten Spannung ab; da sich nun auch die Stromstärken der Maschine wie die Spannungen verhalten, so geht das Drehmoment mit dem Quadrate der Spannung. Drehstrommaschinen sind also gegen Spannungsabfall in den Stromzuführungen empfindlich; das Drehmoment sinkt beispielsweise bei 10% Spannungsabfall auf rund 80% seines Regelwertes.

Die Herstellung und Wickelung des Ständers erfolgt nun nicht mit ausgeprägten Polen, wie oben zur Erklärung der Wirkungsweise der Maschine angegeben

Abb. 707.



Abhängigkeit des Drehmomentes und Schlupfes vom Läuferwiderstande bei Drehstrom-Triebmaschinen.

wurde, sondern in verteilter Form, wodurch die Streuung verringert wird. Die Wickelung wird hierbei in gleichmäßig über den innern Ständerumfang verteilte Nuten verlegt. Der Läufer wird gleichfalls in Nuten gewickelt, und gleicht darin äußerlich einem gewöhnlichen Gleichstromanker, dessen Stromwender hier durch die drei Schleifringe oder durch die Kurzschlusscheibe ersetzt wird.

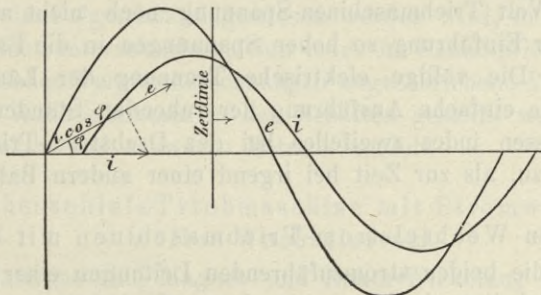
Da die Drehstrom-Triebmaschine ihr magnetisches Nutzfeld unter dem Einflusse des Läuferfeldes erzeugt, ist wegen des hohen magnetischen Widerstandes des Luftspaltes zwischen Ständer und Läufer eine starke, magnetisierende Kraft, also ein starker Magneterregungs-Strom erforderlich. Dieser hat aber als „wattloser“ Strom eine Wellenverschiebung φ zwischen dem Strome und der Spannung des Ständers, das heißt der Triebmaschine zur Folge. Diese durch $\cos \varphi$ ausgedrückte Wellenverschiebung macht Schmalheit des Luftspaltes wünschenswert,

die eine Eigenart der Drehstrom-Triebmaschine darstellt und bei Bahnmaschinen wegen der Schwierigkeit breiter Lagerung des Läufers in dem begrenzten Raume unangenehm empfunden wird. Der Spalt beträgt bei Bahn-Triebmaschinen je nach deren Größe 1 bis 3 mm.

Die erwähnte Wellenverschiebung hat eine höhere Stromstärke in der Triebmaschine, in den Leitungen und dem Stromerzeuger zur Folge, als der Arbeitsleistung entspricht. Daher fallen die Verluste größer aus, oder alle genannten Teile müssen stärker ausgeführt werden. Die Wellenverschiebung wird gemessen durch den \cos des Verschiebungswinkels φ der Strom- und Spannungs-Fahrstrahlen, bei $\varphi = 0$ ist $\cos \varphi = 1$, bei $\varphi = 30^\circ$ erscheint von der wirklichen Stromstärke i nur der in die Richtung des Fahrstrahles e fallende oder der mit e „in Phase“ befindliche Wert $i \cos 30^\circ = 0,866 \cdot i$ in der Arbeitsleistung $e \cdot i$. (Textabb. 708).

Da die Zugkraft der Drehstrom-Triebmaschine vom Läuferschlupfe abhängt, nehmen die in üblicher Weise an die Achsen gehängten Triebmaschinen schon bei geringen Ungleichheiten in den Durchmessern der Laufkreise der Triebräder des

Abb. 708.



Wellenverschiebung in der Drehstrom-Triebmaschine.

Wagens oder Zuges verschiedene Ströme auf, so dass sich die Förderleistung ungleich auf die Triebmaschinen verteilt. Darin besteht eine der Schwächen dieser Zugförderungsart, die sich bis zu einem gewissen Grade, das heißt bezüglich der elektrischen Nachteile, durch Kuppelung der Triebachsen heben lässt. Die neueren Lokomotiven der Veltlin- und der Simplon-Bahn besitzen eine derartige Achsen- beziehungsweise Triebmaschinen-Kuppelung.

Die Umlaufzahl n der Triebmaschine in der Minute ergibt sich, wenn ν_1 die sekundliche Wellenzahl des Stromes im Ständer, ν_2 im Läufer und p die Polpaarzahl im Ständer ist, zu

$$\text{Gl. 154)} \quad \dots \dots \dots \quad n = \frac{\nu_1 - \nu_2}{p} \cdot 60$$

Da ν_2 wegen der geringen Schlüpfung sehr klein ist, so kann man die Umlaufzahl der Maschine fast zu

$$\text{Gl. 155)} \quad \dots \dots \dots \quad n = \frac{\text{Wellenzahl des Netzes}}{\text{Polpaarzahl}} \cdot 60$$

annehmen. Die Triebmaschine läuft also mit fast genau unveränderlicher Geschwindigkeit. Die wirtschaftlichen Regelungsvorrichtungen vermögen nun die Umlaufzahlen nur in groben Stufen herabzusetzen, so dass sie für den fahrplanmäßigen Betrieb wenig in Betracht gezogen werden können. Das bedeutet einen weiteren

großen Nachteil der Drehstrom-Triebmaschine, da die Beanspruchung der Triebmaschinen, Leitungen und Stromerzeugungsanlage auf Rampen ohne entsprechenden Gewinn an Förderleistung in unerwünschter Weise erhöht wird. Daneben steht nun noch die Unmöglichkeit, die Fahrgeschwindigkeit bei Zugverspätungen über die durch die festliegende Wellenzahl des Leitungsnetzes gegebene zu erhöhen. Rechnet man hierzu noch die zweipolige Stromzuführung, die in den vielgleisigen Bahnhöfen der Hauptbahnen wohl unmöglich ist, so kommt man zu der Erkenntnis der Untauglichkeit des ganzen, in wirtschaftlicher Beziehung für Hauptbahnverhältnisse sonst nicht ungeeigneten Drehstrombetriebes für ausgedehnte Bahnnetze.

Mit Drehstrom-Triebmaschinen wurden, von einigen Bergbahnen der Schweiz und kleineren Anlagen abgesehen, bisher die Veltlin-Bahn am Como-See von Ganz und Co. in Budapest²¹²⁾, die Bahn von Burgdorf nach Thun von Brown-Boveri und Co., Baden-Schweiz, und die Bahnstrecke durch den Simplontunnel von demselben Werke ausgestattet. Weitere Anlagen in Oberitalien sind im Baue. Die Veltlin- und Simplon-Bahn führen den Strom mit 3000 Volt verketteter Spannung in die Fahrleitungen und in die Triebmaschinen. Höhere Spannungen sind nur versuchsweise angewandt worden; insbesondere kann die von Siemens und Halske früher ausgeführte Lokomotive mit 10 000 Volt Triebmaschinen-Spannung noch nicht als Beweis für die Betriebsicherheit der Einführung so hoher Spannungen in die Bahn-Triebmaschinen angesehen werden. Die völlige elektrische Trennung der Läufer- und Ständer-Stromkreise und die einfache Ausführung der ruhenden Ständerwicklung an sich und des Läufers lassen indes zweifellos bei der Drehstrom-Triebmaschine höhere Ständerspannungen zu, als zur Zeit bei irgend einer andern Bahn-Triebmaschine.

1) e. Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschinen mit Stromwender.

Schaltet man die beiden stromzuführenden Leitungen einer Gleichstrom-Triebmaschine um, so arbeitet sie in unveränderter Drehrichtung weiter. Sie ließe sich somit von diesem Standpunkte aus mit Einwellen-Wechselstrom betreiben. Einige besondere Erscheinungen machen hierbei aber verschiedene Änderungen in der Ausführung erforderlich, an denen das Gelingen der Ausführung solcher Maschinen bisher scheiterte. Erst der Amerikaner B. G. Lamme bei Westinghouse überwand diese Schwierigkeiten, und führte im Jahre 1902 die erste brauchbare Triebmaschine für unmittelbare Speisung mit Einwellen-Wechselstrom aus.

Zunächst war es nötig, das der wechselnden Erregung unterworfenen Magneteisen zur Vermeidung der Wirbelströme ebenfalls zu „blättern“, das heißt aus elektrisch stromdicht gesonderten Eisenblechen zusammensetzen. Dann aber bereiteten die vom Wechselfelde in den durch die Schleifbürsten des Stromwenders kurzgeschlossenen Ankerwindungen erzeugten E.M.K.²¹³⁾, die die Kurzschlussströme hervorrufen, große Schwierigkeiten. Auf die Beseitigung dieser schädlichen Erscheinungen richtete sich das Bestreben aller Erbauer derartiger Triebmaschinen, doch zeigte sich hier bald, daß alle Mittel zur Beseitigung dieser E.M.K. für alle Betriebszustände der Maschine versagten, und man sich damit begnügen mußte, sie nur an der laufenden Maschine fortzuschaffen, im Übrigen aber mit ihrem Bestehen zu rechnen.

Von der großen Anzahl der in Vorschlag gebrachten und teils auch ausgeführten Triebmaschinen haben hauptsächlich zwei von einander verschiedene Arten im

²¹²⁾ Organ, 1904, S. 339; 1905, S. 175.

²¹³⁾ E.M.K. = Elektromotorische Kraft.

Betriebe Verwendung gefunden: die Reihenschlufs-Triebmaschine und die „kompensierte Repulsions“-Triebmaschine. Bei beiden hat man neben den bereits aufgeführten Eigenschaften auch die angestrebt, die die Gleichstrom-Reihenschlufs-Triebmaschine für Bahnbetrieb so geeignet macht, nämlich dafs die Drehgeschwindigkeit mit wachsender Zugkraft abnimmt.

Die Nebenschlufswickelung der Gleichstrom-Triebmaschinen läfst sich hier nicht mehr anwenden, da die Magnete, von dem Ohmschen Widerstande und der Trägheit der Erregung, „Hysteresis“, abgesehen, nur einen gegen die Klemmenspannung in der Welle um 90° verschobenen Strom aufnehmen, und das aus dem Ankerströme und dem Magnetfelde sich bildende Drehmoment sehr gering ausfällt.

Bei der Reihenschlufs-Triebmaschine bleiben Feld und Ankerstrom dagegen immer in fast gleicher Welle. Doch wogen beide Werte von Null bis zu einem Höchstwerte auf und nieder, so dafs das Drehmoment im Vergleiche mit der Gleichstrom-Reihenschlufs-Triebmaschine bei gleichem Höchstwerte beider Gröfsen einen geringern Mittelwert annimmt. Die Wechselstrommaschine fällt also für gleiche Zugkraft schwerer aus, als die Gleichstrommaschine, doch keineswegs in dem dem bezeichneten Verhältnisse entsprechenden Mafse, sondern wegen anderer günstiger Umstände, auf die im Folgenden hingewiesen werden wird, in günstigerem Verhältnisse. Diese Gewichtsunterschiede spielen indes im Bahnbetriebe bei Weitem nicht die ihnen in kleinlichen Vergleichsrechnungen zugeschriebene Rolle, sie werden von den Vorzügen des Wechselstromes in den Schatten gestellt, wenn es sich um ausgedehnte Bahnstrecken und schweren Betrieb handelt.

e) A. Die Reihenschlufs-Triebmaschine mit Stromwender für Einwellen-Wechselstrom.

Bei dieser Maschine sind Magnet- und Anker-Wickelung in Reihe geschaltet. Das Wechselfeld ruft in beiden Wickelungen Selbstinduktionen hervor, deren elektromotorische Kräfte nach den Gesetzen der Wechselstromlehre gegen den Primärstrom um 90° in der Welle zurückbleiben. Sie stellen einen Spannungsverbrauch dar, zu dem, wie in der Gleichstrom-Triebmaschine, noch die elektromotorische Gegenkraft des Ankers (S. 637) und der Ohmsche Spannungsverlust der Triebmaschine hinzukommen. Die beiden letzteren sind in gleicher Wellenlage mit dem Strome der Triebmaschine; die der letztern aufgedrückte Klemmenspannung mufs der geometrischen Summe dieser drei Spannungsverbräuche gleich sein. Dies wird durch den Plan der nach Art der Kraftvielecke zusammengesetzten drei Spannungen in Textabb. 709 veranschaulicht. Der Schlufs des Spannungsvieleckes stellt darin also die Klemmenspannung der Triebmaschine dar, und φ ist die Wellenverschiebung zwischen ihr und dem Strome.

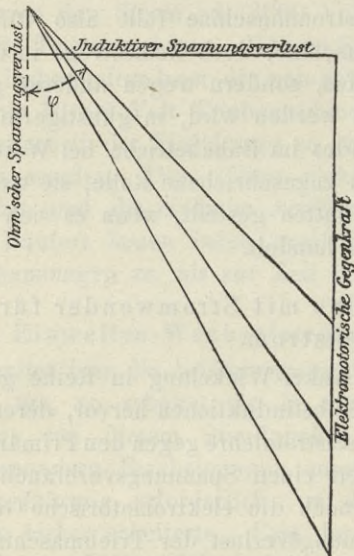
Aus diesem Spannungsplane geht hervor, dafs der Winkel φ um so kleiner wird, je kleiner die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion ist. Man kann diese nun bei der Ankerwickelung gänzlich aufheben, indem man das sie hervorrufoende Magnetfeld durch ein gleichgrofses aber entgegengesetztes aufhebt, „kompensiert“. Dagegen ist das Magnetfeld der Triebmaschine zur Bildung des Drehmomentes nötig, mufs daher bestehen bleiben. Da es aber schon aus anderen Gründen (S. 655) klein gehalten wird, fällt die sich aus ihm entwickelnde elektromotorische Kraft der Selbstinduktion wenig ins Gewicht.

Man ersieht ferner aus dem Spannungsplane (Textabb. 709), dafs der Winkel

φ mit zunehmender elektromotorischer Gegenkraft der Triebmaschine abnimmt. In der Abbildung ist φ für deren verschiedene Werte angegeben. Die Reihenschlufs-Triebmaschine arbeitet also in dieser Beziehung bei hohen Umdrehungszahlen, „Übersynchronismus“, mit besserer Leistungsziffer.

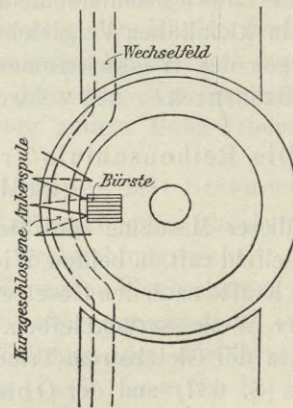
Jetzt ist weiter festzustellen, in welcher Weise bei der Reihenschlufs-Triebmaschine für Einwellen Wechselstrom die S. 652 erwähnten Kurzschlufsströme unter den Schleifbürsten unschädlich gemacht, oder gedämpft werden können. Textabb. 710 zeigt, wie das wechselnde Magnetfeld der Triebmaschine die Kurzschlufsspule des Ankers durchsetzt. Von den zahlreichen Mitteln, die sich als untauglich erwiesen haben, sind zu erwähnen: die Anordnung von besonderen magnetischen Feldern, durch die eine Induktions-Gegenwirkung auf den Kurzschlufsstromkreis ausgeübt werden sollte, und die Anordnung einer doppelten Ankerwicklung mit

Abb. 709.



Spannungsplan der Einwellen-Reihenschlufs-Triebmaschine.

Abb. 710.



Entstehung der Kurzschlufsströme.

dünnen Schleifbürsten. Man hat sich schliesslich damit begnügen müssen, an der ruhenden Triebmaschine die Ursache der Kurzschlufsströme bestehen zu lassen, und nur ihre Wirkung zu dämpfen. Das geschieht am einfachsten mittels Anordnung hoher Ohmscher Widerstände im Kurzschlufsstromkreise, also zwischen Ankerwicklung und Stromwender. Ausserdem lassen sich die Verhältnisse der Triebmaschine von vornherein in solcher Weise bestimmen, dass die Kurzschlufsströme nur eine mässige Höhe erreichen. Dagegen ist es bei der in Bewegung befindlichen Triebmaschine leicht, durch die Bewegung der Kurzschlufsspule in einem besonders magnetischen Felde die elektromotorische Kraft in ihr durch eine entgegengesetzt gerichtete Induktion aufzuheben, so dass sich die erwähnten Nachteile im Betriebe selbst nicht bemerkbar machen können.

Diese beiden Hilfsmittel haben der Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschine mit Stromwender ihre Betriebstüchtigkeit verliehen. Im Folgenden sollen sie in

Verbindung mit den für die gute Wirkung erforderlichen allgemeinen Entwurfsbedingungen einzeln behandelt werden.

1. Die allgemeinen Bedingungen des Baues der Triebmaschine sind folgende. Der Augenblickswert der elektromotorischen Kraft der vom Magnetfelde der Triebmaschine auf die Kurzschlußspule ausgeübten statischen Induktion ist

$$\text{Gl. 156) } \dots \dots \dots E = \nu z \Phi$$

worin ν die sekundliche Wellenzahl des zugeführten Wechselstromes,

Φ den Augenblickswert des magnetischen Feldes, das mit der Kurzschlußspule verkettet ist,

z die Windungszahl der Kurzschlußspule

bedeuten.

Man erkennt also, daß ein schwaches Feld, eine niedrige Wellenzahl und eine niedrige Windungszahl der Kurzschlußspule zur Verminderung der elektromotorischen Kraft des Kurzschlußstromes wesentlich beitragen. Während ν bei Kraftübertragungsanlagen 50 beträgt, hat man es hier zu 15 bis 25 angenommen. Das Feld Φ der Triebmaschine kann sehr schwach sein, wobei der Anker kräftiger gehalten werden muß, da sich die Zugkraft aus $\text{Feld} \times \text{Ankerstrom}$ ergibt.

Das Verhältnis

$$\frac{\text{Feld der Triebmaschine}}{\text{Feld des Ankers}}$$

ist bei Gleichstrom-Bahntriebmashinen etwa 5:1 bis 4:1, hier wird es aber nur zu etwa 1:3 bis 1:1 angenommen, was starke Ankerströme und breite Stromwender bedingt. Die Windungszahl z der Ankerspule muß mindestens 1 betragen. Wenn man nun auch hiermit wohl etwas höher geht, so ergibt sich im Vergleiche mit Gleichstrom-Triebmaschinen doch immer eine sehr feine Unterteilung der Ankerwicklung, so daß der Stromwender eine entsprechend feine Teilung, große Blattzahl und äußere Abmessung erhält.

2. Der Übergangswiderstand vom Stromwender zur Schleifbürste und umgekehrt wird bei der heutigen Bürstenkohle nicht genügen, das Bürstenfeuer beim Stillstande oder Anlaufe zu unterdrücken. In allen Fällen wird ein besonderer Widerstand zwischen den Enden jeder Ankerspule und den zugehörigen Streifen des Stromwenders nützlich sein. Ein solcher wird denn auch heute schon von den die Reihenschluß-Triebmaschine bauenden Gesellschaften angeordnet. Während indes Westinghouse diesen Widerstand lediglich als Verbrauchswiderstand in den Ankernuten bettet, verlegen ihn die Siemens-Schuckert-Werke nach Angabe Rud. Richters als nutzbare offene Ankerwicklung über die Ankerwicklung. Dieser Widerstand wird etwa gleich dem Ankerwiderstande bemessen. Der auf ihn fallende Verlust beträgt etwa 1 bis 2% der der Triebmaschine zugeführten Arbeit.

3. Die Beseitigung des Bürstenfeuers, oder vielmehr seiner Ursache, an der laufenden Triebmaschine erschien bei der Verwendung des Einwellen-Wechselstromes auf ausgedehnten Bahnnetzen mit langen Fahrstrecken besonders wünschenswert. Man hat sie, wie oben angedeutet, dadurch erreicht, daß man die kurzgeschlossene Ankerspule, in der die schädliche elektromotorische Kraft auftritt, während des Kurzschlusses mit einem geeigneten magnetischen Felde verkettete. Dieses Feld muß um eine halbe Polteilung gegen das Hauptfeld verschoben werden, und wird deshalb „Querfeld“ genannt. Dieses Querfeld hat eine doppelte Aufgabe. Einmal soll es die sogenannte Wendespannung E_d , die durch die

Stromwendung in der kurzgeschlossenen Ankerspule entsteht (S. 642), aufheben, dann eine der vom Wechselfelde der Triebmaschine in der Kurzschlußspule durch statische Induktion erzeugten elektromotorischen Kraft entgegengesetzt gerichtete elektromotorische Kraft erzeugen. Die Wendespannung ist stets in gleicher Wellenlage mit dem Strome der Triebmaschine und steht zu diesem angenähert in geradem Verhältnisse. Man kann die Wendepole daher durch den Strom der Triebmaschine erregen. Beide Spannungen stehen außerdem zu der Drehgeschwindigkeit in geradem Verhältnisse. Die zweite elektromotorische Kraft dagegen ist um 90° hinter dem Ankerstrom verschoben, demnach müßte auch das Querfeld in dieser Beziehung eine um 90° versetzte Wellenlage erhalten. Die beiden genannten elektromotorischen Kräfte lassen sich nach Textabb. 711 zusammensetzen, daraus

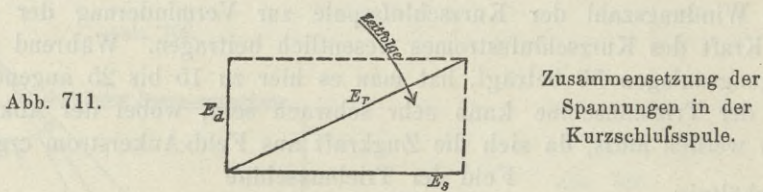


Abb. 712.

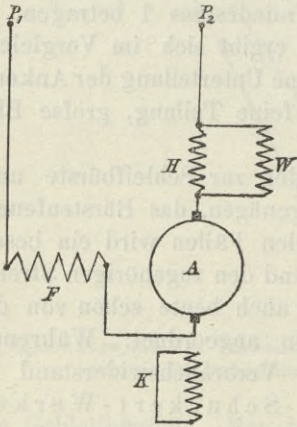
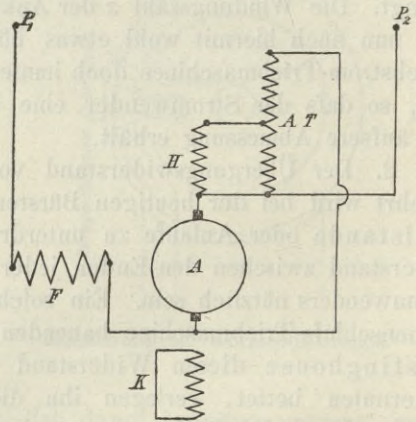


Abb. 713.



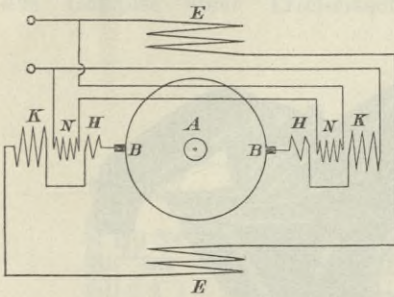
Schaltungen der Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschine mit Stromwender, Oerlikon.

geht hervor, daß eine gleichzeitige Aufhebung beider dann stattfindet, wenn das Querfeld eine Stärke und Wellenlage besitzt, die der geometrischen Summe E_r entspricht.

Die diese Wirkung bezweckenden Schaltungen wurden 1904 von der Maschinenbauanstalt Oerlikon und zugleich bei den Siemens-Schuckert-Werken angegeben. In Textabb. 712 und 713 sind die Schaltungen von Oerlikon dargestellt. Darin bedeutet A den Anker, F das Hauptfeld, K das Ausgleichsfeld zur Aufhebung des Ankerfeldes, H die Wendefeldwicklung und W einen neben diese geschalteten induktionslosen Widerstand. Die Erregerspule des Feldes K ist in sich kurzgeschlossen dargestellt, während sie grundsätzlich auch in Reihe mit dem

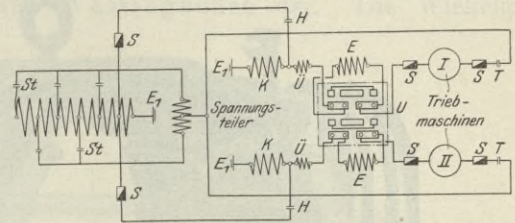
Anker *A* und der Feldwicklung *F* geschaltet werden könnte. In Textabb. 713 ist die Wendefeldwicklung über einen Selbstabspanner, „Autotransformator“, an die Bürsten der Triebmaschine angeschlossen.

Abb. 714.



Schaltung der Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschine mit Stromwender, Siemens-Schuckert-Werke

Abb. 715.



Niederspannungsseite des Abspanners. *E* Erregung. *K* Kompensation. *Ü* Überkompensation. *U* Umschaltwalze. *S* Sicherungen. *St* Stufenschalter. *E₁* Erde. *T* Schalter zum Abtrennen einzelner Triebmaschinen. *H* Hilfsstromschalter.

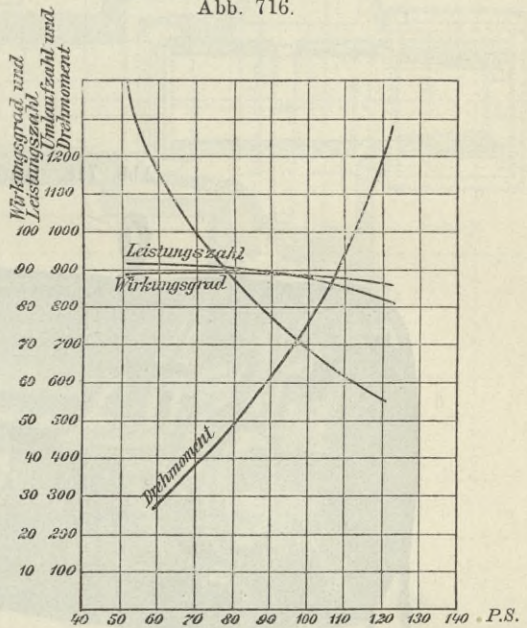
Neuere Schaltung der Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschine der Siemens-Schuckert-Werke

Textabb. 714 zeigt die Schaltung der Siemens-Schuckert-Werke von Rud. Richter, bei der die Wendepole mit einer gemischten, sogenannten „Compound“-Wicklung versehen sind. In Textabb. 714 bedeutet *H* die im Hauptstromkreise liegende Wicklung zur Aufhebung der Wendespannung, *N* die Nebenschlusswicklung zur Aufhebung der sogenannten „Transformator“-Spannung der Kurzschlusspule des Ankers, *K* die Ausgleichwicklung und *E* die Erregerwicklung.

In Textabb. 715 ist eine neuere Schaltung der Siemens-Schuckert-Werke angegeben, die in ihren Grundzügen gleichfalls von Rud. Richter stammt. Hierbei wird die schwierig herzustellende Nebenschlusspule *N* (Textabb. 714) dadurch erspart, dass man die Spule *K* selbst zur Erzeugung des die E.M.K. der Ruhe vernichtenden Feldes benutzt, indem man ihr eine dem Abspanner entnommene Spannung aufdrückt.

Die Kennlinie dieser Triebmaschinen ist in Textabb. 716 dargestellt. Man erkennt darin den der Gleichstrom-Reihenschluss-Triebmaschine eigenen Abfall der

Abb. 716.



Kennlinie der Einwellen-Wechselstrom-Reihenschluss-Triebmaschine mit Stromwender.

Drehgeschwindigkeit bei zunehmender Zugkraft. Wirkungsgrad und Leistungsziffer $\cos \varphi$ bewegen sich innerhalb weiter Belastungsgrenzen in ziemlich hohen Werten.

Abb. 717. Innenansicht.

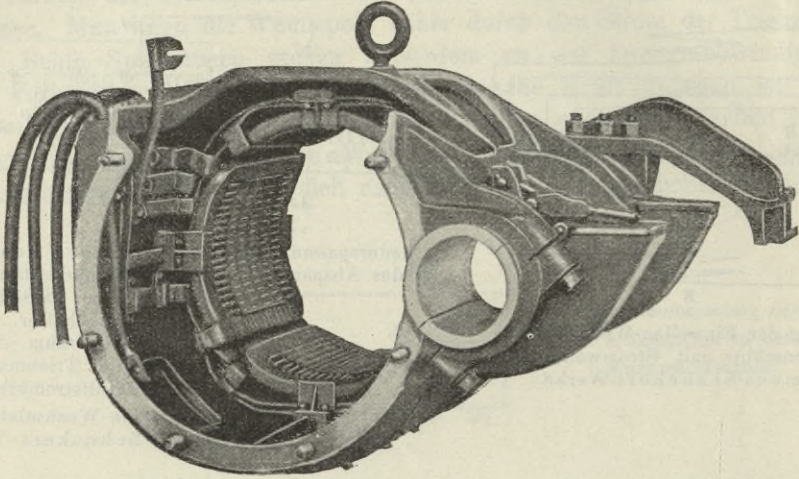
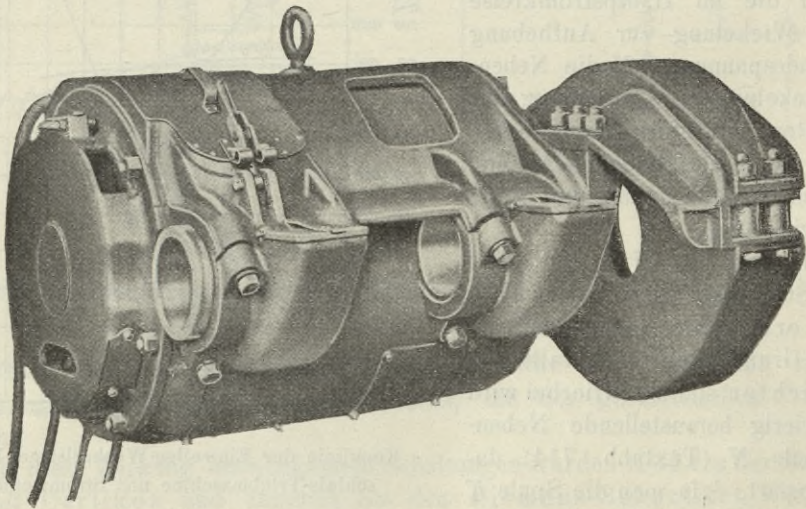


Abb. 718. Außenansicht.

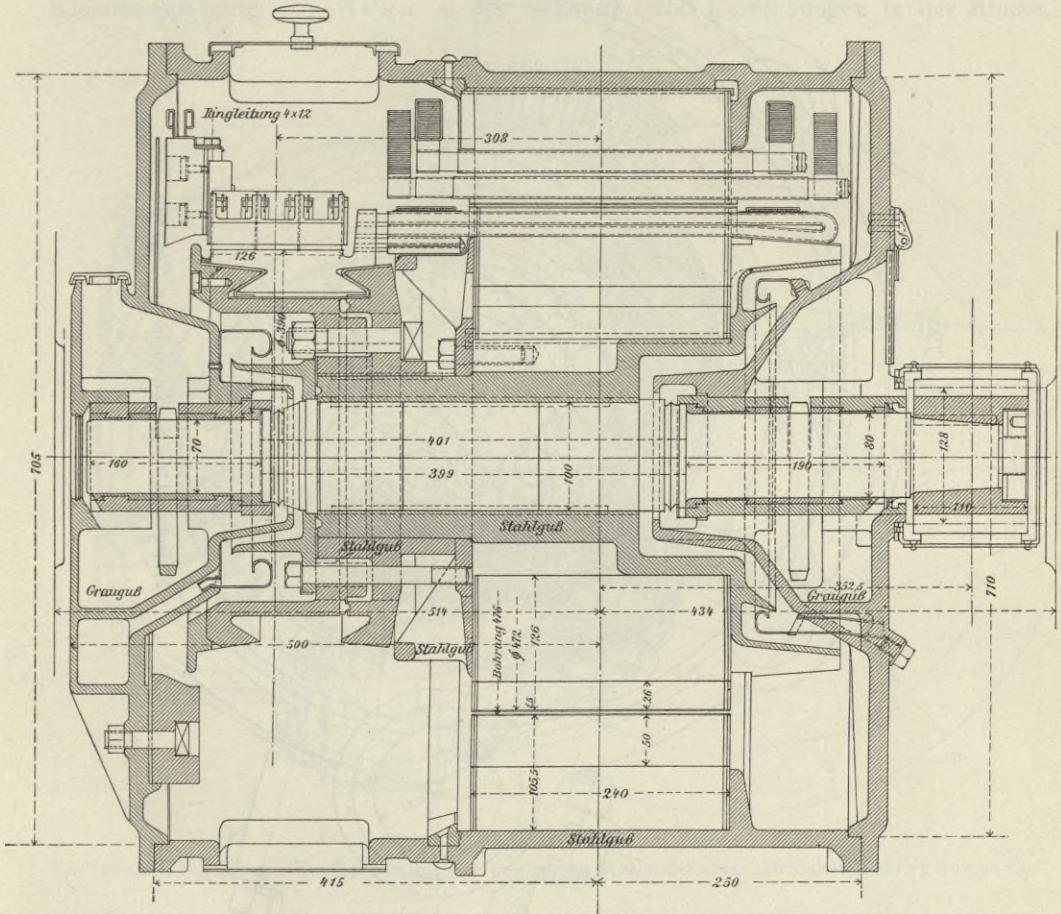


Einwellen-Wechselstrom-Reihenschluß-Triebmaschine, Westinghouse.

Der Aufbau der Triebmaschinen für Wechselstrom entspricht im Ganzen dem für Gleichstrom. Das Gehäuse ist hier indes nicht magnetisch wirksam,

sondern hat nur den Zweck, das geblättrte Magneteisen mechanisch zusammenzuhalten, und die Ankerlager mit ihm in gleichmittige Verbindung zu bringen. Es kann daher mit großen Aussparungen versehen sein, die dem Magneteisen zur Abkühlung dienen, doch hat es nebenbei den an sich nicht immer statisch genügend starken Magneteisenring zu verstärken. Textabb. 717 und 718 stellen das Gehäuse einer Triebmaschine von Westinghouse dar. Die Wicklung

Abb. 719.

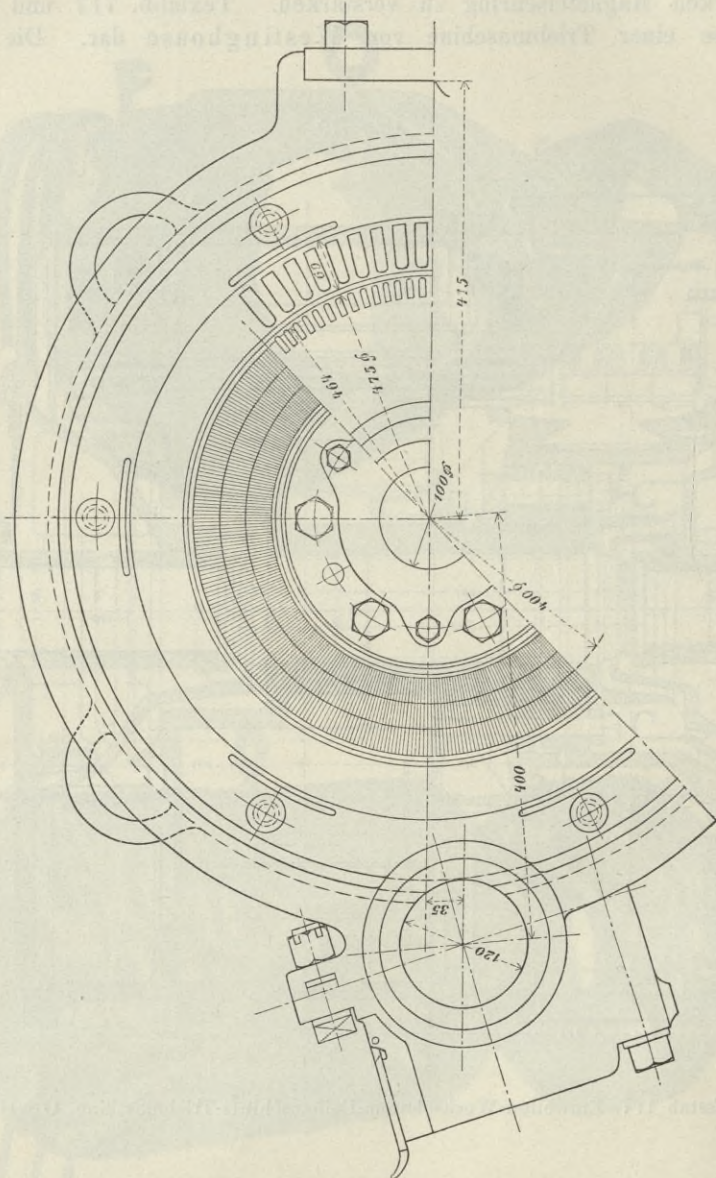


Mafsstab 1:7. Einwellen-Wechselstrom-Reihenschluss-Triebmaschine, Oerlikon.

weist ausgeprägte Pole und unterbrochene Nutung des Magneteisens auf, während das Eisen in der in Textabb. 719 und 720 dargestellten Triebmaschine von Oerlikon wie der Ständer einer Drehstrom-Triebmaschine gleichmäßige Nutung besitzt. Die Wicklungen *K* und *H* (Textabb. 712 und 713) sind dabei so angeordnet, daß *H* gewissermaßen einen Bestandteil von *K* bildet, indem *H* vollständig innerhalb *K* liegend nur einen einzelnen Zahn in der Polücke umfaßt.

Eine weitere Triebmaschine von Westinghouse für Einwellen-Wechselstrom ist in Textabb. 721 dargestellt. Sie wurde von der „British Westinghouse Co.“ in Manchester für die Heysham-, Morecambe- und Lancaster-Strecken der Midland-

Abb. 720.



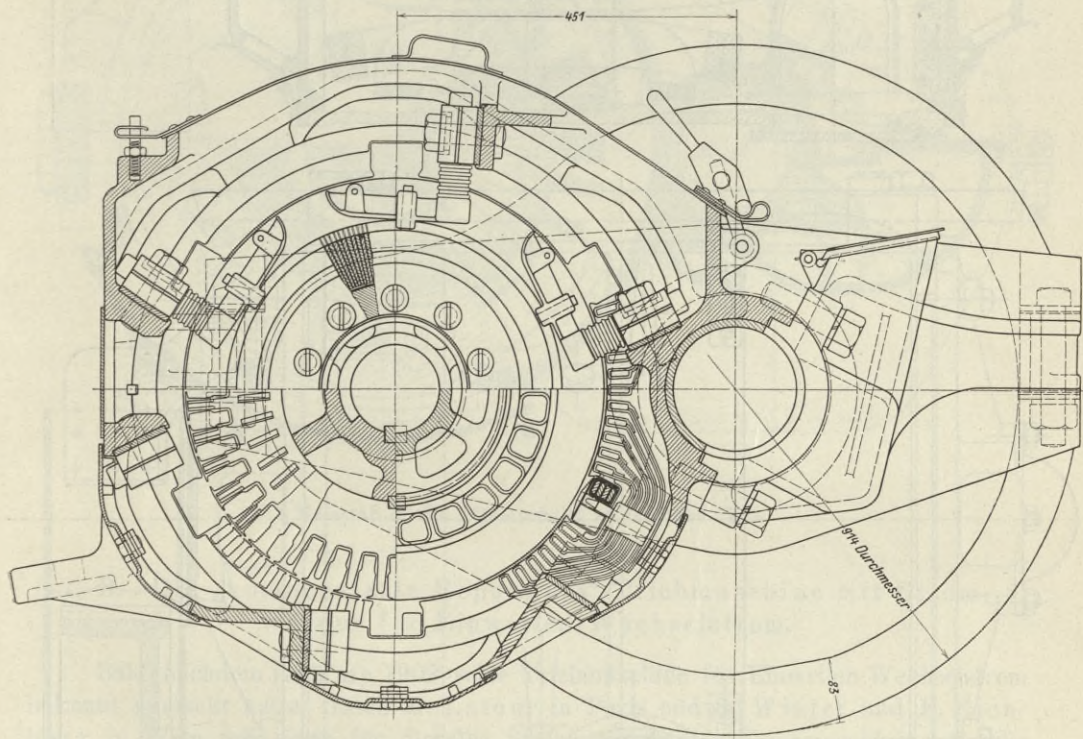
Maßstab 1:7. Stirnansicht zu Textabb. 719.

Bahn in England gebaut. Die Maschine besitzt sechs Pole mit ausgeprägter Wickelung, die vorher auf Formen gewickelt wird; die Ausgleichwicklung ist verteilt und in halbgeschlossenen Nuten verlegt. Die zur Kühlung dienende Luft tritt auf der Zahnradseite ein und durch den gelöcherten Deckel der Stromwender-Kammer wieder

aus. Die Lager haben nur einfache Ölschmierung. Zwischen den Stromwender und die Ankerwicklung sind Widerstände eingebaut, die als induktionsfreie Wickelung auf dem Grunde der Ankernten verlegt wurden. Die Glimmerplatten zwischen den Stromwenderplatten sind auf 2 mm ausgekratzt, um das Funken der Schleifbürsten weiter zu vermindern. Die Stundenleistung der Triebmaschine beträgt bei 75 km/Std. Fahrgeschwindigkeit etwa 150 P. S.

In Textabb. 722 und 723 ist die Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschine mit Stromwender der Siemens-Schuckert-Werke dargestellt, die auf der Stadtbahn Wien—Baden im Jahre 1905/06 in Betrieb gekommen ist. Sie hat bei 300 Volt Klemmenspannung, 15 Wellen in der Sekunde, 750 Umdrehungen in der Minute,

Abb. 721.



Maßstab 1:10.

Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschine der englischen Midland-Bahn, „British Westinghouse Co.“

die Stundenleistung von 40 P. S. und wiegt 1700 kg. Die sechspolige Magnetwicklung liegt in den weiten Nuten, die verteilte Ausgleichwicklung des Ankers in den engen Nuten des ringförmigen Magnetgehäuses. In den beiden engen Nuten zu beiden Seiten der in den wirkungslosen Zonen liegenden, weiten Nuten ist außerdem noch die Wendepolwicklung untergebracht. Der sehr breit gehaltene Stromwender hat sechs Bürstenhalter zu je drei Kohlenbürsten von 10 mm Dicke. Die Ankerlager erhalten obere Oelschmierung, die beiden Stützlager seitliche Kissenschmierung für Oel, wie sie 1900 von Westinghouse auf der Pariser Ausstellung erstmals gezeigt wurde.

Textabb. 724 zeigt die von den Siemens-Schuckert-Werken für die Vor-

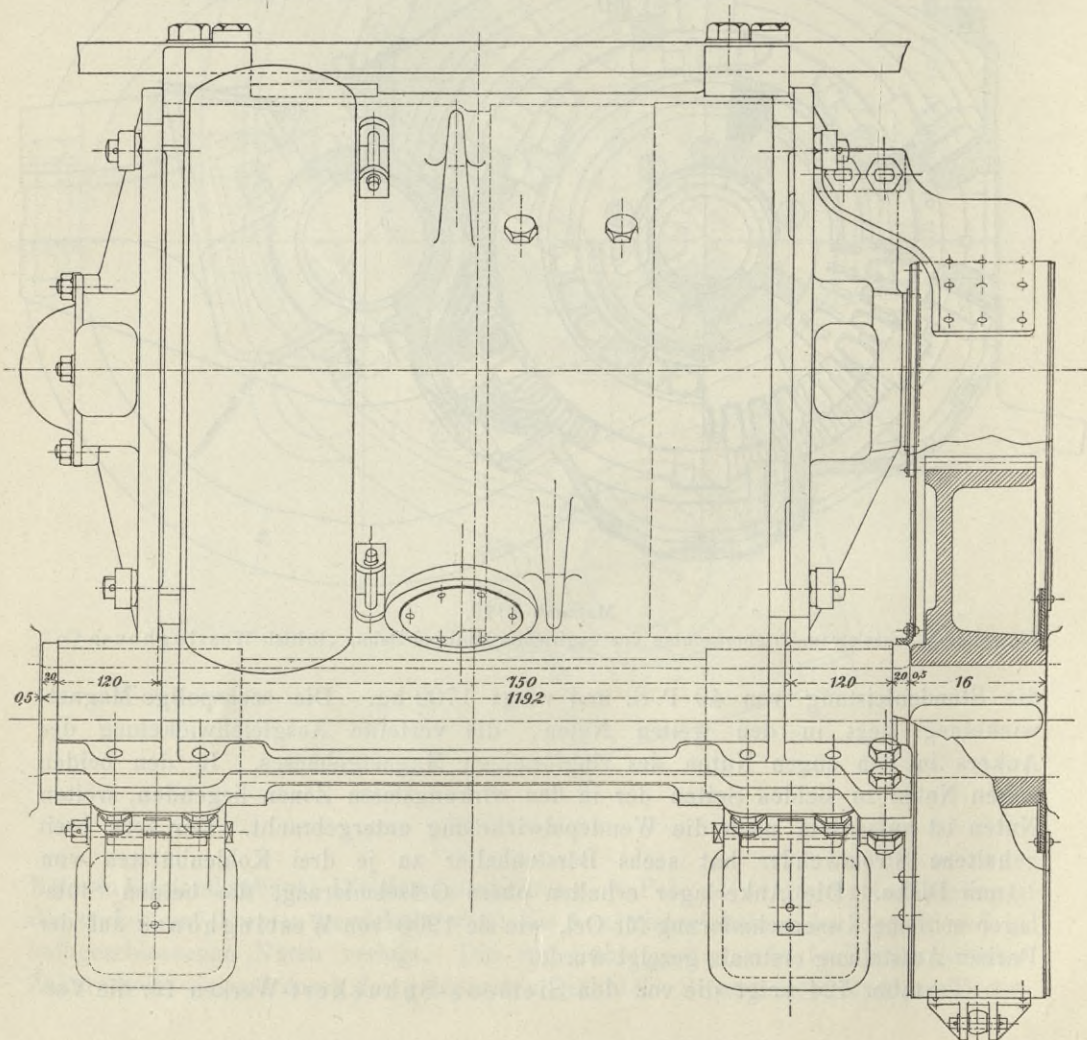
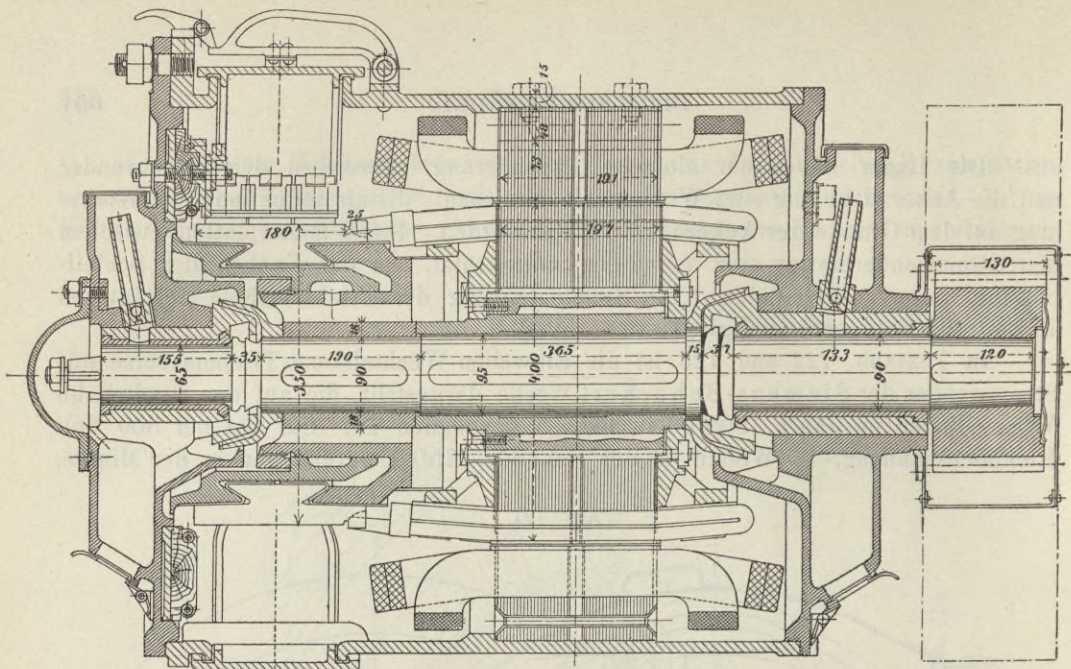
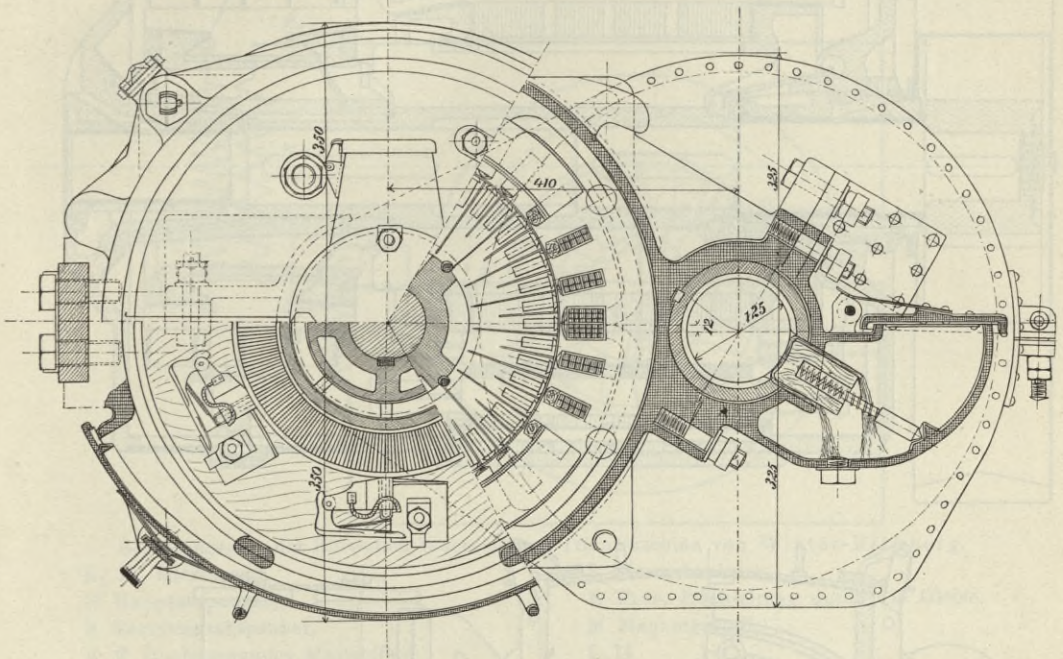


Abb. 722. Maßstab 4:35. Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschine der Siemens-Schuckert Werke.

ortbahn Blankenese-Ohlsdorf durch Hamburg gebaute achtpolige Triebmaschine für Einwellen-Wechselstrom. Sie besitzt bei 700 Umdrehungen in der Minute und 300 Volt Klemmenspannung eine Stundenleistung von 175 P. S., und treibt die zugehörige Wagenachse mit einmaliger Zahnradübersetzung in der üblichen Weise an.

Abb. 723.

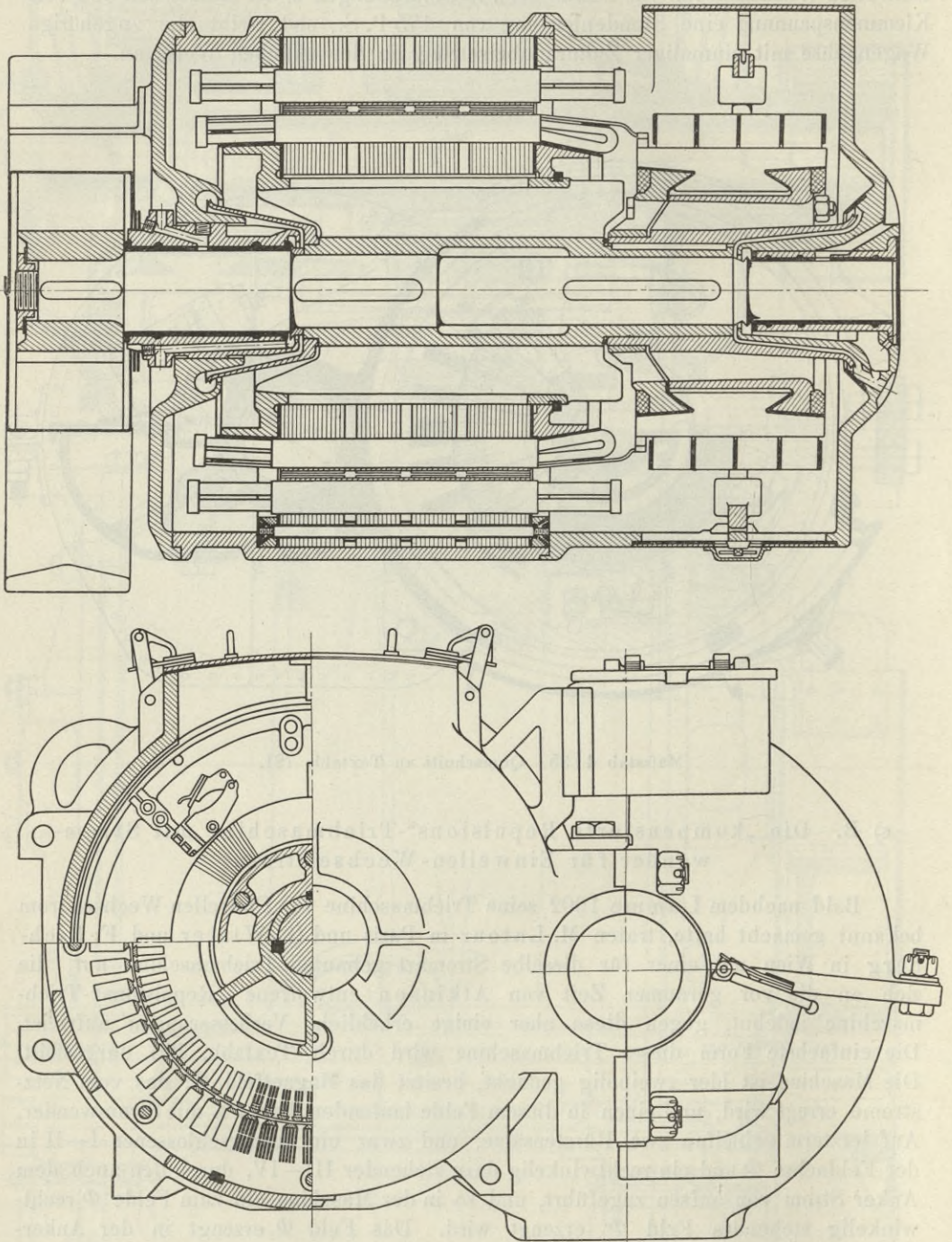


Maßstab 4 : 35. Querschnitt zu Textabb. 721.

e) B. Die „kompensierte Repulsions“-Triebmaschine mit Stromwender für Einwellen-Wechselstrom.

Bald nachdem Lamme 1902 seine Triebmaschine für Einwellen-Wechselstrom bekannt gemacht hatte, traten M. Latour in Paris und G. Winter und F. Eichberg in Wien mit einer für dieselbe Stromart gebauten Triebmaschine auf, die sich an die vor geraumer Zeit von Atkinson entworfene „Repulsions“-Triebmaschine anlehnt, gegen diese aber einige erhebliche Verbesserungen aufweist. Die einfachste Form dieser Triebmaschine wird durch Textabb. 725 dargestellt. Die Maschine ist hier zweipolig gedacht, besitzt das Magnetfeld Φ , das vom Netzstrome erregt wird, und einen in diesem Felde laufenden Anker A mit Stromwender. Auf letzterm schleifen zwei Bürstensätze, und zwar ein kurzgeschlossener I—II in der Feldachse Φ und ein rechtwinkelig dazu stehender III—IV, durch den auch dem Anker Strom von außen zugeführt, und so in der Maschine ein zum Felde Φ rechtwinkelig stehendes Feld Φ' erzeugt wird. Das Feld Φ erzeugt in der Ankerwicklung durch statische Induktion Ströme, die mit dem wellengleichen Felde Φ' das gewünschte Drehmoment ergeben. Da die zwischen den Bürsten I II unabhängig von der Umdrehungszahl der Triebmaschine entstehenden elektromotorischen

Abb. 724.



Mafsstab 1:10. Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschine der Vorortbahn Blankenese-Ohlsdorf durch Hamburg, Siemens-Schuckert-Werke.

Kräfte die Schwingungszahl des durch den Netzstrom erregten Feldes besitzen, und der Ankerstrom dieselbe Wellenlage hat, läßt sich also auch ein Strom vom Netze her in den Anker einführen. Die Stromverteilung im Anker erfolgt hierbei nach Textabb. 726²¹⁴⁾.

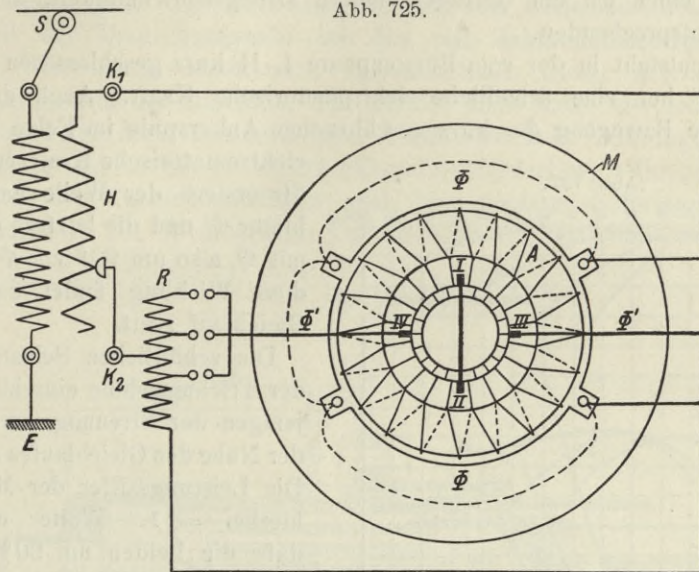


Abb. 725.

Schaltungsplan der Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschine von Winter-Eichberg.

- | | |
|---|---------------------------------------|
| K_1 K_2 Klemmen, | S Stromabnehmer, |
| H Hauptabspanner, | E Erde, Rückleitung durch die Gleise, |
| R Regelungsabspanner, | M Magnetgestell, |
| Φ Φ Hochspannungs Magnetfeld, | I, II } Bürsten. |
| Φ' Φ' Querfeld | III, IV } |

Die zwischen den Bürsten I II bei der Drehung der Ankerwicklung im Felde Φ' erzeugte EMK wirkt der vom Felde Φ erzeugten entgegen und bildet sonach die elektromotorische Gegenkraft der Triebmaschine; sie hängt von der Umdrehungszahl der Maschine ab. Ist das Drehmoment größer als der Bedarf, so nehmen die Umdrehungszahl und die elektromotorische Gegenkraft zu, die Stromstärke der Ankers und das Feld Φ' so lange ab, bis Gleichgewicht zwischen dem Drehmomente und den Zugwiderständen entsteht. Das Feld Φ' und der Ankerstrom nehmen also, wie bei der Gleichstrom-Reihenschluß-Triebmaschine gleichzeitig zu, beziehungsweise ab.

Die schädlichen elektromotorischen Kräfte der Triebmaschine werden nun in folgender Weise aufgehoben. Zunächst entsteht in der Erregerwicklung zwischen den Bürsten III und IV eine elektromotorische Kraft der Selbstinduktion. Diese ist der Welle nach um 90° hinter Φ' verschoben. Durch das Feld Φ entsteht

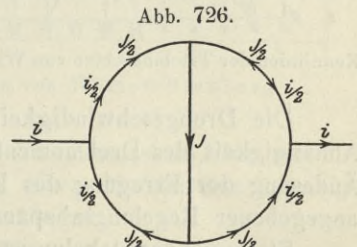


Abb. 726.
Stromverteilung im Anker der Triebmaschine von Winter-Eichberg, zu Textabb. 725.

²¹⁴⁾ Elektrotechnische Zeitschrift 1906 S. 562.

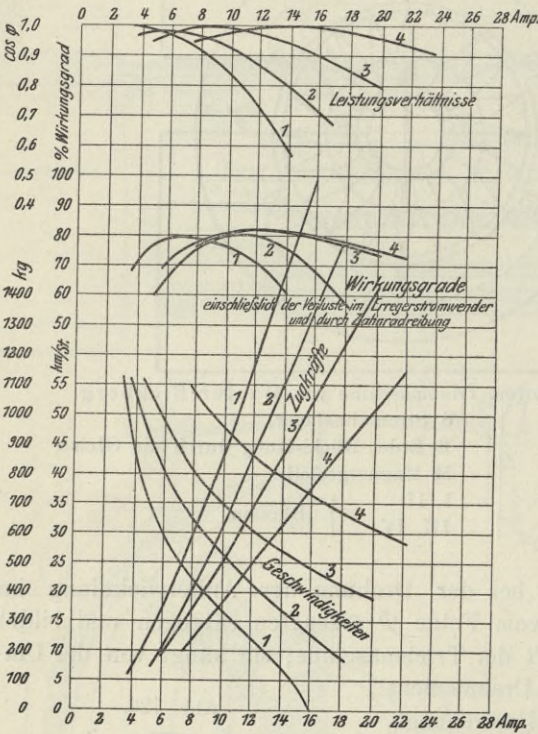
in der Ankerwicklung zwischen denselben Bürsten III und IV eine elektromotorische Kraft der Bewegung, die mit Φ wellengleich ist. Da nun das Feld Φ' um 90° hinter dem Felde Φ hereilt, heben sich diese elektromotorischen Kräfte gegenseitig auf. Dies ist vollkommen, das heißt mit Berücksichtigung des Streufeldes, der Fall bei einer um ein Geringes höhern Drehgeschwindigkeit, als der dem Gleichlaufe entsprechenden.

Ferner entsteht in der vom Bürstenpaare I, II kurz geschlossenen Ankerspule vom Felde Φ' her eine schädliche elektromotorische Kraft. Auch dieser wirkt eine durch die Bewegung der kurz geschlossenen Ankerspule im Felde Φ erzeugte elektromotorische Kraft entgegen, da

die erstere der Welle nach um 90° hinter Φ' und die letztere gleichwellig mit Φ , also um 90° vor Φ' eilt. Auch diese Wirkung findet ungefähr bei Gleichlauf statt.

Die schädlichen Selbstinduktionen der Triebmaschine einschließlic derjenigen der Streuung werden also in der Nähe des Gleichlaufes aufgehoben. Die Leistungsziffer der Maschine ist hierbei = 1. Weiter ergibt sich, daß die beiden um 90° gegen einander versetzten Felder Φ und Φ' bei Gleichlauf ein vollkommenes Drehfeld bilden. Die geringen Eisenverluste im Ständer und geringes Bürstenfeuer ergeben sich also bei Gleichlauf, während der vollkommene Wellenausgleich bei Voreilung erreicht wird. Die betreffenden Schaulinien liegen deshalb in dem Kennbilde der Maschine (Textabb. 727) nicht beisammen, doch spielt diese Abweichung im Betriebe keine wesentliche Rolle.

Abb. 727.



Kennlinien der Triebmaschine von Winter-Eichberg.

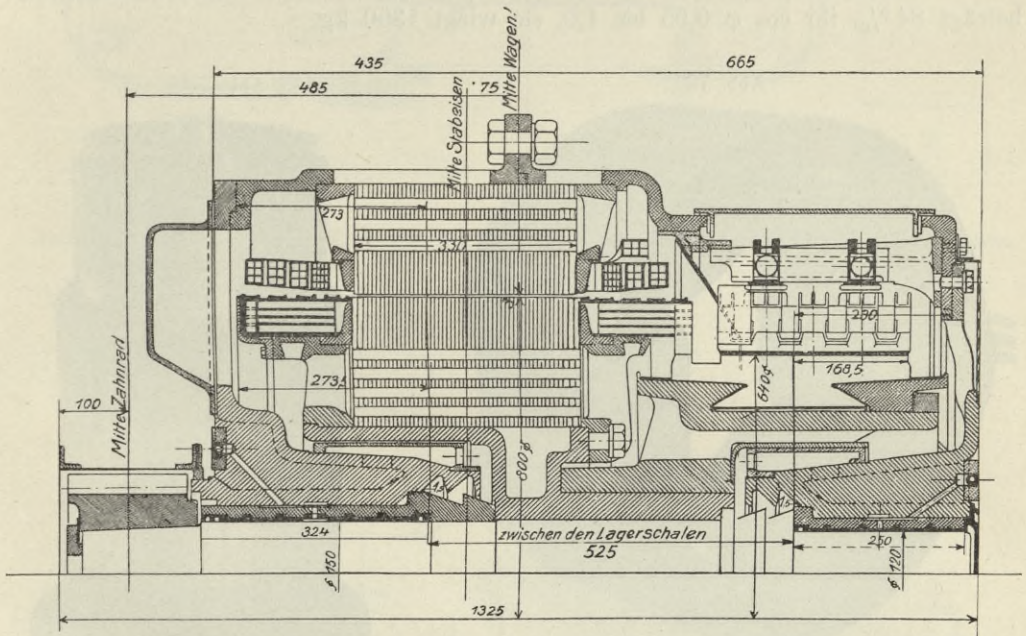
Die Drehgeschwindigkeit der Maschine läßt sich nach dem oben über die Abhängigkeit des Drehmomentes vom Felde und vom Ankerstrom Gesagten durch Änderung der Erregung des Feldes Φ' regeln. Hierzu dient ein in Textabb. 724 angegebener Regelungsabspanner R.

Stromwenderwickelungen können nun zur Zeit höchstens mit 500 V. Wechselstrom arbeiten. Es liegt daher nahe, bei dieser Triebmaschine nur dem dem Anker zugeführten Strome im Erregerabspanner niedrigere Spannung zu geben, dagegen dem ruhenden Ständer den hochgespannten Netzstrom unmittelbar zuzuführen. Dies wurde auch anfänglich beabsichtigt, doch hat sich später auch die Regelung der ganzen Maschinenspannung als nötig erwiesen. Das Feld muß zur Verminderung des Kurzschlußstromes beim Anfahren geschwächt werden, sodafs der Strom in der Maschine entsprechend anschwellen wird. Die Triebmaschine

wird deshalb sowohl durch Änderung der ganzen Spannung, als auch der Erregerspannung geregelt, muß also wie die Einwellen-Wechselstrom-Reihenschluß-Triebmaschine einen für die ganze Maschinenleistung berechneten Hauptspanner H (Textabb. 725) auf den Fahrzeugen mitnehmen.

Die Abhängigkeit der Wellenausgleichung vom Gleichlaufe bildet wegen der Begrenztheit der Umdrehungszahl bei den mit Zahnradübersetzung, und auch ohne jede Übersetzung arbeitenden Triebmaschinen dieser Art auch eine Begrenzung der Polzahl der Maschine. Um letztere nicht unter vier, eher noch höher zu halten, sind für diese Maschine unter Umständen hohe Schwingungszahlen des Wechselstromes von 25 bis 50 in der Sekunde erforderlich, während die Erscheinungen unter den Kurzschlußbürsten auch hier niedrige Schwingungszahlen erwünscht machen. Die Wechselstrom-Reihenschluß-Triebmaschine hängt in ihren

Abb. 728.



Maßstab 1:10. Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschine von Winter-Eichberg.

Baubedingungen nicht von der Schwingungszahl des Netzstromes ab, für sie sind nur mit Rücksicht auf die Vorgänge unter den Kurzschlußbürsten niedrige Schwingungszahlen von 15 in der Sekunde zweckmäßiger.

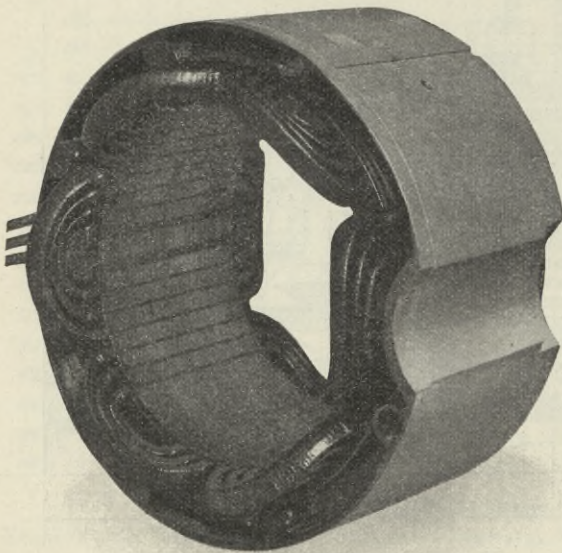
Textabb. 728 stellt eine Triebmaschine von Winter-Eichberg dar. Sie besitzt bei 400 Umdrehungen in der Minute, 850 Volt Klemmenspannung und 25 Wellen eine Stundenleistung von 350 P. S., hat somit wohl die größte Leistung einer in einen Achssatz mittels einfacher Zahnradübersetzung einfügbaren Triebmaschine. Die Ankerspannung beträgt 300 Volt. Das Ständergehäuse ist rechtwinkelig zur Maschinenachse geteilt. Die Ankerlager greifen beiderseits völlig in die Maschine hinein und sind mit den seitlichen Deckeln aus einem Stücke gearbeitet. Die Schmierung erfolgt mittels Prefsöles, das einen Kreislauf ausführt. Die Trieb-

maschine wird durch Prefsluft gekühlt, die von einem kleinen Schleudergebläse mit einem Drucke von 100 mm Wassersäule erzeugt wird. Das Gewicht der zum Antriebe einer Lokomotive dienenden Triebmaschine beträgt einschliesslich der Zahnradübersetzung nebst Schutzkasten 6250 kg.

In Textabb. 729 und 730 sind das Magnetgestell und der Anker der auf der Hamburger Vorortbahn in Betrieb stehenden Triebmaschine von Winter-Eichberg dargestellt.

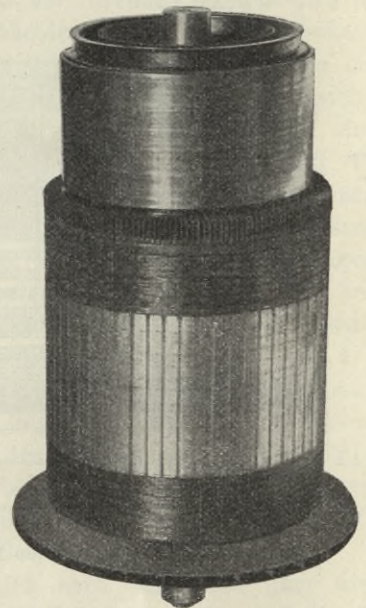
In Textabb. 731 und 732 ist eine „ausgeglichene Repulsions“-Triebmaschine von Latour dargestellt, die auf einer Strafsenbahnlinie in der Umgebung von Paris im Betriebe ist. Das Blechpaket des Magnetfeldes wird durch den Spannung a in einem laternenartig ausgesparten, gufseisernen Gehäuse zusammengehalten, mit dem zugleich an seinen Stirnseiten die Lagerdeckel verschraubt sind. Die Triebmaschine leistet bei 600 Umdrehungen in der Minute, 25 Schwingungen des Wechselstromes und 300 Volt Klemmenspannung 50 P. S. Ihr Wirkungsgrad beträgt 84 %, ihr $\cos \varphi$ 0,95 bis 1,0, sie wiegt 1350 kg.

Abb. 729.



Magnetgestell der Triebmaschine von Winter-Eichberg.

Abb. 730.



Anker zu Textabb. 729, stehend.

e) C. Die doppeltgespeiste Triebmaschine für Einwellen-Wechselstrom.

Beider von Osnos angegebenen, von den Felten und Guilleaume-Lahmeyer-Werken in Frankfurt a. M. ausgeführten Triebmaschine wird sowohl dem Ständer, als auch dem Läufer Wattstrom von aussen zugeführt. Die Feldwicklung f (Textabb. 732) wird durch den Läufer- und den Ständer-Strom gespeist, wobei eine grosse Ueberlastbarkeit und eine hohe Leistungsziffer erzielt werden. Die Maschine läuft bei veränderlicher Belastung mit veränderlicher Geschwindigkeit,

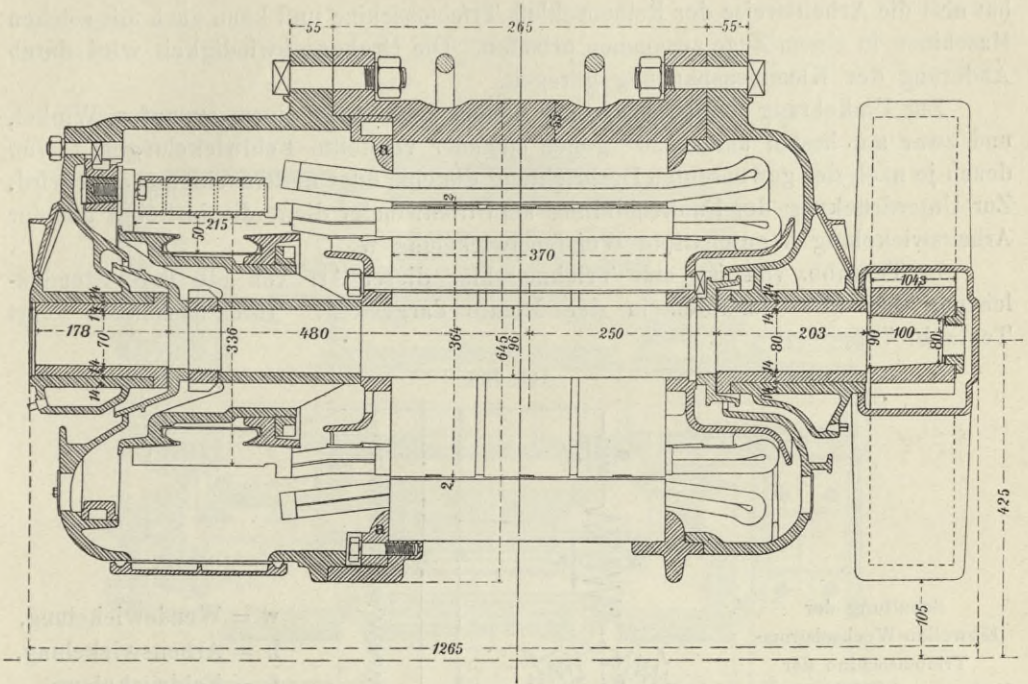


Abb. 731. Maßstab 1 : 10. Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschine von Latour, Längenschnitt.

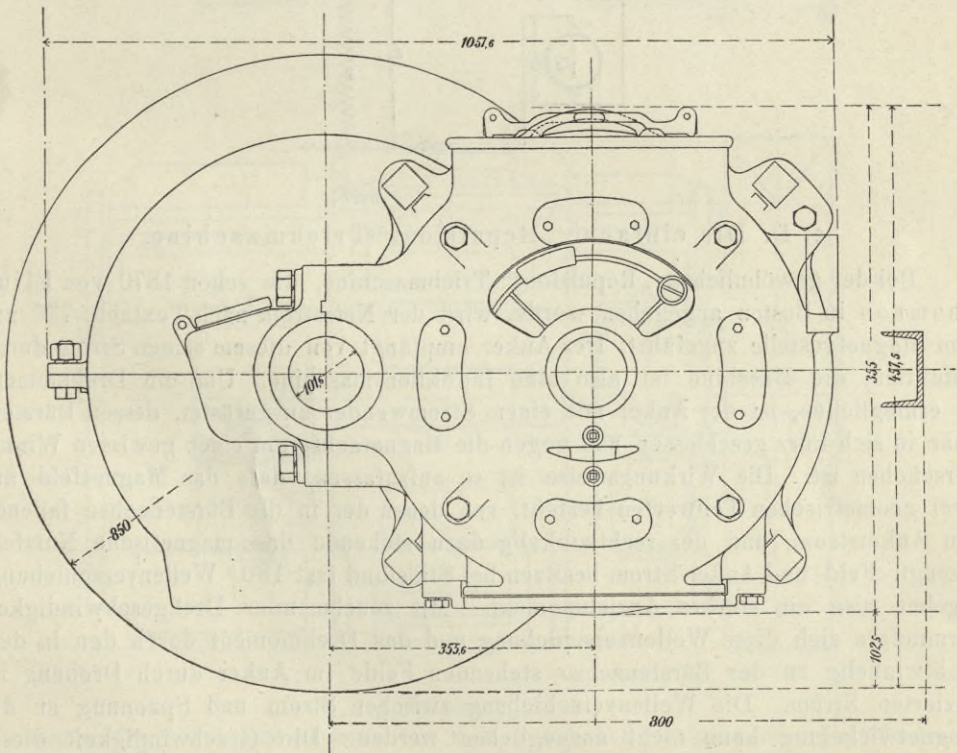
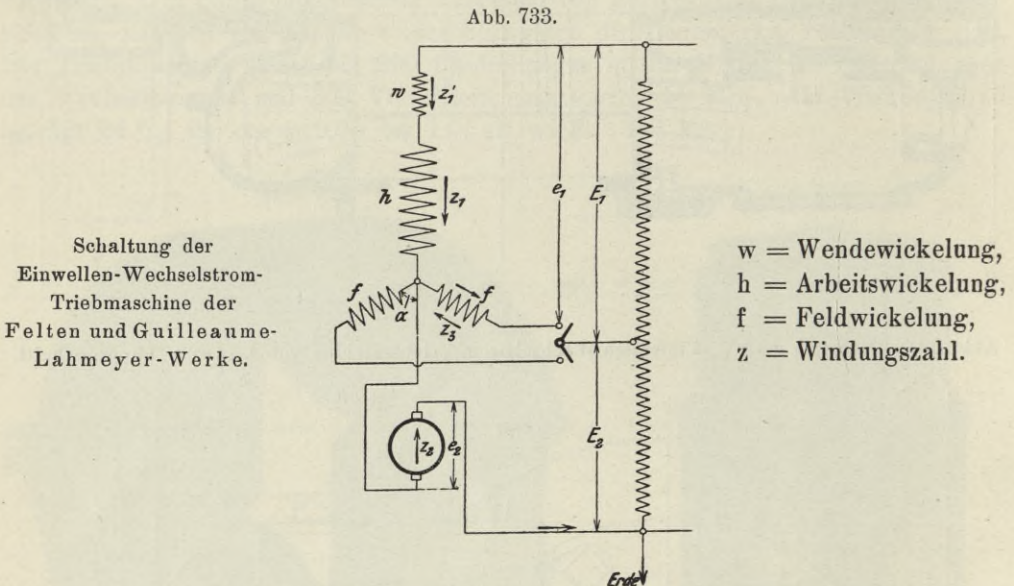


Abb. 732. Maßstab 1 : 10. Stirnansicht zu Textabb. 731.

hat also die Arbeitsweise der Reihenschluß-Triebmaschine und kann auch mit solchen Maschinen in einem Zuge zusammen arbeiten. Die Drehgeschwindigkeit wird durch Änderung der Klemmenspannung geregelt.

Zur Umkehrung der Drehrichtung dienen zwei unter einem stumpfen Winkel, und zwar am besten unter 120° gegen einander verstellte Feldwickelungen f , von denen je nach der gewünschten Drehrichtung die eine oder andere eingeschaltet wird. Zur Unterdrückung der Funkenbildung am Stromwender dient die in Reihe mit der Arbeitswickelung h geschaltete Wendepolwickelung w .

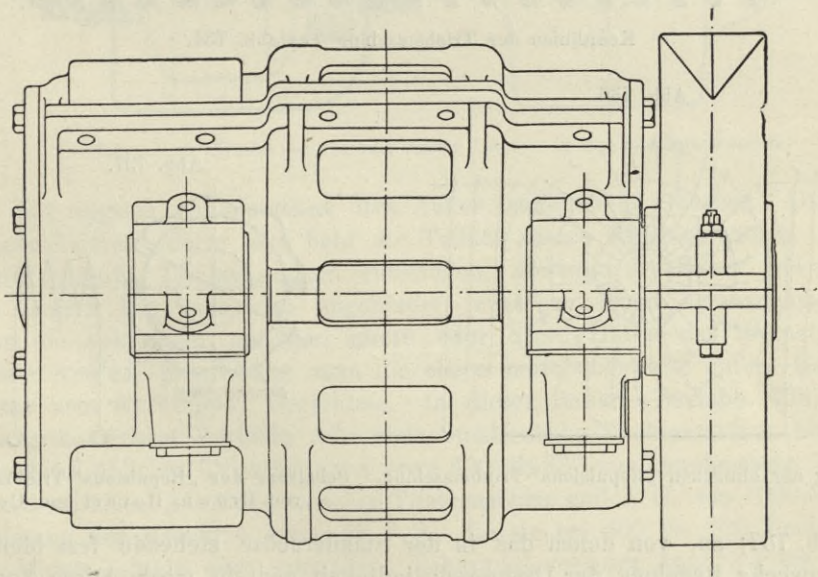
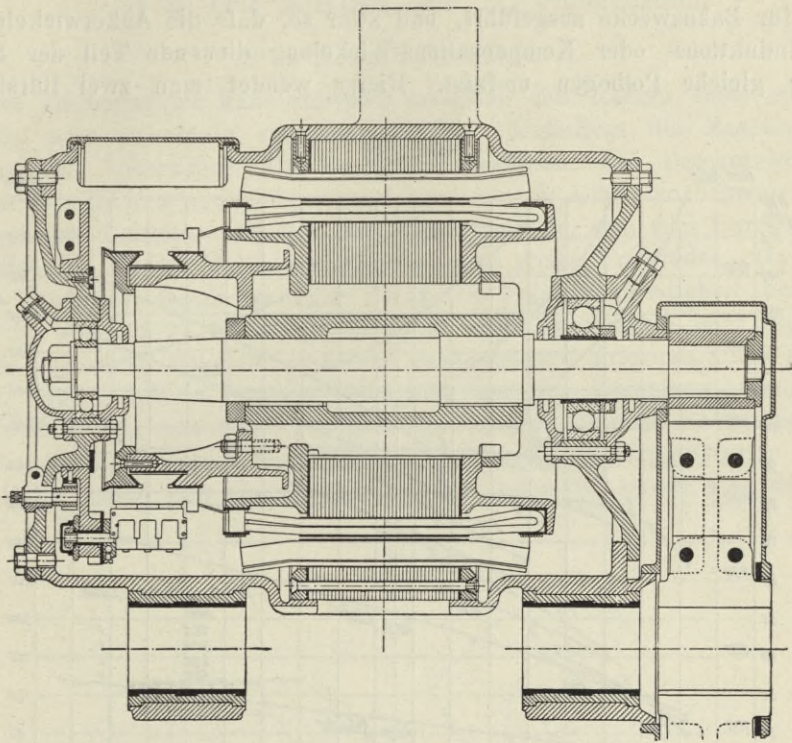
In Textabb. 734 ist eine Triebmaschine dieser Art von 140 P. S. Stundenleistung bei 580 Umläufen in der Minute dargestellt. Ihre Kennlinien zeigt Textabb. 735.



e) D. Die einfache „Repulsions“-Triebmaschine.

Bei der gewöhnlichen „Repulsions“-Triebmaschine, die schon 1870 von Elihu Thomson in Boston angegeben wurde, wird der Netzstrom nach Textabb. 736 nur dem Magnetgestelle zugeführt. Der Anker empfängt von diesem seinen Strom durch Induktion, die Maschine ist also eine Induktionsmaschine. Um ein Drehmoment zu ermöglichen, ist der Anker mit einem Stromwender ausgerüstet, dessen Bürstenpaar in sich kurz geschlossen und gegen die Magnetachse um einen gewissen Winkel verschoben ist. Die Wirkungsweise ist so aufzufassen, daß das Magnetfeld aus zwei geometrischen Teilwerten besteht, von denen der in die Bürstenachse fallende den Ankerstrom, und der rechtwinkelig dazu stehende das magnetische Nutzfild erzeugt. Feld- und Anker-Strom besitzen bei Stillstand fast 180° Wellenverschiebung, ergeben also ein starkes Anziehungsmoment. Mit zunehmender Drehgeschwindigkeit vermindern sich diese Wellenverschiebung und das Drehmoment durch den in dem rechtwinkelig zu der Bürstenachse stehenden Felde im Anker durch Drehung induzierten Strom. Die Wellenverschiebung zwischen Strom und Spannung an der Magnetwicklung kann nicht ausgeglichen werden. Die Geschwindigkeit dieser Triebmaschine wird durch Drehung der Bürsten geregelt.

Abb. 734.

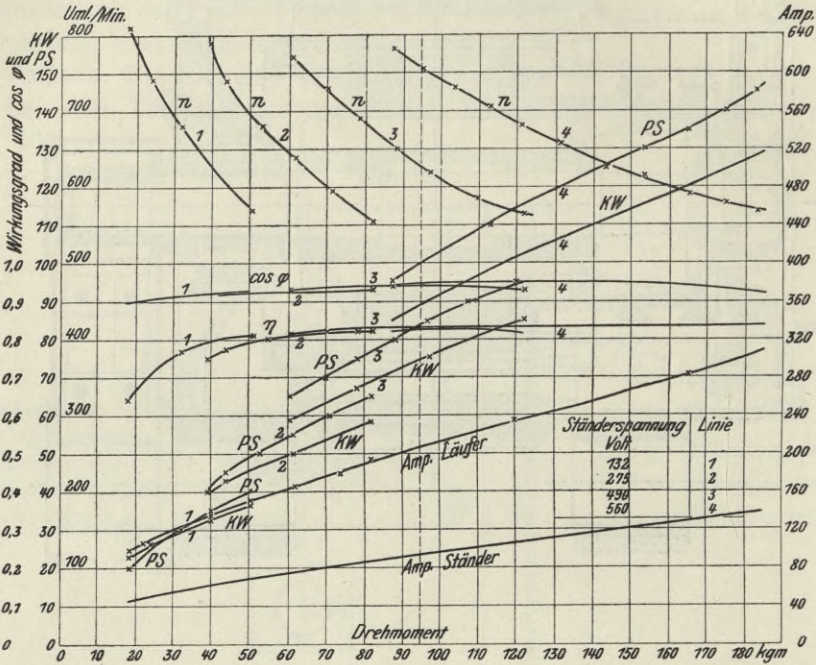


Mafsstab 1:13.

Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschine der Felten und Guilleaume-Lahmeyer-Werke.

Die „Repulsions“-Triebmaschine wird von Brown, Boveri und Co. in Baden, Schweiz, für Bahnzwecke ausgeführt, und zwar so, daß die Ankerwicklung und der als Induktions- oder Kompensations-Wicklung dienende Teil der Ständerwicklung gleiche Polbogen umfaßt. Hierzu wendet man zwei Bürstenpaare

Abb. 735.



Kennlinien der Triebmaschine Textabb. 734.

Abb. 736.

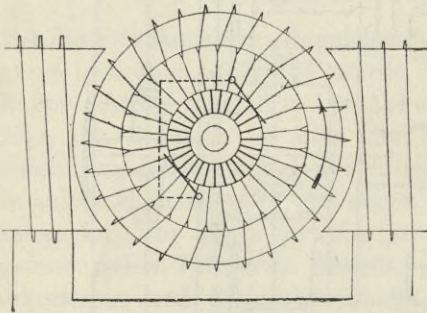
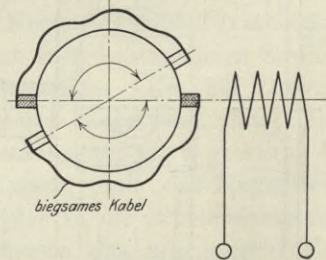


Abb. 737.



Schaltung der einfachen „Repulsions“-Triebmaschine. Schaltung der „Repulsions“-Triebmaschine von Brown, Boveri und Co.

(Textabb. 737) an, von denen das in der Ständerachse stehende fest bleibt, das andere zwecks Regelung der Drehgeschwindigkeit gedreht wird. Diese Anordnung gibt genauere Bürsteneinstellung, geringere Streuung und bessere Kompensation nebst Stromwendung, als die einfache „Repulsions“-Triebmaschine nach Textabb. 736.

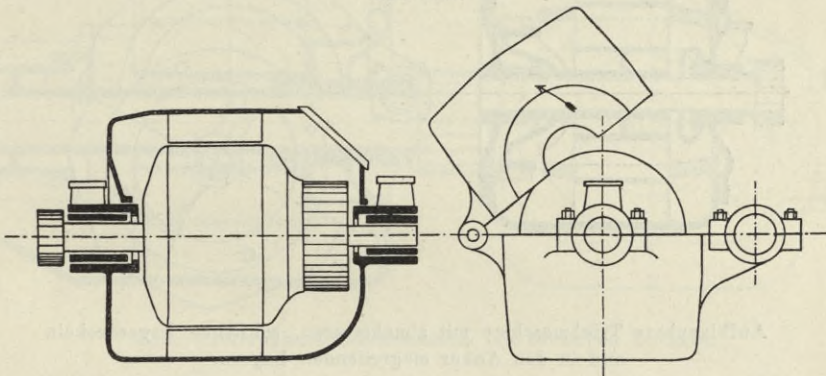
b) 2. Der Aufbau der Triebmaschinen.

2) a. Allgemeine Bauart.

Die Triebmaschine kann entweder zwischen den Rädern eines oder zweier Achssätze oder auferhalb eingebaut werden. Unterliegt die Maschine in der Richtung der Ankerachse, also in ihrer Längsachse, den Beschränkungen des zwischen den Rädern eines oder zweier benachbarter Achssätze liegenden Raumes, so hängt ihre Leistung lediglich von ihrer Bauhöhe, also vom Durchmesser des Triebrades ab. Starke Maschinen erfordern also große Triebräder. Da nun auch für die Triebräder Beschränkungen durch die Fahrgeschwindigkeit bestehen, so müssen für sehr starke Fahrzeuge entweder mehr Triebachsen oder ganz auferhalb der Triebräder liegende und hier unbeschränkte Triebmaschinen angeordnet werden. Aber auch in letzterem Falle wird man die Maschinen gedrängt bauen. Für alle Bahn-Triebmaschinen gilt gedrängte Bauart als erste Bedingung.

Die ersten Maschinen baute man in Anlehnung an die ortsfesten Maschinen offen. Dann umgab man sie mit Blechmänteln, und 1890 formte man das Magnet-

Abb. 738.



Aufklappbare Triebmaschine mit festen Lagern in den Gehäusewänden.

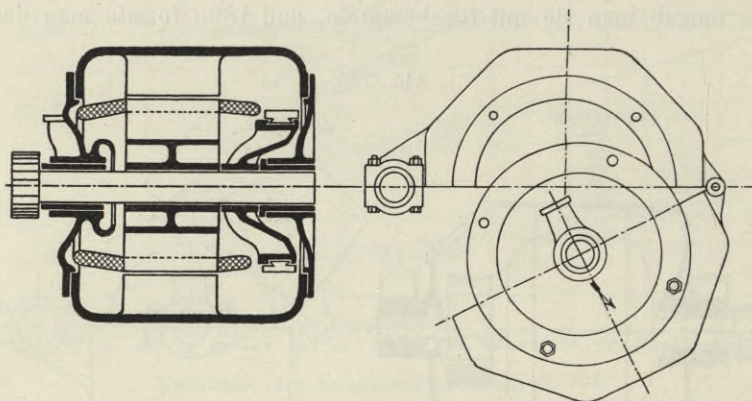
gestell als ringsum geschlossenes, den Anker einhüllendes Gehäuse. Die leichte Zugänglichkeit erforderte sehr bald die Teilung dieses Magnetgehäuses, wodurch die aufklappbaren Triebmaschinen entstanden. Solange der Anker frei zwischen seinen Lagern lag, sich also ungehindert zwischen ihnen herausnehmen liefs, konnten die Ankerlager mit der untern oder obern Hälfte des Magnetgehäuses vergossen werden, je nachdem man die obere beziehungsweise untere Hälfte des Gehäuses zum Aufklappen einrichtete. In dieser Bauart (Textabb. 738) wurden nach amerikanischem Vorbilde sehr viele Strafsenbahn-Triebmaschinen hergestellt. Für die dabei üblichen Triebräder von etwa 800 bis 830 mm Durchmesser, 1000 mm Spur und bei einem Abstände zwischen Triebmaschine und S. O. von 100 mm betrug die Leistung der Maschine etwa 25 P. S., die sie bei 600 bis 700 Umdrehungen in der Minute mittels einer einmaligen Zahnradübersetzung von 1 : 4 bis 1 : 5 auf die Wagenachse übertrug.

Die beiden auf der Triebachse liegenden Traglager der Maschine sind stets mit dem nicht aufklappbaren Maschinenteile verbunden.

Liegt der Drehpunkt der Gehäusenhälften auf der Seite der Traglager, so werden die beiden Traglagerhälften fest mit dem zugehörigen Gehäuseteile vergossen (Textabb. 701).

Als aber die Ansprüche an die Triebmaschinen bei Vergrößerung der Zuglasten wuchsen, wurde man gezwungen, die Ankerlager in den Anker einzubauen, um dadurch sowohl breitere Anker, als auch breitere Lager zu erhalten. Das Herausnehmen der Anker zwischen den mit dem Gehäuse vergossenen Lagern war also nicht mehr möglich. Die Lager mußten abnehmbar mit dem Gehäuse der Maschine verbunden werden, und zwar entweder nur als Lager selbst mit zylindrischen, in entsprechende Öffnungen des Magnetgehäuses eingreifenden Aufsensformen, oder als Deckellager. Textabb. 739 stellt eine aufklappbare Triebmaschine mit abnehmbaren Ankerlagern dar; die letzteren greifen zu beiden Seiten in den Anker, beziehungsweise Stromwender hinein, und sind je mit den beiden abnehmbaren Seitendeckeln der Maschine aus einem Stücke hergestellt. Je nachdem

Abb. 739.



Aufklappbare Triebmaschine mit abnehmbaren, seitlichen Lagerdeckeln und in den Anker eingreifenden Lagern.

die Triebmaschine nach oben oder unten aufklappbar ist, werden die beiden Lagerdeckel von der obern oder untern Gehäusenhälfte gelöst.

Der Anker muß nach Aufklappung der Maschine gleichzeitig mit seinen beiden Deckellagern herausgenommen werden, wenn die letzteren wegen der Triebäder seitlich nicht abgezogen werden können.

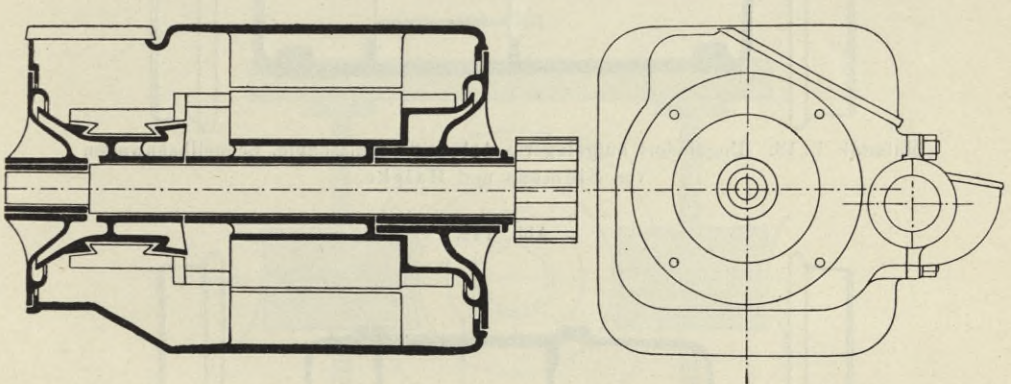
Die Aufklappbarkeit der Triebmaschine ist für kleine Verhältnisse recht bequem. Aus- und Einbau des Ankers erfordern etwa eine halbe Stunde, auch Reinigung und Untersuchung vollziehen sich rasch. Man kann entweder die obere Gehäusenhälfte in das Wageninnere, oder besser die untere in eine zwischen den Schienen eines Gleises angeordnete Grube aufklappen. Die letztere Anordnung ist besonders bei Vollspur- und schwereren Maschinen vorzuziehen, wobei dann in der Grube ein kleiner Wagen mit Hebetisch zum Ausbauen des Ankers benutzt wird. Je größer indes die Triebmaschine ist, um so schwerfälliger und zeitraubender geht ihre Öffnung durch Aufklappen von statten. Bei den vom Verfasser 1896 für die vierachsigen Speicherwagen der pfälzischen Eisenbahnen gebauten Triebmaschinen kam zur Drehung des Unterteiles der Maschine in die Arbeitsgrube eine kleine

mit der Maschine verbundene Winde zur Anwendung. Bei so großen Triebmaschinen, besonders bei den schweren Antrieben der Stadtbahnen, verzichtet man besser auf die Aufklappbarkeit, da sich die Auswechslung einer Triebachse oder eines Drehgestelles mit den beschädigten oder zu untersuchenden Triebmaschinen schneller vollzieht, als die Öffnung und Ausbesserung der Maschine am Fahrzeuge.

Große Triebmaschinen werden aus diesem Grunde ungeteilt ausgeführt, und erhalten an den Stirnseiten je einen abnehmbaren Lagerdeckel, der die für den Ausbau der Innenteile genügend großen, seitlichen, kreisrunden Öffnungen abschließt. Textabb. 740 stellt diese weit verbreitete Bauart dar. Ihre Einfachheit und billige Herstellung haben ihr selbst bei kleineren Triebmaschinen Eingang verschafft.

Die Abneigung mancher Bahnverwaltungen und Bauanstalten gegen Zahnradgetriebe, insbesondere bei schweren und schnelllaufenden Triebmaschinen, liefs die sog. Achsen-Triebmaschinen entstehen. Die Grenze, von der an Zahn-

Abb. 740.



Nicht aufklappbare Triebmaschine mit seitlichen Deckeln.

radgetriebe den Bau der in die Achssätze eingebauten Triebmaschinen und der Lokomotive ungünstig beeinflussen, liegt höher, als allgemein angenommen wird. Hierüber wird später unter „Lokomotiven“ noch gesprochen werden.

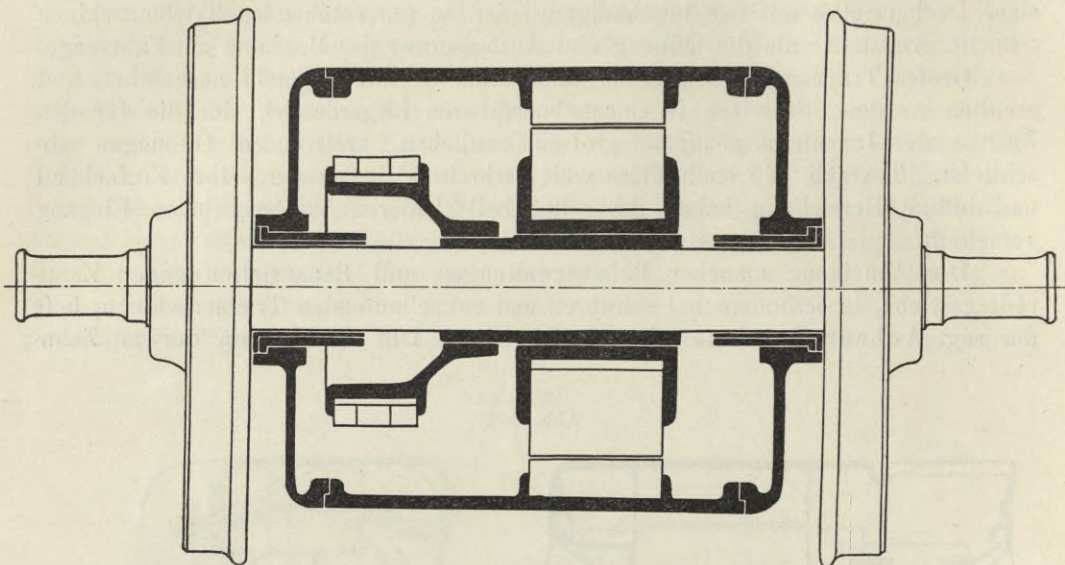
Diese Achsen-Triebmaschinen sitzen mittig mit den Triebrädern im Achssatz, und zwar entweder auf der Triebachse voll aufliegend, oder derart, daß sie mit ihrer hohlen Achse die Triebachse mit einem der Wagenfederung entsprechenden Spiele umfassen. Diese letztere Ausführung wurde schon 1890 von Short angegeben.

Die unmittelbare Lagerung der Triebmaschine auf der Triebachse (Textabb. 741) erhöht das ungefederte Gewicht der Triebachse und damit die Gleisstöße, sowie die Entgleisungsgefahr beträchtlich, so daß sie trotz ihrer Einfachheit heute nicht mehr empfohlen werden kann.

Bei der zweiten der hier genannten Ausführungen erhält die Triebmaschine eine hohle Achse (Textabb. 742), durch die die Triebachse hindurchgreift. Der Antrieb der letztern erfolgt mittels einer nachgiebigen Kuppelung, die das Spiel der Triebachse in der Hohlachse der Maschine nicht hindert. In diesem Falle ist die

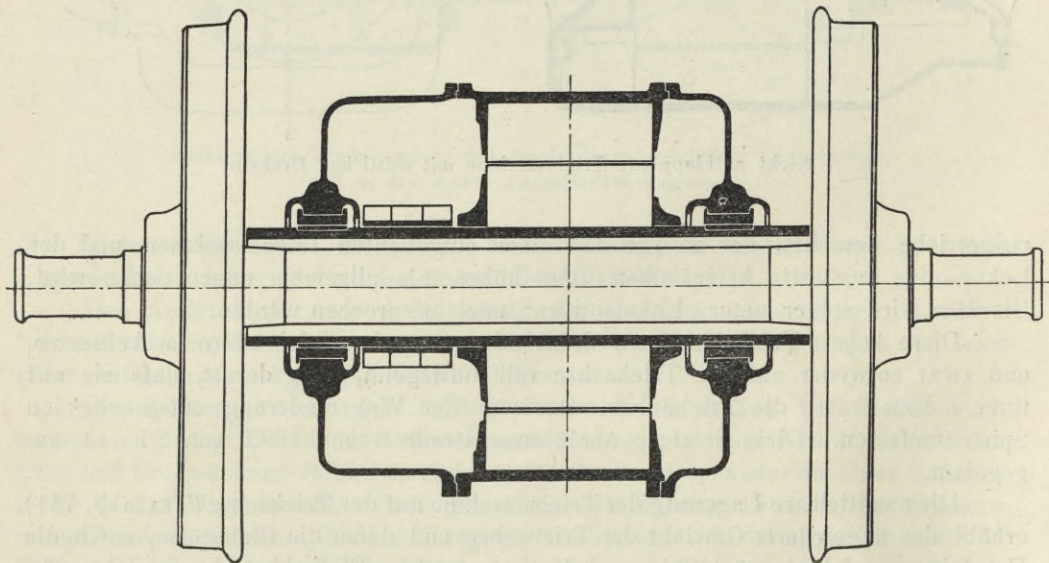
Massenbelastung der Triebachse ungefähr derjenigen bei einer Zahnrad-Triebmaschine gleicher Leistung gleich.

Abb. 741.



Mafsstab 1:18. Ungefedert aufgelagerte Achsen-Triebmaschine, Schnellbahnwagen von Siemens und Halske.

Abb. 742.



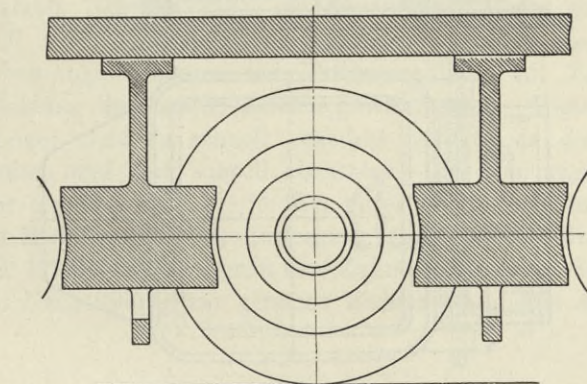
Mafsstab 1:18. Federnd aufgelagerte Achsen-Triebmaschine, Schnellbahnwagen der Allgemeinen Electricitäts-Gesellschaft.

Wichtig ist auch die Nachgiebigkeit der Triebmaschine in der Richtung ihrer Achse, da durch sie die Querstöße gegen das Gleis gemildert werden. Diese sind bei hohen Fahrgeschwindigkeiten und tiefer Lage des Schwerpunktes der in der

Richtung der Achse ungefederten Massen sehr erheblich, und führen sowohl zu Entgleisungen, als auch zu vorzeitiger Zerstörung der Gleise. Diese Nachgiebigkeit muß indes zur Verhütung von Schwingungshäufungen stark gedämpft werden.

Da die Untersuchung und Wiederherstellungsarbeiten an derartigen Triebmaschinen sehr schwierig sind, hat man wenigstens das Magnetgestell zweiteilig auszuführen, was sich sowohl bei Gleichstrom-, als auch Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschinen ausführen läßt. Eine besondere Ausführung gab A. F. Batchelder, Ingenieur der General-Electric-Co. zu Schenectady, Nordamerika, für Achsen-Triebmaschinen an. Sie fand bei den Lokomotiven der Neuyork-Zentral- und Hudson-Fluss-Bahn Anwendung und besteht darin, daß zwar der Anker fest auf der Triebachse sitzt, das Magnetgestell aber mit dem Lokomotivrahmen verquickt ist und sich mit je zwei Polen gleichsam über die Anker stülpt (Textabb. 743). Diese Ausführung setzt steife Triebachsen und der Bewegung folgende flache Polschuhe voraus; sie hat gegenüber den üblichen Bauarten der Achsen-Triebmaschinen zweifellos den Vorteil großer Einfachheit und Dauerhaftigkeit sowie geringerer

Abb. 743.



Achsens-Triebmaschine von Batchelder, Neuyork-Zentral-Bahn.

magnetischer Streuung, dagegen den Nachteil beschränkter Polzahl und größerer Empfindlichkeit gegen Einwirkung von Feuchtigkeit und Staub.

Ganz außerhalb dieser in den Achssätzen des Fahrzeuges einzubauenden Triebmaschinen stehen diejenigen, die von den Achssätzen völlig unabhängig im Fahrzeuggestelle angeordnet werden, und die Triebachsen mit Trieb- und Kuppelstangen antreiben. Diese vom Verfasser „Gestell-Triebmaschinen“ genannten Maschinen wurden zuerst 1889 von Eickemeyer ausgeführt und unterscheiden sich nur durch ihre Aufhängevorrichtungen und offene Bauart von den großen einteiligen Bahn-Triebmaschinen. In elektrischer Beziehung finden alle bei diesen Maschinen üblichen Berechnungsweisen Anwendung. Weiteres wird hierüber bei der Anordnung der Triebmaschinen für Lokomotiven angegeben werden.

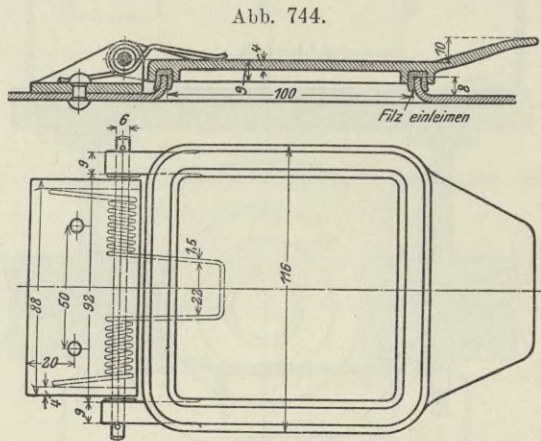
2) β. Achsen, Lager und Schmierung.

Die Ankerachse soll den massigen Anker starr zwischen den Magnetpolen halten, in den Lagern mit nicht zu hohen Einheitsdrücken ruhen und auf der Abtriebsseite das Drehmoment abgeben. Diese Beanspruchungen sind wegen der

starken Erschütterungen der Triebmaschine nicht statische, sondern dynamische und lassen sich rechnerisch allein nicht bestimmen. Letzteres ist einigermassen nur für die Abtriebseite möglich, wo der Lagerhals der Achse auf Drehung und Biegung derart zu berechnen ist, daß für das Drehmoment der dreifache Regelwert, für die Biegung als Kraft die dreifache Umfangskraft am kleinen Zahnrad und als Hebelarm die Entfernung von Zahnradaußenfläche bis Innenseite des Ankerlagers einzusetzen sind.

Die Lagerpressung darf bei Einführung des einfachen Gewichtes des vollständigen Ankers, beziehungsweise des einfachen Biegemomentes auf der Zahnradseite, 8 kg/qcm nicht überschreiten, ist der Luftspalt zwischen Anker und Magnetpol jedoch sehr klein, wie bei Drehstrom-Triebmaschinen, so sind 4 kg/qcm einzuhalten. Diese Werte sind Durchschnitte einiger bewährter Bahn-Triebmaschinen.

Die Traglager sind nicht mit erhöhtem Einheitsdrucke zu berechnen, da der geringern Umfangsgeschwindigkeit der Triebachse die höheren dynamischen Drucke



Mafsstab 1 : 3. Schmierdeckel zur Zahnräderverkleidung.

und die leichtere Verstaubung der Laufflächen gegenüber stehen. Das zwischen den beiden Lagern liegende Achsstück sollte, wenn nicht durch eine schon im Gusse vorgesehene Verbindung der Lager (Textabb. 701), so doch mindestens durch eine zwischenliegende Schutzkappe gegen Eindringen von Staub in die Lagerfugen geschützt werden.

Alle Lager bedürfen eines Ausgusses mit Lagermetall, für das sich die Mischung von 78 Teilen Zinn, 9 Kupfer und 13 Antimon bewährt hat. Die Schale selbst kann aus Bronze oder auch Gufseisen hergestellt werden. Für hohe Inanspruchnahme ist Stahlgufs zu nehmen.

Einige Bauanstalten verwenden statt der Gleitlager Kugellager (Textabb. 734), durch die zwar die Reibungswiderstände in der Triebmaschine vermindert, die Erhaltungs- und Erneuerungs-Kosten aber wesentlich erhöht werden.

Die Schmierung der Lager erfolgte lange Zeit mit Schmierfett, das in nach unten erweiterte Gefäße gefüllt, allmähig nach unten sackte und von den Achsen aufgenommen wurde (Textabb. 700). Zugleich brachte man für etwaiges Versagen dieser Schmierung noch eine untere Oel-Kissenschmierung an (Textabb. 700).

Die Schwierigkeit, das Fett von Unreinigkeiten frei zu halten, die eine Verstopfung des Durchganges zur Folge hatten, haben nach und nach der frühern Ölschmierung wieder Aufnahme verschafft. Sie wird als Ring- (Textabb. 719) oder Docht-Schmierung ausgeführt, wobei das Auslaufen des Öles beim Stillstehen des Wagens durch eine kleine Kugel verhindert wird (Textabb. 722), die im Betriebe durch die Wagenschütterungen zeitweise gelüftet wird. Die Staub- oder Metall-Teile sinken im Ölbehälter nieder und gelangen so nicht an die Laufflächen, die immer mit klarem Öle versorgt werden. Darin und in der bessern Flüssigkeit des Schmierstoffes liegt der höhere Wert der Öl- gegenüber der Fett-Schmierung. Bei den Traglagern und, soweit der erforderliche Raum vorhanden, auch bei den Ankerlagern, wendet man mit großem Erfolge auch die von Westinghouse angegebene Öl-Seitenkissen-Schmierung (Textabb. 721) an, die sich durch gleichmäßige, störungsfreie Wirkung auszeichnet.

Für guten Abschluß der Schmiergefäße ist Sorge zu tragen, damit der bei der Fahrt aufgewirbelte Staub nicht zum Schmierstoffe gelangt. In Textabb. 744 ist eine brauchbare Anordnung eines solchen Abschlusses angegeben.

Zur Verhinderung des Überganges des Schmierstoffes auf den Stromwender und die Ankerwickelungen, sind auf beiden Seiten der Triebmaschine Spritzringe anzubringen (Textabb. 701 und 728), die einzeln oder hinter einander zu zweien das ablaufende Öl oder flüssige Fett in gleichviel Kammern abschleudern.

Die Lagerbohrungen müssen bei Triebmaschinen mit Zahnradübertragung genau gleiche Richtung der beiden Achsen gewährleisten. Diese darf auch durch Abnutzung der Lager nicht zu schnell geändert werden, da die Zahnräder sonst geräuschvoll arbeiten und sich schnell abnutzen. Die oben angegebenen Einheitsdrucke der Lager ergeben auch hierfür bei guter Schmierung und Abdichtung der Laufflächen gute Mittelwerte. Die Entfernung von Mitte zu Mitte der Zahnräder soll schon an der Triebmaschine genau dem Zahnschnitte entsprechen. Zweimittige Lagerschalen mit Nachstellung zur genauen Einstellung dieses Achsabstandes sind zu verwerfen.

b) 3. Triebwerke.

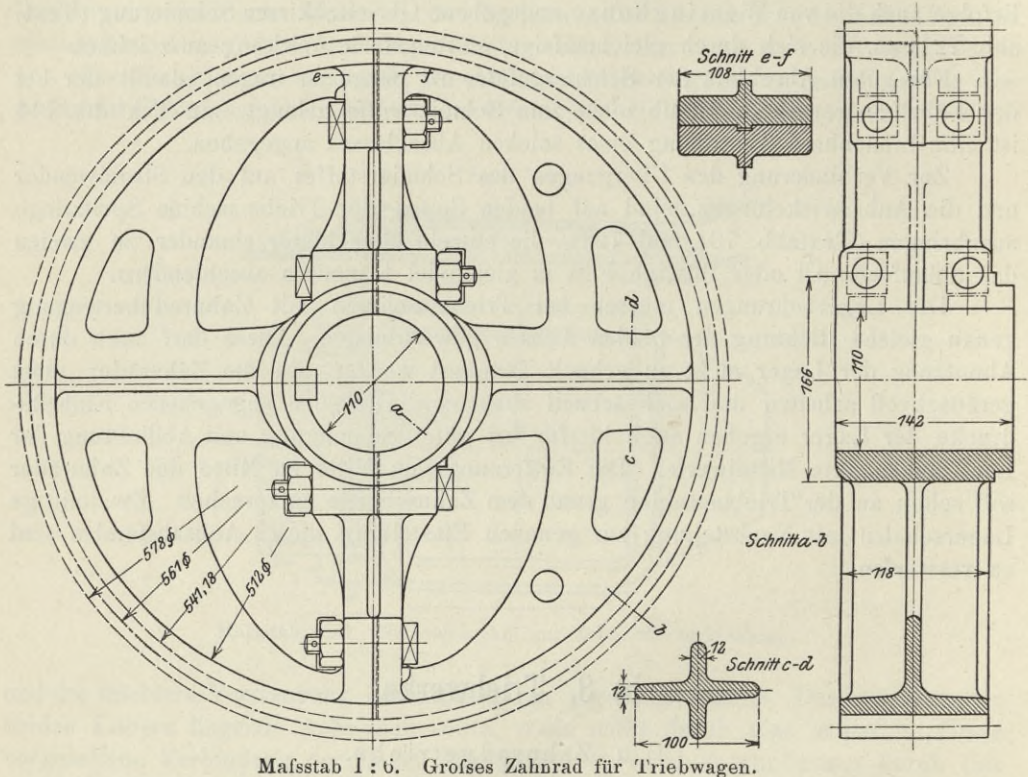
3) a. Zahnradgetriebe.

Nachdem durch die ersten Ausführungen die Untauglichkeit der Übertragung der Triebkraft von der Achse der Triebmaschine auf die Triebachsen durch Riemen oder Seile aus Hanf oder Stahldraht bewiesen war, hat erst die Verwendung einfacher gezahnter Stirnräder einen vollen Erfolg gebracht. Auch Winkelräder sind zwar einer vermeintlich zweckmäßigeren Bauart der Triebmaschine wegen benutzt worden, doch sind sie teurer und schwieriger für ruhigen Gang herzustellen. Von dem anfänglichen Einbaue zweier Stirnradübersetzungen, die bei den für erforderlich gehaltenen schnell laufenden Triebmaschinen nötig waren, ging man bald zu langsam laufenden Maschinen und einfachen Übersetzungen über. Die Größe der Übersetzung ergibt sich aus der vorgeschriebenen Lage der Maschinen über S. O., also aus dem größten Durchmesser des großen Zahnrades einerseits und der für den ruhigen Lauf erforderlichen Mindestzahl der Zähne des kleinen Rades. Bei großen Triebmaschinen kann die Triebachse indes oft nicht so nahe an die Anker-

achse herangebracht werden, wie dieses Übertragungsverhältnis erfordert. In diesen Fällen ist das kleine Zahnrad entsprechend dem kleinsten Abstände der beiden Achsen zu vergrößern, wodurch das Verhältnis sich verringert. Es beträgt bei Strafsenbahnwagen in der Regel 5 : 1 und bei schweren Maschinen, beispielsweise bei den Triebwagen der Stadt- und Vorort-Bahnen, 3,5 : 1 bis 4 : 1.

Die großen Zahnräder werden aus Gußstahl zweiteilig hergestellt, und mit 0,25 mm zu enger Bohrung und Federeinsatz auf die Triebachse gesetzt. Textabb. 745 stellt die übliche Bauart dar, wobei der völlige Fortfall der Längs-

Abb. 745.

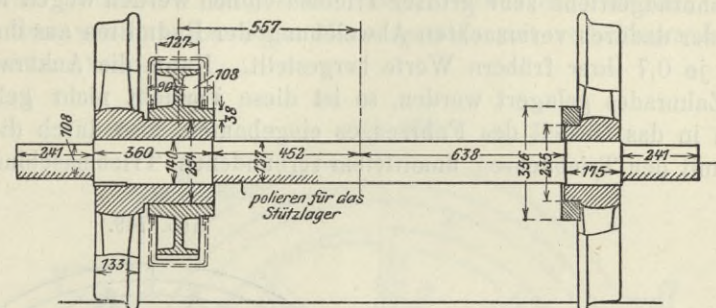


rippen an den Flanschenarmen wichtig ist, da man so von der Maschinenseite aus zu beiden Schrauben gelangen kann. In Textabb. 746 ist die Befestigung der Zahnräder auf der verlängerten Nabe des Triebrades dargestellt, womit man auf den Stadtbahnen in Neuyork gute Erfolge erzielt hat. Insbesondere sind hierbei Brüche der Triebachse auf der Zahnradseite nicht mehr vorgekommen.

Um die Wiederherstellungskosten für das große Zahnrad zu verringern und das wiederholte Aufkeilen der Räder auf die Triebachse zu umgehen, hat man den Zahnkranz getrennt vom Radkörper hergestellt und mit diesem flanschenartig verschraubt. Der Radstern selbst kann in diesem Falle gleichzeitig mit dem Triebrade als ein Stück auf die Achse geprefst werden. Den Zahnkranz stellt man aus gebogenem Siemens-Martin-Formstahl her. Eine Verbesserung konnte in dieser Ausführung gegenüber der üblichen bis jetzt nicht festgestellt werden.

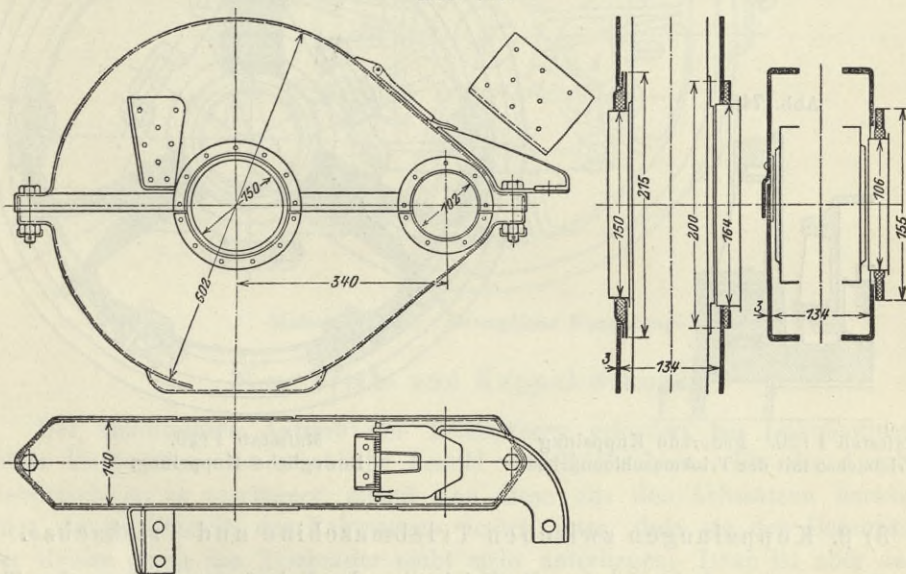
Die großen Zahnräder werden aus Gufsstahl von 50 kg/qmm Festigkeit und 13 % Dehnung, die kleinen aus Siemens-Martin-Stahl von 65 kg/qmm Festigkeit und 16 % Dehnung hergestellt. Die früher übliche Härtung der kleinen Zahnräder hat man heute verlassen, da sie zu leicht ungleichmäfsig ausfällt, und weil die großen Zahnräder, deren Ersatz kostspielig ist, durch die gehärteten kleinen Räder stärker abgenutzt werden.

Abb. 746.



Mafsstab 2 : 45. Nabenzahnrad bei Stadtbahnwagen.

Abb. 747.



Mafsstab 1 : 12. Geprefster Zahnrad-Schutzkasten.

Von den Evolventen- und Zykloiden-Verzahnungen ist die erstere zwar unabhängig von der genauen Einhaltung des Abstandes der beiden Achsen, doch ergibt die letztere wegen der geringern Einheitsdrucke eine längere Lebensdauer und ruhigern Gang der Räder.

Die Schmierung der Zahnräder erfolgt unter völligem Abschlusse der Räder durch einen Schutzkasten mit Öl oder Fett. Wegen Erzielung gröfserer Reinheit durch Ablagerung aller beigemischten Stoffe verdient Öl den Vorzug. Die Lebensdauer der Räder ist hierbei gröfser, als bei Fettschmierung. Die Schutz-

kästen werden aus Blech zusammengenietet oder, nach Angabe des Verfassers, aus einem Stücke geprefst (Textabb. 747). Besonderes Augenmerk ist auf gute Abdichtung und sehr dauerhafte Befestigung der Kästen an der Triebmaschine zu richten.

Die Lebensdauer der Zahnräder beträgt auf Strafsenbahnen unter mittleren Steigungsverhältnissen 180 000 Wagenkilometer beim großen, 70 000 beim kleinen Zahnrade.

Die Zahnradgetriebe sehr großer Triebmaschinen werden wegen ihrer großen Breite und der dadurch verursachten Abweichung der Radmitten aus ihrer Richtung doppelt mit je 0,7 ihrer früheren Werte hergestellt. Kann die Ankerachse außerhalb ihres Zahnrades gelagert werden, so ist diese Vorsicht nicht geboten. Dies ist bei allen in das Gestell des Fahrzeuges eingebauten, also durch die Zahnräder nicht mehr mit den Triebachsen unmittelbar verbundenen Triebmaschinen der Fall.

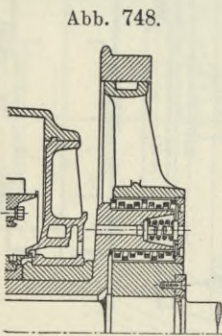


Abb. 748.

Mafsstab 1:20. Federnde Kuppelung der Triebachse mit der Triebmaschinenachse.

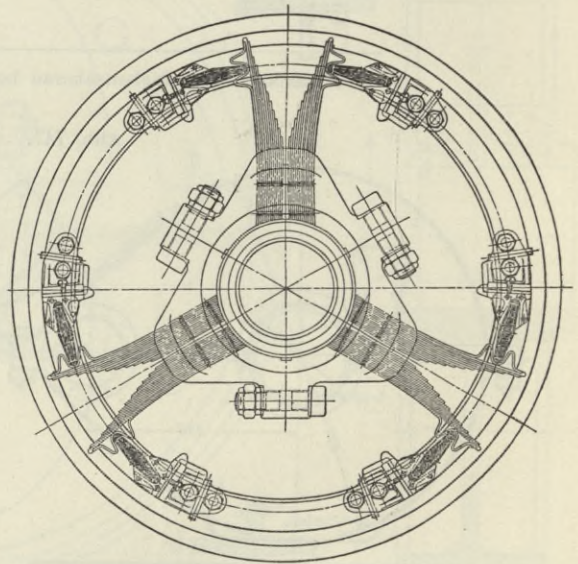


Abb. 749.

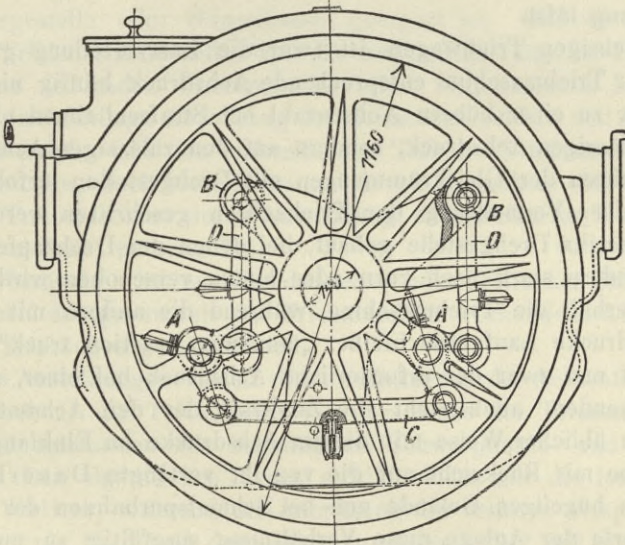
Mafsstab 1:20. Bewegliche Kuppelung.

3) β . Kuppelungen zwischen Triebmaschine und Triebachse.

Die mit ihrer hohlen Achse die Triebachse des Fahrzeuges umfassenden Triebmaschinen können entsprechend dem Zwecke der ganzen Anordnung mit den Achsen nicht starr, sondern nur mittels nachgiebiger Kuppelungen verbunden werden. Obgleich es sich hier um eine einfache Aufgabe handelt, ist sie bei den heute bestehenden Bahnen doch in ganz verschiedenen Weisen gelöst worden. Textabb. 748 bis 750 stellen einige dieser Ausführungen dar. Recht einfach gestaltet sich die Ausführung der Neuyork-Neuhafen-Bahn (Textabb. 748), bei der die allseitige Beweglichkeit zwischen der Triebmaschinenachse und Triebachse durch eine in verschiedenen Achsen gewickelte Schraubenfeder aus Vierkantstahl erreicht wird. Die Ausführung der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (Textabb. 749) war bei

dem Schnellbahnwagen für die Versuchsfahrten Berlin-Zossen mit gutem Erfolge im Betriebe. In Textabb. 750 ist die nachgiebige Kuppelung dargestellt, die Ganz und Co. an den Triebmaschinen der Fahrzeuge der Veltlin-Bahn angewandt haben. Hier wird die Übertragung durch die mit den Radarmen verbundenen Winkelhebel *A* bewirkt, die mittels der Verbindungstangen *D* in die auf die feste Welle der Triebmaschine aufgesetzte Scheibe in den Punkten *B* eingreifen. Die Anordnung der Übertragungsteile gewährleistet unabhängige und richtige Bewegung der Triebachse und Triebmaschine. Jedenfalls lassen diese Beispiele erkennen, daß man die Entlastung der Triebachsen von dem massigen Magnetgestelle mit verhältnismäßig einfachen Mitteln erreichen kann.

Abb. 750.



Mafsstab 1:20. Bewegliche Kuppelung.

3) γ. Trieb- und Kuppel-Stangen.

Der unmittelbare Antrieb der Triebachsen erfordert bei Lokomotiven mit großen Zugkräften eine erhebliche Anzahl von Triebachsen. Um die Anzahl der Triebmaschinen zu verringern, nimmt man diese aus den Achssätzen heraus und bringt sie im Gestelle des Fahrzeuges derart unter, daß sie der Beschränkung ihrer Größe durch die Triebräder nicht mehr unterliegen. Dann ist aber der Antrieb der Triebachsen nur mit Trieb- und Kuppel-Stangen möglich, unter Umständen unter Verwendung eines Zahnradvorgeleges. Derartige Anordnungen werden später bei Behandlung der Lokomotiven angegeben werden. Die Ausführung der Trieb- und Kuppel-Stangen erfolgt nach den bei den Dampflokomotiven²¹⁵⁾ angeführten Angaben.

²¹⁵⁾ Band I, 2. Auflage. S. 305.

b) 4. Anordnung und Lagerung der Triebmaschinen im Fahrzeuge.

4) a. Anordnung der Triebmaschinen.

Über die Anzahl der Triebmaschinen eines Triebwagens entscheiden die Zugkraft und das Reibungsgewicht. Bei Strafsenbahnen würde man vielfach mit nur einer Triebmaschine im Wagen auskommen, doch erfordert die mangelhafte Reibung der Triebräder auf den mit Schmutz oder Laub bedeckten Schienen in der Regel eine gröfsere Zahl. Hierzu kommt noch die Eigentümlichkeit der Verteilung der Wagenbelastung bei stark besetzten Endbühnen, die zuweilen auf der Vorderachse eines eine Rampe hinauffahrenden Wagens nur einen kleinen Bruchteil ihrer regelgemäfsen Belastung läfst.

Beim vierachsigen Triebwagen ist zwar die Lastverteilung günstiger, doch ist hier der einer Triebmaschine entsprechende Achsdruck häufig nicht vorhanden, da der Übergang zu einer höhern Achsenzahl bei Strafsenbahnen nicht mit Rücksicht auf den zulässigen Achsdruck, sondern auf den zulässigen Achsstand und das leichtere Durchfahren der Gleiskrümmungen mit Drehgestellen erfolgt; auch hier mufs dann zu einer Vermehrung der Triebachsen geschritten werden. Man hat daher in Nordamerika Drehgestelle gebaut, bei denen der Drehzapfen nicht in die Mitte gelegt, sondern stark nach vorn oder hinten verschoben wird. Die nächstliegende Achse erhält die Triebmaschine, während die andere mit erheblich vermindertem Achsdrucke Laufachse bleibt: „maximum traction truck“.

Vielfach ist nun zwar der erforderliche Achsdruck bei einer, zwei oder mehr Triebachsen vorhanden, auch steht die Zugkraft der den Achssatz ausfüllenden Triebmaschine in üblicher Weise mit diesem Achsdrucke im Einklange, doch reicht die Triebmaschine mit Rücksicht auf die von ihr verlangte Dauerleistung nicht aus. Dies ist im hügeligen Gelände und bei Schmalspurbahnen der Fall. Man tut gut, beim Entwurfe der Anlage diese Verhältnisse sorgfältig zu untersuchen und in Fällen der bezeichneten Art an Stelle der Schmalspur die Regelspur anzuwenden, die erheblich stärkere Triebmaschinen ermöglicht.

Während man bei Strafsenbahnen die zu einem aus zwei oder mehreren Wagen bestehenden Zuge gehörigen Triebmaschinen stets in einem Wagen, dem Triebwagen, vereinigt und dessen Bauart und Achsanordnung dem anpaft, verteilt man sie bei Haupt-, Neben- und nebenbahnähnlichen Klein-Bahnen mehr oder weniger auf den ganzen Zug, auch dann noch, wenn es möglich wäre, den ganzen Maschinenantrieb für gröfsere Zuglängen in einem einzigen vierachsigen Triebwagen von genügendem Reibungsgewichte unterzubringen. Man erreicht damit den Vorteil der bessern Anpassung der Triebkraft an die mit dem Verkehre veränderlichen Zuglängen, damit eine günstigere Belastung der Triebmaschinen und geringere Unterhaltungskosten. Für kleinere Zuglängen ist es indes auch hier vorteilhafter, die Triebmaschinen in einen Wagen zu vereinigen.

Entfallen auf einen vierachsigen Triebwagen zwei Triebmaschinen, so legt man diese bei gleicher Ausbildung aller Achsen in ein Drehgestell, da das einen gröfsern Reibungsdruck und einfachere Unterhaltungsarbeiten ermöglicht. Man hat dann bei Beschädigungen einer Triebmaschine lediglich das treibende Drehgestell gegen ein anderes auszuwechseln.

Bei Lokomotiven erfolgt die Anordnung der Triebmaschinen nach den unter „Lokomotiven“ anzugebenden Gesichtspunkten.

4) β . Lagerung der Triebmaschinen.

β) A. Lagerungen auf der Triebachse.

Unter den bei Verwendung der heute als allein vorteilhaft erkannten Stirnradübersetzungen im Laufe der Entwicklung der elektrischen Bahnen zur Anwendung gebrachten Aufhängungsarten hat sich nur die schwingende Aufhängung an der Triebachse behauptet. Sie wurde im Jahre 1885 von F. J. Sprague angegeben. Die Triebmaschine ruht, wie beispielsweise Textabb. 736 angibt, an einer Seite mittels zweier Traglager auf der Triebachse, während ihre andere Seite federnd im Wagenuntergestelle oder Wagenkasten gelagert ist. Obwohl hier alle aus der Federung der Triebmaschine selbst und der zur Auflagerung der Federn dienenden Teile, also des federnden Untergestelles oder Wagenkastens herrührenden Bewegungen die gleichmäßige Abwälzung der Zahnräder hindern und dadurch störende Kräfte in das Getriebe und den umkreisenden Teil der Triebmaschine bringen, hat man diese Aufhängung doch beibehalten und davon abgesehen, eine an sich richtigere Lagerung der Triebmaschine durch Anwendung unvorteilhafter Übertragungsmittel, wie Ketten oder Seile, zu erkaufen.

Diese Aufhängung wird auch bei doppelter oder dreifacher Stirnradübersetzung angewandt, wobei der ganze mit der Triebmaschine verbundene Lagerbock schwingend auf der Triebachse gelagert wird.

Besondere Ausbildungen erhielt diese Aufhängung der Achssatz-Triebmaschinen durch das Bestreben, die Triebachsen von der Masse der Triebmaschinen zu entlasten. Hieraus entstanden die sogenannten Schwerpunkts- und die Schwingen-Aufhängungen. Den eigentlichen Zweck erfüllen indes nur die letzteren, beispielsweise die von Walker, während die Anordnung der ersteren beispielsweise die der „General Electric Co.“ und der „Westinghouse Co.“ auf einem Trugschlusse beruhen. Doch die Schwingen-Aufhängungen erwiesen sich wegen ihres großen Raumbedarfes und Gewichtes als unvorteilhaft, so dass alle diese besonderen Aufhängungen bald, etwa um 1898, aufgegeben wurden.

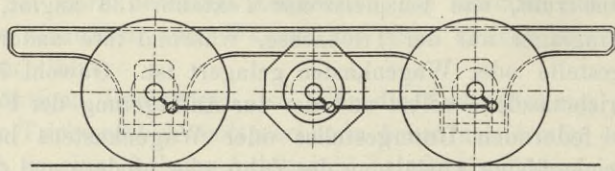
Den bezeichneten Zweck sucht nun neuerdings eine von der Westinghouse-Gesellschaft geschaffene Bauart dadurch zu erreichen, dass die Triebmaschine nicht unmittelbar auf der Triebachse des Fahrzeuges, sondern wie bei den Achsen-Triebmaschinen, auf einer besondern hohlen Welle gelagert wird, durch die die Triebachse mit einem ihrer Federung angemessenen Spiele hindurchgreift. Da hiermit die Mitten der Triebachse und Triebmaschinenachse weiter auseinander rücken und die Zahnräder geringere Übersetzung erhalten, die Kuppelung überdies nachgiebig sein muss, wird sich auch diese Aufhängung nicht behaupten können.

β) B. Aufhängungen im Wagenrahmen.

Schon früh erkannte man das durch schlüpferige Schienen, besonders an Strafsenbahnwagen, hervorgerufene Mifsverhältnis zwischen Radreibung und Zugkraft der Triebmaschine. Die Räder schleuderten schon bei Triebmaschinen, die keineswegs den ihnen im Achssatze zur Verfügung stehenden Raum völlig ausnutzten. Man war also genötigt, mehr Reibungsgewicht für eine Triebmaschine zu schaffen und tat dies, bevor man später zu den einseitig belasteten Drehgestellen

(S. 684) übergang, durch Kuppelung beider Achsen des Drehgestelles. Der Deutsch-amerikaner F. Eickenmeyer war der erste, der solche Fahrzeuge ausführte und zwar in zweierlei Weise: Einmal legte er die Triebmaschine in der üblichen Weise in eine Triebachse des Drehgestelles und kuppelte die zweite mit dieser, sodann ordnete er die Triebmaschine außerhalb der Triebachsen im Drehgestellrahmen an (Textabb. 751), und verband ihre Achse durch zwei Kuppelstangen jederseits mit den Triebachsen. Diese Aufhängung entlastet zugleich die Wagenachsen völlig von der Masse der Triebmaschinen, setzt allerdings gute Ausführung und Unter-

Abb. 751.



Kuppelung zweier Triebachsen mit der Maschinenachse durch Kuppelstangen.

haltung der Räder und Kurbeln voraus. Die Federung der Achsen beeinträchtigen den richtigen Lauf der Räder und Kuppelstangen nur wenig.

Während nun diese Aufhängung für Triebwagen schon bald nach ihrer Entstehung 1892, wie oben angegeben, durch entsprechende Bauarten des Fahrzeuges, oder durch Vermehrung der Triebmaschinen verdrängt wurde, ist sie später 1895 für Lokomotiven wieder aufgenommen, oder von anderen aufgefunden worden. Hier handelt es sich aber darum, große Triebmaschinen in einfacher Weise und bei schnelfahrenden Fahrzeugen auch in einer die Laufsicherheit möglichst wenig gefährdenden Weise einzubauen. Weitere Angaben hierüber werden deshalb unter „Lokomotiven“ gemacht werden.

b) 5. Regelung der Triebmaschinen.

5) a. Regelungsverfahren.

Zweck der Regelung ist die Veränderung der Fahrgeschwindigkeit in dem durch den Fahrplan und auch durch außerordentliche Vorkommnisse vorgeschriebenen Maße, sowie stoffsreies, die Triebmaschine nicht übermäßig belastendes Anfahren. Zu den hierfür erforderlichen Regelungsarten kommt nun bei elektrischem Betriebe noch eine selbsttätige, auf der Wirkungsweise der Triebmaschine selbst beruhende Regelung, die am deutlichsten in der Gleichstrom-Reihenschlussmaschine zum Ausdruck kommt, und darin besteht, daß die Fahrgeschwindigkeit mit zunehmender Belastung abnimmt, in der Fahrt auf Rampen also eine entsprechende Verminderung der Arbeitsleistung zur Folge hat. Daraus ergibt sich dann weiterhin eine Schonung der Leitungen und Kraftwerke, ohne daß die Förderleistung eine nennenswerte Abschwächung erfährt.

α) A. Regelung der Gleichstrom-Triebmaschine.

Die Handhabe der Regelung der Gleichstrom-Reihenschluss-Triebmaschine ergibt sich aus den Grundgleichungen (149) und (151) der Maschine (S. 638). Es war

$$e = Jw + E$$

$$E = c_1 \Phi n$$

und

worin E die elektromotorische Gegenkraft, e die der Maschine aufgedrückte Klemmenspannung, J die Stromstärke, w den ganzen Widerstand, Φ die Feldstärke, n die Drehgeschwindigkeit der Maschine und c_1 einen Festwert bedeuten.

Aus diesen Gleichungen ergibt sich nun Folgendes.

1. Für eine bestimmte Belastung, also eine bestimmte Stromstärke J und Ohmsche Spannung $J.w$ ²¹⁵⁾ und auch Feldstärke Φ erreicht man eine Änderung von n durch eine Änderung von E . Daraus ergibt sich eine entsprechende Änderung der Klemmenspannung e . Die Drehgeschwindigkeit der Triebmaschine steht in geradem Verhältnisse zur Klemmenspannung.

Dies ist die Spannungsregelung der Triebmaschine.

Ihre praktische Verwendung wird durch den Mangel an einer wirtschaftlichen Regelung der Spannung bei Gleichstrom-Triebmaschinen verhindert.

2. Unter der gleichen Voraussetzung wie bei 1. kann eine Änderung von E bei gleichbleibendem e auch durch Änderung von Jw , und da J gegeben ist, durch Änderung von w , des Widerstandes des Stromkreises, erreicht werden. Man muß also der Maschine einen Widerstand vorschalten. Die Drehzahl steht in umgekehrtem Verhältnisse zum Widerstande des Stromkreises, denn nach Gl. 149) S. 638, ist:

$$E = e - Jw.$$

Dies ist die Vorschaltwiderstands-Regelung der Triebmaschine.

Im Grunde genommen sind 1. und 2. gleichartig, denn es ist einerlei, ob man beispielsweise die Klemmenspannung e verringert und dadurch dem Anker eine kleinere elektromotorische Gegenkraft E , also Drehzahl n , aufnötigt, oder ob man Jw vergrößert und dadurch E und n verringert. Die Änderung der elektromotorischen Gegenkraft E ist in beiden Fällen das Wesentliche.

3. Man kann die Drehzahl n dadurch ändern, daß man gleichzeitig aber umgekehrt Φ ändert. Dann muß also der Stromumlauf des Magneten, gemessen in Amperewindungen, geändert werden, und zwar, indem man entweder die Windungszahl der Magnetwicklung oder die Erregerstromstärke ändert. Eine Verstärkung des Magnetfeldes der Triebmaschine hat also eine Verringerung der Drehzahl zur Folge und umgekehrt.

Dies ist die Magnetregelung der Triebmaschine.

Da eine Feldschwächung nach Gl. 150), S. 638, ein kleineres Drehmoment ergibt, letzteres aber bei der höhern Drehzahl eher größer sein muß, so muß dem Anker mehr Strom zugeführt werden. Dies ist, wenn man an w und e nichts ändert, nach Gleichung 149) (S. 638)

$$e = Jw + E$$

nur durch Verringerung von E möglich. Das Feld Φ muß also mehr geschwächt werden, als nach Gl. 151), S. 638,

$$E = c_1 \Phi \cdot n$$

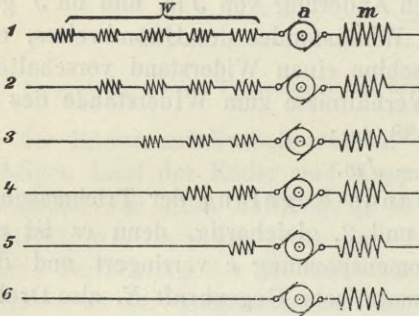
für ein gleichbleibendes E der Erhöhung der Drehzahl n entspräche. Hierin stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein.

Nach diesen Betrachtungen können also die folgenden Regelungsverfahren in Frage kommen.

²¹⁵⁾ S. 637 unten.

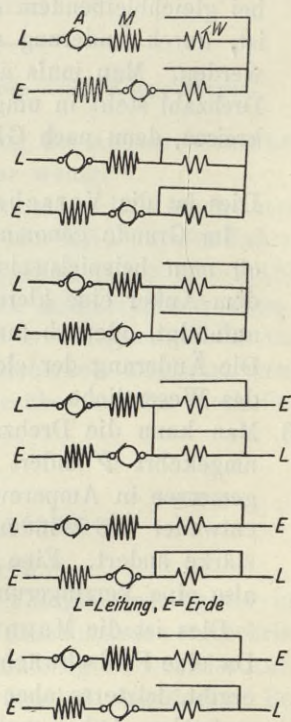
Widerstandsregelung. Der Schaltungsplan wird durch Textabb. 752 dargestellt. Diese Regelung wird indes mit dem Verluste von $J^2 w_1$ Watt/Sek. verbunden sein, wenn man mit J die Stromstärke der Maschine in Ampere und mit w_1 den Vorschaltwiderstand in Ohm bezeichnet. Für Dauerfahrt eignen sich deshalb die Schaltstufen nicht. Die tatsächliche Verwendung der Schaltung im Betriebe erfolgt auch nur aus einem andern Grunde. Da die elektromotorische Gegenkraft E in Gl. 149), S. 638, nach Gl. 151), S. 638, bei der Anfahrt, also bei kleinen Drehzahlen, sehr klein ist, wird Jw einen sehr hohen Wert annehmen, das heißt, der die Triebmaschine durchfließende Strom J muß durch Erhöhung von w in den, die Wickelungen nicht gefährdenden Grenzen gehalten werden. Mit zunehmendem n und E kann dann w allmählig verringert werden.

Abb. 752.



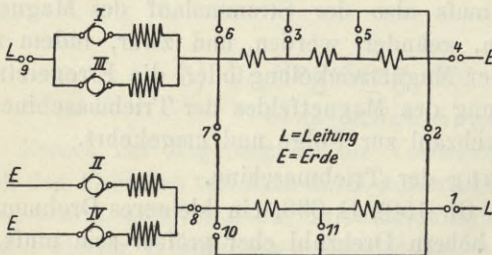
Schaltstufen bei reiner Widerstandsregelung.
a Anker, m Magnet, w Vorschaltwiderstand.

Abb. 753.



Brückenschaltung von zwei Triebmaschinen.

Abb. 754.



Brückenschaltung von vier Triebmaschinen.
Hierzu Textabb. 755.

Längeres Verweilen auf den einzelnen Widerstand-Schaltstufen kommt im Betriebe trotzdem mitunter vor, deshalb müssen die Widerstände für Dauerbelastung bemessen werden, sonst erhitzen sie sich zu stark, und führen dann, wie die Erfahrungen selbst in neuester Zeit immer wieder zeigen, zu Wagenbränden.

Eine Geschwindigkeitsregelung mit Vorschaltwiderständen ist ferner, wie aus den mehrfach angeführten Gleichungen hervorgeht, nur nach unten möglich.

Die Berechnung der Vorschaltwiderstände ist auf S. 691 angegeben.

Reihen-Neben-Schaltungs-Regelung. Als eine Spannungs- oder Widerstands-Regelung ist auch die bei zwei und mehr Triebmaschinen gebräuchliche

Reihen-Neben-Schaltung zu betrachten. Hierbei wird eine Erhöhung des Widerstandes des Stromkreises durch die Reihenschaltung der Triebmaschinen erreicht. Im Verlaufe der Anfahrt werden dann die Maschinen etwa bei halber Fahrgeschwindigkeit neben einander geschaltet. Während man diesen Übergang früher nur durch zeitweises Abschalten einer Triebmaschine bewirkte, benutzt man später die sogenannte Brückenschaltung (Textabb. 753), bei der beide Triebmaschinen ständig eingeschaltet bleiben und die Zugkräfte weniger schwanken. Erstere Schaltart gibt indes weniger Unterbrechungsfunken.

Bezeichnet wieder e die Klemmenspannung, J die Stromstärke, w den Widerstand der Triebmaschine und weiter E_r die elektromotorische Gegenkraft bei Reihenschaltung, E_n bei Nebenschaltung der Maschine, so ist beispielsweise für zwei Triebmaschinen im Fahrzeuge

$$E_r = \frac{e}{2} - Jw, \quad E_n = e - Jw, \text{ also:}$$

$$\text{Gl. 157) } \dots \dots \dots \frac{E_r}{E_n} = \frac{0,5 e - Jw}{e - Jw}.$$

Abb. 755.

	Schaltstufen	Verbindungen										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Hinter-einander	1		0						0	0		
	2		0						0	0	0	
	3		0			0			0	0	0	
	4		0	0		0			0	0	0	0
	5		0	0		0	0		0	0	0	0
	Brücke							0	0	0		
Neben-einander	6	0			0	0			0	0		
	7	0		0	0	0			0	0		0
	8	0			0	0	0		0	0	0	0

Stromschlufstafel zu Textabb. 754.

Da sich die Drehzahlen gemäfs Gl. 151) (S. 638) ebenso verhalten, ist die Drehzahl bei Reihenschaltung etwa die Hälfte derjenigen bei Nebenschaltung.

Diese Schaltung ergibt in Verbindung mit Vorschaltwiderstand vor jeder Maschinenschaltung eine sparsame und stofsreihe Regelung. Sie ist auch bei vier Triebmaschinen schon angewandt worden, doch liegt hierin in erhöhtem Mafse die schon bei zwei Triebmaschinen bestehende Gefahr, dafs das Schleudern einer Triebmaschine über einer schlüpferigen Gleisstelle bei der ständigen Reihenschaltung zweier Triebmaschinen, oder der vollen Reihen-Nebenschaltung aller vier Triebmaschinen, wie bei der Neuyork-Zentralbahn, durch die grofse elektromotorische Gegenkraft im Stromkreise auch einen Abfall der Zugkraft der übrigen Triebmaschinen hervorruft, die Fahrt also entweder gestört wird, oder ruckweise verläuft. Bei der Nebenschaltung dagegen arbeitet jede Triebmaschine unabhängig von den anderen, wenn ihre Magneterregungs-Stromkreise für sich nicht neben einander geschaltet werden. Textabb. 754 stellt die Reihen-Neben-Schaltung von vier Triebmaschinen der „General Electric. Co.“ dar, bei der zwei Triebmaschinen ständig

neben einander geschaltet bleiben. Auch hier findet die Brückenschaltung Anwendung. Die einzelnen Schaltstufen lassen sich mit der Stromschlußtafel Textabb. 755 feststellen.

Magnetregelung. Wie unter 3. S. 687 angegeben ist, bedeutet eine Feldschwächung eine Erhöhung der Drehzahl. Man ändert die Feldstärke durch Änderung des Stromumlaufes des Magneten, also der Amperewindungen. Dies geschah früher nach Angabe von Sprague durch Unterteilung der Wickelung und Aufreihung der Teile in Reihen- und Neben-Schaltung, womit zugleich eine in demselben Sinne auf die Drehzahl wirkende Änderung des innern Widerstandes der Triebmaschine verknüpft war. Diese Schaltung erfordert jedoch eine weniger einfache Ausführung der Magnetwickelungen und der Regelungsvorrichtungen mit ihren Zuführungsleitungen; sie wird daher nicht mehr angewandt. Dagegen ändert man das Feld durch Anlegung eines Nebenschlußwiderstandes zur Magnetwicklung, der also von dem Erregerstrom je nach seiner Größe einen Teil ableitet. Es ist nicht vorteilhaft, das Feld zu Regelungszwecken zu verstärken, da das eine mangelhafte Ausnutzung des Feldes und eine Arbeitsverschwendung durch den Nebenschlußwiderstand bei gewöhnlicher Fahrt bedeutet. Man regelt deshalb nur durch Schwächung des Feldes, also nach oben. Diese Regelung wird wegen ihrer Unzulänglichkeit nur bei Einholung von Fahrplanverspätungen angewandt, wenn zu solchen die übliche Reihen-Neben-Schaltung nicht hinreicht; sie ist als Ergänzung dieser Regelung gradezu unentbehrlich. Die Schwächung des Feldes bei hohen Fahrgeschwindigkeiten hat eine größere Ankerrückwirkung, das heißt stärkere Verzerrung des geschwächten Magnetfeldes durch das starke Ankerfeld zur Folge, woraus sich dann ein Funken am Stromwender ergibt. Diese Regelung sollte also nur an Wendepolmaschinen (S. 643) vorgenommen werden. Das Wendefeld ist unabhängig von der Schwächung des Hauptfeldes, abhängig dagegen von der Belastung der Triebmaschine.

Zu diesen Regelungsarten tritt nun noch bei Kleinbahnen die weitverbreitete Regelung durch wiederholtes Ein- und Ausschalten der Triebmaschinen, die besonders auf längeren Strecken mit Fuhrwerksverkehr angewandt wird. Über die Vorschaltwiderstandstufen und die Reihenschaltung der Triebmaschinen pflegt man hierbei schnell hinwegzugehen, worunter die Maschinen sehr leiden, und der Stromverbrauch höher ausfällt, als bei ordnungsmäßiger Ausübung der Regelung.

Die Bestimmung des Vorschaltwiderstandes geschieht in folgender Weise. Man soll die einmal für zulässig erklärte Beschleunigung während der Anfahrt möglichst unverändert aufrecht erhalten, um schnell die volle Fahrgeschwindigkeit zu erreichen. Das ist gleichbedeutend mit der Aufrechterhaltung der Stromstärke J_1 , so daß in Gl. 149) (S. 638)

$$J \cdot w = e - E$$

aufser der Klemmenspannung e auch J als Festwert anzusehen ist. Da sich nun weiter Φ in Gl. 151), S. 638,

$$E = c_1 \Phi \cdot n$$

mit J nicht ändert, also

$$\text{Gl. 158) } \dots \dots \dots E = c_2 n$$

zu setzen ist, folgt, daß die Abhängigkeit des Widerstandes w des Stromkreises

von der bei der Anfahrt allmählig zunehmenden Fahrgeschwindigkeit n eine Gerade darstellt:

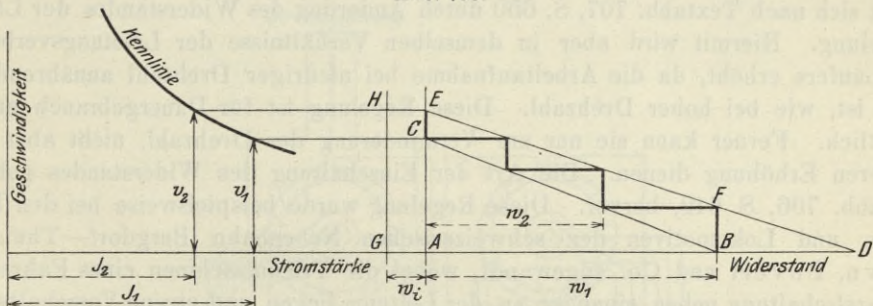
Gl. 159) $w = c_3 - c_4 \cdot n$

Von dieser Geraden sind bereits zwei Punkte bekannt. Für den Beginn der Anfahrt, also $n = 0$, ist $E = 0$ und w am größten, nämlich

$$w = \frac{e}{J} = \frac{\text{Klemmenspannung}}{\text{Stromstärke.}}$$

Die Klemmenspannung ist gegeben, und die Stromstärke folgt nach der zulässigen Beschleunigung oder dem entsprechenden Drehmomente aus der Kennlinie der Triebmaschine (Textabb. 696, S. 639). Von diesem Widerstande des ganzen Stromkreises ist also der der Triebmaschine selbst abzuziehen, um den eigentlichen Vorschaltwiderstand zu erhalten. Der zweite bekannte Wert des Vorschaltwiderstandes ist der Nullwert. Er entspricht dem Punkte der Geschwindigkeitslinie in der Kennlinie der Triebmaschine (Textabb. 696, S. 639), bei der die gegebene Stromstärke herrscht, denn die Kennlinie wird durch Bremsung der reinen Maschine ohne Vorschaltwiderstand gewonnen.

Abb. 756.



Bestimmung des Vorschaltwiderstandes einer Triebmaschine.

In Textabb. 756 stellt nun BC die mit diesen beiden gegebenen Werten aufgezeichnete Widerstandlinie dar. Nach dieser würde sich der Anlaufvorgang vollziehen, wenn man den Vorschaltwiderstand unendlich fein abstufen und ganz allmählig ausschalten könnte, also beispielsweise mit Flüssigkeitswiderständen. Die metallischen Widerstände lassen sich aber nur sprunghaft ausschalten, außerdem darf die Stufenzahl mit Rücksicht auf die Schaltvorrichtungen nicht zu hoch getrieben werden.

Bei endlicher Anzahl der Widerstandstufen tritt Folgendes ein. Die Triebmaschine läuft mit dem ganzen Vorschaltwiderstande im Stromkreise an. Die Geschwindigkeit nimmt zu, daher auch die elektromotorische Gegenkraft E . Nach Gl. 149), S. 638,

$$e = J \cdot w + E$$

mufs deshalb die Stromstärke J abnehmen, da die Klemmenspannung e und zunächst auch der Widerstand des Stromkreises Festwerte sind. Dies wiederholt sich bei jeder Widerstandstufe, man nimmt deshalb für die kleinere Stromstärke J_2 ebenso, wie es für den Größtwert J_1 geschah, auch einen unveränderlichen Wert an. Daraus ergibt sich in genau derselben Weise wie für J_1 eine neue Widerstandlinie DE , für die ebenfalls zwei Werte gegeben sind.

Die Anfahrt und Abstufung des Vorschaltwiderstandes gehen dann schliesslich

in folgender Weise vor sich. Zuerst befindet sich der Vorschaltwiderstand AB im Stromkreise. Die Geschwindigkeit steigt von B aus an und erreicht den Punkt F , wo der Strom J_2 erreicht ist. Hier muß soviel Widerstand ausgeschaltet werden, daß die Stromstärke wieder auf ihren Höchstwert J_1 steigt. Das ergibt die zweite Vorschaltwiderstandstufe w_2 . In dieser Weise geht man vor, bis der Vorschaltwiderstand ganz ausgeschaltet wird.

α) B. Regelung der Drehstrom-Triebmaschine.

Die Regelung der Fahrgeschwindigkeit spielt bei der Drehstrom-Triebmaschine eine wichtige Rolle, weil die bei der Gleichstrom-Reihenschluß-Maschine vorhandene günstige Abhängigkeit der Drehgeschwindigkeit von der Belastung hier fehlt. Die Drehstrommaschine besitzt die Eigenheit der Gleichstrom-Nebenschluß-Maschine, mit annähernd unveränderlicher Geschwindigkeit zu laufen. Solche Maschinen sind aber für den gewöhnlichen Bahnbetrieb grundsätzlich untauglich. Die Gründe hierfür sind auf S. 652 angegeben. Man hat bisher die folgenden Regelungsarten angewendet.

Widerstandsregelung. Die einfachste Regelung der Drehgeschwindigkeit ergibt sich nach Textabb. 707, S. 650 durch Änderung des Widerstandes der Läuferwicklung. Hiermit wird aber in demselben Verhältnisse der Leistungsverbrauch des Läufers erhöht, da die Arbeitsaufnahme bei niedriger Drehzahl annähernd dieselbe ist, wie bei hoher Drehzahl. Diese Regelung ist für Dauergebrauch unwirtschaftlich. Ferner kann sie nur zur Verminderung der Drehzahl, nicht aber auch zu deren Erhöhung dienen. Die Art der Einschaltung des Widerstandes geht aus Textabb. 706, S. 649, hervor. Diese Regelung wurde beispielsweise bei den Triebwagen und Lokomotiven der schweizerischen Nebenbahn Burgdorf—Thun von Brown, Boveri und Co. angewandt, wobei die Triebmaschinen eines Fahrzeuges in Einzelschaltung neben einander an der Leitung liegen und eigene Vorschaltwiderstände besitzen, die innerhalb eines Fahrzeuges vom Führerstande aus auf mechanischem Wege in Tätigkeit gesetzt werden. Auch die ersten Lokomotiven der Veltlin-Bahn²¹⁶⁾ von Ganz und Co. besitzen Widerstandsregelung.

Die Widerstandsschaltung wird auch in Verbindung mit anderen Regelungsarten verwendet, sie dient dann nur zum Anlassen der Triebmaschinen und setzt stets Schleifringmaschinen voraus, deren drei Läuferwellen je zu einem Schleifringe außerhalb des Läufers auf dessen Achse geführt werden.

Polumschaltung. Aus Gl. 155) (S. 651) geht hervor, daß sich die Drehzahl der Triebmaschine umgekehrt ändert, wie die Polzahl. Die Regelung erfolgt sprungweise und erlaubt nur eine kleine Zahl von Schaltstufen. Das Anlassen der Triebmaschine erfolgt hierbei mit der hohen Polzahl und niedrigen Umlaufzahl des Drehfeldes in recht vorteilhafter Weise. Für die Regelung bei Haupteisenbahnen ist die Polumschaltung wegen ihrer geringen Stufenzahl nur geeignet, wenn es sich um kurze Fahrstrecken mit wenig veränderlicher Neigung und einfachen Betriebsverhältnissen handelt. Eine Anwendung fand sie beispielsweise auf der Tunnelstrecke der Simplonbahn. Die von Brown, Boveri und Co. gebauten 1C1-Lokomotiven des Simplontunnels²¹⁷⁾ haben zwei Triebmaschinen, deren Ständerwicklung für 34 km/St Fahrgeschwindigkeit mit sechzehn, für 68 km/St mit acht Polen

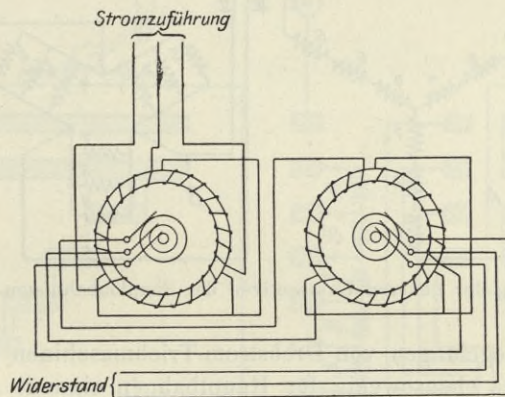
²¹⁶⁾ Organ 1904, S. 185, 1905, S. 175.

²¹⁷⁾ Organ 1907, S. 14 und Abschnitt „Lokomotiven“.

geschaltet werden können. Die Anfahrt erfolgt in Dreieckschaltung mit sechszehn Polen. Die neuesten D-Lokomotiven der Simplonbahn von derselben Bauanstalt²¹⁸⁾ sind dagegen so ausgeführt, daß die Ständer der beiden Triebmaschinen mit einer Wicklung für sechs und zwölf Pole, und mit einer zweiten für acht und sechszehn Pole geschaltet werden können. Die Lokomotive hat demnach vier Geschwindigkeitstufen von 26, 35, 52 und 70 km/St. Die beiden Ständerwicklungen werden bei der Anfahrt neben einander geschaltet. Außerdem unterscheiden sich die Triebmaschinen von den älteren noch durch ihre Kurzschlußläufer; sie haben also keine Schleifringe mehr, wobei der erforderliche Läuferwiderstand durch zwischen der Wicklung und den Kurzschlußringen eingebaute Bandwiderstände erhöht, und die Ständerspannung durch einen eigenen Abspanner geregelt wird. Die Übersetzung des letztern bewegt sich in 10 Stufen zu je 200 Volt zwischen 3000:1000 und 3000:3000.

Kaskadenschaltung. Die von Görges angegebene Kaskadenschaltung ist eigentlich nur eine Anfahrschaltung, und beruht darauf, daß der Läufer der ersten Maschine nach Textabb. 757 auf den Ständer, oder besser Läufer der

Abb. 757.



Kaskadenschaltung Görges.

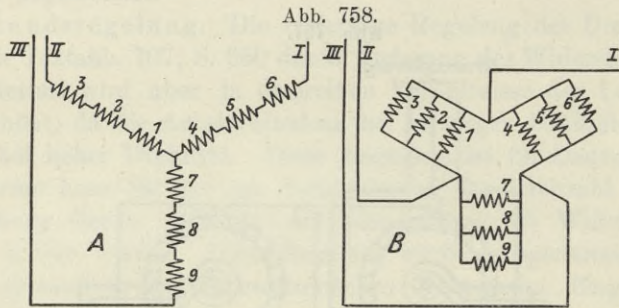
zweiten geschaltet wird. Während also bei der Widerstandregelung die aus der Schlüpfung im Läufer entstehende Leistung in Widerständen vernichtet wird, dient sie hier zum Betriebe einer zweiten Maschine. Bei gleicher Polzahl ist dann die Summe der Umlaufzahlen beider Triebmaschinen abzüglich der durch Schlüpfung entstehenden Werte gleich der Umlaufzahl des Drehfeldes der ersten, der „Primär“-Maschine. Bei Maschinen mit verschiedenen Polzahlen lassen sich verschiedene Umlaufzahlen zusammensetzen. Für die Regelung der Fahrgeschwindigkeit bei Haupteisenbahnen ist auch diese Schaltung wegen ihrer groben Abstufung nicht geeignet. Sie wird zweckmäßig nur zur Anfahrt benutzt, hat aber auch dann den Nachteil, daß die Vordermaschine nur 0,25 der lebendigen Kraft des Zuges beschafft, die Hintermaschine dagegen 0,75. Auch liegt in der Anordnung zu wenig Betriebsicherheit, da die ganze Maschinengruppe von dem guten Verhalten der Hintermaschine abhängt. Die Kaskadenschaltung wurde unter anderen von Ganz und Co. an den Triebwagen und neueren Lokomotiven der Veltlin-Bahn angewandt.

²¹⁸⁾ Abschnitt „Lokomotiven“.

Die neuesten Lokomotiven haben eine aus der Kaskadenschaltung und Polumschaltung zusammengesetzte Regelung. Die eine Triebmaschine hat acht, die andere zwölf Pole, hiermit lassen sich bei 15 Wellen des Netzstromes die folgenden drei Geschwindigkeitsstufen erreichen:

- 1) Beide Triebmaschinen liegen in Kaskadenschaltung, zwanzig Pole, 25,5 km/St,
- 2) Triebmaschine mit zwölf Polen, einzeln, 42 km/St,
- 3) Triebmaschine mit acht Polen, einzeln, 64 km/St.

Die Kaskadenschaltung nimmt den Verlauf: Ständer Vordermaschine — Läufer Vordermaschine — Läufer Hintermaschine — Ständer Hintermaschine — Widerstand. Da beide Triebmaschinen wegen ihrer Einzelschaltung Hochspannung erhalten, ist der Ständer der hintern nach Textabb. 758 gewickelt. In Schaltung A erhält die Triebmaschine die volle Netzspannung von 3000 Volt, die drei Spulen einer Gruppe liegen in Reihe, die drei Wellen in Sternschaltung. In Schaltung B liegen die drei Spulen einer Gruppe neben einander, die drei Wellen sind im Dreiecke geschaltet; die Triebmaschine erhält $3000 : (3 \cdot \sqrt{3}) = 3000 : 5,2$ Volt.



Kaskadenschaltung der neueren Lokomotiven der Simplonbahn von Ganz und Co.

Außer diesen Regelungen von Drehstrom-Triebmaschinen gibt es noch einige andere, die sich indes ebensowenig für Hauptbahnen eignen. Dies und die zwei-polige Leitung haben bisher der Einführung der Drehstrommaschine bei Hauptbahnen hindernd im Wege gestanden, obwohl sie an sich sowohl der Gleichstrom-, als auch der Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschine überlegen ist.

a. C. Regelung der Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschinen mit Stromwender.

Die Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschinen mit Stromwender werden bei der Anfahrt und bei der Fahrt durch Änderung der Klemmenspannung oder des magnetisierenden Stromumlaufes, der Amperewindungen, geregelt. Beides geschieht durch Änderung der Spannung, also ohne das Arbeit in Widerständen vernichtet würde, wie bei Gleichstromtriebmaschinen.

Textabb. 767 zeigt die Regelung der Reihenschluß-Triebmaschinen durch Abschaltung der einzelnen Stufen auf der Niederspannungsseite des Hauptabspanners. Um die damit verbundene vierteilige Zugsteuerung zu umgehen, griff die preussische Staatsbahnverwaltung neuerdings wieder auf den „Induktionsregler“ zurück, der schon zu Beginn der Fahrversuche mit diesen Maschinen von der Westinghouse-Gesellschaft in Pittsburg angewandt ist (S. 708). Die Spannung wird zunächst am

Hauptabspanner in zwei Stufen geteilt, zwischen denen die Triebmaschinen auszu-
schalten sind, und dann innerhalb jeder der beiden Stufen durch den Induktions-
regler feiner abgestuft.

Die Regelung der „kompensierten Repulsions-Triebmaschinen“, beispielsweise
von Winter und Eichberg, erfolgt nach S. 665 zunächst im Hauptstrom gleich-
falls mittels eines Hauptabspanners, hierauf mittels des Erregerstrom-Abspanners
im magnetisierenden Stromumlaufe.

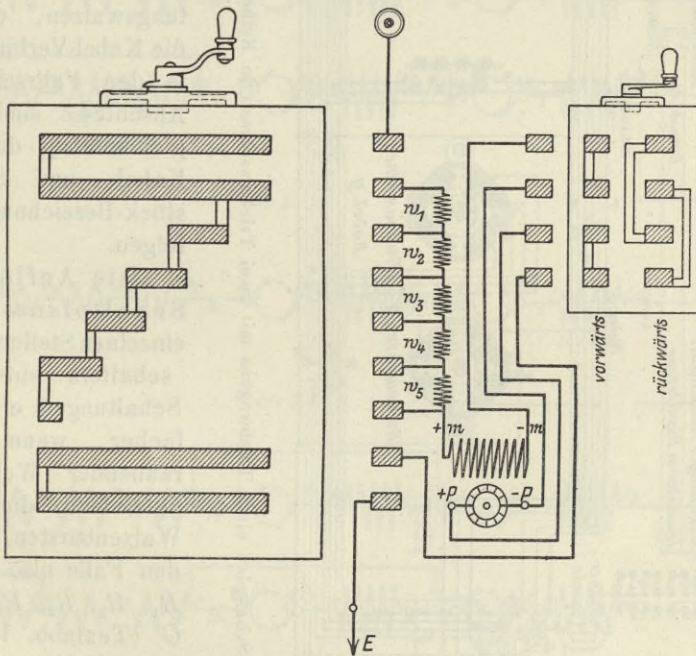
Eine recht einfache Regelung stellt die Drehung der Bürsten bei „Repul-
sions“-Triebmaschinen dar (S. 672), doch ist diese nur bei Einzellokomotiven mit
hochliegenden Triebmaschinen zweckmäÙig durchführbar.

5) β . Regelungsvorrichtungen.

β) A. Einfache Fahrschalter.

Alle Regelung-Schaltungen laufen auf die einfache mechanische Aufgabe
hinaus, die zu den Stromabnehmern, Triebmaschinen, Widerständen oder Abspanner-

Abb. 759.



Regler mit Widerstandsregelung.

stufen führenden Kabel, oder vielmehr deren Stromschlußstücke, in der dem jeweils
gewünschten Stromlaufe entsprechenden Weise zu verbinden. Handelt es sich um geringe
Arbeitswerte und Einzelfahrzeuge, so geschieht dies nach Textabb. 759 in der Weise,
daß die Stromschlußstücke unter einander angeordnet, und durch einen den ge-
wünschten Verbindungen entsprechend ausgeschnittenen oder geformten Walzen-
belag aus Kupferstreifen verbunden werden. Textabb. 759 stellt den Schaltungs-
plan für eine Gleichstrom-Reihenschluß-Triebmaschine dar, in dem $+p$ und $-p$
die Maschinenklemmen, $+m$ und $-m$ die Magnetspulenden und $w_1, w_2 \dots$

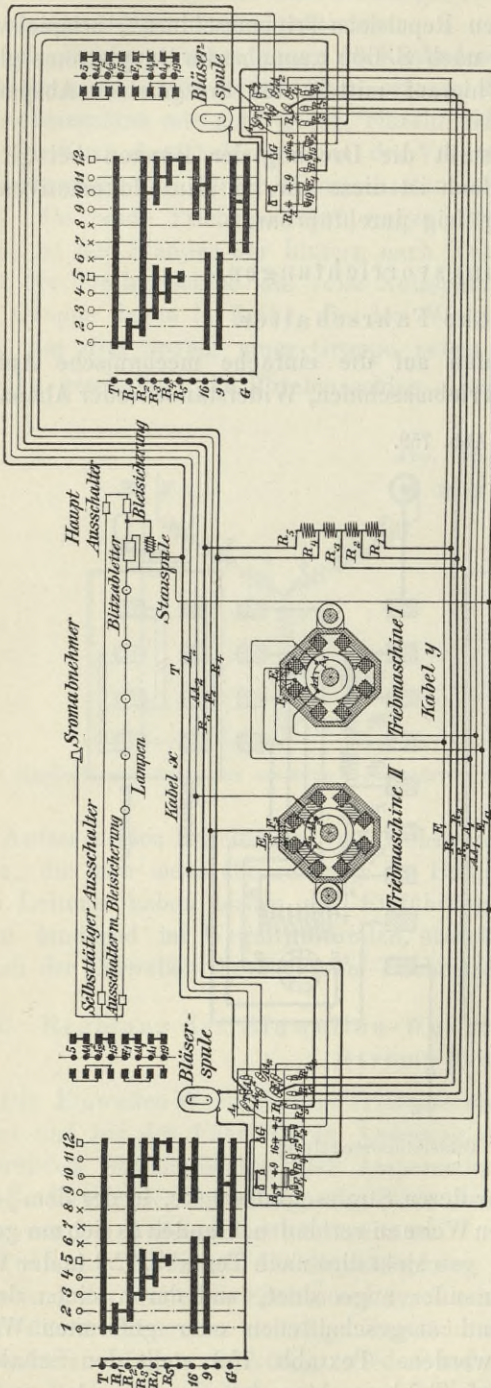
die Vorschaltwiderstände bedeuten. Da die gegenseitige Verbindung zwischen Anker und Magnetspule bei Umkehrung der Fahrriichtung vertauscht werden muß,

sind diese Kabel zu besonderen Stromschlußstücken hingeführt, die durch eine eigene Fahrriichtungswalze in der angegebenen Weise verbunden werden.

Textabb. 760 stellt den ganzen Schaltungsplan eines mit zwei Gleichstrom-Reihenschluß-Triebmaschinen in Reihen-Neben-Schaltung versehenen Straßenbahnwagens dar. Neben den Hauptwalzen der Fahrshalter befinden sich die Fahrriichtungswalzen, unter beiden die Kabel-Verbindungs Bretter in den Fahrshaltern. Die Anschlüsse sind mittels der gleichmäßig durchgeführten Kabel- und Stromschlußstück-Bezeichnung zu verfolgen.

Die Auflösung eines Schaltplanes in die den einzelnen Stellungen des Fahrshalters entsprechenden Schaltungen erfolgt in einfacher, wenn auch zeitraubender Weise dadurch, daß man die Reihe von Walzenbürsten, im vorliegenden Falle also die Reihe $T, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, 16, 9, G$ (Textabb. 761) zunächst in der Stellung 1 der Hauptwalze schiebt, und auf der Fahrriichtungswalze die Vorwärtsfahrt annimmt. Jetzt verfolgt man den Stromlauf vom Stromabnehmer, oder, was dasselbe ist, der T -Leitung beginnend, durch den ganzen Schaltungsplan. Daraus

Abb. 760.

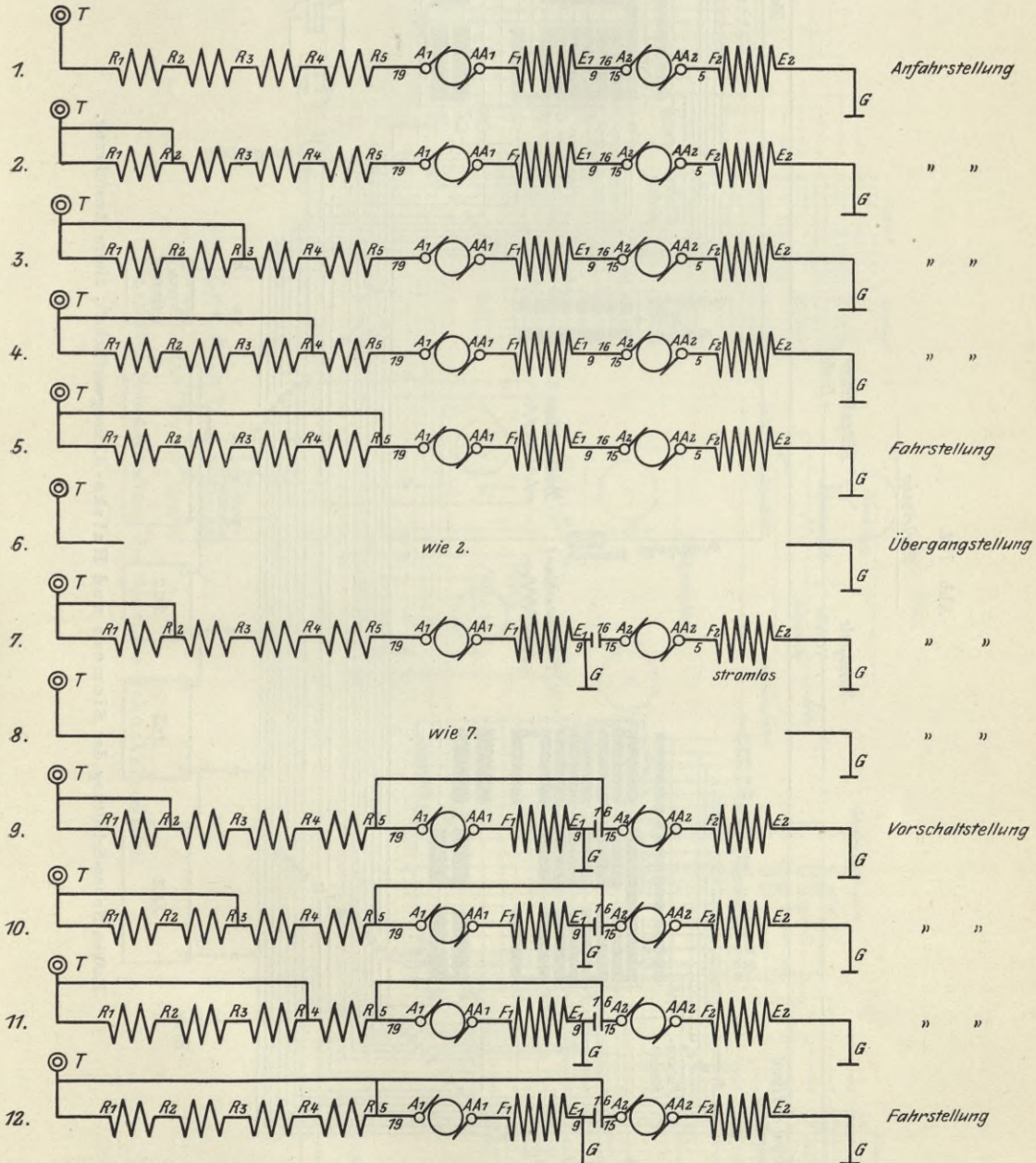


Schaltplan eines Triebwagens mit zwei Triebmaschinen in Reihen-Neben-Schaltung.

ergibt sich die in Textabb. 761 dargestellte Folge von Schaltstellungen.

Eine eigenartige Einschaltung des Vorschaltwiderstandes haben Siemens und Halske lange Jahre zur Ausführung gebracht. Hiernach sind (Textabb. 762)

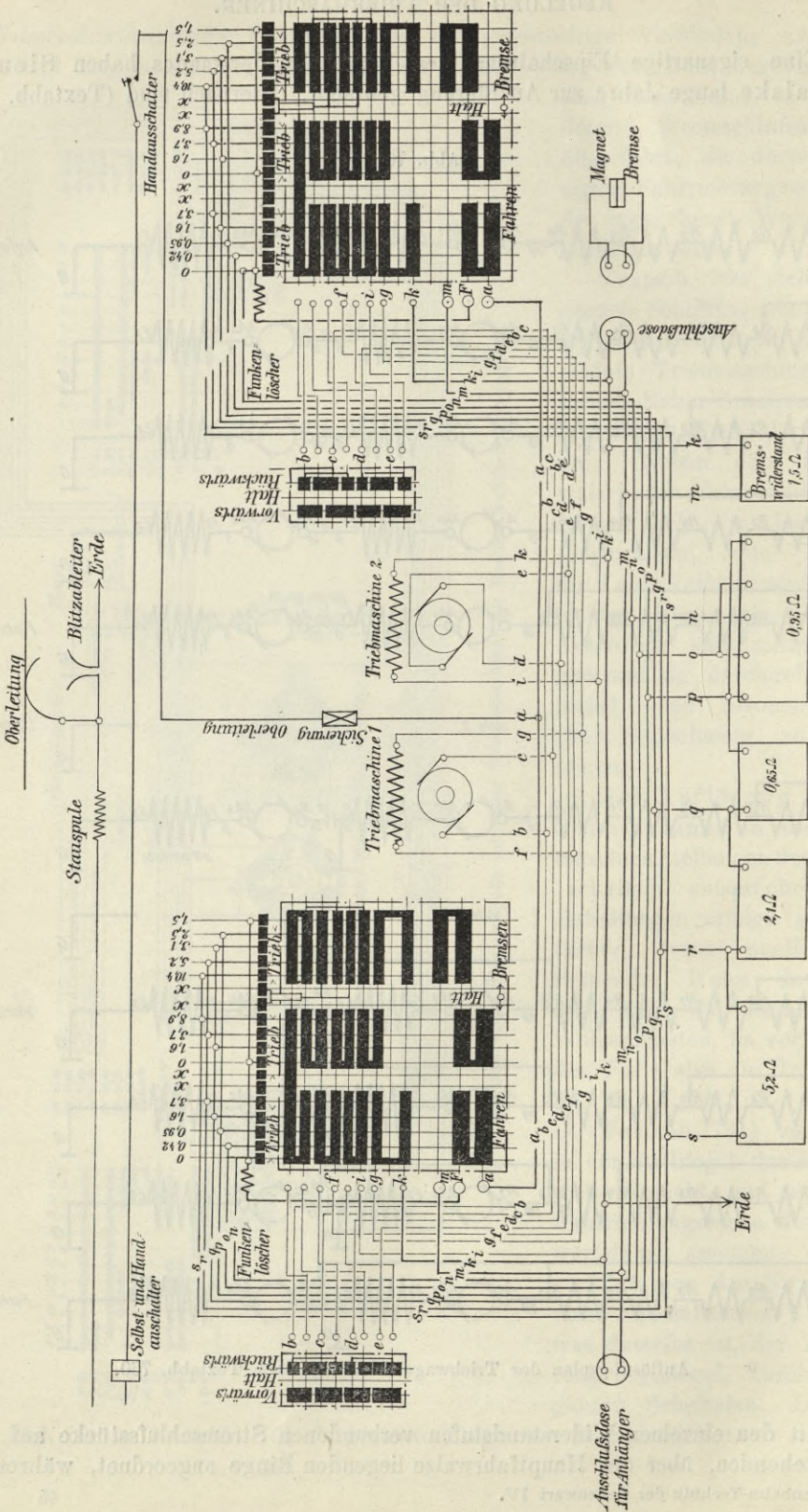
Abb. 761.



Auflösungsplan der Triebwagenschaltung nach Textabb. 760.

die mit den einzelnen Widerstandstufen verbundenen Stromschlußstücke auf einem fest stehenden, über der Hauptfahrwalze liegenden Ringe angeordnet, während die

Abb. 762.



Reihen-Neben-Schaltung der Siemens und Halske-Aktiengesellschaft, ältere Ausführung.

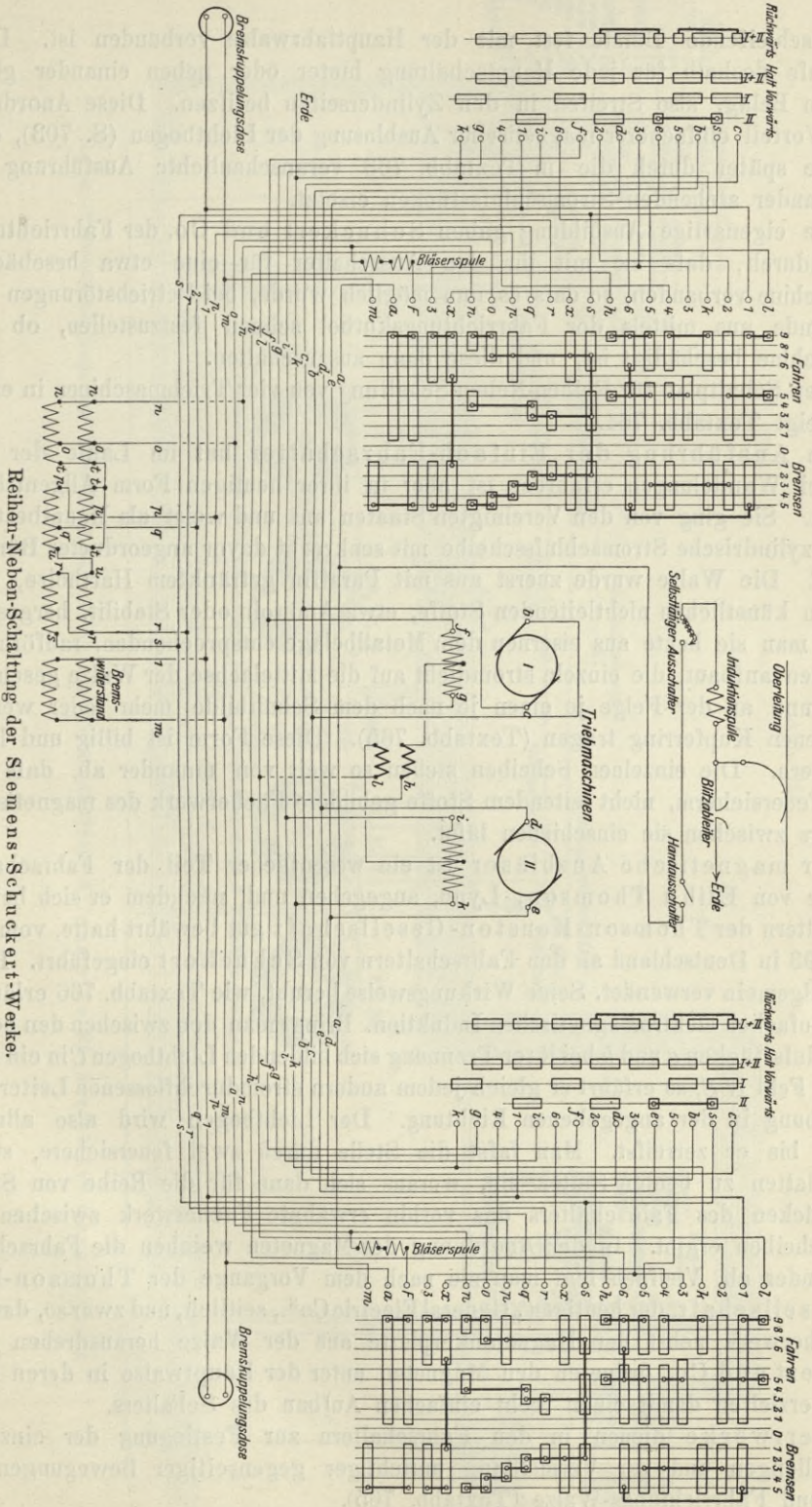


Abb. 763.

Reihen-Neben-Schaltung der Siemens-Schuckert-Werke.

über sie schleifende Bürste fest mit der Hauptfahrwalze verbunden ist. Diese selbst muß deshalb für jede Hauptschaltung hinter oder neben einander gleich bleibenden Belag, also Streifen in den Zylinderseiten besitzen. Diese Anordnung hat den Vorteil einfacherer magnetischer Ausblasung der Lichtbogen (S. 703), doch wurde sie später durch die in Textabb. 763 veranschaulichte Ausführung mit unter einander stehenden Stromschlußstücken ersetzt.

Eine eigenartige Ausbildung gaben Schuckert und Co. der Fahrriichtungswalze dadurch, daß sie mit ihr den Ausschalter für eine etwa beschädigte Triebmaschine verbanden, so daß es nun möglich wurde, bei Betriebsstörungen vom Führerstande aus mittels der Fahrriichtungskurbel schnell festzustellen, ob eine Triebmaschine beschädigt ist, und diese dann auszuschalten.

Einen Schaltplan für Reihen-Neben-Schaltung von vier Triebmaschinen in einem Wagen zeigt Textabb. 764.

Die Ausführung der Einfach-Fahrschalter hat im Laufe der Zeit mancherlei Wandelungen erfahren, ist aber in ihrer heutigen Form Allgemeingut geworden. Sie ging von den Vereinigten Staaten aus und weist als Hauptbestandteil eine zylindrische Stromschlußscheibe mit senkrecht davor angeordneter Bürstenreihe auf. Die Walze wurde zuerst aus mit Paraffin getränktem Hartholze, dann aus einem künstlichen nichtleitenden Stoffe, etwa Ambroin oder Stabilit, hergestellt, während man sie heute aus eisernen dem Metallbelage entsprechenden, radförmigen Abschnitten aufbaut, die einzeln stromdicht auf die Mittelachse der Walze geschoben werden, und an der Felge je einen je nach dem Schaltbilde mehr oder weniger beschnittenen Kupferring tragen (Textabb. 765). Diese Form ist billig und leicht auszubessern. Die einzelnen Scheiben stehen so weit von einander ab, daß sich das aus feuersicherm, nicht leitendem Stoffe gebildete Fächerwerk des magnetischen Ausbläfers zwischen sie einschieben läßt.

Der magnetische Ausbläser ist ein wesentlicher Teil der Fahrschalter. Er wurde von Elisha Thomson, Lynn, angegeben und, nachdem er sich bei den Fahrschaltern der Thomson-Houston-Gesellschaft gut bewährt hatte, vom Verfasser 1893 in Deutschland an den Fahrschaltern von Schuckert eingeführt. Heute wird er allgemein verwendet. Seine Wirkungsweise beruht, wie Textabb. 766 erläutert, auf der einfachen elektromagnetischen Induktion. Bringt man den zwischen den beiden Stromschlußstücken a und b bei ihrer Trennung sich bildenden Lichtbogen C in ein magnetisches Feld NS , so erfährt er gleich jedem andern stromdurchflossenen Leiter eine Verschiebung in der angegebenen Richtung. Der Lichtbogen wird also allmählig gedehnt, bis er zerreißt. Man faßt die Stelle durch zwei feuersichere, stromdichte Platten zu beiden Seiten ein, woraus sich dann für die Reihe von Stromschlußstücken des Fahrschalters das vorhin erwähnte Fächerwerk zwischen den Walzenscheiben ergibt. In der Anordnung des Magneten weichen die Fahrschalter von einander ab. Vielfach legt man sie nach dem Vorgange der Thomson-Houston-Gesellschaft, der heutigen „General Electric Co.“, seitlich, und zwar so, daß sich das Fächerwerk nebst der Magnetankerplatte aus der Walze herausdrehen läßt. Schuckert und Co. ordneten den Magneten unter der Hauptwalze in deren Mitte an, und erzielten damit einen recht einfachen Aufbau des Schalters.

Sperrwerke dienen in den Fahrschaltern zur Festlegung der einzelnen Schaltstellungen und zur Vermeidung unrichtiger gegenseitiger Bewegungen der Haupt- und Fahrriichtungswalze (Textabb. 765).

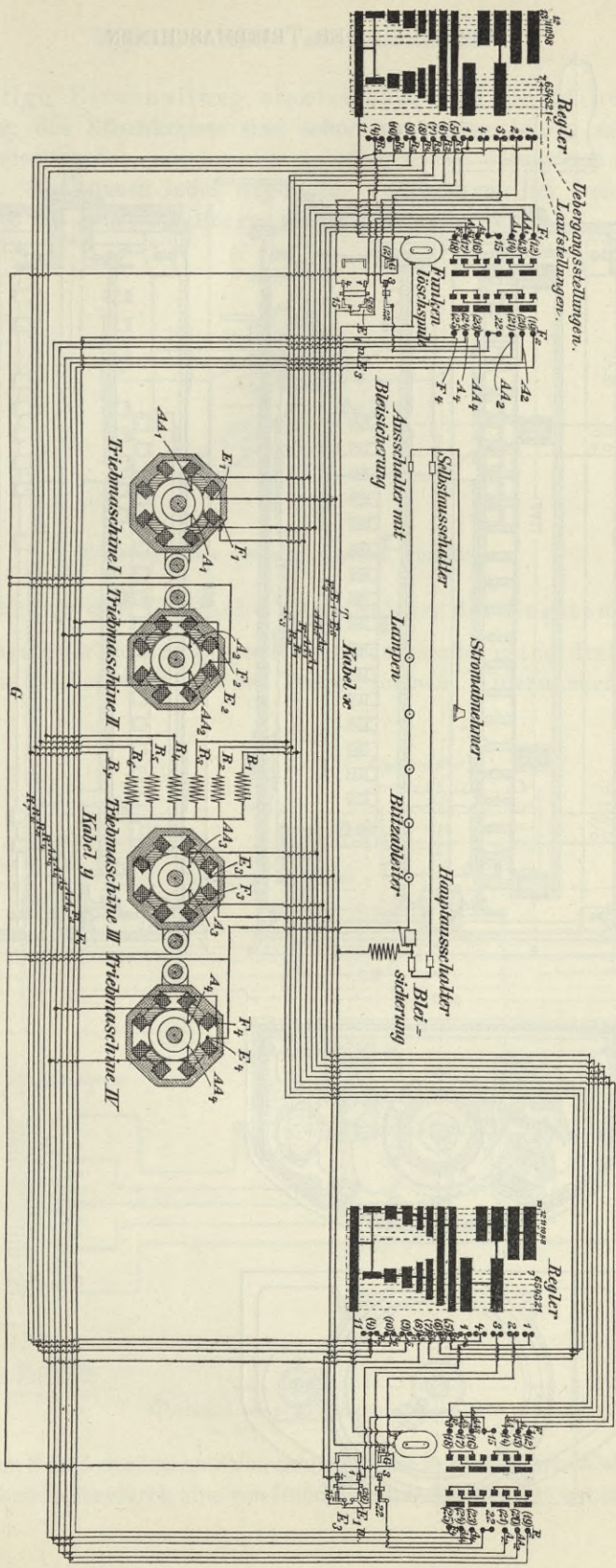
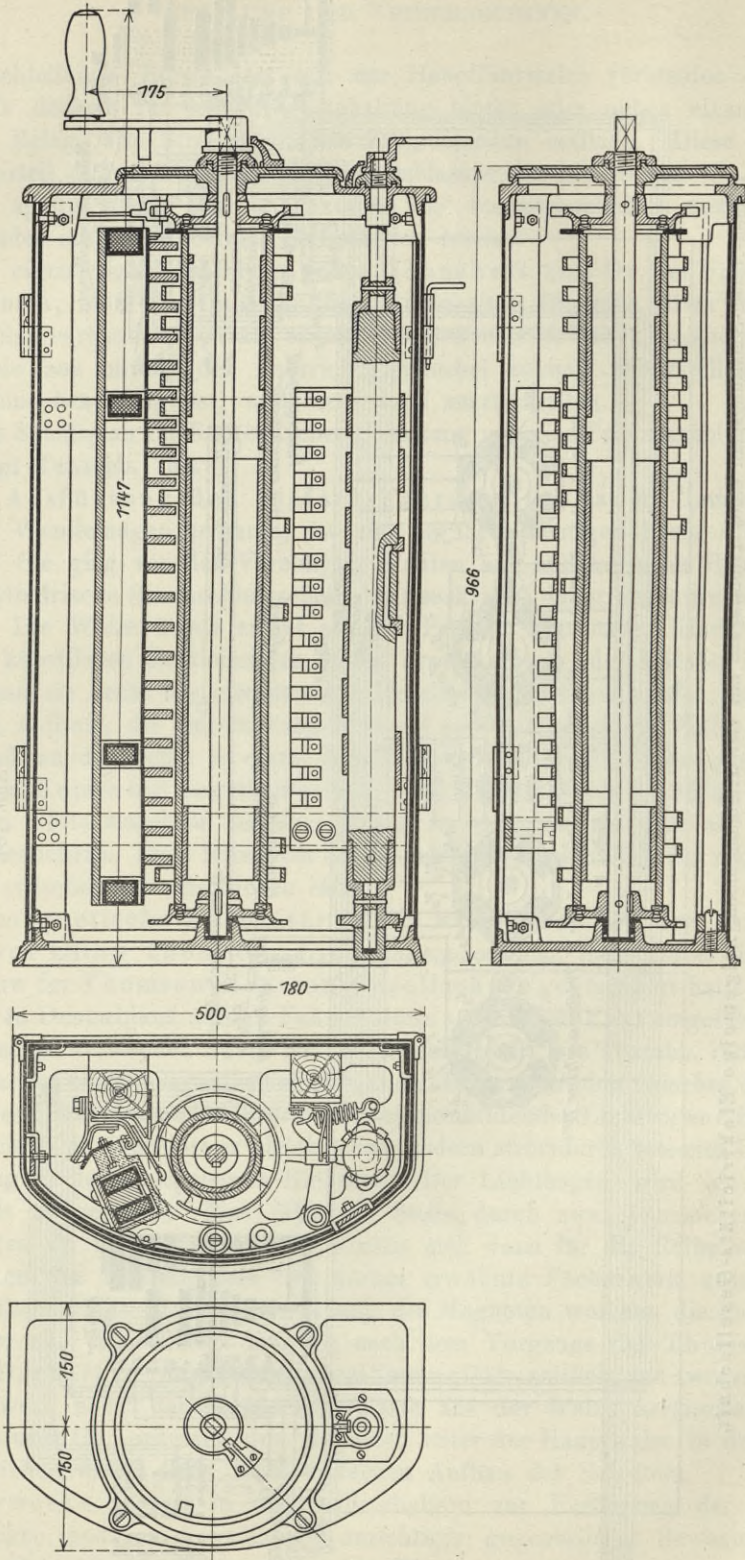


Abb. 764.

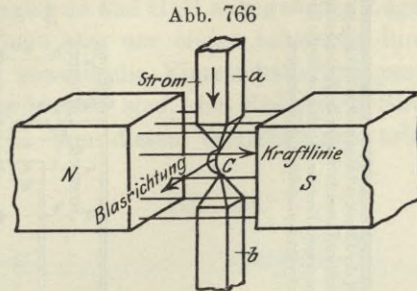
Reihen-Neben-Schaltungsplan eines Triebwagens mit vier Triebmaschinen, Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.

Abb. 765.



Maßstab 1 : 9. Strassenbahn-Fahrshalter der Siemens-Schuckert-Werke.

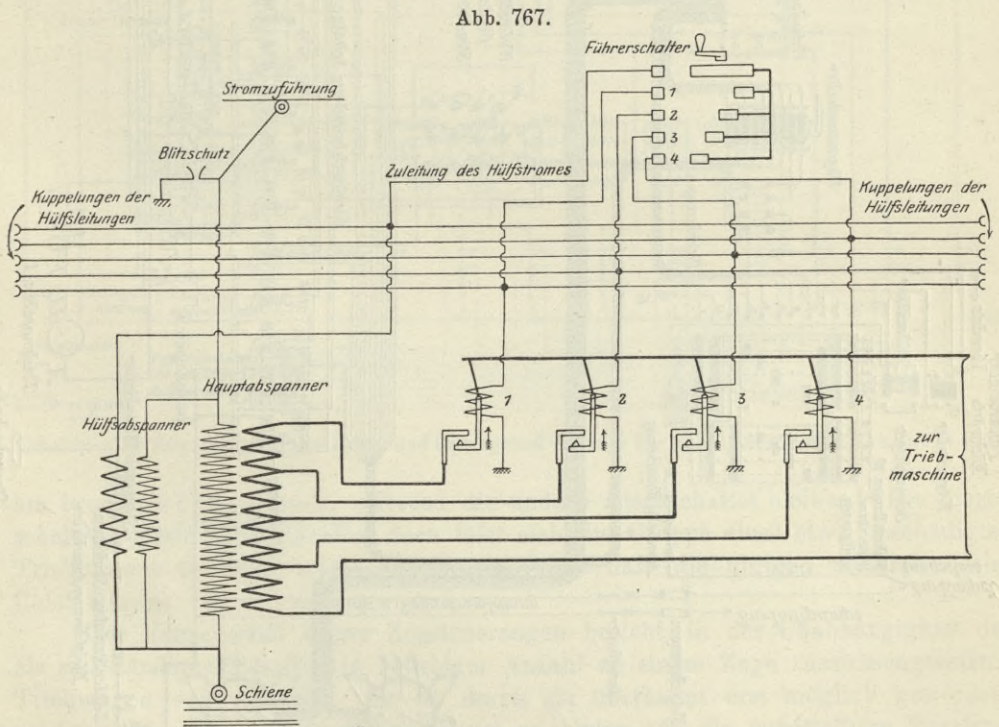
Selbsttätige Einschaltung elektrischer und Luftdruck-Bremsen mit Ausschaltung des Stromkreises sind schon vor vielen Jahren mit den Fahr-schaltern verbunden worden, werden aber trotzdem immer wieder neu erfunden und auch patentiert. Sie können indes wegen der Verhinderung der freien Verfügung des Führers über die Einzelschaltungen nicht empfohlen werden.



Wirkungsweise des magnetischen Ausbläses.

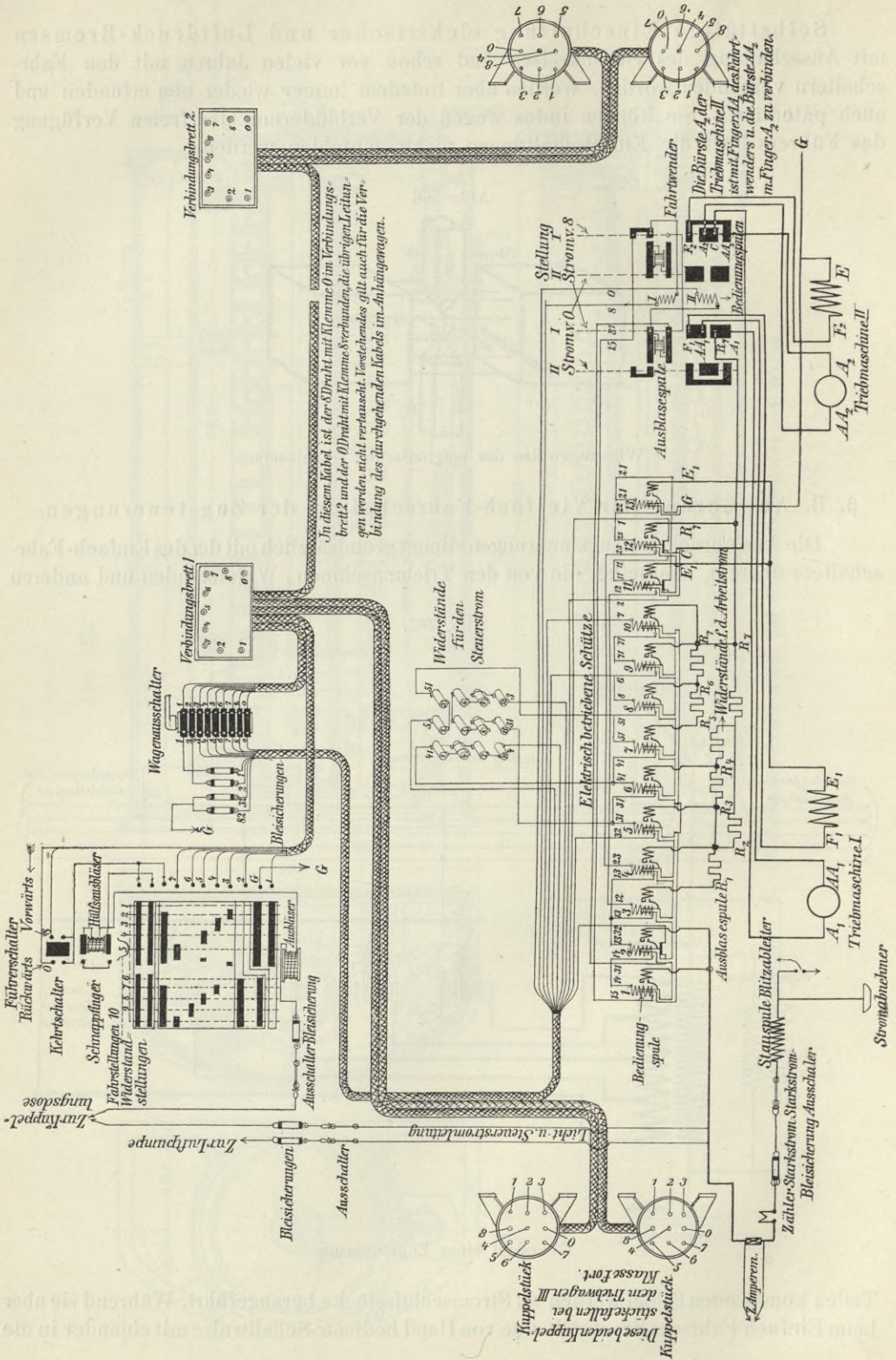
β. B. Ausführung der Vielfach-Fahrschalter, der Zugsteuerungen.

Die Ausführung der Zugsteuerungen stimmt grundsätzlich mit der des Einfach-Fahrschalters überein, das heißt, die von den Triebmaschinen, Widerständen und anderen



Übersicht einer Zugsteuerung.

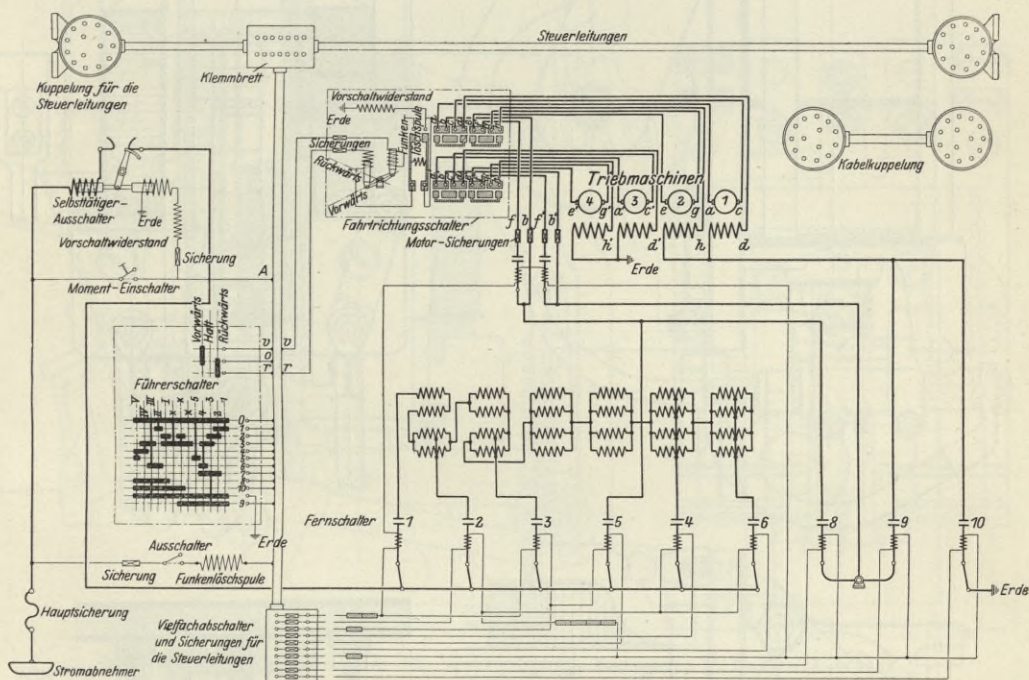
Teilen kommenden Kabel werden an Stromschlußstücke herangeführt. Während sie aber beim Einfach-Fahrschalter durch eine von Hand bediente Schaltwalze mit einander in die



Schaltbild einer Zugsteuerung für Gleichstrom, Berlin-Großlichterfelde-Ost, General Electric Co.

den Schaltstufen entsprechenden Verbindungen gebracht werden, geschieht das bei den Vielfach-Fahrschaltern mittels kleiner Einzelschalter, die durch Magnete oder Prefsluftzylinder bewegt werden. Man kann deshalb diese Einzelschalter an einer beliebigen Stelle des Wagens anordnen und auch mehrere von einander unabhängige Wagen hinter einander stellen, und die Einzelschalter von einem einzigen Führerstande des Zuges aus mittels dünner Hilfsleitungen elektromagnetisch zur Wirkung bringen. Diese zuerst 1897 von Sprague und Hill angegebenen Zugsteuerungen, „multiple uni control“, erfordern im Zuge also nur einige schwache durchgehende Hilfsleitungen an die neben einander sowohl die Einzelschaltergruppen jedes Wagens, als auch die Vorrichtungen angeschlossen sind, die elektrische Ströme in die Hilfsleitungen schicken (Textabb. 767). Von diesen Vorrichtungen arbeitet dann immer nur die

Abb. 769.



Schalbild der Zugsteuerung der Hoch- und Untergrund-Bahn in Berlin, Siemens-Schuckert-Werke.

am besetzten Führerstande, während die andern ausgeschaltet bleiben. Die Einzelschaltergruppen arbeiten alle, doch läßt sich die Gruppe eines etwa beschädigten Triebwagens im Zuge leicht ausschalten, ohne daß die übrigen dadurch beeinflusst würden.

Der Hauptvorteil dieser Zugsteuerungen besteht in der Unabhängigkeit der als selbständige Einheiten in beliebiger Anzahl zu einem Zuge zusammengesetzten Triebwagen von einander. Es ist durch sie überhaupt erst möglich geworden, schwere Züge aus einzelnen Triebwagen zu bilden, da die unmittelbare Regelung solcher Züge mittels eines Einzelschalters, wie frühere Ausführungen dargetan haben, in der Anlage und im Betriebe zu schweren Bedenken führen.

Textabb. 767 stellt in einfachen Linien die Schaltung einer Zugsteuerung für

Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschinen mit Spannungsregelung dar. Die Erregung der Magnete 1, 2, 3, 4 der Einzelschalter erfolgt mittels der durchgehenden Hilfsleitungen von einem kleinen Führerschalter, „master controller“, „Meisterwalze“, aus, der den Einfachschaltern der Strafsenbahnen gleicht, mit dem Unterschiede, daß er nicht die Hauptströme, sondern die diese regelnden Hilfströme regelt.

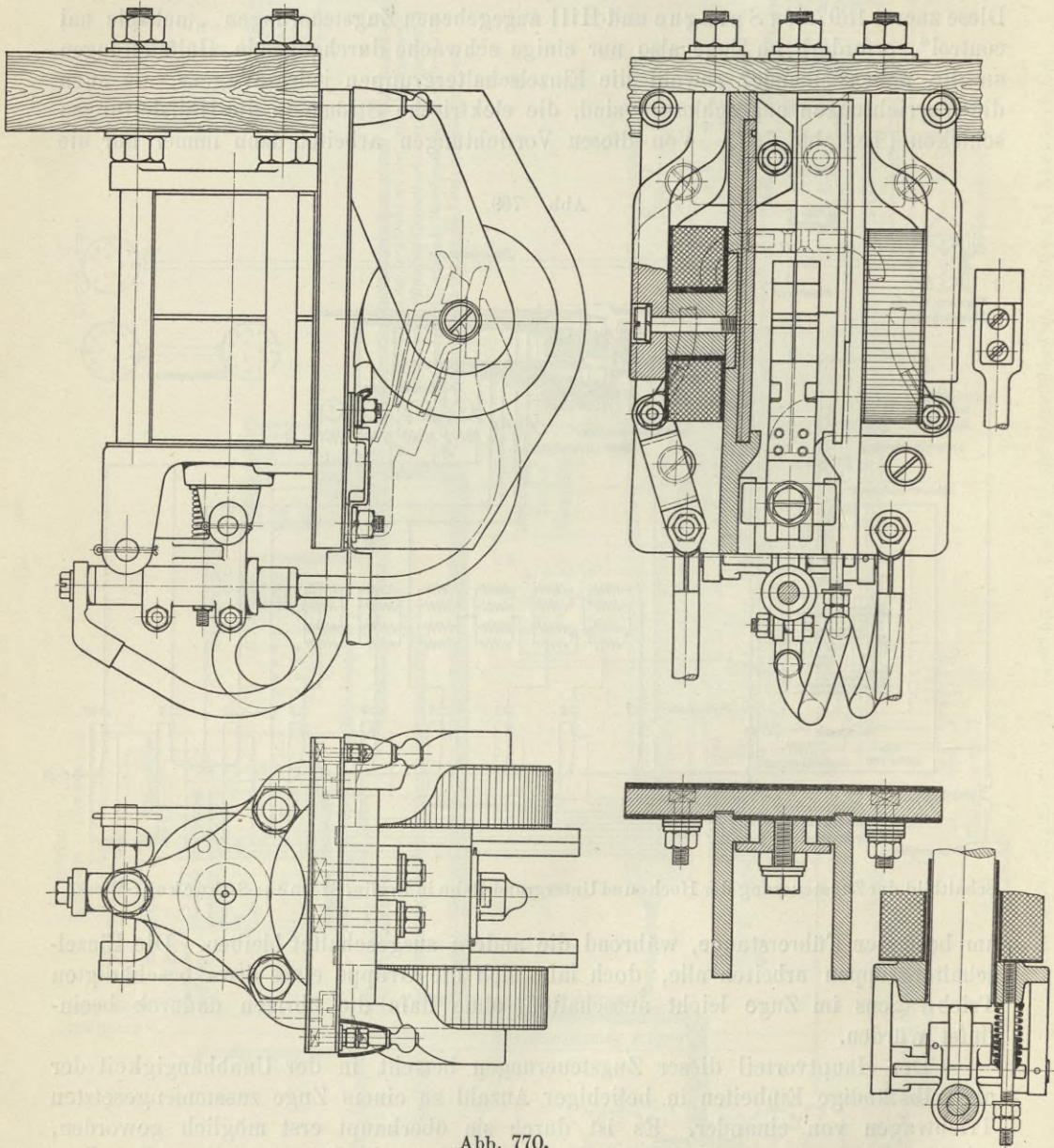


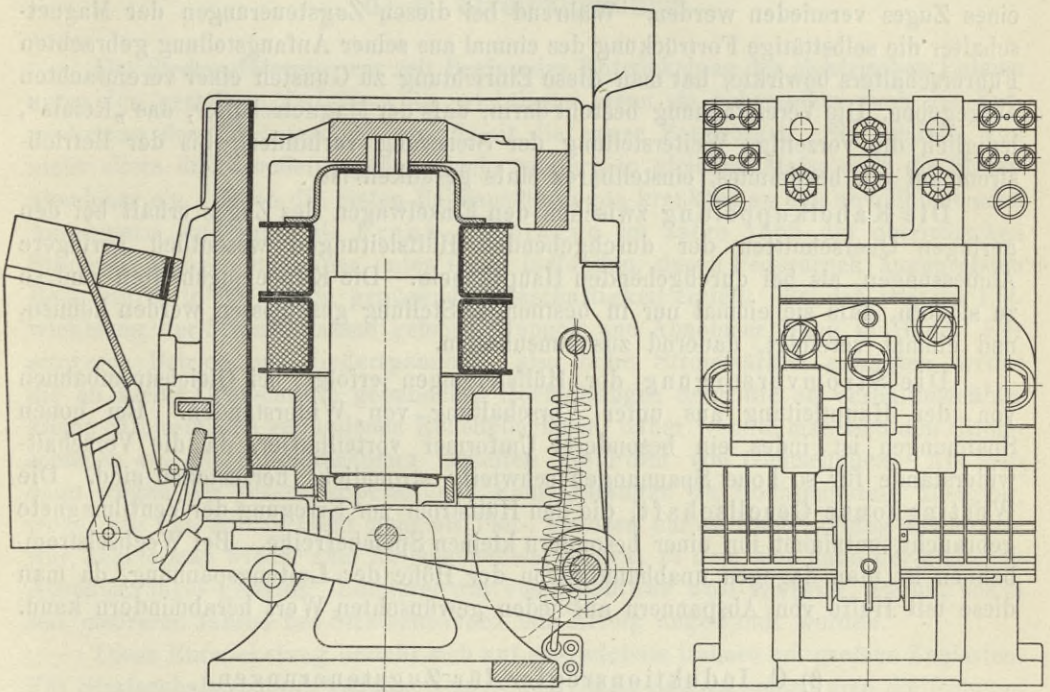
Abb. 770.

Mafsstab 2 : 9. Einzelschalter für Gleichstrom, Siemens-Schuckert-Werke.

In Textabb. 768 und 769 sind zwei vollständige Schaltpläne von Zugsteuerungen für Gleich- und Wechsel-Strom dargestellt. An Einzelteilen sind noch folgende anzuführen.

Der Einzelschalter, „Hüpfswitch, Gruppenschalter, Schütz, contactor“, hat den Stromschluss zwischen zwei Hauptkabeln zu bewirken. Man benutzt zur Bewegung des Schalthebels einen Magneten oder Preßluftzylinder mit magnetisch gesteuertem Ventile, so Westinghouse. Textabb. 770 und 771 stellen Magnet-Schalter der Siemens-Schuckert-Werke für Gleichstrom und Wechselstrom dar. Wie an den Einfachschaltern der Strafsenbahnen, so werden auch hier die Ausschaltlichtbogen durch Blasmagnete (Textabb. 766) gelöscht. Die Einzelschalter werden gruppenweise in eisernen, mit Asbest bekleideten Kästen vereinigt und am Wagenrahmen derart aufgehängt, daß sie nach Öffnung der Kastenklappen leicht besichtigt werden können.

Abb. 771.



Maßstab 2:9. Einzelschalter für Wechselstrom, Siemens-Schuckert-Werke.

Der Fahrrichtungschalter wird gleichfalls mittels eines Magneten oder Preßluftzylinders bedient und besteht meist aus einer kurzen Walze mit zwei Belagereihen von Stromschlußplatten, auf denen die zu den umzuschaltenden Klemmen der Triebmaschinen führenden Bürsten schleifen. Auch die zur Drehung dieses Schalters dienenden Hülfsströme werden vom Führerschalter aus, und zwar mittels einer besondern kleinen Walze geregelt (Textabb. 768 und 769).

Der Führerschalter hat den von den Strafsenbahnschaltern her bekannten Aufbau. Da er indes nur die schwachen Hülfsströme regelt, sind seine Abmessungen wesentlich kleiner. Bemerkenswert sind bei diesen Schaltern die nach amerikanischem Muster gebauten Schaltkurbeln mit besonderm Druckschalter im Handgriffe, der überhaupt erst den Übergang des Leitungstromes in die Steuerung ermöglicht, und vom Führer mit demselben Handgriffe niedergehalten wird, der auch die Kurbel dreht.

Sollte deshalb der Führer aus irgend einem Grunde seine Hand von der Schaltkurbel zurückziehen, so öffnet sich dieser besondere Schalter, und die Zugsteuerung wird stromlos. Hiermit lassen sich auch Vorrichtungen zu gleichzeitiger Einschaltung der Zugbremse vereinigen (S. 703).

Der Magnetschalter, das „Relais“, bildet eine Eigenheit der ursprünglichen Zugsteuerung von Sprague und ist in der einen oder andern Form auch bei den Steuerungen der „Sprague-General Electric Co.“ beibehalten worden. Seine Wirkungsweise besteht darin, daß er die weitere Drehung der Führerkurbel von einer Stufe auf die nächstfolgende selbsttätig bewirkt, wenn der Anfangstrom der betreffenden Schaltstufe auf ein bestimmtes Maß zurückgegangen ist (J_2 in Textabb. 756), wodurch das zu schnelle Einschalten, Anfahren und Beschleunigen eines Zuges vermieden werden. Während bei diesen Zugsteuerungen der Magnetschalter die selbsttätige Fortrückung des einmal aus seiner Anfangstellung gebrachten Führerschalters bewirkte, hat man diese Einrichtung zu Gunsten einer vereinfachten aufgegeben. Die Vereinfachung besteht darin, daß der Magnetschalter, das „Relais“, lediglich die vorzeitige Weiterstellung der Steuerung verhindert, bis der Betriebsstrom auf ein bestimmtes, einstellbares Maß gesunken ist.

Die Kabelkuppelung zwischen den Einzelwagen des Zuges erhält bei den geringen Querschnitten der durchgehenden Hilfsleitungen wesentlich geringere Abmessungen, als bei durchgehenden Hauptkabeln. Die Kuppelungshälften sind so zu sichern, daß sie einmal nur in bestimmter Stellung geschlossen werden können, und einmal vereinigt, dauernd zusammenhalten.

Die Stromversorgung der Hilfsleitungen erfolgt bei Gleichstrombahnen von der Hauptleitung aus unter Vorschaltung von Widerständen. Bei hohen Spannungen ist indes ein besonderer Umformer vorteilhafter, da die Vorschaltwiderstände für so hohe Spannungen schwierig stromdicht herzustellen sind. Die Westinghouse-Gesellschaft, die den Hülfsstrom zur Erregung der Ventilmagnete gebraucht, entnimmt ihn einer besondern kleinen Speicherreihe. Bei Wechselstrombahnen ist man dagegen unabhängig von der Höhe der Leitungsspannung, da man diese mit Hilfe von Abspannern auf jeden gewünschten Wert herabmindern kann.

β) C. Induktionsregler für Zugsteuerungen.

Die Abstufungen der den Triebmaschinen zugeführten Spannungen mittels Unterteilung der Niederspannungsseite der Abspannerwicklung sind immer an eine gewisse Stufenzahl gebunden. Zu weit gehende Unterteilung hat eine recht unvorteilhafte Erhöhung der Zahl der Einzelschalter zur Folge, zu grobe Unterteilung aber unsanftes Anfahren. Diese Einzelschalter sind nun bei Wechselstrom an sich schon eine mißliche Beigabe der Zugsteuerung, da sie im Betriebe starkes Feuern und Geräusch verursachen. Auf der andern Seite ist aber eine feine Regelung aus Betriebsrücksichten erwünscht. Man kann nun diesen Übelständen durch Verwendung von sogenannten Induktionsreglern aus dem Wege gehen.

Der Induktionsregler ist ein Ab- und Aufspanner, dessen beide Induktionsteile gegen einander verschoben werden können. Schaltet man den beeinflussten dem beeinflussenden entgegen, so ergibt sich Spannungserniedrigung, schaltet man ihn in demselben Sinne, so entsteht Spannungserhöhung. Durch Verstellung der Induktionsteile gegen einander ergibt sich jeder gewünschte Zwischenwert. Dieser

Regler läßt sich mit einem Hauptabspanner derart verbinden, daß man einige wenige Spannungstufen des letztern durch den Regler in der angegebenen Weise zu einer Spannungsreihe von beliebig feiner Abstufung ausbildet. Die Induktionsregler werden zweckmäßig in der Form von gewöhnlichen Einwellen-Wechselstrommaschinen ausgeführt, also mit zylindrisch geformtem Ständer und Läufer, die in irgend einer Weise, etwa mittels Schnecke und Schneckenrad gegen einander verdreht werden können ²¹⁹⁾.

b) 6. Stromabnehmer.

Die Stromzuführung war seit Beginn der Entwicklung der elektrischen Bahnen unter den gestellten Aufgaben die wichtigste, denn sie beherrschte auch die Entwicklung der Triebmaschine und damit die ganze Betriebsart. Sie schließt nun nicht allein die Stromleitungen an sich, sondern in gleichem Maße auch die Stromabnehmer ein. Schon die ersten Bahnausführungen krankten an den unvollkommenen Abnehmern, und erst, als Frank J. Sprague im Jahre 1885 die oberirdischen Stromzuführungen mit einer unter ihnen laufenden, durch Federdruck angepressten Rolle einführte ²²⁰⁾, wurde genügende Dauerhaftigkeit erzielt. Bei der weiteren Entwicklung der Stromabnahme gehen Leitungen und Abnehmer Hand in Hand. Für schweren Betrieb mit Niederspannung, also hohe Stromstärken genügten weder die an kleine Querschnitte gebundenen Hochleitungen noch die an verhältnismäßig kleine Stromstärken gebundenen Rollenabnehmer, daher wandte man sich den Stromschienen zu, die Stromabnehmer erhielten die Form von Gleitschubern. Als man dann wegen der teureren Speise- und Fahr-Leitungen zu Hochspannung überging, wobei die Fahrleitung nicht mehr als Tief-, sondern nur als Hoch-Leitung ausführbar war, kehrte man wieder zum Rollenabnehmer zurück, zu dem sich dann der gleitende Abnehmerbügel gesellte. Letzterer war von Siemens und Halske, Berlin, schon seit mehreren Jahren bei Straßenbahnen mit Erfolg angewandt worden.

Diese Entwicklung bezieht sich auf ausgedehnte Bahnen mit großen Zuglasten. Für Straßenbahnen und kleinere Neben- und Haupt-Bahnen behielt man die früheren Formen für Leitung und Abnehmer bei.

6) a. Der einfache Rollen-Stromabnehmer.

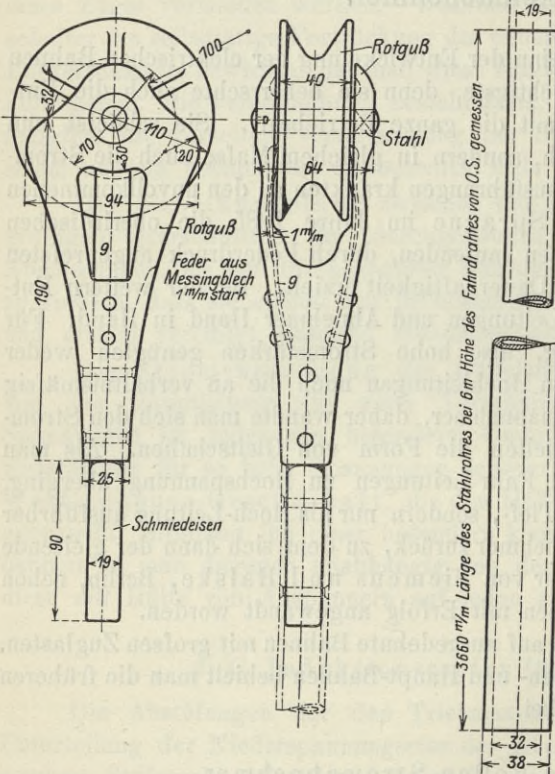
Der einfache Rollen-Stromabnehmer wird bei Straßenbahnen allgemein benutzt, findet aber auch bei hohen und sehr hohen Fahrgeschwindigkeiten in den Vereinigten Staaten von Nordamerika Verwendung, beispielsweise auf der mit hochgespanntem Gleichstrom betriebenen Linie Washington-Baltimore-Annapolis bei 110 km/St. Fahrgeschwindigkeit. Während die Bewegung der Rolle an dem Drahte bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten eine rein abwälzende ist, gesellt sich bei hohen Fahrgeschwindigkeiten eine schleifende hinzu. Je höher die Fahrgeschwindigkeit ist, um so mehr machen sich wegen der Unebenheiten des

²¹⁹⁾ Elektrotechnische Zeitschrift 1910, S. 286.

²²⁰⁾ Wie Sprague dem Verfasser mitteilte, wurde dieser Stromabnehmer nach den älteren Ausführungen in Form kleiner auf einer Doppelleitung rollenden Laufkatzen, „trolley“ genannt.

Fahrdrahtes, besonders an den Aufhängepunkten, die Masse des Stangenkopfes und die unruhige Bewegung der Fahrzeuge störend geltend, umso mehr ist also dafür zu sorgen, daß die Masse des Stangenkopfes vermindert, und die Ruhe der Fahrt des Wagens erhöht werde. Textabb. 772 stellt den Stangenkopf eines gewöhnlichen Rollenstromabnehmers dar. Die Rolle wird aus Bronze hergestellt und läuft in einer aus geprefstem Bleche oder Bronzeguß hergestellten Gabel, in die die stählerne Achse fest eingesetzt ist. Die Schmierung der Rolle wird meist mittels schraubenförmiger Nuten in ihrer Bohrung bewirkt, die mit Graphitfett ausgefüllt sind. An den beiden Stirnseiten der Rolle pflegt man eine ringförmig ausgeschnittene Feder aus Kupfer- oder Messing-Blech anzubringen, um den Stromübergang zwischen Rolle und Gabel an der die Feder befestigt ist, zu erleichtern.

Abb. 772.



Maßstab 1:4. Stangenkopf eines Rollen-Stromabnehmers.

gebildet und zu mehreren neben einander angeordnet. Die untere Gabel des Stangenendes wird derartig mit den Federn verbunden, daß die Rolle bei allen Schräglagen der Stange mit annähernd unveränderlichem Drucke von 4 bis 5 kg an den Fahrdraht geprefst wird.

Bei Wechsel der Fahrriichtung muß dieser Abnehmer von Hand umgelegt werden, wozu eine übrigens auch zum Anlegen der Stange erforderliche Zugleine dient. Um bei Entgleisungen des Abnehmers vom Fahrdrahte ein Aufrichten und allseitiges Ausschlagen der gefederten Stange zu verhüten, bringt man an den Brüstungen der Endbühnen Rollenfänger an, in denen eine starke schneckenförmig gewundene Blattfeder durch den heftigen Ruck plötzlich ausgelöst wird und dann die Stange unter Fahrdrahthöhe herabzieht.

Die Stange des Stromabnehmers besteht aus einem gezogenen Stahlrohre von 2 bis 4 mm Stärke und 25 bis 45 mm äußerem Durchmesser (Textabb. 772). Schwächere Rohre oder wohl gar Bambusrohre, die man früher gleichfalls versuchsweise benutzte, halten die bei Entgleisungen auftretenden heftigen Stöße nicht aus. Das Überziehen der Rohre mit nicht leitendem Stoffe, die eine gleichzeitige metallische Berührung des Fahrdrahtes und etwaiger Schwachstromdrähte verhüten soll, ist teuer und erfüllt den Zweck nicht.

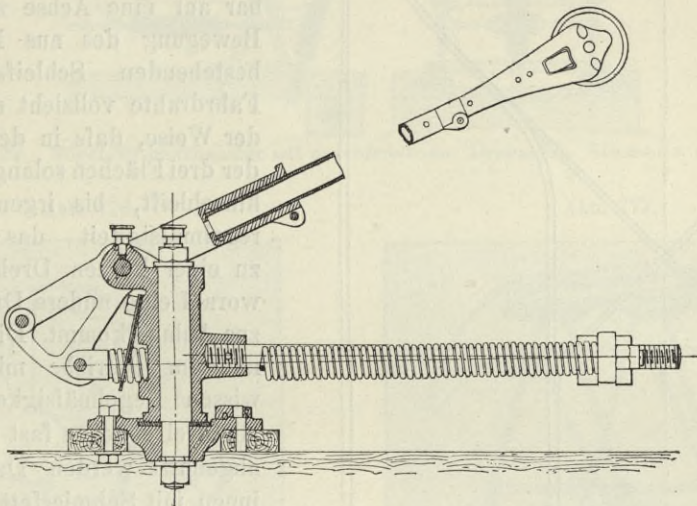
Die Stange wird von einem Federbocke gegen den Fahrdraht geprefst (Textabb. 773). Die Federn werden als Schraubenfedern aus-

Vorrichtungen, die das Ablaufen der Rolle vom Fahrdrahte verhindern sollen, sind zu hunderten erfunden und werden immer neu patentiert, doch hat sich bis heute keine von ihnen bewährt. Das beste Mittel gegen Entgleisungen besteht in der guten Verlegung und Nachregelung des Fahrdrahtes, sowie in der Sorge für stofsfreie und ruhige Bewegung des Fahrzeuges. Bei gröfseren Schwankungen des Wagens können Entgleisungen des Abnehmers selbst auf gerader Strecke eintreten.

6) β . Der einfache Bügel-Stromabnehmer.

Um Entgleisungen des Abnehmers mit Sicherheit zu verhindern, und einfachere Ausbildung des Leitungsnetzes zu ermöglichen, haben Siemens und Halske die Stromabnehmer mit Querleitern in Form von Schleifbügeln ausgebildet und damit gute Erfolge erzielt. Hierbei mufs der Fahrdraht zwischen den Aufhänge-

Abb. 773.



Mafsstab 1 : 10. Federbock eines Stromabnehmers, Schuckert.

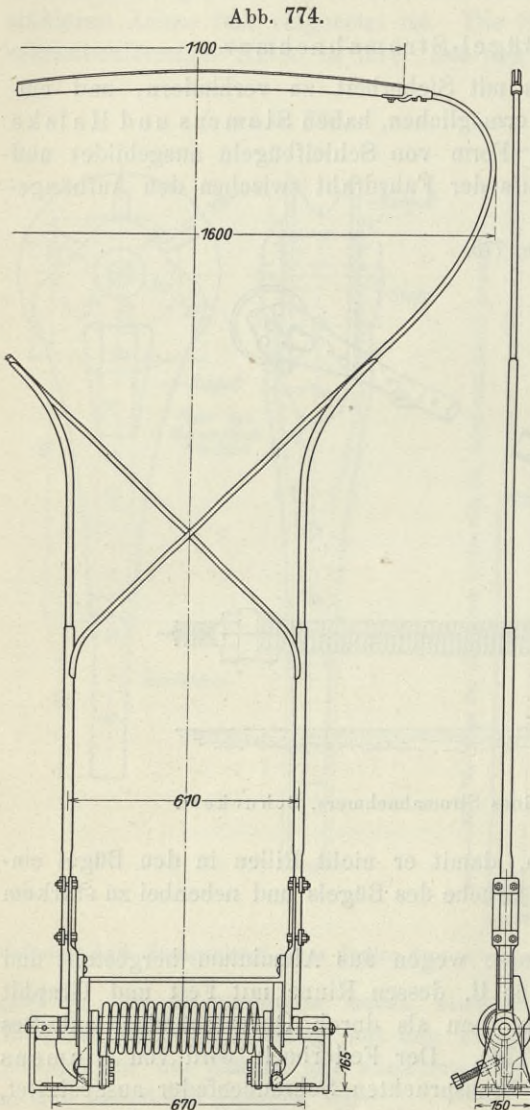
punkten im Zickzack gespannt werden, damit er nicht Rillen in den Bügel einschleift, denn solche führen schnell zum Bruche des Bügels und nebenbei zu starkem Feuern des Bügels am Fahrdrahte.

Der Bügel wird der geringen Masse wegen aus Aluminium hergestellt und erhält die Form eines nach oben offenen U, dessen Rinne mit Fett und Graphit ausgefüllt wird. Den Bügelträger bildet man als durch Querverbände versteiftes Gestell aus Stahlrohren aus (Textabb. 774). Der Federbock wird von Siemens und Halske mit einer auf Drehung beanspruchten Schraubenfeder ausgestattet, deren Enden vom Stangenfufse in der einen und andern Richtung mitgenommen werden können. Auf diese Weise kommt man für beide Fahrrichtungen mit einer einzigen Feder aus, wobei der Bügel selbsttätig von der einen Lage in die andere übergeht, sofern er nicht zu schräg am Fahrdrahte anliegt; hierin besteht ein weiterer Vorteil des Bügels gegenüber der Rolle. Diese Vorzüge machen ihn besonders für Bahnen mit hoher Fahrgeschwindigkeit geeignet. Textabb. 775 stellt einen Stromabnehmer derselben Bauanstalt dar, der mittels Durchfederung

für selbsttätige Umkehr eingerichtet ist, die bei dem gewöhnlichen Bügel nur an bestimmten Stellen der Fahrleitung eintritt. Während man sich in den Vereinigten Staaten bisher ablehnend gegen den Bügel verhielt, hat man ihn bei elektrischen Hauptbahnen heute schon vielfach in Benutzung genommen.

Der Bügel nutzt trotz der schleifenden Bewegung den Fahrdraht weniger ab, als die Rolle, da sich in letzterer schnell eine schmale Rille bildet, deren Wände den Fahrdraht insbesondere an Krümmungen seitlich stark angreifen.

Eine besondere Ausbildung geben Brown, Boveri und Co. dem Schleifstücke, indem sie es als dreikantig geprefstes Rohr drehbar auf eine Achse setzen. Die Bewegung des aus Messingblech bestehenden Schleifstückes am Fahrdrahte vollzieht sich dann in der Weise, daß in der Regel eine der drei Flächen solange am Drahte hinschleift, bis irgend eine Unregelmäßigkeit das Querstück zu einer kurzen Drehung bringt, worauf eine andere Dreiecksfläche zur Anlage kommt. Dies geschieht nun im Betriebe mit einer gewissen Regelmäßigkeit, so daß alle drei Flächen fast gleichmäßig abgenutzt werden. Das Rohr wird innen mit Schmierfett und Graphit gefüllt, für dessen Austreten man in den Flächen schmale streifenförmige Öffnungen anbringt. Eine besondere Ausbildung erhielt der in Textabb. 776 dargestellte Bügelträger. Er besteht zunächst aus der bekannten Schere, doch ist das Schleifstück mit den seitlichen Hörnern als besonderes Stück ausgeführt, im obern Gelenke der Schere gelagert und durch die Hebel *a* annähernd gerade geführt.



Mafsstab 1:20. Umlegbarer Bügel-Stromabnehmer mit einer Feder, Siemens und Halske.

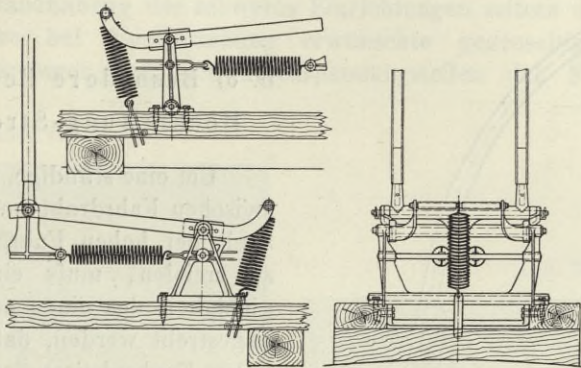
Besser ist indes hebel förmige, freie Lagerung des obern Rahmens.

6) γ. Einfache Walzen-Stromabnehmer.

Eine Zwischenstufe zwischen Rolle und Bügel bildet die Walze. Man wandte sie, von einigen Fällen im Strafsenbahnbetriebe der Vereinigten Staaten abgesehen,

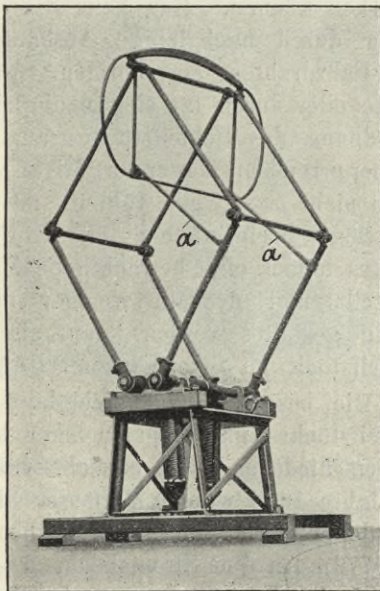
hauptsächlich bei Grubenlokomotiven an. Textabb. 777 stellt einen solchen Abnehmer dar, den Verfasser Mitte der neunziger Jahre in Verbindung mit aus \perp -förmig gebildeten eisernen Fahrleitungen bei einigen Grubenbahnen ausführte. Die seitlichen Hörner *b* werden hierbei durch den Hebel *a* annähernd gerade geführt, die Zahnräder *c* bewirken senkrechtes Aufsteigen der Walze. Der Auftrieb erfolgt durch Schraubenfedern, die am Zugbände *d* angreifen.

Abb. 775.



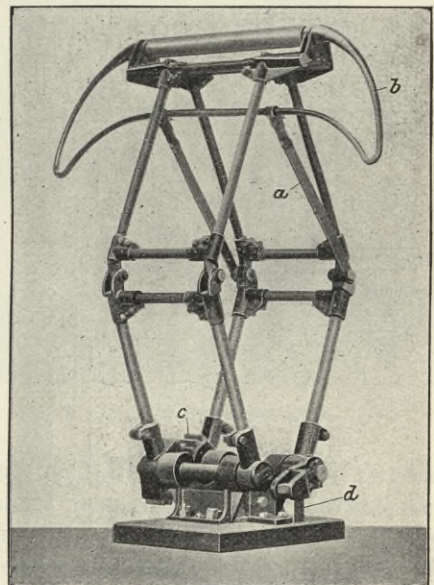
Mafsstab 1:20. Bügel-Stromabnehmer mit durchfedernder Drehachse, Siemens und Halske.

Abb. 776.



Bügel-Stromabnehmer mit gerade geführtem Bügel für kleine Lokomotiven.

Abb. 777.



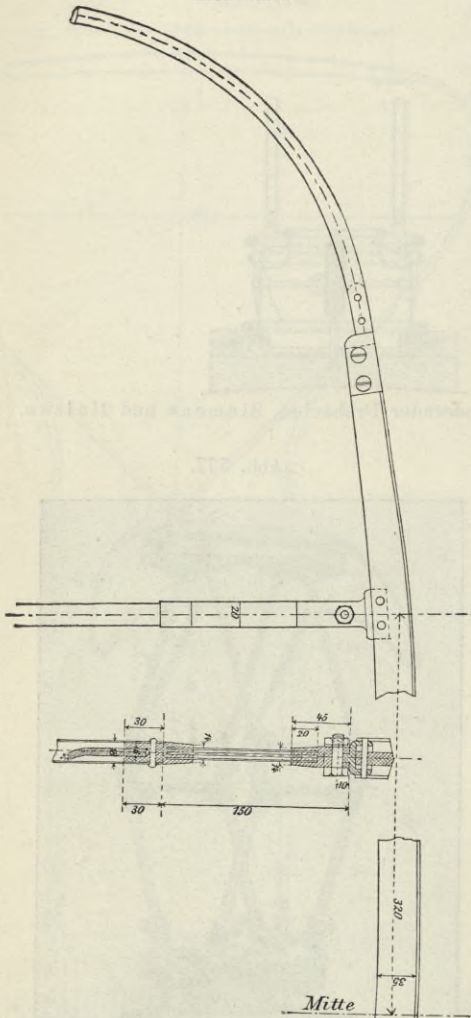
Umkehr-Stromabnehmer mit Walze.

Die Walze ist im Vergleiche mit der Rolle und dem einfachen Schleifbügel zu massig, daher nur bei geringen Fahrgeschwindigkeiten zu verwenden. Einen Vorteil gegen Bügel und Rolle besitzt sie indes nicht.

Eine bemerkenswerte Verwendung des Walzenstromabnehmers zeigen die von Eisenbahn-Technik der Gegenwart IV.

Ganz und Co. ausgeführten Fahrzeuge der Veltlin-Bahn. Da es sich hier um eine zweipolige Drehstrom-Hochleitung handelt, mußte die Walze zweiteilig mit stromdicht getrennten Hälften ausgeführt werden, was ihre Masse weiter erhöhte. Auch dieser Stromabnehmer erfordert eine im Zickzack gespannte Fahrleitung und arbeitet nur in einer Fahrrichtung, für die andere hat man auf den Fahrzeugen besondere, entgegengesetzt geneigte Abnehmer angeordnet; bei jeder Fahrrichtung liegt nur einer an der Fahrleitung.

Abb. 778.



Mafsstab 1:6. Schleifbügel mit doppelter Federung.

6. δ) Besondere Bedingungen für Hochleitung-Stromabnehmer.

Um eine ständige, innige Berührung zwischen Fahrdraht und Stromabnehmer auch bei hohen Fahrgeschwindigkeiten zu erzielen, muß eine solche Nachgiebigkeit des einen oder andern Teiles angestrebt werden, daß die unvermeidlichen Unebenheiten der Fahrdraht-Lauffläche, sowie unstete Bewegungen des Fahrzeuges keine Trennung beider Teile bewirken können. Man kann dies entweder durch nachgiebige Aufhängung des Fahrdrahtes am übrigen Spannerwerke oder durch für sich nachgiebige Anordnung des Schleifstückes am Abnehmer erreichen. Das erstere Mittel wird allein nicht zum Ziele führen, da das vom Bügel beeinflusste Stück des Fahrdrahtes immer eine beträchtliche Masse darstellt und deshalb weniger nachgiebig gestaltet werden kann, als das Schleifstück im Stromabnehmergestelle.

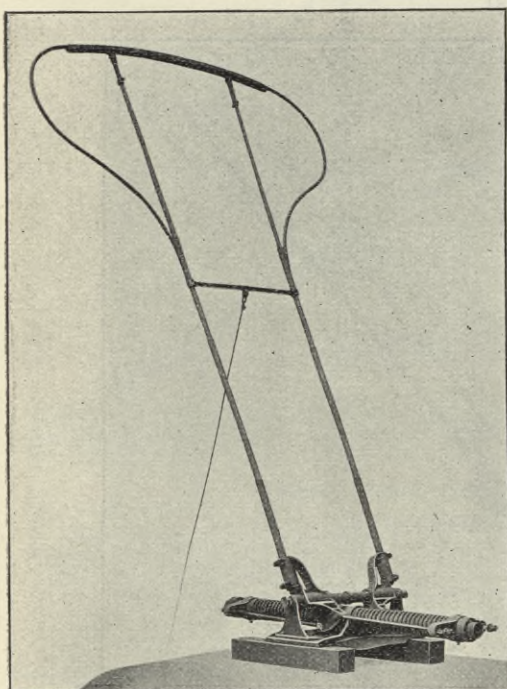
Die besondere Nachgiebigkeit des Schleifstückes im Stromabnehmer kann in verschiedener Weise erreicht werden. Im Jahre 1896 wandte Verfasser hierzu eine doppelte Federung an (Textabb. 778 und 779). An den Stromabnehmern der Wagen der Schnellbahnversuche Berlin-Zossen wurde mit dieser mehrfachen Feder-

ung eine große Nachgiebigkeit des an sich überaus leichten Schleifstückes erreicht, so daß bei einer Fahrgeschwindigkeit von 200 km/St tatsächlich eine funkenfreie Stromabnahme an der übrigens von der Seite her bestrichenen Leitung erzielt wurde. Eine zweite Ausführungsform besteht in der ausschwingbaren Anordnung des Schleifbügels im Abnehmergestelle. Diese Ausführungsart hat bei Fahrzeugen für Haupt-

bahnen weite Anwendung gefunden²²¹⁾. Bei selbsttätiger Umkehr des Bügels ist darauf zu achten, daß der kurze Doppel-Hebel, der den Bügel trägt, nicht zu steil am Fahrdrachte steht, damit kleine Drehwinkel und Massenbeschleunigungen schon die erforderliche senkrechte Ausweichung des Schleifpunktes herbeiführen.

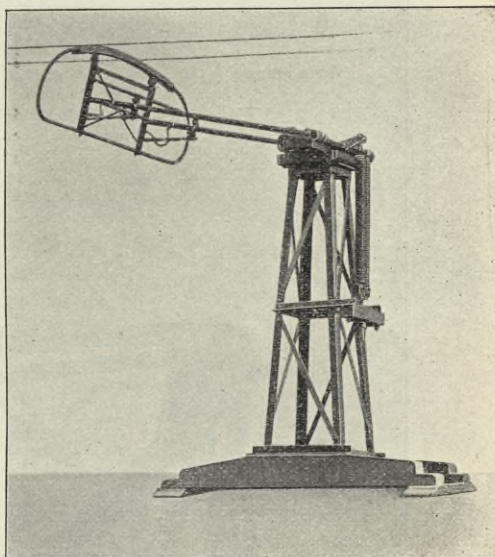
Die zum Aufrichten oder Niederlegen der Stromabnehmer bei Hauptbahnen erforderlichen Vorrichtungen werden heute nach dem von Ganz und Co. bei der Veltlin-Bahn getroffenen Verfahren stets für Preßluft gebaut. Dieses Mittel ermöglicht leichte Handhabung der schweren Einrichtungen seitens des Wagenführers und nebenbei eine bei Hochspannung erwünschte gegenseitige Abhängigkeit zwischen Stromabnehmer und den Hochspannungsteilen des Fahrzeuges. Die

Abb. 779.



Bügel-Stromabnehmer mit doppelter Federung.

Abb. 780.



Umkehr-Bügelabnehmer.

Preßluftseite des Zylinders der Stromabnehmer beispielsweise wird in Verbindung mit der Verriegelung der Hochspannungskammer gebracht, so daß letztere nicht geöffnet werden kann, solange die Abnehmer durch Preßluft angelegt sind, und anderseits erst geschlossen werden muß, bevor man Preßluft in den Abnehmerzylinder gelangen lassen kann.

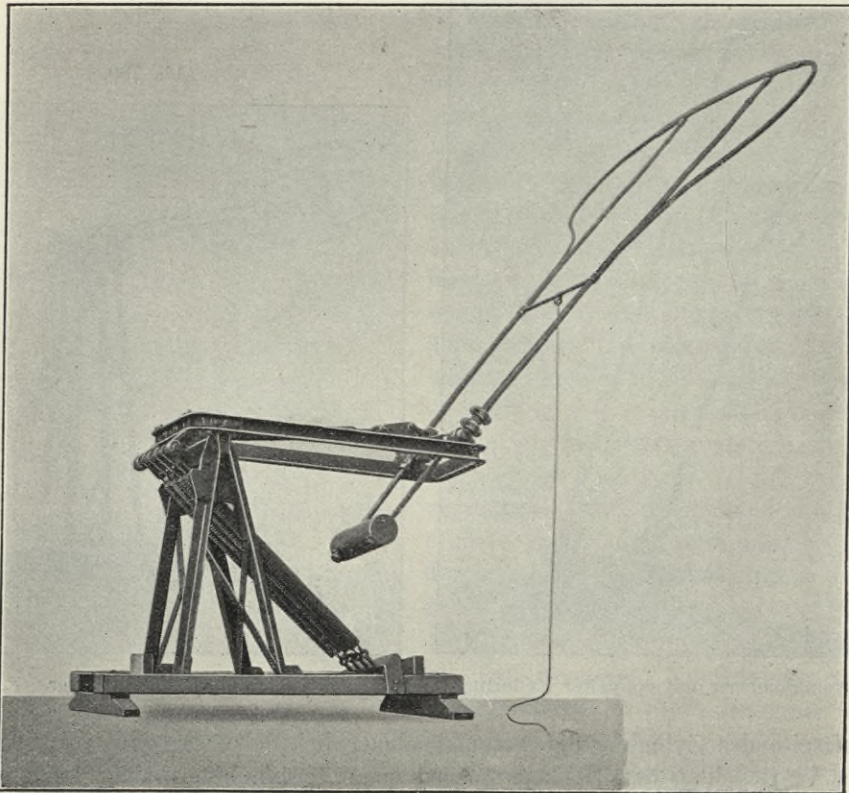
Der Antrieb der Neben- und Haupt-Bahnen sowie auch aller Verschiebe- und Anschluß-Bahnen läßt keine besondere Beaufsichtigung und Bedienung der Stromabnehmer seitens des Zugführers zu. Für sie können deshalb nur Abnehmer Verwendung finden, die in beiden Fahrrichtungen arbeiten, ohne daß eine, wenn auch selbsttätige, die Stromabnahme unterbrechende Umlegung eintritt. Die bei Strafsen-

²²¹⁾ Vergleiche Textabb. 783 und die Lokomotiven Dessau-Bitterfeld.

bahnen üblichen, in ihrer ganzen Länge umlegbaren Bügelabnehmer sind also gleichfalls nicht verwendbar, da sie bei jedem Wechsel der Fahrriichtung erst nach längerem Ab- und Anschwingen zur Ruhe kommen.

Umkehr-Stromabnehmer sind zuerst 1889 an Grubenlokomotiven benutzt worden, wo die Umlegung des Abnehmers in der Regel unmöglich ist. Diese von der Thomson-Houston-Gesellschaft in Lynn angegebenen Abnehmer bestehen aus einem Parallelogramm-Gestelle, dessen beide Seiten durch Zahnräder oder auch kreuzweise belegte Bandscheiben zu gleichförmigen Bewegungen gezwungen werden, wodurch die senkrechte Bewegung des Schleifstückes oder der Walze gesichert wird. Eine Vervielfachung dieser Anordnung für große Höhenunterschiede zeigt Textabb. 782, doch ist diese wegen der Vielteiligkeit und Schwerfälligkeit recht ungünstig.

Abb. 781.

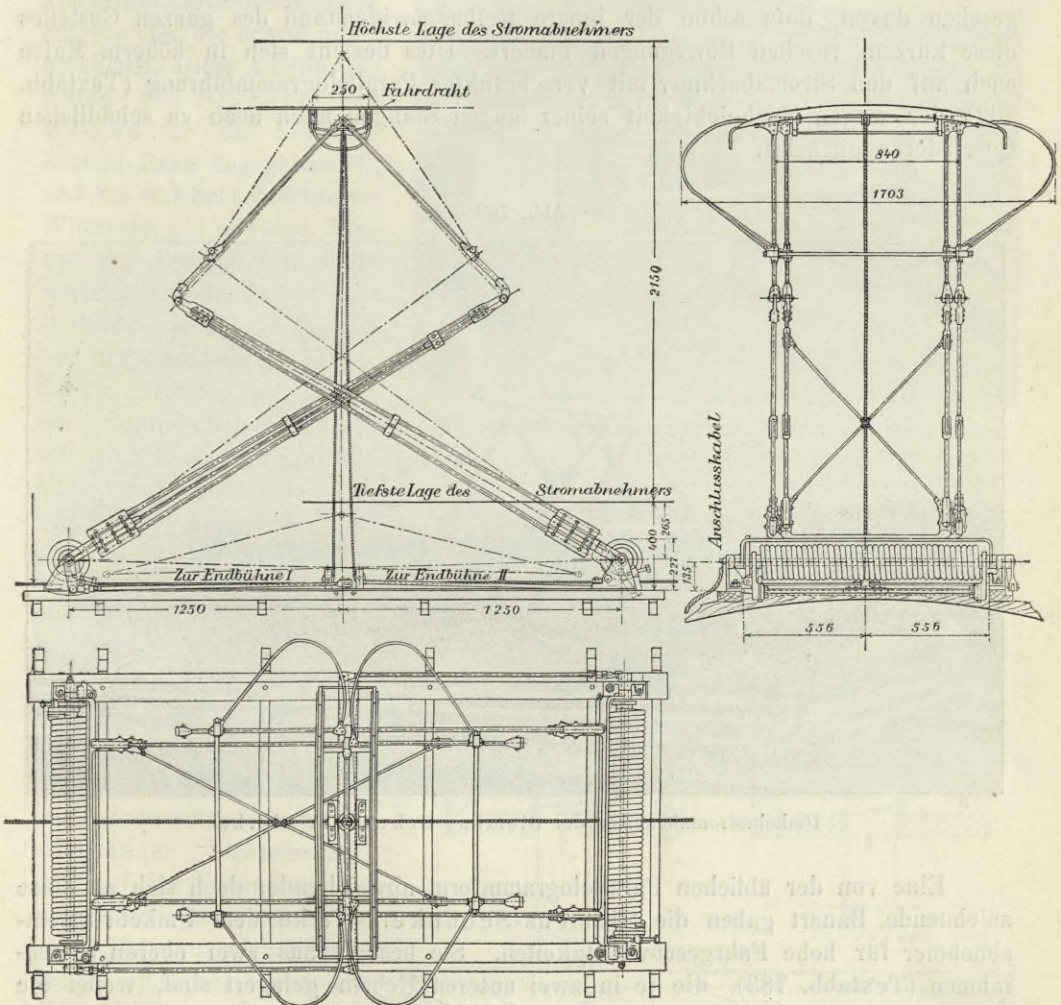


Umkehr-Bügelabnehmer mit Gewichtsausgleich.

Eine andere Form des Umkehr-Stromabnehmers wurde 1899 vom Verfasser bei einer Drehstromlokomotive verwendet. Der Abnehmer (Textabb. 780) besteht aus zwei Teilen, einem untern, in der gewöhnlichen Weise gefederten und von einem Anschlage in seiner höchsten Lage gehaltenen Gestelle, und einem in dessen Kopfe gelagerten zweiten Teile, der den eigentlichen Schleifbügel bildet. Das Verhältnis der Längen und Stärken der beiden Federgruppen muß hierbei die richtige Lage des obren Bügelgestelles am Fahrdrachte gewährleisten. Textabb. 781 zeigt einen

ähnlichen, für geringe Fahrgeschwindigkeiten bestimmten Umkehr-Stromabnehmer für Lokomotiven, bei dem aufser der entsprechenden Anordnung des obren Federpaares noch ein kleines Gegengewicht den Ausgleich des Bügelgewichtes zwecks Gleichhaltung des Fahrdratdruckes herbeiführt. Für hohe Fahrgeschwindigkeiten müssen die Bügel nach S. 714, ähnlich der in Textabb. 780 angegebenen Art, mit einem besondern Hebelpaare im Gestellkopfe gelagert werden.

Abb. 782.



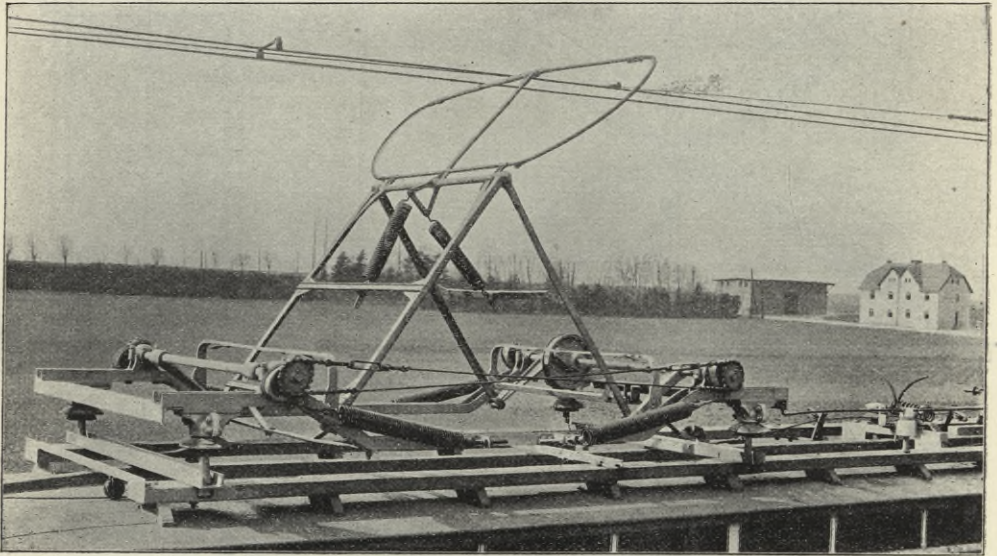
Mafsstab 1:34. Umkehr-Stromabnehmer mit doppelter Schere. Ältere Ausführung für die Zwischenstadtbahn Wien-Baden.

kleine Sonderbügel ein leichtes Umschlagen in die entgegengesetzte Lage ermöglicht, kann man ihn auch als Umkehr-Stromabnehmer verwenden, doch setzt diese Ausführung Kleinheit der Höhenunterschiede im Fahrdrathe voraus. Das eigentliche Abnehmergestell mufs dann durch Anschlag in seiner obren Lage gehalten werden (Textabb. 780). Besondere Beachtung erfordern bei dieser Bauart

die beiden Federungen des Abnehmers, von deren Verhältnis die richtige Stellung des obren Bügelgestelles abhängt.

Die von der Westinghouse-Gesellschaft für die Einwellen-Wechselstrom-Bahn Neuyork, Neuhaven und Hartford ausgeführten Stromabnehmer mit einfachem Parallelogramm-Gestelle besitzen an sich schon schwere Schleifstücke aus einer 105 mm breiten, 1,5 mm starken Eisenplatte, die überdies mit dem Abnehmergestelle unmittelbar, also nicht für sich ausschwingbar verbunden sind. Der massige Abnehmer vermag deshalb den Unebenheiten der Fahrbahn nicht zu folgen, abgesehen davon, dafs schon der innere Reibungswiderstand des ganzen Gestelles diese kurzen, raschen Bewegungen hindert. Dies bezieht sich in höherm Mafse auch auf den Stromabnehmer mit verschränkter Parallelogrammführung (Textabb. 782), der wegen Nachgiebigkeit seiner langen Stangen auch noch zu schädlichen Querfederungen neigt.

Abb. 783.



Umkehrstromabnehmer der Siemens-Schuckert-Werke.

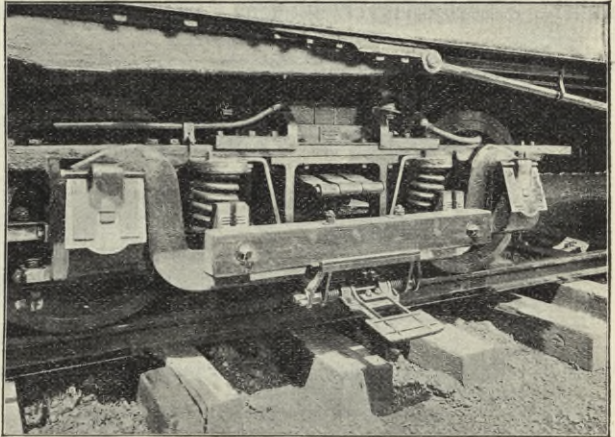
Eine von der üblichen Parallelogrammform abweichende, doch sich an diese anlehrende Bauart gaben die Siemens-Schuckert-Werke dem Umkehr-Stromabnehmer für hohe Fahrgeschwindigkeiten. Sie besteht aus zwei oberen Seitenrahmen (Textabb. 783), die je in zwei unteren Hebeln gelagert sind, wobei die letzteren durch kreuzweise belegte Kettenscheiben zu gleichförmigen Bewegungen gezwungen sind, so dafs das ganze Gestell senkrechte Bewegungen ausführen mufs. In der obren Drehachse des Gestelles ist der eigentliche, für sich ausschwingbare Schleifbügel gelagert. Die Erfahrungen mit diesem Abnehmer sind gute.

6. e) Stromabnehmer für die „dritte Schiene“.

Eine eigene Stellung unter den Stromabnehmern nehmen die Schleifschuhe der „dritten Schienen“ ein. Sie bestehen aus einem von seinem Gewichte oder

einem Federwerke an die Stromschiene geprefsten Schleifstücke, das die Schiene mit angemessenem beiderseitigem Überstande bedeckt. In Textabb. 784 ist dieser Abnehmer dargestellt. Während bei ihm ein volles gußeisernes, in zwei Laschen hängendes Schleifstück die von oben offene Stromschiene beschleift, ist der Schleifschuh bei einer andern Bauart für eine oben bedeckte, an niedrigen Böcken aufgehängte Stromschiene eingerichtet, die er von unten beschleift. Diese Ausführung wurde von Sprague und Wilgus für die Neuyork-Zentral-Bahn angegeben²²²), und hat sich bei schlechtester Witterung gut bewährt. Eine von der Pennsylvania-Bahn benutzte Anordnung hat eine stehende, jedoch oben und an der Außenseite abgedeckte Stromschiene, zu der der Schleifschuh an der offenen Innenseite mittels eines einarmigen Hebels geführt wird. Auch diese Bauart hat sich auf offener Strecke bewährt²²³).

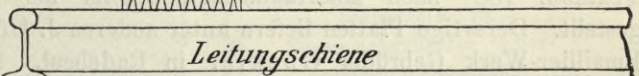
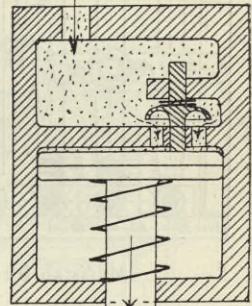
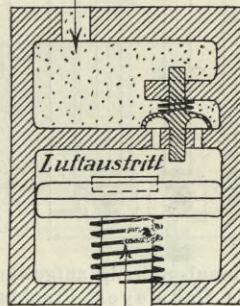
Abb. 784.



Stromabnehmer für eine dritte Schiene, Untergrundbahn in Neuyork.

Abb. 785.

Druckluft



Maßstab 1 : 15. Eiskratzer für Stromschiene mit Prefsluftbetrieb.

Zur Reinigung der offenen Stromschiene von Schnee und Eis hat man in den Vereinigten Staaten von Nordamerika mannigfache Vorrichtungen verwendet. Textabb. 785 stellt eine solche mit Prefsluftbetrieb dar. An Stelle des letztern hat man an anderen Stellen auch Flachfedern benutzt. Völlige Sicherheit bietet indes nur die oben erwähnte Abdeckung der Stromschiene.

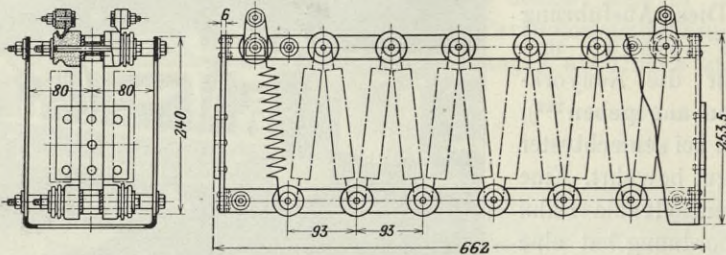
²²²) Glasers Annalen 1909 I, S. 266.²²³) Organ 1906, S. 129 und 237; 1904, S. 27.

b. 7) Sonstige elektrische Einrichtungen der Fahrzeuge.

7. α) Anfahrwiderstände.

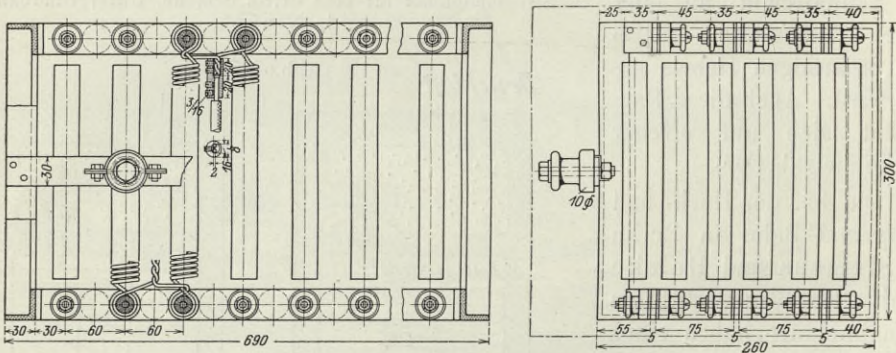
Die zur Erhöhung des Ohmschen Widerstandes des Stromkreises dienenden Widerstände bestehen aus metallischen Leitern hohen Widerstandes der Querschnittseinheit. Sie erhalten verschiedene Formen. Während sie nach Textabb. 786 und 787 als

Abb. 786.



Mafsstab 1:10. Schraubenförmig aufgewundener Anfahrwiderstand der Siemens-Schuckert-Werke.

Abb. 787.



Mafsstab 5:9. Schraubenförmig aufgewundener Anfahrwiderstand von Lahmeyer, Frankfurt a. M.

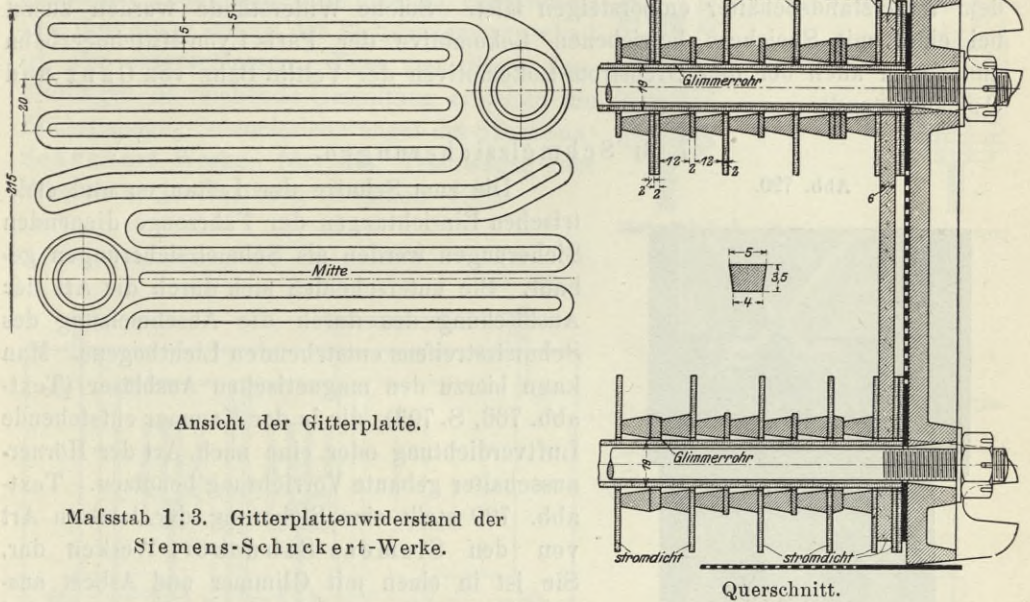
schraubenförmig aufgewundener „Kruppdraht“ ausgeführt sind, dessen einzelne Locken in eisernen Rahmen an Porzellanrollen aufgehängt werden, sind sie in Textabb. 788 nach amerikanischem Muster als gufseiserne Gitterplatten hergestellt. Derartige Platten liefern unter anderen J. Löwe, Berlin, und das Gufs- und Emaillier-Werk Gebrüder Gockler in Radebeul. In Textabb. 789 ist ein aus mehreren neben einander gesetzten Platten gebildeter Widerstandskasten veranschaulicht.

Diese metallischen Widerstände sind unter allen Umständen für Dauerstrom zu berechnen, da sie sonst bei ungeschickter Handhabung der Regelung glühend werden und zu Wagenbränden führen. Als stromdicht absondernd kommen nur unverbrennbare Stoffe, wie Porzellan, Glimmer oder Asbestpappe in Betracht.

Die Widerstandskörper müssen möglichst frei liegen und durch reichliche Luftzwischenräume von einander getrennt werden, damit ihre große Oberfläche

die Wärme leicht ausstrahlen kann. Man rechne etwa 100 Watt auf 1 qdm Oberfläche. Für große Querschnitte werden bei Drahtwiderständen Einzelbestandteile neben einander geschaltet. Durch geschicktes Neben- und Hintereinanderschalten der Wider-

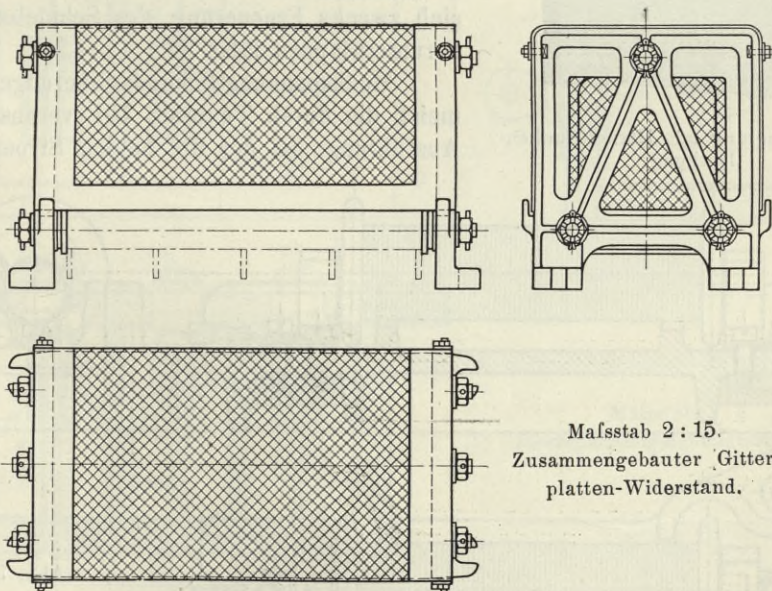
Abb. 788.



Ansicht der Gitterplatte.

Mafsstab 1:3. Gitterplattenwiderstand der Siemens-Schuckert-Werke.

Abb. 789.



Mafsstab 2:15.
Zusammengebauter Gitterplatten-Widerstand.

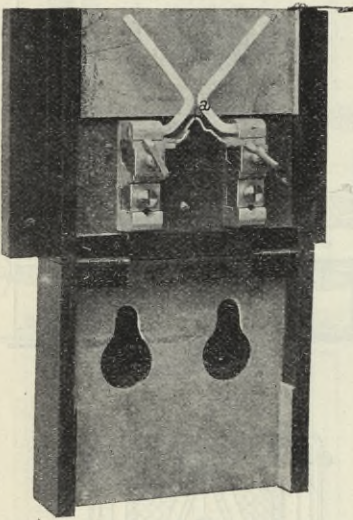
standskästen hat man es in der Hand, mit einer möglichst geringen Anzahl der letzteren auszukommen. Bei den hier angegebenen Aufhängungsarten des Widerstandskörpers läßt sich in einfacher Weise eine genaue Abstufung des Widerstandes durch Ankleben oder besser Verschrauben der Abzweigklemmen erreichen. Die Aufhängung

der Widerstände im Wagen muß so erfolgen, daß ihre Drahtlocken oder Gitterplatten bei Erschütterungen nicht gegen einander federn können.

Neben metallischen Widerständen hat man stellenweise auch Flüssigkeitswiderstände verwendet, bei denen indes nicht die Elektroden, sondern die Flüssigkeit bewegt wird, indem man diese beim Einschalten mittels Preßluft allmählig in dem Widerstandsbehälter emporsteigen läßt. Solche Widerstände wurden zuerst bei einer mit Speichern betriebenen Lokomotive der Paris-Lyon-Mittelmeerbahn und später auch bei den Drehstrom-Lokomotiven der Veltlin-Bahn von Ganz und Co. angewandt.

7. β) Schmelzsicherungen.

Abb. 790.



Schmelzsicherung mit Hörner-Funkenlöschung.

Die zum Schutze der Leitungen und elektrischen Einrichtungen der Fahrzeuge dienenden Sicherungen werden als Schmelzsicherungen gebaut. Sie unterscheiden sich durch die Art der Auslöschung des durch die Abschmelzung des Schmelzstreifens entstehenden Lichtbogens. Man kann hierzu den magnetischen Ausbläser (Textabb. 766, S. 703), die in der Kammer entstehende Luftverdichtung oder eine nach Art der Hörnerauschalter gebaute Vorrichtung benutzen. Textabb. 790 stellt eine Sicherung der letztern Art von den Siemens-Schuckert-Werken dar. Sie ist in einen mit Glimmer und Asbest ausgekleideten Kasten eingebaut, dessen Deckel sich zwecks Erneuerung des Schmelzstreifens *a* herunterklappen läßt.

Hochspannung-Schmelzsicherungen erhalten meist die durch Textabb. 791 veranschaulichte Ausführung, bei der die beiden Stromanschlufs-

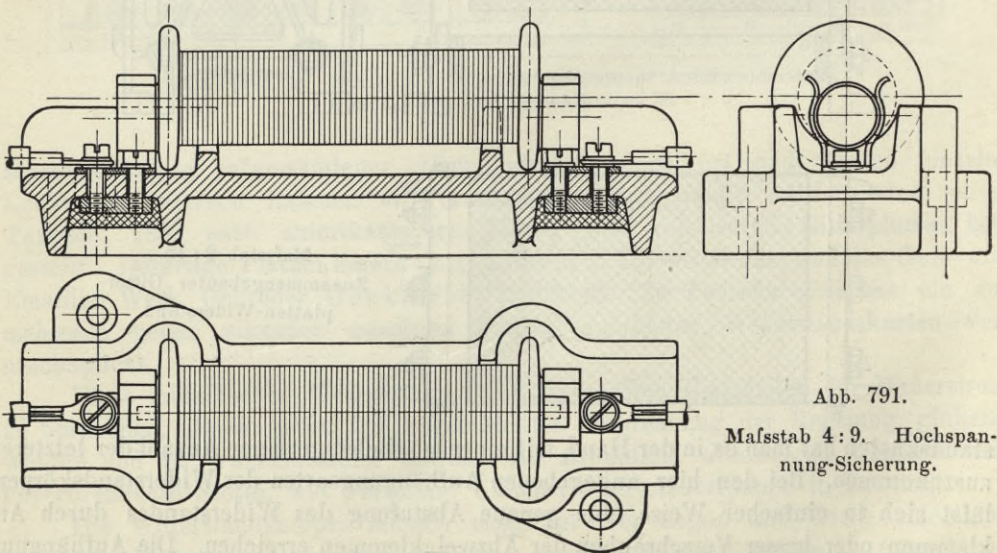
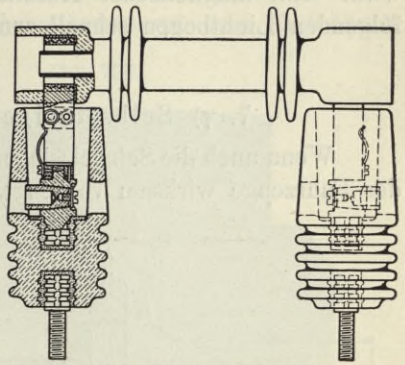


Abb. 791.

Maßstab 4:9. Hochspannung-Sicherung.

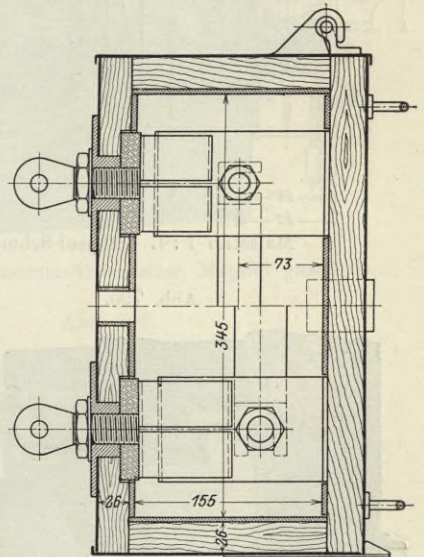
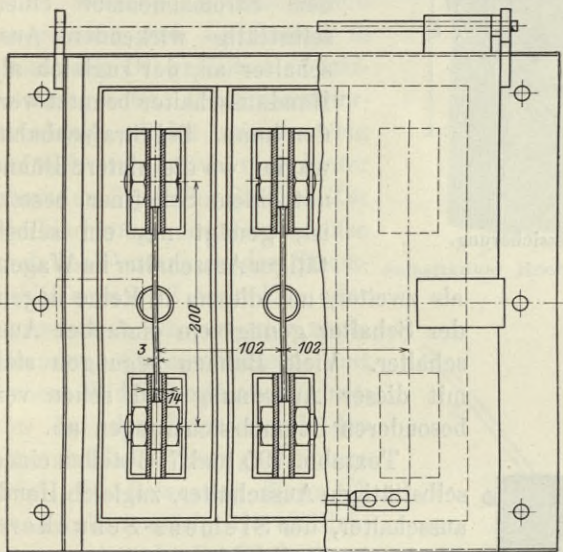
stücke durch eine mit einem Porzellanriffe versehene Brücke geschlossen werden. Der Schmelzstreifen befindet sich in der Höhlung des Handgriffes. In Textabb. 792, die einer englischen Ausführung entspricht, sind die unter Spannung stehenden Teile völlig in Porzellan eingebettet; ihre Berührung seitens der Bedienungsmannschaft ist also ausgeschlossen. Eine von diesen Ausführungen abweichende Gestaltung erhielten die Hochspannung-Schmelzsicherungen der Siemens-Schuckert-Werke für die Triebwagen der Vorortbahn in Hamburg (Textabb. 793).

Abb. 792.



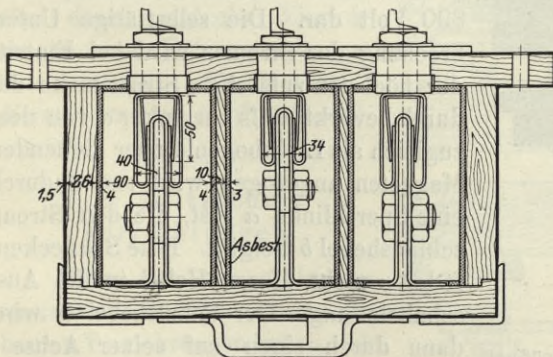
Maßstab 1:5. Hochspannung-Sicherung.

Abb. 793.



Maßstab 1:6.

Hochspannung-Schmelzsicherung.



Textabb. 794 stellt eine Stößel-Schmelzsicherung der Siemens-Schuckert-Werke dar. Der Schmelzstreifen *a* liegt hier in einem mit stromdichtem Handgriffe versehenen Stößel, der zwischen die beiden Stromanschlusstücke geschoben

wird. Ein magnetischer Ausbläser bringt den dem Abschmelzen des Streifens folgenden Lichtbogen schnell zum Erlöschen.

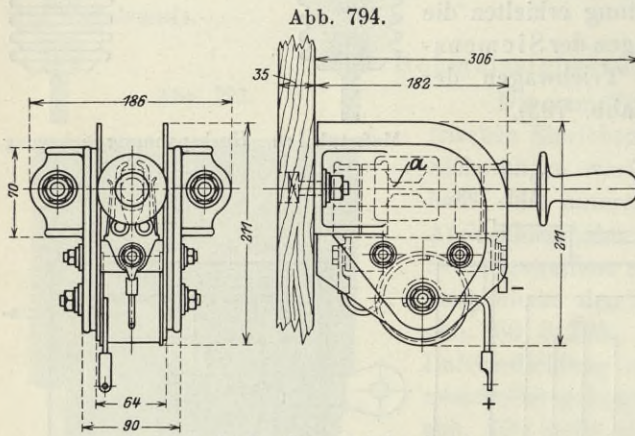
7. γ) Selbsttätige Ausschalter, Handausschalter.

Wenn auch die Schmelzsicherung einer Überlastung der elektrischen Einrichtung der Fahrzeuge wirksam vorbeugt, so erfolgt ihre Wirkung mittels des Abschmelz-

vorganges doch noch zu träge. Außerdem erfordert die Erneuerung des abgebrannten Schmelzstreifens im Betriebe zu viel Zeit. Man wendet deshalb als erste Unterbrechungstelle unmittelbar hinter dem Stromabnehmer einen selbsttätig wirkenden Ausschalter an, der zugleich als Handausschalter benutzt werden kann. Bei Strafsenbahnwagen, wo die hintere Bühne mit einem Schaffner besetzt ist, genügt nur ein selbsttätiger Ausschalter im Wagen,

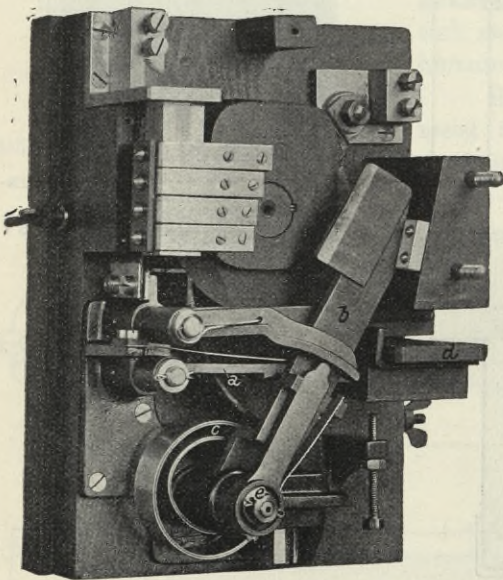
als zweiter, mit diesem in Reihe liegender Schalter genügt ein einfacher Ausschalter. Viele Bahnen begnügen sich mit dieser Anordnung und sehen von besonderen Schmelzsicherungen ab.

Textabb. 795 und 796 stellen einen selbsttätigen Ausschalter, zugleich Handausschalter, der Siemens-Schuckert-Werke in Berlin, für 1000 Amp. und 800 Volt dar. Die selbsttätige Unterbrechung des Stromes wird bei Eintritt der höchsten zulässigen Stromstärke dadurch bewirkt, daß ein Anker *d* von dem zugleich als Lichtbogenlöscher dienenden Magneten angezogen wird und dadurch eine Sperrklinke *a* löst, die den Stromschliefshebel *b* freigibt. Eine Schneckenfeder *c* zieht diesen Hebel in die Ausschaltstellung. Der Schalthebel *b* wird dann durch einen auf seiner Achse *e* sitzenden, in Textabb. 795 und 796 ver-



Mafsstab 1 : 7. Stöpsel-Schmelzsicherung.

Abb. 795.

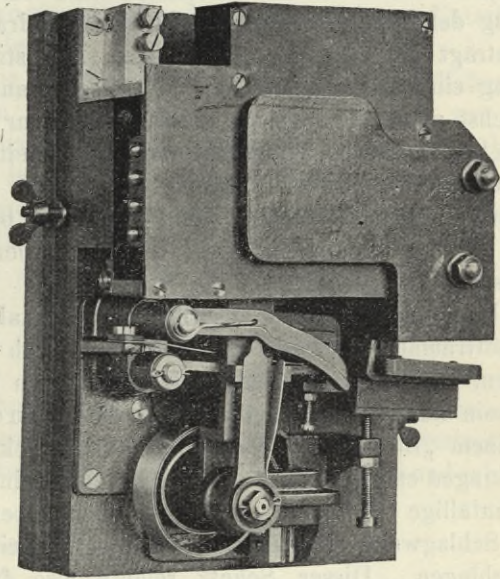


Selbsttätiger Höchststrom-Ausschalter, geöffnet.

deckten, Handgriff wieder geschlossen. Mit demselben Griffe kann der Ausschalter auch von Hand ausgelöst werden. Der Schalter kann mit einer Schraube auf die jeweils gewünschte Auslösestromstärke eingestellt werden.

Der Einbau dieses selbsttätigen Höchststrom-Ausschalters erfolgt bei Straßenbahnwagen mit den Fahrgästen zugänglichen Führerständen auf dem Endbühnen-dache so, daß unter dem Dache nur der Handgriff und die Einstellungen „Aus“ und „Ein“ sichtbar sind.

Abb. 796.

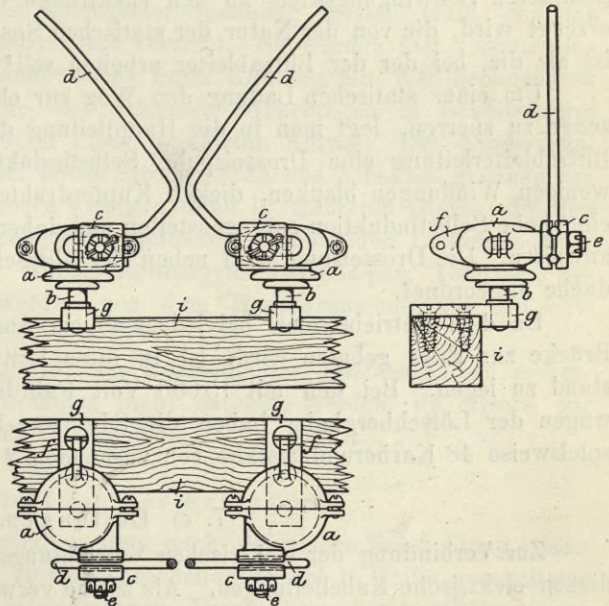


Selbsttätiger Höchststrom-Ausschalter, Magnet geschlossen.

Die Handausschalter sind wesentlich einfacher gebaut. Zur Funkenlöschung dienen auch hier Magnete.

Hochspannung - Ausschalter, wie sie für Wechselstrombahnen verwendet werden, werden stets mit einfachen Steck- oder Messer - Stromschließern ausgeführt und als Ganzes in einen mit Öl gefüllten Schutzkasten gesetzt. Die Stromunterbrechung erfolgt zweckmäßig an mehreren, etwa vier hinter einander liegenden Stellen. Zur Verhinderung der Stromstöße und des Feuerns an den Stromschließern wird beim Ein- oder Ausschalten ein vor- oder nach-eilender Stromschließer mit hohem Widerstande angeordnet, der bei der Fahrt durch den Stromschließer kurz geschlossen wird. Die Bewegung dieses Ölauschalters erfolgt durch Elektromagnete oder Prefsluft, kann also durch einfache Einrichtungen vom Führerstande geleitet werden. Als Nothelf dient ein reiner Handhebelantrieb.

Abb. 797.



Maßstab 1:4. Hörner-Blitzableiter.

7. d) Blitzschutzvorrichtungen.

Von den zur Ableitung statischer Ladungen bisher gebauten Vorrichtungen haben sich die „Hörner“-Blitzableiter am besten bewährt. Sie wurden von Schuckert, Nürnberg, angegeben, und haben heute weite Verbreitung gefunden. Ein solcher Blitzableiter besteht nach Textabb. 797 aus den beiden

Hörnern *d*, die mittels der Klemmbacken *c* und der Mutterschrauben *e* an den stromdichten Stützen *a* befestigt werden. Diese Stützen sind mit den Bolzen *b* und Gufsstücken *g* auf den auf dem Wagendache angebrachten Holzbohlen befestigt, zu denen die des Stromabnehmers Verwendung finden können. Die Einstellung der Hörner erfolgt je nach der Fahrdrachtspannung mehr oder weniger nahe, sie beträgt bei 600 Volt etwa 3 mm. Die statische Entladung überspringt unter Bildung eines Lichtbogens den Luftzwischenraum zwischen den Hörnern und soll auf möglichst geradlinig verlegter Kabelleitung zur Erde abgeführt werden. Der einen Kurzschluss zwischen Fahrdracht und Erde einleitende Lichtbogen ruft in den Hörnern eine elektrodynamische Wirkung hervor, die ihn zusammen mit dem Auftriebe der erwärmten Luft schnell zum Erlöschen bringt. Hierauf ist der Blitzableiter sofort wieder gebrauchsfähig. Diese Hörnerblitzableiter sind für Gleich- und Wechsel-Strom geeignet.

Um unbeabsichtigtes Ansprechen des Blitzableiters bei irgend einer Überbrückung des Luftraumes zwischen den Hörnern durch Tiere, Staub oder Schnee zu verhindern, was bei niedrigen Betriebsspannungen und kleinem Luftzwischenraume der Fall sein kann, versahen die Siemens-Schuckert-Werke den Blitzableiter noch mit einem „Blitzableiterrelais“, das den Zweck hat, den Blitzableiter bei niedrigen Spannungen empfindlicher zu machen, ohne seine Schlagweite so weit zu verringern, dafs zufällige Störungen oder ein Stehenbleiben des Lichtbogens eintreten könnte. Eine Schlagweite von 3 mm wird erst bei einer Spannung von etwa 8000 Volt überschlagen. Dieser Schutz reichte also für viele Anlagen nicht aus. Die Wirkungsweise des „Blitzableiterrelais“ beruht darauf, dafs durch einen aus zwei Kondensatoren, einem Teslaschen Transformator und einer Hilfsfunkenstrecke gebildeten Schwingungskreis an den Elektroden des Blitzableiters eine Spannung erzeugt wird, die von der Natur der statischen Spannungen unabhängig, und höher ist als die, bei der der Blitzableiter arbeiten soll²²⁴).

Um einer statischen Ladung den Weg zur elektrischen Einrichtung der Fahrzeuge zu sperren, legt man in die Hauptleitung dicht hinter der Abzweigung der Blitzableiterleitung eine Drosselspule, Selbstinduktionspule, ein. Sie besteht aus wenigen Windungen blanken, dicken Kupferdrahtes, die der statischen Entladung eine hohe Selbstinduktion entgegenstellen und daher den Weg über den Blitzableiter anweisen. Die Drosselspule wird neben der Blitzschutzvorrichtung auf dem Wagendache angeordnet.

Da dem Betriebsstrom bei jedesmaligem Ansprechen des Blitzableiters eine Brücke zur Erde geboten wird, ist in diese Leitung ein hoher Übergangswiderstand zu legen. Bei den mit 15000 Volt Fahrdrachtspannung arbeitenden Triebwagen der Löttschbergbahn haben die Siemens-Schuckert-Werke hierzu beispielsweise 48 Karborundumstäbe von zusammen 2900 Ohm Widerstand verwendet.

7. ϵ) Leitungen.

Zur Verbindung der elektrischen Vorrichtungen der Fahrzeuge unter einander dienen elektrische Kabelleitungen. Als solche verwendet man dünnadrätige Gummidern, deren Biagsamkeit die vielfachen zum Teil scharfen Krümmungen ermöglicht.

Die Leitungen werden bei niedrigen Spannungen, beispielsweise 500 bis 600

²²⁴) Elektrotechnische Zeitschrift 1905, S. 485.

Volt unmittelbar auf oder in Holz verlegt, zu mehreren vereinigt faßt man sie in Kabelschläuche zusammen. Aus diesen treten die zu den einzelnen Anschlußstellen hinführenden Abzweigungen gleichfalls wasser- und stromdicht heraus. Die Kabelschläuche liegen entweder innerhalb des Wagens unter den Sitzbänken, oder besser unter dem Wagenfußboden, wo sie auf besonderen, feuersicheren Unterlagen mit hölzernen Schellen befestigt werden.

Besondere Sorgfalt erfordert die Verlegung der Leitungen großer Fahrzeuge mit mehreren Triebmaschinen. Man verlegt hierbei die Kabel schon vor dem Zusammenbauen des Wagenkastens unter dem Fußboden²²⁵⁾, indem man diesen mit seiner Unterseite oben auf Böcke legt und mit Asbest und Eisenblech bekleidet. Hierauf werden die Kabel unter Vermeidung unnötiger Kreuzungen neben einander ausgelegt und mit eisernen, stromdicht verkleideten Klammern im Boden festgeschraubt. Zwischen den Klammern werden eiserne Schutzkappen über die Kabelstränge gedeckt.

Die Blitzableiter-Leitung zweigt unmittelbar hinter der Blitzschutzvorrichtung ab, und ist auf möglichst geradem Wege unter Vermeidung aller Knicke oder scharfen Krümmungen zur Erde, das heißt zum Wagenuntergestelle zu führen.

Hochspannungs-Wechselstrom-Leitungen werden in Messingröhren verlegt, die man stromdicht auskleidet, an den Enden strom- und luftdicht abschließt und schließlich erdet.

7. ζ) Abspanner, Transformatoren.

Einen wesentlichen Bestandteil der Wechselstrombahnen bilden die Abspanner, da man die Triebmaschinen für Einwellen-Wechselstrom bei den durch die Wirtschaft des Betriebes gebotenen hohen Fahrdrachtspannungen von 6000 Volt und darüber unter allen Umständen mit verringerter Spannung speisen muß, und das selbst bei Drehstrom-Triebmaschinen zu tun vorzieht. Sie werden fast ausnahmslos als Öl-Kernabspanner ausgeführt und zwecks guter Kühlung mit Wellblechgehäuse versehen. Man bringt die Primär- und Sekundär-Wicklungen in Scheibenform abwechselnd auf den aus geblätterttem Eisen gebildeten Körper. Die Niederspannungseite der Wicklung besteht bei hohen Stromstärken aus hochkant gewickeltem Flachkupfer. Von diesen Abspannern zweigen dann in mehreren Stufen die den Triebmaschinen eine allmähig zunehmende Spannung zuführenden Leitungen über die Einzelschalter ab. Auch die Hülfeinrichtungen, Luftpumpen, Gebläse, Beleuchtung, Heizung, Steuerung werden von dem Hauptabspanner aus mit entsprechenden Spannungen gespeist.

Sind Induktionsregler²²⁶⁾ (S. 708) zur Regelung der Triebmaschinen in Verwendung, so können Abspanner trotzdem nicht entbehrt werden, da erstere nur die feinere Abstufung der Spannung übernehmen.

7. η) Beleuchtung der Fahrzeuge.

Elektrisch betriebene Züge erhalten stets auch elektrische Beleuchtung. Man legt bei Spannungen bis 1000 Volt eine entsprechende Anzahl in Reihe geschalteter Glühlampen in Nebenschluß zur Hauptleitung. Dieser Stromkreis erhält eigene Ausschalter und Schmelzsicherung, die den Ausführungen der üblichen Beleuchtungs-

²²⁵⁾ Elektrotechnische Zeitschrift 1909, S. 995.

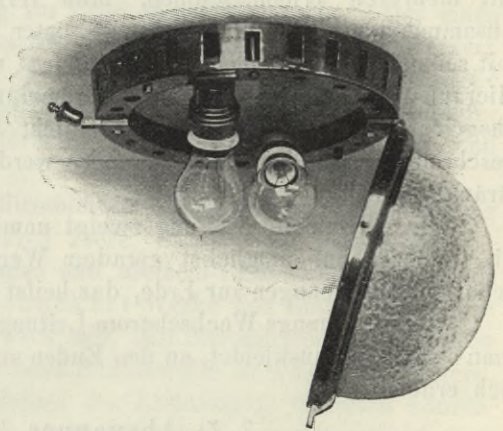
²²⁶⁾ Elektrot. Ztschr. 1910, S. 286.

anlagen entsprechen. Zur raschen Auffindung beschädigter Lampen verwendet man Lampenprüfer, mittels deren durch einen Drehhebel alle Lampen nach einander neben eine Prüflampe geschaltet werden. Man kann sich an Stelle dieser mit vielen Hilfsdrähten auszustattenden Vorrichtung auch einer einfachen Prüf-Handlampe bedienen, die man an zwei besondere, nach aufsen geführte Stromschlußstücke der Wagenlampen anlegt.

In Hochspannungs-Wechselstrom-Wagen legt man die Lichtleitung an die Niederspannungseite eines besondern Hilfs- oder des Haupt-Abspanners, der zugleich den Steuerstrom zu liefern hat.

Während man bisher Kohlenfadenlampen benutzte, verwendet man neuerdings auch Tantalmetallfadenlampen. Besondere federnde Fassungen, die man früher zur Sicherung der Lampen gegen Stöße verwenden zu müssen glaubte, sind heute nicht mehr in Gebrauch. Textabb. 798 stellt einen Lampenkörper mit zwei verschränkt neben einander eingebauten Lampen der Siemens-Schuckert-Werke dar.

Abb. 798.



Elektrische Deckenlampe.

7. 0) Luftpumpen.

Zur Erzeugung der Prefsluft für die Zugsteuerungen, Stromabnehmern, Schalter aller Art und die Luftdruckbremsen dienen besondere, elektrisch oder mechanisch angetriebene Luftpumpen. Unter E, II, d, 3) sind solche veranschaulicht. Bei Antrieb von den Wagenachsen aus mittels zweimittiger Scheiben oder Gelenkketten stellt sich der Luftdruck erst nach längerer Betriebszeit ein; die Behälter sind vorher auf andere Weise zu füllen.

7. 1) Meßgeräte.

Zur Ausrüstung der Fahrzeuge gehören ferner elektrische Meßgeräte, insbesondere, wenn es sich um schwere Triebwagen oder Lokomotiven handelt. Man sieht in diesen Fällen Spannungsanzeiger und Strommesser vor, die so angeordnet werden, daß sie der Führer stets vor Augen hat. Um dem Führer und der Verwaltung auch Gewißheit über den Stromverbrauch zu verschaffen, richtet man in neuerer Zeit vielfach Triebzeitähler ein, deren Wesen darin besteht, die Zeit zu messen, während der die Triebmaschinen überhaupt Strom entnehmen. Die Größe des Stromverbrauches selbst wird hierbei nicht mit gemessen.

Die zur Messung der verbrauchten Arbeit dienenden Wattstundenzähler sind für Bahnbetrieb nicht geeignet. Der Wert der Triebzeitähler besteht in der Stromersparnis. Man bestimmt für jede Strecke durch Musterfahrten den kleinsten und größten Wert der Stromzeit, und legt diese der Beurteilung der Betriebsergebnisse bei jedem Wagenführer zu Grunde. Die Schwebbahn Barmen-

Elberfeld hat beispielsweise seit 1906 an allen Wagen Zeitähler²²⁷⁾ in Gebrauch, seit deren Einführung eine Stromersparnis von 7 bis 11,5% festgestellt wurde. Versuche mit Wattstundenzählern hatten hier zu ungenauen, selten übereinstimmenden Ergebnissen geführt.

Statt der dem Wagenführer den jeweiligen Stromverbrauch anzeigenden Messgeräte verwendet die Bahn in Boston folgende Anordnung. Im Hauptstromkreise liegt ein elektromagnetisch betätigter Ausschalter, der bei einer bestimmten, nicht zu überschreitenden Stromstärke kurz geschlossen wird. Dadurch wird ein Hilfstromkreis einer Trockenbatterie geschlossen und im Führerstande ein elektrischer Wecker in Tätigkeit gesetzt.

7. κ) Elektrische Heizkörper.

Man verwendet fast allgemein Heizkörper aus einem auf stromdichter und hitzebeständiger Platte aufgewickelten Drahte hohen Widerstandes der Querschnittseinheit, von diesen Platten werden mehrere in mit Rippen versehenen Gufskästen vereinigt und unter den Sitzbänken aufgestellt. Bei der üblichen Gleichstromspannung von 500 bis 600 Volt liegen in der Regel zwei Heizkörper in Reihe. Der Arbeitsverbrauch eines Heizkörpers beträgt 0,5 KW, sein Gewicht etwa 17 kg.

E. II. Die Wagen der Strafsenbahnen.

Die Entwicklung der elektrischen Strafsenbahnen, die im Wesentlichen heute als abgeschlossen gelten kann, hat an Stelle der früheren großen Verschiedenheiten in der Bauart der Wagen und ihrer Untergestelle eine auf wenige Formen beschränkte Übereinstimmung gebracht. Abweichend von den Hauptbahnwagen wird hier das Untergestell mit Rücksicht auf den Maschinen-Antrieb des Laufwerkes getrennt vom Wagenkasten ausgeführt. Dies ermöglicht leichtern Einbau und schnellere Unterhaltung und Ausbesserung der elektrischen Einrichtungen. Trotzdem hat auch die feste Verbindung der Wagenkasten mit den Untergestellen im Laufe der Zeit mehr Anhänger gefunden, wobei man sich von dem geringern Gewichte des ganzen Wagens und den geringeren Unterhaltungskosten leiten liefs.

II. a. Die Untergestelle der Strafsenbahnwagen.

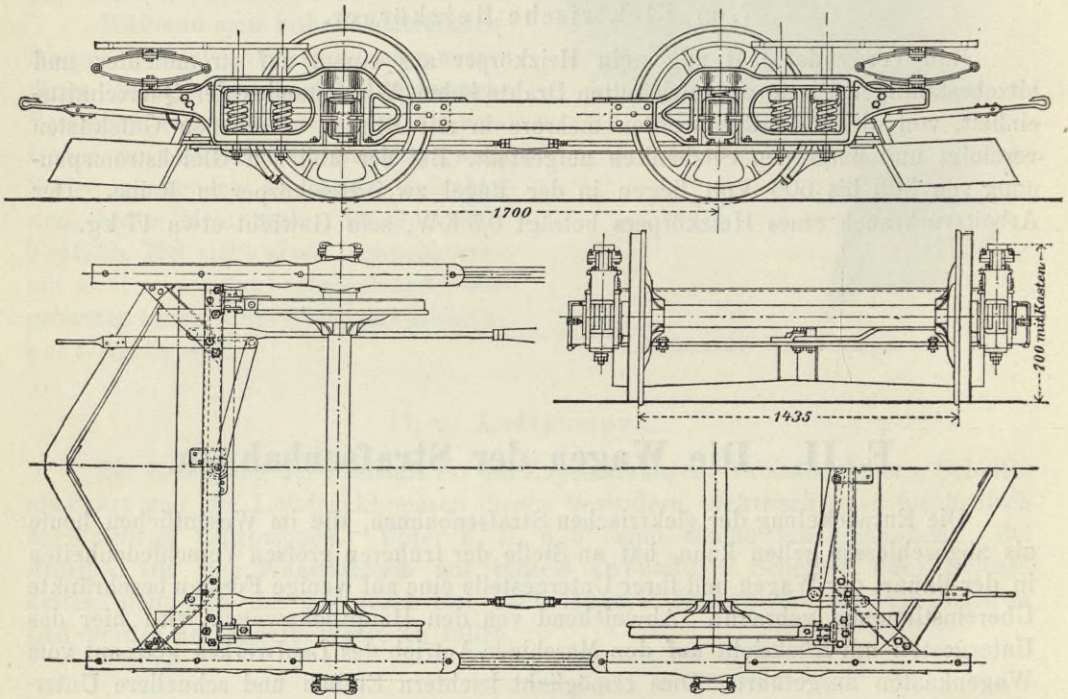
Die Verbesserungen der letzten Jahre haben vor allem die Achsfederungen betroffen. Während diese früher²²⁸⁾ nur durch kurze, zwischen Achsbüchse und Rahmen eingebaute Schraubenfedern bewirkt wurde, findet man hier jetzt meist

²²⁷⁾ Triebzeitähler „Veritas“ des Schiersteiner Metallwerkes in Berlin.

²²⁸⁾ 1. Auflage, Band I, S. 683, 684.

lange Blattfedern, die den Achsen eine weiche und doch gedämpfte Beweglichkeit in senkrechtem Sinne verleihen und so wesentlich zu einem ruhigen Laufe des Wagens und zur Schonung des Gleises beitragen. Während man weiter die durch das weite Ausladen der Wagen über die Achsen und durch unrichtige Gleislage bewirkten Nickbewegungen des Wagens früher dadurch zu beseitigen suchte, daß man zu den ungenügenden Achsfedern weitere Federn zwischen Wagenkasten und Untergestellrahmen einfügte, und zwar oft zwölf und mehr, sieht man heute bei Blattfedern über den Achsen von weiteren Federn entweder ganz ab, oder man bringt nur noch eine Blattfeder an jeder Wagenecke an. Bei richtiger Wahl der

Abb. 799.



Maßstab 3 : 100. Straßenbahn-Untergestell „Berolina“.

Achsfedern und guter Unterhaltung des Gleises wird aber doppelte Federung meist entbehrlich sein. Die kleinen, von den Blattfedern der Achsbüchsen nicht übernommenen Zitterbewegungen lassen sich, wie die von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert und Co. ausgeführten Wagen beweisen, durch Einfügung einer Filzlage zwischen dem untern Kastenrahmen und dem Wagenkasten selbst von letzterm fernhalten.

In Textabb. 799 ist das Untergestell „Berolina“ mit 1,7 m Achsstand dargestellt, das von der Bergischen Stahl-Industrie nach amerikanischem Muster Mitte der neunziger Jahre gebaut wurde und bei einer großen Anzahl von Straßenbahnen Anwendung fand. Die unrichtige Anordnung der Federn äußert sich in stark unruhigen Wagenbewegungen.

Ganz ähnlich verhält es sich mit dem in Textabb. 800 dargestellten Unter-

Maßstab 1 : 25. Untergestell der Strassenbahn Breslau mit zwei Triebmaschinen und zwei Magnetbremsen.

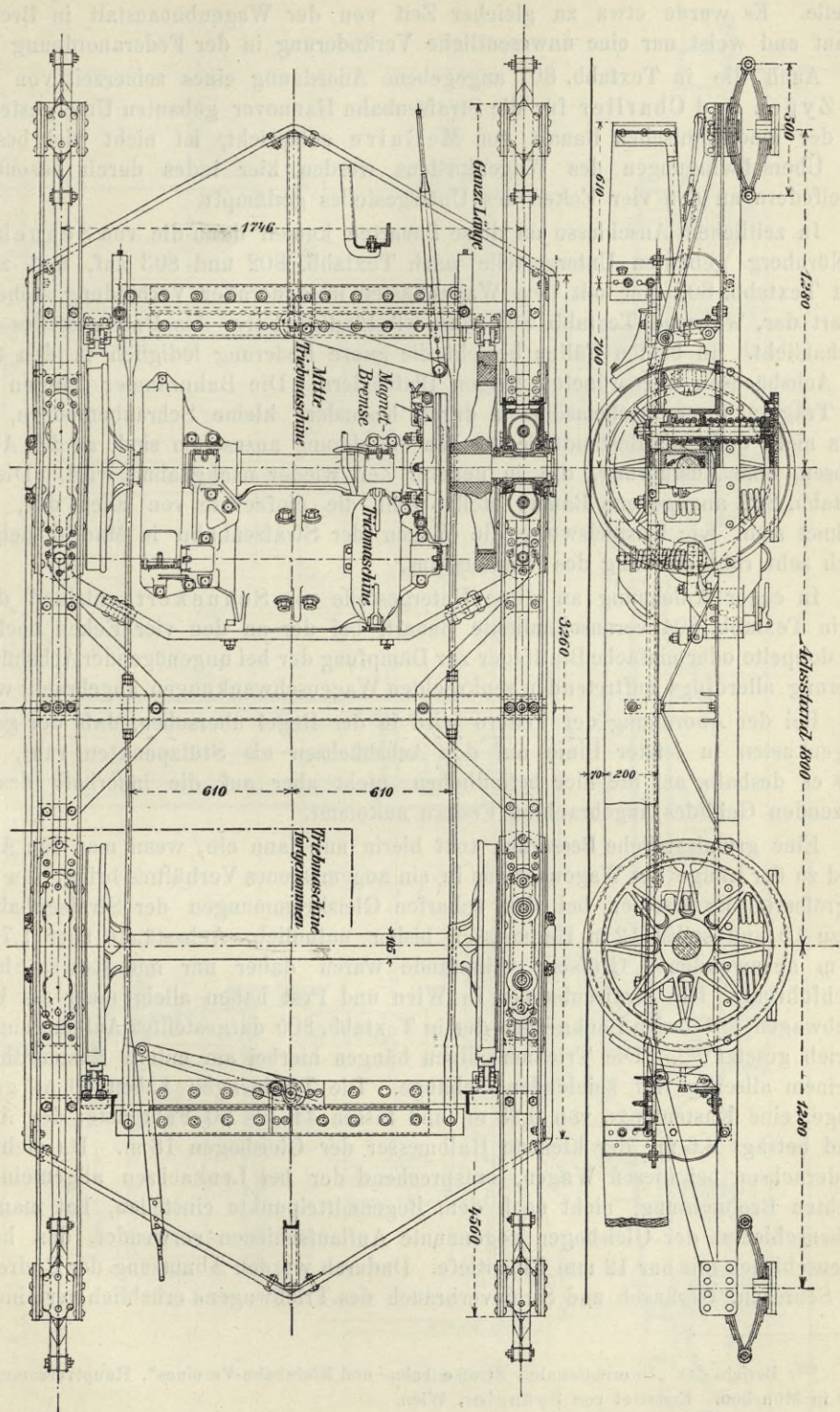


Abb. 800.

gestelle. Es wurde etwa zu gleicher Zeit von der Wagenbauanstalt in Breslau gebaut und weist nur eine unwesentliche Veränderung in der Federanordnung auf.

Auch die in Textabb. 801 angegebene Anordnung eines seinerzeit von van der Zypen und Charlier für die Strafsenbahn Hannover gebauten Untergestelles, das der amerikanischen Bauart von McGuire entspricht, ist nicht viel besser. Die Überschwingungen des Wagenkastens werden hier indes durch besondere Kegelfedern an den vier Ecken des Untergestelles gedämpft.

In zeitlichem Anschlusse an diese Bauarten kamen dann die von Schuckert in Nürnberg gebauten Untergestelle nach Textabb. 802 und 803 auf, und zwar stellt Textabb. 802 eine mit dem Wagenkasten in dauernder Verbindung stehende Bauart dar, während Textabb. 803 eine selbständige Form des Untergestelles veranschaulicht. In beiden Fällen besteht die ganze Federung lediglich in den über den Achsbüchsen angeordneten langen Blattfedern. Die Bahnräumer hängen mit den Trägern ihrer Triebmaschinen durch besondere kleine Schraubenfedern, die indes nicht mehr als Bestandteile der Wagenfederung anzusehen sind, an den Achsbüchsen, eine Ausführung, die in neuerer Zeit wieder nachgeahmt wird. Die in Textabb. 802 angegebene Bauart stellt wohl die einfachste von allen dar, und zeichnet sich, wie beispielsweise die Wagen der Strafsenbahn in Madrid zeigen, durch sehr ruhigen Gang des Wagens aus.

In enger Anlehnung an diese Untergestelle von Schuckert entstand dann die in Textabb. 804 veranschaulichte Bauart, bei der an den vier Ecken noch je eine doppelte oder einfache Blattfeder zur Dämpfung der bei ungenügender Achsbüchsfederung allerdings auftretenden senkrechten Wagenschwankungen angebracht wird.

Bei der Anordnung der Federn wird in der Regel übersehen, daß der ganze Wagenkasten in letzter Linie auf den Achsbüchsen als Stützpunkten ruht, und daß es deshalb auf die hier befindlichen, nicht aber auf die innerhalb des zu stützenden Gebildes angebrachten Federn ankommt.

Eine grundsätzliche Besserung tritt hierin nur dann ein, wenn man den Achsstand zu der Länge des Wagenkastens in ein angemessenes Verhältnis bringt, ihn also vergrößert. Es erschien bei den scharfen Gleiskrümmungen der Strafsenbahnen bis zu 15 und selbst 12 m Halbmesser bisher untunlich, Achsstände über 1,7 bis 1,8 m anzuwenden. Größere Achsstände waren daher nur mit Lenkachsen durchführbar. Die Strafsenbahnen in Wien und Pest haben allein mehr als 1000 Triebwagen mit freien Lenkachsen der in Textabb. 805 dargestellten Aufhängung in Betrieb gesetzt²²⁹⁾. Die Triebmaschinen hängen hierbei am untern Kastenrahmen in einem allseitig frei spielenden Gehänge. Die Triebwagen haben 10 m ganze Länge, eine Kastenlänge von 6,28 m, und fassen 44 bis 50 Fahrgäste; der Achsstand beträgt 3,6 m, der kleinste Halbmesser der Gleisbogen 18 m. Da sich die Vorderachsen bei diesen Wagen, entsprechend der bei Lenkachsen allgemein gemachten Beobachtung, nicht nach dem Bogenmittelpunkte einstellen, hat man als Aufsenschienen der Gleisbogen sogenannte Auflaufschienen verwendet, das heißt Rillenschienen mit nur 12 mm Rillentiefe. Dadurch wurden Abnutzung der Radreifen und Schienen, Geräusch und Stromverbrauch des Triebwagens erheblich vermindert.

²²⁹⁾ Bericht des „Internationalen Strafsenbahn- und Kleinbahn-Vereines“, Hauptversammlung 1908 in München. Erstattet von Spängler, Wien.

Malastab 1 : 25. Straßenbahn-Untergestell.

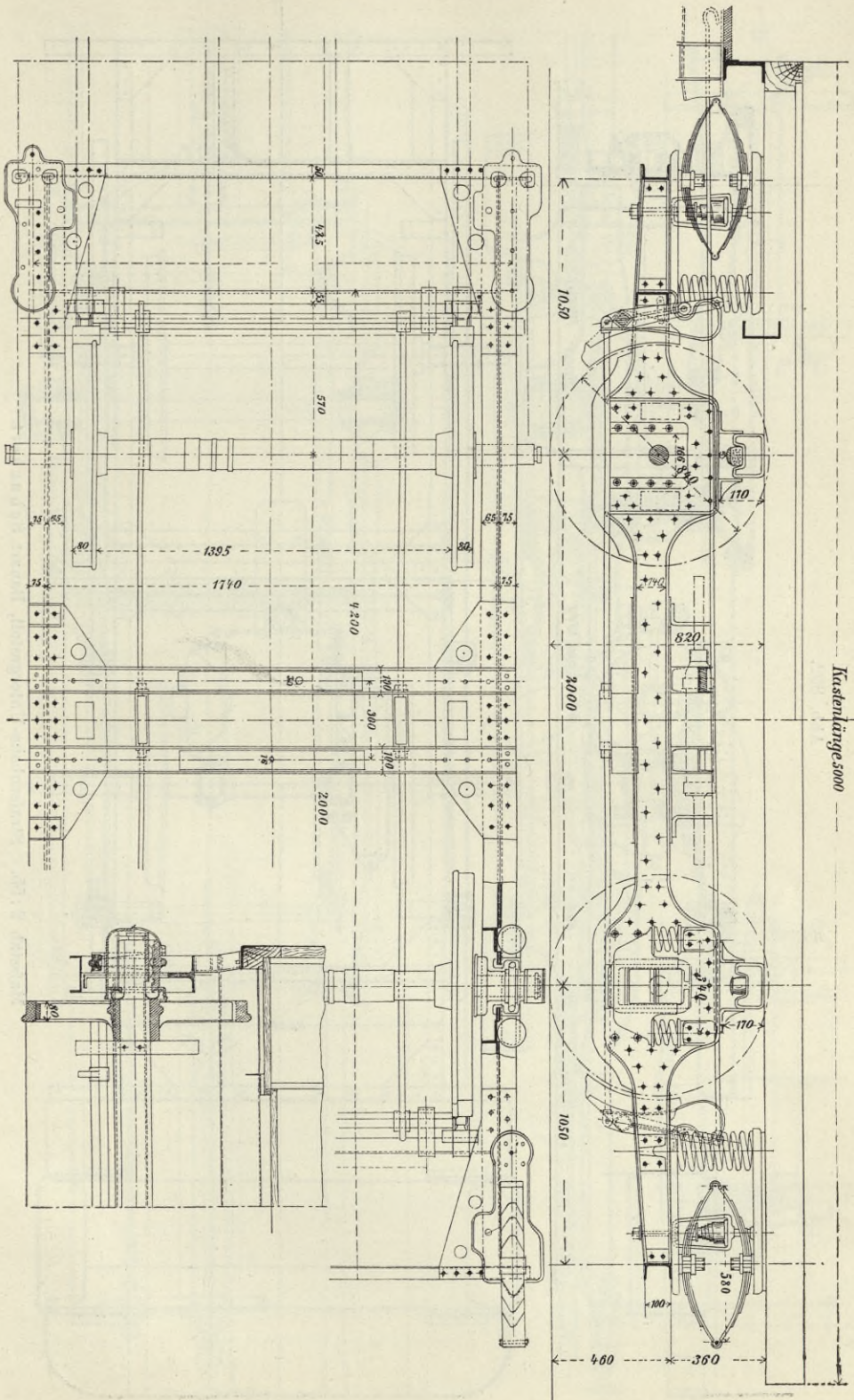
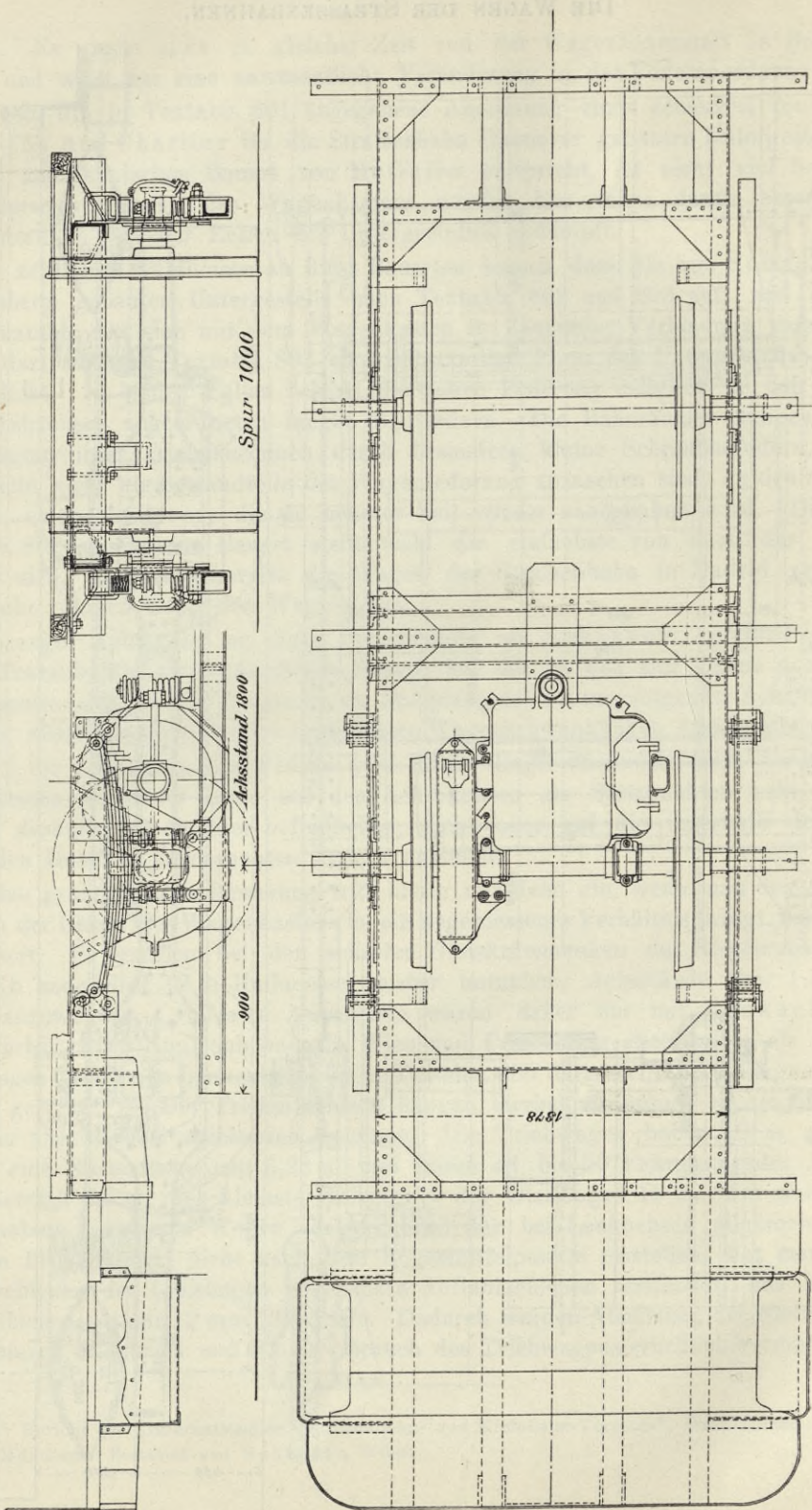


Abb. 801.

Kastenlänge 5000

Abb. 802.



Maßstab 2:55. Strafsenbahn-Untergestell, Bauart Schuckert.

Maßstab 1 : 30. Straßenbahn-Untergestell mit gepreßten Längsträgern, Bauart Schuckert.

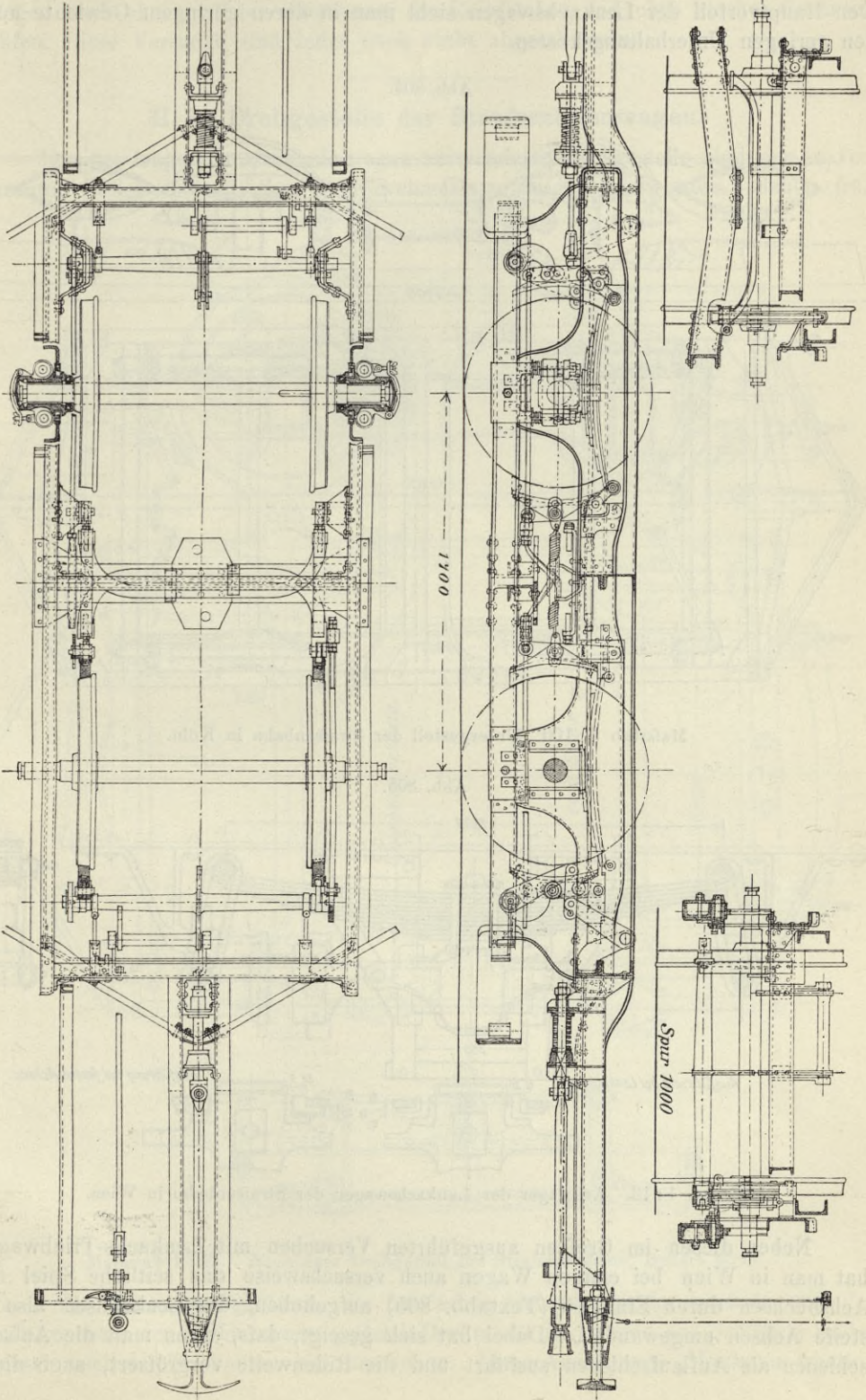
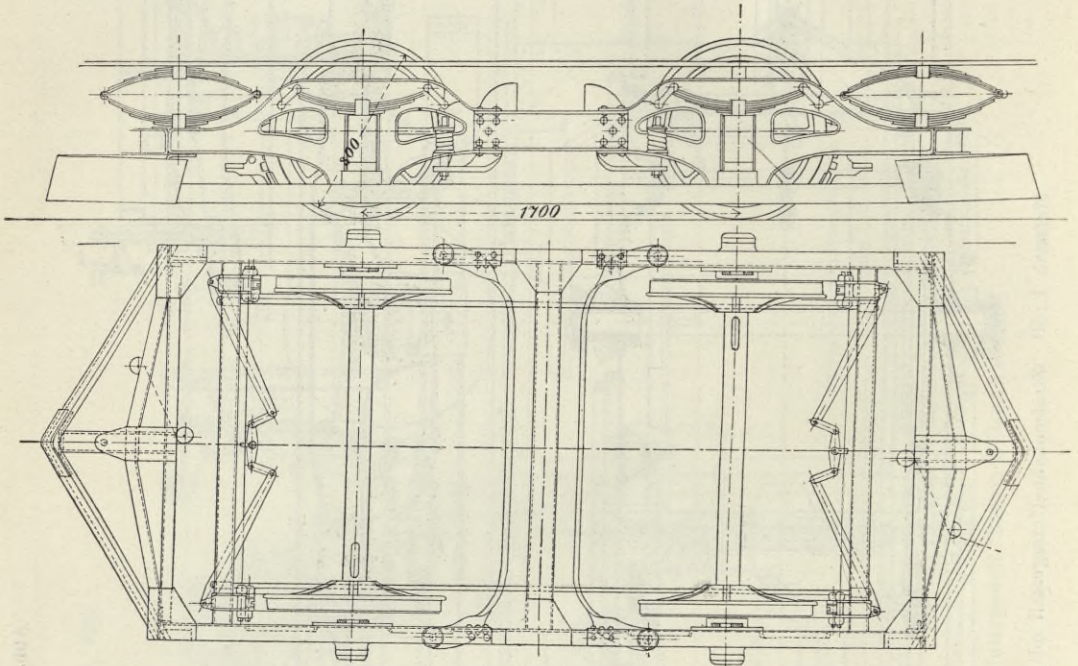


Abb. 803.

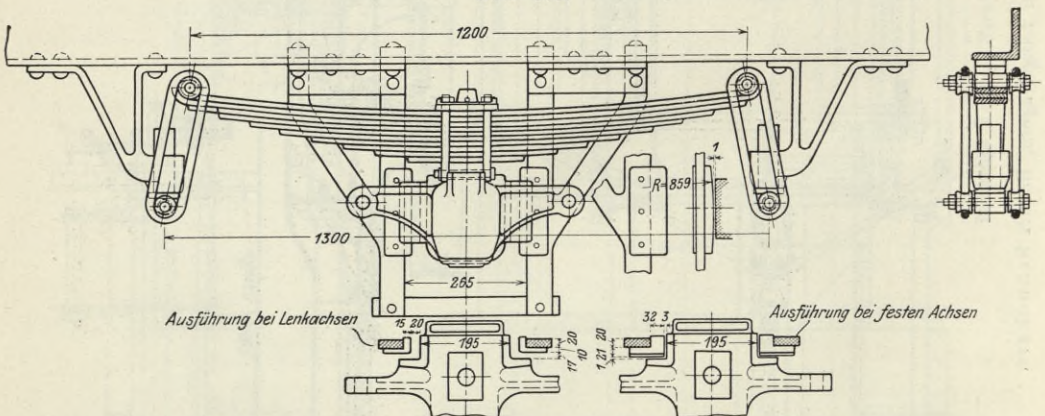
Den Hauptvorteil der Lenkachswagen sieht man in deren geringem Gewichte und den geringen Unterhaltungskosten.

Abb. 804.



Mafsstab 3 : 100. Untergestell der Strafsenbahn in Köln.

Abb. 805.



Mafsstab 1 : 16. Achslager der Lenkachswagen der Strafsenbahn in Wien.

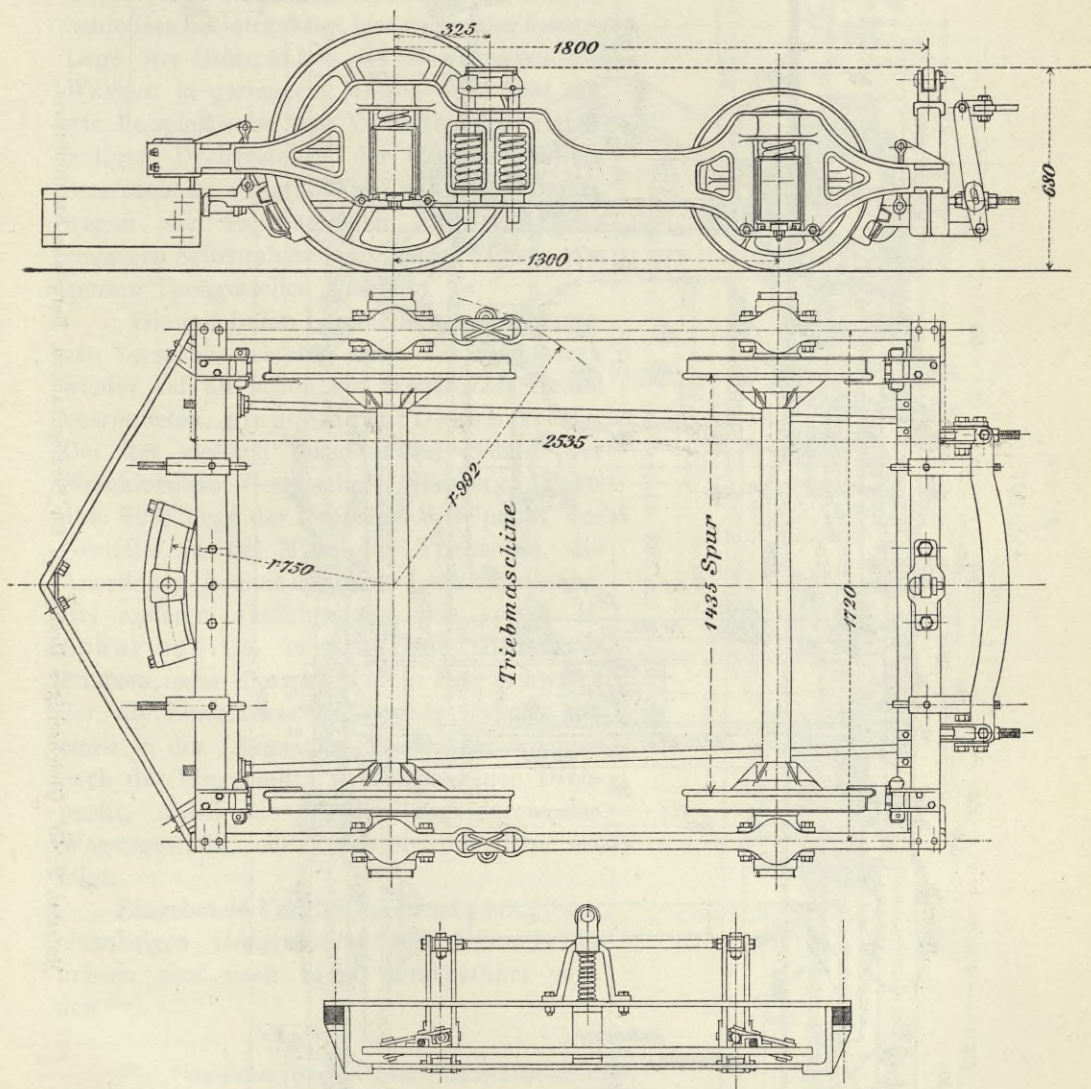
Neben diesen im Grofsen ausgeführten Versuchen mit Lenkachs-Triebwagen hat man in Wien bei einigen Wagen auch versuchsweise das seitliche Spiel der Achsbüchsen durch Einlagen (Textabb. 805) aufgehoben, die Lenkachsen also in steife Achsen umgewandelt. Dabei hat sich gezeigt, dafs, wenn man die Aufsenschieben als Auflaufschieben ausführt und die Rillenweite vergröfsert, auch diese

Wagen noch ohne gröfsere Abnutzung der Reibflächen und ohne starkes Geräusch laufen. Diese Versuche sind indes noch nicht abgeschlossen.

II. b) Drehgestelle der Strafsenbahnwagen.

Die bei langen Strafsenbahnwagen verwendeten Drehgestelle sind nur in vereinzelten Fällen mit gleichen Raddurchmessern ausgeführt worden. Schon früh

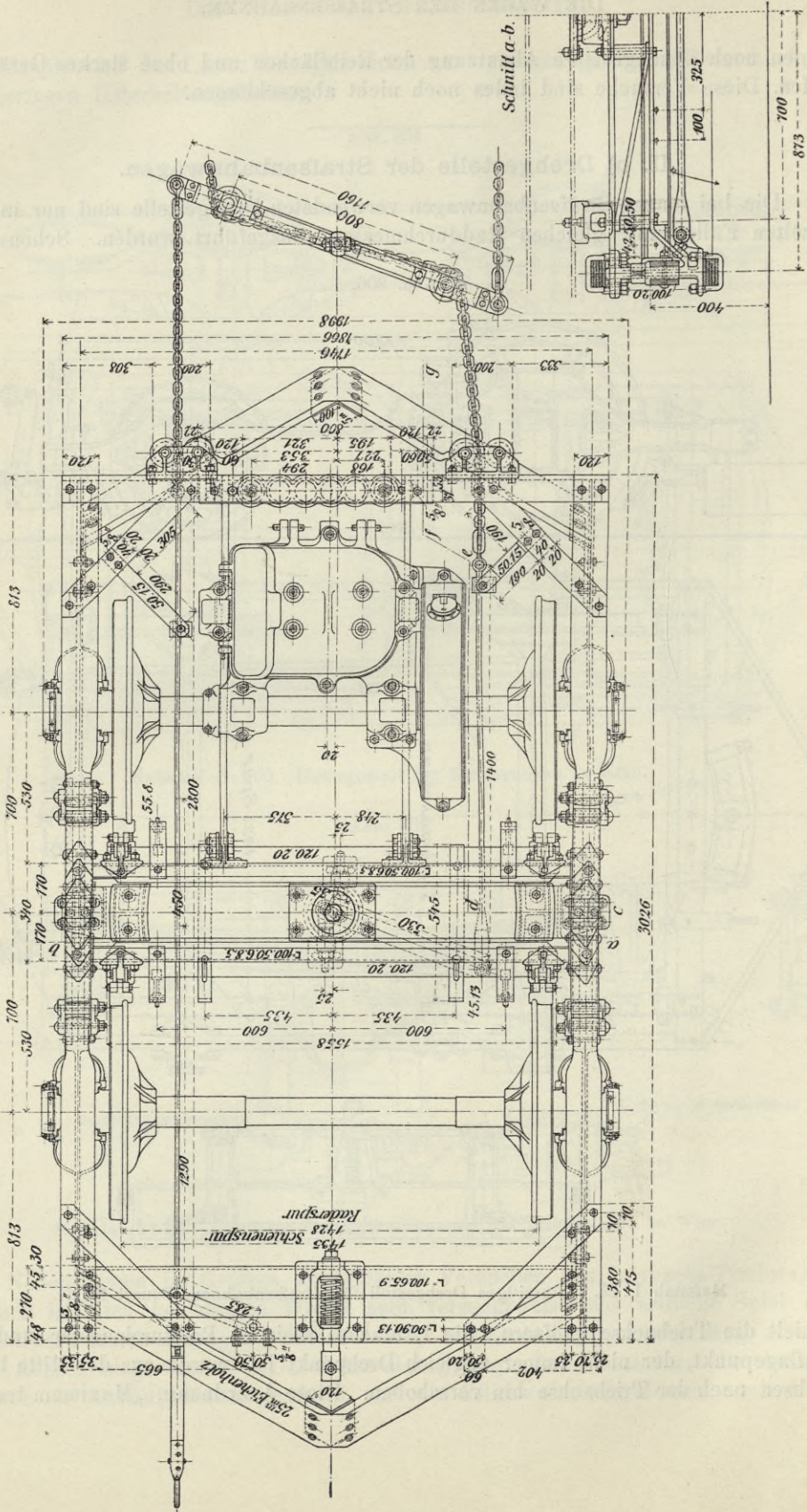
Abb. 806.



Mafsstab 1:25. Einseitiges Drehgestell für Strafsenbahnen, Bauart Brill.

erhielt die Triebachse gröfsere, die Laufachse kleineren Raddurchmesser und der Auflagepunkt, der nicht immer zugleich Drehpunkt ist, wurde aus der Mitte beider Achsen nach der Triebachse hin verschoben. Diese Anordnung, „Maximum traction

Abb. 807.



Maßstab 2 : 45 Gleichseitiges Drehgestell für Straßenbahnen, Bergische Stahlindustrie.

truck“ genannt, ergibt höhern Reibungsdruck, als die gleichseitige Anordnung, ist indes nur bei Antrieb der Hälfte der Achsen anwendbar. Textabb. 806 zeigt ein solches Drehgestell nach der Ausführung von J. G. Brill in Philadelphia. Nach diesem Vorbilde entstanden mehrere andere Ausführungen. Die bei den zweiachsigen Untergestellen bemängelte Abfederung der Achsen mittels kurzer Schraubenfedern beeinträchtigt hier wegen der bessern Lage der Stützpunkte die Bewegungen des Wagens in geringerm Mafse, doch gibt sie, wie beispielsweise das Verhalten des gleichseitigen Drehgestelles der Grofsen Berliner Strafsenbahn (Textabb. 807 und 808) beweist, wegen der ungenügenden Abfederung des massigen Seitenrahmens zu harten Stöfsen des ganzen Drehgestelles Anlafs.

Die mit freien Lenkachsen vorgenommenen Versuche richteten dann das Augenmerk wieder auf die schon vor langer Zeit einmal bearbeiteten einachsigen Drehgestelle. Bei der vielfach ausgeführten Bauart der Maschinenbau - Gesellschaft Nürnberg (Textabb. 809) liegt der Drehungs-Mittelpunkt des Gestelles in der Mitte der Triebachse, die Anordnung kommt der einer Lenkachse nahe. Bei anderen Ausführungen, wie von H. H. Böker und Co. in Remscheid, Busch in Bautzen, oder Ringhoffer in Prag schwingt der die Einzelachse umfassende Rahmen um einen in der Längsachse mehr oder weniger nach der Wagenmitte zu verschobenen Drehpunkt, wobei die Rückstellung durch das Wagengewicht oder besondere Federn erfolgt.

Eingehende Vergleichsversuche mit diesen einachsigen Drehgestellen und freien Lenkachsen sind noch nicht durchgeführt worden ²³⁰⁾.

²³⁰⁾ Vergleiche Bericht des „Internationalen Strafsenbahn- und Kleinbahn - Vereines“, Hauptversammlung 1908 in München. Erstattet von Spängler, Wien, S. 72 bis 74.

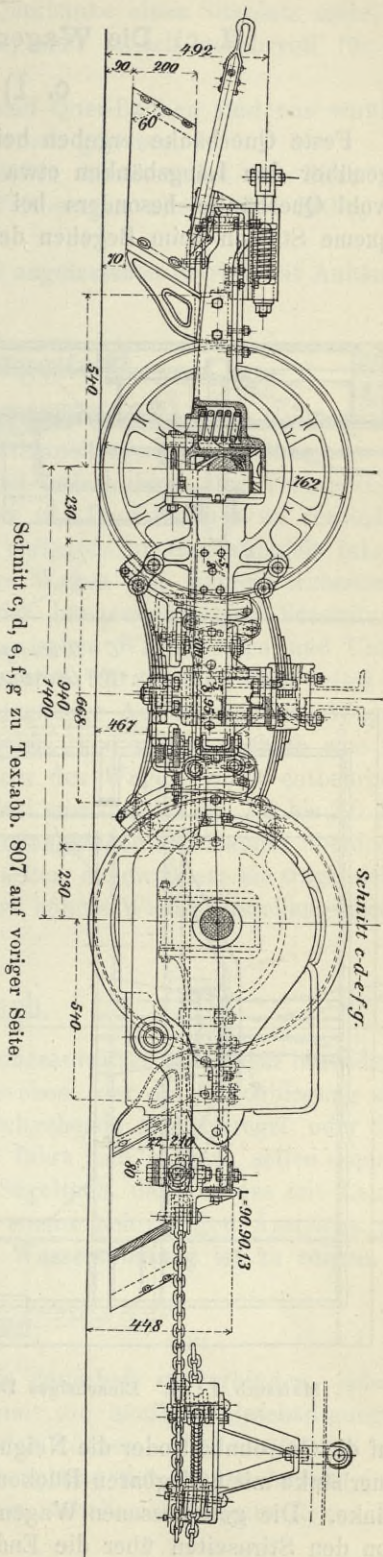


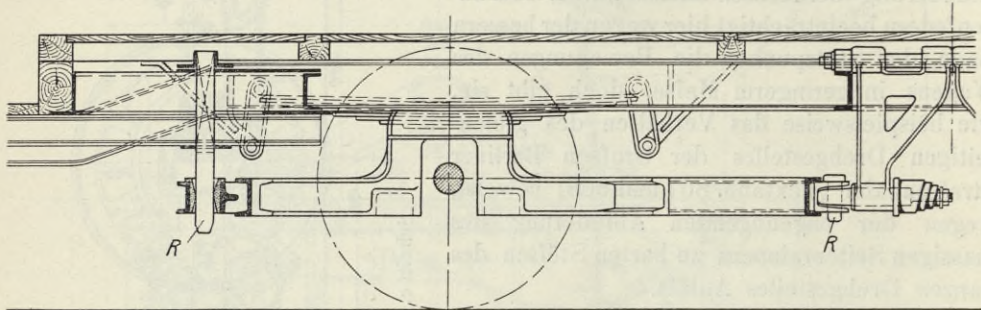
Abb. 808.

II. c) Die Wagenkasten der Strafsenbahnen.

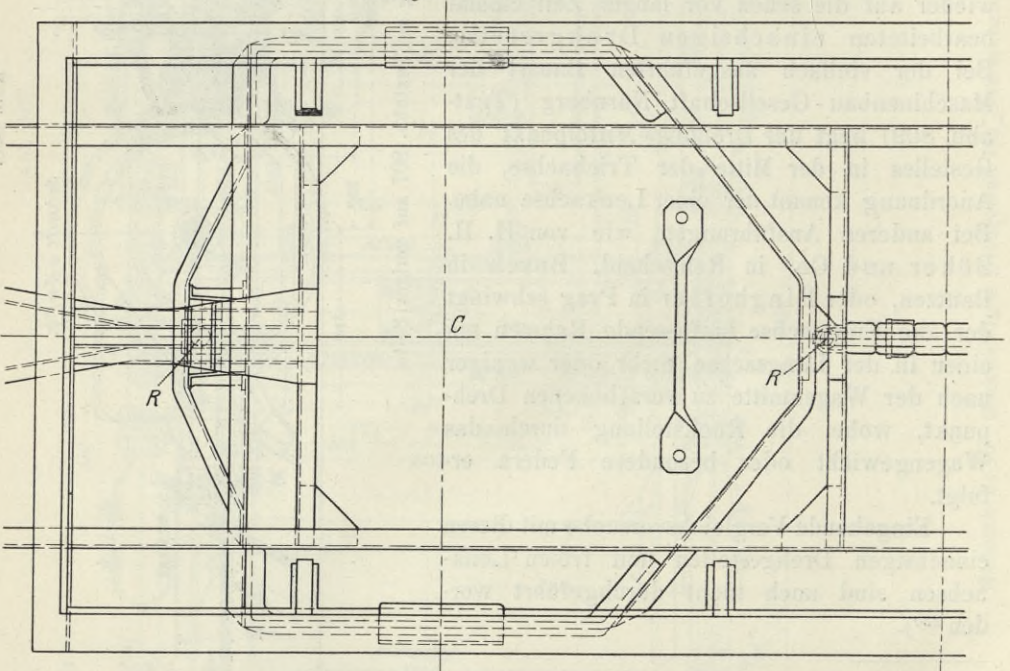
c. 1) Sitzeinteilung.

Feste Querbänke ergeben bei den üblichen Kastenbreiten von 2,0 bis 2,1 m gegenüber den Längsbänken etwa 6% Ersparnis an Wagenlänge. Trotzdem und obwohl Querbänke besonders bei langen Fahrten ein angenehmeres Fahren und bequeme Stützen beim Begehen des Wageninnern bieten, zieht man mit Rücksicht

Abb. 809.



C = Drehungsachse in Achsmitte
R = Drehzapfen



Masstab 1:24. Einachsiges Drehgestell der Maschinenbaugesellschaft Nürnberg.

auf die Gewohnheit oder die Neigung der Bevölkerung vielfach noch Längsbänke vor. Querbänke mit umlegbaren Rückenlehnen erfordern etwa denselben Raum wie Längsbänke. Die geschlossenen Wagen erhalten stets, die offenen in der Regel Zugang von den Stirnseiten über die Endbühnen. Die Seitenaufstiege der offenen Wagen

ergeben zwar für jede der hier stets üblichen Querbänke einen Sitzplatz mehr, als die durch den Längsgang durchbrochene Bank, sind jedoch gefahrvoll für die Fahrgäste.

Die gemischten Anordnungen von Längs- und Quer-Bänken sind nur vorübergehend, und zwar in Österreich-Ungarn in Gebrauch gewesen.

Die tote Wagenlast beträgt bei den üblichen Abmessungen der Sitze und Gänge etwa 300% der zahlenden Last beim Triebwagen allein, und 230% bei einem Triebwagen mit einem Anhängewagen.

Englische Strafsenbahnen ersetzen den nicht zugelassenen Betrieb mit Anhängewagen durch den Aufbau von Decksitzen.

c. 2) Wagenkastengestell.

Die Längsversteifungen legt man in die Seitenwände unter die Fenster, oder man führt die Längsträger des Bodenrahmens aus doppelten, oder mit hohen oder mit Eisen beschlagenen Hölzern aus. Alle Säulen sind aufser durch ihre Verzapfungen auch noch durch steife Eckwinkel mit den Boden- und Dach-Rahmen zu verbinden, da nur diese dem Gestelle des über ein schlecht verlegtes Strafsenbahngleis fahrenden Wagens Halt gewähren. Lange zweiachsige Wagen mit kurzem Achsstande bedürfen noch einer besondern, sprengwerk- oder hängewerkartigen Versteifung. Die bei ungenügender Abfederung der Achsen zwischen Wagenkasten und Untergestellrahmen eingefügte überreiche Federung (Textabb. 799 und 800) kann selbst bei weit ausladenden Endfedern nicht als eine gleichmäfsige Auflagerung des Wagenkastens zwischen den Endfedern angesehen werden, und macht deshalb eine besondere Versteifung zur Erhöhung der Lebensdauer des Wagens nicht entbehrlich.

Die äufsere Verkleidung der Wagen wird fast ausnahmslos aus 1,5 bis 2,0 mm starkem, gut gespanntem Bleche gebildet. Verbindungsfugen und Ränder überdeckt man mit Zierleisten. Holzverkleidung wird hier selten angewendet; sie trägt nichts zur Versteifung der Seitenwände bei und erfordert höhere Wiederherstellungskosten bei Beschädigungen.

c. 3) Wagendach.

Das Dach ist bei Vorhandensein eines Lüftungsaufsatzes mit einem besondern, starken, durchlaufenden Rahmen an letzterm versehen, der die Durchbiegung des ganzen Daches verhindert und durch einige durchgehende Dachspriegel oder besondere Quersteifen zu versteifen ist. Die Decke führt man einfach, selten doppelt aus. Die äufsere Bekleidung bildet getränktes Segeltuch, das auf das mit Leinöl und Bleiweifs gestrichene Dach gelegt und mit einem mehrmaligen Anstriche mit Bleiweifs und Ölfarbe versehen wird. Für gute Wasserableitung ist zu sorgen.

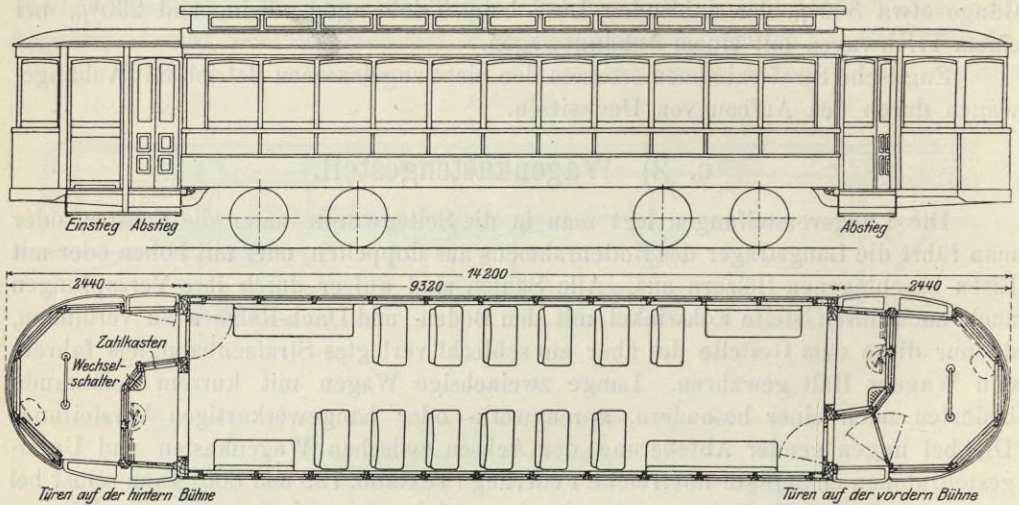
c. 4) Endbühnen.

Die Endbühnen sind mit dem Kastengestelle dauerhaft zu verbinden, jedoch mit diesem nicht als ein Ganzes auszuführen, damit die häufigen Beschädigungen an ihnen schneller und billiger ausgebessert werden können. Ihre Gröfse hat mit der Zeit beträchtlich zugenommen, da die Aufsennplätze der Wagen beliebt sind. Während sie früher nur 5 bis 6 Stehplätze boten, erhalten sie heute Raum für

8 bis 12. Da hiermit für den Aus- und Einsteigenden beträchtliche Unbequemlichkeiten verbunden sind, legt man die Endtüren des Wagens vielfach an die dem Aufstiege benachbarte Ecke. Man rechnet 0,25 qm für einen Stehplatz.

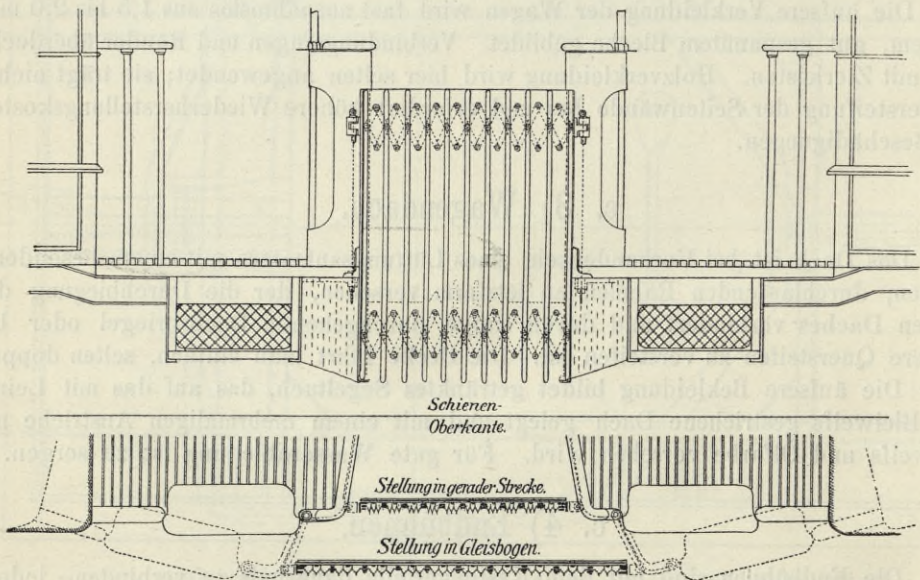
Dieselbe Ursache, sowie das Bestreben, die Einziehung des Fahrgeldes zu

Abb. 810.



Mafsstab 1:105. Anordnung der Endbühnen bei B. A. E.-Wagen.

Abb. 811.



Mafsstab 1:30. Abschluß zwischen Trieb- und Anhängerwagen.

vereinfachen, führten neuerdings zu den sogenannten „Bezahl beim Einsteigen“ — „pay as you enter“-Wagen, P. A. E.-Wagen —, die in den Vereinigten Staaten ent-

standen, und nach rascher Einführung in dortige Betriebe auch bei deutschen Bahnen Eingang fanden. Textabb. 810 stellt die Einsteigbühne eines solchen Wagens dar. Damit verschwindet auch einer der unangenehmsten Übelstände des Strafsenbahnbetriebes, nämlich das häufige Durchschreiten des Wagens seitens des Schaffners.

Die erhöhten Fahrgeschwindigkeiten und die auf starke Besetzung zugeschnittenen geräumigen Endbühnen machen die Umschließung durch Glaswände nötig. Nur wenige Strafsenbahnen, darunter die Große Berliner, haben diese für Fahrgäste und Mannschaft wohlthätige Einrichtung noch nicht getroffen.

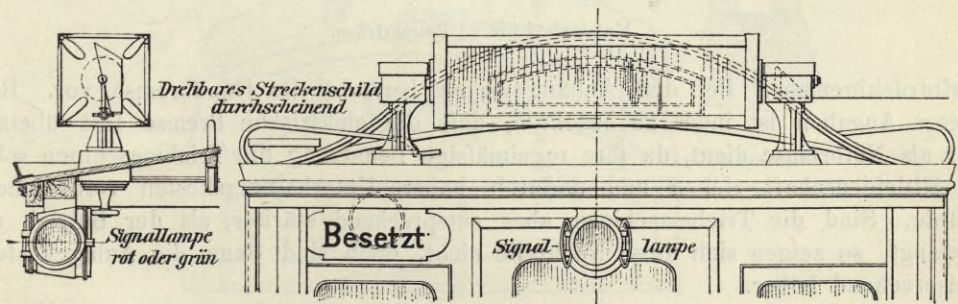
Zum Abschlusse der Endbühnen an den Aufstiegen dienen aufklappbare oder drehbare Gittertüren. In den Vereinigten Staaten findet man bei den über längere Strecken fahrenden Strafsenbahnen auch doppelte, die ganze Öffnung bis zum Dachrande ausfüllende hölzerne Flügeltüren. Einige Bahnen, so in München und Nürnberg, schliessen die Gittertüren auch an den zum regelmässigen Besteigen des Wagens dienenden Aufstiegen, um das Besteigen und Verlassen des Wagens während der Fahrt unmöglich zu machen; ein grosser Teil aller Unglücksfälle wird so vermieden.

Als eine Art Türabschluss sind auch die vielfach zum Abschlusse der Öffnung zwischen dem Trieb- und Anhängewagen dienenden Vorrichtungen anzusehen. Textabb. 811 stellt einen solchen Abschluss der Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg dar. Grade dieser Spalt hat sich für die am hintern Aufstiege des Triebwagens während der Fahrt auf- und abspringenden Fahrgäste als gefahrbringend erwiesen. Die erwähnten Abschlussvorrichtungen haben indes noch keine allgemeine Verbreitung gefunden, da sie den gedachten Zweck nicht völlig erreichen und die Erhaltungskosten erhöhen. Der sicherere Weg besteht in allen Fällen in dem oben erwähnten Abschlusse der Wagenaufstiege während der Fahrt.

c. 5) Streckenschilder und Lampen.

Zur Angabe der Fahrriechtung sind Streckenschilder und farbige Scheiben, oder bei grossen Bahnen Nummern am Wagendache anzubringen. Die Erfahrung zeigt, dass die nur an den Längsseiten befindlichen Streckenschilder den Zweck nicht ganz erfüllen, da man sie erst bei der Ankunft des Wagens lesen kann, zweckmässiger werden sie auch an die Stirnseiten des Daches gesetzt. Abends ist für genügende

Abb. 812.



Massstab 1:20. Drehbares Streckenschild.

Beleuchtung aller dieser Schilder und Zeichen durch besondere Lampen zu sorgen. Textabb. 812 veranschaulicht ein drehbares Streckenschild, das von unten durch

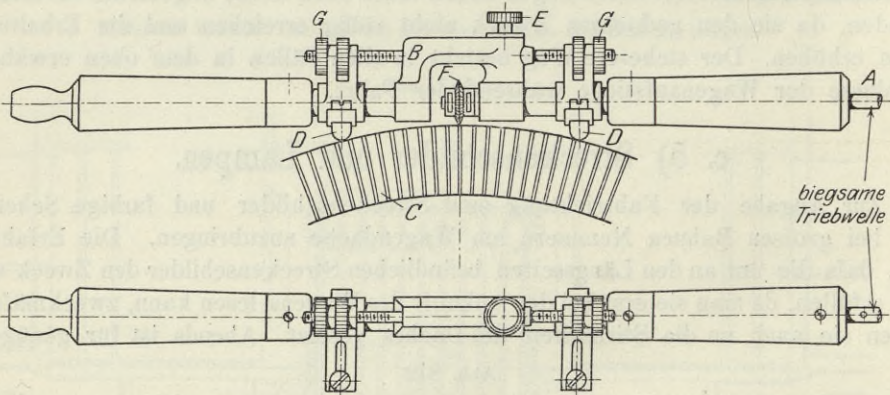
den Wagenführer bedient werden kann. Kostspielig in Anlage und Unterhaltung sind durchscheinende Streckenschilder.

Stirn- und Schluß-Lichter werden sehr verschieden ausgeführt. Während sie manche Bahnen auf dem „Spritzbleche“ der Endbühnen anordnen, setzen andere sie auf den Dachrand und beleuchten mit ihnen nach hinten oder seitlich auch das Streckenschild. Neben der in allen Fällen elektrischen Wagenbeleuchtung bedarf jedes Fahrzeug noch einer Notlampe, die als Stearinlicht oder Petroleumlampe in oder an einer der Stirnwände angebracht wird.

II. d) Die Bremsen der Straßenbahnwagen.

Bei den Straßenbahnwagen kommen heute dreierlei Bremsen zur Anwendung: Hand-, elektrische und magnetische, und Luftdruck-Bremsen. Jede dieser Arten ist für sich wieder in verschiedenen Gestalten ausgeführt; zur Zeit sind etwa 20 verschiedene Bremsarten im Betriebe. Von diesen entfallen etwa 35% auf Handbremsen, Kurbelbremsen auf die Räder wirkend, 50% auf Handbremsen verbunden mit elektrischen Bremsen, elektrodynamische Bremsung durch die Triebmaschinen zum Teil mit magnetischen Achsbremsen verbunden, 15% auf

Abb. 813.



Mafsstab 1:5. Glimmerfräse.

Luftdruckbremsen. Bei den Anhängewagen herrscht die Handbremse vor. Bei diesen Angaben ist indes zu beachten, daß die elektrische Bremse fast überall nur als Notbremse dient, da ihre regelmäßige Benutzung die Triebmaschinen sehr in Mitleidenschaft ziehen und dadurch höhere Unterhaltungskosten verursachen würde. Sind die Triebmaschinen aber entsprechend stärker, als der Betrieb es verlangt, so zeigen sich diese Nachteile nicht, doch sind dann die Anlagekosten entsprechend höher.

Die elektrische Bremse dient daneben auch zur Regelung der Fahrgeschwindigkeit, also bei der Fahrt in steilen Gefällen, sowie bei Anhängewagenbetrieb, wobei der Bremsstrom zur Erregung der Magnetbremsen der Anhängewagen dient. Bei Anwendung der elektrischen Bremse sollten die Glimmerscheiben zwischen den

Kupferstreifen des Stromwenders stets 1 bis 2 mm tief ausgekratzt, oder mittels einer in Textabb. 813 angegebenen Fräsvorrichtung ausgefräst werden (S. 747). Ein Abschmirlen des Stromwenders ist dann nur etwa alle sechs Monate nötig.

Die gegen die Luftdruckbremsen vorgebrachten Einwände des Einfrierens des Bremsventiles oder Bremskolbens, oder des Berstens des Bremsschlauches beruhen in der Regel auf unsachgemäßer Anlage und Behandlung, da eine ganze Reihe von Strafsenbahnen diese Übelstände zu vermeiden wissen.

Die jährlichen Unterhaltungskosten der verschiedenen Bremsarten gibt der Bericht von Ph. Scholtes in der Hauptversammlung 1908 des internationalen Strafsenbahn- und Kleinbahn-Vereines, der die Untersuchung der Bremsfrage auf Veranlassung des Verfassers schon seit 1898 zu seinen Aufgaben machte, wie folgt an:

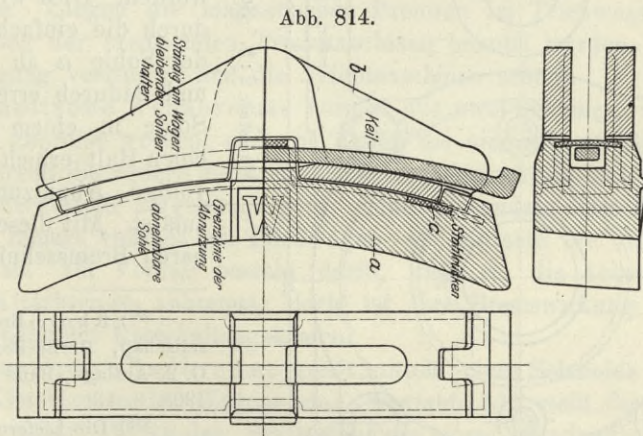
Handbremsen . . .	87 M.
elektrische Bremsen	57 M.
Luftdruckbremsen .	88 M.

Hierbei ist jedoch zu beachten, daß die elektrischen Bremsen vielfach nur zur Regelung der Fahrgeschwindigkeit dienen, und daß sie als Gebrauchsbremsen höhere Anschaffungskosten der Triebmaschinen verursachen, so daß zu obigem Betrage in allen Fällen noch ein Zuschlag zu machen ist.

Der Bremsweg hängt von der Fahrgeschwindigkeit, der Beschaffenheit des Oberbaues, dem Zustande der Schienenoberfläche, der Fertigkeit des Wagenführers und der Unterhaltung des Bremszeuges ab. Er schwankt bei den üblichen Fahrgeschwindigkeiten je nach diesen Umständen zwischen 3 und 20 m.

d. 1) Handbremsen.

Die Handbremsen werden fast ausschließlich als Vierklotzkurbelbremsen ausgeführt. Die Achtklotzbremse verdient eisenbahntechnisch unbedingt den Vor-



Mafsstab 1:4. Zweiteiliger Bremsklotz von Helmes.

zug, doch erfordert sie erhöhte Aufmerksamkeit und Kosten. Gute Einstellung der Bremsklötze ist indes in allen Fällen unerläßlich. Unter den besonderen Vor-

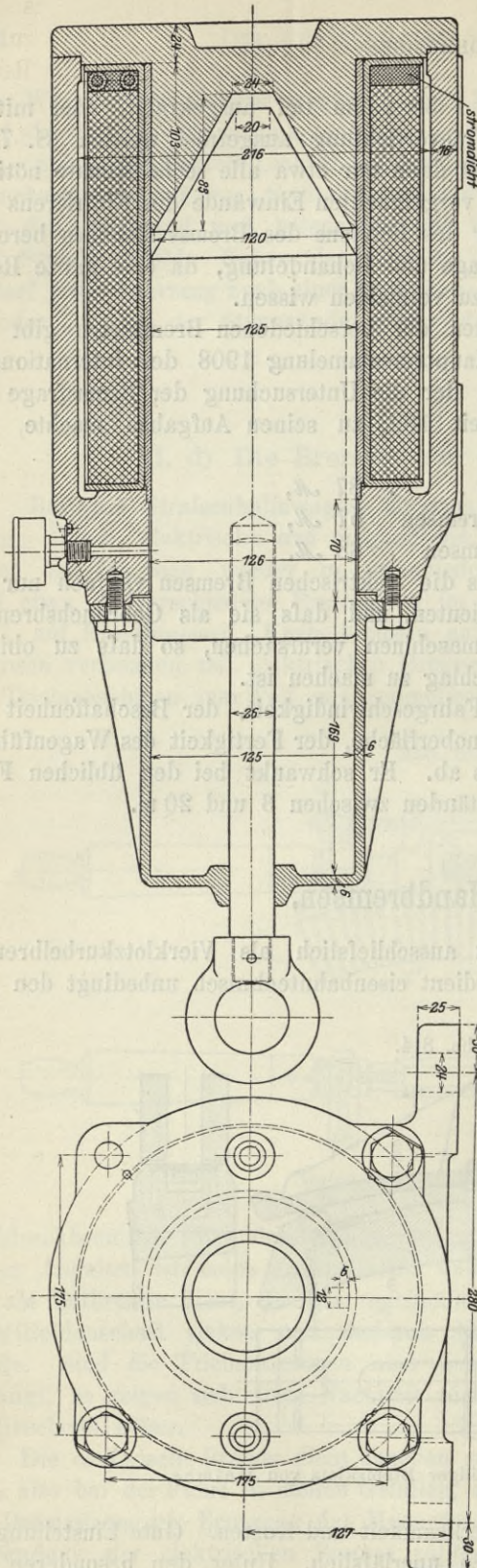


Abb. 815.

Maßstab 2:9. Solenoid-Bremse von 150 mm Hub, Siemens-Schuckert-Werke.

richtungen, die diese oft nur flüchtig und widerwillig ausgeführte Arbeit erleichtern, verdient die unter anderen bei den Straßenbahnen in Berlin und München benutzte Einstellvorrichtung für Bremsgestänge der Bauart Chaumont²³¹⁾ genannt zu werden.

Die Bremsspindeln werden meist als Kettenspindeln ausgeführt, die zwar schnelleres Anziehen und bequemeres Abstellen der Bremswirkung ermöglichen, aber weniger zuverlässig sind, als Schraubenspindeln. Die Bremskurbel erhält eine Ratschenverbindung mit der Bremsspindel, damit sie sich beim Anziehen stets in die für den Führer günstige Lage bringen läßt. Hierbei sind Sperrvorrichtungen nötig.

Die früher oft versuchsweise eingeführten, auswechselbaren Reibschalen der Bremssohle sind neuerdings erst durch die in Textabb. 814 dargestellte, vielfach angewandte Ausführung von Helmes²³²⁾ erfolgreich geworden. Dies wurde vor allem durch die einfache Befestigung der Sohle *a* an dem Halter *b* und dadurch erreicht, daß die Sohle in einem Stahlrücken *c* einen Halt erhielt, der eine fast völlige Abnutzung der Sohle zuläßt. Mit diesen auswechselbaren Bremssohlen wird nun

²³¹⁾ Knorr-Bremse, Aktiengesellschaft, Berlin-Boxhagen. E. T. d. G. 2. Auflage, Band I, S. 968; Organ 1908, S. 13.

²³²⁾ Die Lieferung dieser Bremssohle hat die Knorr-Bremse, Aktiengesellschaft, Berlin-Boxhagen übernommen.

nicht nur eine Ersparnis an Klötzen, sondern auch eine Verminderung der Auswechsellkosten erzielt.

Besonderer Aufmerksamkeit bedarf die Ausführung des Bremsgestänges. Es darf bei der Fahrt nicht lärmend schwingen und soll sich an den Aufhänge- und Drehpunkten möglichst wenig abnutzen. Gehärtete Drehbolzen und breite Auflageflächen sind deshalb überall vorzusehen. Aufgeschweifste Hebel sind den aufgekeilten vorzuziehen.

d) 2. Elektrische und magnetische Bremsen.

Schon früh erkannte man die Fähigkeit der Triebmaschine, in der Schaltung eines Stromerzeugens die lebendige Kraft des von der Stromquelle abgeschnittenen Wagens in sich aufzunehmen, das heißt, in Stromwärme umzusetzen. Schuckert, Nürnberg, führte diese elektrodynamische Bremse zuerst in den Betrieb ein. Hervorragende Dienste leistet diese Bremsart bei der Fahrt in den Gefällen, wobei sich mittels der Regelung der Stromerzeugung die Fahrgeschwindigkeit genau regeln läßt. Da die Triebmaschine also auch außerhalb ihrer Triebarbeit elektrisch beansprucht wird, ohne sich abkühlen zu können, muß sie entsprechend größer gebaut werden und eignet sich dann auch als Gebrauchsbremse. Solche mit Wendepolen²³³⁾ eignen sich wegen Schonung des Stromwenders besonders gut zur elektrodynamischen Bremsung²³⁴⁾; bis zu ihrer Entwicklung behalf man sich mit Auskratzen der Glimmerscheiben zwischen den Kupferstreifen des Stromwenders, wozu man beispielsweise die in Textabb. 813 dargestellte Vorrichtung benutzte. Die Schaltung der elektrodynamischen Bremse ist in den Textabb. 762 und 763, S. 698 und 699 angegeben. Der von den Triebmaschinen in Dynamoschaltung erzeugte Strom wird entweder in Widerstände geleitet, die bei Kurzschlußbremsen bis zum Kurzschlusse der Maschinen abgestuft werden, oder in magnetischen Achs-, Klotz- oder Schienenbremsen zu deren Erregung benutzt. Dadurch entsteht dann die elektrische durchgehende Bremse. Liegen die magnetischen Bremsen im Triebwagen, so können sie zur Entlastung der bremsenden Triebmaschinen benutzt werden, wodurch man die Stromerzeugung verringert und die Triebmaschinen schont.

Die magnetische Achsbremse besteht aus zwei Scheiben, die magnetisch gegen einander geprefst werden, und von denen die eine mit der Bremsachse verkeilt wird, während die andere die Bremsachse ringartig umgibt und gegen Drehung gesichert im Untergestelle aufgehängt wird. Man verwendete diese Bremsen wegen ihrer schmalen Bauart vielfach an Triebwagen und ordnete sie dann neben der Triebmaschine an. Ihr Vorzug besteht darin, daß sie die Achsen unmittelbar, also ohne die Klotzbremse, abbremst, doch ist ihre Bremswirkung ungleich, und sie erfordert erhebliche Unterhaltungskosten.

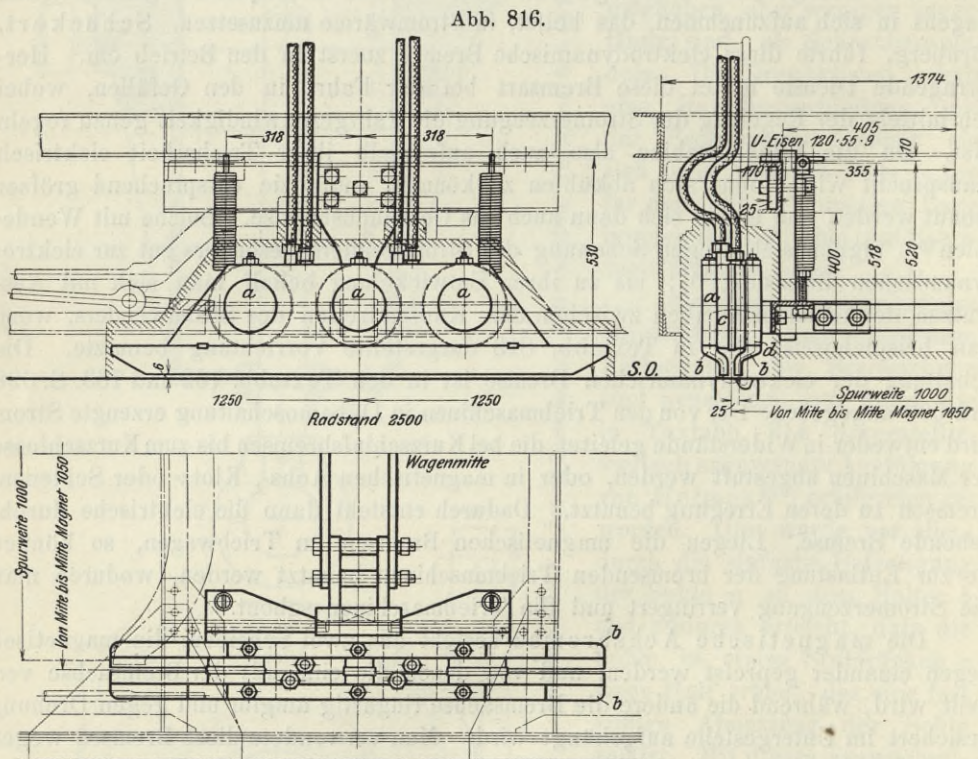
Die magnetische Radbremse greift mittels eines Solenoids in das Bremsgestänge der Klotzbremse des Wagens ein. Textabb. 815 stellt diese Bremse der Siemens-Schuckert-Werke dar. Sie besteht aus einem zylindrischen, gußeisernen Gehäuse, in dem sich ein die Magnetspule tragender Messingzylinder befindet, und

²³³⁾ S. 643.

²³⁴⁾ Elektrotechnische Zeitschrift 1910 S. 921; 1911, S. 1031.

einem sich in diesem bewegenden stählernen Ankerkerne. Die durch die magnetische Erregung zur Annäherung gelangten Polflächen des Gehäuses und Kernes sind kegelförmig, was bei kleinstem magnetischem Luftwiderstande den größten Weg ergibt. Die andere Seite des Kernes erhält eine Zugstange mit Auge, an das sich das Bremsgestänge anschließt. Eine solche Bremse entwickelt bei 150 mm Hub eine Zugkraft von 600 kg, ausreichend für einen Anhängewagen bis etwa 8 t Gewicht; sie wiegt 154 kg.

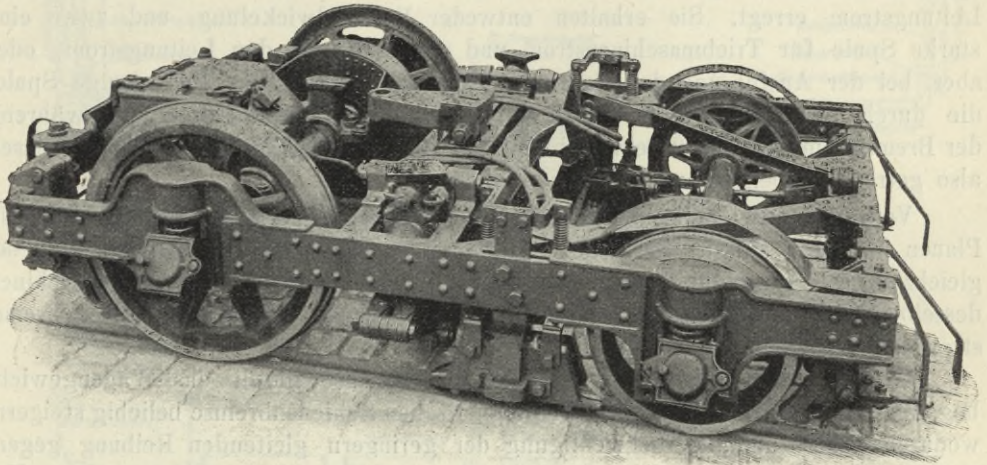
Die magnetische Schienenbremse ist erst in den letzten Jahren so ausgebildet, daß mit ihr im Betriebe gerechnet werden kann. Ihre Wirkung beruht auf der magnetischen Anziehung zwischen einem im Untergestelle des Wagens über den Schienen aufgehängten länglichen Magneten und der Schiene. Textabb. 816 und 817 stellen die Schienenbremse der Westinghouse-Gesellschaft in Berlin



dar. Sie besteht aus zwei mit je drei in Blechkästen eingelöteten Magnetspulen *c* ausgerüsteten länglichen Magnetkörpern, die auf jeder Wagenlängsseite über den Schienen an nachstellbaren Federgehängen aufgehängt und durch einen Querträger starr verbunden sind. Der Querträger legt sich in der Fahrriichtung an feste Anschläge des Untergestelles an, wodurch die Mitnahme des Bremskörpers durch den Wagen bei Bremsungen gesichert ist. Die durch die Erregung erzeugten magnetischen Kraftlinien *d* gelangen über die Magnetschuhe *b* zur Schiene, in deren Querrichtung sie geschlossen werden. Der Magnetkörper legt sich daher mit seinen beiden, die Reibflächen bildenden Polschuhen fest an die Schienen an.

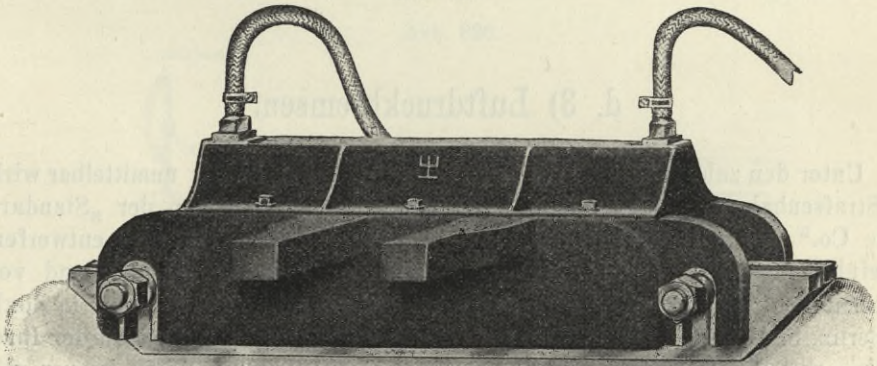
Die in Textabb. 816 dargestellte Bremse gibt 4,5 t Reibungsdruck. Bei den zweiachsigen Triebwagen der Strafsenbahn in Cronenberg beträgt der ganze Bremsdruck 9 t. Textabb. 817 zeigt in einem Schaubilde das mit einer solchen Schienenbremse ausgestattete Drehgestell der Triebwagen in Nürnberg.

Abb. 817.



Magnetische Schienenbremse an einem Strafsenbahn-Drehgestelle.

Abb. 818.



Schienenbremse der „Magnetbremsen-Gesellschaft“, Berlin-Tempelhof.

Die Schienenbremse der „Magnetbremsen-Gesellschaft“ in Berlin-Tempelhof zeigt einen ähnlichen Aufbau, wie die vorbeschriebene, weicht indes in wesentlichen Einzelheiten von ihr ab. Die Polschuhe bestehen statt aus besonders geformtem Eisen aus einfachen, überdies nachstellbar angeschraubten Flacheisen (Textabb. 818), lassen sich also weiter abnutzen und leicht und billig ersetzen. Sie ermöglichen durch die feinere Einstellung des Luftweges der Kraftlinien eine Verringerung des Bremsengewichtes. Diese Ersparnis belief sich bei einem Magneten von

4 t Zugkraft auf etwa 90 kg, bei einem solchen von 2,5 t Zugkraft auf etwa 30 kg. Weiter wird der Spulenkasten lediglich zwischen die Magnetschenkel durch deren Verschraubung eingeklemmt und ist bei guter Abdichtung der Untersuchung leicht zugänglich.

Die magnetischen Schienenbremsen werden entweder durch den bei elektrodynamischer Bremsung von den Triebmaschinen gelieferten Bremsstrom, oder durch Leitungstrom erregt. Sie erhalten entweder Verbundwicklung, und zwar eine starke Spule für Triebmaschinenstrom und eine feine für den Leitungstrom, oder aber bei der Ausführung der Magnetbremsen-Gesellschaft nur eine einzige Spule, die durch den Fahrschalter selbst auf die Leitung umgeschaltet wird, während der Bremsstromkreis der Triebmaschinen für sich geschlossen wird, beide Bremsen also getrennt neben einander bestehen bleiben.

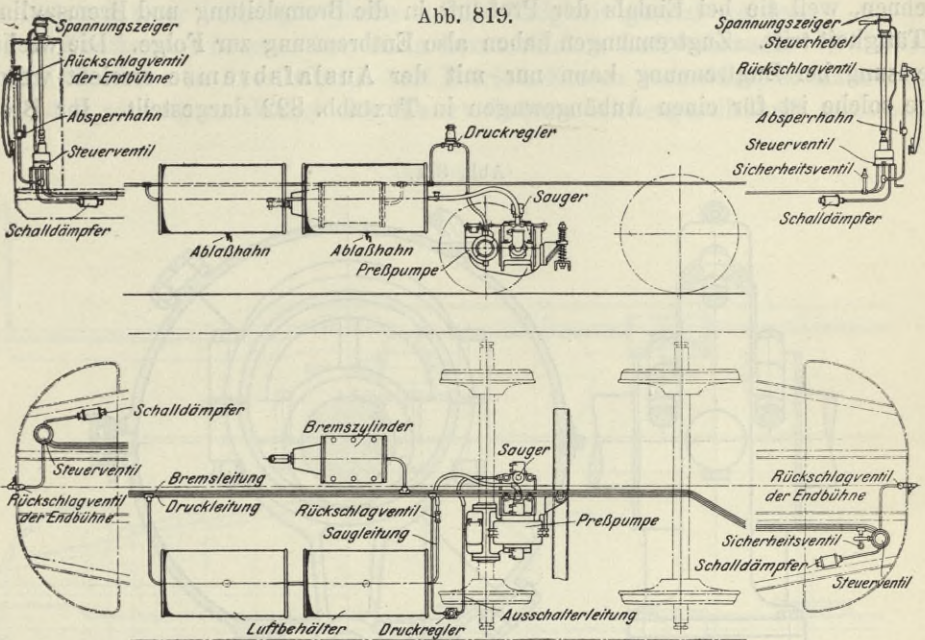
Versuche mit der Schienenbremse der Magnetbremsen-Gesellschaft haben in Plauen i. V. und auf der Bergbahn in Barmen mit 90% Gefälle ergeben, daß bei gleichzeitiger Verwendung einer magnetischen Schienenbremse die Triebmaschinen desselben Wagens während elektrodynamischer Bremsung mit nur der halben Bremsstromstärke beansprucht werden.

Während der Bremsdruck bei der Klotzbremse durch das Wagengewicht begrenzt wird, läßt er sich bei der magnetischen Schienenbremse beliebig steigern, wodurch selbst unter Berücksichtigung der geringern gleitenden Reibung gegenüber der Reibung der Ruhe erheblich kürzere Bremswege erzielt werden. Unglücksfälle, die häufig durch ungenügende Bremskraft der überdies oft fest gebremsten Räder entstehen, lassen sich also mit magnetischen Schienenbremsen vermeiden.

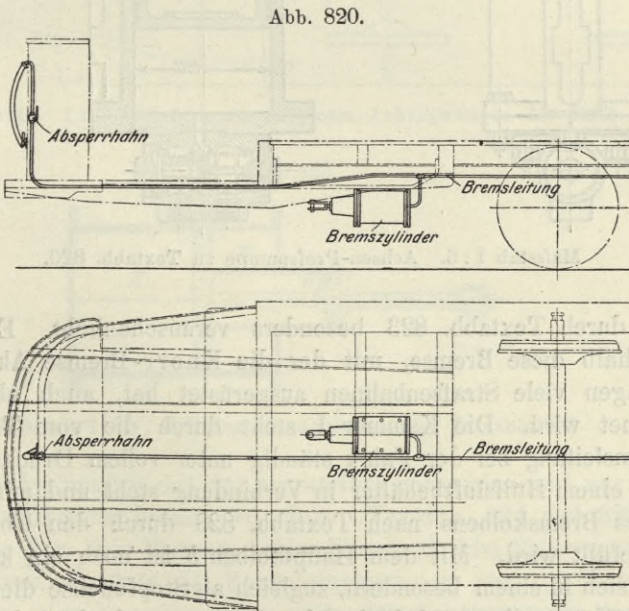
d. 3) Luftdruckbremsen.

Unter den zahlreichen neueren Luftdruckbremsen wird die unmittelbar wirkende bei Strafsenbahnen am häufigsten verwendet. Sie wurde von der „Standard Air brake Co.“ und der „Christensen Co.“ in den vereinigten Staaten entworfen und eingeführt und kam dann nach Europa herüber, wo sie in Deutschland von der Kontinentalen Bremsen-Gesellschaft, Knorr-Bremse, Aktiengesellschaft in Boxhagen bei Berlin, und von Westinghouse in Hannover weiter ausgebildet wurde. Ihre Einrichtung und Wirkungsweise gehen aus Textabb. 819, 820 und 821 hervor, die die Bremse der Knorr-Bremse Aktiengesellschaft an einem Trieb- und einem Anhängewagen der Großen Berliner Strafsenbahn darstellen. Die in der Achsenpfeispumpe des Triebwagens erzeugte Prefsluft gelangt in den doppelten Luftbehälter und von da in die den ganzen Wagen durchziehende Druckleitung. Diese führt auf jeder Endbühne zum Steuerventile, durch das sie vom Wagenführer mittels seines Handhebels und eines mit diesem verbundenen Flach- oder Rund-Schiebers entweder allmählig für Bremsstellung, oder bei voller Freigabe der Verbindung rasch für Notbremsstellung in die Bremsleitung geleitet werden kann. An die Bremsleitung ist der Bremszylinder unmittelbar angeschlossen. In der dritten Lösestellung kann die Bremsleitung rasch, oder bei mehrmaligem Hin- und Herbewegen des Hebels langsam, mit dem Auspuffe verbunden werden. An die Bremsleitung des Trieb-

wagens ist mittels einer Schlauchkuppelung auch die des Anhängewagens angeschlossen, die hier ebenso mit einem Bremszylinder unmittelbar in Verbindung steht.



Mafsstab 1:50. Luftdruckbremse an vierachsigen Triebwagen, Grosse Berliner Strafsenbahn.



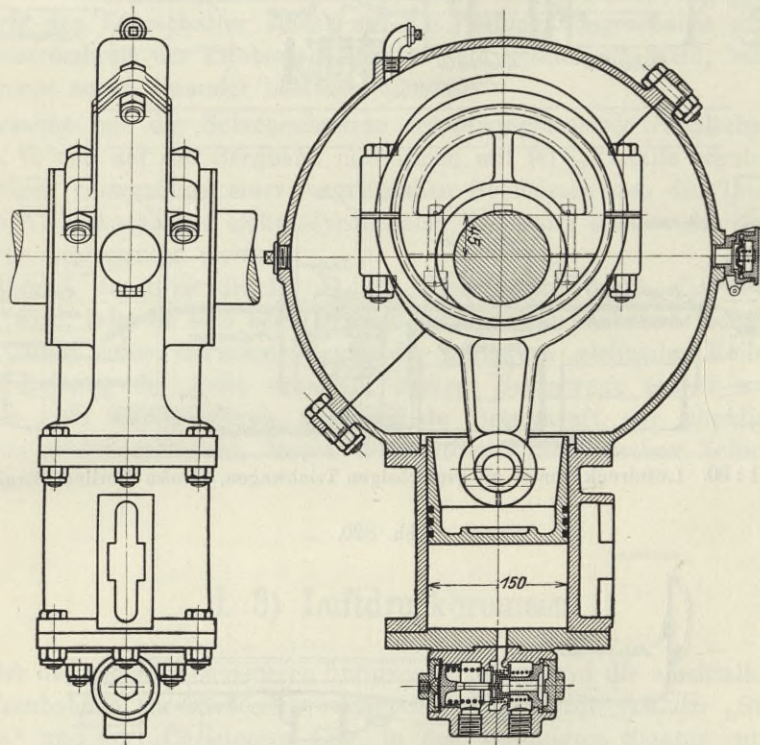
Mafsstab 1:50. Luftdruckbremse an zweiachsigen Anhängewagen, Grosse Berliner Strafsenbahn.

Druckregler an der Pumpe, Ablafshahn und Sicherheitsventil an den Luftbehältern, Rückschlagventil und sonstige Hilfsvorrichtungen entsprechen der Aus-

führung jeder Luftdruckbremsanlage und sind in Textabb. 819 und 820 gleichfalls angegeben.

Diese unmittelbar wirkende Bremse könnte man als Einlaßsbremse²³⁵⁾ bezeichnen, weil sie bei Einlaß der Preßluft in die Bremsleitung und Bremszylinder in Tätigkeit tritt. Zugtrennungen haben also Entbremsung zur Folge. Die wichtige Bremsung bei Zugtrennung kann nur mit der Auslaßsbremse erreicht werden. Eine solche ist für einen Anhängewagen in Textabb. 822 dargestellt. Ihr Brems-

Abb. 821.



Maßstab 1:6. Achsen-Preßpumpe zu Textabb. 820.

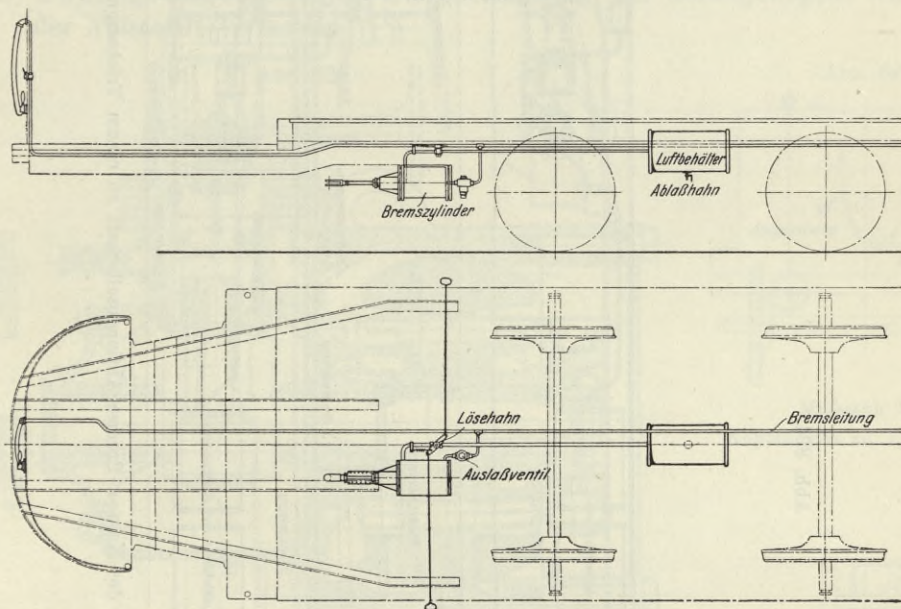
zylinder wird durch Textabb. 823 besonders veranschaulicht. Er besitzt zwei Kammern, weshalb diese Bremse, mit der die Knorr-Bremse Aktiengesellschaft in Berlin-Boxhagen viele Straßenbahnen ausgerüstet hat, auch als Zweikammerbremse bezeichnet wird. Die Kammer I steht durch die vom Triebwagen herkommende Bremsleitung bei der Fahrt ständig unter vollem Drucke, während die Kammer II mit einem Hülfsluftbehälter in Verbindung steht und mit diesem in der Lösestellung des Bremskolbens nach Textabb. 823 durch den Übergangskanal *a* mit Preßluft gefüllt wird. Mit dem Hauptkolben *b* ist noch ein kleiner Kolben *c* verbunden, der sich in einem besonders, zugleich als Stopfbüchse dienenden Zylinder bewegt. In der Lösestellung wird also das Gestänge mit dem dem Unterschiede der Kolbenflächen entsprechenden Überdrucke festgehalten. Wird nun die Brems-

²³⁵⁾ E. T. d. G. 2. Auflage, Band I, S. 929.

leitung mit der Außenluft verbunden, so kommt die Kammer II des Bremszylinders allein zur Wirkung und bringt das Bremsgestänge zum Anziehen. Die Bremse wirkt also bei Zugtrennungen selbsttätig; sie kann ferner durch den ganzen Zug gelegt und von einer beliebigen Stelle aus in Tätigkeit gesetzt werden.

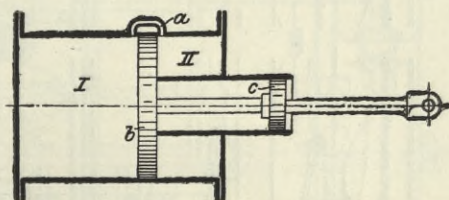
Die Zweikammerbremse hat einen beträchtlichen Luftverbrauch. Will man ihn wegen der höheren Anschaffungs- und Betriebs-Kosten vermeiden, so kann man das mit der vereinigten Bauart der Knorr-Bremse Aktiengesellschaft erreichen.

Abb. 822.



Mafsstab 1:50. Luft-Auslaßbremse an einem Anhängewagen der Stadt Berlin.

Abb. 823.

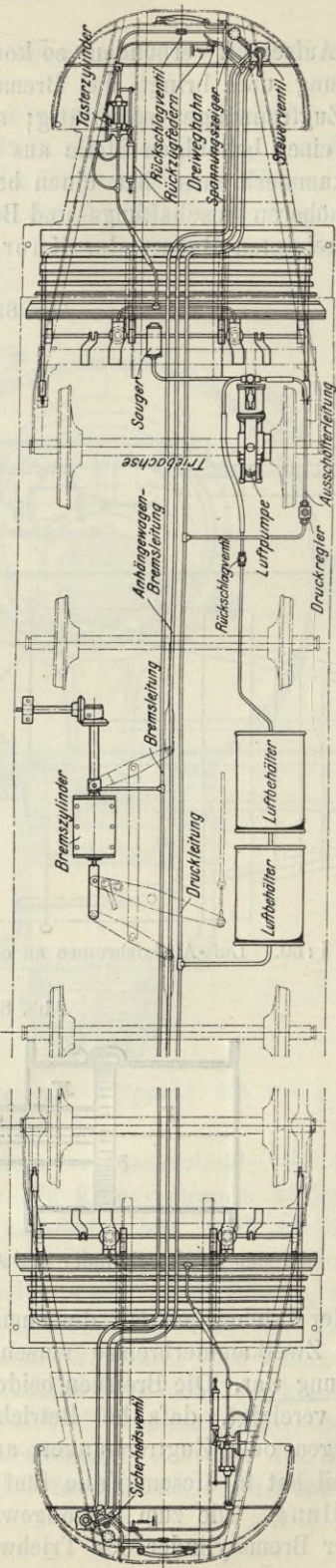
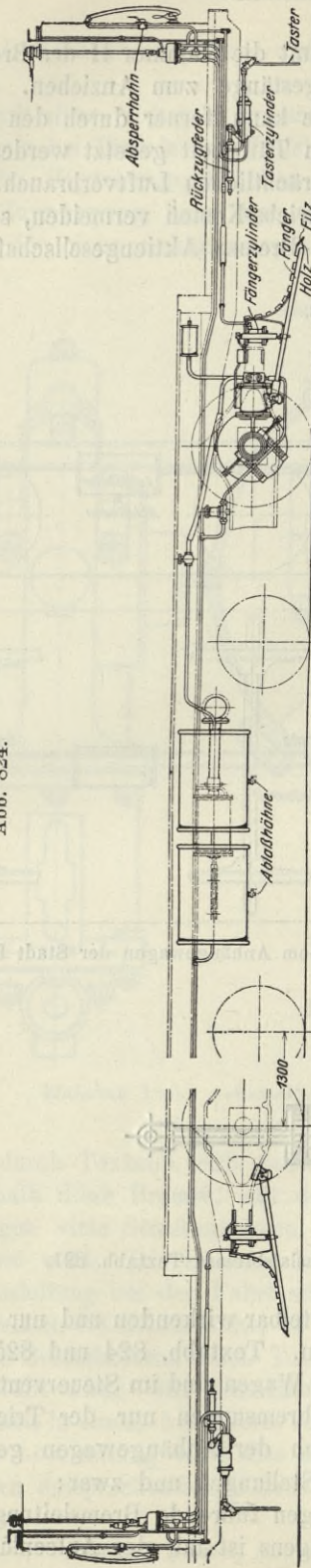


Mafsstab 2:25. Zylinder der Auslaßbremse Textabb. 821.

Danach wird der Triebwagen mit der unmittelbar wirkenden und nur der Anhängewagen mit der Zweikammerbremse versehen. Textabb. 824 und 825 stellen eine solche Einrichtung dar. Die Bremsen beider Wagen sind im Steuerventile des Triebwagens derart vereinigt, daß bei Betriebsbremsungen nur der Triebwagen, bei Schnellbremsungen oder Zugtrennungen auch der Anhängewagen gebremst wird. Das Steuerventil hat in diesem Falle fünf Stellungen und zwar:

- 1) Lösestellung. Die zum Anhängewagen führende Bremsleitung steht unter Druck, der Bremszylinder des Triebwagens ist mit der Außenluft verbunden.

Abb. 824.

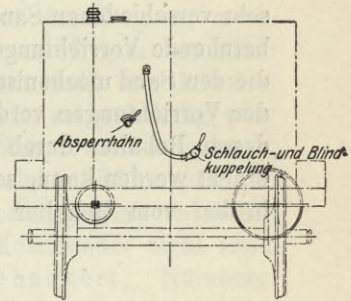
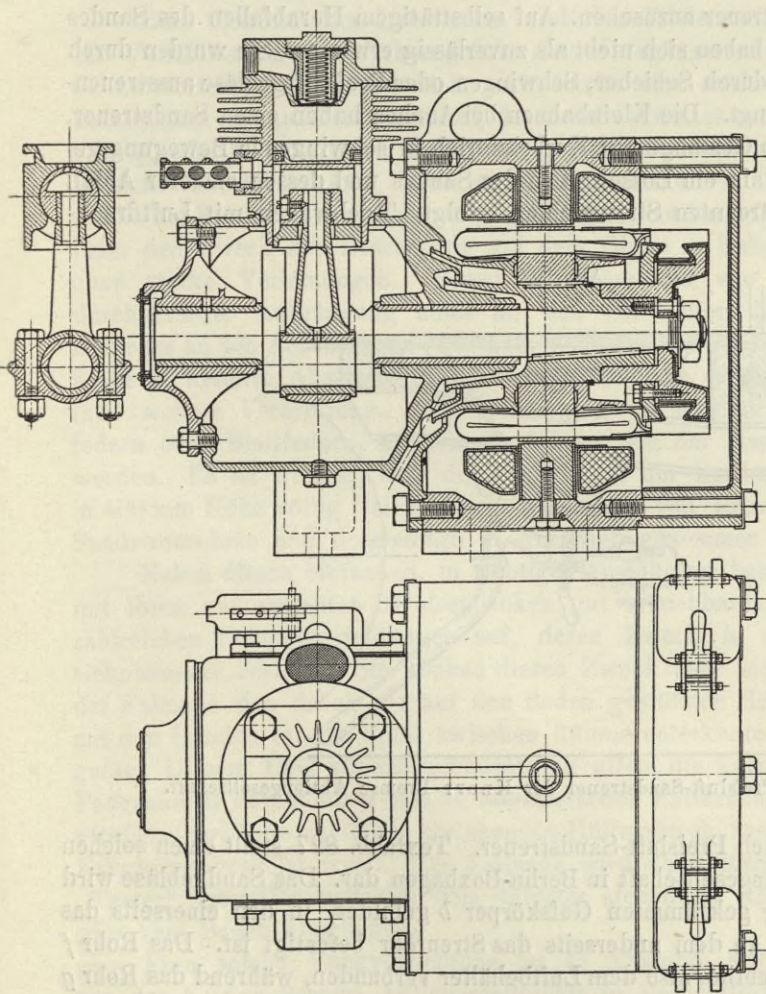


Maßstab 1:50. Vereinigte Bauart der Luftbremse der Knorr-Bremse Aktiengesellschaft an einem Triebwagen der Stadt Berlin.

- 2) Fahrstellung. Die Bremsleitung des Anhängewagens erhält durch einen schmalen Übergangspalt im Steuerventile nur soviel Zufuhr an Prefsluft, wie zum Ausgleichen des Leckens nötig ist.
- 3) Abschlufsstellung. Alle Kanäle sind gegen einander und vom Hauptluftbehälter im Triebwagen abgeschlossen, so daß weder Luft aus den Bremsleitungen aus-, noch in sie einströmen kann. In dieser Stellung werden die angezogenen Bremsen festgehalten.
- 4) Triebwagenbremse. Der Bremszylinder des Triebwagens erhält Prefsluft.
- 5) Anhängewagenbremse. Die Bremsleitung des Anhängewagens wird mit der Aufsenuft verbunden.

Abb. 826.

Abb. 825.



Mafsstab 1:50.

Kopfansicht zu Textabb. 824.

Mafsstab 2:15. Luftpumpe der Siemens-Schuckert-Werke.

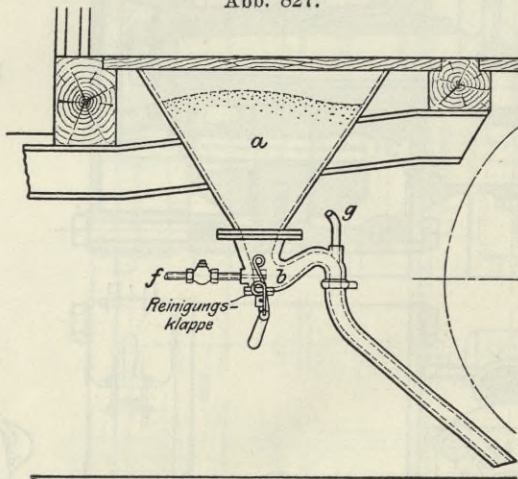
Die Luftpumpen werden von aufsermittigen Scheiben auf den Wagenachsen oder von elektrischen Triebmaschinen bedient. Letzteres ist teurer, aber stets möglich, während ersteres die Füllung der Luftbehälter vor Abfahrt des

Wagens aus der Wagenhalle und nach längerem Stillstande durch eine ortsfeste Anlage bedingt. Textabb. 826 stellt eine elektrisch angetriebene Luftpumpe der Siemens-Schuckert-Werke dar, die bei 1000 Volt Klemmenspannung und 1000 Umdrehungen in der Minute 6,3 l/Sek. Prefsluft von 8 at. Spannung liefert, 220 kg wiegt und 2,3 P. S. erfordert.

II. e) Die Sandstreuvorrichtungen der Strafsenbahnwagen.

Als ein wesentlicher Bestandteil der Wagenbremse sind die der Bauart nach sehr verschiedenen Sandstreuer anzusehen. Auf selbsttätigem Herabfallen des Sandes beruhende Vorrichtungen haben sich nicht als zuverlässig erwiesen. Sie wurden durch die den Sand mechanisch durch Schieber, Schwingen oder Prefsluftgebläse ausstreuenden Vorrichtungen verdrängt. Die Kleinbahnen bei Aachen haben einen Sandstreuer, dessen Behälter durch ein Gestänge mit Kurbelantrieb in schwingende Bewegung gebracht werden kann, so daß ein Losschütteln des Sandes und dessen sicherer Abfall in den vom Behälter getrennten Streutrichter erfolgt. Triebwagen mit Luftdruck-

Abb. 827.



Mafsstab 1 : 15. Prefsluft-Sandstreuer der Knorr-Bremse Aktiengesellschaft.

bremzen verwenden vielfach Prefsluft-Sandstreuer. Textabb. 827 stellt einen solchen der Knorr-Bremse Aktiengesellschaft in Berlin-Boxhagen dar. Das Sandgebläse wird hier durch einen S-förmig gekrümmten Gufskörper *b* gebildet, in den einerseits das Blasrohr einmündet, und an dem andererseits das Streurohr befestigt ist. Das Rohr *f* wird mit dem Sandstreuventile, also dem Luftbehälter verbunden, während das Rohr *g* zum Austrittstutzen des Bremszylinders führt, damit das Streurohr ständig von sich festsetzenden Sandresten befreit wird. Wichtig ist die gute Beschaffenheit und Trockenheit des Sandes selbst.

Die auf einer Zwangsverbindung des Fahrschalters, der Bremse und des Sandstreuers beruhenden Vorrichtungen haben sich überall als unzweckmäfsig erwiesen.

Die gute Wirkung des Ganzen hängt allein von der ruhigen, überlegten Handhabung der Einzelvorrichtungen seitens des Wagenführers ab.

Bei einfachen Verhältnissen und geringer Geschwindigkeit genügt die Bestreuung nur einer Schiene; sonst ist die Bestreuung beider nötig. Der Stromübergang zur Schiene wird durch Sandstreuen auf beide Schienen erschwert.

II. f) Schutzvorrichtungen und Bahnräumer.

Zum Schutze des Laufwerkes und der Triebmaschinen des Wagens, sowie zur Verminderung der Lebensgefahr für Fußgänger sind am Wagen besondere Schutzvorrichtungen erforderlich. Als solche sind auch heute noch die einfachen Bahnräumer am meisten verbreitet, deren Schutzbretter entweder rechtwinkelig, oder schräg, oder keilförmig zur Bahnachse gestellt sind und am Wagen starr aufgehängt werden. Erfolgt letzteres indes am Untergestellrahmen (Textabb. 833 und 835), so macht der Bahnräumer dessen beträchtliche senkrechten Schwankungen mit und erfüllt dann den Zweck der Beseitigung auf dem Gleise zu Falle Kommender nicht mehr ohne starke Verletzungen. Besser ist daher die von Schuckert, Nürnberg, durchgeführte Aufhängung eines an den Stirnseiten die Bahnräumer tragenden Rahmens an den Achsbüchsen (Textabb. 803), die eine genaue Einstellung der Räumerkante in kleinem Abstände über Strafsenoberfläche ermöglicht. Diese Anordnung fand weitere Verbreitung. Die Aufhängung erfolgte an ganz kurzen Schraubenfedern oder Blattfedern, so daß die Achsen von der Masse des Räumers entlastet werden. Es ist wichtig, daß der Raum unter der Endbühne bis zu den Räumern in 400 mm Höhe völlig frei gehalten, also nicht von Bremsspindeln, Signalglocken, Sandstreuohren und dergleichen in Anspruch genommen wird.

Neben diesen einfachen, in richtiger Ausführung besonders in großen Städten mit ihren gut gebauten Strafsendecken gut brauchbaren Bahnräumern kamen die zahlreichen Schutzvorrichtungen auf, deren Zweck in dem Auffangen zu Falle Gekommener besteht. Sie können diesen Zweck aber nie vollkommen erfüllen, da der Fallende sich durch die auf den Boden gestützten Hände zu sichern sucht und mit den Händen in den Spalt zwischen Räumernunterkante und Fahrdammoberkante gerät. Diesem Übel können grundsätzlich allein die Vorrichtungen abhelfen, deren Fangrahmen durch einen ihm in angemessener Entfernung vorgelagerten, von der Strafsenoberfläche reichlich abstehenden Hilfsrahmen ausgelöst und fest gegen den Fahrdamm geprefst wird. Der Fallende wird dann zuerst vom Hilfsrahmen, dem „Taster“, getroffen und von dem dahinter stehenden Räumern zur Seite geschoben oder vom Boden abgehoben.

Eine solche Fangvorrichtung ist in Textabb. 824 dargestellt. Sie wurde von der Knorr-Bremse Aktiengesellschaft in Berlin-Boxhagen mit Prefsluftantrieb gebaut. Das eigentliche Fanggitter wird mittels eines kleinen Prefsluftkolbens auf den Strafsendamm geprefst, und zwar entweder durch die Drehung des Steuerventilhebels in die Notbremsstellung unter gleichzeitiger Zurückdrehung des Tasters, oder durch die Verdrehung des Tasters durch den Anstoß an den zu Falle Ge-

kommenen. Taster und Fanggitter bleiben nach einer Betätigung so lange in ihrer wirksamen Lage, bis sie vom Führerstande aus durch einen Handgriff ausgelöst und in den Anfangszustand zurückgeführt werden. Beim Überfahren von Kletterweichen oder sonstigen mit dem Betriebe verbundenen Hindernissen kann die Vorrichtung vom Führerstande aus unwirksam gemacht werden.

II. g) Die Anhängewagen.

Der Betrieb mit Anhängewagen ermöglicht die Anpassung der Wagenzahl an den Wechsel des Verkehrs. Die Vergrößerung der Triebwagen und die Zugdichte werden durch praktische und wirtschaftliche Rücksichten begrenzt, woraus sich die Aufnahme des zeitweise darüber hinaus steigenden Verkehrs in Anhängewagen ergibt. Der Anhängewagen ist hierdurch zu einem wesentlichen Bestandteile elektrischer Strafsenbahnen geworden. Er verringert die Anlage- und Betriebs-Kosten und erleichtert den Verkehr an den Haltestellen.

Da, wo der Betrieb mit Anhängewagen behördlich nicht zugelassen ist, wie in England, behilft man sich mit Doppeldeckwagen. Die Bevölkerung gewöhnt sich zwar im Laufe der Zeit an die mit diesen Wagen verbundenen Unbequemlichkeiten, ja, die Decksitze erfreuen sich sogar in London selbst bei Frauen großer Beliebtheit, doch kommen diese Fahrzeuge für das Festland kaum in Betracht. In Deutschland werden stellenweise bis zu drei Anhängewagen in einem Strafsenbahnzuge zugelassen.

Anhängewagen können in allen Teilen leichter gebaut werden als Triebwagen. Da ein großer Teil der zeitweisen Verkehrszunahme in den Sommer fällt, baut man einen Teil der Anhängewagen als offene Wagen, die erheblich leichter ausfallen, als geschlossene. Die von Direktor Richter der Zentralbahn in Hamburg-Altona angegebenen, geschlossenen Anhängewagen mit herausnehmbaren großen Seitenfenstern haben große Verbreitung gefunden. Sie lassen sich im Sommer durch Abnahme der obern Hälfte der Seitenwände mühelos in offene Wagen verwandeln. Die „convertible cars“ der Vereinigten Staaten, die diese Verwandlung durch Verschieben der Seitenfenster ermöglichen, haben dagegen bei europäischen Bahnen keinen Eingang gefunden.

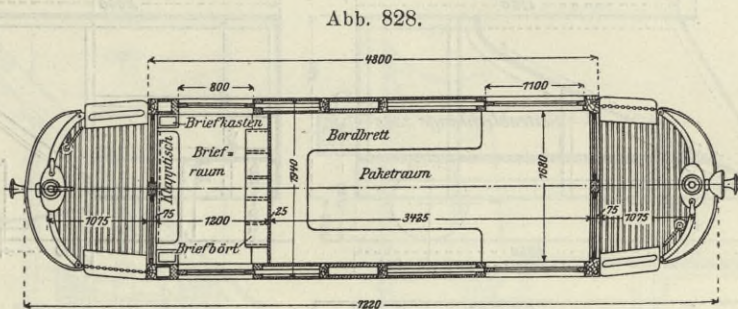
Die Untergestelle der Anhängewagen werden nicht selbständig, sondern in fester Verbindung mit dem Wagenkasten gebaut und in der Regel mit einfachen Blattfedern versehen.

Die Bremsen sollen zur Wahrung der Sicherheit stets als durchgehende, also entweder als Luftdruck- oder elektrisch-magnetische Bremsen ausgeführt werden.

II. h) Sonstige Fahrzeuge für Strafsenbahnen.

h. 1) Güter- und Post-Wagen.

Der von einigen Strafsenbahnen, besonders in kleineren Städten, oder solchen mit landwirtschaftlichen oder gewerblichen Betrieben in der Umgebung neben dem Verkehre der Fahrgäste gepflegte Güterverkehr vollzieht sich entweder mit eigenen Güterwagen, oder mit auf Rollböcken²³⁶⁾ stehenden Güterwagen anschließender Neben- oder Haupt-Bahnen. Die beispielsweise in Hannover und Aachen in Betrieb



Mafsstab 1:80. Paketpostwagen für Strafsenbahnen.

genommenen Fahrzeuge für Land- und Schienen-Wege, die neben den Spurkranzrädern für das Gleis noch glatte Räder mit breiten eisernen Reifen für Landwege haben, sind auf wenige Betriebe beschränkt geblieben. Dagegen sind mehrfach Postwagen für Briefbeutel und Pakete von den Postämtern zu den Bahnhöfen in Gebrauch (Textabb. 828).

h. 2) Schneefegewagen.

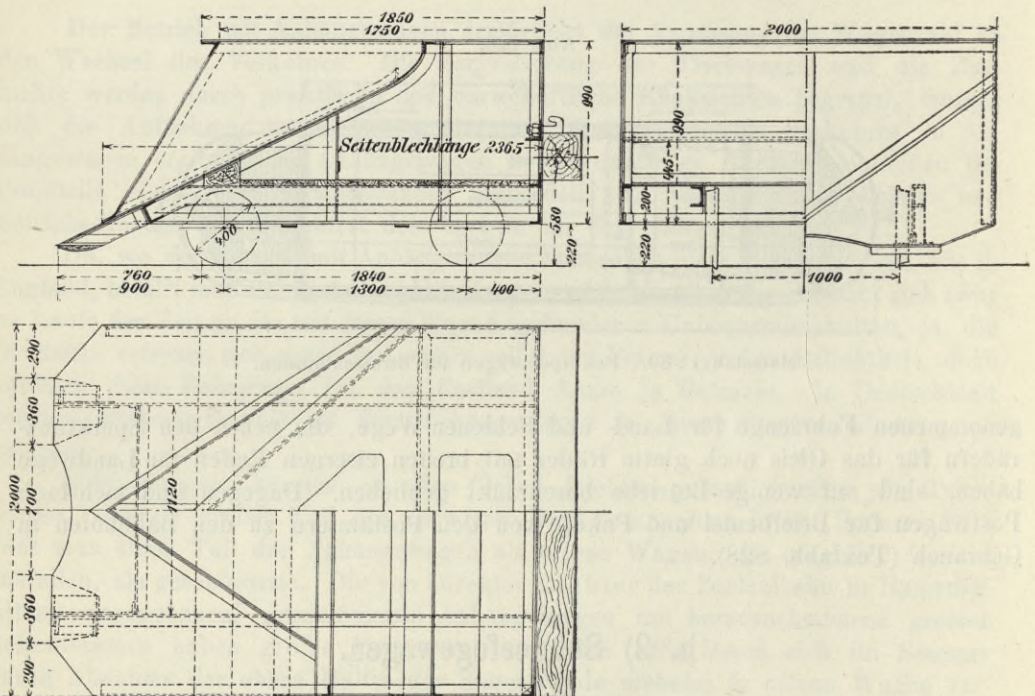
Die einfachsten Vorrichtungen zur Entfernung des Schnees vom Gleise bieten die Bahnräumer der Triebwagen. Sie schaffen zwar nur Schneeschichten geringer Stärke von etwa 50 mm fort, leisten aber bei häufigem, der Stärke des Schneefalles entsprechendem Befahren der Gleise mit den Triebwagen bei kleineren Anlagen gute Dienste.

Für stärkere Schneeschichten, die mit einmaliger Fahrt entfernt werden sollen, eignen sich besondere, an den Triebwagen anzubringende, keilartige Bahnräumer von etwa 500 mm Höhe. Sie werden am vordern Spritzbleche derart befestigt, daß der an den schräg gestellten Seitenwänden aufsteigende Schnee keine Stauungen erfährt und glatt zu beiden Seiten abgleiten kann. Die Spitze des Räumer wird durch eine in der Höhe verstellbare Strebe gegen den Wagen abgesteift, wobei der Räumer der Strafsenböschung und Schneeschicht entsprechend eingestellt werden kann.

²³⁶⁾ E. T. d. G. 1. Auflage, Band IV, S. 590.

Wo derartige Einrichtungen an den vorhandenen Fahrzeugen nicht anzubringen sind, bedient man sich mit Vorteil des in Textabb. 829 dargestellten Schneepfluges von Schuckert in Nürnberg. Seine Bauart ist einfach und kräftig; die Räder erhalten gegen das Gestell geringe Federung, die sie gegen Entgleisen sichert; die Schaufeln bestehen aus Stahlblech. Der Pflug wird von einem Triebwagen geschoben und kann mit Ballast beliebig beschwert werden. Mit diesem Schneepfluge können Schneeschichten von 200 mm Höhe beseitigt werden. Bei stärkeren Schneefällen läßt man den Pflug in der Nacht die Strecken wiederholt befahren.

Abb. 829.



Maßstab 1:40. Schneepflug von Schuckert in Nürnberg.

Ein für alle Schneetiefen ausreichender Schneepflug ist in Textabb. 830 dargestellt. Er besteht aus einem eisernen Untergestelle und einem darauf gesetzten, geschlossenen, mit Fenstern versehenen Oberkasten. Die an den Kopfseiten des Untergestelles angebrachten Schaaren sind in der Höhe verstellbar und haben 450 mm bis 1500 mm Höhe. Die Schaar erhält bei zweigleisigen Bahnen die Form eines schräg gestellten Brettes, das den Schnee nach der Außenseite der Gleise schiebt, bei eingleisigen Keilform, wobei der Schnee zu beiden Seiten des Gleises abgelagert wird. Neben den Seiten der Schaaren sind noch besondere, kleine, in der Höhe gleichfalls verstellbare Flügel angebracht, die eine sichere Ablagerung der vom Haupträumer fortgeschobenen Schneemassen bewirken, und vor allem das Hereinfallen von Schnee hinter dem Räumer verhüten sollen. Hinten werden die Schaaren in die Höhe, und die Seitenflügel an den Wagen herangezogen, damit sie den seitwärts liegenden Schnee nicht wieder fassen.

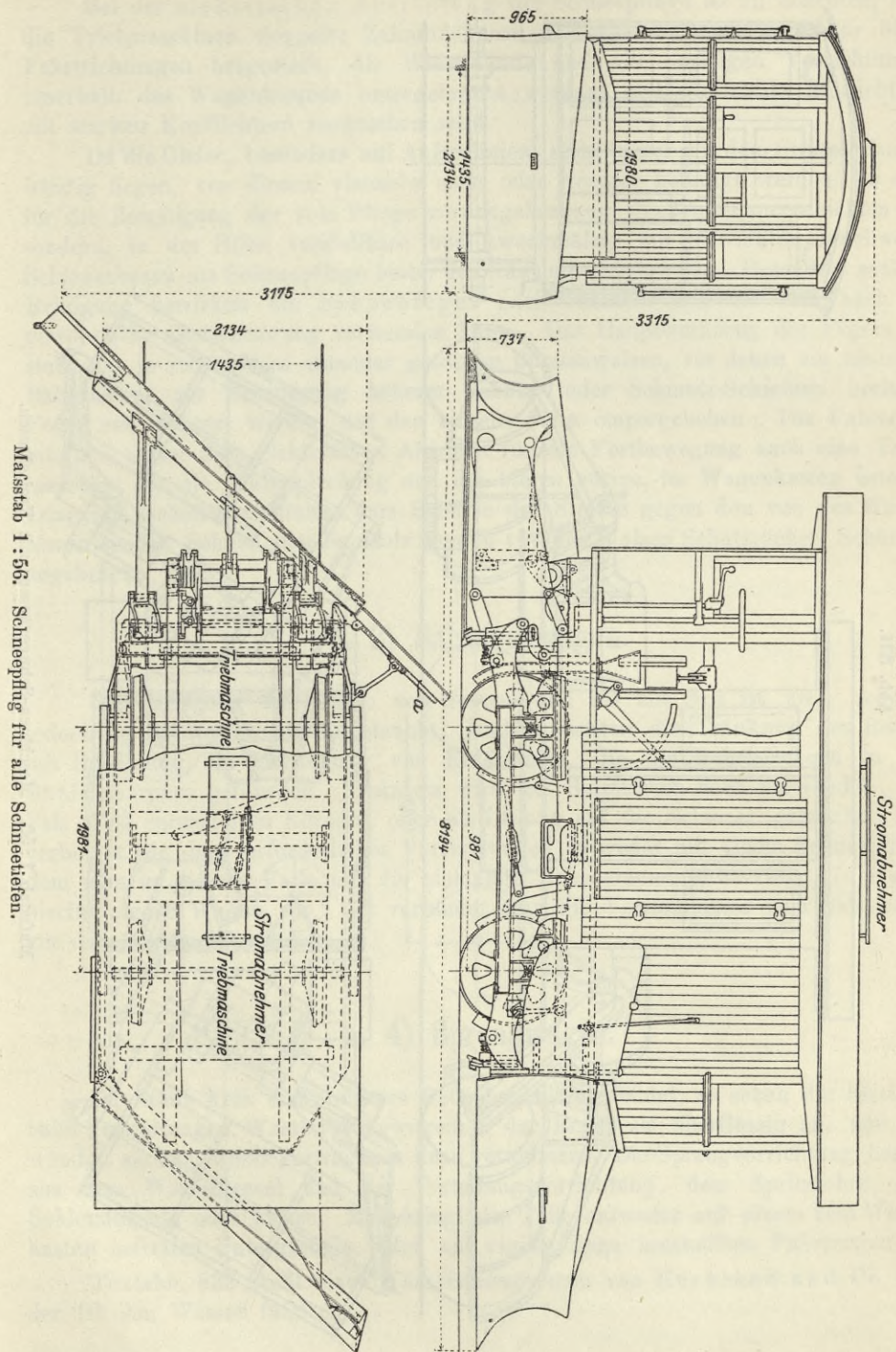
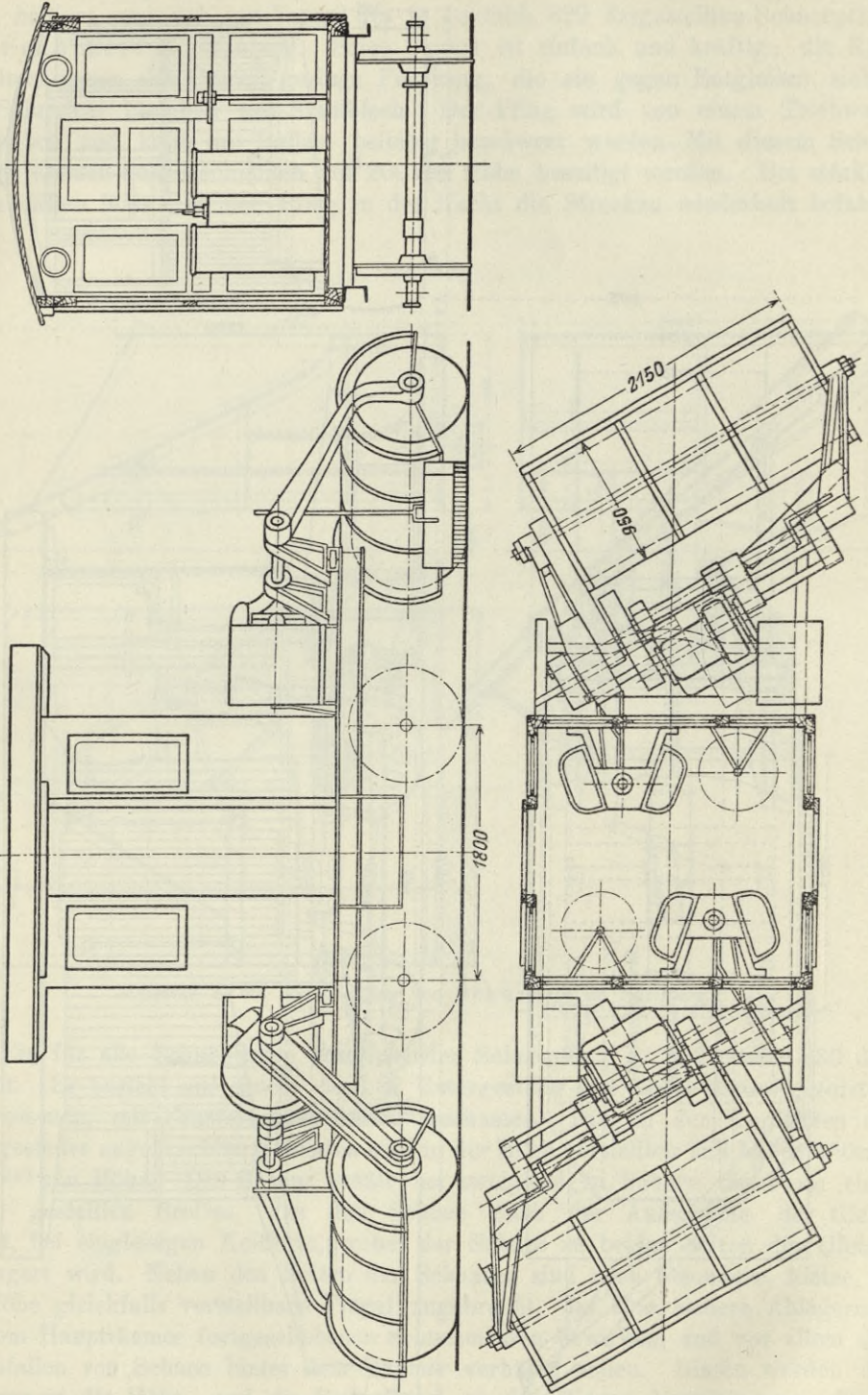


Abb. 830.

Maßstab 1:56. Schneefng für alle Schneefarten.

Abb. 831.



Maßstab 1 : 50. Maschinen-Schneeräumer mit Kreiselbesen.

Bei der elektrischen Ausrüstung der Schneepflüge ist zu beachten, daß die Triebmaschinen doppelte Zahnradübersetzung erhalten, die Regler für beide Fahrrichtungen hergestellt, die Widerstände und alle sonstigen Vorrichtungen innerhalb des Wagenkastens untergebracht werden, und elektrische Beleuchtung mit starken Kopflichtern vorgesehen wird.

Da die Gleise, besonders auf Außenlinien, nicht immer mit dem Straßendamme bündig liegen, von diesem vielmehr mehr oder weniger überragt werden, so sind für die Beseitigung der vom Pfluge zurückgelassenen, dünnen Schneeschichten besondere, in der Höhe verstellbare und zweckmäßig mit Gewichten beschwerte Schienenbesen am Schneepfluge hinter den Räubern anzubringen. Besonders saubere Reinigung bewirken die Schneefeger nach Textabb. 831, die man auch für gewöhnliche Gleisreinigung verwenden kann. Das Hauptwerkzeug des Fegers besteht aus je zwei neben einander gesetzten Bürstenwalzen, vor denen ein niedriger Bahnräumer zur Beseitigung höherer Schnee- oder Schmutz-Schichten herläuft. Feger und Räumer werden auf der hintern Seite emporgehoben. Die Fahrzeuge erhalten außer dem elektrischen Antriebe für die Fortbewegung auch eine Triebmaschine für die Walzendrehung und die hierzu nötige, im Wagenkasten unterzubringende Schaltvorrichtung. Zum Schutze der StraÙe gegen den von den Walzen abspritzenden Schnee oder Schmutz werden vor den Walzen Schutztücher, Schürzen, angebracht.

h. 3) Salzstreuwagen.

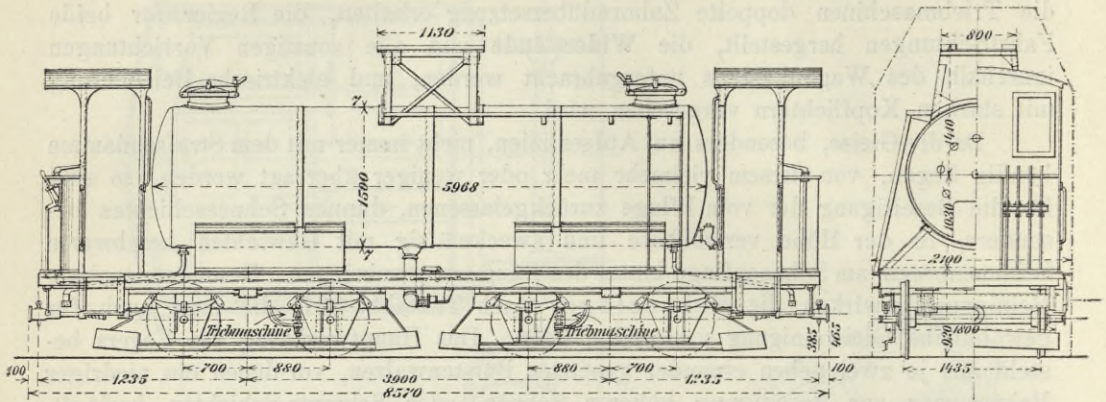
Die Reinigung der Gleise von Schnee und Eis mit Salz ist zwar bequem, jedoch in Städten wenig angebracht; auch erleichtert die Tränkung des Bodens mit Salzlösung die Entstehung von Erdströmen, die die Rohrleitungen in den Straßsenkörpern gefährden. Trotzdem wird das Salzstreuen noch verwendet. Das Salz wird entweder in Körnern, oder als Lösung auf die Schienen gebracht. Man verbindet die dazu erforderlichen Vorrichtungen entweder mit einem Schneepfluge, dem man in diesem Falle nur die einmalige Schneeräumung überläßt, oder sieht hierfür eigene Wagen vor. Oft verbindet man die Vorrichtungen zum Salzstreuen mit den Schneeräumern.

h. 4) Sprengwagen.

Da Staub kein unmittelbares Betriebshindernis bildet, so sehen die Straßsenbahn-Verwaltungen Wassersprengwagen in der Regel als überflüssig an, und verwenden sie nur, wenn Verträge sie dazu veranlassen. Die Sprengvorrichtung besteht aus dem Wasserkessel und der Verteilungsvorrichtung, dem Spritzrohre, dem Schleuderrade oder Düsen. Man bringt die Teile entweder auf einem vom Wagenkasten befreiten Untergestelle, oder auf eigens dazu beschafften Fahrzeugen an.

Textabb. 832 stellt einen Wassersprengwagen von Herbrand und Co. dar, der 10 cbm Wasser faßt.

Abb. 832.



Maßstab 1:80. Sprengwagen mit 10 cbm Wasserraum, Herbrand und Co.

II. i) Gewichte der Straßenbahnwagen.

Das Gewicht der Wagen ist für die Wirtschaft des Betriebes von erheblicher Bedeutung: die Anschaffungskosten des Wagens, die Stärke und Anschaffungskosten der elektrischen Einrichtung, der Stromverbrauch, besonders in hügeligem Gelände, bei raschen Anfahrten und beim Bezuge des Stromes aus fremden Kraftwerken, sowie endlich die Abnutzung der Gleise und Räder wachsen mit dem Wagen- gewichte.

Abgesehen von dem Aufbaue des ganzen Wagens hängt das Gewicht davon ab, ob der Wagen ein besonderes Untergestell besitzt, oder auf zwei- oder drei- achsigen Drehgestellen ruht, oder ob die Achshalter unmittelbar am Kastenrahmen befestigt sind, wie bei vielen Wagen der Haupteisenbahnen. Auch die Größe des Achsstandes spielt bei gleichen Wagenkästen eine gewisse Rolle.

Als allgemeine Angabe mag folgendes gelten:

Wagen mit besonderen Untergestellen sind stets schwerer, als solche, deren Achsenlagerung am Kastenrahmen erfolgt.

Geprefste Träger im Untergestellrahmen verringern das Wagengewicht gegen- über den aus Formeisen oder Blechen hergestellten Trägern, doch haben sie den Nachteil, daß Nachlieferungen von anderer Seite schwer zu beschaffen, und daß Ausbesserungen bei Verbiegungen oder Rissen in den Trägern teurer sind.

Wagen mit zweiachsigen Drehgestellen sind schwerer, als solche mit ein- achsigen, selbst wenn es sich um sogenannte „Maximum traction-Drehgestelle“ handelt, Wagen mit einachsigen Drehgestellen aber schwerer, als solche mit Lenkachsen.

Wagen mit Querbänken sind bei gleicher Sitzzahl leichter, als solche mit Längsbänken.

Eine Rundfrage des „Internationalen Straßenbahn- und Kleinbahn-Vereines“ ergab aus den Angaben von etwa hundert Verwaltungen über Triebwagen folgende Mittelwerte für 1 m Wagenlänge zwischen den Spritzblechen und ohne elektrische Einrichtung:

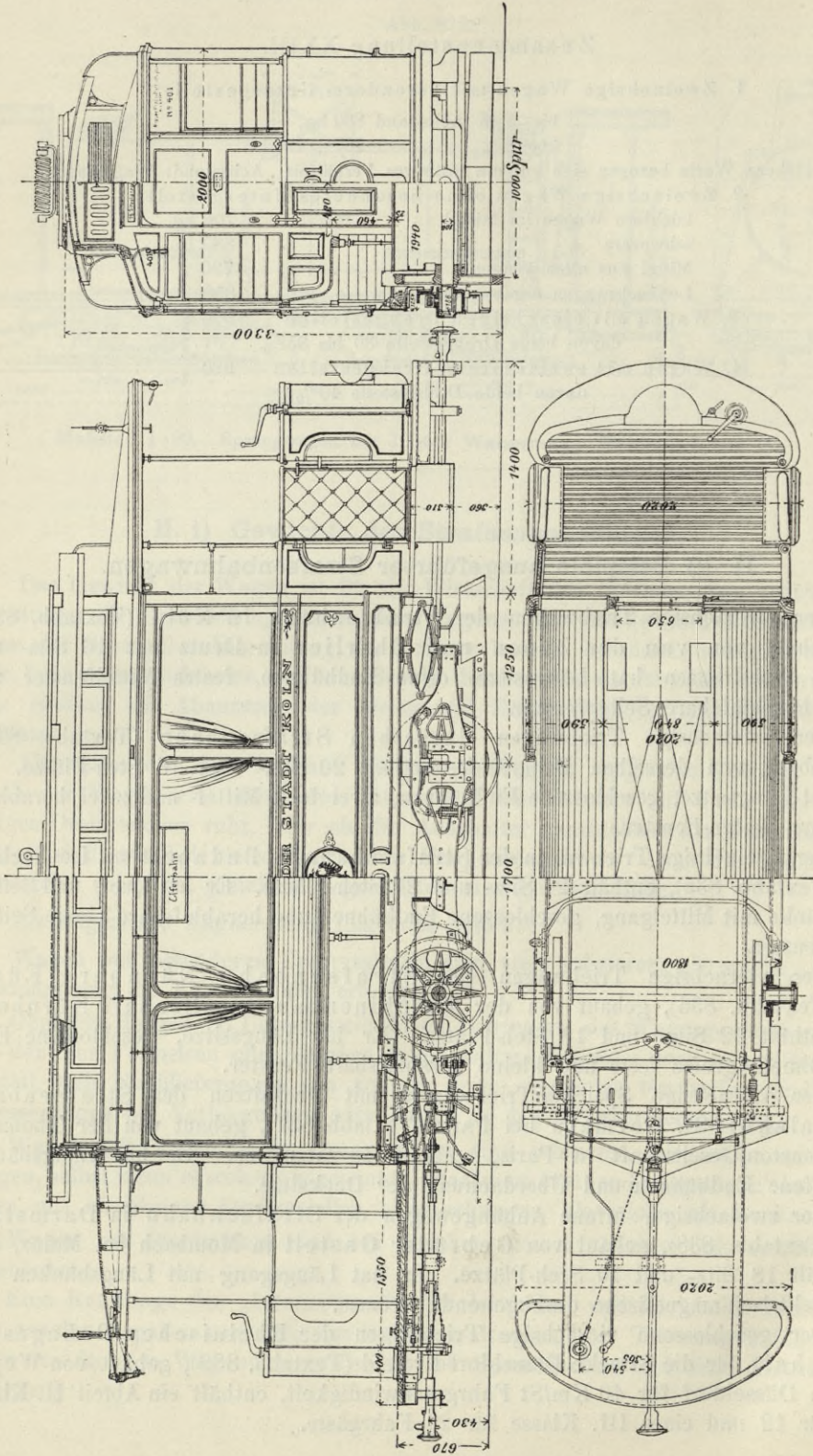
Zusammenstellung XXIII.

1. Zweiachsige Wagen mit besonderm Untergestelle:	
	bis 2 m Achsstand 836 kg,
	über 2 „ „ 907 „
Höhere Werte bezogen sich auf ein größeres Verhältnis Achsstand: Wagenlänge.	
2. Zweiachsige Wagen ohne besonderes Untergestell:	
	leichtere Wagen im Mittel 700 kg,
	schwerere „ „ „ 880 „
	Mittel aus allen Wagen 790 „
	Lenkachswagen ergaben beispielsweise . . . 850 „
3. Wagen mit einachsigen Drehgestellen	920 „
	davon beide Drehgestelle 30 bis 35 ⁰ / ₀ .
4. Wagen mit zweiachsigen Drehgestellen	980 „
	davon beide Drehgestelle 40 ⁰ / ₀ .

II. k) Beispiele ausgeführter Strafsenbahnwagen.

- 1) Der zweiachsige Triebwagen der Strafsenbahn in Köln (Textabb. 833), gebaut von van der Zypen und Charlier in Deutz mit 16 Sitz- und 14 Steh-Plätzen hat Längssitze, offene Endbühnen, festes Mittelfenster und 2 herabblafsbare Seitenfenster.
- 2) Der zweiachsige Triebwagen derselben Strafsenbahn (Textabb. 834), gebaut von derselben Bauanstalt, enthält 20 Sitz- und 16 Steh-Plätze. Er hat Längssitze, geschlossene Endbühnen, zwei feste Mittel- und zwei herabblafsbare Seiten-Fenster.
- 3) Der zweiachsige Triebwagen der Strafsenbahn in Budapest mit Lenkachsen (Textabb. 835), enthält 21 Sitz- und 27 Steh-Plätze. Er hat Quer- und Seiten-Bänke mit Mittelgang, geschlossene Endbühnen und herabblafsbare kleine Seiten-Fenster.
- 4) Der vierachsige Triebwagen der Strafsenbahn Nürnberg-Fürth (Textabb. 836), gebaut von der Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg, enthält 22 Sitz- und 18 Steh-Plätze. Er hat Längssitze, geschlossene Endbühnen, große feste und kleine herabblafsbare Fenster.
- 5) Der vierachsige Speicher-Triebwagen mit Decksitzen der Strafsenbahn Malakoff-St. Germain bei Paris (Textabb. 837), gebaut von der Thomson-Houston Gesellschaft in Paris, enthält 48 Sitzplätze. Er hat Längsbänke, offene Endbühnen und Überdachung der Decksitze.
- 6) Der zweiachsige, offene Anhängewagen der Strafsenbahn in Darmstadt (Textabb. 838), gebaut von Gebrüder Gastell in Mombach bei Mainz, enthält 18 Sitz- und 10 Steh-Plätze. Er hat Längsgang mit Längsbänken und elektrisch-magnetische durchgehende Bremse.
- 7) Der geschlossene vierachsige Triebwagen der Rheinischen Bahngesellschaft für die Strecke Düsseldorf-Krefeld (Textabb. 839), gebaut von Weyer in Düsseldorf für 40 Km/St Fahrgeschwindigkeit, enthält ein Abteil II. Klasse für 12 und eines III. Klasse für 24 Fahrgäste.

Abb. 833.



Maßstab 1 : 50. Triebwagen der Straßsenbahn in Köln, van der Zypen und Charlier.

Maßstab 1:50. Triebwagen der Strassenbahn in Köln, van der Zypen und Charlier.

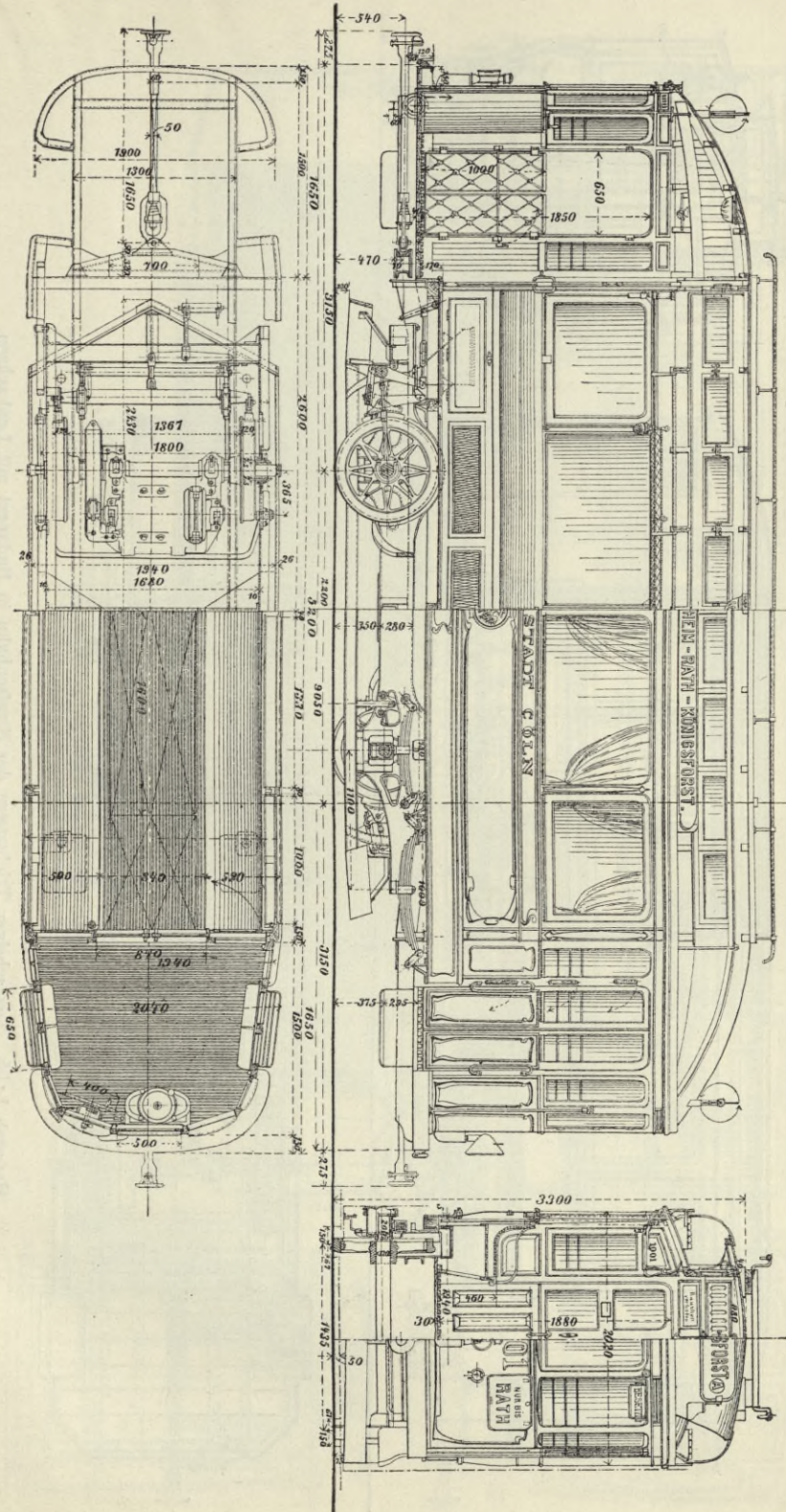
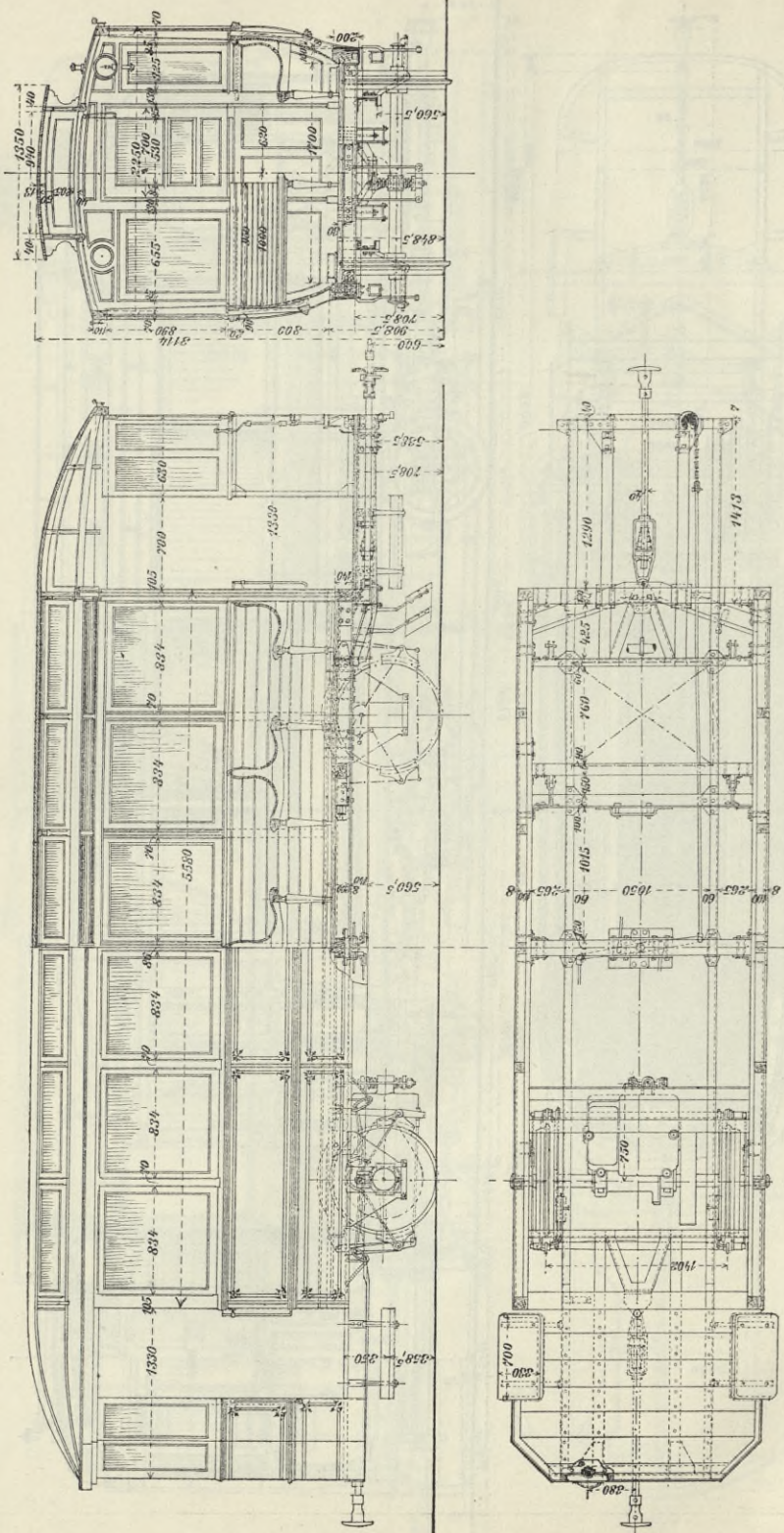


Abb. 834.

Abb. 835.



Maststab 1 : 55. Zweiachsiger Triebwagen der Strassenbahn in Budapest mit Lenkachsen.

Maßstab 1 : 56. Vierrädriger Triebwagen der Strassenbahn Nürnberg-Fürth, Maschinenbauanstalt Augsburg-Nürnberg.

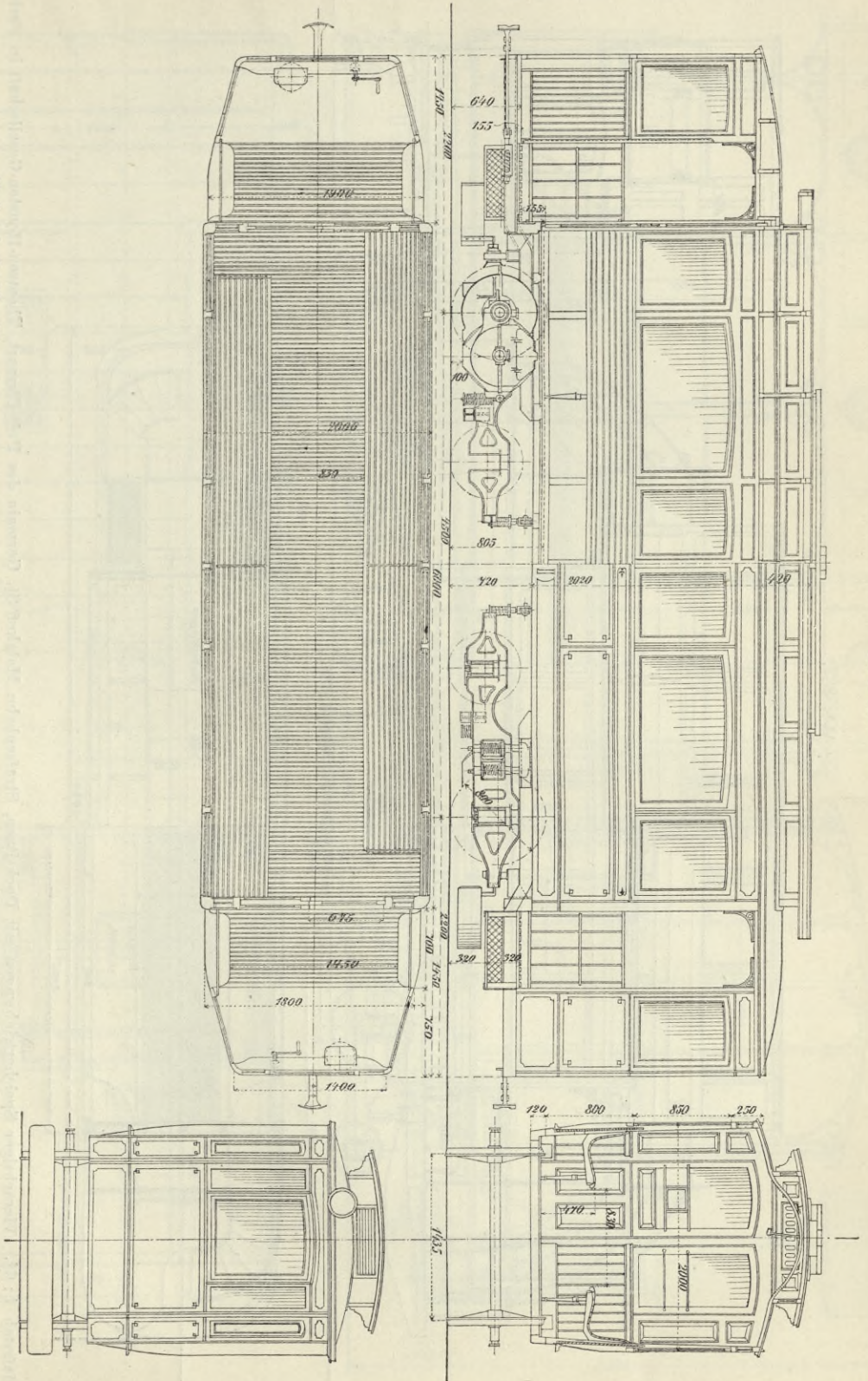
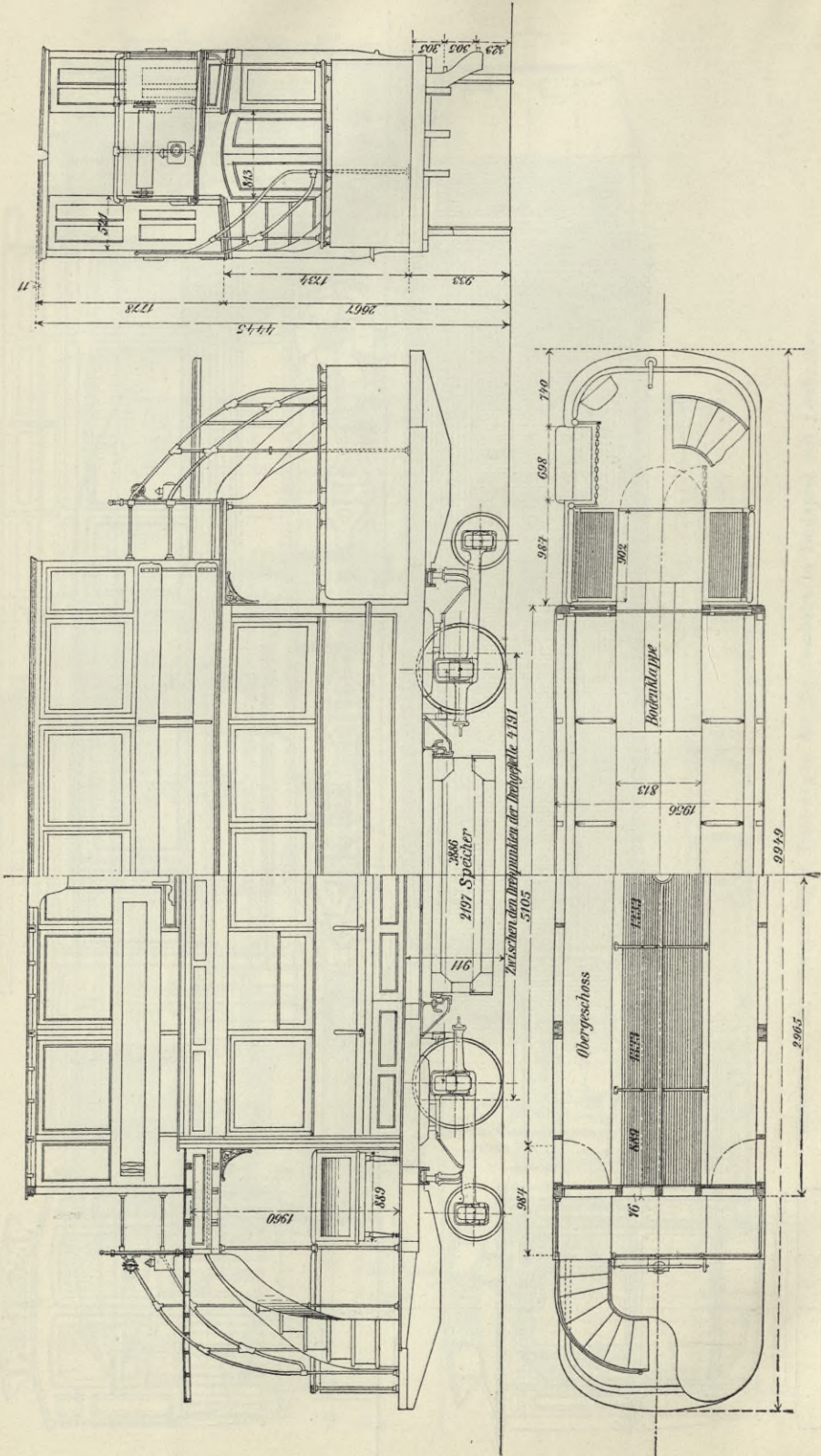


Abb. 836.

Abb. 837.



Mafsstab 1 : 64. Vierachsiger Speichertriebwagen mit Decksitzen, Strafsenbahn Malakoff-St. Germain des Prés-Clamart, Thomson-Houston-Gesellschaft in Paris.

Maßstab 1 : 50. Offener Anhängewagen der Strassenbahn in Darmstadt, Gebrüder Gastell in Mainz.

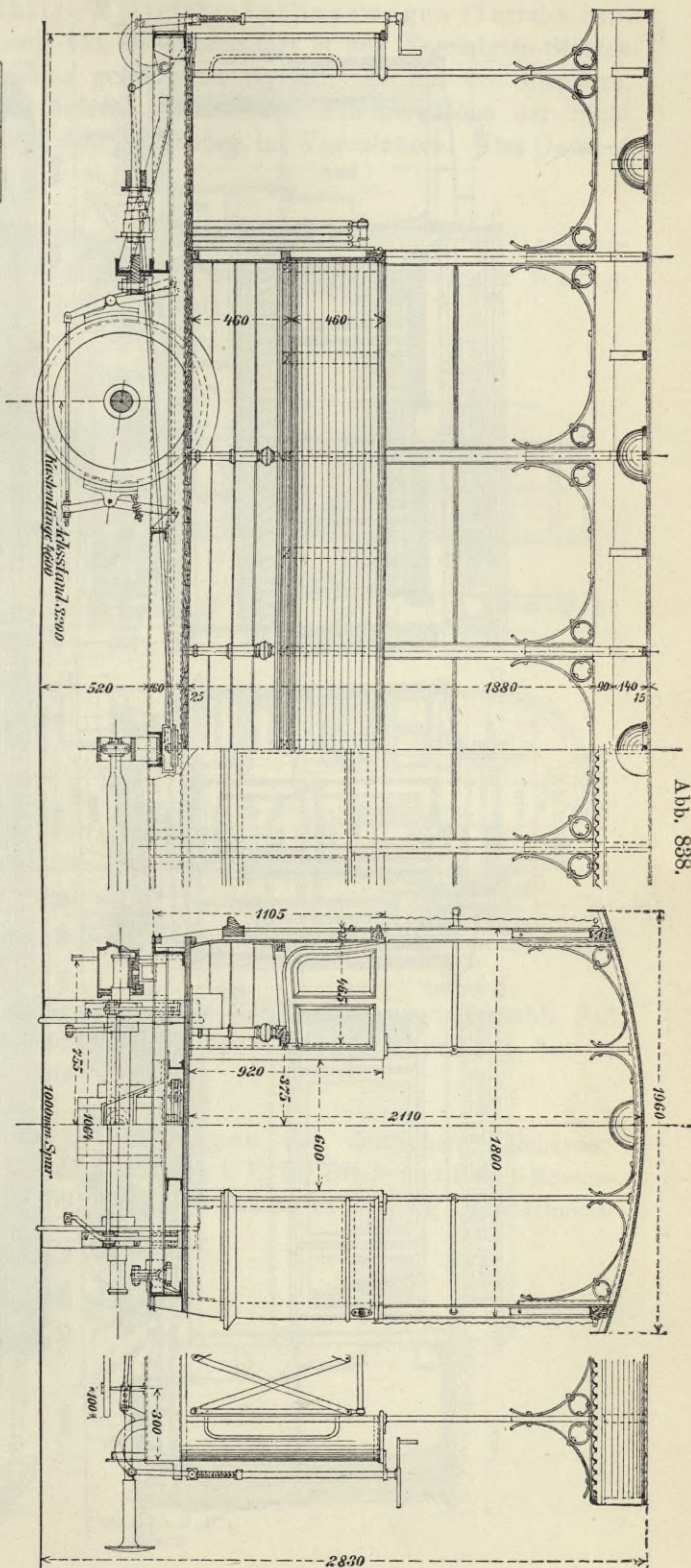
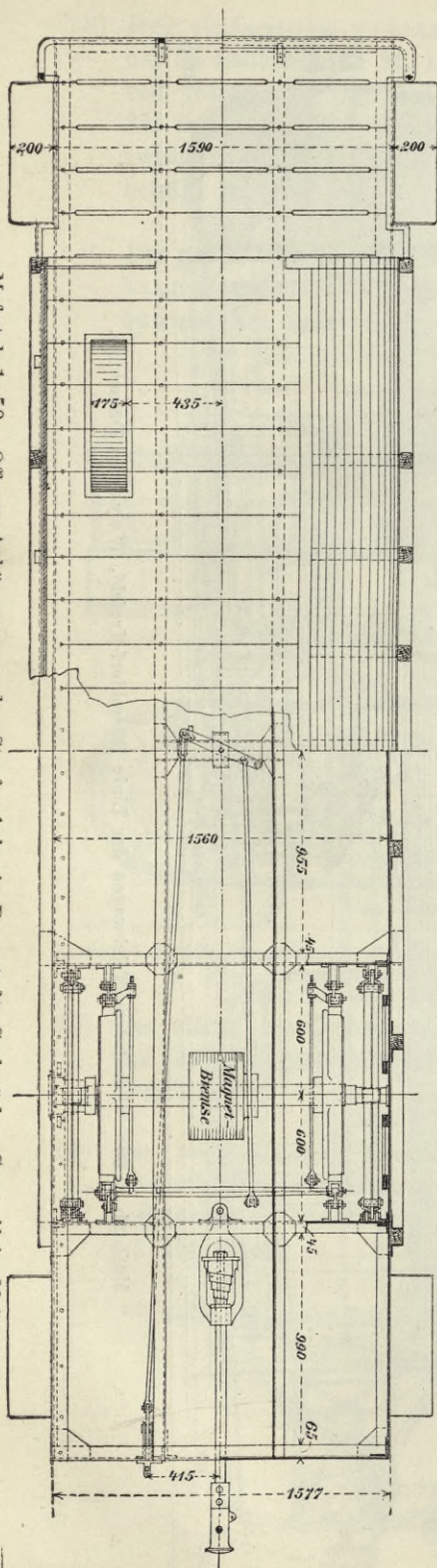


Abb. 838.

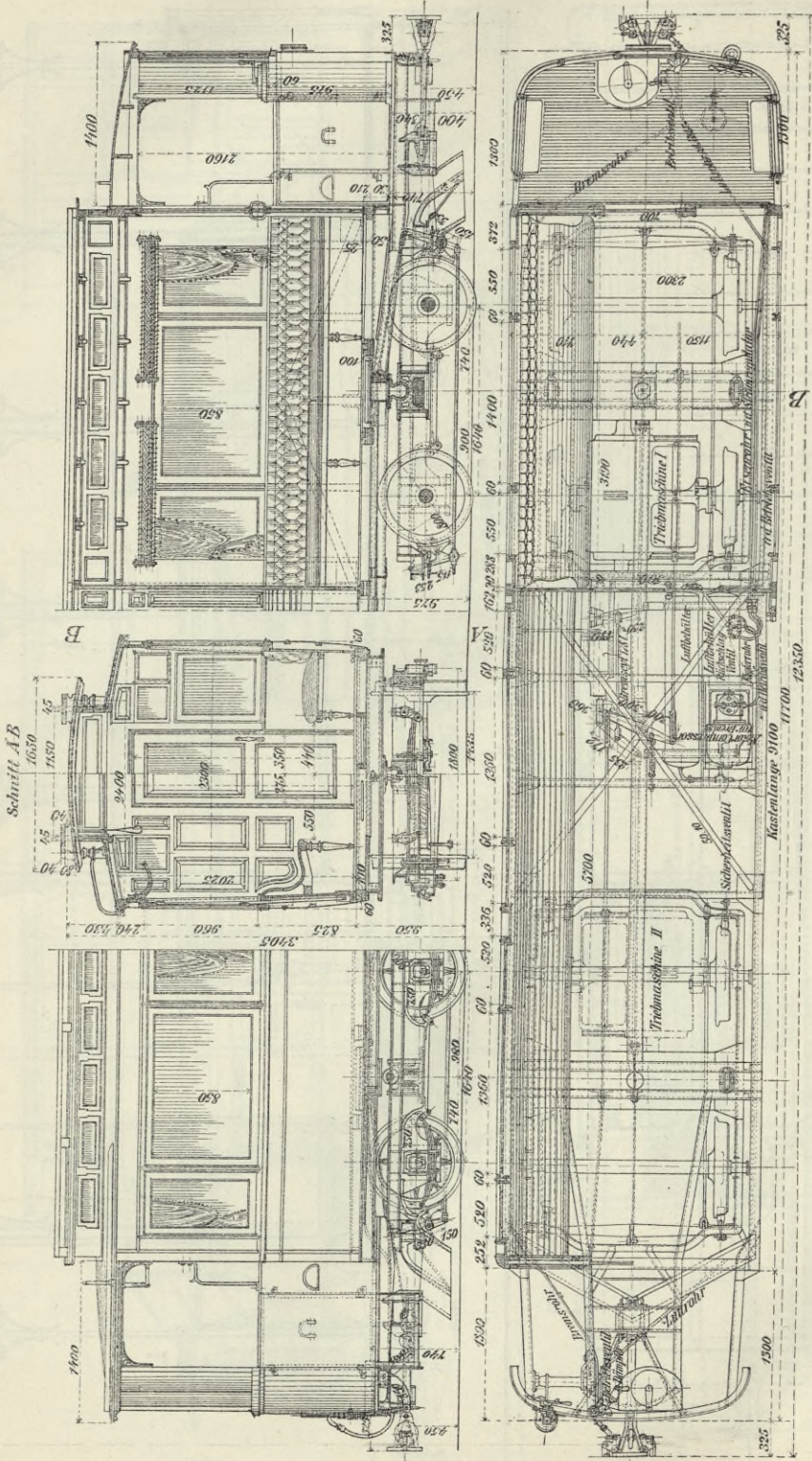


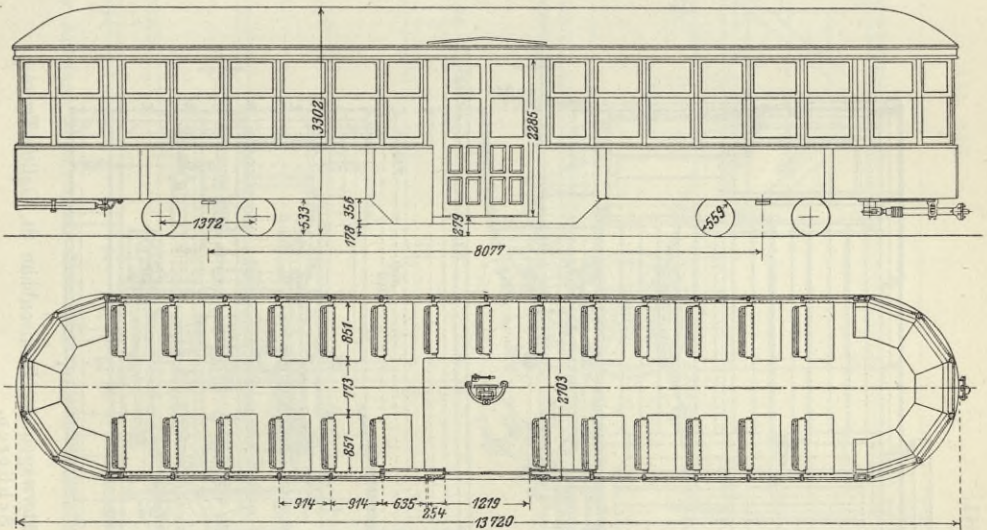
Abb. 889.

Schnitt A-B

Masstab 1 : 60. Vierachsiger Triebwagen der Linie Düsseldorf-Krefeld, Weyer in Düsseldorf.

- 8) Der stufenlose, vierachsige Mitteltür-Anhängewagen (Textabb. 840) der Strafsenbahn in St. Louis hat eine neuerdings in den Vereinigten Staaten von Nordamerika in Aufnahme gekommene Bauart. Er hat 68 Sitzplätze, 275 mm Höhe der einzigen äußeren Eintrittstufe, 275 mm Höhe der Stufe zwischen der Mittelbühne und dem Fußboden im Wageninnern. Das Gewicht beträgt 20,4 t.
- 9) Der geschlossene, zweiachsige Triebwagen für Güterbeförderung der Strafsenbahn St. Gallen-Trogau (Textabb. 841 und 842), gebaut von der Wagenbauanstalt Schlieren, hat 5 t Tragfähigkeit.

Abb. 840.

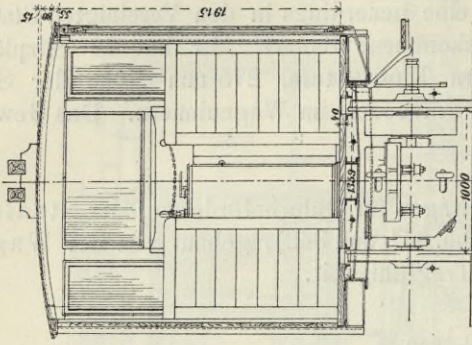


Maßstab 1 : 108. Stufenloser, vierachsiger Mitteltür-Anhängewagen der Strafsenbahnen in St. Louis.

- 10) Der offene, zweiachsige Anhängewagen für Güterbeförderung (Textabb. 843 und 844), gebaut von der Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg, hat 5 t Tragfähigkeit.
- 11) Der zweiachsige Strafsenbahn-Postwagen der deutschen Reichspostverwaltung in Frankfurt a. M. und Straßburg i. E. für Brief- und Paket-Massenverkehr²⁸⁷⁾ (Textabb. 828, S. 759) kann 600 Pakete zu je 5 kg Durchschnittsgewicht laden.

²⁸⁷⁾ Elektrotechnische Zeitschrift 1908, S. 1144.

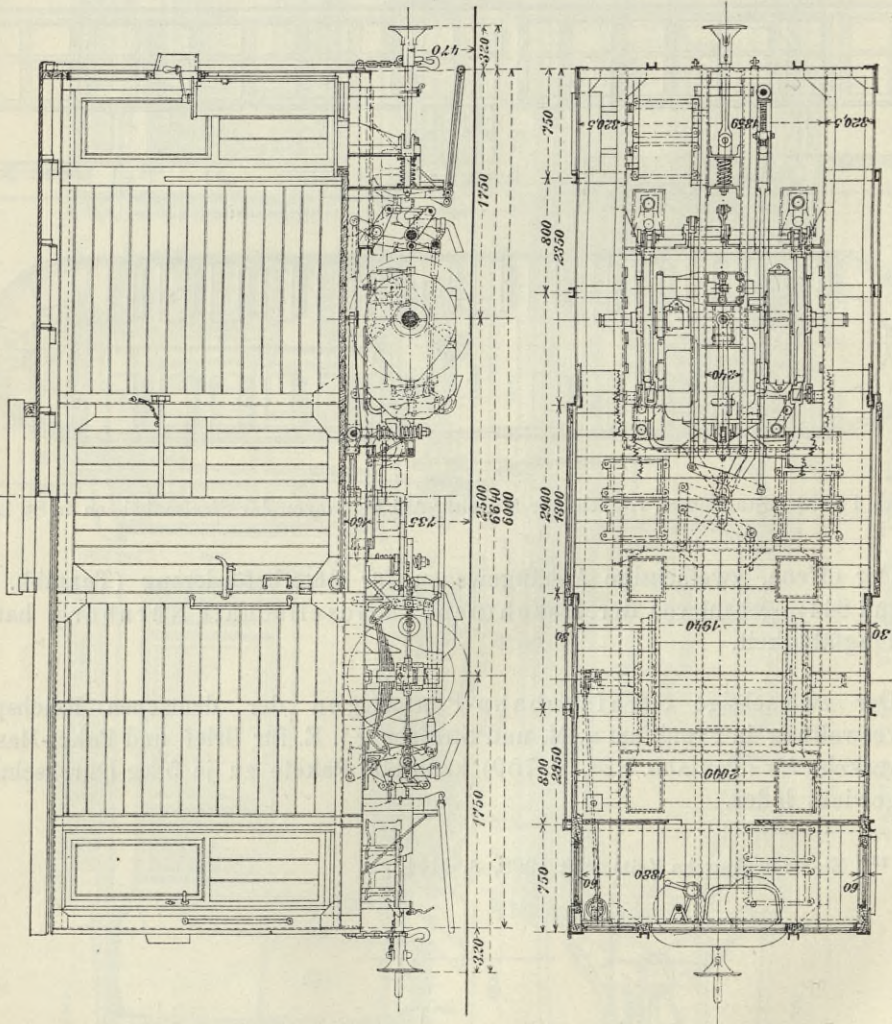
Abb. 842.



Mafstab 1 : 50.

Kopfansicht zu Textabb. 841.

Abb. 841.



Mafstab 1 : 50. Zweiachsiger, geschlossener Trieb-Güterwagen der Strafsenbahn St. Gallen-Troga, Wagenbauanstalt Schlieren.

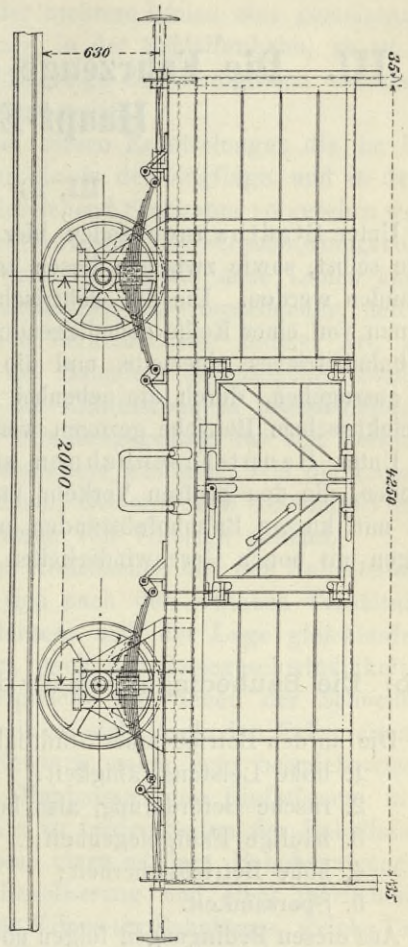


Abb. 843.

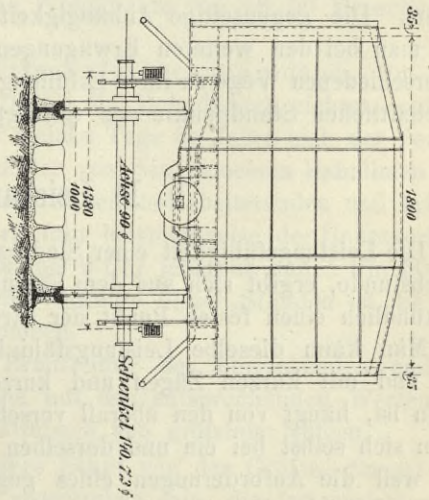
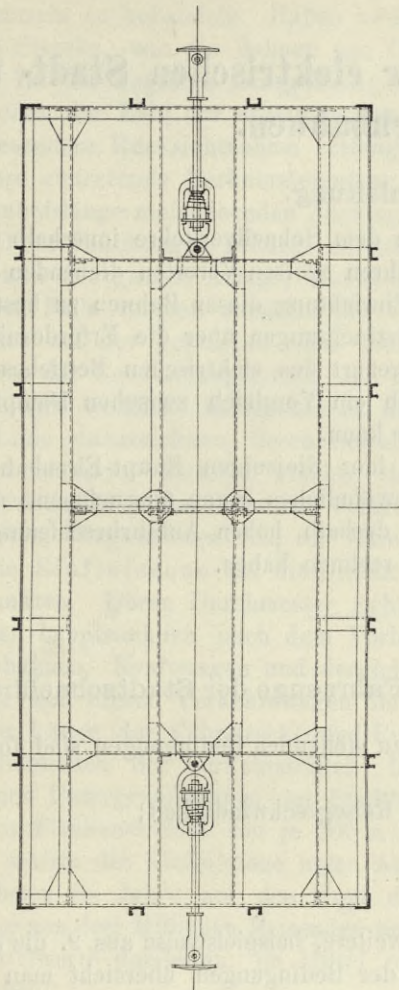


Abb. 844.



Malsstab 1 : 40. Zweischiger offener Anhänger-Güterwagen, Maschinenbau-gesellschaft Nürnberg.

Malsstab 1 : 40.
Kopfansicht zu Textabb. 843.

E. III. Die Fahrzeuge der elektrischen Stadt- und Haupt-Eisenbahnen.

III. a) Einleitung.

Unter Stadtbahnen sollen hier die dem Schnellverkehre innerhalb großer Städte selbst, sowie zwischen diesen und ihren großen Vororten dienenden Bahnen verstanden werden. Um die elektrische Einrichtung dieser Bahnen zu bestimmen, hat man von einer Reihe grundlegender Betrachtungen über die Erfordernisse des Stadtbahnbetriebes einerseits, und die Eigenart des elektrischen Betriebes andererseits auszugehen, durch die nebenbei auch ein Vergleich zwischen Dampftrieb und elektrischem Betriebe gezogen werden kann.

Unter Haupt-Eisenbahnen sind hier diejenigen Haupt-Eisenbahnen zu verstehen, die den großen Verkehr im gewöhnlichen Sinne übernehmen, die also nicht mit kurzen Bahnhofabständen und deshalb hohen Anfahrbeschleunigungen, dagegen mit hohen Geschwindigkeiten zu rechnen haben.

III. b) Die Baubedingungen für die Fahrzeuge der Stadtschnellbahnen.

Die an den Betrieb einer Stadtbahn zu stellenden Bedingungen sind folgende:

1. hohe Leistungsfähigkeit;
2. rasche Beförderung, also hohe Reisegeschwindigkeit;
3. häufige Fahrgelegenheit;
4. hohe Betriebsicherheit;
5. Sparsamkeit.

Aus diesen Bedingungen folgen noch weitere, beispielsweise aus 2. die schnelle Anfahr. Die gegenseitige Abhängigkeit der Bedingungen übersieht man leicht, wenn man bei den weiteren Erwägungen von der ersten Forderung ausgeht, und die verschiedenen Wege zu ihrer Erfüllung vom technischen, betriebstechnischen und wirtschaftlichen Standpunkte aus verfolgt.

b. 1) Leistungsfähigkeit.

Die Leistungsfähigkeit einer Stadtbahnanlage bezogen auf die Zeiteinheit, die Betriebstunde, ergibt sich aus dem Fassungsvermögen eines Zuges und der Anzahl der stündlich einen festen Punkt der Strecke durchfahrenden Züge, der Zugfolge.

Man kann dieselbe Leistungsfähigkeit mit langen Zügen und langer Zugfolge und mit kurzen Zügen und kurzer Zugfolge erreichen. Was hiervon zu wählen ist, hängt von den überall verschiedenen Verkehrsverhältnissen ab. Diese ändern sich selbst bei ein und derselben Bahn im Verlaufe der Jahres- und Tageszeit, weil die Anforderungen eines gegebenen Betriebes an die Leistungsfähigkeit der Betriebsmittel schwanken. Man legt dann der Berechnung die höchsten Ziffern zu Grunde.

Besteht eine Anlage aus mehreren getrennt betriebenen Linien, so ist jede Linie einzeln zu behandeln. Haben zwei oder mehrere Linien eine gemeinsam befahrene Strecke, wie die Bahnen von Chicago in der Schleifenbahn, so ist diese Strecke für die Zugfolge maßgebend; die Zugfolge der Zweiglinien ist also im Verhältnisse der Zahl der abzweigenden Linien weiter.

Besondere Rücksichtnahme verlangt bei diesen Ermittlungen die im Laufe der Jahre eintretende Verkehrsteigerung, für die in der Zugfolge und in der für die Bahnhofslänge maßgebenden Zuglänge hinreichend Spielraum vorgesehen werden muß. Diese Erhebungen gehören zu den schwierigsten und verantwortungsvollsten Vorarbeiten der ganzen Anlage, besonders, wenn es sich um neue Linien handelt. In diesem Falle müssen zunächst die Verkehrszahlen aller bestehenden, teilweise oder ganz auf der geplanten Linie laufenden Verkehrsmittel anderer Art, sowie die Karte der Bevölkerungsdichte der von der Bahnlinie durchzogenen Stadtteile herangezogen werden. In letztere ist dann die Einflufszone zu beiden Seiten der neuen Linie einzuzichnen, deren Bewohner erfahrungsgemäß für den Verkehr in Betracht kommen. Daneben machen sich besondere Einflüsse, wie die Lage von Anschlußbahnhöfen von Fern- und Vorort-Bahnen, Gewerbe- und Geschäfts-Vierteln, Wohnorten, Vergnügungsorten, die Entwicklung von Vororten geltend.

Die Einflufszone hat die Gestalt von Kreisflächen mit den Haltestellen als Mittelpunkten. Deren Durchmesser richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen, und zwar hauptsächlich nach dem Vorhandensein und der Lage gleichlaufender Strafsenbahnen, Kraftwagen und dergleichen, nach der Reisegeschwindigkeit und Zugfolge auf diesen Verkehrswegen im Vergleiche mit denen der Schnellbahn, nach der Länge der Fahrstrecke und Reisezeit an sich, nach den Fahrpreisen und Bequemlichkeiten der Verkehrsmittel. In Neuyork nahm man beispielsweise bei den neuen Untergrundbahnen im Stadtteile Manhattan eine Einflufszone in der Form von Flächenstreifen von je 200 m Breite zu beiden Seiten der Bahnlinie an. Hierbei mußte die Einflufszone unter Annahme einer mittlern Bahnbenutzung von 400 Fahrten im Jahre auf den Kopf der Bevölkerung und einer jährlichen Beförderung von drei Millionen Reisenden auf das Kilometer Bahnlänge, welche Zahlen gute Mittelwerte darstellen, im Mittel eine Wohndichte von 18750 Menschen auf 1 qm haben.

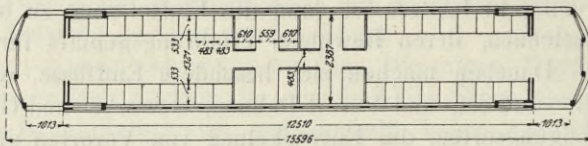
Mit diesen Werten führt man die Wirtschaftsrechnung durch. Um indes die zeitliche Besetzung der Züge zu ermitteln, die sich danach richtet, auf wie viele Stunden oder Viertelstunden, und auf welche Tage im Jahre sich der Verkehr zusammendrängt, geht man von der Anzahl der von den einzelnen Bahnlinien dem Geschäftsviertel zuströmenden Reisenden aus, wobei die Arbeitsstunden und Arbeitspausen zu berücksichtigen sind. In Neuyork fällt beispielsweise der Hauptverkehr, „rush hours“, in die Zeit von 7 Uhr 30 Min. bis 9 Uhr morgens und 5 Uhr 30 Min. bis 6 Uhr 30 Min. nachmittags. Nach dem Verkehre dieser Stunden ist die zeitliche Leistungsfähigkeit der Bahn zu bestimmen.

Bei diesen Festsetzungen, die der Ermittlung des herrschenden und zukünftigen Verkehrs dienen, sind Vergleiche mit den entsprechenden Werten bestehender Stadtbahnen mit ähnlichen Verhältnissen von größtem Nutzen.

Das Fassungsvermögen eines Zuges hängt von der Größe, Bauart und Anzahl seiner Wagen ab. Es wird immer anzustreben sein, die festgesetzten Sitzplätze mit möglichst geringem totem Gewichte unterzubringen und deshalb mög-

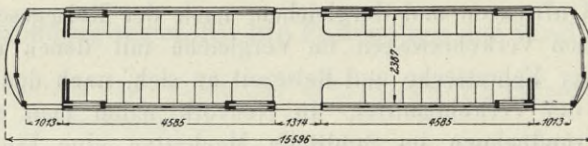
lichst große Wagen und zweckmäßige Anordnung der Sitzplätze zu wählen. Die Erfahrung hat nun überall gezeigt, daß mit zunehmendem Verkehre eine Besetzung der Wagen über die Zahl der Sitzplätze hinaus nicht zu vermeiden ist. Viele Stadtbahnen haben deshalb große Stehräume in der Nähe der Türen der Wagen angeordnet und erreichen erst mit dieser übermäßigen Ausnutzung der Fahrzeuge eine angemessene Verzinsung ihrer Anlagekosten. Solche Grundrisse der Wagen zeigen die Textabb. 845 und 846. Während man früher und auch noch bei einigen neueren Stadtbahnen, so bei den älteren Wagen der Stadtbahn in Paris, kurze Fahrzeuge anwandte (Textabb. 847), ist man heute zu erheblich größeren Einheiten übergegangen. Selbst auf bestehenden Bahnen, wie in Berlin und Hamburg, hat man zur Ersparung von Zuglänge und Luftdruckfläche lange Fahrzeuge durch

Abb. 845.



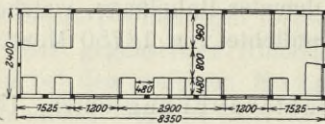
Mafstab 1:200. Wagen mit Stehplätzen an den Enden.

Abb. 846.



Mafstab 1:200. Wagen mit Stehplätzen an den Enden und in der Mitte.

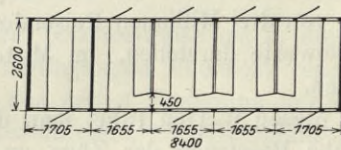
Abb. 847.



Mafstab 1:200.

Wagen der Stadtbahn in Paris, 1902.

Abb. 848.



Mafstab 3:200.

Stadtbahnwagen mit Abteilen und Seitentüren.

kurze Kuppelung zweier kleiner Wagen (Textabb. 848) zu schaffen gesucht. Die vorteilhafteste Sitzanordnung ergibt der Abteilwagen mit Seitentüren und innerer Verbindung (Textabb. 848), doch bietet ein solcher Wagen recht ungünstige Stehräume; er eignet sich überdies nicht für die auf englischen und amerikanischen Bahnen eingeführte Abfertigung der Züge durch die Begleitmannschaft.

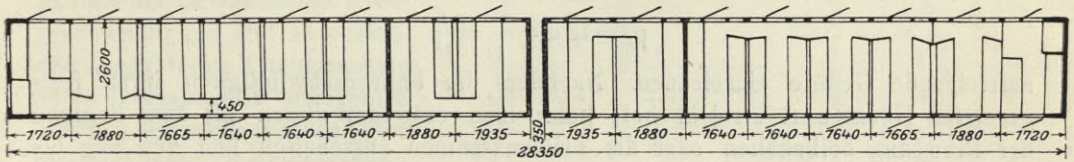
Da die Seitenwände bei Abteilwagen nur in geringem Mafse als Träger ausgebildet werden können, ist man genötigt, die Wagen über eine gewisse Größe hinaus nach Art der kurz gekuppelten Stadtbahnwagen in Berlin wieder zu teilen (Textabb. 849).

Die Zahl und Lage der Wagentüren ist für die Zugfolge, also die Leistungsfähigkeit einer Stadtschnellbahn von größter Wichtigkeit. Die schnellste Abfer-

tigung eines Zuges ergibt sich bei Abteilwagen mit Seitentüren in jedem Abteile (Textabb. 848 und 849), doch erfordern diese Wagen zahlreiche Bahnhofsmannschaft. Im Gegensatze hierzu zwingen die Durchgangswagen mit nur je einer Seitentür an den Enden zu langen Aufenthalten, wie beispielsweise in Neuyork (Textabb. 845), selbst wenn man noch eine Mitteltür anordnet (Textabb. 846). Man hat deshalb die Endtüren bei solchen Wagen in neuerer Zeit weiter nach der Mitte gesetzt, und dazu noch eine Tür in der Wagenmitte angeordnet, so neuerdings in Neuyork und Boston (Textabb. 850).

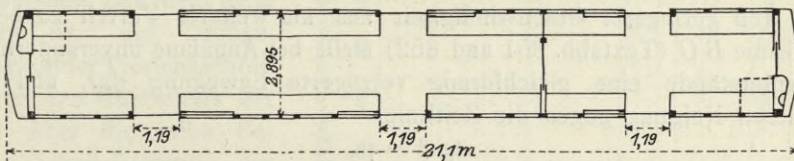
Die Zugfolge, die mit dem Fassungsvermögen des Zuges vervielfältigt die Leistungsfähigkeit der Anlage ergibt, richtet sich nach der Geschwindigkeit-

Abb. 849.



Maßstab 1:200. Kurz gekuppelter Doppelwagen, Vorortebahn in Hamburg.

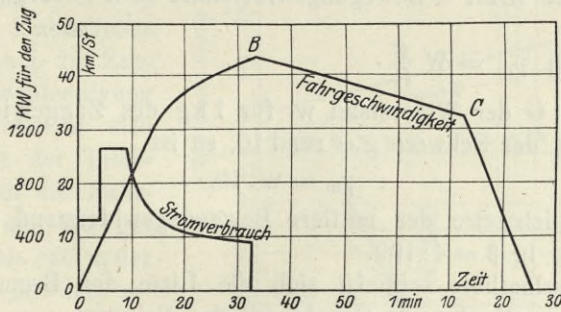
Abb. 850.



Maßstab 1:200.

Wagen mit Längsbänken, End- und Mittel-Türen, Neuyork und Boston.

Abb. 851.



Geschwindigkeit-Zeit-Linie.

Zeit-Linie. Da diese auch bei der Ermittlung der Maschinenleistung nötig, und wegen ihrer wichtigen Aufschlüsse über das Verhalten des Zuges und der Maschine bei der Fahrt von einem Haltpunkte zum andern unentbehrlich ist, sei ihre Aufzeichnung hier angegeben. In Textabb. 851 stellen die Längen die Zeit in Sek., die Höhen die Fahrgeschwindigkeit in m/Sek. dar. Der Widerstand des Zuges im Beharrungszustande ist nach irgend einer der hierfür aufgestellten, also beispielsweise der Formel von Clark²³⁸⁾

$$W_1^{kg} = \{2,4 + 0,001(V^{km/St})^2\} \cdot G^t$$

worin V die Fahrgeschwindigkeit, G das Zuggewicht bedeutet.

²³⁸⁾ Band I, 2. Auflage S. 63; 3. Auflage S. 111.

Der Widerstand der Anfahrbeschleunigung aus der Ruhe bis zur Höchstgeschwindigkeit beträgt:

$$W_2^{\text{kg}} = M \frac{\text{kgSek}^2}{\text{m}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{Sek}^2} \cdot p_a$$

worin M die Masse des Zuges, p_a die Beschleunigung bedeutet.

Die dem ganzen Widerstande W entsprechende Zugkraft Z ist also:

$$\text{Gl. 160)} \quad Z = W = W_1 + W_2 = \left\{ 2,4 + 0,001 \left(V \frac{\text{km}}{\text{St}} \right)^2 \right\} \cdot G^t + M \frac{\text{kgSek}^2}{\text{m}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{Sek}^2} \cdot p$$

Sorgt man jetzt durch die Regelung dafür, daß die Triebmaschinen unveränderliche Zugkraft ausüben, so läßt sich p_a bei Annahme unveränderlicher Bewegungswiderstände im Schaubilde als eine vom Nullpunkte mit der Neigung

$$p_a = \text{tg } \alpha = \frac{v}{t} = \frac{s}{t^2}$$

aufsteigende Gerade einzeichnen. Nachdem die Fahrgeschwindigkeit ihren festgesetzten Höchstwert erreicht hat, kann man entweder diesen bis zum Beginne der Bremsung beibehalten oder die Triebmaschinen ausschalten und den Zug bis zum Bremsbeginne auslaufen lassen. Letzteres geschieht mit Rücksicht auf die nur geringe Verminderung der durchschnittlichen Geschwindigkeit und die beträchtliche Ersparnis an Arbeit heute bei elektrischen Bahnen allgemein, wobei noch die Bremsung von geringerer Geschwindigkeit aus als weiterer Vorteil zu betrachten ist. Die Linie BC (Textabb. 851 und 852) stellt bei Annahme unveränderlicher Bewegungswiderstände eine gleichförmig verzögerte Bewegung dar, und ist eine Gerade, deren Neigung gegen die Zeitlinie

$$\text{tg } \beta = p_m$$

beträgt. Die Auslauf-Verzögerung p_m läßt sich aus der Formel:

$$\text{Verzögernde Kraft} = \text{Bewegungswiderstand} = W = M \cdot p_m = \frac{G}{g} \cdot p_m$$

berechnen, nämlich $p_m = W \frac{g}{G}$.

Darin ist $W:G$ der Widerstand w für 1 kg des Zuggewichtes. Setzt man die Beschleunigung der Schwere $g = \text{rund } 10$, so ist

$$p_m = w \cdot 10.$$

Beträgt beispielsweise der mittlere Bewegungswiderstand $w = 0,004 \text{ kg/kg}$, so ist $p_m = 0,04$, also $\text{tg } \beta = 4:100$.

An diese Auslauflinie schließt sich die Linie der Bremsverzögerung entsprechend dem Vorstehenden als Gerade mit der Neigung

$$\text{tg } \gamma = p_b$$

an, worin p_b die Bremsverzögerung bedeutet.

Das Schaubild des Verlaufes einer Fahrt zwischen zwei Haltepunkten (Textabb. 851) gibt indes in dieser Gestalt einige Besonderheiten des Betriebes noch nicht wieder. Zunächst bringt es die wirtschaftliche Regelung der elektrischen Triebmaschinen mit sich, daß der letzte Teil der Beschleunigungslinie von dem Zeitpunkt an, in dem die letzte Vorschaltwiderstandstufe abgeschaltet wird, gegen die Zeitlinie etwas abfällt. Das wird an Hand der in Textabb. 852 dargestellten Kennlinie der Triebmaschine deutlich, die sich auf eine solche von der Eigenschaft einer Reihen-schlufs-Triebmaschine bezieht. Diese Geschwindigkeitslinie ist für die eine be-

stimmte Klemmenspannung gezeichnet, die nach vollständiger Abschaltung des Vorschaltwiderstandes herrscht, sie zeigt, daß die Zugkraft, also auch die Beschleunigung mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit abnimmt. Die Aufzeichnung der abnehmenden Beschleunigung gemäß der zunehmenden Drehgeschwindigkeit und abnehmenden Zugkraft der Triebmaschine ist in Textabb. 852 angegeben. Hierbei herrschte während der gleichmäßigen Beschleunigung eine Zugkraft der Triebmaschine von 220 kg. Da weiterer Vorschaltwiderstand nun nicht mehr vorhanden ist, die Drehgeschwindigkeit der Triebmaschine aber durch den Überschuss der Zugkraft über die reine Bewegungs - Arbeitsleistung des Zuges hinaus weiter zunimmt, muß nach Gl. 149), S. 638 ; 159), S. 691 E zu- und I abnehmen. Damit fällt aber auch die Zugkraft, so daß die Beschleunigung abnimmt. Dies vollzieht sich nach der Kennlinie der Triebmaschine, die also in die Fahrlinie zu übertragen ist. Das geschieht nach Textabb. 852 in der Weise, daß man von der ursprünglichen Zugkraft von 220 kg ausgehend eine Anzahl von Abschnitten I, II, III . . . von der Kennlinie abtrennt. Der mittlern Zugkraft jedes Abschnittes, beispielsweise 200 kg im Abschnitte I, entspricht dann eine bestimmte Beschleunigung I der Fahrlinie, die kleiner ist, als die der Zugkraft von 220 kg zukommende Beschleunigung von $0,6 \text{ m/ Sek}^2$, und die zwischen den beiden Grenzgengeschwindigkeiten des Ab-

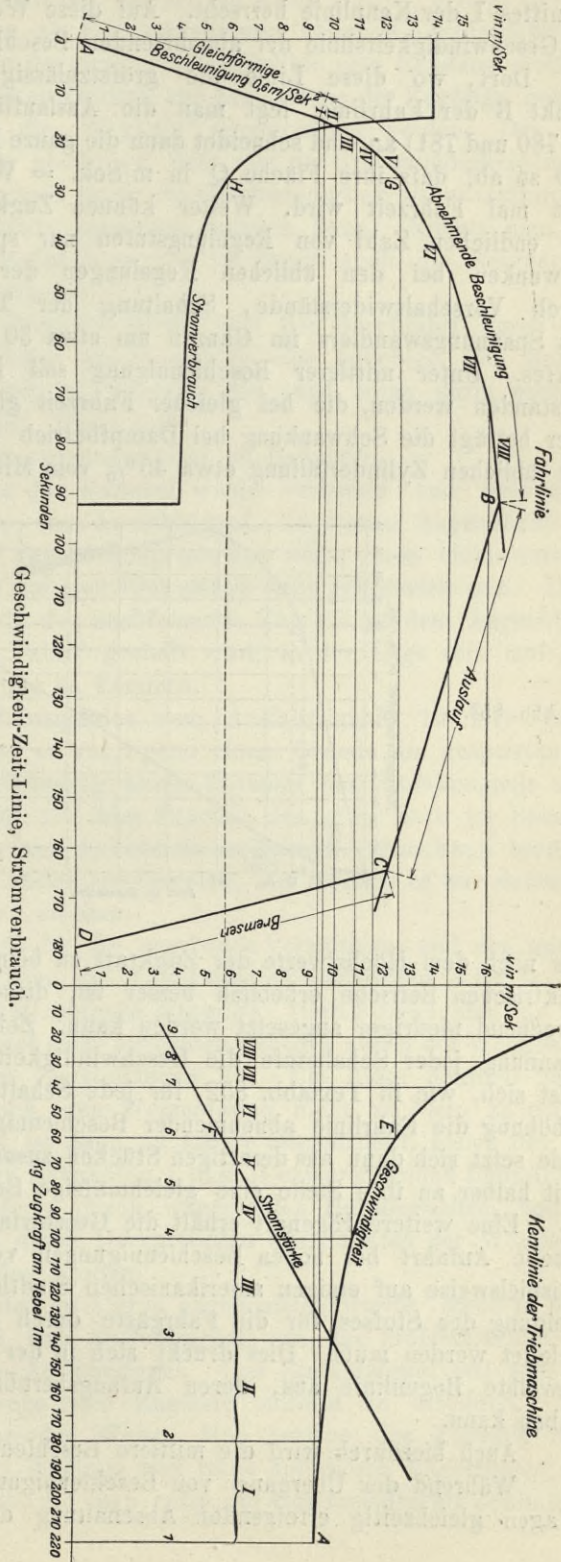


Abb. 852.

schnittes I der Kennlinie herrscht. Auf diese Weise erlangt man in der Fahrlinie die Geschwindigkeitslinie der abnehmenden Beschleunigung.

Dort, wo diese Linie die größtzulässige Fahrgeschwindigkeit erreicht, Punkt B der Fahrlinie, legt man die Auslauflinie BC mit der Neigung w . 10 (S. 780 und 781) an, und schneidet dann die ganze Fahrdarstellung mit der Bremslinie CD so ab, daß ihre Fläche Q in $m/sek. = Weg =$ mittlerer Fahrgeschwindigkeit mal Fahrzeit wird. Weiter können Zugkraft und Beschleunigung wegen der endlichen Zahl von Regelungsstufen nur sprungweise geändert werden. Sie schwanken bei den üblichen Regelungen der zugeführten Klemmenspannung durch Vorschaltwiderstände, Schaltung der Triebmaschine oder Schaltungen des Spannungswandlers im Ganzen um etwa 30%, also um 15% ihres Mittelwertes. Unter mittlerer Beschleunigung soll hierbei diejenige Beschleunigung verstanden werden, die bei gleicher Fahrzeit gleichen Weg ergibt. Dem gegenüber beträgt die Schwankung bei Dampftrieb mit Zweikurbel-Lokomotiven und der üblichen Zylinderfüllung etwa 45% vom Mittelwerte, so daß die Ausnutzung

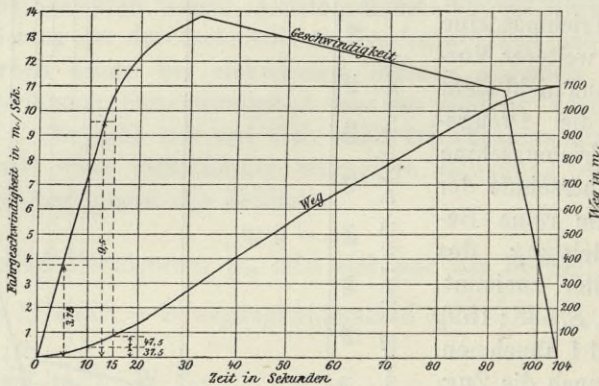


Abb. 853.

Weglinie.

des nach dem Höchstwerte der Zugkraft zu bemessenden Reibungsgewichtes beim elektrischen Betriebe erheblich besser ist, dieser Höchstwert also bei ihm entsprechend niedriger angesetzt werden kann. Zeichnet man also für die Klemmenspannung jeder Schaltstufe die Geschwindigkeitslinie der Triebmaschine auf, so läßt sich, wie in Textabb. 852, für jede Schaltstufe bis zur nächsten Spannungserhöhung die Fahrlinie abnehmender Beschleunigung zeichnen. Die ganze Fahrlinie setzt sich dann aus derartigen Stücken zusammen, doch setzt man der Einfachheit halber an ihre Stelle eine gleichmäßige Beschleunigung, also eine Gerade.

Eine weitere Eigenart erhält die Geschwindigkeit-Zeitlinie dadurch, daß die rasche Anfahrt bei hohen Beschleunigungen von 0,6 und 0,8 m/sek^2 , wie sie beispielsweise auf einigen amerikanischen Stadtbahnen gebräuchlich sind, zur Vermeidung des Stofses für die Fahrgäste durch eine geringe Beschleunigung eingeleitet werden muß. Dies drückt sich in der Fahrlinie durch eine nach unten gewölbte Bogenlinie aus, deren Anfangsbührende die Neigung $\tan \alpha = 0,4$ haben kann.

Auch hierdurch wird die mittlere Beschleunigung etwas vermindert.

Während der Übergang von Beschleunigung zum Auslaufe mit der in allen Wagen gleichzeitig erfolgenden Abschaltung der Triebmaschinen, also plötzlich

erfolgt und in der Geschwindigkeitslinie hierbei ein Knick eintritt, erfolgt der vom Auslaufe zur Bremsung bei den als Gebrauchsbremse üblichen Luftdruckbremsen allmählig, so daß an dieser Stelle der Geschwindigkeitslinie eine Rundung erscheint.

Um nun diese Geschwindigkeit-Zeitlinie zur Ermittlung der Zugfolge geeignet zu machen, muß in sie noch die „Weglinie“ eingezeichnet werden. Das kann nach Textabb. 853 in der Weise geschehen, daß man die Geschwindigkeitslinie in einzelne Abschnitte zerlegt, innerhalb derer die Geschwindigkeit als unveränderlich, und daher die Weglinie als Gerade angesehen werden kann. Nimmt man noch für den Weg einen beliebigen Maßstab an, so ist damit auch die Neigung der Weglinie gegen die Zeitlinie bestimmt.

Für die Bestimmung der Zugfolge ist die Zeit der Durchfahrt durch einen Bahnhof maßgebend. Man zeichne als Grundlage eine beliebige, den Bahnhof deckende Signalordnung auf, wie in Textabb. 854, und trage darin auch die entscheidenden Zugstellungen ein. Diese sind:

Stellung I, der Zug steht ordnungsmäßig im Bahnhofs,

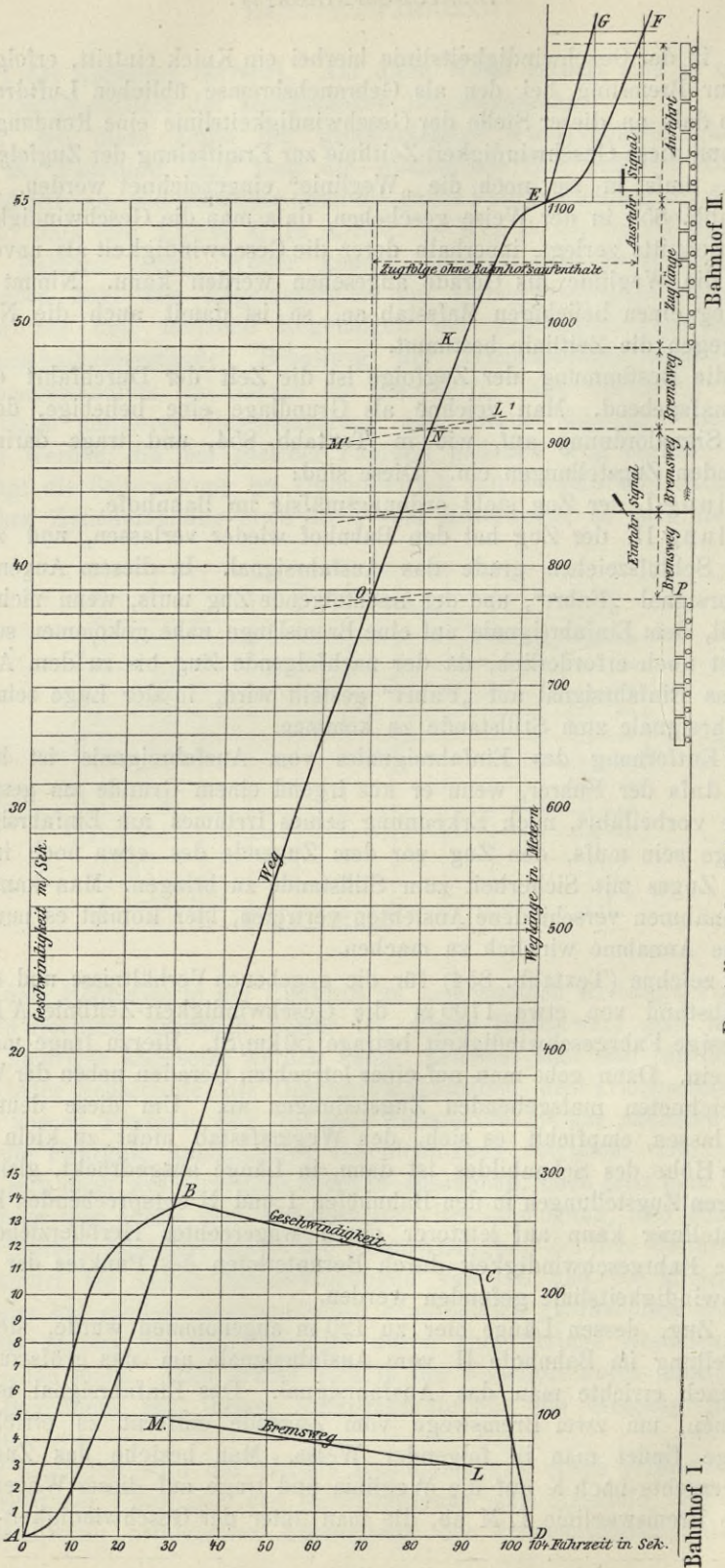
Stellung II, der Zug hat den Bahnhof wieder verlassen, und zwar durchläuft sein Schlußzeichen gerade das Ausfahrtsignal. In diesem Augenblicke gibt das Einfahrtsignal „Fahrt“, und der nachfolgende Zug muß, wenn nichts versäumt werden soll, dem Einfahrtsignale auf eine Bremslänge nahe gekommen sein. Dieser Abstand ist noch erforderlich, da der nachfolgende Zug bis zu dem Augenblicke, in dem das Einfahrtsignal auf „Fahrt“ gestellt wird, in der Lage sein muß, bis zum Einfahrtsignale zum Stillstande zu kommen.

Die Entfernung des Einfahrtsignales vom Ausfahrtsignale ist hier danach bemessen, daß der Führer, wenn er aus irgend einem Grunde am gesperrten Einfahrtsignale vorbeifährt, nach Erkennung seines Irrtumes am Einfahrtsignale selbst in der Lage sein muß, den Zug vor dem Zugende des etwa noch im Bahnhofs stehenden Zuges mit Sicherheit zum Stillstande zu bringen. Man kann bezüglich solcher Annahmen verschiedene Ansichten vertreten, hier kommt es nur darauf an, irgend eine Annahme wirklich zu machen.

Man zeichne (Textabb. 854) für die gegebenen Verhältnisse und den mittlern Bahnstreckenabstand von etwa 1100 m die Geschwindigkeit-Zeitlinie A B C D. Die größtzulässige Fahrgeschwindigkeit betrage 50 km/St. Hierzu trage man die Weglinie A E ein. Dann gebe man auf einer lotrechten Geraden neben der Weghöhe die oben bezeichneten maßgebenden Zugstellungen an. Um diese deutlich hervortreten zu lassen, empfiehlt es sich, den Wegmaßstab nicht zu klein zu wählen. Die ganze Höhe des Schaubildes ist dann, in Länge ausgedrückt, gleich der zwei gleichartigen Zugstellungen in den Bahnhöfen I und II entsprechenden Bahnstrecke; jede Zugstellung kann auf letzterer durch wagerechtes Herüberziehen, und die zugehörige Fahrgeschwindigkeit durch Herunterloten des Punktes der Weglinie in die Geschwindigkeitslinie gefunden werden.

Der Zug, dessen Länge hier zu 120 m angenommen wurde, stehe in seiner „Halt“-Stellung im Bahnhofs II vom Ausfahrtsignale um das größtzulässige Maß ab. Danach errichte man das Ausfahrtsignal. Das Einfahrtsignal ist, wie eben angenommen, um zwei Bremswege vom Zugende entfernt zu errichten. Diese Bremswege findet man in folgender Weise. Man beziehe das Zugende durch eine Wagerechte nach K auf die Weglinie und trage auf dieser Wagerechten nach unten die Bremsweglinie L M ab, die man unter der Geschwindigkeit-Zeitlinie für

Abb. 854.



Darstellung der Fahrt zwischen zwei Bahnhöfen.

die Bremswege in den einzelnen Zeitpunkten noch eingezeichnet hat. Der Schnittpunkt N dieser übertragenen Bremsweglinie L' M' mit der Weglinie A E gibt den Streckenpunkt an, in welchem der Zug zu bremsen hat, um am Zugende des im Bahnhofs stehenden Zuges zum Stillstande zu kommen. In der gleichen Weise findet man den zweiten Bremsweg, an dessen Anfang das Einfahrtsignal errichtet werden sollte. Das letztere wird auf „Fahrt“ gestellt, wenn das Ende des ausfahrenden Zuges am Ausfahrtsignale vorbeifährt; der nachfolgende Zug soll sich in diesem Augenblicke auf eine Bremslänge dem Einfahrtsignale genähert haben. Man trage also vom letztern noch einen Bremsweg nach rückwärts ab, was die Gerade O P ergibt, und stelle an der Ausfahrt den Zug mit seinem Zugende an das Ausfahrtsignal. Dann stellt die Zeit, die der Zug braucht, um von P nach R zu kommen, die Durchfahrzeit für den Bahnhof II dar. Dieser Grundwert der Zugfolge läßt sich also aus dem Schaubilde ablesen. Er beträgt bei den in Textabb. 854 gemachten Annahmen 54 Sekunden. Hierzu hat man dann noch die Zeit des Aufenthaltes im Bahnhofs zu rechnen, der 15 Sekunden betragen soll, und erhält als Zugfolge $54 + 15 = 69$ Sekunden.

Mit diesem Abstände kann aber nicht gefahren werden. Für ungenaues Fahren des Zuges selbst, vor allem für die gegenseitigen Störungen der anderen, dieselbe Strecke befahrenden Züge, die beim Fahren mit kleinstmöglicher Zugfolge fast durch kein Mittel wieder ausgeglichen werden können, ist ein Zuschlag von 10 bis 25 % zu machen, wodurch sich im vorliegenden Falle die wirkliche Zugfolge auf rund 80 Sekunden stellt.

Das in Textabb. 854 gezeigte Schaubild der Fahrt eines Zuges von einer Haltestelle zur andern läßt sich nun nach Textabb. 855²³⁹⁾ in einfacher Weise zu einem Schaubilde des Verkehrs vervollständigen. Man zeichnet zunächst die vollständige Weglinie des Kopfes eines Zuges über den Haltestellen I und II auf, und trägt darauf an irgend einer Stelle des Weges die Streckenblockung mit ihren Zugstellungen auf. In Textabb. 855 ist hierzu eine der Einrichtung der Hoch- und Untergrund-Bahn in Berlin ähnliche Anordnung verwendet worden. In der Stellung $K_1 S_1$ des Zuges 1 wird das Signal A verriegelt, das Signal E aber entriegelt; in diesem Augenblicke soll der Zug 2 dem Signale E auf Bremslänge nahe gekommen sein. Dem Punkte K_1 des Zuges 1 entspricht in der Weglinie der Punkt K_1' ; die Spitze K_2 des Zuges 2 befindet sich dann in K_2' senkrecht unter K_1' . Durch diesen Punkt K_2' läßt sich eine gegen die Weglinie des Kopfes von Zug 1 um $K_1' K_2'$ senkrecht verschobene Linie zeichnen, die die Zugabstandlinie darstellt, weil der Zug 2 zu keiner Zeit mit seiner Spitze über diese Linie hinausgehen darf. Die Weglinie des Kopfes von Zug 2 wird nun gleichgerichtet zu der des Zuges 1 an die Zugabstandlinie herangelegt, dann stellt der in der Richtung der Zeitlinie gemessene Abstand beider Weglinien den zeitlichen Abstand beider Züge, also die Zugfolge in Sekunden dar. Man erkennt aus der Abbildung, daß dieser zeitliche Abstand durch den von der Bremsverzögerung, dem Bahnhofs-aufenthalte und der Anfahrt hervorgerufenen Knick a der Zugabstandlinie wesentlich beeinflusst wird. Die Zugfolge richtet sich demnach nach der für die Fahrt eines Zuges durch den Bahnhof erforderlichen Zeit.

²³⁹⁾ Beide Abbildungen wurden vom Verfasser erstmals in einer Vorlesung an der Technischen Hochschule zu Berlin im Wintersemester 1906/1907 zur zeichnerischen Entwicklung der Zugfolge bekannt gegeben.

Welchen Einfluss die Länge des Aufenthaltes im Bahnhofe auf die Zugfolge hat, geht aus der Zusammenstellung XXIV hervor, die A. H. Stanley, der Leiter der elektrisch betriebenen Distrikt-Bahn in London als durchführbar erachtet²⁴⁰).

Zusammenstellung XXIV.

Bei einer Aufenthaltzeit von Sek.	10	12	15	20	25	30	40	50	60
erreichbare stündliche Zugzahl	71	68	64	59	54	51	44	40	36

Die Distrikt-Bahn hat selbsttätig wirkende, elektrische Signale. Bei halb-selbsttätigen Signalen, die für Stadtschnellbahnen als ungeeignet bezeichnet werden müssen, würde die Zugfolge an sich schon erheblich länger ausfallen.

Zu der Weglinie der Zugköpfe läßt sich noch überall die der Zugenden hinzufügen, wodurch das Bild der Textabb. 855 noch anschaulicher wird.

Die Zugfolge läßt sich nun zwar auch rechnerisch ermitteln, vorausgesetzt, daß die Geschwindigkeit-Zeitlinie im hintern Teile wirklich die in Textabb. 854 angegebene, einfache Form aufweist, doch verdient der zeichnerische Weg immer den Vorzug, denn er läßt sich bei jeder Form der Geschwindigkeit-Zeitlinie anwenden, und führt den ganzen Vorgang der Durchfahrt eines Zuges durch den Bahnhof mit großer Deutlichkeit vor Augen. Er läßt auch den Einfluss der Beschleunigung erkennen.

Da dieser besonders bei Dampf bahnen auffällig ist, sind in Textabb. 856 die Geschwindigkeit-Zeit- und die Weg-Linien für Dampf- und elektrischen Betrieb eingezeichnet, wobei für erstern die bei bester Lokomotiv-Bauart noch eben erreichbare Beschleunigung von $0,25 \text{ m/Sek}^2$ angenommen wurde²⁴¹). Da diese Beschleunigung nach dem ersten Teile der Anfahrt schnell abnimmt, kann der Weg des elektrischen Zuges, das heißt die von seiner Geschwindigkeit-Zeitlinie umschlossene Fläche vom Dampfzuge nur bei erheblich höherer Höchstgeschwindigkeit eingehalten werden; überschreitet diese aber die zulässige obere Grenze, so ist für den gleichen Weg eine längere Fahrzeit erforderlich (Textabb. 853). Der letztere Fall soll hier als der allein mögliche weiter betrachtet werden. Der Weg von Ende bis Kopf des im Bahnhofe stehenden Zuges erfordert mithin eine kürzere Fahrzeit von 16 gegen 17 Sekunden, dagegen sind die drei auf diesen Teil der Zugfolge rückwärts folgenden Bremswege, also Bremszeiten entsprechend der Formel $t = v : p$ größer. Zusammen ergeben diese vier Bestandteile beim Dampfbetriebe unter den Verhältnissen der Textabb. 856 eine längere Fahrzeit. Die Ausfahrt des Zuges aus dem Bahnhofe bis über das Ausfahrtsignal hinaus ergibt beim Dampfbetriebe dagegen eine längere Fahrzeit, so daß bei gleichem Sicherheitszuschlage für Dampfbetrieb eine weitere Zugfolge herauskommt. Die Schwierigkeit, ja fast Unmöglichkeit, beim Dampfbetriebe mit der größtmöglichen Zugkraft und Beschleunigung zu fahren, erfordert nun einen erheblich höhern Sicherheitszuschlag, als der elektrische Betrieb, bei dem die Anfahrzugkraft selbsttätig auf ihren Höchstwert geregelt

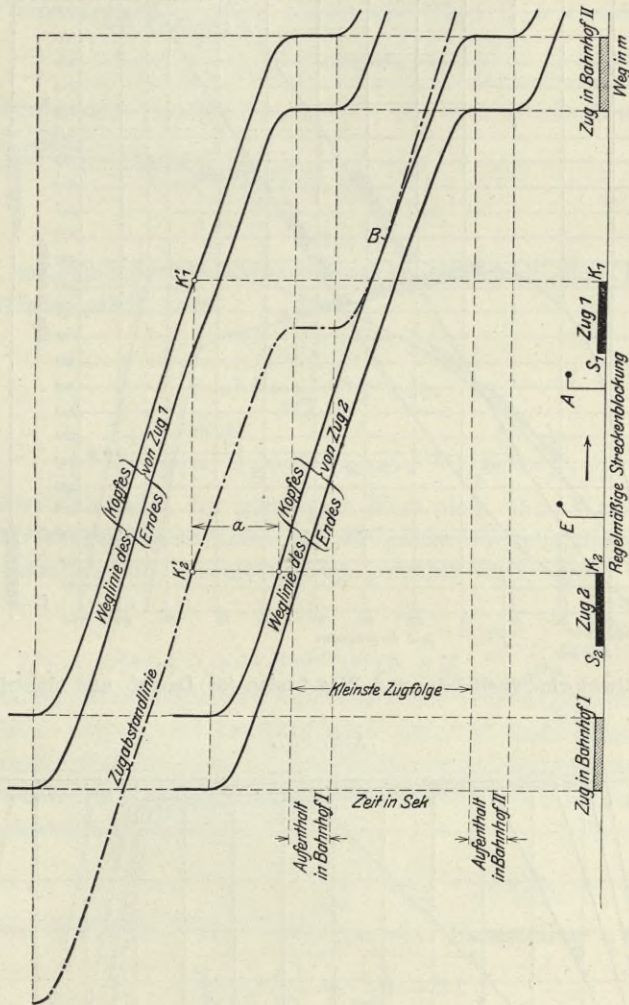
²⁴⁰) Denkschrift Nr. 800 der preussisch-hessischen Eisenbahnverwaltung über die Einführung des elektrischen Betriebes auf den Stadt-, Ring- und Vorort-Bahnen in Berlin.

²⁴¹) Glasers Annalen 1900, August, S. 84.

wird. Man hat hier wenigstens den doppelten Zuschlag zu machen, wodurch sich, was allein den Unterschied der Zugfolge betrifft, die Leistungsfähigkeit des Dampfbetriebes gegenüber der des elektrischen erheblich niedriger stellt.

Aus obigen Angaben, besonders aus Textabb. 855 und 856 geht hervor, eine wie große Bedeutung die Block- und Signal-Anordnung für die Zugfolge und Leistungsfähigkeit hat. Für Stadtschnellbahnen eignen sich deshalb nur die selbst-

Abb. 855.



Darstellung der Zugfolge.

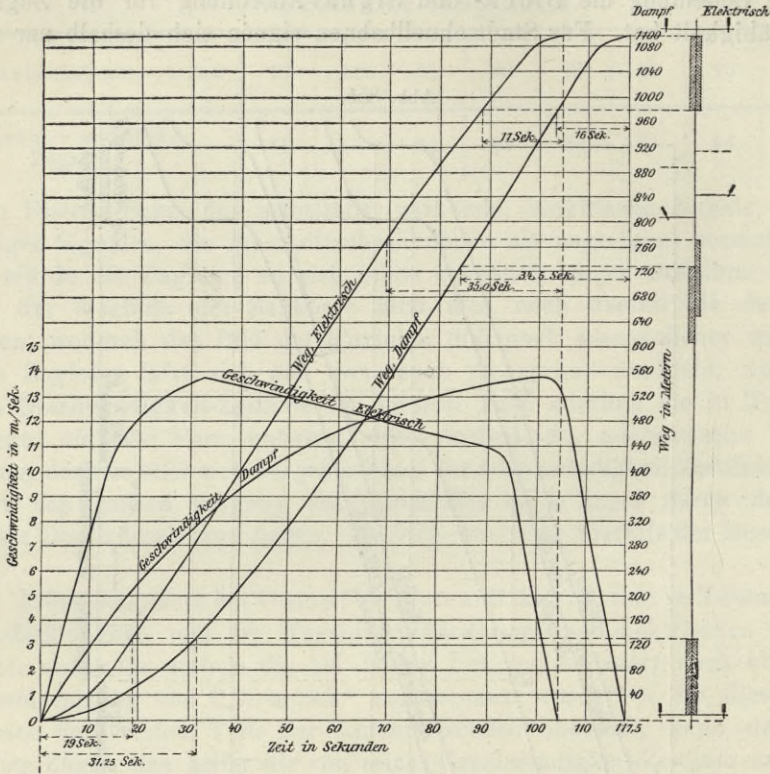
tätigen Anordnungen, wie sie beispielsweise die Schwebbahn Barmen-Elberfeld²⁴²⁾ und die Distrikt-Bahn in London verwenden.

Der Beschleunigungswert hat aber noch eine weitere Bedeutung. Unter den die Geschwindigkeit-Zeitlinie liefernden Größen sind gegeben: der Weg von Haltestelle zu Haltestelle, die höchste Fahrgeschwindigkeit, die größte Bremsverzögerung p_b

²⁴²⁾ Organ 1905, S. 86, 109, 140.

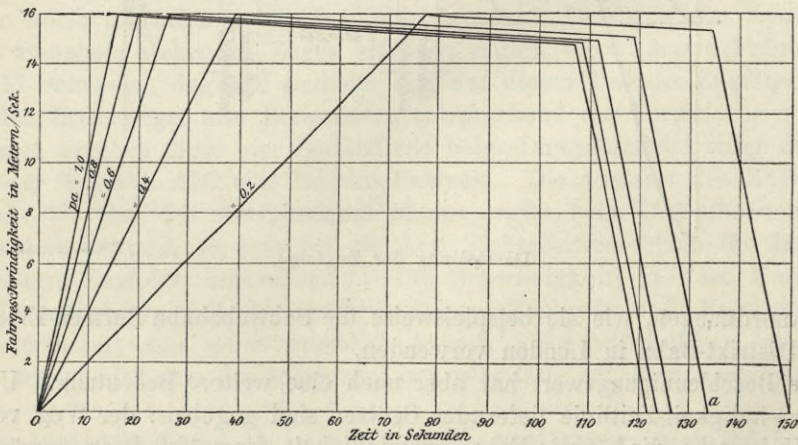
und die Auslaufverzögerung p_m . Die Anfahrbeschleunigung p_a sei innerhalb der zulässigen oberen Grenze zu wählen. Wie Textabb. 857 zeigt, rückt der Zeitpunkt,

Abb. 856.



Vergleich der Geschwindigkeit-Zeit- und Weg-Linien für Dampf- und elektrischen Betrieb.

Abb. 857.



Darstellung der Fahrzeiten aus Beschleunigung und Geschwindigkeit.

in dem der Auslauf des Zuges beginnt, die Arbeitszufuhr also abgeschnitten werden muß, mit abnehmender Beschleunigung weiter hinaus. Nun ist die dem Zuge auf seiner Fahrt von einer Haltestelle zur andern zugeführte Arbeit

$$A^{kg \cdot m} = \frac{M \frac{kg \cdot Sek^2}{m} \left(\frac{m}{v \cdot Sek}\right)^2}{2} + G^{kg} \cdot w^{kg/kg} \cdot l_1^m$$

Darin bedeuten: $M = G : g$ die Masse des Zuges, v die höchste Fahrgeschwindigkeit, w den Bewegungswiderstand für 1 kg des ganzen Zuges, l_1 die Länge des Anfahrweges. In diesem Werte bleibt die lebendige Kraft $0,5 M \cdot v^2$ bei abnehmender Beschleunigung unverändert, dagegen nimmt das Glied $G \cdot w \cdot l_1$ oder, wenn man

$$l_1 = \frac{(v \frac{m}{Sek})^2}{2 p_a \frac{m}{Sek^2}} \text{ schreibt, } G w \frac{v^2}{2 p_a}$$

zu. Das Verhältnis der zugeführten Arbeit zur Nutzarbeit $G w l$, worin l den ganzen Weg bedeutet:

$$i = \frac{\frac{G v^2}{2 g} + G w \frac{v^2}{2 p_a}}{G w l}$$

wird also mit zunehmender Anfahrbeschleunigung kleiner, das heißt günstiger. Durch Vereinfachung erhält man

$$i = \frac{\frac{v^2}{2 g} + \frac{w v^2}{2 p_a}}{w l}, \text{ oder}$$

$$\text{Gl. 161) } \dots \dots i = \frac{(v \frac{m}{Sek})^2}{2 l^m} \left(\frac{1}{g \frac{m}{Sek^2} \cdot w^{kg/kg}} + \frac{1}{p_a \frac{m}{Sek^2}} \right).$$

Aus ihr läßt sich indes der günstigste Wert nicht ohne Weiteres entnehmen, da dieses Arbeitsverhältnis nicht allein für die ganze Wirtschaftlichkeit maßgebend ist. Je größer nämlich die Beschleunigung gewählt wird, desto höher fällt die Zugkraft

$$Z^{kg} = (w^{kg/t} + 0,001 (v \frac{m}{Sek})^2) G^t + M \frac{kg/Sek^2}{m} \cdot p_a \frac{m}{Sek^2},$$

desto stärker also die ganze elektrische Ausrüstung der Triebwagen oder Lokomotiven, die Fahr- und Speise-Leitung und das Kraftwerk aus, und desto höher sind der jährliche Stromverbrauch und die Zins-, Erneuerungs- und Abschreibungs-Beträge.

Da mit zunehmender Beschleunigung die Fahrzeit t von Haltestelle zu Haltestelle nach der Beziehung (Textabb. 852)

$$\text{Gl. 162) } \dots \dots t = \frac{v_a}{p_a} + \frac{v_a - v_b}{p_m} + \frac{v_b}{p_b} \text{ abnimmt,}$$

worin v_a gegeben, und beim Wege l zwischen zwei Haltestellen

$$\text{Gl. 163) } \dots \dots v_b = \sqrt{\frac{v_a^2 \left(\frac{1}{p_a} + \frac{1}{p_m} \right) - 2l}{\frac{1}{p_m} - \frac{1}{p_b}}} \text{ ist,}$$

so wird anderseits am Bestande der Fahrzeuge und an deren Verrechnung an Zinsen Erneuerung und Abschreibung gespart, sowie endlich eine in Geld nicht ohne Weiteres ausdrückbare raschere Beförderung der Reisenden erzielt.

Alle diese Vergleichungspunkte lassen sich nicht in einer einzigen Formel ausdrücken. In allen Fällen ist es aber ratsam, für bestimmte gegebene Verhält-

nisse, also Blockeinrichtung, Leistungsfähigkeit, Zugfolge, höchste Fahrgeschwindigkeit, Bremsverzögerung und Zuglänge die gegenseitigen Abhängigkeiten nach Textabb. 854 und 855 zeichnerisch zu ermitteln und in Schaulinien aufzureißen. Von besonderer Wichtigkeit sind hierbei die:

Abhängigkeit der Zugfolge von der Beschleunigung. Sie verläuft etwa nach Zusammenstellung XXV.

Zusammenstellung XXV.

Beschleunigung. m/Sek. ²	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Zugfolge. Minuten	1,0	0,86	0,79	0,75	0,73	0,71	0,69	0,68

Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit von der Beschleunigung. Sie entspricht den umgekehrten Werten der Zusammenstellung XXV.

Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit von der Zuglänge. Sie verläuft etwa nach Zusammenstellung XXVI.

Zusammenstellung XXVI.

Zuglänge m	100	120	140	160	180	200
Leistungsfähigkeit	1,0	1,14	1,30	1,44	1,56	1,68

Wie man hieraus ersieht, werden die Werte mit zunehmender Beschleunigung erst rasch, dann langsamer günstiger.

Man berechne für verschiedene Beschleunigungen, und zwar für die wohl gängigsten Werte 0,4, 0,5, 0,6 und 0,7^{m/Sek²} auch die jährlichen Betriebskosten, die dann die wirtschaftlich günstigste Beschleunigung bestimmt erkennen lassen. Sollte sich hierbei ein geringerer Wert, als die für die gewünschte Beförderung rätliche Beschleunigung ergeben, so ist trotzdem letztere zu wählen. In diesem Falle hat die ganze Rechnung wenigstens die Gewissheit darüber verschafft, mit welchem wirtschaftlichen Opfer man flotte Beförderung erzielt.

Textabb. 858 und 859 zeigen einige Fahrlinien amerikanischer Stadtbahnen, aus denen man erkennt, wie sehr die wirklichen Linien von den theoretischen abweichen. Besonders sind es die Bremsungen hinter dem Vorderzuge, die störend auf den Umlauf der Züge einwirken. Die auffallend langen Aufenthalte in den Bahnhöfen sind der unzuweckmäßigen Bauart der Wagen zuzuschreiben.

Zur Ermittlung der Triebmaschinengröße bedarf man endlich noch der Linie des Stromverbrauches. Sie wird aus der Kennlinie der Triebmaschine (Textabb. 852 rechts) mittels des Linienzuges F E G H in die Fahrlinie übertragen. Während der gleichförmigen Beschleunigung bleibt auch der Stromverbrauch unverändert; er fällt nach Ausschaltung der letzten Widerstandstufe mit abnehmender Zugkraft ab, und wird in derselben Weise durch Einteilung der Kennlinie in Streifen, wie die Linie der abnehmenden Beschleunigung, zeichnerisch ermittelt.

b. 2) Die Reisegeschwindigkeit.

Die zweite der oben genannten Bedingungen, die Reisegeschwindigkeit, hat durch das Vorstehende schon ihre Deutung erfahren. Die Fahrzeit nimmt mit zunehmender Beschleunigung nach Gl. 162) ab, ist also von vornherein bei elektrischem Betriebe erheblich kleiner, als bei Dampftrieb. Ihr wirtschaftlicher Einfluß findet im raschern Umlaufe, also geringern Bestände der Fahrzeuge und in der Zeitersparnis der Fahrgäste seinen Ausdruck.

In Zusammenstellung XXVII sind die Reisegeschwindigkeiten einiger Stadtschnellbahnen angegeben, die sich aus dem täglichen Betriebe feststellen ließen. Auf die Reisegeschwindigkeit hat die Zahl der auf 1 km entfallenden Aufenthalte großen Einfluß.

Zusammenstellung XXVII.

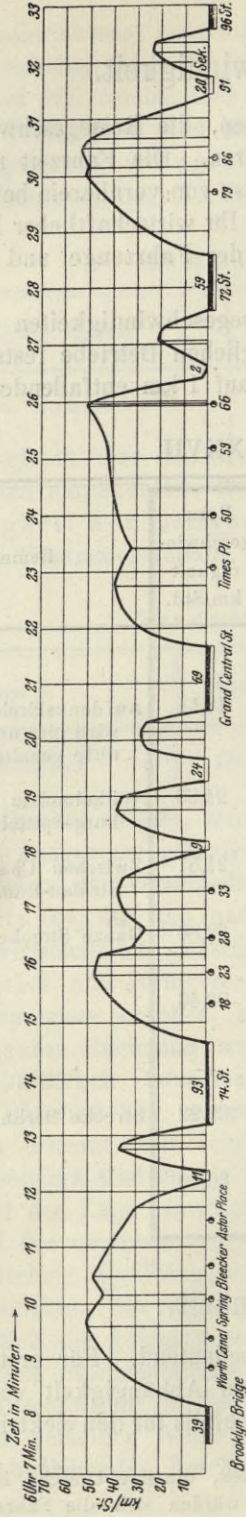
Bahn	Streckenlänge km	Zahl der Fahrabschnitte	Betriebsart	Reisegeschwindigkeit km/Std.	Bemerkungen
Hoch- und Untergrund-Bahn in Neuyork „Subway“ (Textabb. 858)	8,4	16	Gleichstrom	18,54	Auf den zahlreichen Haltestellen wird hier und da über 1 Minute gehalten.
Hoch- und Untergrund-Bahn in Berlin	9,3	12	Gleichstrom	24,80	Wilhelmsplatz in Charlottenburg-Spittelmarkt.
Stadtbahn in Berlin ²⁴³⁾	13,3	12	Dampf	21,57	Zwischen Charlottenburg und Stralau-Rummelsburg.
Berlin-Lichtenfelde Ost	9,3	5	Gleichstrom	32,80	Ganze Strecke.
Schwebebahn Barmen-Elberfeld	13,3	19	Gleichstrom	23,46	
Hoch- und Untergrund-Bahn in Boston (Textabb 859)	—	—	Gleichstrom	—	
Wannseebahn, Berlin	18,5	10	Dampf	29,22	Strecke Berlin-Wannsee.
Vorortbahn Blankenese-Ohlsdorf, Hamburg	26,5	16	Einwellen-Wechselstrom	30,60	

b. 3) Fahrgelegenheit.

Fahrgelegenheit und Zugfolge sind gleichbedeutend. Für erstere gilt also das oben über die Zugfolge Gesagte; wegen ihrer Abhängigkeit von der Größe der Beschleunigung spricht sie bei Stadtbahnen gleichfalls für den elektrischen Betrieb.

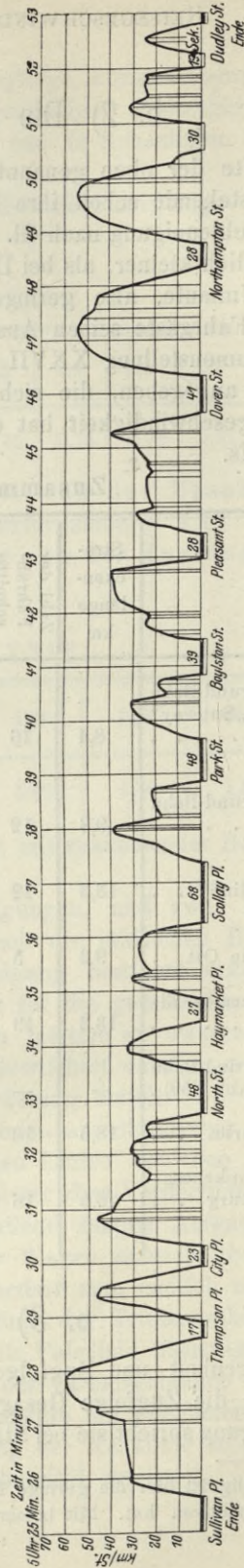
²⁴³⁾ Auffällig ist hier die geringe Fahrgeschwindigkeit, die ihre Ursache in der veralteten Bauart der Lokomotiven hat. Mit besseren Lokomotiven würden sich die Fahrzeiten um 20% abkürzen lassen.

Abb. 858.



Geschwindigkeit-Zeit-Linie der Hoch- und Untergrund-Bahn, „Subway“, in Newyork.

Abb. 859.



Geschwindigkeit-Zeit-Linie der Hoch- und Untergrund-Bahn in Boston.

Die Dichte des Fahrplanes und die hohe Reisegeschwindigkeit steigern beide das von der Bahnanlage beherrschte Einflußgebiet, sind also wirtschaftlich von größter Bedeutung. Freilich wird die Dichte des Fahrplanes nicht überall, und besonders nicht bei neuer Anlage in den ersten Betriebsjahren, von der kleinsten möglichen Zugfolge bestimmt, doch hat die Erfahrung gelehrt, daß die kleinste Zugfolge schon früher in Anspruch zu nehmen ist, als selbst eine vorsichtige Voraussetzung erwarten liefs. Dies ist besonders bei Bahnen der Fall, die eine oder mehrere Abzweiglinien haben, wie die südwestlichen Untergrundbahnen in Berlin. Hier hängen an der zum Potsdamer Platze führenden Stammlinie drei Zweiglinien, außerdem haben diese Züge noch den Verkehr dreier weiterer Linien aufzunehmen, so daß auf dem einzigen Gleise der Verkehr von sechs Linien in die Stadt zu führen ist²⁴⁴). Das wird mit keiner Zugfolge zu bewältigen sein, und muß binnen Kurzem zu Mißständen führen, deren Abstellung schwere Geldopfer erfordert.

b. 4) Betriebsicherheit.

Die Sicherheit des Betriebes erfordert bei Stadtbahnen wegen der schnellen Zugfolge, des starken Verkehrs und der Lage des Bahnkörpers auf erhöhten Trägern oder in Tunneln ganz besondere Vorkehrungen. Besondere Anstöße zu Verbesserungen der Bahnanlage wie der Fahrzeuge haben mehrere Unfälle auf bestehenden Stadtbahnen gegeben; wenn heute noch Unfälle vorkommen, lassen sich ihre Ursachen meist auf Nichtbeachtung bekannter Erfahrungen zurückführen. Hier kommen vor allem der feuersichere Bau der Wagen aus Eisen und Stahl, und die vom Betriebsstrom unabhängige Beleuchtung der Fahrstrecke in Betracht.

Weitere Angaben sind an den die einzelnen Bestandteile der Bahnanlage behandelnden Stellen zu finden.

b. 5) Wirtschaft.

Die Wirtschaft elektrisch betriebener Stadtbahnen kann bei richtig geplanten und ohne besondere Aufwendungen ausgeführten Anlagen dem üblichen Zinsfuß entsprechen. Für elektrischen Betrieb umgebaute Dampfbahnen verhalten sich etwas ungünstiger. Die Anlagekosten der elektrisch betriebenen Stadtbahnen sind höher, als die der Dampfbahnen, doch ist nicht nur die Leistungsfähigkeit der ersteren erheblich höher, sondern der elektrische Betrieb vermag auch in viel stärkerem Maße auf die Verkehrssteigerung hinzuwirken, als der Dampftrieb; seine Einnahmen müssen also von vorn herein anders eingeschätzt werden. Die maßgebenden Einflüsse auf die Wirtschaft liegen nicht nur bei den Fahrzeugen, sondern auch bei den Bauanlagen, so bei der Frage, ob Hochbahn oder Untergrundbahn, den Blockanlagen, sowie bei der Linienführung und den Fahrpreisen.

²⁴⁴) Glasers Annalen, 1911 Nr. 824, S. 154.

b. 6) Wahl zwischen Triebwagen und Lokomotiven bei Stadtschnellbahnen.

Zu den Grundlagen flotten Betriebes einer Stadtschnellbahn gehören hohe Beschleunigungen, also hohes Reibungsgewicht des Zuges, geringes totes Gewicht, kleine Zuglänge, rasche Zugbildung und gute Wirtschaft. Letztere ist für sich allein nicht ausschlaggebend, da ihr Höchstwert selten mit dem der Leistungsfähigkeit einer Stadtschnellbahn zusammenfällt. Unter diesen Gesichtspunkten führt der Vergleich zwischen Triebwagen und Lokomotiven zu folgenden Ergebnissen.

6. α) Reibungsgewicht.

Bei Triebwagenzügen kann das Reibungsgewicht, wenn erforderlich, bis zum Zuggewichte gesteigert werden, während es bei Lokomotivzügen auf deren Triebachslast beschränkt bleibt. Änderungen lassen sich hier nur durch Einstellung nach Gewicht oder Anzahl verschiedener Lokomotiven, oder durch Teilung mehrgliedriger Lokomotiven erreichen. Eine solche Betriebsart ist für die Stadt-, Ring- und Vorort-Bahnen von Berlin geplant²⁴⁵⁾, wobei je eine Lokomotive an beide Zugenden gestellt wird, und Zugkürzungen durch Zugteilung vorgenommen werden. Der hintere Teil muß dann, wenn man häufiges Verschieben der Lokomotiven vermeiden will, durch seine Lokomotive geschoben werden, eine bei Hochbahnen nicht unbedenkliche Betriebsart. Schwere Züge in kurzer Zugfolge sollen durch drei Lokomotiven mit zusammen sieben Triebachsen befördert werden; die Zugsteuerung erfolgt in allen Fällen nur von dem vordern Führerstande aus.

6. β) Totes Gewicht.

Das tote Gewicht ist bei Lokomotivbetrieb, selbst unter der Voraussetzung einer Anpassung der Zugkraft und des Reibungsgewichtes an die jeweilige Zuglänge, erheblich höher, als bei Triebwagenzügen. So ergibt sich beispielsweise bei der vorstehend für Berlin angedeuteten Betriebsweise bei starkem Betriebe für den Zug ein um 54 t oder 18% größeres totes Gewicht, als bei Triebwagenzügen. Was das an Anlagekosten, Stromverbrauch und sonstigen Ausgaben bedeutet, läßt sich unschwer feststellen²⁴⁵⁾.

6. γ) Zuglänge.

Lokomotivzüge sind fast um die volle Lokomotivlänge länger, als Triebwagenzüge. Bei dem vorstehend beschriebenen Betriebe der Stadt- und Ring-Bahn in Berlin beträgt dieser Unterschied etwa 18 m. Textabb. 854 bis 856 lassen den ungünstigen Einfluß dieser Längenzunahme auf die Zugfolge erkennen.

6. δ) Rasche Zugbildung.

Die rasche Zugbildung spricht gleichfalls für Triebwagenzüge, die in jedem ihrer Bestandteile selbstfahrend sind, daher an jedem beliebigen Punkte geteilt werden können. Bei Lokomotivzügen müßten zum Zwecke der Teilung mehrere Lokomotiven im Zuge verteilt werden, oder Verschiebungen in den Endbahnhöfen stattfinden. Der erstere Weg wird in den meisten Fällen gleichfalls nicht ohne Verschiebungen gangbar sein, und führt noch zu dem höchst bedenklichen Betriebe mit Schiebelokomotiven.

²⁴⁵⁾ Organ 1913, S. 141, 272, 398; Elektrotechnische Zeitschrift 1913, Heft 22.

6. c) Wirtschaft.

Aus den verschiedenen Eigenschaften der beiden Zugarten bezüglich des Reibungsgewichtes, toten Gewichtes und der Zuglänge ergibt sich für den Lokomotivbetrieb eine nicht unbeträchtlich schlechtere Wirtschaft. Die Anschaffungs- und die Strom-Kosten sind höher, und die Zugfolge, also die Leistung der Anlage ist geringer, als bei den Triebwagenzügen. Die bezüglich der Lokomotiven oft angeführten geringern Erhaltungskosten treten in keinem Falle auf, da das Fahrzeug an sich mit den vielen Wellen und Kuppelstangen stete Aufmerksamkeit und Erhaltungsarbeit erfordert. Besonders ist das bei den für die Stadt- und Ring-Bahn in Berlin geplanten Zügen mit zwei oder drei Lokomotiven im Zuge der Fall.

III. c) Die Baubedingungen für die Fahrzeuge der Haupteisenbahnen.

Die unter III. b) angestellten Betrachtungen finden bei elektrischen Haupteisenbahnen, die den Verkehr auf langen Strecken vermitteln, nur beschränkte Anwendung. Vor allem fällt hier die Bedeutung hoher Anfahrbeschleunigung fort, da die aus ihr entspringende Zeitersparnis bei der geringern Zahl der Anfahrten und den weiteren Fahrstrecken wenig ins Gewicht fällt. Die Beschleunigung beträgt bei den Dampf-Hauptbahnen je nach der Zuggattung 0,15 m bis 0,1 m/Sek.² und kann bei elektrischem Betriebe zu 0,2, beziehungsweise 0,15 m/Sek.² angenommen werden. Weitere Steigerungen würden bei den großen Zuglasten eine namhafte Erhöhung der Gewichte der Triebmaschinen und Lokomotiven bedingen. Dagegen sind hier die Dauerbelastungen der Triebmaschinen wegen der größeren Abstände der Haltestellen und der längeren Rampen erheblich größer, als bei Stadtbahnen. Ferner ist bei Hauptbahnen die Fahrgeschwindigkeit höher, als bei Stadtbahnen, die Zugfolge dagegen weiter. Endlich fällt dem Betriebe neben der Beförderung von Reisenden auch die von Gütern zu, eine für elektrische Hauptbahnen bisher noch wenig in Betracht gekommene Aufgabe.

Die Beachtung aller dieser Umstände führt zur besondern, in jedem Einzelfalle günstigsten Bauart und Anordnung der Triebmaschinen und Fahrzeuge. Hierin darf man nicht zu weit gehen, indem man den Wirkungsbereich der Triebfahrzeuge auf zu enge Bezirke beschränkt. Das würde einmal zu einer unvorteilhaft großen Mannigfaltigkeit der Fahrzeuge führen, anderseits nicht der Eigenart des elektrischen Betriebes Rechnung tragen, die in der häufigen Beförderung leichter Züge beruht.

Die Lokomotivförderung, die bei Stadt- und Vorort-Bahnen mit Rücksicht auf das beschränkte Reibungsgewicht, die geringere Beweglichkeit in der Zugbildung und die schlechtere Wirtschaft zu verwerfen ist, wird bei Haupteisenbahnen zur Notwendigkeit. Abgesehen von den Fällen, in denen Dampfzüge in ihrer bestehenden Zusammensetzung an den Grenzen der Großstädte von elektrischen Lokomotiven übernommen werden, um in die Innenbahnhöfe geschleppt zu werden, wie bei der Paris-Orleans-, der Neuyork-Zentral-, der Pennsylvania- und der Neuyork-Neuhaven- und Hartford-Bahn, liegen ähnliche Fälle bei allen nicht auf der ganzen Strecke elektrisch betriebenen durchgehenden Zügen vor, und Triebwagen kommen auf Hauptlinien wegen der in allen Fällen mitzuführenden Sonderwagen, Schlaf-, Speise-, Gepäck-, Privat-Wagen, nicht in Betracht.

III. d) Die Triebmaschinen der elektrischen Stadt- und Haupt-Eisenbahnen.

d. 1) Bestimmung der Leistung.

Für die Bestimmung der Leistung der Triebmaschinen bieten Stadt- und Haupt Bahnen sicherere Unterlagen, als Strafsenbahnen, bei denen man ganz auf Anlehnung an ähnliche Anlagen angewiesen ist. Mit derselben Genauigkeit kann man aus dem Strombedarfe dann auch die Stromzuleitungen vom Kraftwerke zum Fahrzeuge und das Kraftwerk selbst bestimmen.

1. a) Bestimmung der Maschinengröße für Stadtbahnen.

Den Ausgangspunkt für alle diese Berechnungen bildet wieder die Geschwindigkeit-Zeitlinie, in die man zu diesem Zwecke noch die Linie des Stromverbrauches eingetragen hat (Textabb. 852). Hierfür sind gegeben: die Zuglasten, die Anfahrbeschleunigung, die regelmäßige Fahrgeschwindigkeit und die Linienführung nebst Höhenplan. Um die Geschwindigkeit-Zeitlinie zu zeichnen, muß man also die Kennlinie der Triebmaschine, das heißt diese selbst, schon kennen. Da sich nun die wirkliche Belastung der Maschine erst aus den aufzuzeichnenden Schaulinien ergeben soll, kann die Triebmaschine vorläufig nur annähernd bestimmt werden. Dies geschieht in der Weise, daß man die Zugkraft beim Anfahren, und für Hauptbahnen auch in den größten und längsten Steigungen berechnet. Das Anfahren eines Zuges vom Gewichte G erfordert am Umfange der Triebräder die Zugkraft²⁴⁶⁾:

$$\text{Gl. 164)} \quad \dots \dots \dots Z_a^{\text{kg}} = w^{\text{kg/kg}} \cdot G^{\text{kg}} + \frac{G^{\text{kg}} \cdot p^{\frac{\text{m}}{\text{Sek}^2}}}{g^{\frac{\text{m}}{\text{Sek}^2}}}$$

Darin bedeutet: G das ganze Zuggewicht, w den Bewegungswiderstand, p die Beschleunigung, g die Beschleunigung der Schwere. Die Zugkraft \mathcal{Z} der Triebmaschine pflegt man auf den Hebelarm von 1 m zu beziehen. G kann man ohne die Besetzung zu 850 bis 900 kg auf 1 qm Wagenfußboden annehmen²⁴⁷⁾. Für die Beschleunigung der umlaufenden Massen ist ein Massenzuschlag von 10% zu machen.

Bezeichnet man nun weiter mit D den Durchmesser des Triebrades im Laufkreise, mit i die Zahnradübersetzung, bei auf den Achsen sitzenden Maschinen $i = 1$, sonst $i < 1$, mit η den Wirkungsgrad der Zahnradübersetzung und mit n die Anzahl der Triebmaschinen im Zuge, so ist die Zugkraft der Triebmaschine beim Anfahren:

$$\text{Gl. 165)} \quad \dots \dots \dots \mathcal{Z} = \frac{Z \frac{D}{2} i}{\eta 1 n}$$

Das Verhältnis der Anfahrzugkraft zur Zugkraft der Stundenleistung ist bei ausgeführten Stadtbahnen etwa 1:2 bis 1:2,5. Man hat demnach eine Triebmaschine mit der Zugkraft der Stundenleistung gleich $\mathcal{Z}_a : 2$ bis $\mathcal{Z}_a : 2,5$ zu wählen. Ergibt sich nun später, wenn man die Triebmaschine an Hand der für die ganze

²⁴⁶⁾ Vergleiche Gl. 160, S. 780.

²⁴⁷⁾ Glaser's Annalen 1911, Nr. 827, S. 251.

Strecke gezeichneten Geschwindigkeit-Zeit-Linie im Versuchsraume der Bauanstalt während eines mehrstündigen Betriebes abbremst, oder sie in einem entsprechenden Fahrzeuge auf einer etwa vorhandenen Versuchstrecke in wirklichem Betriebe arbeiten läßt, daß ihre Erwärmung die zulässige von etwa 75°C überschreitet, so ist sie durch eine der Beanspruchung gewachsene, gröfsere zu ersetzen. Die Kennlinien zweier ihrer Art nach nicht verschiedener Triebmaschinen annähernd gleicher Gröfse können einander gleich angenommen werden, so daß an den Geschwindigkeit-Zeit-Linien trotz der etwa nötigen Wechselung der Maschine nichts zu ändern ist.

Die rechnerische Ermittlung der Erwärmung der Maschine führt zu Fehlern, ist daher wertlos. Ebenso führt die Auswertung der Stromlinie nach dem Mittel der Stromquadrate hier bei der endgültigen Bestimmung der Maschinengröfse nicht zum Ziele.

Die Anzahl n der Triebmaschinen soll zur Beschränkung der Betriebskosten möglichst klein sein, weshalb man von der gröfsten, den Achssatz voll ausfüllenden Maschine ausgeht. Hiermit ergibt sich n bei genügendem Reibungsdrucke in allen Fällen kleiner, als die Triebachszahl des Zuges. Selbst bei Ausstattung nur eines der beiden Drehgestelle jedes Wagens mit Triebmaschinen ist es nicht nötig, alle Wagen eines Zuges zu Triebwagen zu machen. Letzteres ist zwecks Zugteilung bei Verkehrschwankungen aber auch nur bei Bahnen mit schwachem Verkehre wünschenswert, für die dann die Triebmaschinen kleiner gewählt werden müssen.

Die Zusammenstellung der Trieb- und Bei-Wagen im Zuge erfolgt so, daß bei Zugteilungen ein Triebwagen an der Spitze steht. Führerstände befinden sich nur in den Triebwagen. Die Verteilung zweier Triebmaschinen in einem Triebwagen geschieht immer derart, daß beide in einem Drehgestelle vereinigt werden; das ergibt den gröfsten Reibungsdruck und vereinfacht die Erhaltung der Maschinen.

Die Triebmaschinen können für beliebige Umlaufgeschwindigkeiten gewickelt werden. Um diese in einem vorliegenden Falle zu bestimmen, hat man für die Kennlinie der Triebmaschine, und zwar für die Geschwindigkeit-Zugkraftlinie (Textabb. 852), einen beliebigen Punkt festzusetzen. Hierzu wählt man den Punkt, bei dem die Abnahme der Beschleunigung der Geschwindigkeit-Zeitlinie beginnt, die Triebmaschine also die Linienspannung erhält. Wird dieser Punkt, guten Verhältnissen entsprechend, zu 67% der gröfsten Fahrgeschwindigkeit angenommen, so hat man, da an diesem Punkte die Vorschaltwiderstände völlig ausgeschaltet werden, die Geschwindigkeitlinie der Triebmaschine für volle Spannung, für die Anfahrzugkraft \mathfrak{Z}_a und für 67% der gröfsten Fahrgeschwindigkeit zu zeichnen, das heißt, sie mufs in Textabb. 852 rechts durch den Punkt A gehen.

In diese für den vorliegenden Fall genau passende Geschwindigkeit-Zeitlinie trägt man nun noch die Linie des Stromverbrauches nach Textabb. 851 und 852 ein. Aus der Kennlinie der Triebmaschine (Textabb. 696, 716, 727, 735 und 852) ist die zu jeder Zugkraft und Geschwindigkeit gehörige Stromstärke abzulesen; man entnimmt aus ihr also die zu den einzelnen Werten der Geschwindigkeit-Zeitlinie gehörenden Werte und trägt sie in diese ein. In Textabb. 696 und 852 ist hierbei Reihen-Nebenschlufs-Regelung einer Gleichstrom-Reihenschlufs-Maschine angenommen, bei der die Maschinen oder Maschinengruppen während der ersten Hälfte der Anfahrzeit in Reihe, während der zweiten neben einander geschaltet sind (S. 688, Textabb. 755).

Diese Schaltung bezweckt Verminderung der Verluste in Vorschaltwiderständen.

Die Stromstärke jeder Triebmaschine wird für die ganze Zeit des Anfahrens von den geringen, auf S. 691 erklärten Schwankungen von Stufe zu Stufe (Textabb. 756) abgesehen, unveränderlich gehalten, so daß die ganze Stromstärke bei Nebenschaltung den doppelten Wert erreicht. Bei reiner Nebenschaltung während der ganzen Zeit des Anfahrens und Regelung auf gleichmäßige Klemmenspannung der Triebmaschinen, wie sie bei Einwellen-Wechselstrom-Triebmaschinen vorliegt, hat die Linie der ganzen Stromstärke nur den obern der beiden Werte.

Die Größe der Triebmaschine kann nun aus eigener Erfahrung nach dieser Stromlinie festgestellt werden, dazu sind die entsprechenden Schaulinien ausgeführter und gut arbeitender Anlagen von ähnlichen Verhältnissen heranzuziehen. Man hüte sich mangels solcher Erfahrungen indes, die mittlere Höhe der Stromlinie als Belastung während der Anfahrzeit, oder wohl gar die auf die ganze Fahrzeit von Haltestelle zu Haltestelle bezogene mittlere Höhe der Stromlinie als Dauerbelastung der Triebmaschine zu betrachten, und danach ihre Maschinengröße zu beurteilen. Die Erwärmung der Maschine hängt nicht von der von ihr aufgenommenen Zahl der Amperestunden, das heißt der Höhe der mittlern Stromstärke und der Zeit ihrer Einwirkung ab, sie richtet sich vielmehr wegen der eigenartigen Verteilung der Wärme innerhalb der Maschine und deren Abführung nach außen ganz nach der zeitlichen Verteilung der Strommenge, derart, daß die Wicklungen der Triebmaschine bei kurzzeitiger Zufuhr der Arbeit am meisten der Gefahr der Überhitzung und Zerstörung ihrer stromdichten Hülle ausgesetzt sind.

Um die Beurteilung der Maschinengröße aus der Stromlinie zu erleichtern, bildet man nach der Stromlinie auch wohl die Quadratwurzel aus dem auf die ganze Fahrstrecke von Bahnhof zu Bahnhof bezogenen Mittelwerte der Quadrate der einzelnen Stromstärken. Man geht hierbei von der richtigen Voraussetzung aus, daß für die Erwärmung eines elektrischen Leiters nach dem Gesetze von Joule: „Wärme = Quadrat der Stromstärke mal Widerstand“ nicht der einfache, sondern der quadratische Wert der Stromstärke bestimmend ist, begeht jedoch im Ganzen denselben Fehler, wie oben, so daß auch diese Handhabe der Beurteilung der Maschinengröße gegen die der Stromlinie selbst an Sicherheit zurücksteht.

Der allein zuverlässige Weg der Bestimmung der endgültigen Größe der Maschine besteht im mehrstündigen Probelaufe der vorläufig ermittelten Triebmaschine²⁴⁸⁾ im Versuchstande oder in einem Versuchswagen nach dem spätern Fahrplane und der wirklichen Belastung.

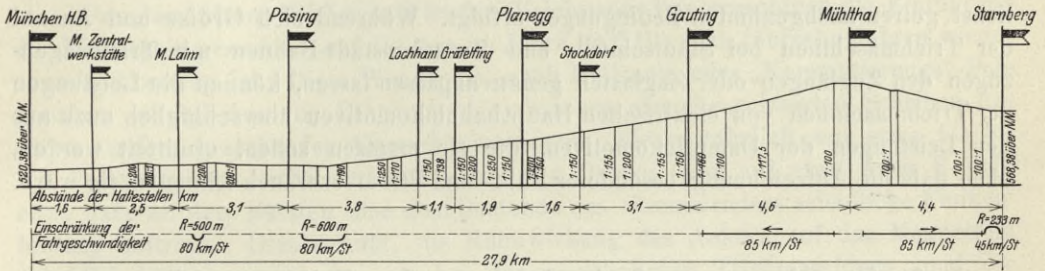
1. β . Bestimmung der Maschinengröße für Haupteisenbahnen.

Diese Bestimmung nimmt denselben Weg. Auch hier sind über die ganze Linie von Haltestelle zu Haltestelle mit allen Aufenthalten die Geschwindigkeit- und Stromverbrauch-Linien aufzuzeichnen. Da hier indes die einzelnen Fahrstrecken erheblich länger sind, als bei Stadtbahnen, erhalten diese Schaulinien ein wesentlich anderes Aussehen. Man kommt mit geringeren Anfahrbeschleunigungen aus, ohne hierbei die Reisegeschwindigkeit nennenswert herabzudrücken. Bei doppelter Zugkraft in der Triebmaschine erreicht man schon Beschleunigungen, die über das bei Dampfbahnen übliche Maß erheblich hinausgehen. Andererseits liegt hier, im Gegensatz zu den Schaulinien der Stadtbahnen, zwischen Anfahrt und Auslauf ein

²⁴⁸⁾ s. 796, 797.

der Fahrstrecke entsprechendes Stück unveränderlicher Fahrgeschwindigkeit, das zur Ersparnis an Strom auf Steigungen mit verminderter, in Gefällen mit erhöhter Fahrgeschwindigkeit durchfahren wird. Textabb. 860 und 861 zeigen eine solche Fahrlinie, die von Gleichmann für die Strecke München-Starnberg der bayerischen Staatsbahnen ermittelt ist²⁴⁹⁾. Hierfür ist die Kennlinie der Triebmaschine maßgebend, das heißt, der der Reihenschlufs-Maschine eigentümliche Abfall der

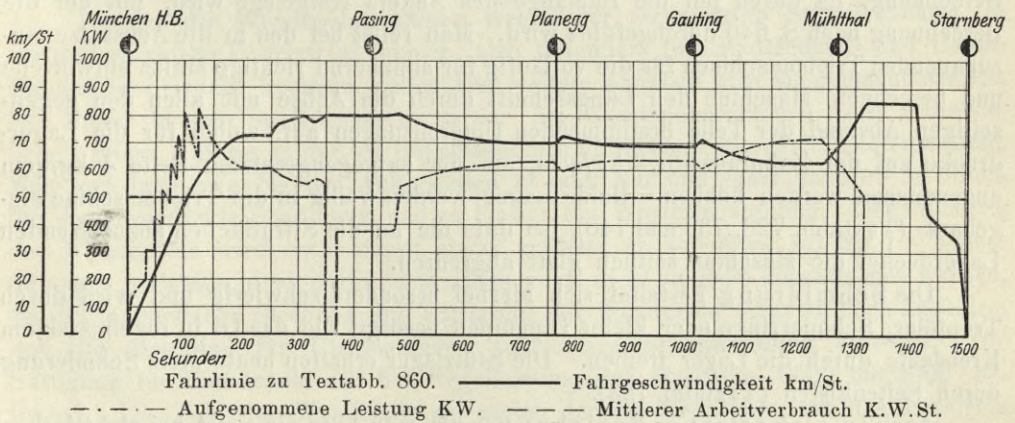
Abb. 860.



Längen 1 : 215 000, Höhen 1 : 6300. Längenschnitt der Strecke München-Starnberg.

Geschwindigkeit mit der Belastung. Übersteigt die so auf langen Steigungen eintretende Zunahme der Reisezeit das annehmbare Maß, so kann die natürliche Fahrgeschwindigkeit durch Verwendung künstlicher Regelungsmittel erhöht werden. Diese bestehen im Allgemeinen bei Gleichstrom-Reihenschlufs-Maschinen in der Schwächung des Magnetfeldes (S. 690), und bei Wechselstrom-Stromwender-Maschinen in der Erhöhung der Klemmenspannung mittels des Stufen-Aufspanners

Abb. 861.



(S. 695). Derartige Regelungsmittel sind mit Rücksicht auf Verspätungen, ungünstige Witterung und daraus folgende Erhöhung des Bewegungswiderstandes, oder sonstige Fälle von Fahrplanverschiebungen ohnehin unentbehrlich. Bei Drehstrom-Triebmaschinen stehen derartige Mittel nicht zur Verfügung, wenn man nicht für die ordnungsmäßige Fahrt unvorteilhafte Schaltungen anwenden will.

²⁴⁹⁾ Denkschrift über die Einführung des elektrischen Betriebes auf den bayerischen Staatsbahnen.

Die endgültige Wahl der für einen vorliegenden Fall von Stadt- oder Haupt-Bahnen am besten passenden Triebmaschine wird also getroffen, indem man die in der bis hierher angegebenen Weise bestimmten Maschinen in einen Versuchszug einbaut, und diesen dem wirklichen Fahrplane entsprechend einige Tage im Betriebe hält. Die Erwärmung der Maschine in ihrem wärmsten Teile soll 75° C. über die Außenluft von 15° C. nicht wesentlich übersteigen.

Als Ersatz dieser Probe kann das Abbremsen der Maschine auf der Versuchsbank dienen, das während einiger Tage unter den dem wirklichen Betriebe möglichst getreu nachgeahmten Bedingungen erfolgt. Während sich Größe und Anzahl der Triebmaschinen bei Stadtschnell- und Zwischenstadt-Bahnen mit Triebwagenzügen den Zuglängen oder Zuglasten genau anpassen lassen, können die Leistungen der Triebmaschinen von elektrischen Hauptbahnlokomotiven überschläglicly auch aus den Leistungen der Dampflokomotiven, die sie ersetzen sollen, ermittelt werden, ohne daß die Aufzeichnung besonderer Fahr- und Stromverbrauch-Linien nötig wäre.

d. 2) Berechnung und Ausführung der Triebmaschinen für elektrische Stadt- und Haupt-Bahnen.

Die Berechnung der Triebmaschinen folgt den im Abschnitte I. b. 1) S. 636 bis 672 gemachten Angaben. Die im Verhältnisse zur Spurweite und Umgrenzung der Fahrzeuge hohe Leistung erfordert indes eine noch weiter gehende Ausnutzung des Raumes, so daß man sowohl in mechanischer, als auch elektrischer Beziehung an die äußersten Grenzen zu gehen genötigt ist.

Der mechanische Aufbau der Maschine dient hier als Ausgangspunkt der Berechnung, da durch ihn die Baulänge des Ankers festgelegt wird, mit der die Berechnung nach S. 640 durchgeführt wird. Man reißt bei den in die Achssätze einzubauenden Triebmaschinen für die vorläufig für annähernd richtige Maße entworfene und berechnete Maschine den Längsschnitt durch die Achse mit allen den gegenseitigen Abstand der Teile bestimmenden Umgrenzungen auf, wobei für die Lagerdrucke auf der Zahnradseite 8 kg/qcm, auf der entgegengesetzten Seite 4 kg/qcm angenommen werden können. Beide Lager werden völlig in die Triebmaschine eingebaut (Textabb. 728, 739 und 740), so daß die an die Stirnflächen anzusetzenden Lagerdeckel die Maschine seitlich glatt abgrenzen.

Die Schmierung gestaltet sich hierbei besonders schwierig und wird durch Tropföler, Schmierringe oder kleine Ölpumpen besorgt, die das Öl in regelmäßigerem Kreislaufe durch die Lager treiben. Die Stützlager erhalten heute stets Schmierung durch Seitenkisten (Textabb. 723).

Auch in elektrischer Beziehung muß man über die sonst bei elektrischen Maschinen übliche Beanspruchung des Drahtquerschnittes hinausgehen²⁵⁰⁾ und gleichzeitig für gute Lüftung sorgen. Zu letztem Zwecke werden auch neben dem Anker Windscheiben angebracht, oder man verwendet Prefsluft. Diese wird durch eine eigene, elektrisch angetriebene Luftpumpe beschafft, um vollständige Unabhängigkeit von einer im Fahrzeuge etwa vorhandenen Luftdruckbremse zu erzielen. Der Überdruck kann mit 100 mm Wassersäule angesetzt werden. Wichtig ist hierbei

²⁵⁰⁾ S. 642.

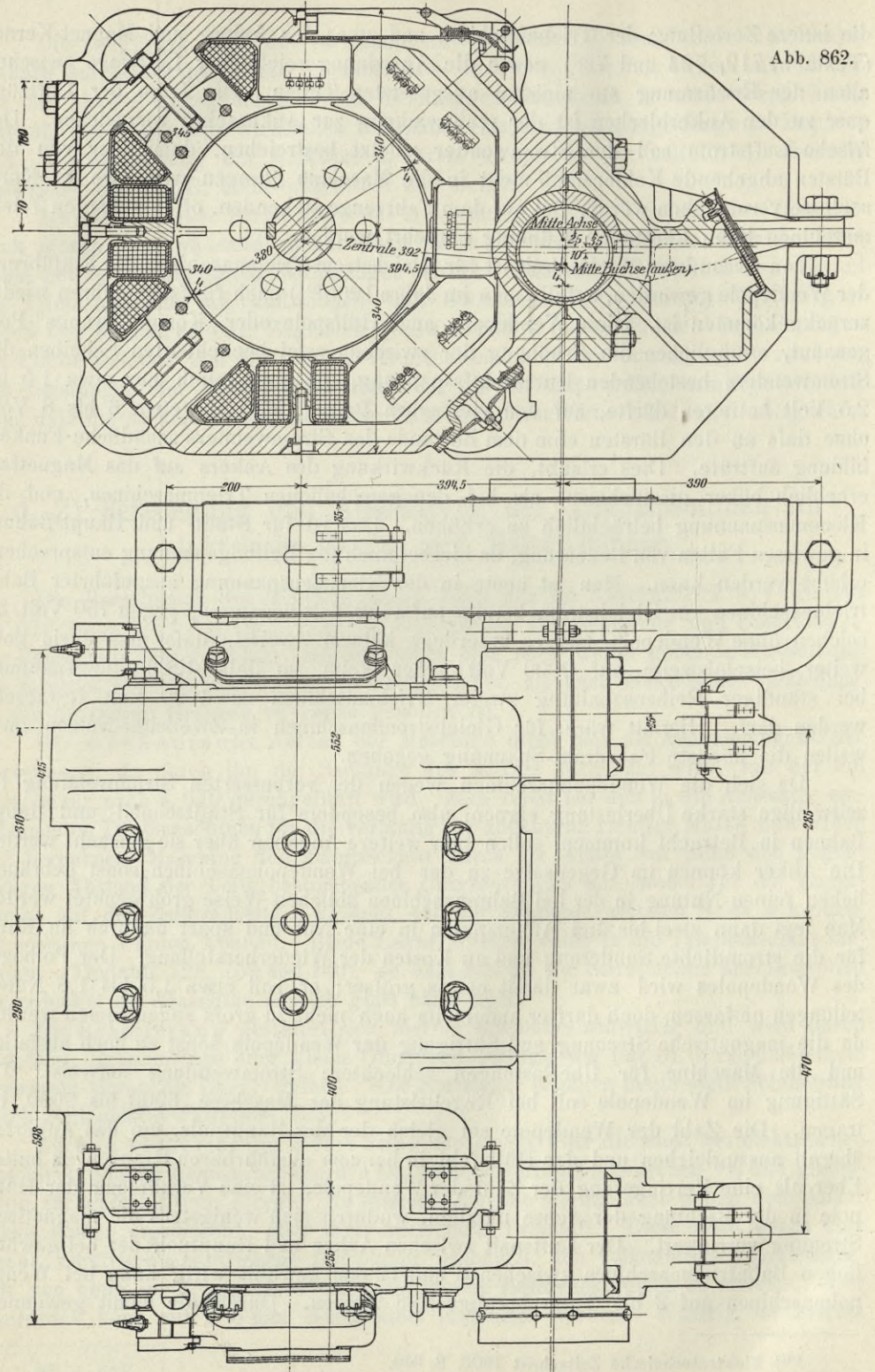
die innere Zerteilung der Triebmaschine, und zwar des Anker- und Magnet-Kernes (Textabb. 719, 724 und 728), sowie die Anordnung reichlicher Luftwege zwischen allen der Erwärmung am meisten ausgesetzten Teilen. Die Lage der Luftzüge quer zu den Ankerblechen ist der rechtwinkelig zur Ankerachse vorzuziehen. Der frische Luftstrom soll den Stromwender zuletzt bestreichen, damit der von den Bürsten abgehende Kohlenstaub nicht in die Maschine gezogen wird, wo er Kurzschlüsse verursachen würde. Bei auf dem Fahrzeuge stehenden, offen gebauten Triebmaschinen kann künstliche Kühlung entbehrt werden.

Von besonderer Wichtigkeit ist für Gleichstrom-Triebmaschinen die Einführung der Wendepole geworden, auf die man im Jahre 1905²⁵¹⁾ nach fünfzehn Jahren wieder zurückgekommen ist. Diese Wendepole, auch Hilfspole oder „Kommutierungs“-Pole genannt, ermöglichen die Erhöhung der zwischen zwei benachbarten Scheiben des Stromwenders bestehenden Kurzschlußspannung, die gewöhnlich nur etwa 1,5 bis 2,5 Volt betragen dürfte, auf den vierfachen Betrag, also auf etwa 6 bis 8 Volt, ohne daß an den Bürsten eine dem Bestande des Stromwenders schädliche Funkenbildung aufträte. Dies erlaubt, die Rückwirkung des Ankers auf das Magnetfeld erheblich höher anzunehmen, als bei den gewöhnlichen Triebmaschinen, und die Klemmenspannung beträchtlich zu erhöhen. Das ist für Stadt- und Haupt-Bahnen in gewissen Fällen von Bedeutung, da hierbei auch die Leitungsspannung entsprechend erhöht werden kann. Man ist heute in der Klemmenspannung ausgeführter Bahntriebmaschinen für Gleichstrom bereits auf 1750 Volt gegangen, gegen 750 Volt bei solchen ohne Wendepole, und es unterliegt keinem Zweifel, daß man darin noch weiter, beispielsweise auf 2000 Volt gehen kann, so daß die Leitungsspannung bei ständiger Reihenschaltung zweier Triebmaschinen zu 4000 Volt festgesetzt werden darf. Hiermit wäre für Gleichstrommaschinen in Zweileiter-Netzen einstweilen die höchste Fahrdrabt-Spannung gegeben.

Da sich die Wendepolmaschinen wegen der verbesserten Stromwendung für zeitweilige starke Überlastung eignen, also besonders für Stadtschnell- und Haupt-Bahnen in Betracht kommen, sollen hier weitere Angaben über sie gemacht werden. Die Anker können im Gegensatz zu der bei Wendepolmaschinen sonst gebräuchlichen feinen Nutung in der bei Bahnmaschinen üblichen Weise grob genutet werden. Man legt dann zwei bis drei Ankerspulen in eine Nut und spart dadurch an Raum für die stromdichte Sonderung und an Kosten der Wiederherstellung. Der Polbogen des Wendepoles wird zwar damit etwas größer; er soll etwa 1,5 bis 1,8 Nutenteilungen umfassen, doch darf er anderseits auch nicht zu groß angenommen werden, da die magnetische Streuung und Sättigung der Wendepole sonst zu hoch ausfallen, und die Maschine für Überlastungen schlechtere Stromwendung aufweist. Die Sättigung im Wendepole soll bei Regelleistung der Maschine 6000 bis 9000 betragen. Die Zahl der Wendepole sei gleich der der Hauptpole, um das Ankerfeld überall auszugleichen und das Hilfsfeld in bequem ausführbaren Grenzen zu halten. Eher als eine Verringerung der Zahl der Wendepole, ist eine Verkürzung der Hilfspole in der Richtung der Achse nützlich, wodurch sich wenigstens die magnetische Streuung verringert. Der Luftspalt zwischen Anker und Hauptpol, der bei gewöhnlichen Bahntriebmaschinen zwischen 6 und 12 mm gewählt wird, kann bei Wendepolmaschinen auf 2 bis 3 mm herabgesetzt werden. Durch die damit gewonnene

²⁵¹⁾ Elektrotechnische Zeitschrift 1905, S. 640.

Abb. 862.



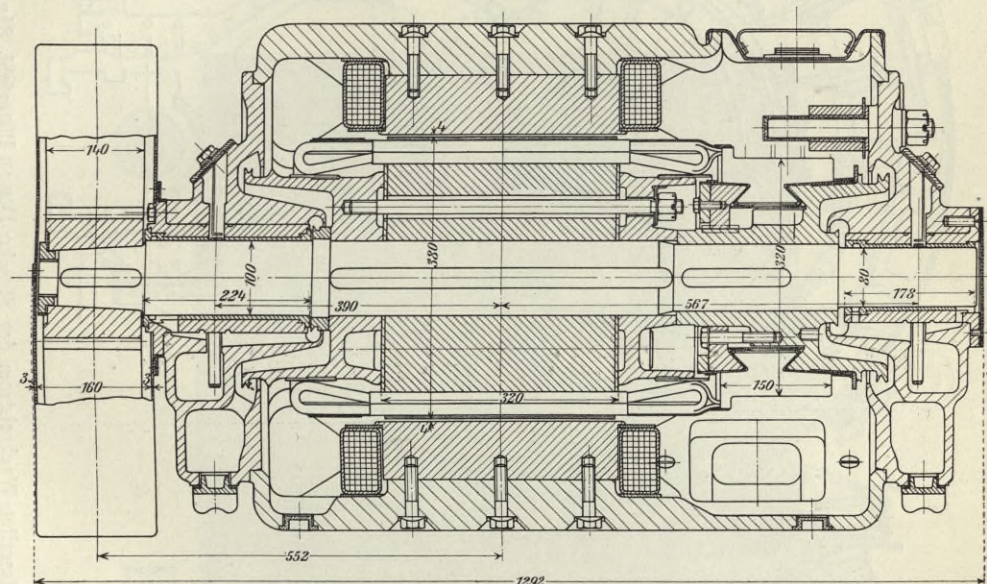
Maisstab 1 : 10. Wendepol-Trieblmaschine der Hochbahn in Hamburg, Querschnitt und Grundriss.

Ersparnis an Magnetkupfer wird ein beträchtlicher Teil der Kosten des Wendepolkupfers ausgeglichen.

Die gröfsere Unempfindlichkeit der Wendepolmaschine gegen die Verzerrung des Hauptfeldes durch das Ankerfeld läfst die Regelung der Fahrgeschwindigkeit durch Schwächung des Feldes zu²⁵²⁾, da diese außerdem wirtschaftlich zweckmäfsig ist, wird von ihr weitgehender Gebrauch gemacht.

Textabb. 862 und 863 stellt die Wendepol-Triebmaschine der Siemens-Schuckert-Werke dar, die bei der Hochbahn in Hamburg verwendet ist.

Abb. 863.



Mafsstab 1:10. Längsschnitt zu Textabb. 862.

Die Berechnung der Einwellen-Wechselstrom-Maschinen mit Stromwender beruht im Wesentlichen auf der Berechnung der gewöhnlichen Gleichstrom-Maschinen, da ihr Wesen dem der Gleichstrom-Reihenschlufs-Maschinen entspricht. Die Berechnung einer Reihenschlufs-Wechselstrom-Triebmaschine für niedrige Schwingungszahl beginnt mit der Bestimmung der Polzahl, für die R. Richter die Gleichung angegeben hat²⁵³⁾:

$$\text{Gl. 166)} \quad E_g = \frac{e_k \cdot v_k}{\tau_k \cdot P}.$$

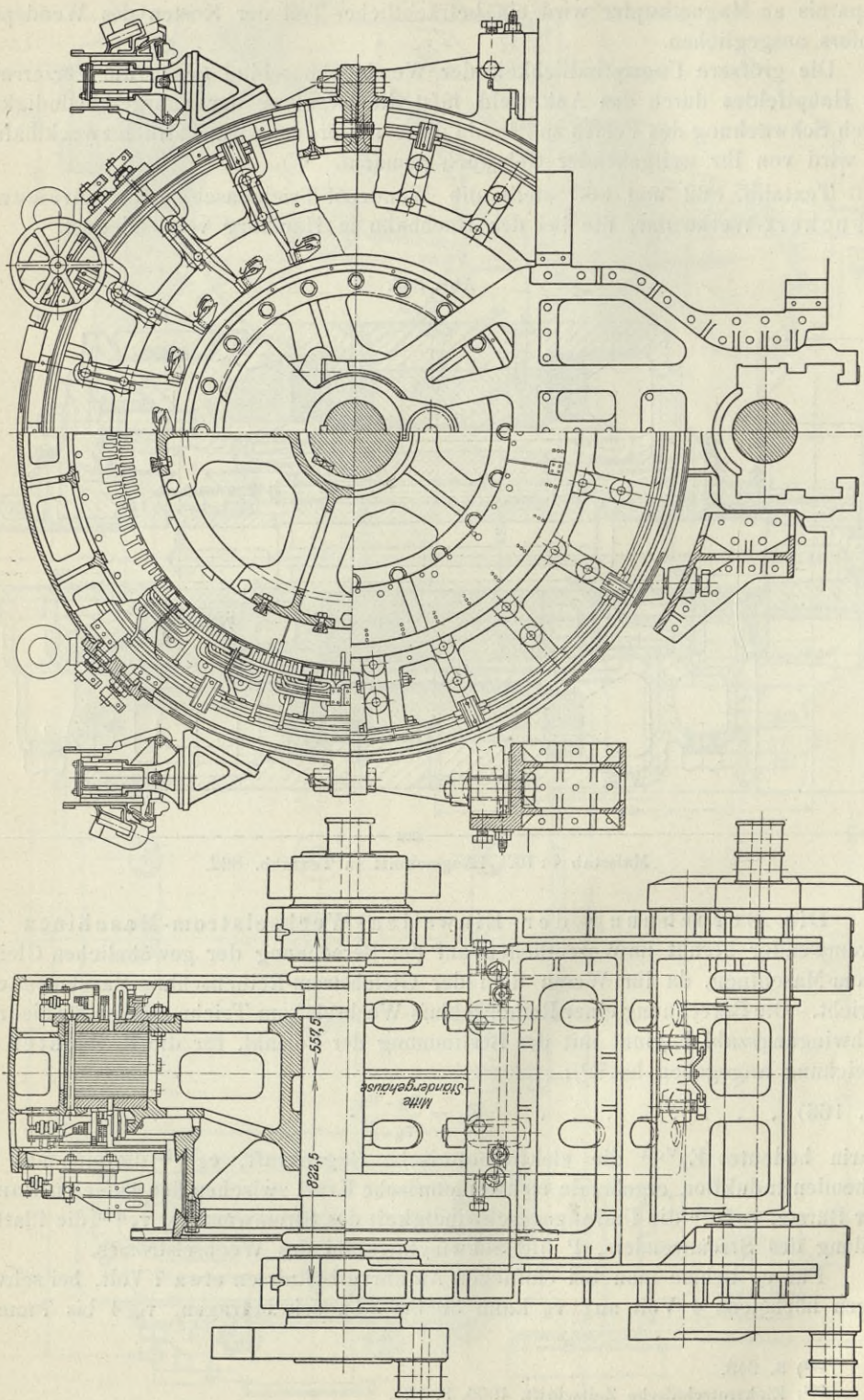
Darin bedeutet E_g^{Volt} die elektromotorische Gegenkraft, e_k^{Volt} die sich aus der ruhenden Induktion ergebende elektromotorische Kraft zwischen den äufseren Kanten der Bürste, $v_k^{\text{m/sek}}$ die Umfangsgeschwindigkeit des Stromwenders, τ_k^{mm} die Plattenteilung des Stromwenders, P die Schwingungszahl des Wechselstromes.

Für e_k nehme man bei einfachen Anfahrverhältnissen etwa 7 Volt, bei schwierigen höchstens 4 Volt an; v_k kann 30 bis 33 m/sek betragen, τ_k 4 bis 7 mm.

²⁵²⁾ S. 643.

²⁵³⁾ Elektrotechnische Zeitschrift, 1906, S. 135.

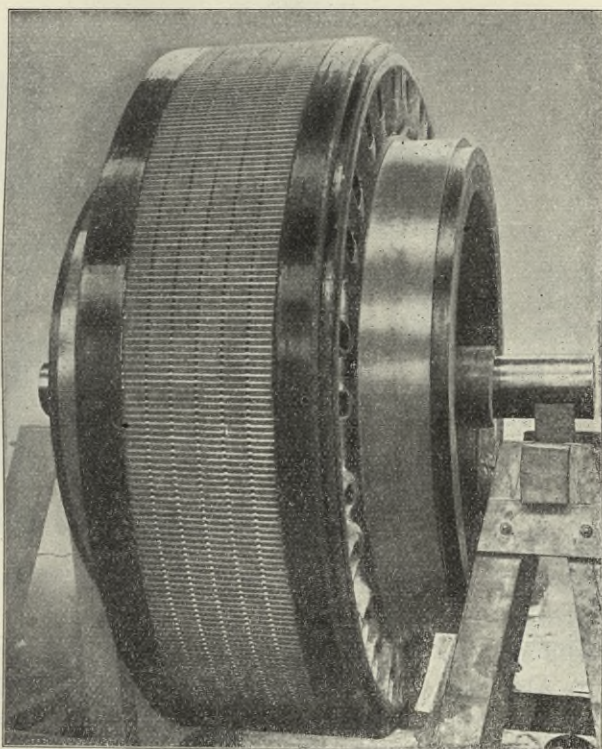
Abb. 864.



Mafsstab 1 : 27. Triebmaschine der Lokomotiven für Einwellen-Wechselstrom der Strecke Dessau-Bitterfeld, Siemens-Schuckert-Werke.

Hieraus ergibt sich dann die der Maschinenleistung entsprechende Stromstärke und daraus bei 10 bis 15 Amp/qcm Bürstenbelastung die Zahl der Bürsten und Bürstenhalter, die der Polzahl gleich ist. Das Verhältnis Polbogen zu Polteilung kann erheblich höher angenommen werden, als bei Gleichstrommaschinen, und zwar zu 80 bis 90%. Die Luftinduktion kann bis 7000 und 8000 gehen. Der Luftspalt beträgt je nach Größe der Maschine 2 bis 3 mm. Die Berechnung der Magnetwicklung erfolgt, wie bei Gleichstrommaschinen. Die Eisensättigung soll bei doppelter Stromstärke in der Maschine eine Zunahme der Feldstärke um 33% zulassen. Bei einer Feldstärke von $3,6 \times 10^6$, wie sie beispielsweise Oer-

Abb. 865.



Anker mit doppeltem Stromwender, Maffei-Schwartzkopff-Werke nach Richter.

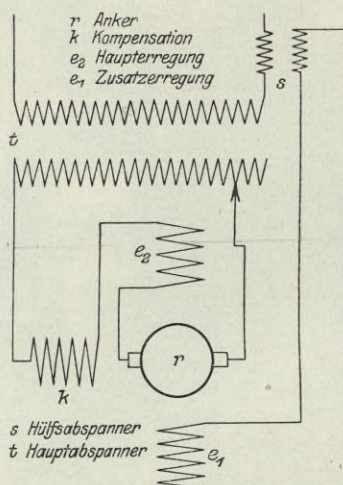
likon bei $16\frac{2}{3}$ Schwingungen anwendet, hat sich die Einschaltung von Widerständen zwischen Ankerwicklung und Stromwender als entbehrlich, und gleichzeitig ein starkes Drehmoment als erreichbar erwiesen.

Aus der Stromstärke und der Stärke des Magnetfeldes läßt sich nun die Zahl der Ampereleiter des Ankers berechnen. Hiervon kommen etwa 500 auf 1 cm Ankerumfang. Die Zahl der Ankernten soll groß gewählt werden, etwa 8 bis 12 auf einen Pol. Für die Berechnung der Wellenverschiebung in der Triebmaschine kommt die Erregerwicklung und die Ankerstreuung mit etwa 15% in Betracht.

In Textabb. 864 ist die für die 2 B 1. S-Lokomotive der Siemens-

Schuckert-Werke für die Strecke Dessau-Bitterfeld gebaute Triebmaschine für Einwellen-Wechselstrom dargestellt. Diese offen gebaute und nur auf die natürliche Lüftung angewiesene Maschine leistet bei $16\frac{2}{3}$ Schwingungen und 10000 Volt Fahrdrachtspannung 7000 kg Zugkraft; sie hat Reihenschlusschaltung und 20 Pole, zwischen denen die Kompensationswicklung von Pol zu Pol übergreift. Einem Teile dieser Wicklung wird zur Erzeugung eines der Lage und Größe der Welle nach entsprechenden Querfeldes durch den Auf- beziehungsweise Abspanner eine besondere Spannung zugeführt. Wegen der hohen Polzahl hat das Ständereisen nur geringe Tiefe. Die Ankernten sind zur Verringerung der Beeinflussung von nahen Schwachstromleitungen schräg zur Achse gestellt²⁵⁴). Die Regelung der Triebmaschine

Abb. 866.



Vom Netzstrome abhängige Erregung der Triebmaschine, Schaltung.

erfolgt durch Abstufung der Klemmenspannung mittels des in Textabb. 895 S. 831 dargestellten Abspanners. Der Bürstenträger kann mittels Zahnkranzes und Handrades mit Zahnrad gedreht werden, so daß die Untersuchung der Bürsten rasch und leicht ist. Die Befestigung der Triebmaschine im Lokomotivgestelle ist aus den später folgenden Abbildungen der ganzen Lokomotiven zu erkennen.

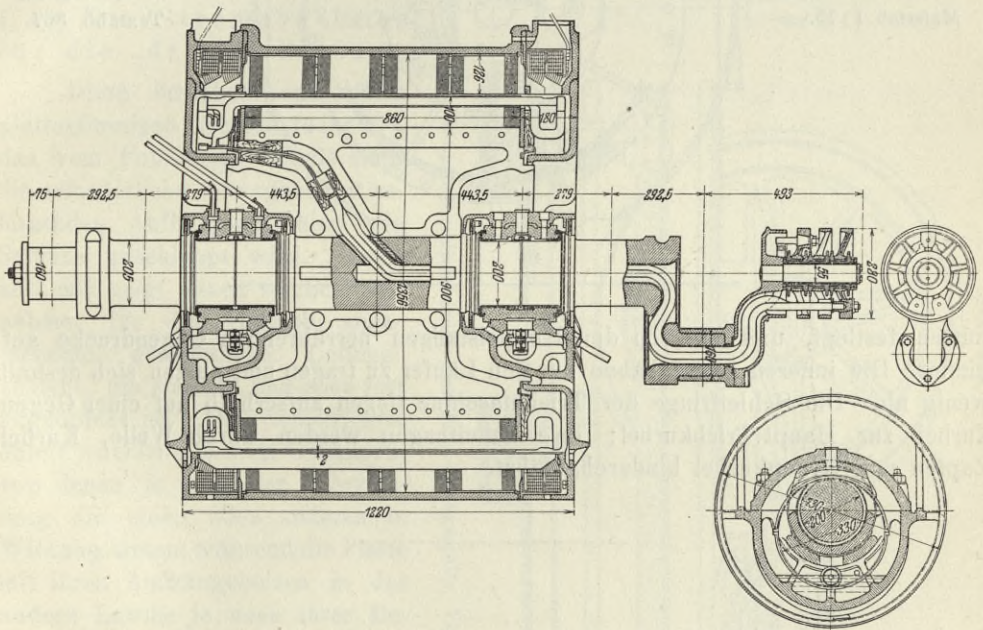
Eine eigenartige und für schweren Bahnbetrieb recht zweckmäßige Ausführung weisen die Einwellen-Triebmaschinen der Maffei-Schwartzkopff-Werke in Berlin auf. Diese haben nach R. Richter einen doppelten Stromwender (Textabb. 865), der eine bessere Gewichtsverteilung auf der Lokomotive ermöglicht, und bei gleicher EMK der Ruhe in den von den Bürsten kurzgeschlossenen Ankerspulen nur die halbe Stromstärke ergibt. Dieser Stromwender neigt deshalb weniger zum Funken. Da außerdem die Erregung der Triebmaschine vom Netzstrome abhängt (Textabb. 866), das heißt die Erregung von der Geschwindigkeit, so werden die in der kurz-

²⁵⁴) Elektrotechnische Zeitschrift 1908, S. 925.

geschlossenen Ankerspule auftretenden EMK der Ruhe fast für alle Belastungen vollständig vernichtet. Die Maschinen laufen in der Tat völlig funkenfrei.

Die Berechnung der Drehstrom-Triebmaschinen geht von der Annahme der mechanischen Verhältnisse aus, die durch die Herstellung und den Betrieb geboten werden. In erster Linie betrifft das die Größe des Luftspaltes zwischen Ständer und Läufer, der zwecks Herabdrückung der Wellenverschiebung möglichst eng sein soll. Er beträgt bei Triebwagenmaschinen etwa 1,5 bis 2 mm, bei großen Triebmaschinen für Lokomotiven 2 bis 3 mm. Das setzt bedeutende Steifigkeit und breite Lagerungen der Achse voraus, die beide den Drehstrommaschinen für Bahnbetrieb eigentümlich sind. Die Feldberechnung geht von der

Abb. 867.



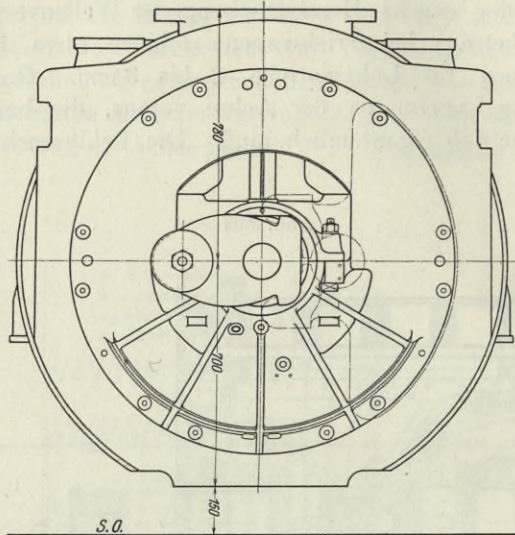
Mafsstab 1 : 15. Drehstrom-Triebmaschine der Giovi-Lokomotiven von von Kando, Längsschnitt.

Größe der gewünschten Überlastung der Maschine im Betriebe aus, nachdem für die geforderte Leistung und Drehzahl nach Maßgabe des verfügbaren Platzes Länge und Durchmesser des Läufers gewählt worden sind. Hier ist die von K. von Kando, dem Erbauer der Veltlin- und Giovi-Drehstrom-Lokomotiven, angegebene Verlegung der Schleifringe nach außen sehr wichtig, da der dadurch im Innern der Triebmaschine gewonnenen Platz für die Verbreiterung des Läufers, also zur Vergrößerung der Maschinenleistung benutzt werden kann (Textabb. 867 und 868). Die Nuten des Ständers und Läufers werden trotz der etwas schwierigeren Wicklung zweckmäßig halb geschlossen ausgeführt, weil dadurch erheblich bessere magnetische Verhältnisse erzielt werden.

Textabb. 867 und 868 zeigen die Drehstrom-Triebmaschine der nach Angaben von von Kando gebauten Giovi-Lokomotiven. Sie hat bei 3000 Volt

Ständerspannung, 15 Schwingungen in der Sekunde und 112,5 Umdrehungen in der Minute eine Stundenleistung von 1000 P. S. und zwei Sätze von Lagern, einen innern am Ständer, der den Luftspalt sichert, einen aufsen im Lokomotivrahmen, der die Stellung der Triebmaschine im Lokomotivrahmen, also zu den Triebachs-

Abb. 868.
Maßstab 1 : 15.



Stirnansicht zu
Textabb. 867.

mitten festlegt, und die von den Kuppelstangen herrührenden Gegendrucke aufnimmt. Die inneren Lager haben nur den Läufer zu tragen und nutzen sich deshalb wenig ab. Die Schleifringe der Triebmaschine liegen außerhalb auf einer Gegenkurbel zur Haupt-Triebkurbel; ihre Zuleitungen werden durch Welle, Kurbel, Zapfen und Gegenkurbel hindurchgeführt.

III. e) Die Schalteinrichtungen der Fahrzeuge der elektrischen Stadt- und Haupt-Bahnen.

Der allgemeine Stromverlauf in den Fahrzeugen der Stadt- und Haupt-Bahnen weicht von dem oben ²⁵⁵⁾ angegebenen der Kleinbahnwagen nicht ab. Die einzelnen Schalteinrichtungen weisen dagegen zum Teil sehr erhebliche Unterschiede gegenüber den Einrichtungen der Kleinbahnen auf. Dies ist bei allen Teilen schon mit Rücksicht auf die höheren Stromstärken und Spannungen nötig, doch sind die Stromabnehmer, vor allem die Steuerungen, auch grundsätzlich anders gebaut. Diese Einrichtungen bedürfen daher nach der allgemeinen Behandlung in früheren Abschnitten hier einer eingehenden Darstellung.

²⁵⁵⁾ S. 684.

e. 1) Die Stromabnehmer.

Die Stromabnehmer der Fahrzeuge der Stadt- und Hauptbahnen richten sich in der Bauart nach der Art der Fahrleitung. Da diese in zwei verschiedenen Formen als Schienen- oder als Oberleitung ausgeführt wird, hat man die Stromabnehmer nach dieser Trennung zu betrachten.

1. a) Die Stromabnehmer für die „dritte“ Schiene.

Diese bestehen aus einem plattenförmigen Schleifstück²⁵⁶⁾, das vom Fahrzeuge mittels einer die erforderliche Beweglichkeit zulassenden Aufhängung über die Schiene geschleppt wird. Textabb. 869 zeigt einen solchen Abnehmer für die vielfach angewendete gewöhnliche Leitungsschiene, die stehend und oben frei angeordnet ist. Die Schleifplatte hängt jederseits in zwei Gehängen, von denen je nach der Fahrrichtung die einen oder anderen in Wirkung treten, während die Platte mit ihren Aufhängebolzen in der andern Lasche je nach ihrer Bewegung frei spielen kann. Der Abnehmer ruht mit seinem freien Gewichte auf der Leitungsschiene.

Da die Leitungsschiene nicht fest, sondern in ihren stromdichten Stützen nur lose oder schwach eingespannt aufliegt, um letztere einfacher zu gestalten und der Schiene die freie Bewegung bei Wärmeänderungen zu geben, erfahren die Schleifschuhe an den Schienenstüßen mehr oder weniger heftige Stöße, was in einigen

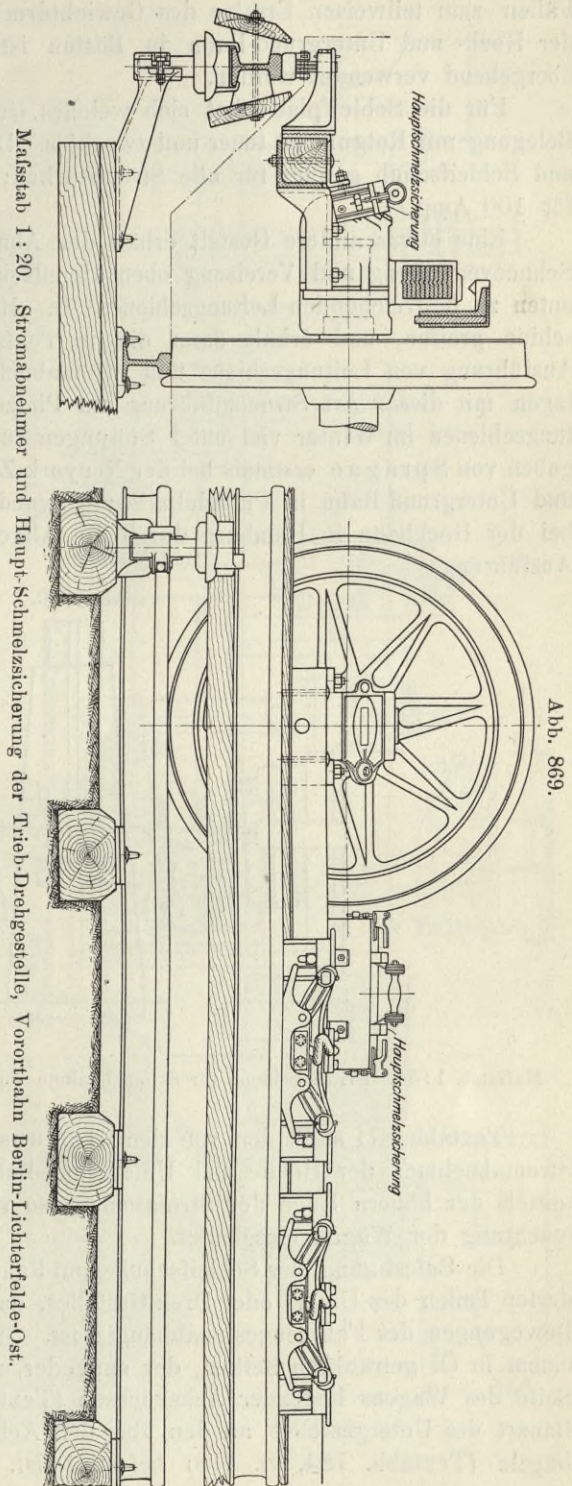


Abb. 869.

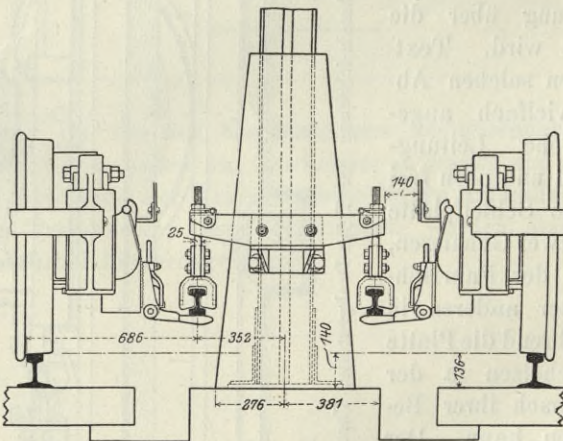
²⁵⁶⁾ S. 718.

Fällen zum teilweisen Ersatze des Gewichtdruckes durch Federdruck führte. Auf der Hoch- und Untergrund-Bahn in Boston ist ein solcher Stromabnehmer vorübergehend verwendet worden.

Für die Schleifplatte hat sich weiches Gufseisen am besten bewährt; ihre Belegung mit Rotgufs ist teuer und zwecklos. Der Stromübergang zwischen Schiene und Schleifschuh genügt für alle Stromstärken; man rechnet etwa 50 bis 75 qcm für 100 Amp.

Eine etwas andere Gestalt erhält der Abnehmer bei den zum Schutze gegen Schneeverwehung und Vereisung oben abgedeckten oder oben aufgehängten und unten zu bestreichenden Leitungsschienen²⁵⁷⁾. Hier muß er seitlich unter die Stromschiene greifen, und erhält dann die in Textabb. 870 angegebene Form. Diese Ausführung von Leitungsschiene und Stromabnehmer würde bei allen heutigen Anlagen mit dieser Art Stromzuführung am Platze sein, da alle oben offenen Leitungsschienen im Winter viel unter Störungen zu leiden haben. Sie wurde nach Angaben von Sprague erstmals bei der Neuyork-Zentral-Bahn und dann bei der Hoch- und Untergrund-Bahn in Philadelphia angewandt. In Deutschland kam sie später bei der Hochbahn in Hamburg durch die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft zur Ausführung.

Abb. 870.



Mafsstab 1:30. Dritte Schiene für Stromabnahme von unten und Schleifschuh, Philadelphia.

Textabb. 871 stellt den von den Siemens-Schuckert-Werken ausgeführten Stromabnehmer der Hoch- und Untergrund-Bahn in Berlin dar, der in Tunneln mittels der höhern Lage der Stromschiene so viel gehoben wird, daß er die Beleuchtung der Wagen einschaltet.

Die Befestigung der Schleifschuhe am Fahrzeuge erfolgt stets an den ungefederten Teilen des Unter- oder Dreh-Gestelles, damit der Schuh von den senkrechten Bewegungen des Fahrzeuges unabhängig ist. Man verschraubt die Grundplatte mit einem in Öl getränkten Balken, der entweder an Winkelflanschen zweier auf einer Seite des Wagens liegender Achsbüchsen (Textabb. 870), oder bei entsprechender Bauart des Untergestelles an den über den Achsbüchsen gelagerten eisernen Tragbügeln (Textabb. 784, S. 719) befestigt ist. Die eigentliche Aufhängung des

²⁵⁷⁾ Organ 1906, S. 129, 237.

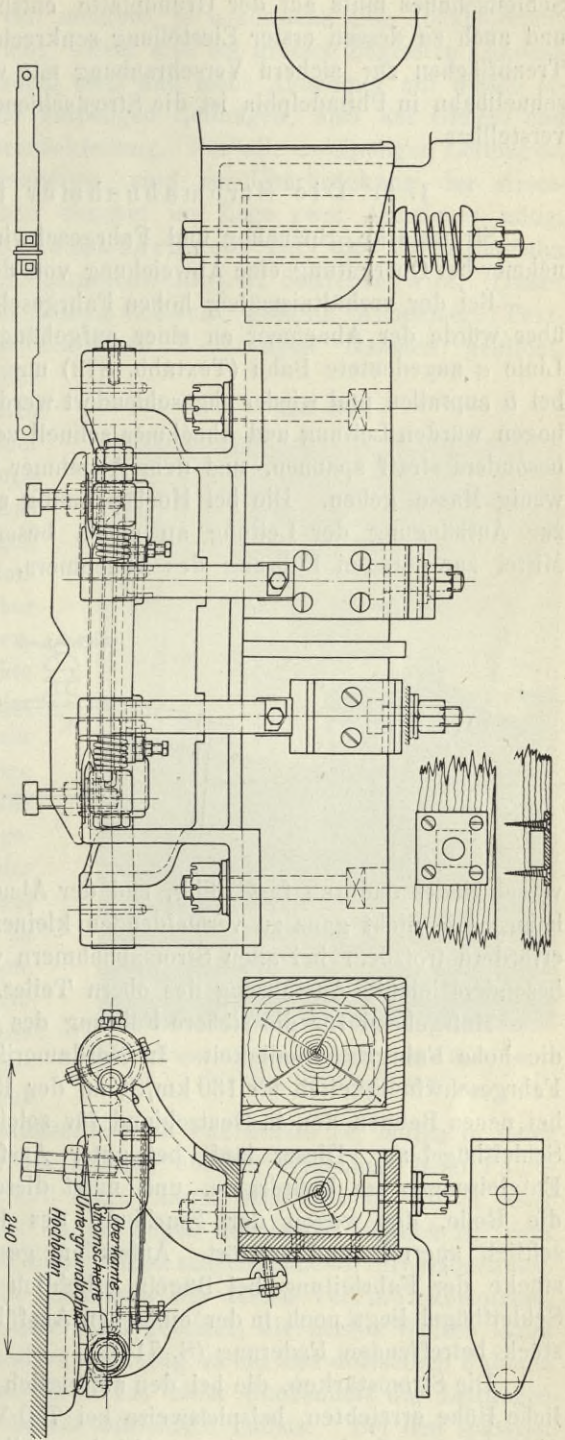


Abb. 871.

Maßstab 1 : 6. Stromabnehmer der Hoch- und Untergrund-Bahn in Berlin, Siemens-Schuckert-Werke.

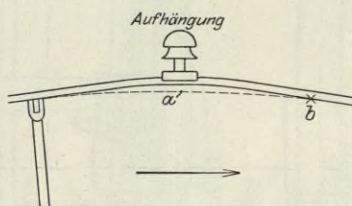
Schleifschuhes muß auf der Grundplatte entsprechend der Abnutzung des Schuhes und auch zu dessen erster Einstellung senkrecht verstellbar sein. Man versieht die Trennflächen zur sichern Verschraubung mit wagerechten Rillen. Bei der Stadtschnellbahn in Philadelphia ist die Stromschiene zu diesem Zwecke der Höhe nach verstellbar.

1. β) Die Stromabnehmer für Oberleitungen.

Stromstärke, Spannung und Fahrgeschwindigkeit erfordern für den Stromabnehmer bei Oberleitung eine Abweichung von den für Kleinbahnen üblichen Regeln.

Bei der verhältnismäßig hohen Fahrgeschwindigkeit von 100 km/St und darüber würde der Abnehmer an einer aufgehängten Oberleitung etwa die durch die Linie a angedeutete Bahn (Textabb. 872) unter dem Aufhängepunkte beschreiben, bei b anprallen und wieder abgeschleudert werden. Die hierbei entstehenden Lichtbogen würden Leitung und Abnehmer schnell zerstören. Man muß also die Leitung besonders straff spannen, und dem Abnehmer besonders im oberen Teile möglichst wenig Masse geben. Die bei Hochspannung erforderlichen besonderen Maßregeln zur Aufhängung der Leitung an einem besondern Trageleine liefern ein weiteres Mittel zur geraden Führung des Abnehmers. Die Einschnürung der Fahrleitung

Abb. 872.



Abschleudern des Stromabnehmers vom Fahrdrachte bei großer Geschwindigkeit.

verschwindet dadurch fast völlig, und der Abnehmer erhält eine fast gerade Laufbahn. Die nicht ganz zu vermeidenden kleineren Unregelmäßigkeiten in letzterer erfordern trotzdem bei allen Stromabnehmern von Stadt- und Haupt-Bahnen ganz besonders leichte Ausführung des oberen Teiles.

Maßgebend für die sichere Führung des Abnehmers am Fahrdrachte ist weiter die hohe Fahrgeschwindigkeit. In Nordamerika hat man zwar anfangs selbst bei Fahrgeschwindigkeiten bis 130 km/St an der Rolle festgehalten, wendet aber heute bei neuen Bahnen den in Deutschland für solche Bahnen allgemein angenommenen Schleifbügel an. Dieser läuft bei guter Ausführung unbedingt sicher und ohne Entgleisungen am Fahrdrachte, und nutzt diesen und sich selbst weniger ab, als die Rolle, die wegen der Einrillung des Drahtes diesen mit den Flanschen seitlich angreift und zerstört. Außerdem gestalten sich die Weichen und Kreuzstücke der Fahrleitung bei Bügeln erheblich einfacher. Ein großer Vorzug der Schleifbügel liegt noch in der einfachen Ausführung einer zweiten, nur das Schleifstück betreffenden Federung (S. 714).

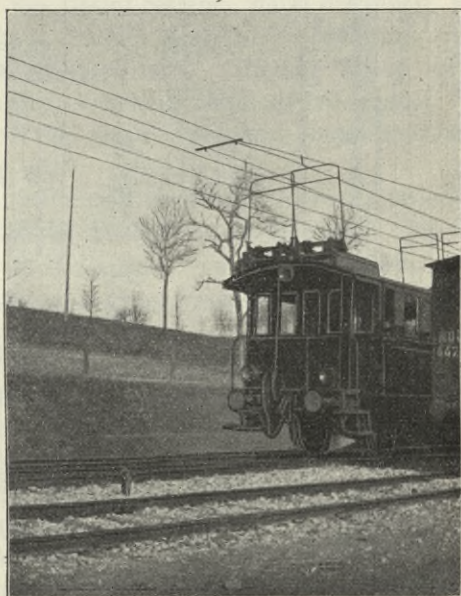
Die Stromstärken, die bei den anfänglich niedrigen Spannungen eine beträchtliche Höhe erreichten, beispielsweise bei 750 Volt und einem Zuge von 350 t etwa 4000 Amp., erforderten mehrere Abnahmestellen am Zuge, da jede nur mit etwa 100 bis 150 Amp. dauernd belastet werden darf. Mit der allmähigen Erhöhung der Spannung auf 10000 und 15000 Volt kommt diese Rücksicht in Fortfall, doch

sind, sofern sich der Antrieb nicht auf mehrere, je mindestens eine Abnahmestelle erfordernde Fahrzeuge im Zuge verteilt, sofern also bei großen Zuglasten Lokomotiven zur Anwendung kommen, trotzdem zwei und mehr Abnehmer auf diesen erforderlichlich. Dies bezieht sich auf alle einpoligen Leitungen, also auf Gleich- und Einwellen-Wechsel-Strom mit Schienenrückleitung. Für alle zweipoligen Leitungen, also beispielsweise Dreiwellen-Wechselstrom, sind zur Überbrückung der stromlosen Strecke in den Leitungsweichen ohnehin im Zuge zwei Abnehmer nötig.

Die einfachste Gestalt des Stromabnehmers hat die Drehstrombahn Burgdorf-Thun, die mit 50 km/St Höchstgeschwindigkeit betrieben wird. Dieser von Brown, Boveri und Co. in Baden, Schweiz, gebaute Abnehmer (Textabbildung 873) wird durch einen einfachen Π -förmigen Rahmen gebildet, der unten durch eine Schraubenfeder aufgerichtet wird. Zwei solche Rahmen stehen neben einander, so daß jeder den Unebenheiten seiner Oberleitung selbstständig folgen kann. Der eigentliche Abnehmer ist ein Schleifbügel, doch ist dieser, wie bei der Simplonbahn, hohl, dreieckförmig und drehbar gelagert, so daß er in jeder Höhenstellung des Abnehmers flach am Drahte liegt, was bei den gewöhnlichen U- oder V-förmig gebildeten Schleifbügeln nicht der Fall ist²⁵⁸). Dieses dreieckförmige Schleifstück läuft in der Regel ohne eigene Drehung am Drahte, doch genügen einige Unregelmäßigkeiten der Lauffläche des Drahtes, um dem Bügel gelegentlich eine Drehung um 120° zu erteilen. Die Abnutzung läßt erkennen, daß alle drei Laufflächen fast gleichmäßig zur Wirkung kommen. Diese Bügelabnehmer sind wegen ihrer Einfachheit dauerhaft und neigen nicht zu Störungen. Sie lassen alle Höhenunterschiede im Fahrdrathe zu, laufen in jeder Fahrriechtung, und legen sich unter der Leitung üblicher Höhenlage beim Fahrtwechsel selbsttätig um, wie Textabb. 873 zeigt. Darin, daß dies nur bis zu einer bestimmten geringsten Neigung²⁵⁹) des Bügels gegen den Draht möglich ist, liegt eine Beschränkung der Anwendbarkeit dieser sonst ausgezeichneten Stromabnehmer.

Eine ähnliche Form erhielten die Abnehmer der ersten Veltlin-Lokomotiven, doch waren hier die oberen Stücke aus Walzen gebildet; die beiden Walzen lagen aber nicht in getrennten Gestellen, sondern einmüttig in ein und demselben Rahmen und auf derselben Achse, so daß jede alle aus einer Unebenheit der Leitungen folgenden, unsteten Bewegungen der andern mitmachen mußte. Bei den späteren Lokomotiven dieser Art hat man diese Stromabnehmer verlassen, und durch solche der Bauart der Simplon-Lokomotiven ersetzt.

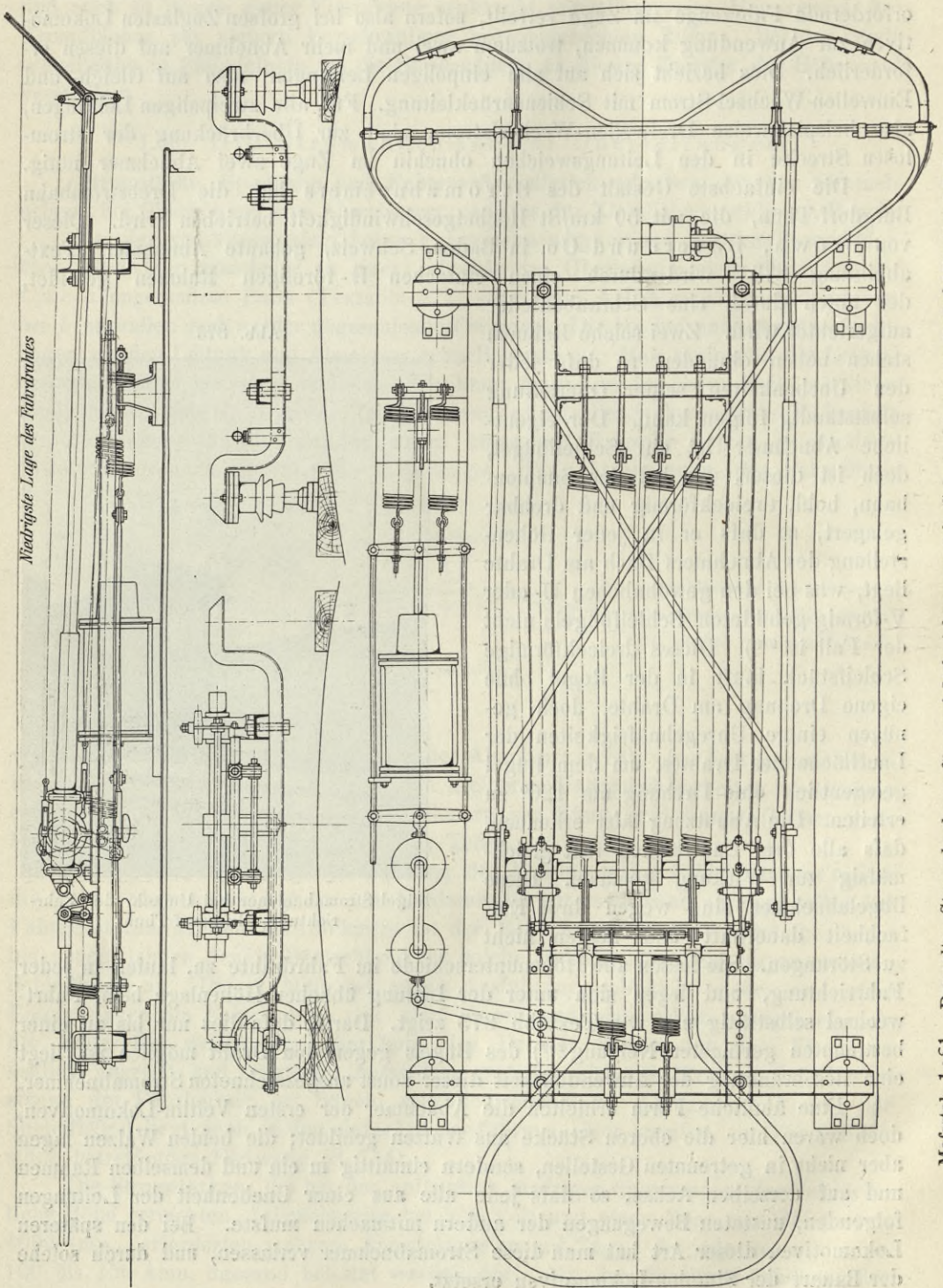
Abb. 873.



Bügel-Stromabnehmer bei Umkehr der Fahrriechtung, Burgdorf-Thun.

²⁵⁸) S. 712.²⁵⁹) S. 711.

Niedrigste Lage des Fahrbrüdes



Mafsstab 1 : 21. Doppelter Stromabnehmer für zwei Fahrrichtungen mit Schwingbügel, englische Mittelland-Bahn.

Die zweite Ausbildung des Stromabnehmers (Textabb. 780, S. 715; 781, S. 716) folgt aus der vorstehend angegebenen dadurch, daß man die Bedingung der selbsttätigen Umkehr bei Fahrtwechsel auch für größere Höhenunterschiede des Fahrdrahtes stellt, als dem Reibungswinkel des Bügels am Drahte entspricht. Der Abnehmer hat im Wesentlichen dieselbe Gestalt, doch ist der obere Teil für sich wieder als ein um seine Längsachse drehbarer Bügelabnehmer gebaut, der sich beim Wechsel der Fahrrihtung selbst nach hinten dreht. Soll der Neigungswinkel des Bügelhalters gegen den Draht den Reibungswinkel nun nicht unterschreiten, so muß sich der untere Teil gleichfalls mit der Drahthöhe einstellen. Diese Bedingung läßt sich nur durch Spannen der unteren und oberen Federn nach Beobachtung erfüllen. Da diese Bauart immer noch an bestimmte Leitungshöhen gebunden ist, wird die Bedingung der selbsttätigen Umkehr besser durch die Scherenform des Gestelles erreicht. Dagegen besitzt diese Abnehmerform noch die grundsätzlich richtige Bauart für hohe Fahrgeschwindigkeiten, die darin besteht, daß die Masse des eigentlichen Schleifstückes und seines Halters von der des Gestelles getrennt wird, und der Bügel selbst in letzterm drehbar gelagert wird. Hierauf wurde schon früher²⁶⁰⁾ hingewiesen. Man hat daher solche Abnehmer auch da verwendet, wo man auf dem Fahrzeuge für jede Fahrrihtung einen besondern Bügel anordnete (Textabb. 874).

Die die dritte Gestalt der Stromabnehmer bildenden Scheren-Stromabnehmer sind seit langen Jahren, zuerst bei Grubenbahnen, in Gebrauch. Sie bestehen aus vier scherenartig zusammengebauten Rahmen, von denen entweder zwei gleichliegende, oder alle vier zur Verhütung windschiefer Verbiegungen der Rahmen durch schräg gezogene Verbindungen zu verspannen sind. Damit sich das den Bügel tragende, obere Gelenk in einer Senkrechten auf und ab bewegt, müssen beide Seiten zwangsläufig verbunden werden, was man mit Zahnrädern (Textabb. 777), oder Ketten- und Band-Scheiben (Textabb. 783) erreicht.

Diese Abnehmer erfordern wegen der großen Zahl von Gelenken und federnden Stangen im Betriebe ständige Unterhaltung und Schmierung, sonst treten Reibungen und Klemmungen ein, der Abnehmer spielt nicht gleichmäÙig auf und ab, und verliert überdies den richtigen Auftrieb.

Der Scheren-Stromabnehmer läßt große Höhenunterschiede in der Fahrleitung zu, und da er in niedergelegtem Zustande nur geringe Bauhöhe einnimmt, eignet er sich für Hauptbahnen vorzüglich. Neben ihrer bisherigen, in Textabb. 783 dargestellten Abnehmerform verwenden die Siemens-Schuckert-Werke deshalb überall da, wo die Wagenumgrenzungslinie es erfordert, neuerdings Scherenabnehmer (Textabb. 875 und 876). Bei diesen ist die Federung des obern Bügelträgers bemerkenswert. Sie erfolgt durch Verdrehung einer in der Mitte des Gestelles durch das Querstück *a* fest gehaltenen Blattfeder *b*. In Textabb. 877 ist ein ähnlicher Hochspannung-Stromabnehmer der Siemens-Schuckert-Werke dargestellt, bei dem zwei Bügel in das Traggestell eingesetzt sind, daher doppelte Stromstärke zulässig ist. Wie bei dem Abnehmer der zweiten Gattung werden die Schleifbügel auch beim Scherenabnehmer für sich hergestellt, und im obern Gelenke des Hauptgestelles leicht federnd gelagert.

Der Antrieb der Stromabnehmer für Stadt- und Haupt-Bahnen wird

²⁶⁰⁾ S. 714 und 715.

in der Regel nach Angabe von Ganz und Co., Budapest, mit Prefsluft bewirkt. Der Wagenführer besitzt darin ein bequemes und sicheres Mittel zur Handhabung des Abnehmers. Die Prefsluft wird vom Führerstande aus in einen Druckzylinder ge-

Abb. 876. Maßstab 1 : 24.
Seitenansicht zu Textabb. 875.

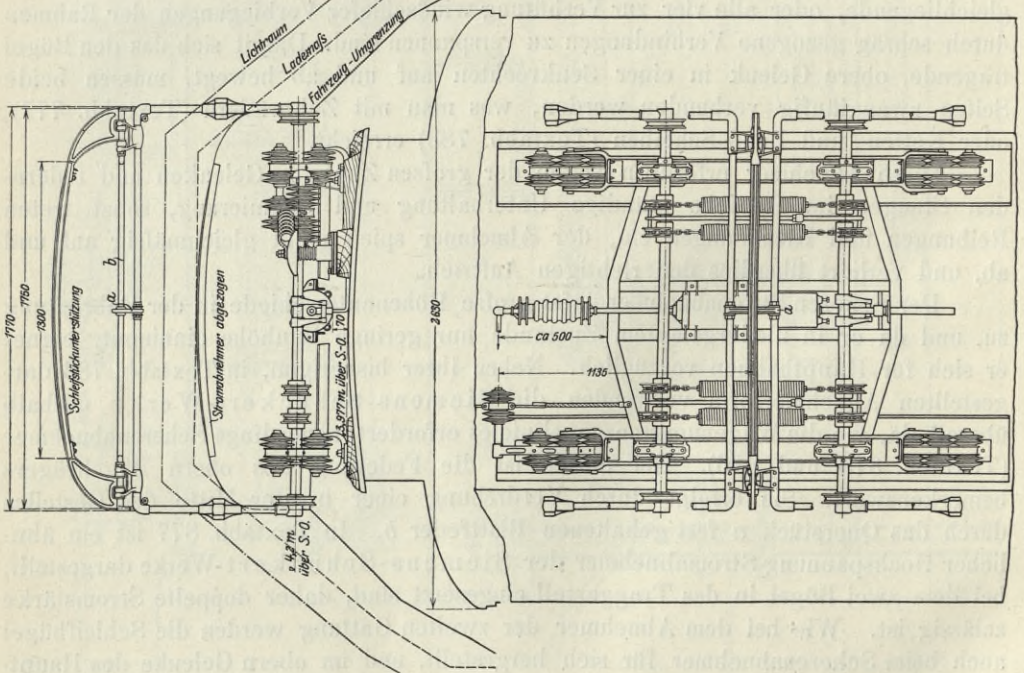
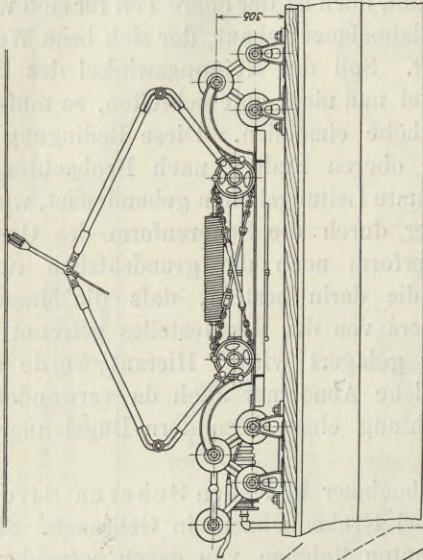


Abb. 875.

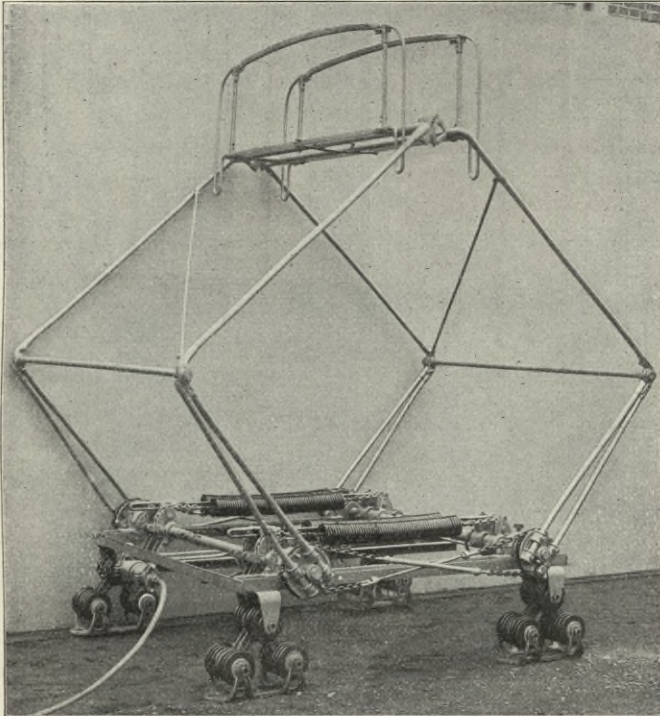
Maßstab 1 : 24. Scheren-Stromabnehmer mit Schwingbügel, Siemens-Schuckert-Werke, Stirnansicht und Grundriß.

leitet, dessen Kolbenstange mittels eines Querstückes den Druck unter Zwischenschaltung von einigen neben einander angeordneten Schraubenfedern auf die Hebel des Stangenwerkes überträgt. Daneben findet man auch Anordnungen, bei denen

die Prefsluft nur zum Niederlegen des Abnehmers dient, oder solche, bei denen das Aufrichten und Niederlegen mit Handhebeln besorgt wird.

Bei Fahrzeugen für Hochspannung läßt sich mit dem Prefsluftantriebe des Abnehmers in sehr sicherer und bequemer Weise die selbsttätige Absperrung aller Hochspannungsteile verbinden, was gleichfalls Ganz und Co., und zwar bei den

Abb. 877.



Scheren-Stromabnehmer mit doppeltem Schleifbügel, Siemens-Schuckert-Werke.

Fahrzeugen der Drehstrombahn im Veltlin²⁶¹⁾, im Jahre 1899 zuerst angegeben haben. Hierbei findet die gegenseitige Verriegelung derart statt, daß man den Stromabnehmer nur nach Schluß der Kammer für Hochspannung aufrichten, und letztere nur nach Niederlegen des Abnehmers öffnen kann.

e. 2) Die Steuerungen der elektrischen Stadt- und Haupt-Bahnen.

Die Schaltung der Triebmaschinen und Widerstände erfolgte bei Kleinbahnen durch unmittelbare Einführung der Kabel in den Regler des Fahrzeuges selbst. Bei den Bahnen höherer Ordnung hat man es dagegen mit mehr als einem Triebwagen im Zuge, oder mit schweren Lokomotiven, also in allen Fällen mit erheblich höheren Stromstärken zu tun. Man könnte nun zwar die Regler entsprechend stärker bauen, und nach wie vor jedes Fahrzeug mit einem solchen versehen. Diese einzelnen Regler müßten, da alle Triebmaschinen des Zuges zwecks gleich-

²⁶¹⁾ Organ 1904, S. 315; 1905, S. 175, 307.

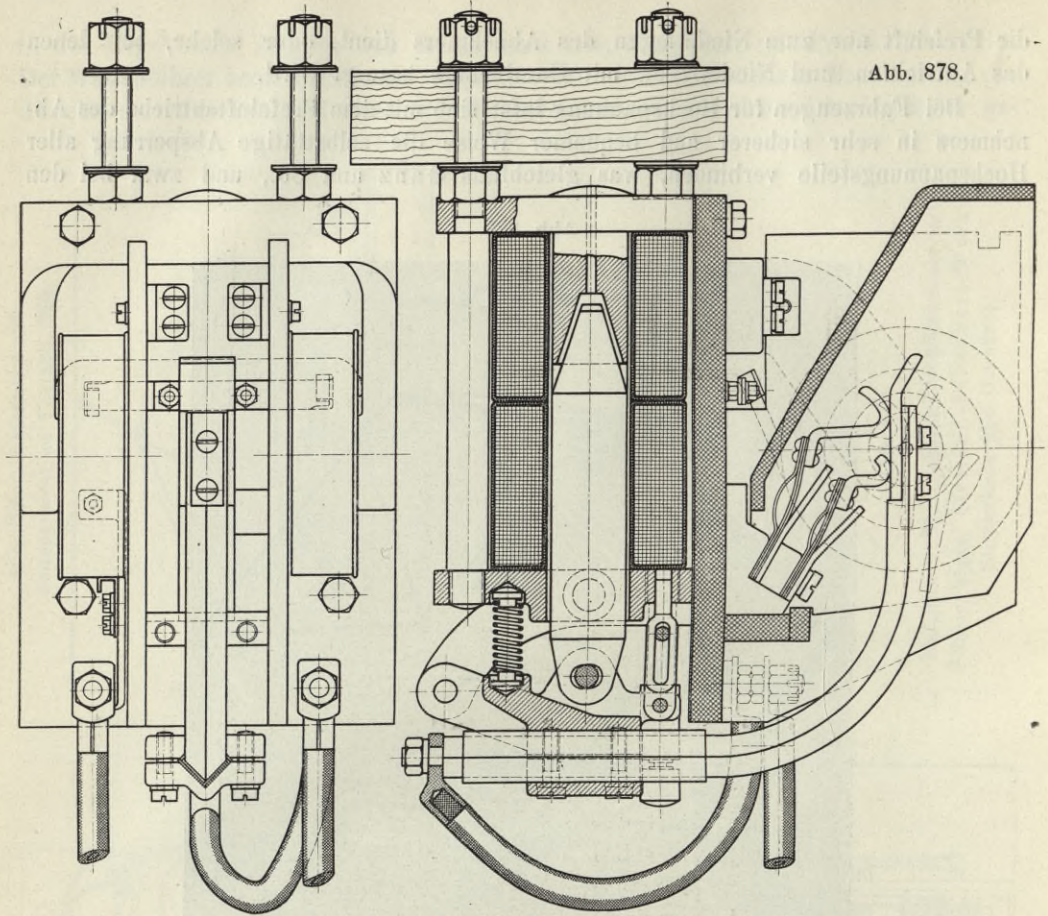
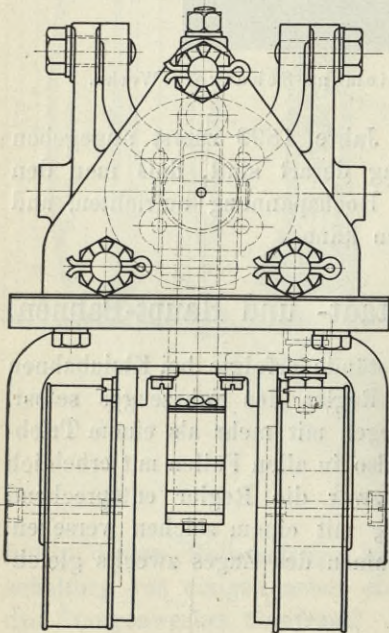


Abb. 878.

Mafstab 1 : 4. Stromschütz, Bergmann.

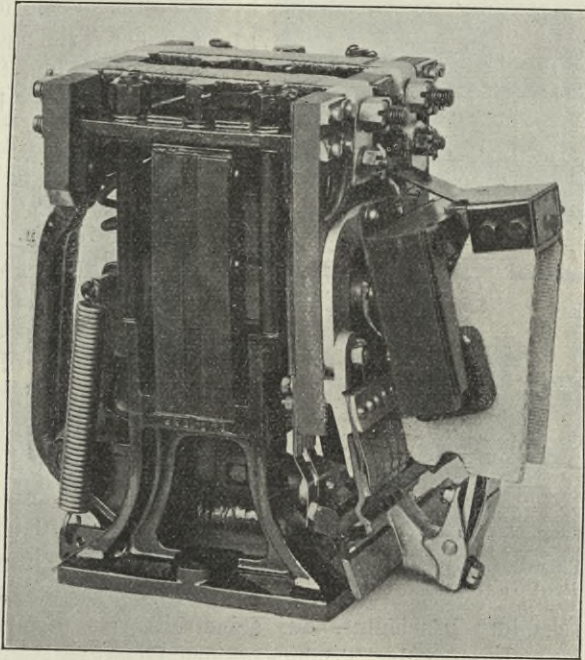


mäßiger, das heißt geringster, Belastung genau gleichzeitig geregelt werden müssen, alle von ein und demselben Triebmittel gedreht werden. Letzteres ist in der Tat ausgeführt worden, und zwar versah Sprague den Regler jedes Triebwagens mit einer kleinen Sondermaschine, die ihn mit Schnecke und Schneckenrad in Drehung versetzte. Diese Hilfsantriebe wurden im ganzen Zuge von durchgehenden, dünnen Leitungen gesteuert. Jeder Wagen war also selbstständig, er hatte seine Triebmaschinen, Regler und Widerstände, und alle Regler des Zuges konnten von jedem beliebigen Punkte aus gesteuert werden, wo immer man einen Führerschalter mit den durchgehenden Steuerleitungen verband. Diese aus der Aneinanderreihung gleicher Wagen entstandene Steuerung wurde „multiple unit control“, Vielfachsteuerung, oder auch kurz Zugsteuerung genannt.

Die Anordnung von Sprague kam zuerst auf der Südseite-Stadtbahn in Chicago im Jahre 1897 in Betrieb. Sie besaß aber verwickelte Einzelteile, und gab neben hohen Anlagekosten zu hohen Erhaltungskosten Veranlassung. Nur eine Eigenschaft bewährte sich von Anfang an, die Abhängigkeit der selbsttätigen, oder von Hand betätigten Fortschaltung des Reglers von der in den Triebmaschinenleitungen herrschenden Stromstärke. Dadurch wurden die Triebmaschinen vor schädlichen Überlastungen bewahrt, und die Anfahrbeschleunigung gleichmäßig gestaltet. Diese Eigenschaft wurde auf fast alle später ausgeführten Zugsteuerungen übertragen, und wird auch heute noch ausgeführt.

An Stelle elektrischer Triebmaschinen wandten später nacheinander Short, Westinghouse, Schuckert und Siemens und Halske Preßluftantriebe an, durch die in allen Fällen die jedem Fahrzeuge zugewiesenen Regler der bei Klein-

Abb. 879.



Hüpf-Schalter für 3000 Amp. und 500 Volt, Siemens-Schuckert.

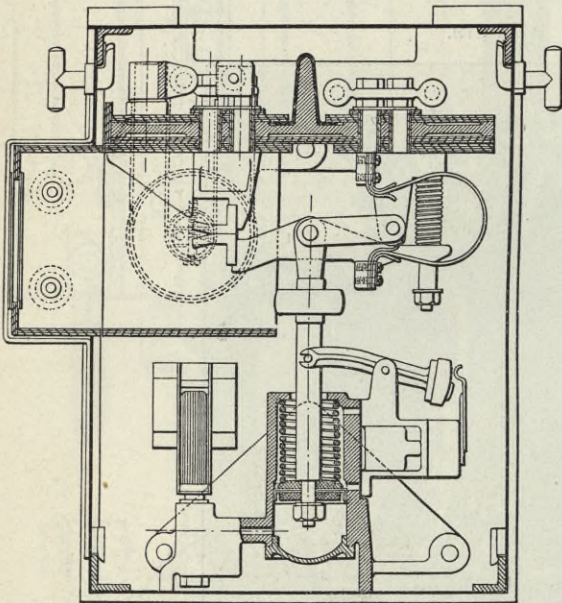
bahnen üblichen Bauart in Bewegung gesetzt wurden. Aus den oben angegebenen Gründen wurden auch diese Anordnungen bald wieder aufgegeben.

Die Zugsteuerungen erhielten indes schon durch die im Jahre 1898 von Elihu Thomson angegebene Anordnung eine brauchbare Grundform, die sich bis in die Neuzeit erhalten hat. Thomson ersetzte den Hauptregler früherer Bauart durch eine Reihe von Einzelschaltern, die von schwachen, durch den ganzen Zug laufenden Hilfsleitungen der gewünschten Schaltung gemäß durch Elektromagnete in Tätigkeit gesetzt wurden. Dadurch bekommt der Schaltplan (Textabb. 767, S. 703) dasselbe Aussehen, wie der der einfachen unmittelbaren Regelung (Textabb. 759, S. 695), mit dem einzigen Unterschiede, daß die Triebmaschinen-, Widerstands- und sonstigen Leitungen nicht unmittelbar zum Führerregler, sondern

zu magnetischen Einzelschaltern führen, die ihrerseits erst mit dem Führerregler verbunden werden. Im Wesen ändert sich also an der ganzen Schaltung nichts. Diese Anordnung wurde von allen Bauanstalten angenommen und allmählig zu hoher Vollendung gebracht. In Textabb. 878 und 879 sind Einzelschalter, „Schütze“, dargestellt, wie sie für Triebwagen der Hauptbahnen verwendet werden. Die Westinghouse-Gesellschaft hielt am Antriebe der Einzelschalter mit Prefsluft fest, denen sie bessere Anpressung der Stromschliefer zuschreibt. Textabb. 880 stellt einen solchen Schalter dar, wie er bei den Triebwagen der englischen Mittelland-Bahn verwendet ist.

In Textabb. 768, S. 704, ist der vollständige Schaltplan des von der „Union Elektrizitäts-Gesellschaft“ nach dem Vorbilde der „General Electric Co.“ ausgeführten Triebwagens der Vorortbahn Berlin - Lichterfelde - Ost dargestellt, der einer solchen Einzelschaltung entspricht.

Abb. 880.



Mafsstab 1 : 10. Einzelschalter mit Prefsluft-Antrieb, Westinghouse-Gesellschaft.

Die Leitungen der Triebmaschinen I und II und der Widerstände $R_1, R_2 \dots$ führen zu den Einzelschaltern 1, 2, 3..., deren Leitungen zur Erregung der Magnete über die Verbindungsbretter 1 und 2 zum Führerschalter führen. Von den Verbindungsbrettern zweigen die zu den benachbarten Triebwagen führenden Hilfsleitungen ab. Mit dem Führerschalter ist der Fahrrichtungschalter verbunden, der vor Beginn der Fahrt erst in die eine oder andere Stellung gebracht werden muß, ehe die Hauptschaltungen möglich werden. Durch die Drehung des Fahrrichtungschalters wird gleichfalls auf magnetischem

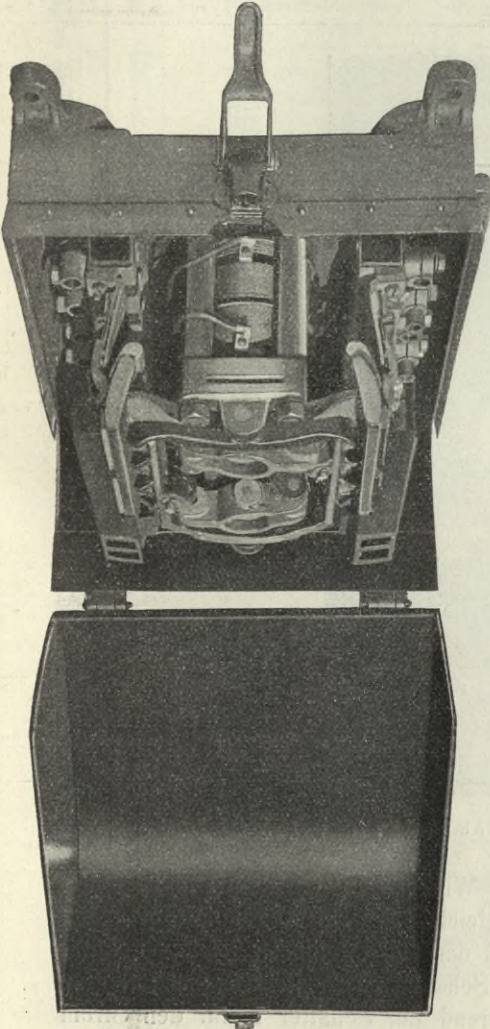
Wege der „Fahrtwender“ geschaltet, der seinerseits erst die richtige Schaltung unter den Starkstromleitungen der Triebmaschinen bewirkt.

In Textabb. 881 bis 884 sind einige weitere Ausrüstungsteile solcher Steuerungen dargestellt, und zwar in Textabb. 881 ein magnetisch angetriebener Fahrtwender, der als Kippschalter gebaut ist, während andere, beispielsweise die der Siemens-Schuckert-Werke als Trommelschalter ausgeführt werden; ferner in Textabb. 882 ein Hauptstrom-Widerstand, und in Textabb. 883 ein Nebenschluß-Widerstand zum Felde der Triebmaschine, beide von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft; in Textabb. 884 eine Kabelkuppelung zur Verbindung der Steuerstromleitungen der einzelnen Triebwagen. Ein Fahrtschalter für Zugsteuerungen ist in Textabb. 890 angegeben.

Textabb. 885 gibt einen vollständigen Schaltplan der Zugsteuerung eines Triebwagens der Hochbahn in Hamburg wieder, während in den Textabb. 886 bis 891 die Anordnungen ihrer Einzelteile in den Fahrzeugen veranschaulicht werden.

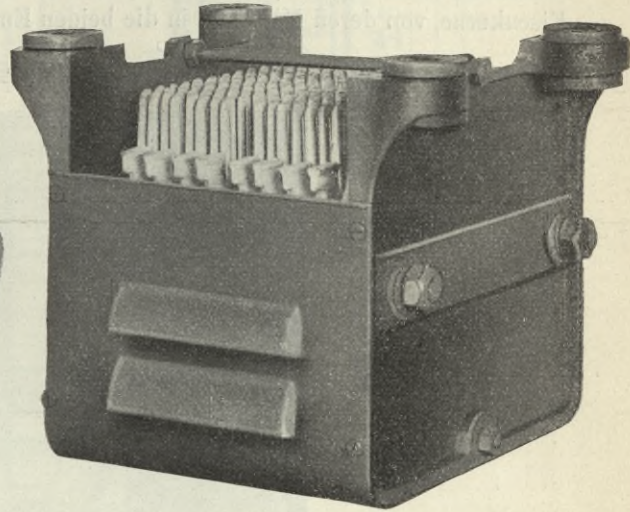
Textabb. 886 entspricht dem Schaltbilde (Textabb. 768) der Triebwagen der Vorortbahn Berlin-Lichterfelde; Textabb. 887 zeigt die Unterseite eines Triebwagens der Hochbahn in Hamburg, Textabb. 888 die Schützenkästen und den Fahrtwender unter demselben Wagen; Textabb. 889 gibt in Längs- und Quer-Schnitten das Führer-

Abb. 881.



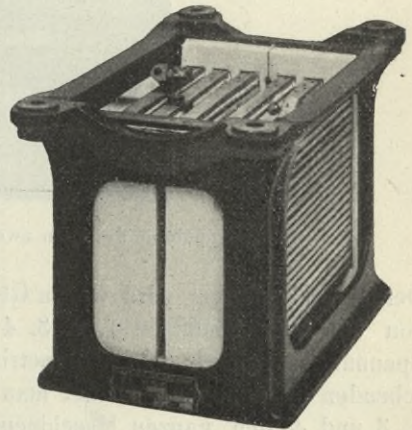
Fahrtwender der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Hochbahn in Hamburg.

Abb. 882.



Hauptwiderstand für Zugsteuerungen, Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.

Abb. 883.



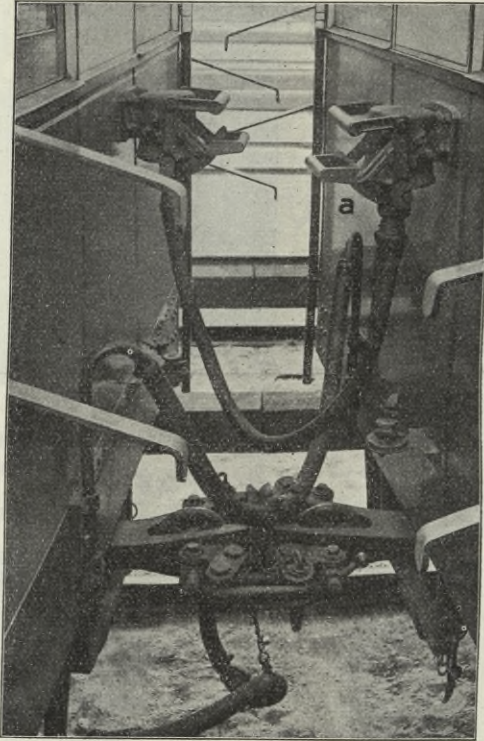
Nebenschlußwiderstand zum Magnetfelde für Zugsteuerungen, Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.

abteil der Triebwagen der Vorortbahn Berlin-Lichterfelde-Ost wieder und Textabb. 890 und 891 das Führerabteil eines Triebwagens der Hochbahn in Hamburg mit und ohne Fahrschalter.

Bei Einwellen-Stromwender-Triebmaschinen mit Stufenabspannern vollzieht sich

die Regelung in gleicher Weise²⁶²⁾. Der Übergang von einer Stufe zur nächst höhern könnte nun entweder so erfolgen, daß man den Strom völlig unterbricht, oder die betreffende Stufe kurzschließt. Beides ist unzulässig und wird durch die sog. Stromteiler vermieden. Diese bestehen in der von Westinghouse angegebenen Ausführung aus einer in ihren beiden Hälften gleich, aber gegenläufig gewickelten Drosselspule (Textabb. 892 und Zusammenst. XXVIII) mit geschlossenem Eisenkerne, von deren Mitte der in die beiden Enden geleitete Strom fortgeführt wird.

Abb 884.



Kabelkuppelung zwischen zwei Wagen, Siemens-Schuckert-Werke.

Der Maschinenstrom wird wegen Gleichheit der Wickelung der beiden Drosselspulen von den vier Klemmen 1, 2, 3, 4 in vier gleichen Teilen abgenommen, seine Spannung ist gleich dem arithmetischen Mittel der vier an diesen Klemmen herrschenden Spannungen. Öffnet man jetzt den Schalter 1, so liefern die Schalter 2, 3 und 4 den ganzen Maschinenstrom, während der Schalter 1 nur den Strom für Magneterregung ausschaltet, was mit kleinem Ausschaltfunken erfolgt. Sofort nach Ausschaltung von 1 wird 5 eingeschaltet, und nun besteht wieder der frühere Zustand mit dem Unterschiede, daß die Spannung dem Mittel aus den Spannungen bei 2, 3, 4 und 5 entspricht, also höher ist²⁶³⁾. Textabb. 893 stellt einen Bahn-

²⁶²⁾ Siehe beispielsweise Elektrotechnische Zeitschrift 1909, S. 1043.

²⁶³⁾ Das Schaltbild für eine vollständige Wagenausrüstung ist zu finden: Elektrotechnische Zeitschrift 1910, S. 1051.

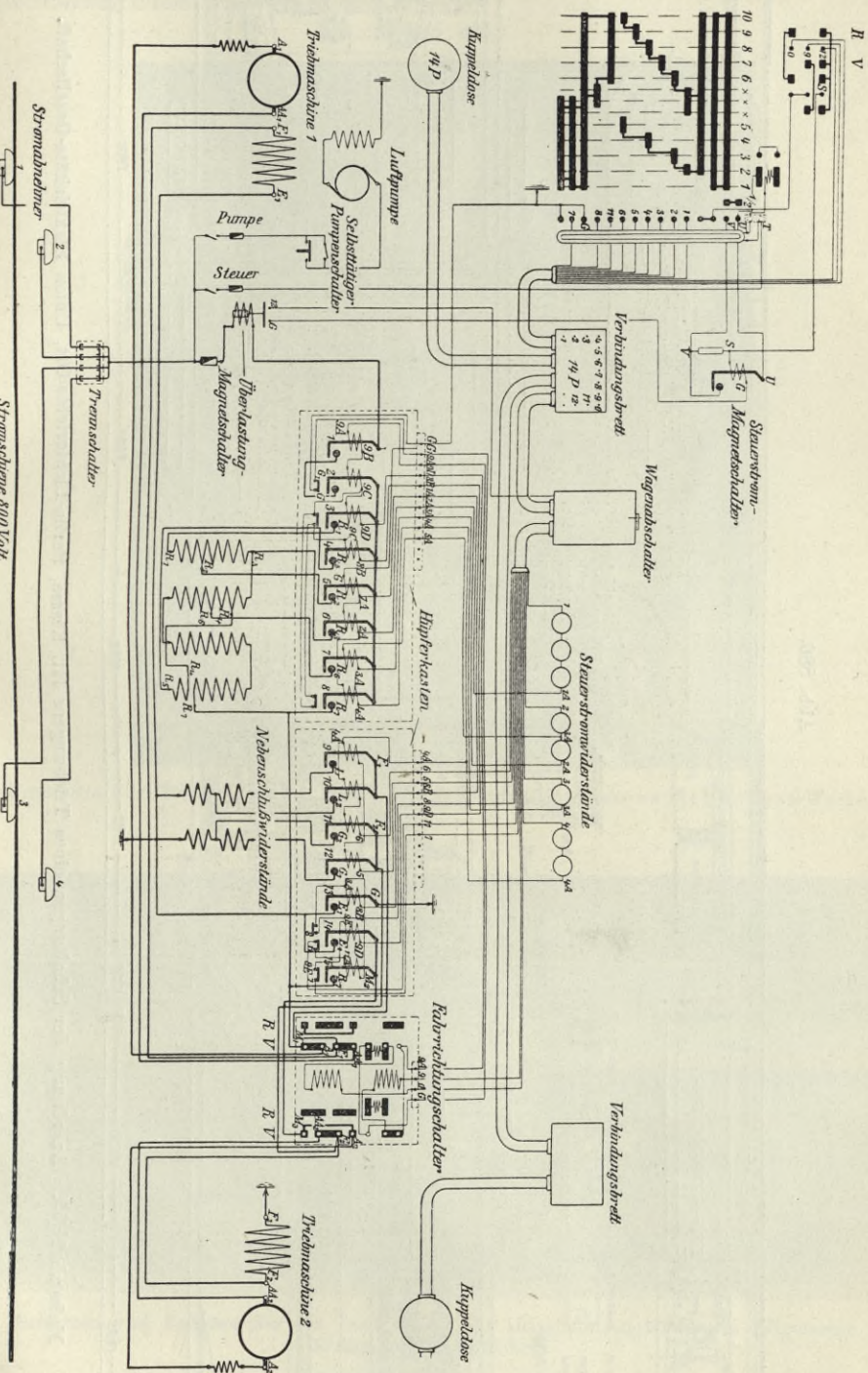
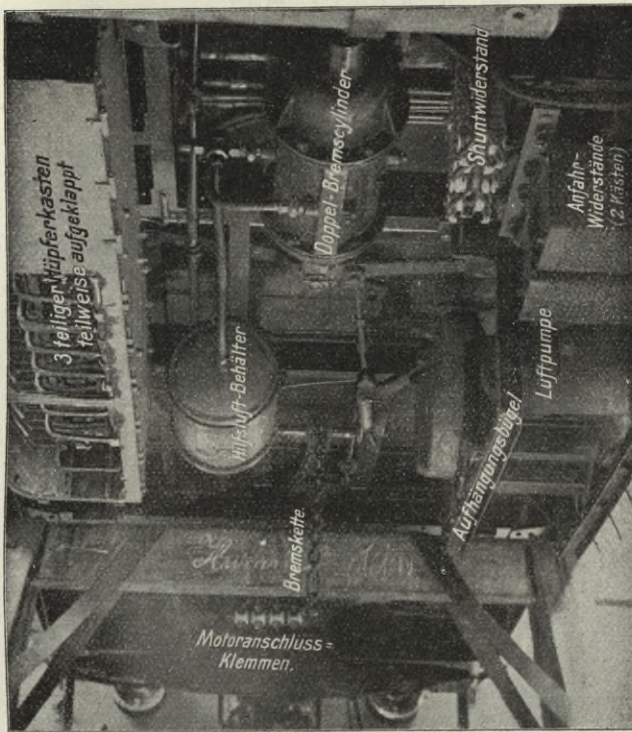


Abb. 885.

Schaltplan der Zugsteuerung eines Triebwagens, Hoch-Bahn in Hamburg. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.

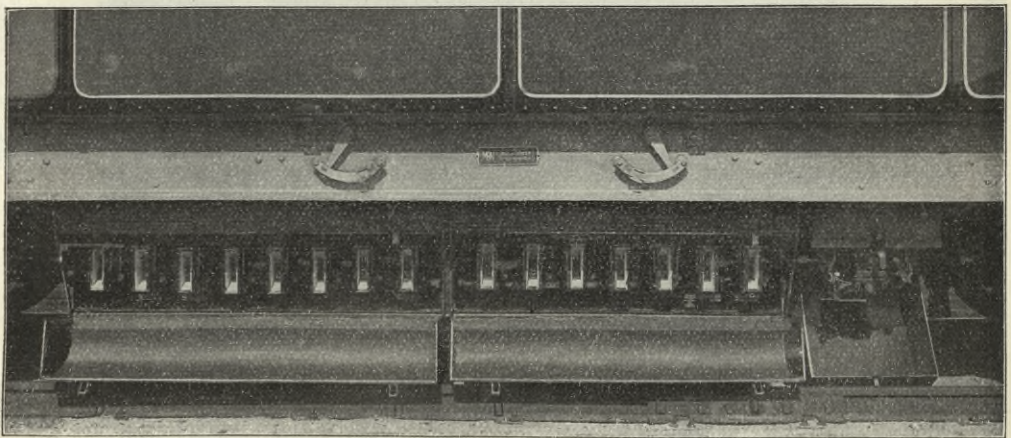
abspanner der Bergmann-Elektrizitäts-Werke für Lokomotiven, Textabb. 900 einen Reglerschalter desselben Werkes dar.

Abb 887.



Unterseite des Triebwagens der Hochbahn in Hamburg, Siemens-Schuckert-Werke.

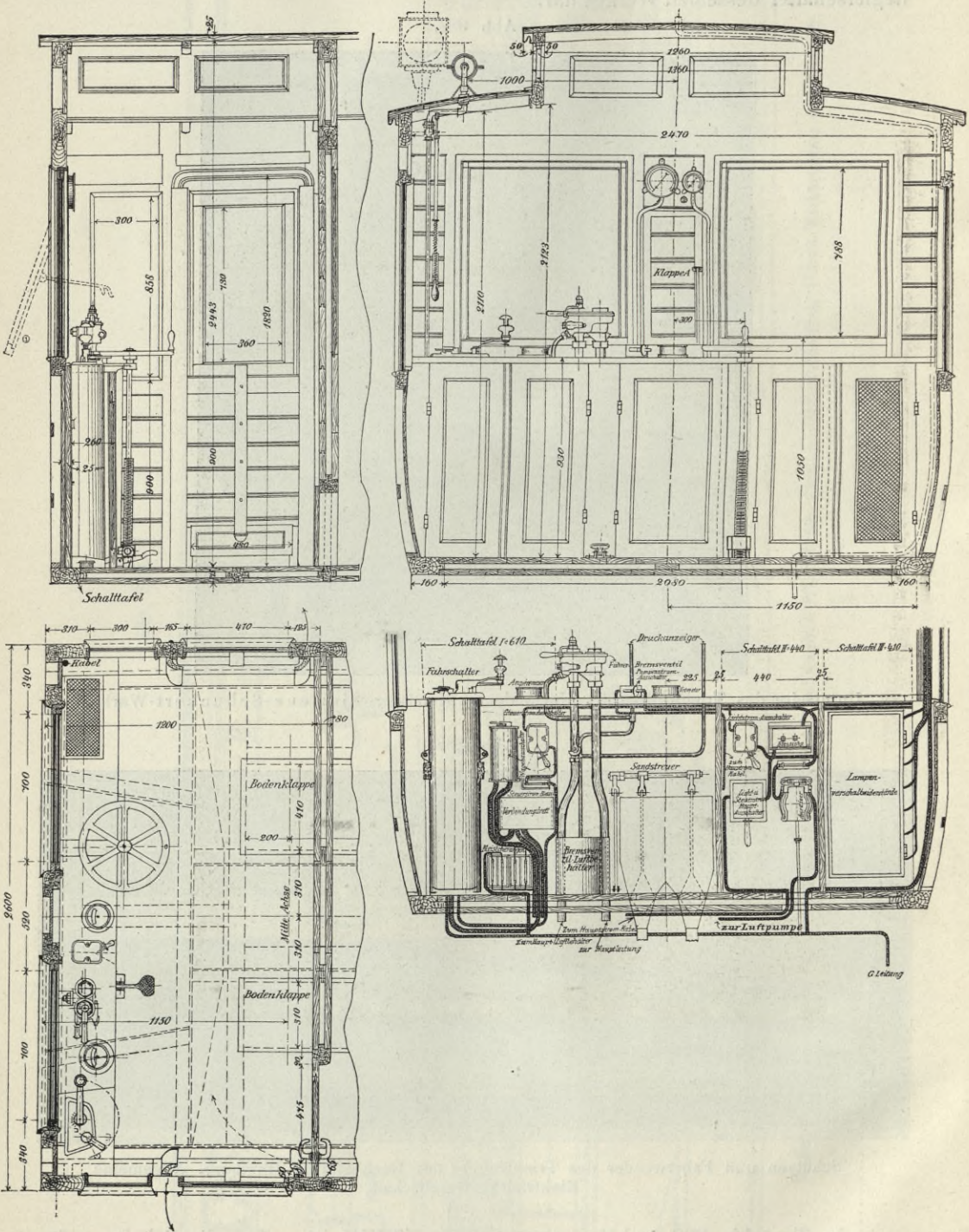
Abb. 888.



Schützen und Fahrtwender des Triebwagens der Hochbahn in Hamburg, Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.

In Textabb. 892 und Zusammenstellung XXVIII ist weiter die Schaltung für einen mit Gleich- und Wechselstrom-Triebmaschinen versehenen Wagen angegeben,

Abb. 889.

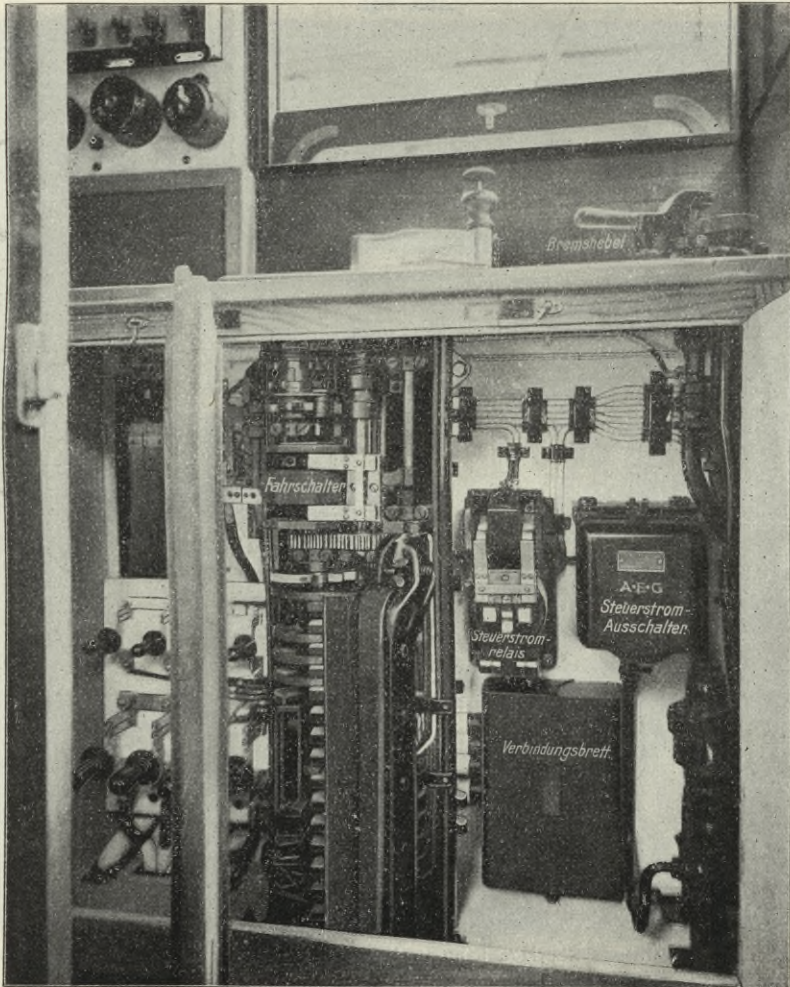


Masstab 1:30. Führerabteil des Triebwagens der Vorkorbahn Berlin-Lichterfelde-Ost.

wie sie für Zwischenstadtbahnen mit Gleichstrom innerhalb der Städte, und Wechselstrom auf den langen Aufsenlinien Anwendung findet. Zusammenstellung XXVIII gibt die bei den einzelnen Schaltstufen vorzunehmenden Stromverbindungen der Zugsteuerung an.

Die große Einfachheit der Zugsteuerungen hat diesen auch bei einzelnen Triebfahrzeugen Eingang verschafft. Solche Fahrzeuge, hauptsächlich schwere

Abb. 890.



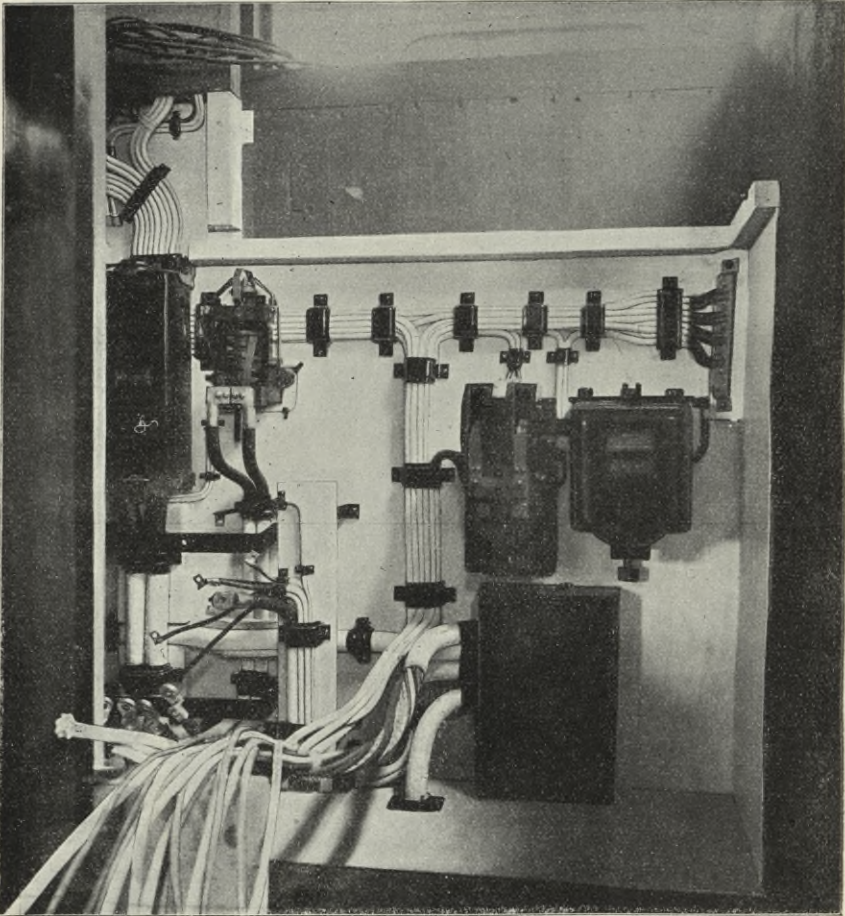
Führerstand des Triebwagens der Hochbahn in Hamburg, Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.

Lokomotiven, erhielten vordem unmittelbar wirkende Regler, so die inzwischen wieder außer Betrieb gesetzten Lokomotiven der Zentral-London-Bahn und die der Baltimore- und Ohio-Bahn, doch wurden diese so schwer, unförmlich und unhandlich, daß man schon mit geringen Mehrkosten die in allen diesen Punkten vorteilhaftere Zugsteuerung anwenden konnte. Erforderte die Lokomotive wegen ihrer Länge die Teilung des Führerstandes, so erzielte man mit Zugsteuerungen gegen doppelt auszuführende unmittelbare Regler gradezu Ersparnisse. Werden mehrere Lokomo-

tiven in einen Zug eingestellt, so erfolgt deren gemeinsame Regelung mittels einer Zugsteuerung.

Da es sich hier indes um sehr große Zugkräfte handelt, würde zur ausreichenden Abstufung der Niederspannungsseite des Abspanners eine große Anzahl von Einzelschaltern und entsprechend teure Ausführung der ganzen Zugsteuerung erforderlich werden. Man hat deshalb auf den schon 1902 von Lamme bei der ersten Einwellen-Wechselstrom-Ausrüstung vorgeschlagenen Induktionsregler

Abb. 891.



Führerstand des Triebwagens der Hochbahn in Hamburg, Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft. □

zurückgegriffen. Dieser stellt, wie auf S. 694 schon kurz erwähnt, einen Drehregler vor, dessen beide Seiten gegen einander verstellbar sind, so daß der den induzierten Teil durchsetzende Kraftlinienfluß von $-$ über 0 zu $+$ geregelt werden kann, wobei die abgeleitete Spannung aus einer größten Gegenspannung über den Wert Null bis zu einer größten zusätzlichen Spannung übergeht. Da diese Abspanner bei den für Einwellen-Wechselstrom-Bahnen vorteilhaften niedrigen Schwingungszahlen sehr schwer ausfallen, und auch eine starke Wellenverschiebung zwischen Strom und Spannung ergeben, mußte man die früher gehegte Absicht, mit ihnen den ganzen Maschinenstrom zu regeln, fallen lassen. Man benutzt sie

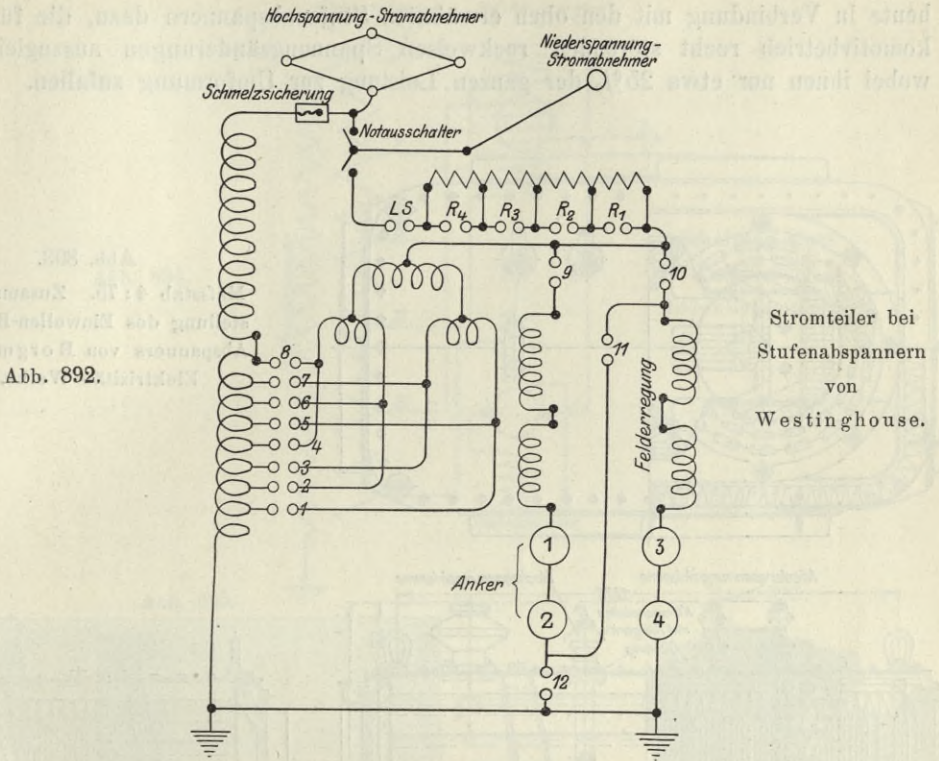


Abb. 892.

Stromteiler bei
Stufenabspannern
von
Westinghouse.

Zusammenstellung XXVIII.

Stufe	Schaltungen																	
	1								9	10		12						
	1	2							9	10		12						
	1	2	3						9	10		12						
1	1	2	3	4					9	10		12						
2		2	3	4	5				9	10		12						
3			3	4	5	6			9	10		12						
4				4	5	6	7		9	10		12						
5					5	6	7	8	9	10		12						
1									9		11		LS					
2									9		11		LS	R ₁				
3									9		11		LS	R ₁	R ₂			
4									9		11		LS	R ₁	R ₂	R ₃		
5									9		11		LS	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	

Wechsel-Strom

Gleich-

Auflöseschlüssel zur Schaltung nach Textabb. 892.

heute in Verbindung mit den oben erwähnten Stufenabspannern dazu, die für Lokomotivbetrieb recht störenden ruckweisen Spannungsänderungen auszugleichen, wobei ihnen nur etwa 25% der ganzen Leistung zur Umformung zufallen.

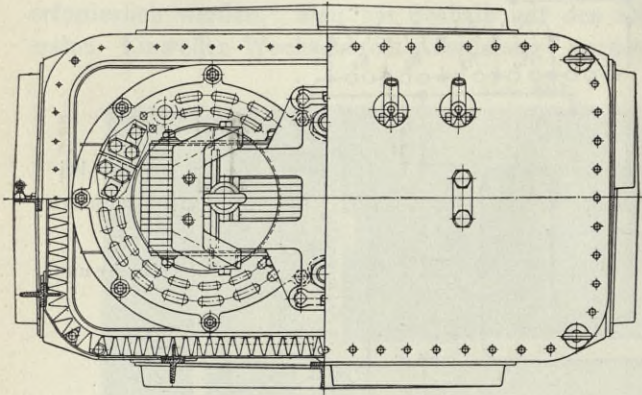
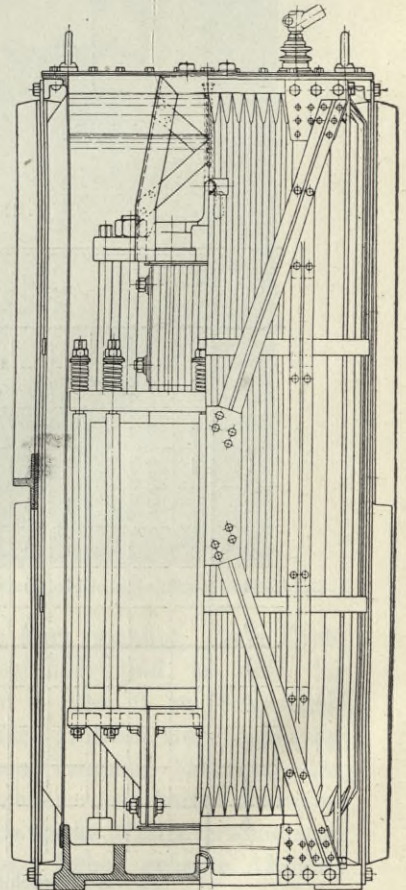
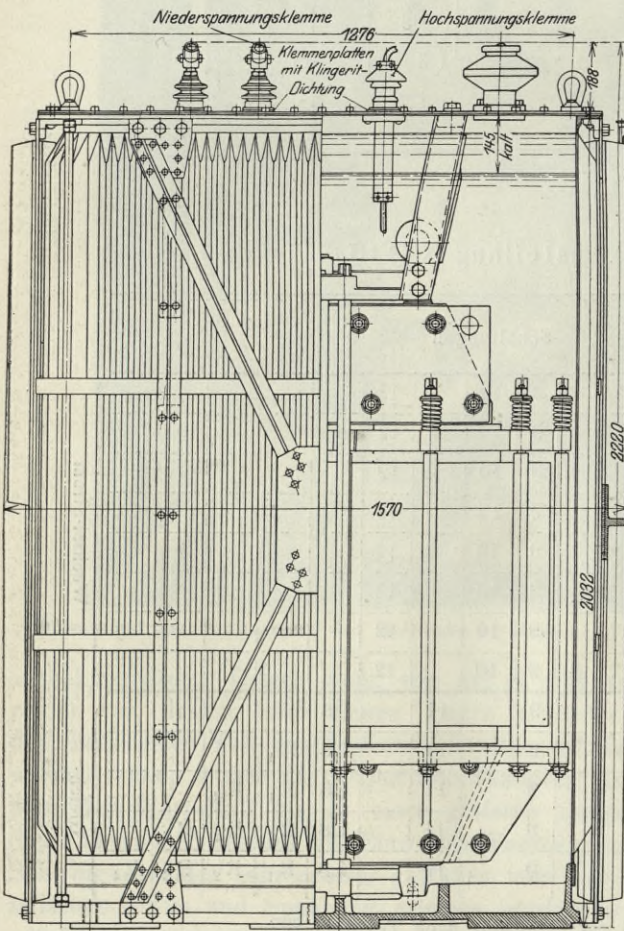


Abb. 893.

Mafsstab 4 : 75. Zusammenstellung des Einwellen-Bahn-Abspanners von Bergmann Elektrizitäts-Werke.



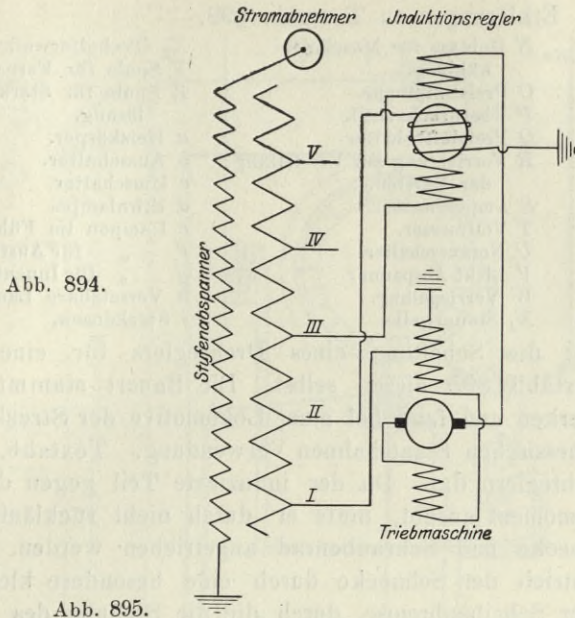
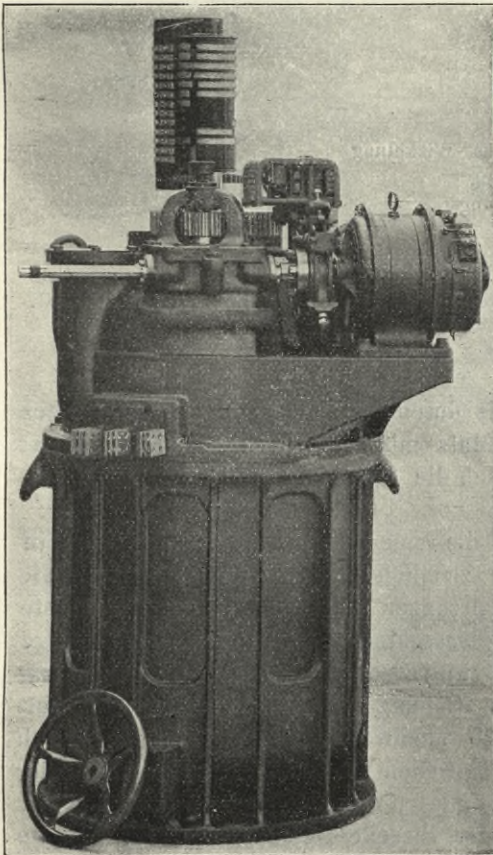


Abb. 894.

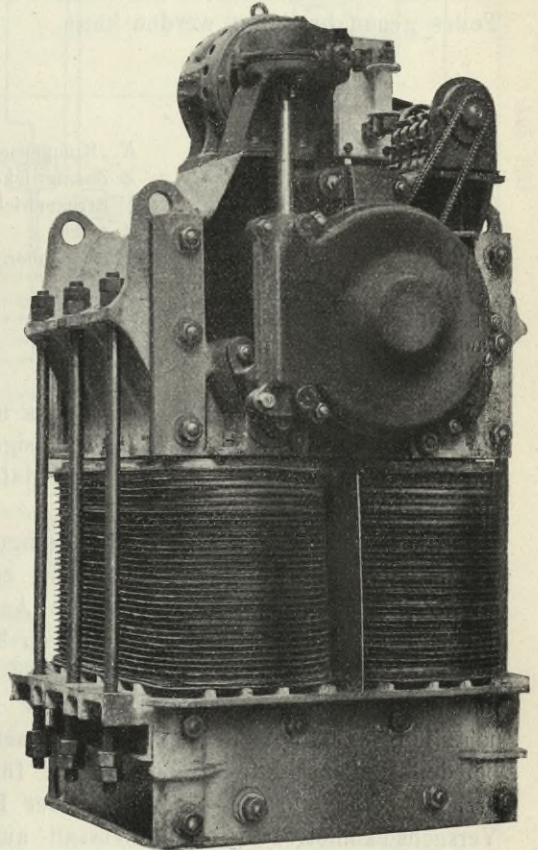
Schaltung eines Drehreglers, Induktionsreglers.

Abb. 895.

Abb. 896.



Drehregler, Induktionsregler, Siemens-Schuckert-Werke.



Drehregler von Jeumont, französische Südbahn.

Erklärungen zu Textabb. 899.

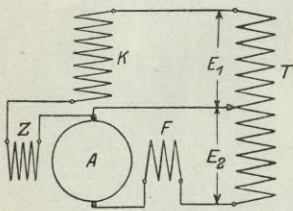
- A Stromabnehmer.
- B Trennschalter.
- C Drosselspule.
- D Ölschalter mit Freiauslösung.
- E Stromwandler.
- F Abspanner.
- G Anlafs-Abspanner.
- H Erregung.
- I Kompensation.
- K Prefsluftschalter.
- L Umschalter.
- M Triebmaschine.

- N Gebläse für Maschinenkühlung.
- O Prefsluftpumpe.
- P Überdruckventil.
- Q Prefsluftbehälter.
- R Vorrichtung zur Verstellung der Bürsten.
- S Amperemesser.
- T Voltmesser.
- U Notausschalter.
- V Licht-Abspanner.
- W Verriegelung.
- X₁ Steuerwelle.

- X₂ Ölschalterwelle.
- Y Spule für Fernauslösung.
- Z Spule für Starkstromauslösung.
- a Heizkörper.
- b Ausschalter.
- c Umschalter.
- d Stirnlampe.
- e Lampen im Führerstand.
- f " für Ausrüstungsteile.
- g " für Innenbeleuchtung.
- h Versetzbare Lampen.
- i Steckdosen.

Textabb. 894 stellt die Schaltung eines Drehreglers für eine Wechselstromlokomotive dar, Textabb. 895 diesen selbst. Die Bauart stammt von den Siemens-Schuckert-Werken und fand bei einer Lokomotive der Strecke Dessau-Bitterfeld der preussisch-hessischen Staatsbahnen Verwendung. Textabb. 896 stellt eine andere Art von Drehreglern dar. Da der induzierte Teil gegen den Induktionsteil ein starkes Drehmoment ausübt, muß er durch nicht rückläufige Drehvorrichtungen, etwa Schnecke und Schraubenrad angetrieben werden. In Textabb. 895 erfolgt der Antrieb der Schnecke durch eine besondere kleine Triebmaschine mit magnetischer Scheibenbremse, durch die die Stellung des drehbaren Teiles genau bestimmt werden kann.

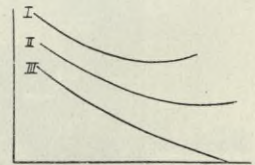
Abb. 897.



Schaltung der Lokomotiven Lauban-Königszell, Bergmann-
Elektrizitäts-Werke.

- K „Kompensations“-Wicklung
- Z Zusatzwicklung
- F Erregerwicklung
- A Anker
- T Abspanner.

Abb. 898.



Kennlinie zu Textabb. 897.

Die Leistungsziffer des Drehreglers muß durch Herabdrücken des Luftspaltes auf das mechanisch noch eben zulässige Maß möglichst hoch gehalten werden; die Wicklung soll so beschaffen sein, daß sich die Spannung bei Drehung des Abspanners gleichmäßig ändert.

Die beiden vorgenannten Steuerungen, die reine Stufenschaltung und diese in Verbindung mit Drehreglern, erfordern eine ziemlich verwickelte Einrichtung, die an Anschaffung und Erhaltung hohe Anforderungen stellt. Neben ihnen konnte daher die bisher bei der Regelung von Triebmaschinen wenig angewandte, lange bekannte und in ihren Grundzügen von Elihu Thomson angegebene Regelung durch Bürstenverdrehung wieder zur Geltung kommen. Sie wurde vornehmlich bei „Repulsions“-Triebmaschinen²⁶⁴⁾ angewendet, fand dann aber auch bei den Reihenschluß-Triebmaschinen für Einwellen-Wechselstrom Eingang. Hier erzielte besonders die Ausführung der Bergmann-
Elektrizitäts-Werke bei der Versuchslokomotive dieser Bauanstalt auf der Strecke Dessau-Bitterfeld so gute

²⁶⁴⁾ S. 695.

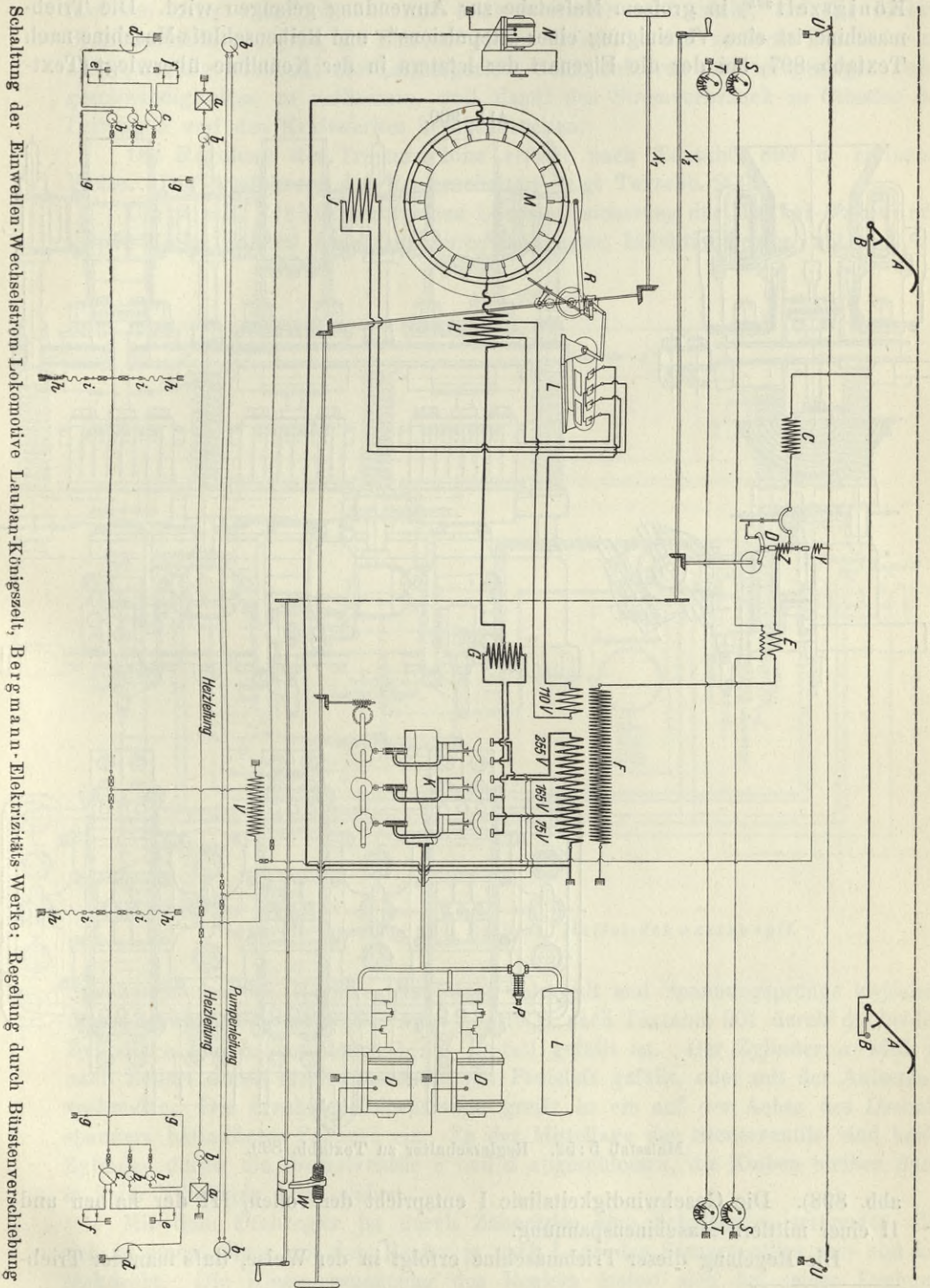
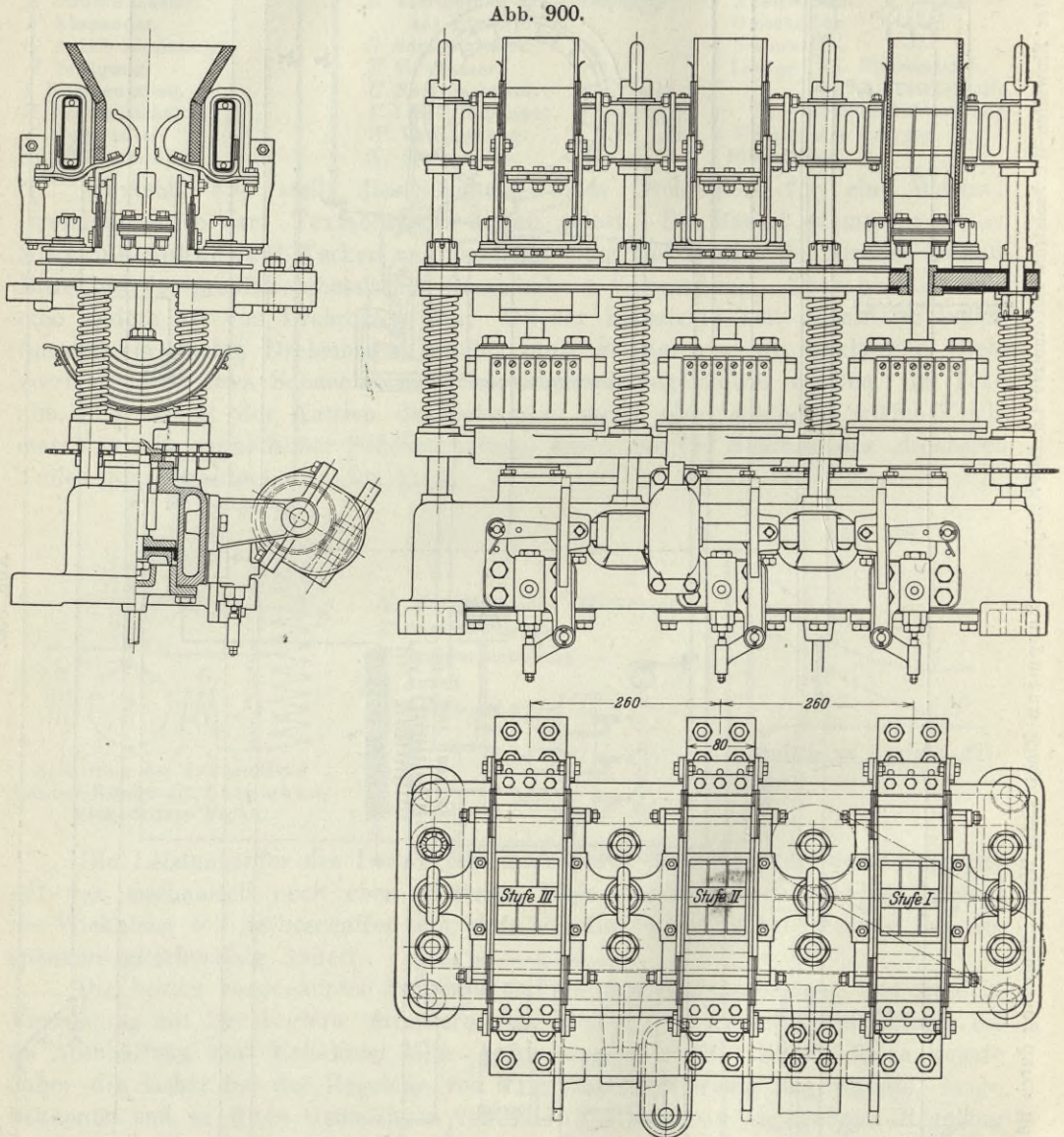


Abb. 899.

Schaltung der Einwellen-Wechselstrom-Lokomotive Lauban-Königsfeld, Bergmann-Elektrizitäts-Werke: Regelung durch Bürstenverschiebung

Ergebnisse, das sie bei den Lokomotiven der schlesischen Gebirgsbahn Lauban-Königszelt²⁶⁵) in großem Maßstabe zur Anwendung gelangen wird. Die Triebmaschine ist eine Vereinigung einer „Repulsions“- und Reihenschluß-Maschine nach Textabb. 897, bei der die Eigenart der letztern in der Kennlinie überwiegt (Text-



Maßstab 5 : 52. Reglerschalter zu Textabb. 899.

abb. 898). Die Geschwindigkeitslinie I entspricht der vollen, III der halben und II einer mittlern Maschinenspannung.

Die Regelung dieser Triebmaschine erfolgt in der Weise, das man der Trieb-

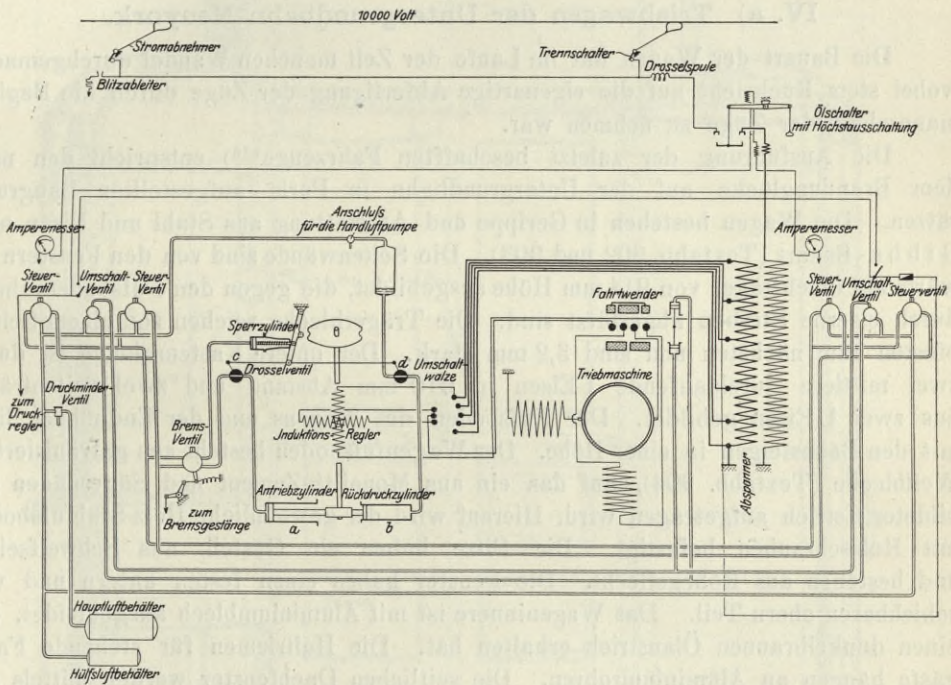
²⁶⁵) Elektrotechnische Zeitschrift 1912, S. 1060.

maschine zunächst die niedrigste Spannung zuführt, dann die Bürsten bis zur höchsten Lage vorschreibt, hierauf letztere wieder zurückzieht, auf die nächste Spannungstufe übergeht, die Bürsten wieder vorschreibt und so fort. Die Änderung der Spannung bezweckt die Leistungsziffer beim Anfahren und bei geringen Fahrgeschwindigkeiten zu verbessern, und damit den Stromverbrauch zu Gunsten der Leitungen und des Kraftwerkes herabzudrücken.

Die Regelung der Triebmaschine erfolgt nach Textabb. 899 in einfacher Weise. Die Ausführung des Reglerschalters zeigt Textabb. 900.

Die von R. Richter entworfene Lokomotivsteuerung der Maffei-Schwartzkopff-Werke benutzt gleichfalls einen Drehregler, Induktionsregler, mit dem die

Abb. 901.



Lokomotiv-Steuerung nach Richter, Maffei-Schwartzkopff.

Spannungstufen des Hauptreglers feiner unterteilt und Spannungsprünge zwischen diesen verhindert werden. Der Antrieb erfolgt nach Textabb. 901 durch die beiden Zylinder *a* und *b*, von denen *b* mit Preßöl gefüllt ist. Der Zylinder *a* wird je nach Bedarf durch die Steuerventile mit Preßluft gefüllt, oder mit der Außenluft verbunden. Die gezahnte Kolbenstange greift in ein auf der Achse des Drehspanners befindliches Zahnrad ein. In der Mittellage der Steuerventile sind beide Zylinder durch die Drosselventile *c* und *d* abgeschlossen, die Kolben bleiben dann in jeder beliebigen Lage stehen.

Mit dem Drehregler ist durch Zahnräder eine Schaltwalze verbunden, die sich in einem Sinne mit dem Regler je nach Lage des Steuerventiles vor- und zurückdreht. Die Klemmenspannung des Reglers ändert sich bei seiner Drehung nach dem Sinus-Gesetze vom größten negativen Werte, der Gegenspannung, durch

Null zum größten positiven Werte, der Zusatzspannung. Die Klemmenspannung der Triebmaschine ändert sich also stetig. Da die Spannung der jeweils höhern Reglerstufe durch die Zusatzspannung des Drehreglers erreicht wird, erfolgt das Überschalten zur nächsten Hauptstufe funkenlos. Der Antrieb mit Prefsluft wirkt etwas langsamer, als der elektrische.

E. IV. Beispiele ausgeführter Fahrzeuge für Stadt- und Haupt-Bahnen.

IV. a) Triebwagen der Untergrundbahn Neuyork.

Die Bauart der Wagen hat im Laufe der Zeit manchen Wandel durchgemacht, wobei stets Rücksicht auf die eigenartige Abfertigung der Züge durch die Begleitmannschaft der Züge zu nehmen war.

Die Ausführung der zuletzt beschafften Fahrzeuge²⁶⁶) entspricht den nach dem Brandunglücke auf der Untergrundbahn in Paris aufgestellten Baugrundsätzen. Die Wagen bestehen in Gerippe und Ausstattung aus Stahl und Eisen nach Gibbs-Bauart (Textabb. 902 und 903). Die Seitenwände sind von den Fenstern abwärts als Blechträger von 914 mm Höhe ausgebildet, die gegen den Fußbodenrahmen durch eiserne Streben abgestützt sind. Die Trägerbleche reichen von einem Seitenpfosten zum nächsten und sind 3,2 mm stark. Der untere Kastenrahmen ist durch zwei mittlere durchlaufende I-Eisen in 610 mm Abstand und zwei Seitenträger aus zwei L-Eisen gebildet. Der Fußboden des Wagens und der Endbühnen liegt mit den Bahnsteigen in einer Höhe. Der Wagenfußboden besteht aus galvanisiertem Wellbleche (Textabb. 904), auf das ein aus Monolith-Zement und Sägespänen gebildeter Estrich aufgetragen wird. Hierauf wird der gewöhnliche Holz-Stabfußboden mit Holzschrauben befestigt. Die Sitze haben ein Gestell aus Schweißeisen und bestehen aus Rohrgeflecht. Die Fenster haben einen festen untern und verschiebbaren obern Teil. Das Wageninnere ist mit Aluminiumblech ausgekleidet, das einen dunkelbraunen Ölanstrich erhalten hat. Die Haltriemen für stehende Fahrgäste hängen an Aluminiumrohren. Die seitlichen Dachfenster werden mittels gemeinsamer Hebel der Fahrriechtung nach geöffnet.

Der Zugang zum Wagen erfolgt durch zwei Endtüren und eine Mitteltür, die alle vom Schaffner bedient werden (Textabb. 846 und 850).

Das Dach hat ein Gestell aus L-Eisen mit Verbindungstücken aus schmiedbarem Gusse und eine Eindeckung aus getränktem, feuersicherm Eschenholze und darauf gelegter Verschalung aus Asbestmasse.

Schnellzüge aus zehn Wagen, darunter sechs Triebwagen, haben 41,2 km/St., Ortzüge aus fünf Wagen, darunter drei Triebwagen, 25,9 km/St mittlere Fahrgeschwindigkeit. Die Schnellzüge halten im Mittel alle 2315 m, die Ortzüge alle 730 m. Jede Zugart verfügt über eigene Gleise.

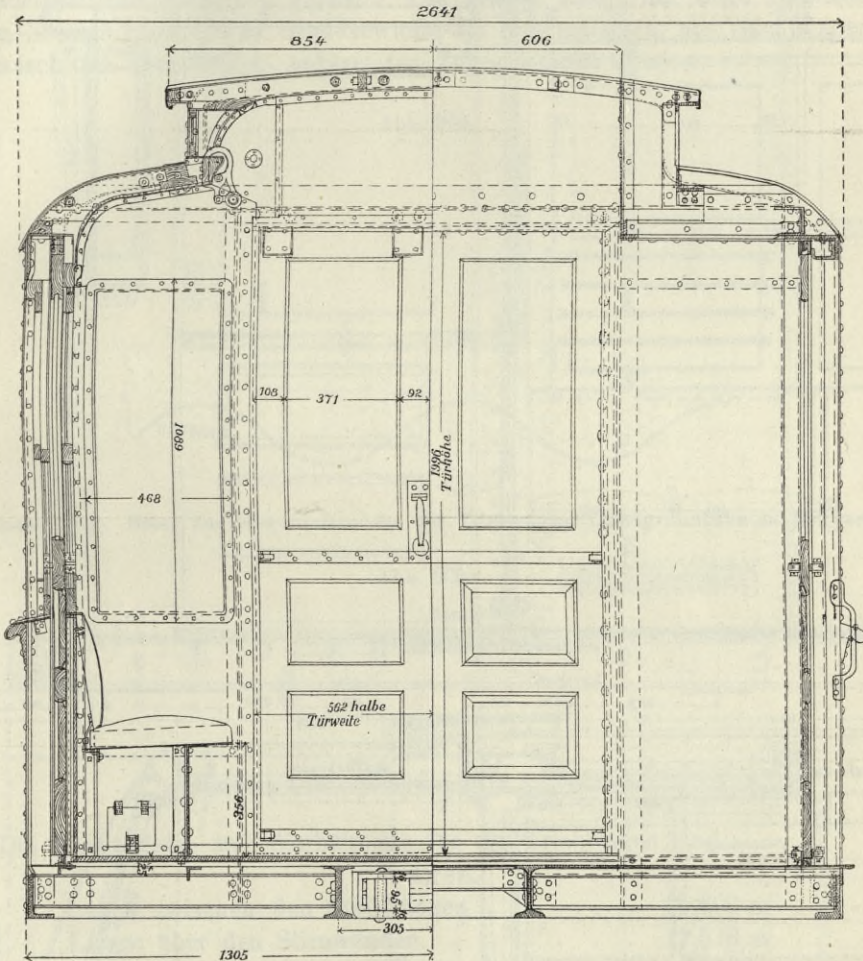
Die Triebmaschinen sind in Gleichstrom-Reihenschluß-Anordnung gebaut. An jedem Triebwagen sind zwei Triebmaschinen in einem Drehgestelle vereinigt. Die

²⁶⁶) S. 708.

einteiligen Maschinengehäuse bestehen aus Flusseisen, die Polschuhe sind geblättert. Die Magnetspulen sind aus hochkantigen Kupferstreifen gewickelt.

Außer den beiden Triebmaschinen hat jeder Triebwagen Zugsteuerung für Reihen-Neben-Schaltung mit 16 Einzelschaltern nebst einem Umschalter, je einen Führerschalter auf den beiden Führerständen, eine Vorrichtung zur selbsttätigen Fortrückung der Schalter entsprechend der Beschleunigung, ein durchgehendes

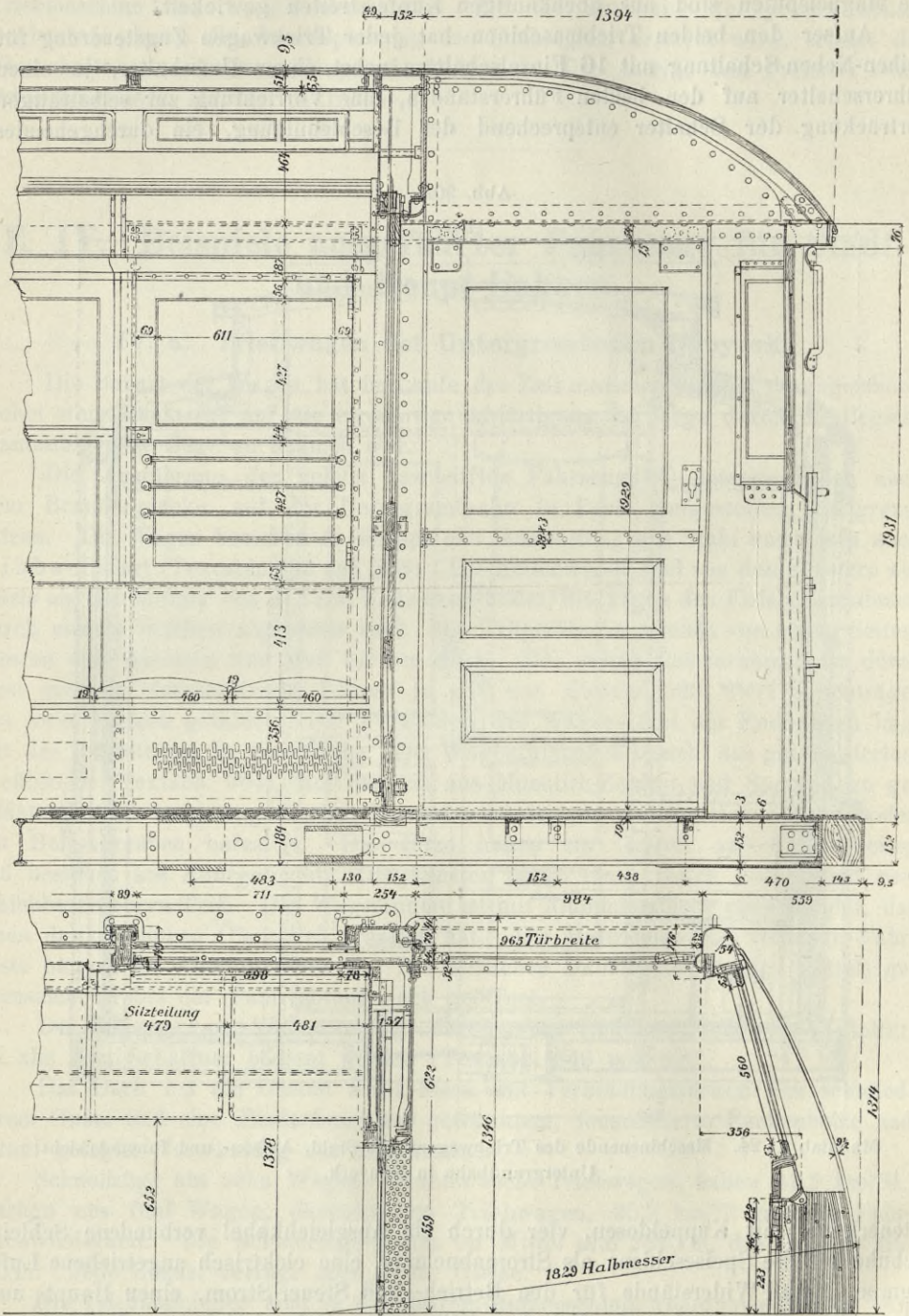
Abb. 902.



Mafsstab 1 : 24. Maschinenende des Triebwagens aus Stahl, Aufs- und Innen-Ansicht; Untergrundbahn in Neuyork.

Steuerkabel mit Kuppeldosen, vier durch ein Ausgleichkabel verbundene Schleifschuhe für die Speiseschiene als Stromabnehmer, eine elektrisch angetriebene Luftpumpe, Metall-Widerstände für den Betrieb- und Steuer-Strom, einen Haupt- und Steuerstrom-Unterbrecher, eine Haupt- und Steuerstrom-Schmelzsicherung, Verbindungskästen für die Wagenkabel, vollständige elektrische Beleuchtungs- und Heiz-Anlagen nebst zugehörigen Schaltern und Sicherungen.

Abb. 903.

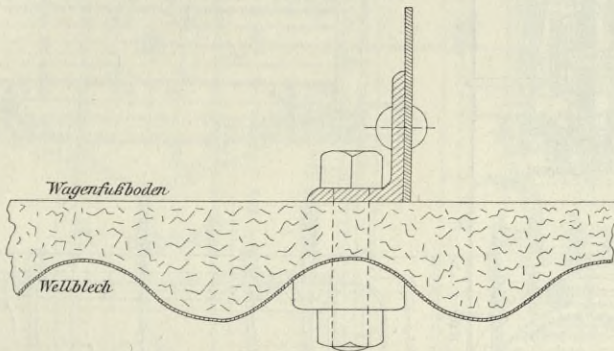


Mafstab 1:24. Triebwagen der Untergrundbahn in Neuyork.

Alle Vorrichtungen und Kabel sind aufserhalb des Wagenkastens angeordnet. Die Kabel sind zur Verringerung der Rauchgefahr mit einer Gummihülle von nur 1,6 mm Stärke und darüber mit einer Umklöppelung aus Baumwolle und einem Asbestüberzuge versehen. Die Kabel sind innen und aufsen in überfangenen Röhren geführt (Textabb. 905).

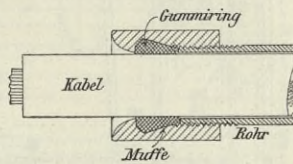
Die Kabelröhren ruhen in den entsprechend durchbohrten Querträgern des Wagenrahmens und sind, wo das nicht durchführbar war, mit eisernen Klammern am Rahmen befestigt. Die ganze Einrichtung wurde vor Inbetriebnahme mit Wechselstrom von 2000 Volt geprüft. Die größte Länge der Züge zwischen den Puffern beträgt rund 153 m. Das Gewicht des regelmäfsigen, aus zehn Wagen mit Triebmaschinen bestehenden, unbesetzten Zuges ist 295 t.

Abb. 904.



Mafsstab 1:2. Belag des Wagenfußbodens der Triebwagen, Untergrundbahn in Neuyork.

Abb. 905.



Mafsstab 1:3. Endigung eines Kabelschutzes.

Die Haupt-Mafse und -Verhältnisse für die Triebwagen sind:

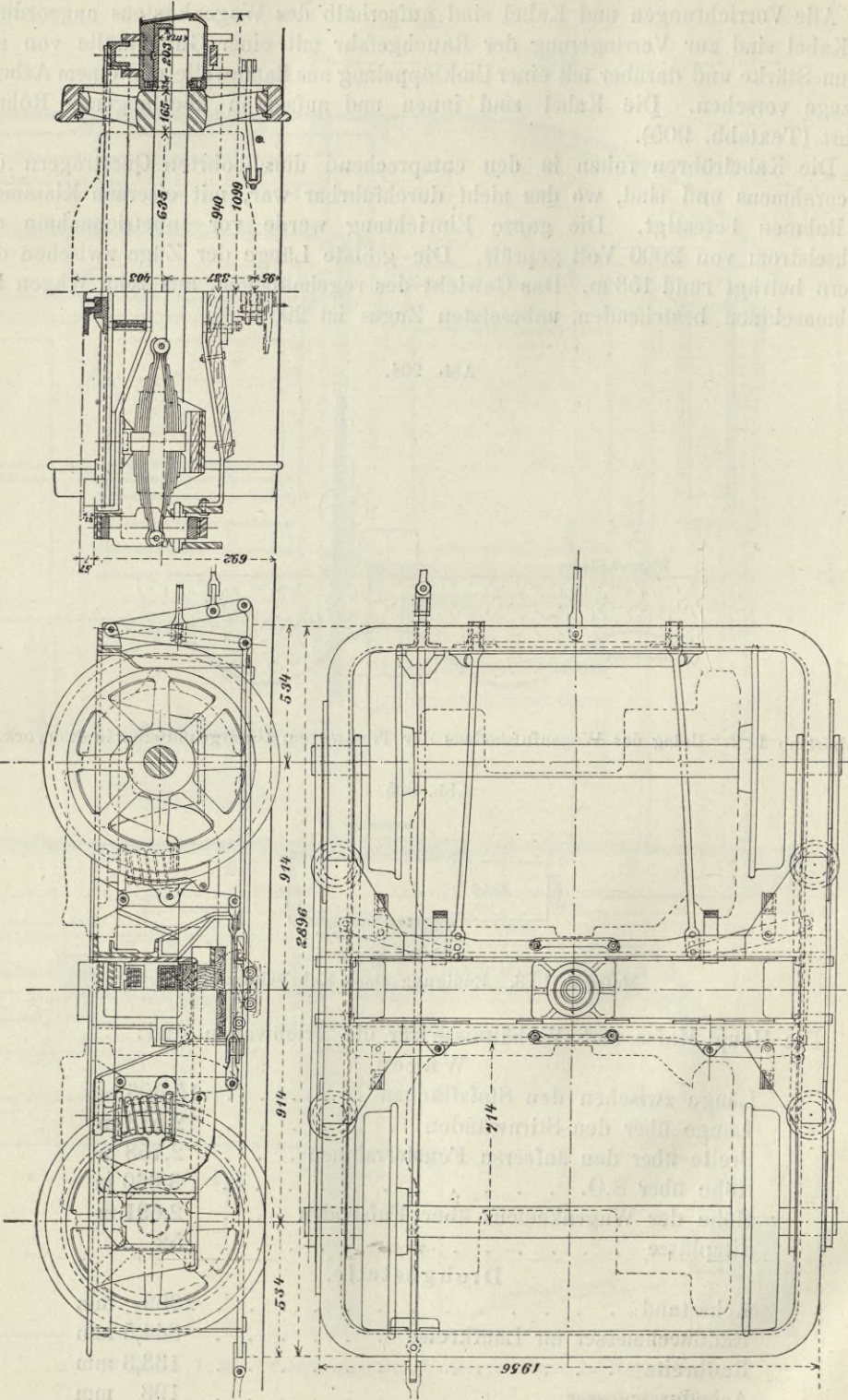
Wagen.

Länge zwischen den Stofsflächen	15,606 m
Länge über den Stirnwänden	12,518 m
Breite über den äußeren Fensterrahmen	2,758 m
Höhe über S.O.	3,660 m
Höhe des Wagenkastens über Fußboden	2,691 m
Sitzplätze	52

Drehgestelle.

Achsstand	2059 mm
Raddurchmesser im Laufkreise	844,5 mm
Radbreite	133,3 mm
Achsdurchmesser	198 mm

Abb. 906.



Mafstab 1 : 27. Triebgestell der Triebwagen der Untergrundbahn in Neuyork von Parshall.

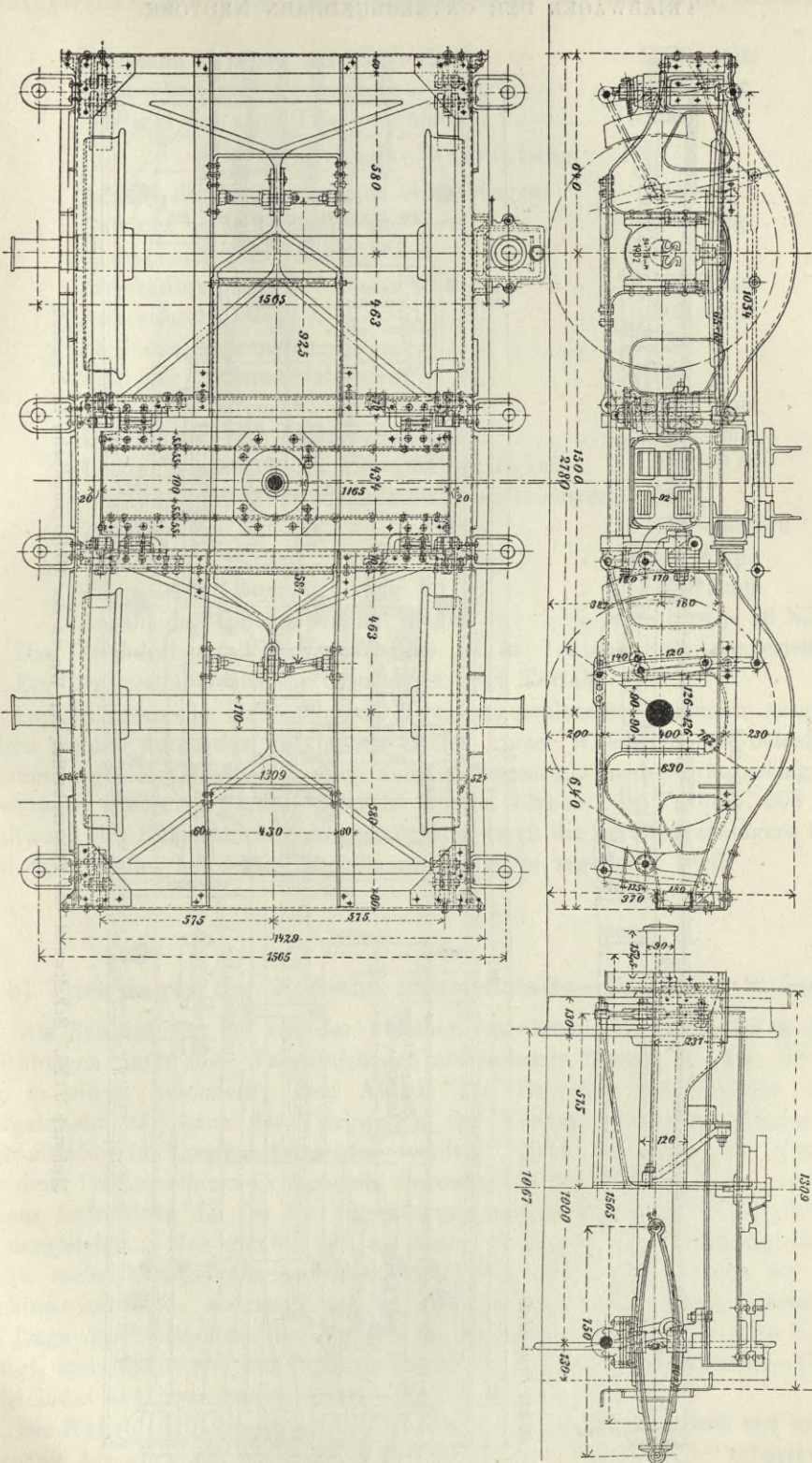


Abb. 907.

Maßstab 2 : 45. Drehgestell für ein Untergestell von 11m Länge, van der Zypen und Charlier.

Radstand zwischen den Radnaben	1270	mm
Gewicht ohne Triebmaschinen	5220	kg
Gewicht mit zwei Triebmaschinen	10570	kg

Elektrische Ausrüstung.

Anzahl der Triebmaschinen eines Wagens	2	
Gewicht einer Triebmaschine	2675	kg
Übersetzung der Zahnräder	19:63	
Zahnradbreite	133,3	mm
Ankerdurchmesser	508	mm
Zahl der Ankernuten	53	
Zahl der Stromwenderstreifen	159	
Breite des Stromwenders	251	mm
Durchmesser des Stromwenders	429	mm
Leistung bei 50 kg/St Fahrgeschwindigkeit	200	P.S.
Wirkungsgrad der Triebmaschinen nebst Triebwerk	89 ⁰ / ₁₀₀	
Zugsteuerung mit	16	Schaltern
Steuerstrom-Stärke	2,5	Amp.
Hauptstrom-Schmelzsicherung für	750	Amp.
Anzahl der Glühlampen im Wagen	26	zu je 16 N.K.

Das Triebdrehgestell dieses Wagens ist in Textabb. 906 dargestellt.

Ein Drehgestell deutschen Ursprunges zeigt Textabb. 907.

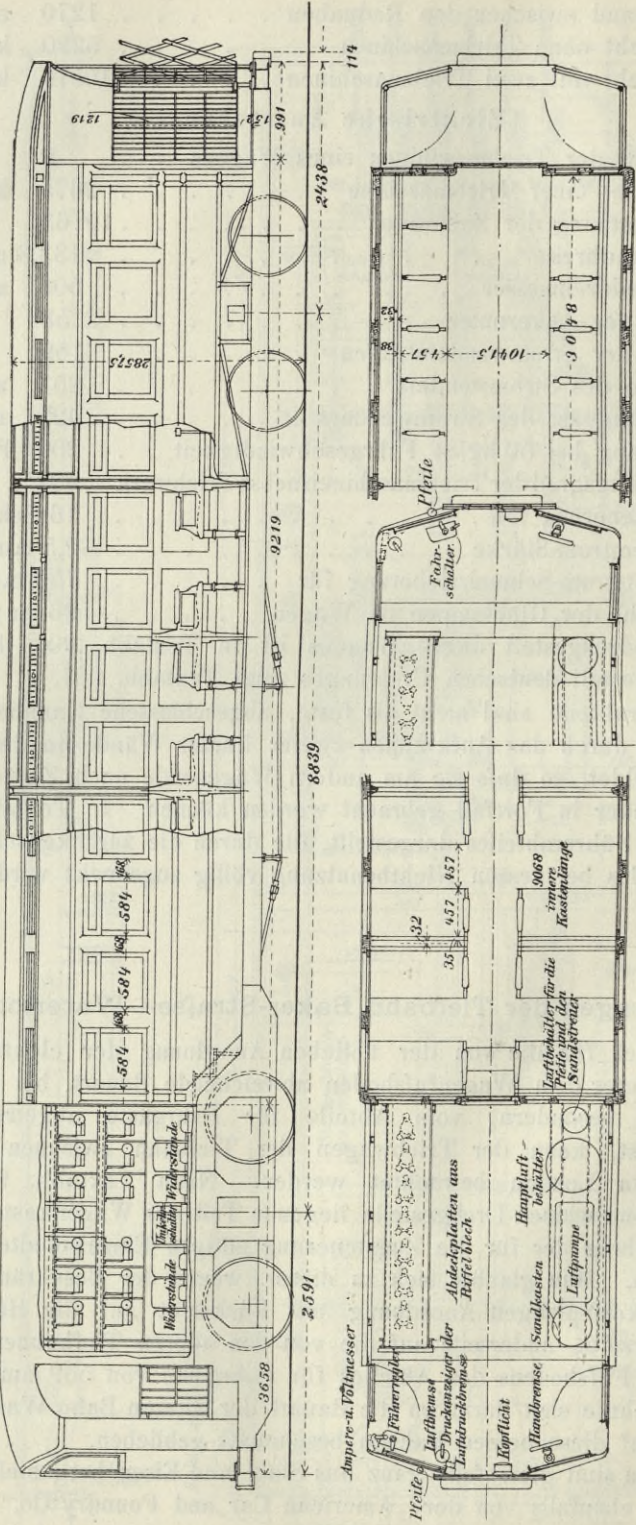
Die Führerabteile sind nicht als feste, abgeschlossene Kammern ausgeführt, sondern werden durch das Aufklappen zweier kurzer Wände in der betreffenden Wagenecke gebildet, so daß sie am andern Wagenende nach Zurückschlagen der Wandstücke wieder in Fortfall gebracht werden können. In Textabb. 908 ist die Schaltwand des Führerabteiles dargestellt, die durch die zurückgeschlagene Seitenwand des Abteiles bei dessen Nichtbenutzung völlig zugedeckt wird.

IV. b) Triebwagen der Tiefbahn Baker-Straße—Waterloo in London.

Als Beispiel für die von der üblichen Anordnung der elektrischen Schalteinrichtungen unter dem Wagenfußboden abweichende Bauart, bei der die Schaltung in einem besondern, vom Abteile für Fahrgäste abgetrennten Abteile untergebracht ist, kann der Triebwagen der Tiefbahn zwischen Waterloo und Baker-Straße in London betrachtet werden. Nach Textabb. 909 dient der über dem Triebmaschinen-Drehgestelle liegende Teil des Wagenkastens ausschließlich zur Aufstellung der für die Zugsteuerung nötigen Einzelschalter, Widerstände und dergleichen. Man glaubte sich zu dieser, wegen der Beschränkung des Sitzraumes recht kostspieligen Anordnung mit Rücksicht auf die Höhe der Triebmaschinen einerseits, andererseits auf die von den älteren Tiefbahnen übernommene tiefe Lage des Fußbodens des Abteiles für Fahrgäste von 559 mm über S.O. berechtigt, und lehnte sich darin an die Bauart der älteren Bahn Waterloo—City an. Sie ist indes auf diese beiden Bahnen beschränkt geblieben.

Die Wagen sind gleichfalls ganz aus Stahl und Eisen hergestellt und in dieser Beziehung den ebenfalls von der „American Car and Foundry Co.“ erbauten oben

Abb. 909.



Maßstab 1:72. Triebwagen der Untergrundbahn Baker-Strasse—Waterloo in London mit besonderm Schalterabteile.

Maßstab 1:105. Triebwagen der Veltlin-Bahn, Ganz und Co.

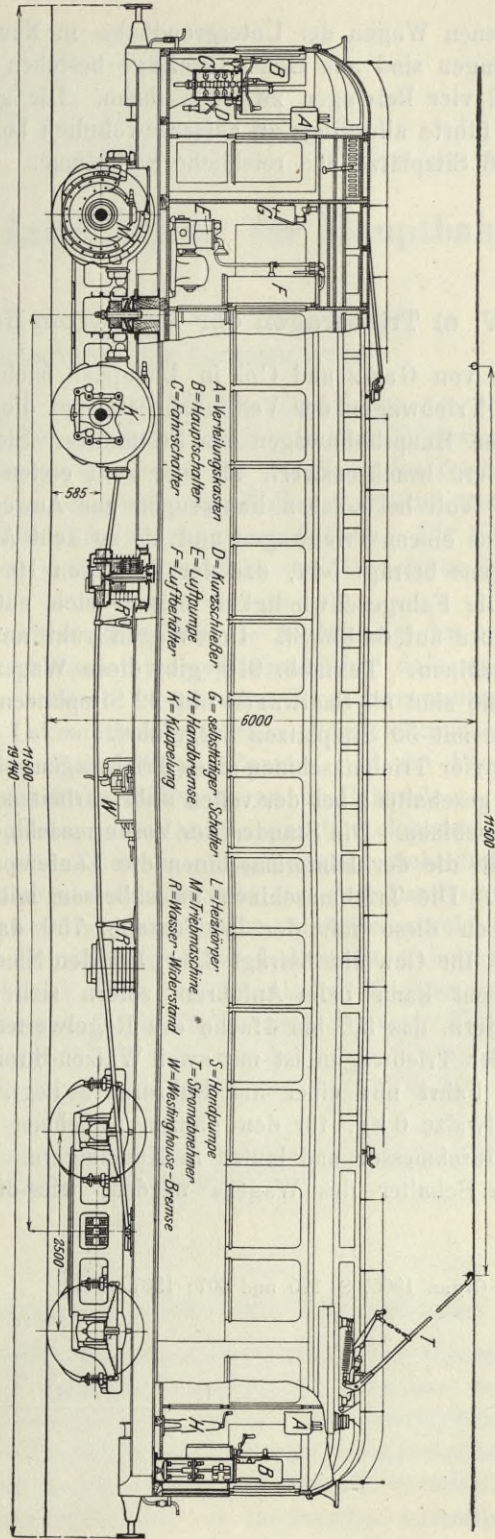
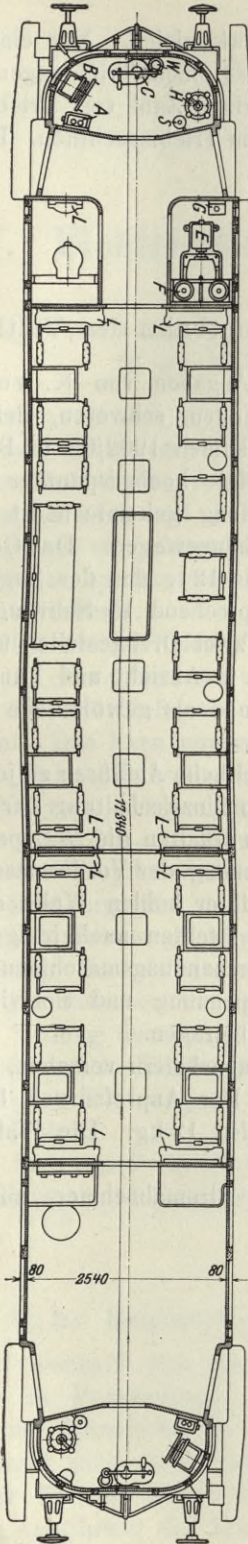


Abb. 910.

- A = Verteilungskasten
- B = Hauptschalter
- C = Feinschalter
- D = Kurzschließer
- E = Luftpumpe
- F = Luftverdräher
- G = selbsttätiger Schalter
- H = Handbremse
- K = Kuppelung
- L = Heizer
- M = Drehmaschine
- R = Wasser-Widerstand
- S = Handpumpe
- T = Stromabnehmer
- W = Waschkasten-Bremse

11500
29 740

11500

6000

585

11300

2500

2540

80

80

beschriebenen Wagen der Untergrundbahn in Neuyork gleich. Nur einige innere Verkleidungen sind aus Holz. Die Züge bestehen aus einem Triebwagen an jedem Ende und vier Beiwagen zwischen ihnen. Die geringe Zahl von Triebmaschinen im Zuge führte allerdings zu außergewöhnlich hohen Triebmaschinen. Der Wagen enthält 46 Sitzplätze und reichliche Stehräume.

IV. c) Triebwagen der Drehstrom-Hauptbahn des Veltlin.

Die von Ganz und Co. in Budapest nach Angaben von K. von Kando gebauten Triebwagen der Veltlinbahn²⁶⁷⁾ sind die ersten, schweren, elektrisch angetriebenen Hauptbahnwagen des Festlandes. Sie kamen 1902/03 in Betrieb und sind insofern beachtenswert, als hier zum ersten Male hochgespannter Drehstrom von 3000 Volt bei solchen Fahrzeugen zur Anwendung gekommen ist. Ein Zug besteht aus einem Triebwagen und bis zu acht Anhängewagen. Das Gewicht des Triebwagens beträgt 54 t, das der Beiwagen 10 bis 12 t, das des Zuges 140 bis 150 t. Die Fahrgeschwindigkeit beläuft sich entsprechend 15 Schwingungen des Drehstromes auf 64 km/St. Der Wagen ruht auf zwei Drehgestellen mit je zwei Triebmaschinen. Textabb. 910 gibt diese Wagen in Ansicht und Längsschnitten wieder; sie sind als Saalwagen mit 32 Sitzplätzen und als gewöhnliche Wagen für Fahrgäste mit 56 Sitzplätzen ausgeführt.

Die vier Triebmaschinen eines Triebwagens sind beim Anfahren zu je zweien in Kaskade geschaltet; bei der vollen Fahrt arbeiten in Einzelschaltung nur die beiden Vordermaschinen. Die Ständer der Vordermaschinen erhalten die Netzspannung von 3000 Volt, die der Hintermaschinen die Läuferspannung der Vordermaschinen von 300 Volt. Die Triebmaschinen umschließen mit ihrer hohlen Welle die Achsen und treiben diese mit der in Textabb. 750 dargestellten nachgiebigen Kuppelung an. Ihr Gewicht beträgt 3,8 t, bei den Niederspannungsmaschinen 3,6 t. Ihr Drehmoment kann beim Anfahren, sofern sich Spannung und Schwingungszahl nicht ändern, das 3,5 bis 4fache des Regelwertes betragen.

Jeder Triebwagen ist mit zwei Walzen-Stromabnehmern versehen, von denen bei der Fahrt nur einer am Fahrdrachte liegt. Der Anpreßdruck beträgt für jede Teilwalze 6 kg, für den ganzen Abnehmer also 12 kg. Die Walzen haben 80 mm Durchmesser und laufen in Kugellagern.

Die Schalter des Wagens werden, wie die Stromabnehmer, mit Preßluft bewegt.

²⁶⁷⁾ Organ 1905, S. 175 und 307; 1907, S. 14.

E. V. Elektrische Lokomotiven für Hauptbahnen.

V. a) Verwendung der Lokomotiven.

Solange man sich noch nicht ernstlich mit der Einrichtung des elektrischen Betriebes auf Hauptbahnen befaßte, hielt man hier nur den Triebwagenzug für geeignet zur Beförderung von Fahrgästen, weil er die Verteilung der Triebmaschinen auf den ganzen Zug und damit jedes gewünschte Reibungsgewicht und jede beliebige Zuglänge ohne besondere Maschinenfahrzeuge ermögliche. Die Verwendung der Lokomotive glaubte man auf Güter-, Anschluß- und Verschiebe-Bahnen beschränken zu müssen.

Man hat hierbei indes übersehen, daß sich die Einführung des elektrischen Betriebes auf Hauptbahnen nur streckenweise vollziehen läßt, daß man also die Züge an den Anschlußpunkten in ihrer bestehenden Zusammensetzung zu übernehmen hat. Das kann nur mit Lokomotiven geschehen. Die elektrischen Betriebe im Orleans-Bahnhofe in Paris, der Bahnhöfe der Zentral- und der Pennsylvania-Bahn in Neuyork und der Simplon-Bahn dienen hierzu als Beispiele.

Aber auch bei neu anzulegenden oder im Ganzen für elektrischen Betrieb umzubauenden Hauptbahnnetzen wäre Triebwagen-Zugförderung nicht durchführbar, da das Ineinandergreifen der durchgehenden Betriebe an den Landesgrenzen die Erhaltung der Fahrzeuge sehr erschwert, wenn nicht unmöglich macht. Auch ist die Erhaltung der elektrischen Einrichtungen bei Lokomotiven innerhalb eines einzelnen geschlossenen Unternehmens nicht teurerer, als bei Triebwagen.

Die Teilung der Hauptbahnzüge in häufig fahrende kleinere Einheiten und deren Förderung in Triebwagenzügen läßt sich wegen der im Hauptbahnverkehre unentbehrlichen Hilfswagen, wie Gepäck-, Schlaf- und Speise-Wagen gleichfalls nicht durchführen.

Der Bau von P- und S-Lokomotiven steht deshalb zur Zeit im Vordergrund der Bestrebungen im Baue elektrischer Hauptbahnen.

V. b) Baubedingungen für elektrische Lokomotiven.

Man verschafft sich gewöhnlich bei Dampflokomotiven eine Übersicht durch Einteilung in Personenzug- und Güterzug-Lokomotiven. Daneben besteht die Trennung der Hauptbahn- von Kleinbahn-Lokomotiven. Bei elektrischem Betriebe hat man wohl auch die für diese Einteilung maßgebende Fahrgeschwindigkeit als Richtschnur für die Bauart anzunehmen, doch liegen hier die Grundsätze für die allgemeine Anordnung der Triebmaschinen und des Triebwerkes wesentlich anders.

Schon durch den Fortfall der vom Kessel für den Leistungswert = Zugkraft \times Geschwindigkeit gezogenen Grenzen werden andere Baubedingungen geschaffen; dazu kommen die Verschiedenheiten in dem Auftreten der Trägheitskräfte und in den Laufgeschwindigkeiten der Triebmaschinen. Man wird bei elektrischen Lokomotiven sehr wohl dieselbe Bauart, von nicht grundsätzlichen Abweichungen abgesehen, für Personen- und Güter-Züge verwenden können.

Aus diesem Grunde sollen die Betrachtungen über die Bauart der elektrischen Lokomotiven für alle Gattungen gemeinsam angestellt, die Beschreibungen von Ausführungen aber gesondert werden.

b. 1) Baubedingungen für den mechanischen Teil.

Überblickt man die heutigen Bauarten von elektrischen Lokomotiven, so zeigt sich da schon ein ziemlich einheitliches Bild. Man stand lange unter dem Eindrucke, als ob das Augenmerk weniger dem Fahrzeuge, als der Triebmaschine zuzuwenden sei, indem man von der Voraussetzung ausging, daß die letztere wegen ihrer nur drehenden Bewegung jedem Fahrzeuge unabhängig von der Laufsicherheit alle Fahrgeschwindigkeiten ermöglichen müsse. Erst seitdem man gemäß den bei Dampflokomotiven gemachten Erfahrungen die Lauffähigkeit der elektrischen Lokomotiven in ernste Betrachtung gezogen hat, befindet sich die Entwicklung der elektrischen Lokomotiven für schweren Betrieb in gesunden Bahnen.

Diese Erkenntnis ist der Entwicklung des Baues elektrischer Lokomotiven durch die bei Unfällen gemachten Erfahrungen, sowie durch die Grenzen des technisch Möglichen aufgezwungen worden. Die ersten elektrischen Hauptbahn-Lokomotiven trugen den genannten Erwägungen noch nicht Rechnung. Die Schnellzug-Versuchs-Lokomotive der Paris-Lyon-Mittelmeer-Bahn, die Lokomotiven der Orleans-Bahn, der Stadtschnellbahnen in London, der Veltlin-, Simplon- und Neuyork-Zentral-Bahn, die teilweise erst aus dem letzten Jahrzehnt stammen, dienen hierfür als Beispiele.

Nicht die, bei elektrischen Fahrzeugen allerdings entbehrlichen, hin- und hergehenden Massen, sondern die bei ihnen ebenso, wie bei Dampflokomotiven auftretenden Kräfte zwischen Gleis und Rädern stören in erster Linie die Stetigkeit des Laufes und beeinträchtigen die Lauffähigkeit und Laufsicherheit des Fahrzeuges. Nur der Umstand, daß sich die zu diesen, dem Fahrzeuge von außen aufgezwungenen Schwingungen bei Dampflokomotiven als Folge der hin- und hergehenden Massen noch hinzutretenden Eigenschwingungen bei elektrischen Lokomotiven vermeiden, oder doch stark einschränken lassen, gibt dem elektrischen Fahrzeuge in Bezug auf Lauffähigkeit ein Übergewicht über seine älteren Vorgänger.

Trotzdem tritt auch bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen Häufung zwischen den eintretenden und abklingenden Schwingungen auf. Daß diese im Betriebe recht beträchtlich, ja bedenklich sein kann, haben neuere Versuche mit elektrischen Hauptbahnlokomotiven bewiesen. Durch sorgfältige Beachtung der für diese Erscheinungen geltenden mechanischen Grundsätze lassen sich solche Häufungen auf unschädliche Maße einschränken.

Die zwischen Gleis und Rädern auftretende Kräfte sind bei den Dampfloko-

motiven eingehend erörtert²⁶⁸). Diese Kräfte sind um so größer, je größer das Trägheitsmoment der die Drehbewegung um senkrechte Achsen ausführenden Massen des Fahrzeuges, je kleiner der Hebelarm der Abweisung der führenden Achse des Fahrzeuges durch diese Kräfte bezüglich der senkrechten Achse, je größer der Anlaufwinkel der Wellenlinie gegen die Schienenlaufkante, je größer also das Spiel der Achssätze zwischen den Schienen quer zur Gleisachse, je kleiner die Wellenlänge und je größer die Fahrgeschwindigkeit ist. Diese Verhältnisse können, ungünstig gestaltet, die Radflanschen durch Häufung der Schwingungen zum Aufsteigen, also das Fahrzeug zur Entgleisung bringen, anderseits die Schienenlage gefährlich stören.

Da der Einfluss der Fahrgeschwindigkeit mit deren Quadrate wächst, so wird er grade bei den hohen Geschwindigkeiten des elektrischen Betriebes besonders fühlbar. Daher müssen das Trägheitsmoment der Drehung um lotrechte Achsen und der Führungshebel besonders sorgfältig abgewogen werden.

Hierzu sind drei Werte von Bedeutung: die Anordnung und Lagerung der Achsen, die Größe des Trägheitsmomentes für die senkrechte und wagerechte Schwerachse und die Höhenlage des Schwerpunktes.

1. a) Einfluss der Anordnung und Aufhängung der Achsen.

Der Hebelarm, an dem die Kräfte zwischen Schiene und anlaufendem Rade die Masse des Fahrzeuges um die senkrechte Schwerachse²⁶⁹) drehen, hängt bei steifen Achsen vom Achsstande ab. Dieser ist also innerhalb der vom Halbmesser der Gleisbogen gezogenen Grenzen, besonders bei hoher Fahrgeschwindigkeit möglichst groß zu wählen; in zweiter Linie wirkt die Größe der Trägheitsmomente in demselben Sinne, namentlich bezüglich der lotrechten Schwerachse. Das Seitenspiel der Achsen soll zur Minderung des Schlingerns bei Lokomotiven tunlich eingeschränkt werden.

Einstellbare Vorderachsen erhalten Rückstellfedern, die umso größere Spannung haben müssen, je größer das Trägheitsmoment des Fahrzeuges ist. Lokomotiven mit nahe den Enden eingebauten Triebmaschinen (Textabb. 923) müssen deshalb besonders starke Rückstellfedern erhalten. Diese üben aber ein entsprechend größeres widerstehendes Drehmoment gegen die Schlingerkräfte aus, so dass die Neigung zum Schlingern und die Höhe der Schlingerkräfte nicht geringer ausfallen, als bei steifen Achsen. Dagegen werden die Schwingungen wegen der größern Trägheit der Massen länger andauern, sich also leichter häufen. Diese Bauart der Lokomotiven, die beispielsweise für die Wiesentalbahn in Aussicht genommen war, ist deshalb wenig empfehlenswert.

Dasselbe gilt von den reinen Drehgestellen und denen von Kraufs-Helmholtz, die ein tunlich kleines Trägheitsmoment erhalten. Daher wäre es verfehlt, die Drehgestelle mit Triebmaschinen zu beschweren, es sei denn, dass sie nicht allein zur Führung des Fahrzeuges neben sonst steif angeordneten Triebachsen dienen, und, wie bei den ersten Lötchberg-Lokomotiven, selbstständig das Laufwerk des Fahrzeuges bilden (Textabb. 911), und zudem noch dreiachsig sind.

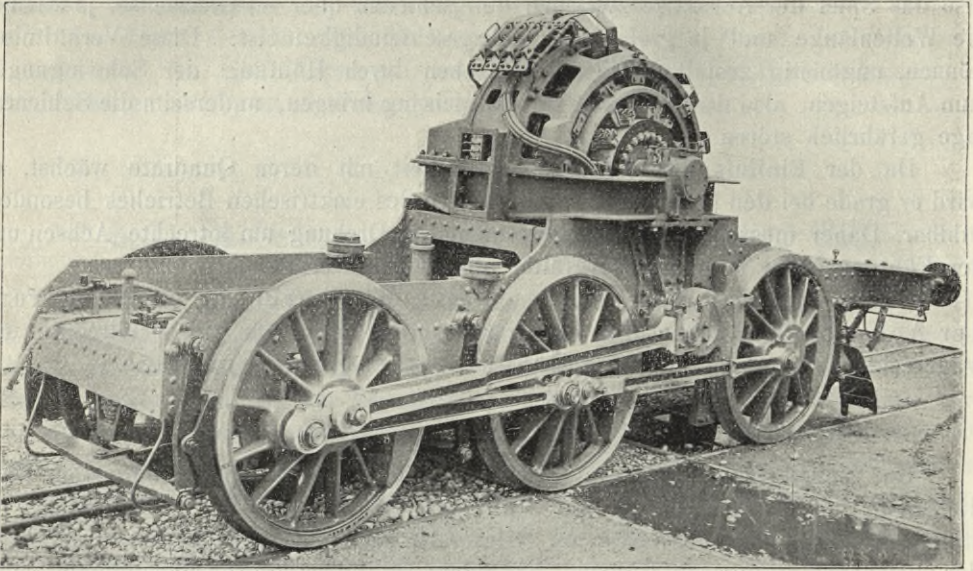
Der Vorteil, den die führenden Drehgestelle für schnell fahrende Lokomotiven

²⁶⁸) Band I, 3. Auflage, A. I. c) S. 138.

²⁶⁹) Organ 1913, S. 9, Stadtmüller; 1913, S. 104, Heumann; 1913, S. 373 Haug.

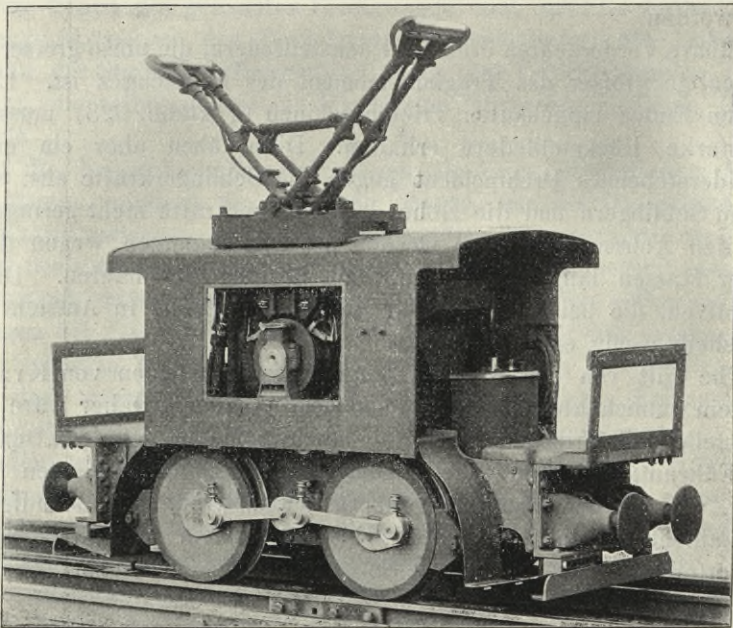
bieten, indem sie statt der Hauptmasse des Fahrzeuges die Schlingerbewegungen ausführen, kommt somit besonders bei kleinen Trägheitsmomenten des Fahrzeuges und Drehgestelles um die senkrechte Drehungsachse zur Geltung.

Abb. 911.



Drehgestell mit Triebmaschine, Lötchbergbahn, erste Lokomotive, Bauanstalt Oerlikon.

Abb. 912.



Schmalspurlokomotive für 620 mm Spur.

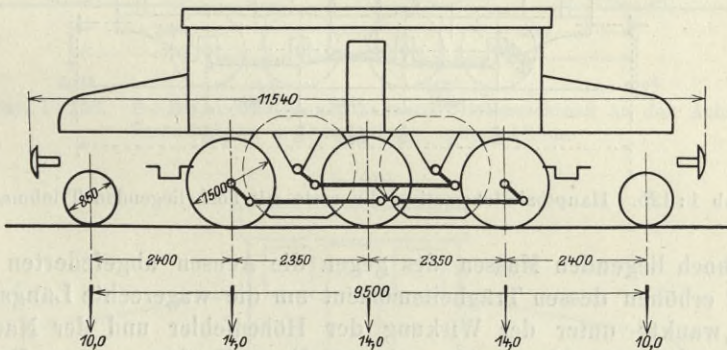
1. β) Einfluss der Größe des Trägheitsmomentes um die senkrechte Drehungsachse.

Das Trägheitsmoment des Fahrzeuges für die senkrechte Drehachse beeinflusst die Größe der zwischen Schiene und Rad auftretenden Seitenkräfte in geradem Verhältnisse. Man hat deshalb die Masse des Fahrzeuges in dessen Mitte anzuordnen, soweit die Verteilung der Achslasten das ermöglicht. Die unter 1. α) beanstandete Bauart der Lokomotive der Wiesenthalbahn ist nicht nur aus dem Grunde für hohe Geschwindigkeiten unbrauchbar, weil sie, wie dort angegeben, die Einstellbarkeit des führenden Drehgestelles durch die Spannung seiner Rückstellfeder stark beeinträchtigt, sondern auch mit Rücksicht auf die Lastverteilung. Die Drehgestelle werden trotz der hier besonders schweren Seitenrahmen im Betriebe eine unzulässig starke Belastung erhalten, um die die Triebachslasten geschmälert werden.

1. γ) Einfluss der Höhenlage des Schwerpunktes.

Wie man die hohe Lage des Schwerpunktes beim Baue von Dampflokomotiven lange Zeit als unvermeidliches Übel ansah, zu dem die stetig zunehmende Kesselgröße führte, so betrachtete man die beim Bauen elektrischer Lokomotiven beste-

Abb. 913.



Maßstab 1 : 125. 1 C 1. II-Lokomotive, Simplon-Bahn.

hende Verwendbarkeit starker Triebmaschinen mit kleinen Abmessungen als besonders Vorteil, da sie ermöglichte, den Schwerpunkt der Maschinen tief zu legen.

Damit traten aber bei den höheren Fahrgeschwindigkeiten Unzuträglichkeiten auf. Es zeigte sich, daß die tiefe Schwerpunktlage zu sehr hohen seitlichen Schienendrücken führte. In einigen Fällen, so beispielsweise 1907 auf der Neuyork-Zentral-Bahn, bei deren Lokomotiven²⁷⁰⁾ der Schwerpunkt nur 1125 mm über S.O. liegt, kam es zu Zerstörungen des Gleises und folgenschweren Entgleisungen. Selbst die neueren Lokomotiven der Simplonbahn haben noch ziemlich tiefe Lage des Schwerpunktes (Textabb. 913).

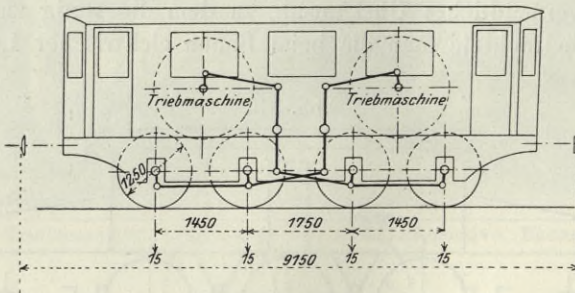
War es bei leichteren Fahrzeugen nur aus Gründen des Baues nötig gewesen, von der Tieflegung der Triebmaschinen abzugehen, indem es unmöglich war, sie bei kleinen Spurweiten zwischen die Triebräder zu bringen²⁷¹⁾, so lag

²⁷⁰⁾ Glasers Annalen, 1909, Nr. 770, S. 22 und 23.

²⁷¹⁾ Hierfür kann Textabb. 912 als Beispiel dienen, die eine vom Verfasser 1894 gebaute

zwar ein solcher Grund wohl auch noch bei schweren Hauptbahnlokomotiven vor, doch erwuchs deren Erbauern zugleich die Aufgabe, nachzuweisen, daß mit der Hochlegung der Triebmaschinen nicht nur keine Nachteile, sondern vielmehr erhebliche Vorzüge verbunden waren. Die erste in dieser Weise ausgebildete Hauptbahnlokomotive mit hochliegenden Triebmaschinen²⁷²⁾ entwarf Verfasser im Frühjahr 1902. Textabb 914 stellt diese Lokomotive in den wesentlichen Zügen dar. Sie wurde auf eine allgemeine Ausschreibung für die Erweiterung des Betriebes der Veltlin-Bahn entworfen und war mit zwei Dehstrom-Triebmaschinen für 3000 Volt Fahrdrachtspannung und 64 km/St Fahrgeschwindigkeit versehen. Der Entwurf zeigt noch manche Unvollkommenheiten in der Ausbildung des Triebwerkes. Trotz der eingehenden Begründung des Vorzuges der hohen Lage des Schwerpunktes begegnete diese Bauart eben ihretwegen in den maßgebenden Kreisen gewissen Bedenken, so daß das Angebot, abgesehen von Gründen geschäftlicher Art, nicht zur Ausführung gelangte.

Abb. 914.



Maßstab 1:125. Hauptbahnlokomotive, die erste mit hoch liegenden Triebmaschinen.

Die hoch liegenden Massen des gegen die Achsen abgefederten Teiles des Fahrzeuges erhöhen dessen Trägheitsmoment um die wagerechte Längsachse. Das Fahrzeug „wankt“ unter der Wirkung der Höhenfehler und der Nachgiebigkeit des Gleises. Die hoch liegende Masse leistet diesen Kräften weniger Folge, so daß die Querbewegungen kleiner ausfallen, also Gleis und Fahrzeug geschont werden. Außerdem wird hierdurch die Wirkung der das Schlingern hervorrufenden Kräfte gemildert, indem die hierbei in Betracht kommenden Trägheitskräfte dieser Massen von den Achsfedern aufgenommen werden. Diese Eigenschaft des Fahrzeuges muß also auch bei der Betrachtung des Schlingerns als mildernd in Betracht gezogen werden.

Da nun hohe Lage des Schwerpunktes auch noch auf die Raddrücke in Gleisbogen günstig einwirkt²⁷³⁾, muß sie als Grundlage für den Bau schwerer Hauptbahnlokomotiven für hohe Fahrgeschwindigkeiten bezeichnet werden.

Lokomotive für 620 mm Spur darstellt. Die Triebmaschine arbeitet mit Zahnradübersetzung auf eine Zwischenachse, die mit den Triebachsen durch Kuppelstangen verbunden ist.

²⁷²⁾ Solche Triebmaschinen nannte Verfasser seiner Zeit „Gestellmotoren“, da sie im Lokomotivgestelle untergebracht wurden.

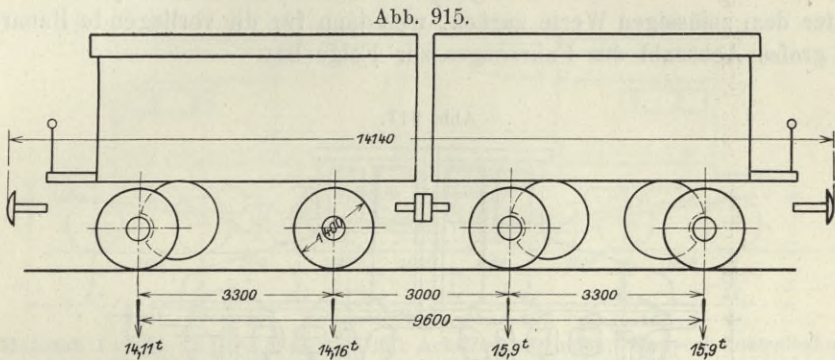
²⁷³⁾ Glasers Annalen 1909, Nr. 770, S. 24.

b. 2) Baubedingungen für den elektrischen Teil.

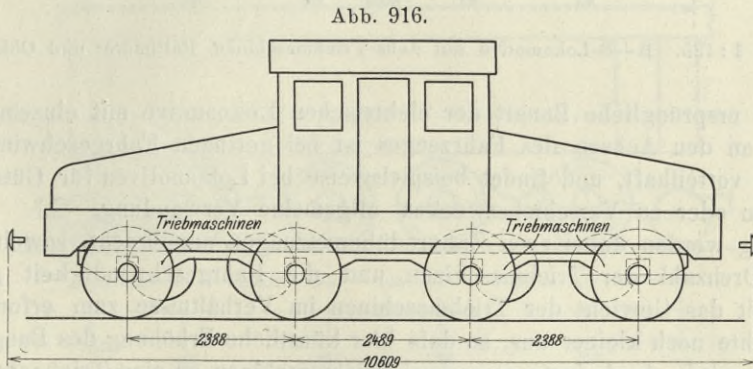
2. a) Einzel-Triebmaschinen an den Achsen.

a. A) Triebmaschinen mit Zahnradübersetzungen.

Den Ausgangspunkt für die Entwicklung der elektrischen Lokomotive, bezüglich der Anordnung der Triebmaschinen bietet der Triebwagen. Die Triebmaschinen liegen in einem zwei- oder vierachsigen Fahrzeuge in der üblichen Weise an den Triebachsen, diese mit ein- oder zweifacher Zahnradübersetzung antreibend. Textabb. 915 und 916 stellen Grundformen solcher Lokomotiven dar. Man ordnete so viele Achsen an, wie man Triebmaschinen brauchte, für die bei dieser Anordnung



Mafsstab 1 : 150. B+B-Lokomotive mit Zahnrad-Triebmaschinen an den Achsen, Versuchsbahn in Oranienburg, später Altona.



Mafsstab 1 : 125. BB-Lokomotive mit Zahnrad-Triebmaschinen an den Achsen, französische Orleansbahn.

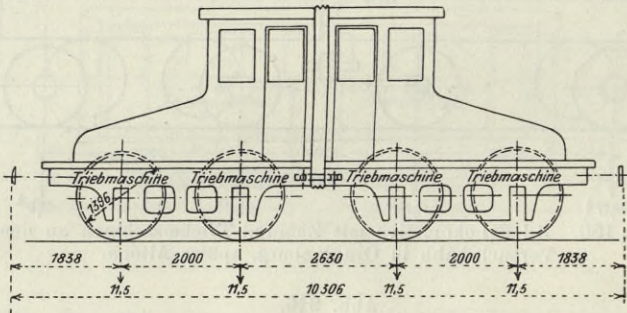
die Aufsenmafse durch die Spurweite vorgeschrieben waren. Das Verhältnis des aus dem Baugewichte folgenden Achsdruckes zu dem der Zugkraft der Triebmaschinen entsprechenden Triebachsdrucke fiel < 1 aus, so dafis zu künstlicher Belastung oder überflüssig starker Bauart unter Verwendung schwerer Baustoffe gegriffen werden mußte.

Hier zeigen sich schon zwei einschneidende Unterschiede gegen die Dampflokomotive. Die elektrische Triebmaschine in der üblichen Reihenschaltung leistet vorübergehend, beispielsweise beim Anfahren und in steilen Rampen, ein mehrfaches

des regelmässigen Drehmomentes, die Dampfmaschine ist an einen Höchstwert gebunden; ferner verfügt die Dampflokomotive über ein Baugewicht, das über das der Zugkraft der Maschine entsprechende Triebgewicht weit hinausgeht. Dieser Überschuss kann bei hohen Fahrgeschwindigkeiten zu laufsicherer Ausgestaltung ihres Laufwerkes ausgenutzt werden.

Bei geringeren Fahrgeschwindigkeiten, also Verwendung einer Zahnradübersetzung, kann man sogar zur Ausnutzung der grösstzulässigen Achslast von 17 t für die Zugkraft noch eine elektrische Einzel-Triebmaschine bauen, doch reicht deren Gewicht zuzüglich des auf die Achse entfallenden Teiles des Fahrzeuggewichtes nicht an diese Achslast heran. Erst bei hohen Fahrgeschwindigkeiten und Verringerung oder Fortfall der Zahnradübertragung, je nach der zulässigen Drehzahl der Triebmaschine, bleibt die der Zugkraft der Triebmaschine entsprechende Achslast hinter dem zulässigen Werte zurück, was dann für die vorliegende Bauart eine unnötig grosse Achszahl des Fahrzeuges zur Folge hat.

Abb. 917.



Mafsstab 1:125. B+B-Lokomotive mit Achs-Triebmaschinen, Baltimore- und Ohio-Bahn.

Diese ursprüngliche Bauart der elektrischen Lokomotive mit einzelnen Triebmaschinen an den Achsen des Fahrzeuges ist bei geringen Fahrgeschwindigkeiten heute noch vorteilhaft, und findet beispielsweise bei Lokomotiven für Güterbahnen, Werkbahnen oder zu Verschiebezwecken allgemeine Verwendung.

Häufig werden dabei zwei Zahnradübersetzungen angebracht, soweit das die zulässige Drehzahl der Triebmaschinen und die Fahrgeschwindigkeit gestatten. Hierbei fällt das Gewicht der Triebmaschinen im Verhältnisse zum erforderlichen Triebgewichte noch kleiner aus, so dass hier künstliche Erhöhung des Baugewichtes unerlässlich wird. Auch legte man zwei Triebmaschinen an eine Triebachse, indem man sie in verschiedene Mittellinien zu dieser stellte. Diese Bauart führte die Neuhausen-Bahn, Newyork, bei P-Lokomotiven aus²⁷⁴⁾.

Eine weitere Erhöhung der Zugkraft der Lokomotive konnte bei dieser Anordnung der Triebmaschine nur durch weitere Vermehrung der Triebachsen erreicht werden, da die Vergrößerung der Triebmaschine durch den freien Raum im Achssatze begrenzt wird. Man hat diesen Weg indes nur unter Verdoppelung des Fahrzeuges beschritten, um den steifen Achsstand nicht zu groß zu machen. Solche Doppellokomotiven wurden beispielsweise bei der Baltimore- und Ohio-Bahn

²⁷⁴⁾ Electric Railway Journal 1912, Band XXXIX, S. 271.

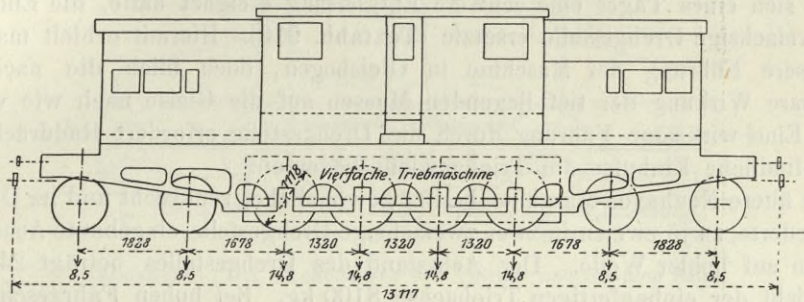
für die Beförderung der Züge von einem Bahnhofe der Stadt Baltimore zum andern durch einen Tunnel in Betrieb gesetzt.

Hiermit dürfte die Ausbildung dieser Bauart bezüglich der Zugkraft die obere Grenze erreicht haben. Die große Anzahl von Triebmaschinen macht die Lokomotive unübersichtlich und in der Beschaffung und Unterhaltung teuer. Auch erfordert ein solches Fahrzeug wegen seiner großen Länge viel Platz auf dem Gleise, was sich in Bahnhöfen und im Verschiebedienste besonders fühlbar macht.

a. B) Triebmaschinen an den Achsen ohne Zahnradübersetzung.

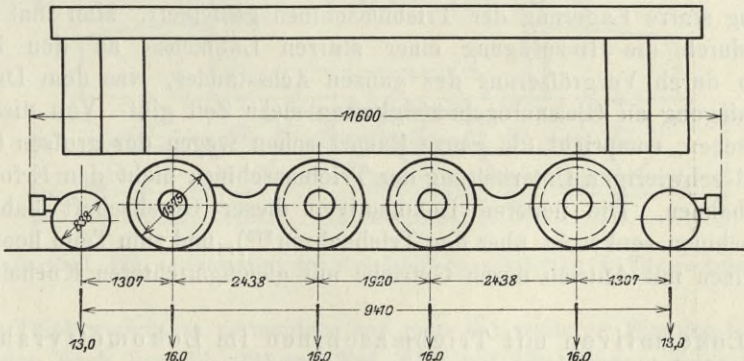
Lokomotiven mit Zahnrad-Triebmaschinen an den Achsen kommen wegen der hohen Zahnsgeschwindigkeiten, schwierigen Unterhaltung des guten Zahneingriffes

Abb. 918.



Mafsstab 1 : 125. 2 D 2-Lokomotive mit Achstriebmaschinen, Neuyork-Zentralbahn, erste verbesserte Bauart.

Abb. 919.



Mafsstab 1 : 125. 1 B 1 elektrische Lokomotive von Batchelder, Neuyork-Neuhaven-Bahn.

und der großen Zahnbreiten für hohe Fahrgeschwindigkeiten überhaupt nicht in Betracht. Solche mit Achsen-Triebmaschinen sind mehrfach ausgeführt worden. Diese Anordnung, für die die älteren Lokomotiven der Baltimore und Ohio-Bahn (Textabb. 917) bezeichnende Beispiele bilden, haben sich wegen der schwierigen Ausbesserungen und großen Zahl von Triebmaschinen nicht einbürgern können. Sie blieben auf wenige Anlagen beschränkt und fanden ihre bedeutendste Ausführung bei den für Fahrgeschwindigkeiten von 100 bis 120 km/St gebauten Lokomotiven der Neuyork-Zentral-Bahn (Textabb. 918) und der Neuyork-Neuhaven-Bahn (Textabb. 919). Bei ersterer sind die vier Gleichstrom-Triebmaschinen

nach Angabe von C. Batchelder mit dem Lokomotivrahmen elektrisch oder vielmehr magnetisch verquickt (Textabb. 743, S. 677). Ihr Magnetgestell ist für alle vier Anker gemeinsam aus einem Stücke hergestellt, der magnetische Kraftlinienfluß durchsetzt alle vier Maschinen der Reihe nach. Hieraus ergab sich nun trotz der vier Triebachsen ein Achsstand von nur 4,0 m, so daß bei der durch die Inneneinrichtung gegebenen Länge des Oberteiles von 10,5 m eine weitere Lagerung der Maschine an den Enden nötig wurde. Man nahm hierzu ein einachsiges Drehgestell mit Deichsel, wie es bei den Schnellzug-Dampflokomotiven der Gesellschaft bereits in Gebrauch war. Die Anhäufung der großen Masse der Triebmaschinen auf einer so geringen Länge und die tiefe Lage des Schwerpunktes der ganzen Lokomotive von 1125 mm über S.O. erwiesen sich für die Fahrt durch die Gleiskrümmungen bei hohen Fahrgeschwindigkeiten als recht unheilvoll, so daß man, nachdem sich eines Tages eine schwere Entgleisung ereignet hatte, die Endachsen durch zweiachsige Drehgestelle ersetzte (Textabb. 918). Hiermit erhielt man zwar eine bessere Führung der Maschine in Gleisbogen, doch blieb die nachteilige unmittelbare Wirkung der tief liegenden Massen auf die Gleise nach wie vor bestehen. Eine wirksame Führung durch die Drehgestelle erfordert Raddrücke, die eine empfindliche Einbuße am Triebgewicht bedeuten.

Die ältere Neuhaben-Maschine besitzt gewöhnliche, senkrecht und im Drehungsinne gefederte, zu je zweien in zwei zweiachsige Drehgestelle eingebaute Achs-Triebmaschinen auf hohler Welle. Der Achsstand des Drehgestelles beträgt 2438 mm, das Gewicht der einbaufertigen Triebachse 8100 kg. Bei hohen Fahrgeschwindigkeiten machte sich eine erhebliche Neigung des Drehgestelles zu Schwingungen und zum Schlingern geltend. Die Masse der Triebmaschine ergibt ein großes Trägheitsmoment, die Seitendrucke gegen die Schienen werden durch die in der Querrichtung starre Lagerung der Triebmaschinen gesteigert. Man hat die Lauf-sicherheit durch die Hinzufügung einer starren Laufachse an den Kopfseiten erhöht, also durch Vergrößerung des ganzen Achsstandes, was dem Drehgestelle zur Anschmiegun an Gleisunregelmäßigkeiten mehr Zeit gibt. Von diesen Nachteilen abgesehen, entspricht die ganze Bauart schon wegen der großen Unzugänglichkeit und schwierigen Unterhaltung der Triebmaschinen nicht den Erfordernissen von Hauptbahnen. Die neueren Lokomotiven dieser Gesellschaft haben Zahnradtriebmaschinen senkrecht über den Triebachsen²⁷⁵⁾, und zum Teile hoch liegende Triebmaschinen mit Antrieb durch Getriebe mit gleichgerichteten Kurbeln²⁷⁶⁾.

2. β) Lokomotiven mit Triebmaschinen im Lokomotivrahmen.

β. A. Lokomotiven mit tief liegenden Triebmaschinen.

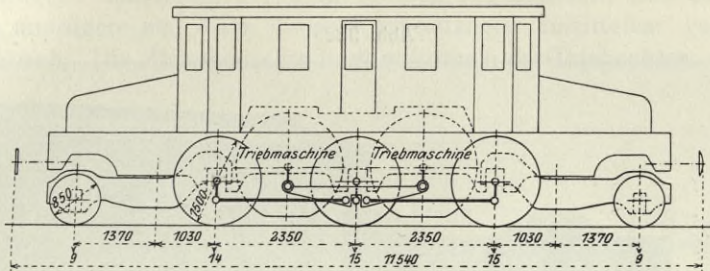
Zahnradübersetzungen können bezüglich der Übertragung der Drehkräfte auf die Triebachsen bei Lokomotiven für hohe Fahrgeschwindigkeiten auch dadurch umgangen werden, daß man die Triebmaschinen außerhalb des Achssatzes anordnet, und die Übertragung ihrer Bewegung auf die Triebachse mit Schubstangen bewirkt. Diese Bauart ist bei Triebwagen und Lokomotiven schon 1890 von Eickemeier und anderen angegeben worden (Textabb. 751, S. 686). Sie wurde neuerdings wieder bei den neuen Lokomotiven der Veltlin-Bahn und der Simplon-Bahn angewandt

²⁷⁵⁾ Electric Railway Journal, 1910, Band XXXV, S. 829.

²⁷⁶⁾ Electric Railway Journal, 1910, Band XXXV, S. 830.

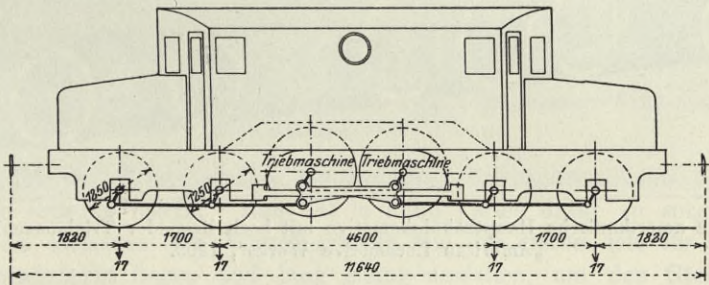
(Textabb. 920, Taf. XVII und XIX). Um hier auch in der Maschinenhöhe an Platz zu gewinnen, hat man die Mitte der Triebmaschine etwas über die der Triebachsen gelegt. Damit wurde dann auch eine Versetzung der Lagerköpfe in der Kuppelstange nötig. Der Antrieb der Mittelachse erfolgt durch ein entsprechend der Rahmenfederung senkrecht verschiebbares Lager in der Kuppelstange selbst, der der Außenachsen durch besondere mit letzterer verbundene Kuppelstangen. Die Laufachsen an den Enden des Fahrzeuges wurden auf besonderes Verlangen der Mittelmeerbahn angeordnet und sind mit den ihnen benachbarten Triebachsen zu Drehgestellen der Bauart Kraufs verbunden. Um den hierdurch entstehenden empfindlichen

Abb. 920.



Mafsstab 1:125. Lokomotive der Veltlin- und Simplon Bahn.

Abb 921.



Mafsstab 1:125. Lokomotive der Simplon-Bahn mit Klien-Lindner-Achsen.

Verlust an Triebgewicht zu vermeiden, hat man die weiteren Simplon-Lokomotiven an den Enden nach Textabb. 921 und Taf. XIX mit einstellbaren Kuppelachsen von Klien-Lindner²⁷⁷⁾ versehen; man konnte damit zugleich eine Achse sparen. Die beiden Triebmaschinen konnten in der hier getroffenen Anordnung stark genug gehalten werden, um an Zugkraft dem höchstzulässigen Achsdrucke von je zwei Triebachsen zu entsprechen. Diese Anordnung erfordert einen unvorteilhaft großen mittlern Achsstand und leidet ebenfalls an der nachteiligen Wirkung tiefer Lage des Schwerpunktes.

Diese Veltlin-Simplon-Bauart fand auch bei den Lokomotiven des Giovi-Tunnels²⁷⁸⁾ Anwendung (Textabb. 931). Sie bedeutet eine erhebliche Verbesserung

²⁷⁷⁾ Band I, 3. Auflage, S. 461, 462, Textabb. 519, 520.

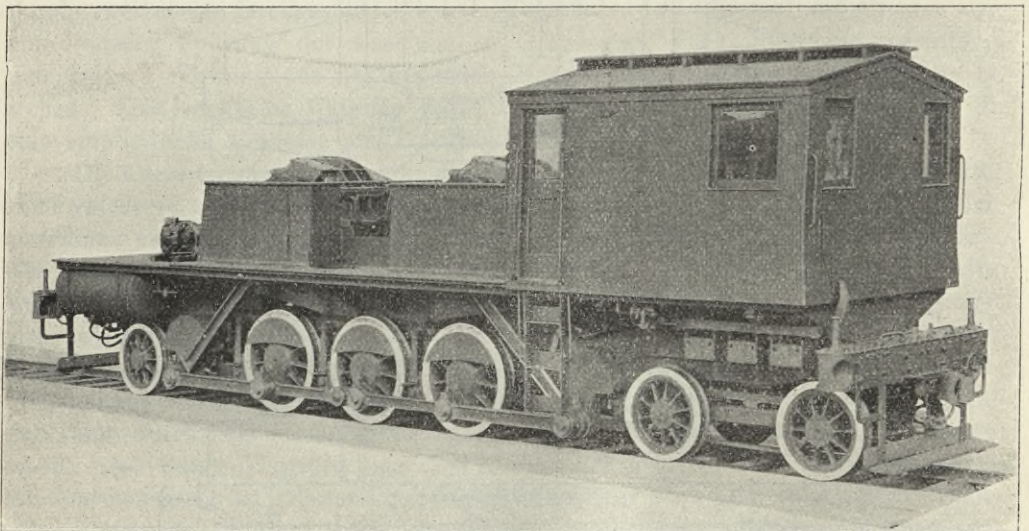
²⁷⁸⁾ Siehe V. c) Nr. 5) S. 867.

gegen die ältere Bauart der Veltlin-Lokomotiven mit Achs-Triebmaschinen (Textabb. 925), da die Triebmaschinen für die Untersuchung und Wiederherstellungsarbeiten besser zugänglich sind und sich auch richtiger bauen lassen. Gleichwohl können sie wegen der tiefen Lage des Schwerpunktes für hohe Fahrgeschwindigkeiten von 100 km/St. und mehr nicht verwendet werden.

β. B) Lokomotiven mit hoch liegenden Triebmaschinen.

Obgleich man den bis zur zulässigen Grenze der Achslast gehenden Reibungsdruck mit einer der Achse zugeordneten Triebmaschine mit Zahnradübersetzung bis zu ziemlich hohen Fahrgeschwindigkeiten²⁷⁹⁾ ausnutzen kann, ergibt sich, wie

Abb. 922.



Erste amerikanische Hauptbahnlokomotive mit hoch liegender Triebmaschine, „American Locomotive Works“, 1909.

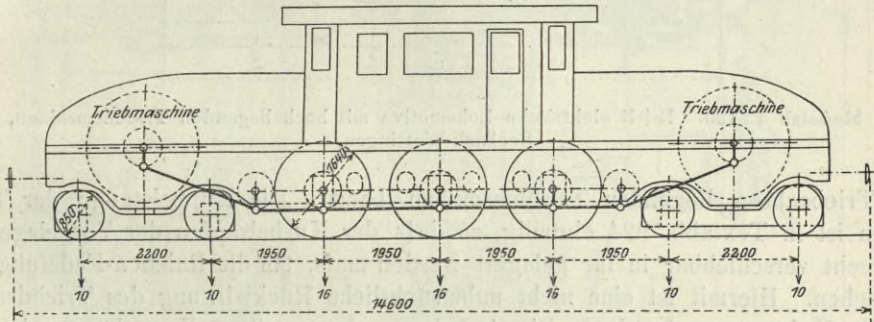
oben dargelegt, bei großen Zugkräften und hohen Fahrgeschwindigkeiten doch eine unwirtschaftlich hohe Anzahl von Triebmaschinen. Man ist dann genötigt, stärkere Triebmaschinen in geringerer Anzahl anzuwenden und muß diese auf mehrere Triebachsen arbeiten lassen. In der Ebene der Achsmitten ist hierfür kein Raum vorhanden, so daß man die Triebmaschinen höher, das heißt im Lokomotivrahmen anordnen muß. Da sich der Bau von Triebmaschinen für schmalspurige Fahrzeuge erst allmählich aus denen für 1,435 m und 1,0 m Spur entwickelte, hat man sich schon bei Schmalspurbahnen mit der Verwendung ortsfester Triebmaschinen beholfen, die auf dem Lokomotivrahmen angeordnet wurden und von da mittels einer geeigneten Übertragung auf die Triebachsen wirkten. Schuckert und Co., Nürnberg, führten dies 1894 bei einer Grubenlokomotive für 620 mm Spur aus (Textabb. 912). Die Triebmaschine arbeitet hier zunächst mit einmaliger Zahnradübersetzung auf eine Vorgelegewelle und von da durch

²⁷⁹⁾ Heyden, Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen, 1909, S. 308.

Kuppelstangen auf die Triebachsen. Der senkrechten Bewegung der Vorgelegewelle gegen die Triebachsen wird durch die Teilung der Kuppelstange Rechnung getragen. Mit dieser Anordnung waren zugleich die Vorteile einer billigern Triebmaschine gegenüber der geteilten Ausführung, sowie besserer Zugänglichkeit der Triebmaschine, endlich gröfserer Lauffähigkeit des Fahrzeuges verbunden.

Dieselben Bedingungen liegen heute bei Lokomotiven für Hauptbahnen wieder vor²⁸⁰⁾. Hier aber kommt die gute Wirkung der hohen Lage des Schwerpunktes auf die Lauffähigkeit des Fahrzeuges voll zur Geltung. Bei der Ausführung dieser Anordnung kann man mannigfache Wege einschlagen. Bei einer im Jahre 1909 von der „General Electric Co.“ und den „American Locomotive Works“ gebauten Lokomotive (Textabb. 922) hat man die schon in Textabb. 910 in ihren Grundzügen angegebene Bauart mit der Umgestaltung angenommen, dafs man eine Vorgelegewelle anordnete und diese durch Kuppelstangen unmittelbar von der Triebmaschine antrieb. Die Zwischenachse liegt aufserhalb der Triebachsen. Bei gröfserm

Abb. 923.



Mafsstab 1 : 125. 2 C2 elektrische Lokomotive mit hoch liegenden Triebmaschinen, Wiesentalbahn, ältere Bauart.

Achsstände der der Triebmaschine benachbarten Triebachsen kann man sie aber zwischen den letzteren lassen. Man hat in allen Fällen dafür zu sorgen, dafs die Kuppelstangen zwischen der Vorgelegewelle und der ersten mit ihr verbundenen Triebachse wagerecht liegen und lang genug ausfallen, um den Gleichlauf nicht zu stark durch die Rahmenfederung zu beeinträchtigen. Die Auffassung, dafs diese Abweichungen mit Rücksicht auf das Spiel in den Stangenlagerungen praktisch nicht in Betracht käme²⁸¹⁾, trifft nicht zu, da sich hierbei Druckwechsel an den Lagerungen ergeben, die Schläge an den Kurbelzapfen zur Folge haben. Bei gutem Schlusse in den Lagerungen entstanden anderseits Rückwirkungen auf die Rahmenfederung.

Diese grundsätzliche Anordnung eröffnet eine große Mannigfaltigkeit der Ausführung. In Textabb. 923²⁸²⁾ ist eine solche Lösung dargestellt, weitere sind unter den Beispielen ausgeführter Lokomotiven zu finden.

Bei den von der Bauanstalt Oerlikon gebauten Lokomotiven mit hoch liegenden Triebmaschinen hat man mit großem Vorteile wieder auf Zahnradüber-

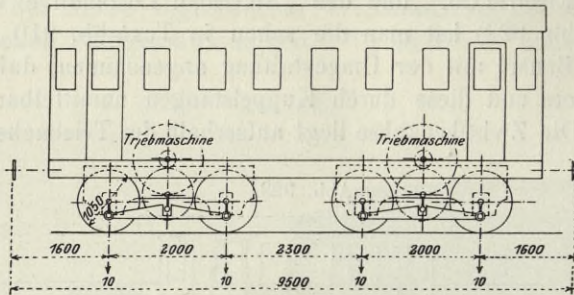
²⁸⁰⁾ S. 851.

²⁸¹⁾ Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1909, Nr. 25, S. 994.

²⁸²⁾ Siehe S. 851.

setzungen zurückgegriffen, indem man damit zugleich den Vorteil der Übertragung durch Kuppelstangen verband. Man spart hierdurch an Gewicht und Preis der Lokomotiven, obgleich die Übersetzung in der Anschaffung ziemlich kostspielig ist. Die Bauart der von der Bauanstalt Oerlikon gebauten Lokomotiven erinnert an die früher angegebenen Grundzüge. Textabb. 924 stellt eine für die Versuchsstrecke Seebach-Wettingen gebaute Lokomotive dieser Art dar. Bei einem zulässigen Achsdrucke von 16 t läßt sich die Lokomotive dreiachsig mit zwei zwischen den

Abb. 924.



Maßstab 1 : 125. B+B elektrische Lokomotive mit hoch liegenden Triebmaschinen, Seebach-Wettingen.

drei Triebachsen liegenden Triebmaschinen bauen. Die Kuppelstange der Triebachsen ist in Textabb. 924 einteilig, so daß der Kurbelzapfen der Vorgelegewelle senkrecht verschiebbar in ihr gelagert werden muß, um die Rahmen-Federung auszugleichen. Hiermit ist eine nicht unbedeutende Rückwirkung des Triebdruckes auf die Federung verbunden. Die Anordnung der geteilten Kuppelstange ist vorzuziehen, doch soll diese mit ihren beiden Hälften in einer Wagerechten liegen, um den Druckwechsel der Stangenlager bei Rahmenfederungen möglichst zu vermeiden. Die bedeutendste Vertreterin dieser Bauart ist die neue von Oerlikon gebaute Lötschberg-Lokomotive (Textabb. 932).

V. c) Beispiele ausgeführter Hauptbahnlokomotiven.

1) Drehstrom-Lokomotive der Bahn Burgdorf-Thun. Auf Tafel XVIII ist die von Brown, Boveri und Co. in Baden, Schweiz, gebaute, neuere Lokomotive dargestellt. Sie hat zwei Drehgestelle, deren jedes durch eine Triebmaschine mit Zahnradübersetzung, Zwischenwelle und Kuppelstange angetrieben wird. Das ganze Gewicht, zugleich Reibungsgewicht, beträgt 42,0 t, wovon 18 t auf den elektrischen Teil entfallen. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt 40 km/St.

2) B+B-Drehstrom-G-Lokomotive der Veltlin-Bahn, erste Bauart. Textabb. 925 bis 927 veranschaulichen die von Ganz und Co., Budapest, für die Veltlin-Bahn gebaute, vierachsige Lokomotive für Güterförderung. Die Maschine besteht aus zwei kurz gekuppelten zweiachsigen Fahrzeugen, von denen jedes zwei Achsen-Triebmaschinen mit hohler Achse von je 150 PS Leistung besitzt. Das Reibungsgewicht beträgt 46 t, die Fahrgeschwindigkeit 30 km/St.

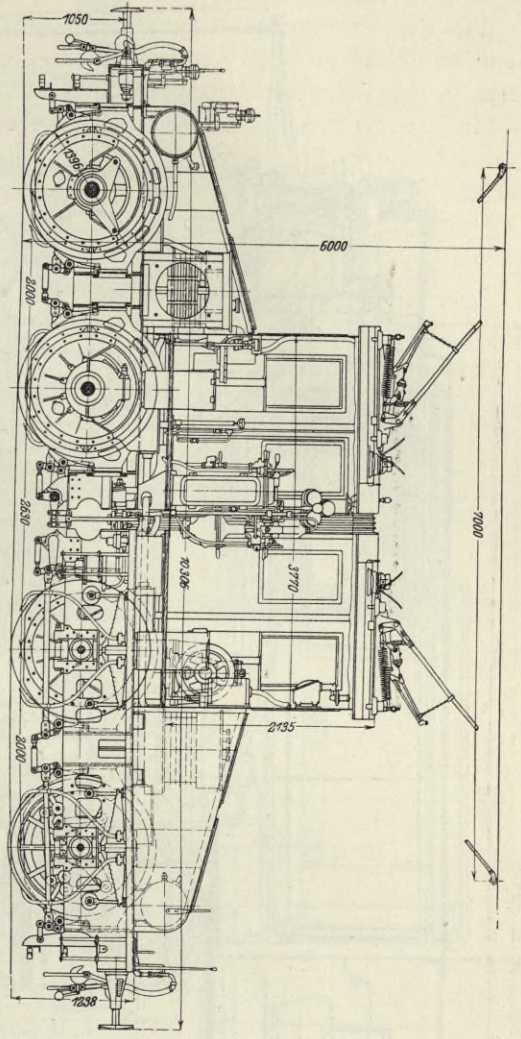
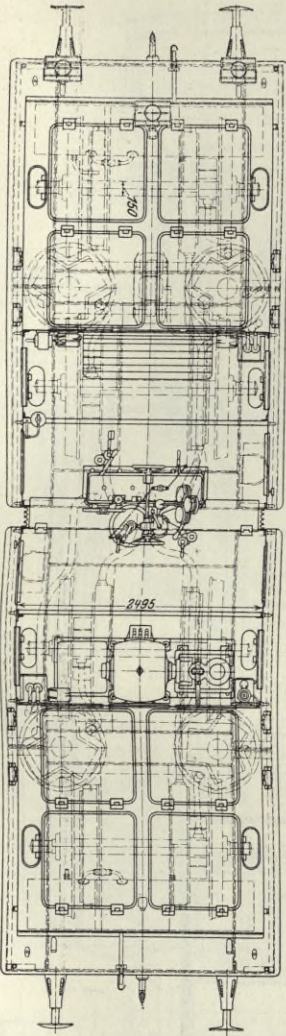


Abb. 925.



Maßstab 1:75. B+B-Drehstrom-G-Lokomotive der Veltinbahn, erste Ausführung, Ganz und Co., Budapest; Ansicht, Längsschnitt, Grundriß.

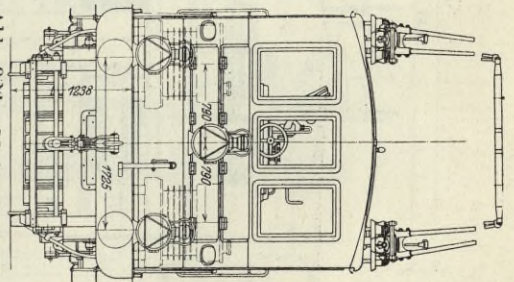


Abb. 926. Maßstab 1:75. Stirnansicht zu Textabb. 925.

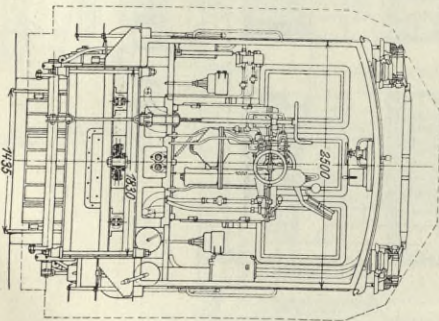
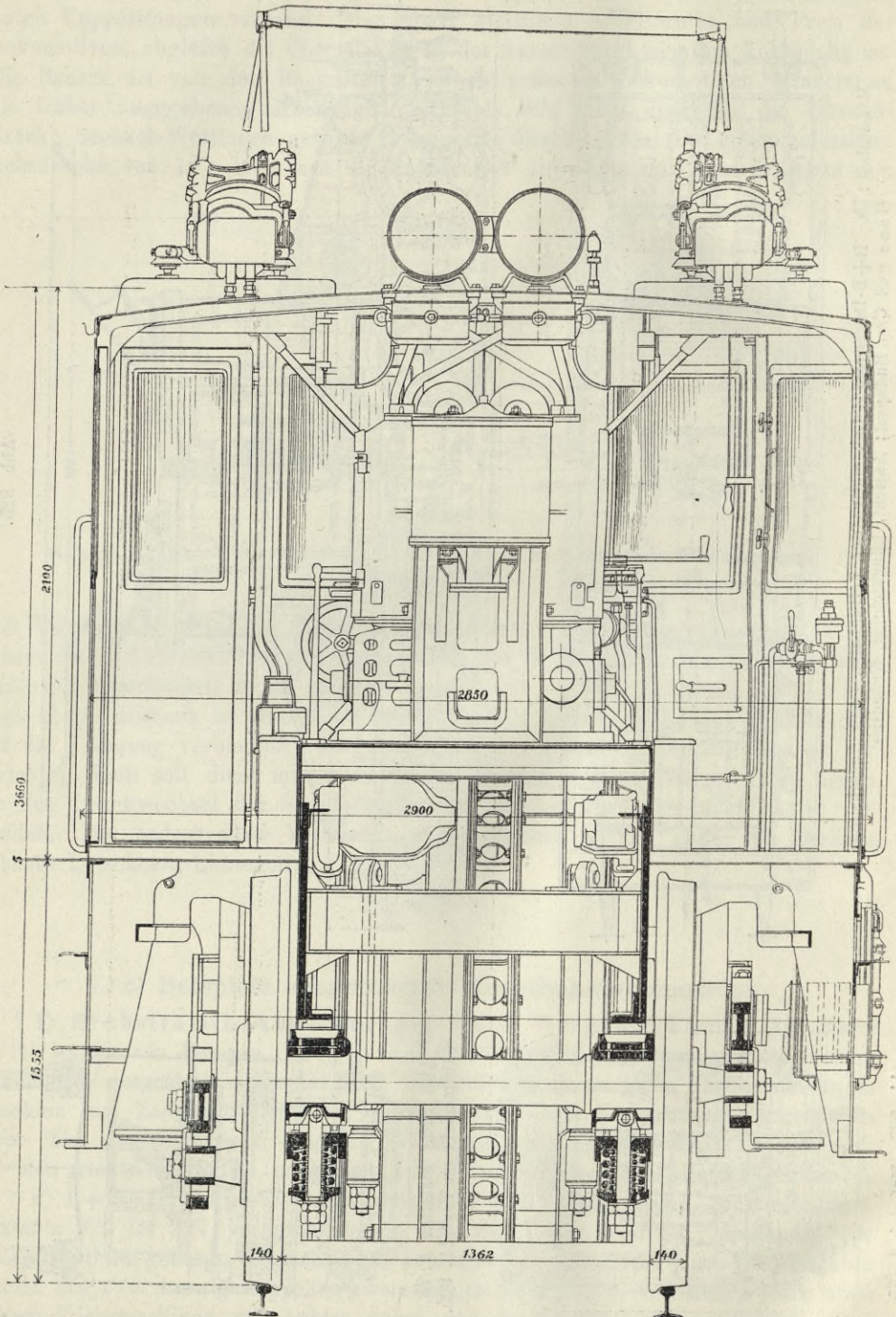
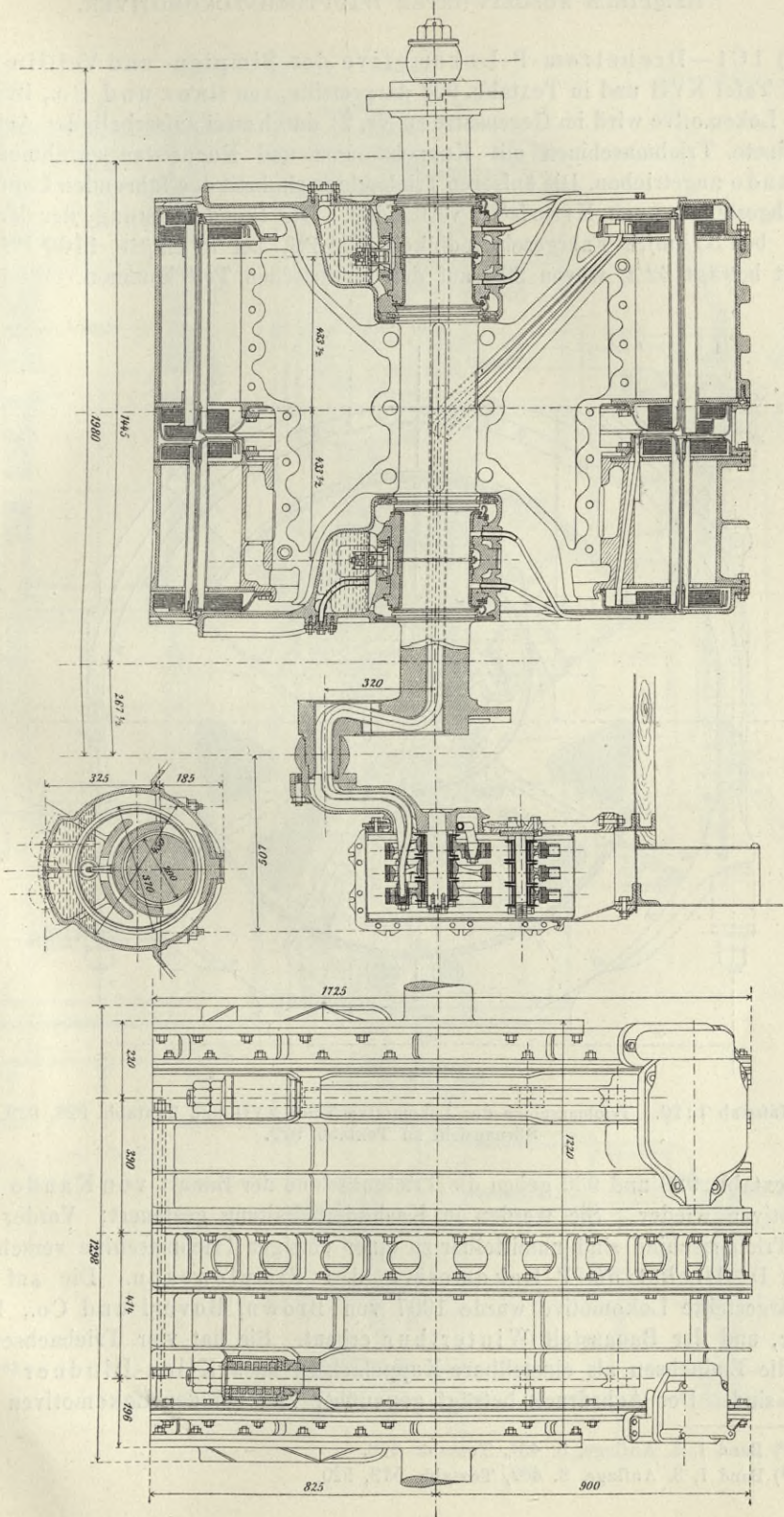


Abb. 927. Maßstab 1:75. Führerstand zu Textabb. 925.

Abb. 928.



Mafsstab 1:75. 1C1-Drehstrom-P-Lokomotive der Simplon- und Veltlin-Bahn. Ganz und Co. in Budapest. Querschnitt zu Tafel XVII.

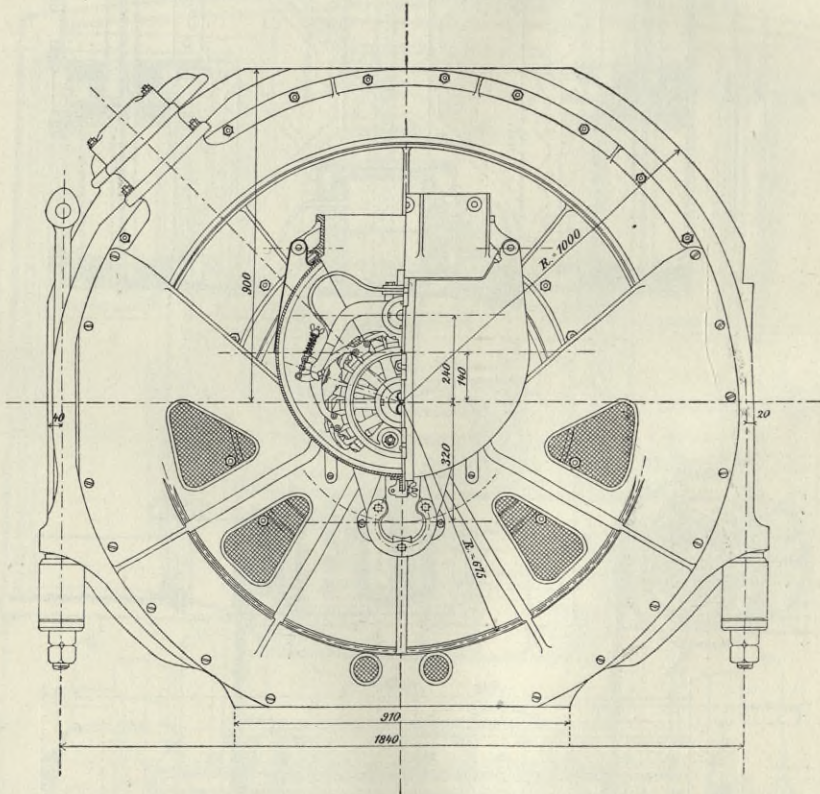


Abh. 929.

Masstab 1 : 20. Triebmaschine der Lokomotive Tafel XVII und Textabb. 928.

3) 1 C1—Drehstrom-P-Lokomotive der Simplon- und Veltlin-Bahn. Die auf Tafel XVII und in Textabb. 928 dargestellte, von Ganz und Co., Budapest, erbaute Lokomotive wird im Gegensatz zu Nr. 2) durch zwei außerhalb der Achssätze angeordnete Triebmaschinen mit Kuppelstangen und Kuppelstangenrahmen nach von Kando angetrieben. Die äußeren Triebachsen sind mit den führenden Laufachsen zu Drehgestellen nach Kraufs²⁸³⁾ verbunden. Die Stundenleistung der Maschine beträgt bei 35 km/St Fahrgeschwindigkeit 800 PS, bei 70 km/St 1100 PS. Das Gewicht beträgt 62 t, wovon 29 t auf den elektrischen Teil kommen.

Abb. 930.



Mafsstab 1:20. Triebmaschine der Lokomotive Tafel XVII und Textabb. 928, 929.
Stirnansicht zu Textabb. 929.

Textabb. 929 und 930 geben die Triebmaschine der Bauart von Kando dieser Lokomotiven wieder. Sie werden in Kaskadenschaltung gesteuert; Vorder- und Hinter-Triebmaschine sind unmittelbar zu einer einzigen Triebmaschine verschraubt.

4) D—Drehstrom-P-Lokomotive der Simplonbahn. Die auf Tafel XIX dargestellte Lokomotive wurde 1907 von Brown, Boveri und Co., Baden, Schweiz, und der Bauanstalt Winterthur erbaut. Sie hat vier Triebachsen, von denen die Endachsen als einstellbare Kuppelachsen nach Klien-Lindner²⁸⁴⁾ ausgeführt sind. Der Achsdruck beträgt gegenüber 15 t bei den Lokomotiven Nr. 1)

²⁸³⁾ Band I, 3. Auflage, S. 431, Textabb. 478.

²⁸⁴⁾ Band I, 3. Auflage, S. 462, Textabb. 519, 520.

Maßstab 1 : 64. D-Drehstrom-G-Lokomotive der Giovi-Linie, italienische Staatsbahnen. Reibungsgewicht 60 t, Zugkraft 12 t.

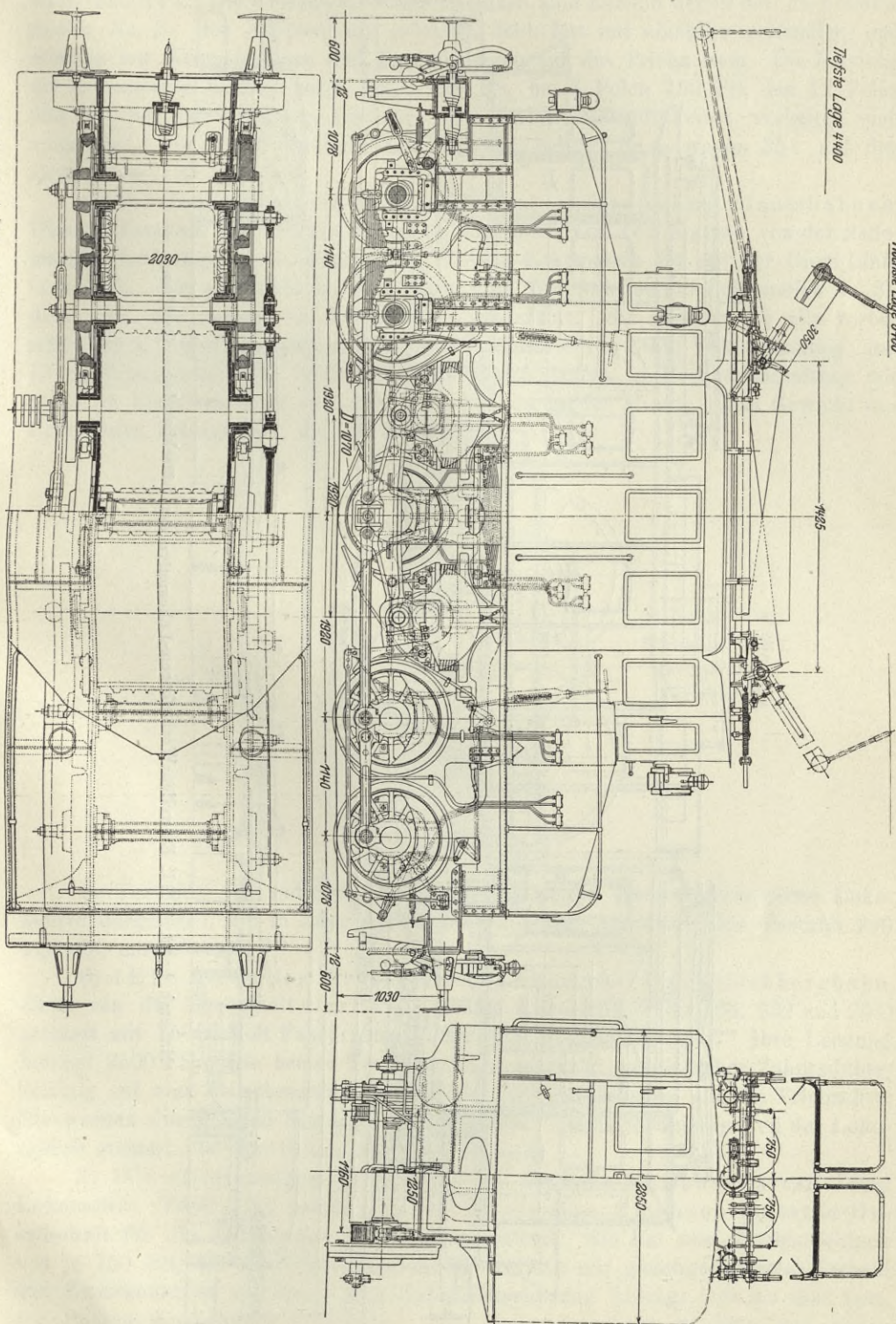
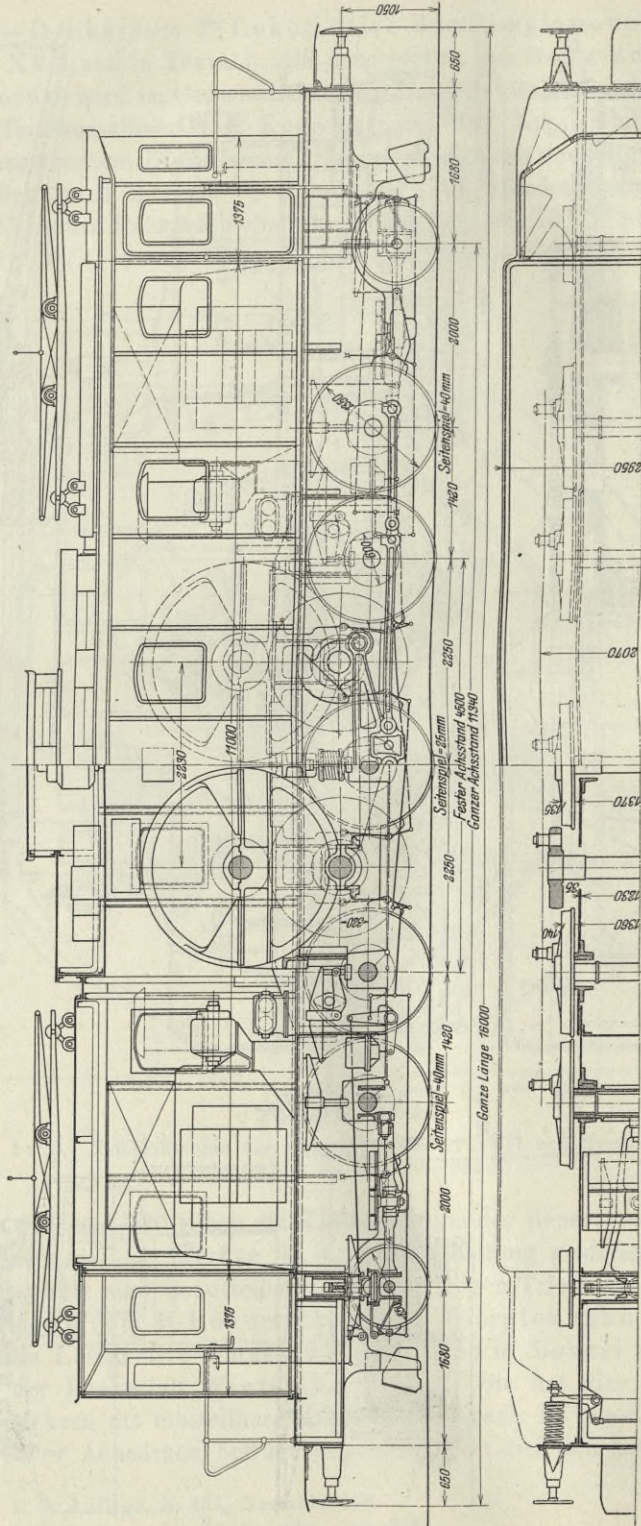


Abb. 931.

Abb 932.

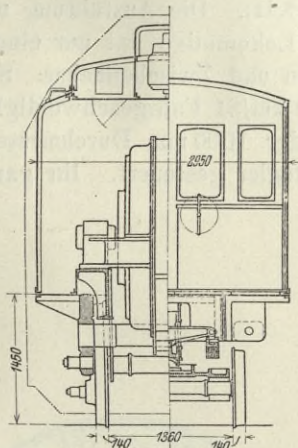


Masstab 1 : 80. 1 E 1. Einwellen-Wechselstrom-Lokomotive der Lötischbergbahn, Oerlikon.

bis 3) hier 17 t. Die Kurzschlufs-Triebmaschinen sind ähnlich denen der 1 C1-Lokomotive Nr. 3) der Simplonbahn gelagert, doch fest mit einander verbunden, und arbeiten mit Kuppelrahmen und Kuppelstangen auf die Triebachsen. Die Leistung der Lokomotive beträgt bei 6 Polen 850 PS, bei 8 Polen 750 PS, bei 12 Polen 650 PS und bei 16 Polen 550 PS. Die Fahrgeschwindigkeiten verhalten sich umgekehrt, wie die Polzahlen. Das Gewicht beträgt 68 t, wovon 35 t auf den elektrischen Teil entfallen.

5) D—Drehstrom-G-Lokomotive der italienischen Staatsbahnen. Diese in Textabb. 931 dargestellte, nach Entwürfen von von Kando von der italienischen Westinghouse-Gesellschaft erbaute Lokomotive ist auf der Giovi-Linie in Betrieb. Sie entspricht in ihrer Bauart im Wesentlichen der Lokomotive Nr. 3), doch sind alle Achsen als Triebachsen ausgeführt. Sie arbeitet wie alle vorherbeschriebenen Drehstrom-Lokomotiven mit Drehstrom von 3000 Volt Spannung und 15 Schwingungen. Die beiden Triebmaschinen laufen in Kaskadenschaltung mit 112,5, in Einzelschaltung mit 225 Umdrehungen in der Minute. Das Gewicht der Lokomotive beträgt 60 t, die Zugkraft 12 t.

Abb. 933.



Mafsstab 1 : 80.
Stirnansicht und
Querschnitt zu
Textabb. 932.

In Textabb. 867 und 868, S. 807 und 808 ist die Triebmaschine dieser Lokomotive dargestellt, die in einer Achs- und Schleifring-Anordnung den Textabb. 929 und 930 entspricht.

6) 1 E1—Einwellen-Wechselstrom-Lokomotive der Löttschbergbahn. Diese von der Bauanstalt Oerlikon erbaute Lokomotive (Textabb. 932 und 933) arbeitet mit 15000 Volt Fahrdrachtspannung und 15 Schwingungen. Ihre Leistung beträgt 2500 PS. Die beiden Triebmaschinen arbeiten mit einfacher Zahnradübersetzung auf eine Zwischenachse und von da mit Kuppelstangen auf die Triebachse. Sie werden durch einen Stufenschalter gesteuert. Der mechanische Teil der Lokomotive stammt von der Bauanstalt Winterthur.

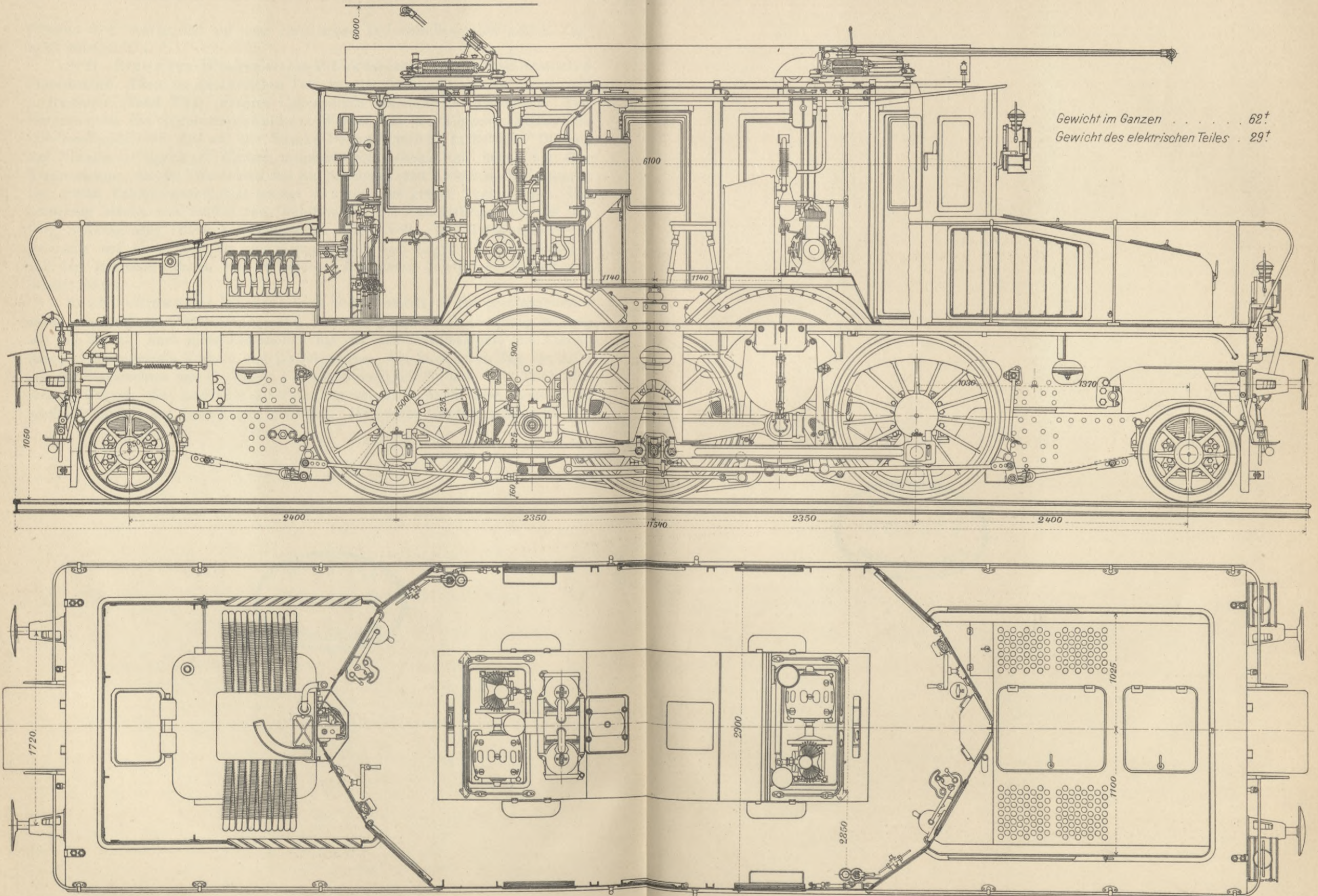
7) 1 C1—Gleichstrom-P-Lokomotive der Bahn Mailand-Varese. Diese Lokomotive (Tafel XX) wurde von der französischen Thomson-Houston-Gesellschaft für die italienischen Staatsbahnen gebaut. Sie hat zwei Triebmaschinen von je 750 PS, die die Triebachsen durch Getriebe mit gleichgerichteten Kurbeln und Zwischenachse antreiben. Die Fahrdrachtspannung beträgt 600 bis 650 Volt, die Fahrgeschwindigkeit 95 km/St. Das Reibungsgewicht ist 45 t, das ganze

Gewicht 67 t, wovon 32 t auf den elektrischen Teil entfallen. Die größte Zugkraft beträgt 10 t.

8) D—Einwellen-Wechselstrom-P-Lokomotive der preussisch-hessischen Staatsbahnen. Diese im mechanischen Teile von der Bauanstalt vormals Egestorff in Hannover (Tafel XXI) erbauten Lokomotiven erhielten die elektrischen Ausrüstungen von den Siemens-Schuckert-Werken und der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft und sind auf der Strecke Dessau-Bitterfeld in Betrieb. Die von den Siemens-Schuckert-Werken ausgestatteten Lokomotiven haben nur eine Triebmaschine, die die Triebachsen mit Kuppelstangen und Zwischenachse antreibt. Die größte Fahrgeschwindigkeit beträgt 80 km/St, die größte Zugkraft 12 t. Die Steuerung erfolgt mit Stufen- und Dreh-Regler. Die Fahrdrahtspannung ist bei $16\frac{2}{3}$ Schwingungen 10000 beziehungsweise 15000 Volt. Die Triebmaschine ist jederseits mit einem Rahmen aus Stahlgufs mit dem Lager der Zwischenachse und dem Lokomotivrahmen fest verbunden. Das ganze Gewicht der Lokomotive beträgt 63,6 t.

9) 2 B 1—Einwellen-Wechselstrom-P-Lokomotive der preussisch-hessischen Staatsbahnen (Tafel XXII). Die Ausführung und Inbetriebstellung erfolgte wie bei Nr. 8). Auch diese Lokomotive hat nur eine Triebmaschine mit Antrieb durch gleichgerichtete Kurbeln und Zwischenachse. Sie kann einen Zug von 240 t auf der Wagerechten mit 110 km/St Fahrgeschwindigkeit fördern. Die Triebräder haben 1600 mm, die Laufräder 1000 mm Durchmesser. Auch diese Lokomotive wird mit Stufen- und Dreh-Regler gesteuert. Ihr ganzes Gewicht beträgt 69 t.



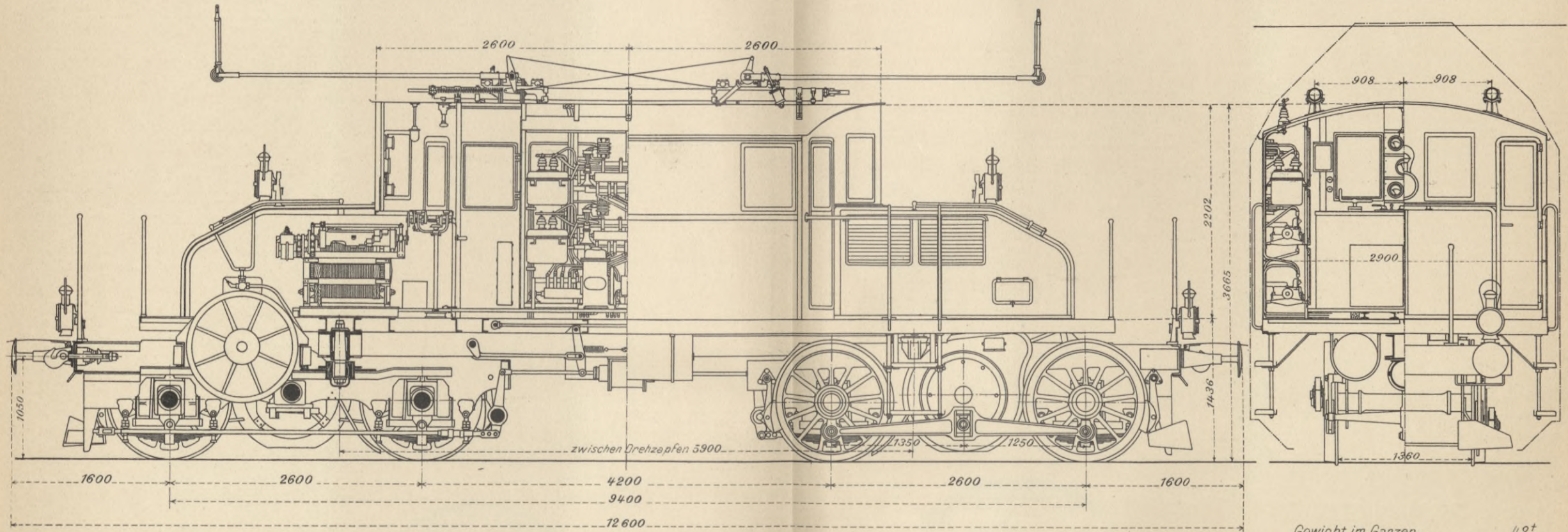




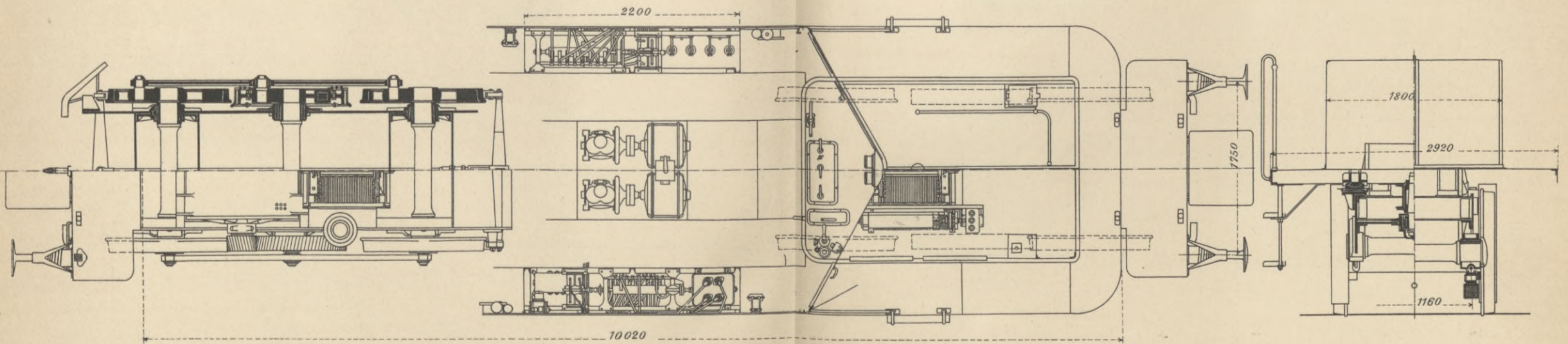
B + B-Drehstrom-Lokomotive der Bahn Burgdorf-Thun.

Brown, Boveri und Co, Baden, Schweiz.

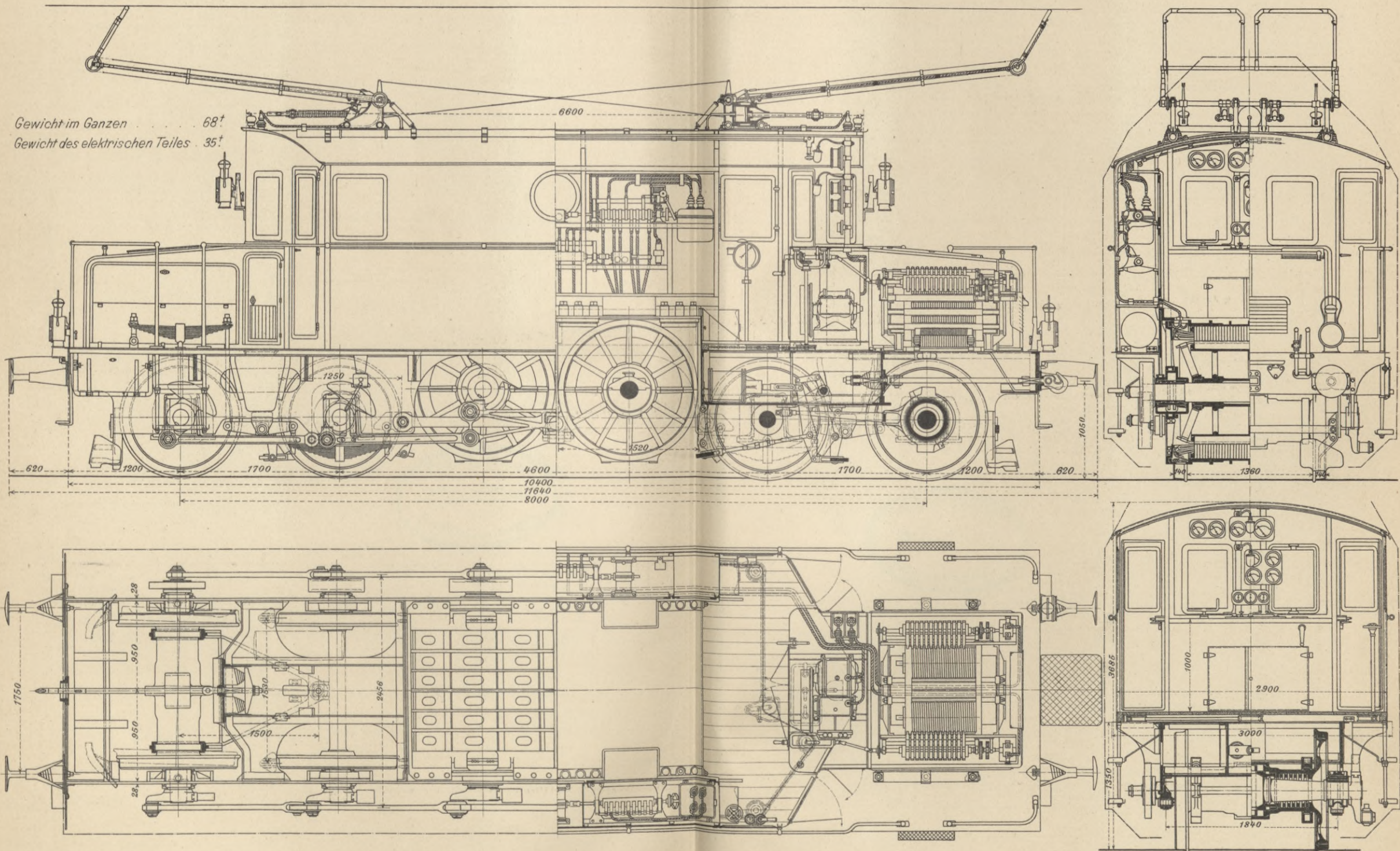
Maßstab 1:50.



Gewicht im Ganzen 42^t
Gewicht des elektrischen Teiles . . . 18^t



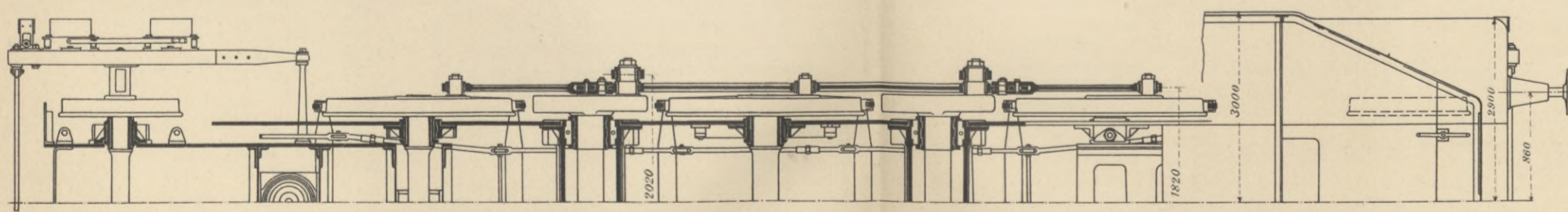
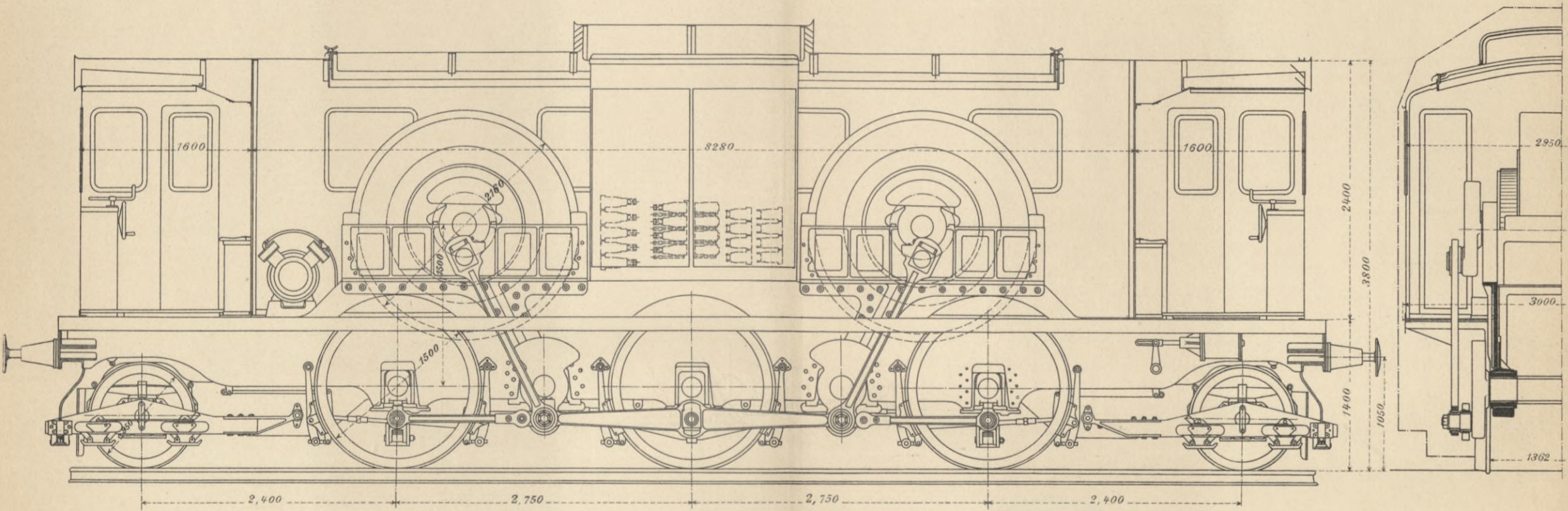






1 C 1-Gleichstrom-P-Lokomotive der Bahn Mailand-Varese. Französische Thomson-Houston-Gesellschaft.

Maßstab 1:45.

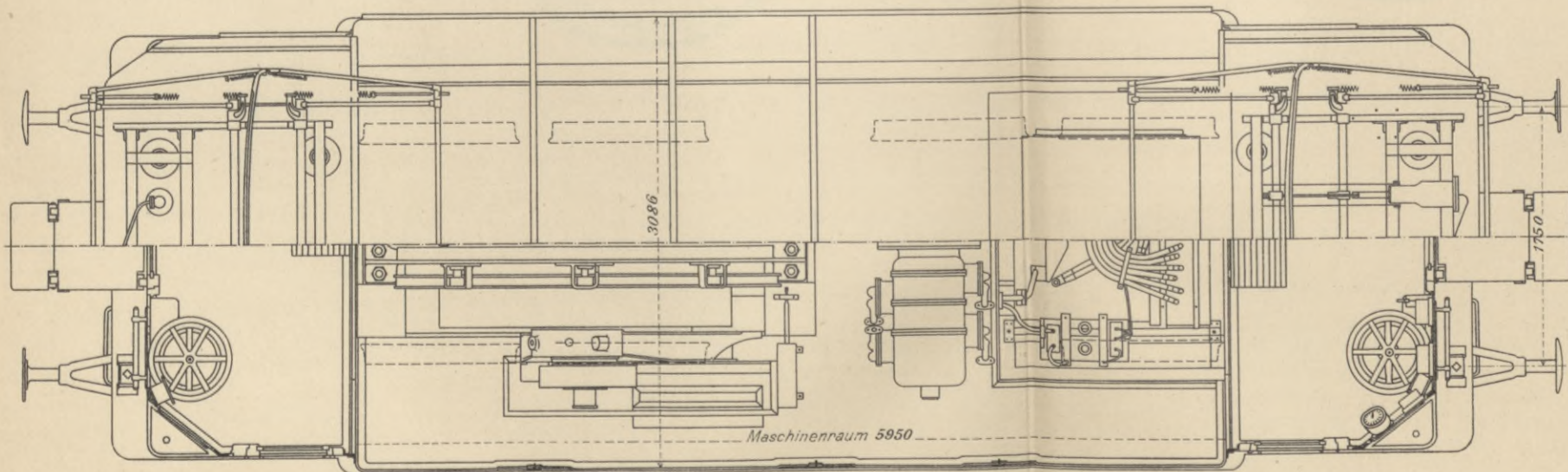
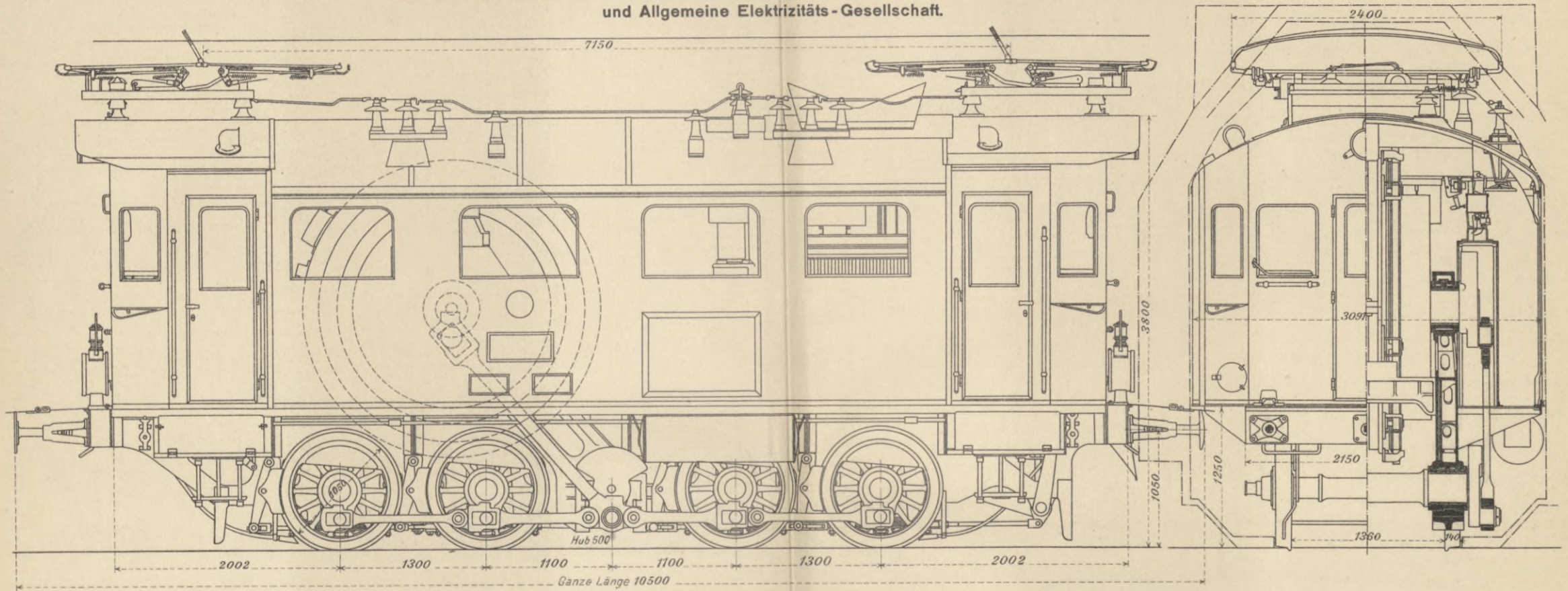


Gewichte:

Fahrzeug	35 ^t
Elektrische Ausstattung	32 ^t
zusammen	67 ^t
davon auf den Triebachsen	45 ^t



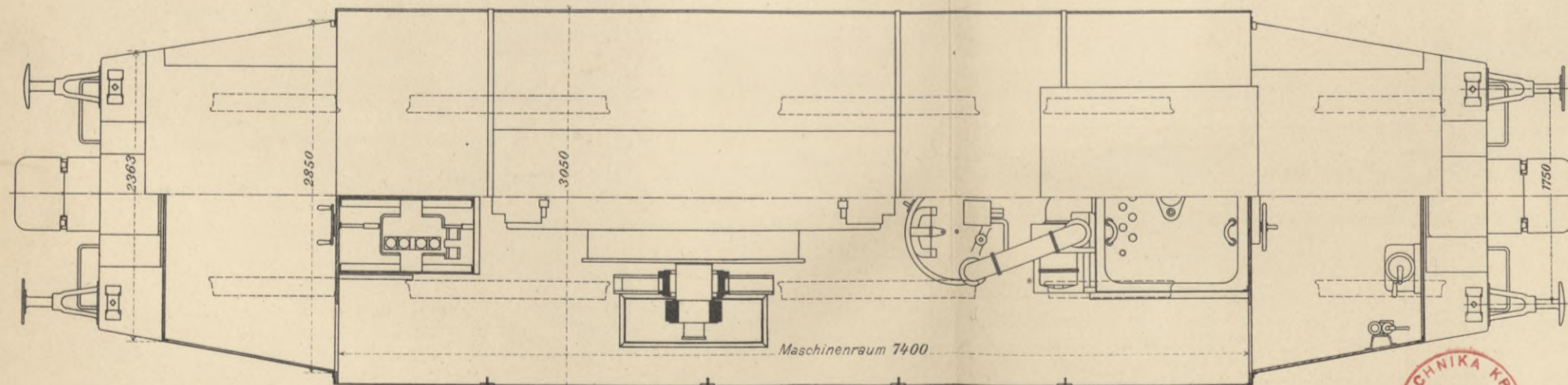
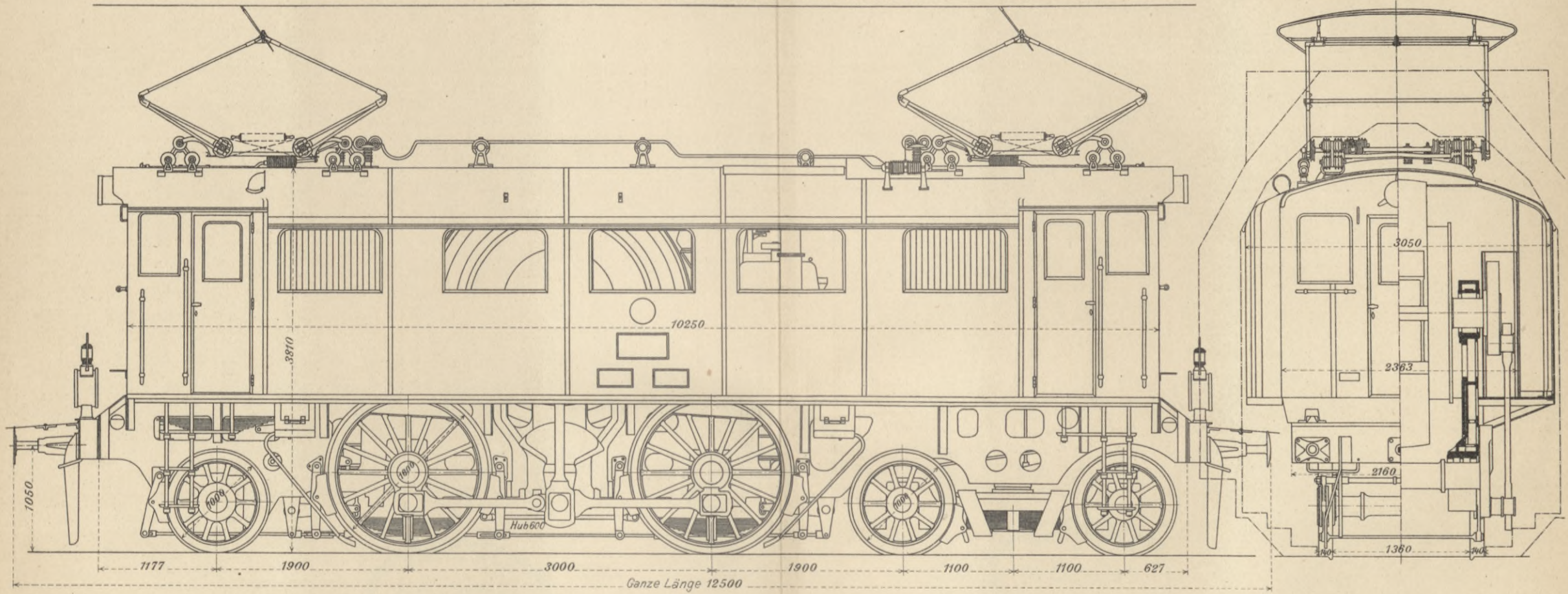
D-Einwellen-Wechselstrom-G-Lokomotive, preußisch-hessische Staatsbahnen.
 Hannoversche Maschinenbau-Aktiengesellschaft vormals Egestorff, Siemens-Schuckert-Werke
 und Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.



Gewichte :

<i>Auf den Federn</i>	
<i>mechanischer Teil . . .</i>	<i>24,57^t</i>
<i>elektrischer Teil . . .</i>	<i>29,585^t</i>
	<i>54,095^t</i>
<i>unter den Federn . . .</i>	<i>9,505^t</i>
<i>im Ganzen</i>	<i>63,6^t</i>





Gewichte :
Auf den Federn
 mechanischer Teil . . . 27,55^t
 elektrischer Teil . . . 27,00^t
 54,55^t
unter den Federn . . . 14,45^t
 im Ganzen 69,00^t



30 r



S. 61

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA SŁÓWKA

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-306656

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000298837