

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 33 (1942)  
**Heft:** 24

**Artikel:** Materialausnützung beim Bau elektrischer Triebfahrzeuge  
**Autor:** Bodmer, C.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061692>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Dans ce but nous procédons à l'essai à vide des transformateurs d'intensité en traçant le diagramme tension-courant aux bornes secondaires. Ce diagramme s'élance d'abord en suivant une droite, il fléchit ensuite pour suivre une nouvelle droite moins inclinée. La limite admissible est donnée par le coude qui relie les deux droites. Sa situation décide de la qualité du transformateur d'intensité.

Par cet essai exécuté sur les transformateurs d'intensité d'un même réseau nous pouvons constater si ces transformateurs d'intensité sont suffisamment semblables les uns aux

autres et si la fabrication des transformateurs d'intensité reste suffisamment semblable à elle-même.

La question que nous aimerions poser à cette assemblée est celle de savoir si d'autres sociétés ont adopté la même méthode et si par suite de ces essais on a pu constater une certaine répercussion des difficultés rencontrées dans le choix des matières premières, ces derniers temps.

**Vorsitzender:** Je remercie M. Jean-Richard de son intéressante communication et je donne la parole à M. Bodmer.

## Materialausnützung beim Bau elektrischer Triebfahrzeuge

Referat, gehalten an der Kurzvorträgeveranstaltung des SEV vom 26. September 1942 in Bern,

von C. Bodmer, Zürich.

621.335.0023

*Es wird gezeigt, wie sich die Bautendenzen auf diesem Gebiete in den letzten Jahren gewandelt haben. Es wird auf die intensiven Baustoffausnutzungen und deren Grenzen und auf moderne Materialauswahl hingewiesen und es wird an Hand von Betriebserfahrungen die voraussichtliche Entwicklung in nächster Zukunft angedeutet.*

*Les conceptions régissant la construction dans ce domaine ont évolué au cours de ces dernières années; la façon dont cette évolution s'est produite est exposée. L'utilisation la plus rationnelle des matériaux de construction est traitée ainsi que les limites que l'on peut atteindre et les procédés modernes utilisés pour le choix des matériaux. Le développement probable dans un proche avenir est esquissé sur la base des expériences faites en service.*

Aus dem äusserst vielseitigen Problem der Baustoffausnützung möchte ich nur die besonderen Gebiete der elektrischen Traktion berühren und darin die *elektrischen Ausrüstungen* von Lokomotiven, Triebwagen und Trolleybussen bevorzugen. Die *allgemeinen* Materialausnutzungsfragen des Maschinen- und Apparatebaues, auch die kriegsbedingten, liegen ausserhalb des heutigen Vortrages. Trotz dieser engen Abgrenzung werden Berührungspunkte mit andern Gebieten unvermeidlich sein, die vielleicht gerade Ihr Interesse erwecken.

Zuerst werde ich die das Thema betreffenden Merkmale der elektrischen Traktion aufzählen, dann die Gründe besonders intensiver Materialausnützung nennen und die Entwicklung der letzten Jahre andeuten. Nachher werde ich zwei Grenzen der Ausnützung besprechen und schliesslich einen Blick in die nächste Zukunft werfen.

### 1. Merkmal

Die in elektrischen Fahrzeugen auftretenden Kräfte sind zum grossen Teil durch die Massen und Gewichte verursacht:

Nutzlast, tote Last (d. h. Triebfahrzeuge, deren Ausrüstung und Wagen), Fremdkörper im Fahrraum. Fast die einzigen massenunabhängigen Kräfte sind die vom Wind und Luftwiderstand erzeugten.

Nebenbei bemerkt: Der Gewichtsanteil der elektrischen Einrichtung beträgt bei Einphasenlokomotiven 40...50 % des Lokomotivgewichtes, bei Gleichstromlokomotiven 30...40 %, bei Vollbahntriebwagen etwa  $\frac{1}{3}$ , bei Strassenbahntriebwagen  $\frac{1}{4}$ , bei Trolleybussen  $\frac{1}{5}$  des gesamten Fahrzeuggewichtes.

### 2. Merkmal

Sämtliche Fahrzeugteile werden zu Schwingungen aller Art angeregt durch Stösse zwischen Fahrbahn und Rädern, Schaltstösse und Bremsstösse. Bei Einphasenstrom wirkt ausserdem die zweifache Netzfrequenz als Schwingungserzeuger.

### 3. Merkmal

Raum und Gewicht der elektrischen Ausrüstung sind sehr beschränkt, in Lokomotiven infolge der Grösse der Leistung, bei Triebwagen durch die Forderung, fast die gesamte Ausrüstung unter den neuerdings tiefliegenden Wagenboden zu bringen.

### 4. Merkmal

Die Ausrüstung ist den Wettereinflüssen und der Verschmutzung, worunter Bremsstaub, ausgesetzt.

### 5. Merkmal

Zur Verringerung des toten Gewichtes pflegt man mit den mechanischen, thermischen und elektrischen Beanspruchungen hoch zu gehen, mit den Wicklungstemperaturen heute z. B. bis 145° C.

### 6. Merkmal

Starke Ueberlasten, etwa bei unerwartetem Verkehr oder bei Störungen, müssen ohne Schaden bewältigt werden.

### 7. Merkmal

Die Triebfahrzeuge werden zwar in der Regel von gut geschultem Personal bedient. Die Zahl der verschiedenen Triebfahrzeuge und Führer ist aber bei manchen Bahnen so gross und die Praxis, jedem Führer jedes Fahrzeug zu überlassen, als Vorteil der elektrischen Traktion so weitgehend durchgeführt, dass gelegentlich Maschinen unsachgemäss bedient werden. Trotzdem sollen sie nicht versagen.

### 8. Merkmal

Die elektrische Ausrüstung ist im Betrieb, ausser durch die Schutzapparate, fast unbewacht. Für Zwischenrevisionen soll sie leicht zugänglich und kontrollierbar sein. Die alljährliche Hauptrevision, zu der etwa 5 % des Kaufpreises aufzuwenden sind, fordert einfache, leicht zerlegbare und ersetzbare Bestandteile.

In diesen Merkmalen sind *die besonderen Gründe zur intensiven Materialausnützung* bereits enthalten.

Werkstoffersparnis hat ausser allfällig geringeren Baukosten folgende Vorteile:

Energiebedarf kleiner,  
elektrische Ausrüstung leichter,  
Massenwirkung geringer,  
Raumgewinn oder Vergrösserung der einbaubaren Leistung,  
Schonung der Geleiseanlage.

Obwohl diese Tatsachen von jeher bekannt gewesen sind, hat erst vor etwa 12 Jahren eine ungeahnte, stürmische Entwicklung eingesetzt, deren Früchte als Leicht- und Schnelltriebwagen, Leichtlokomotiven, Schienenautos, Trolleybusse bekannt sind.

Für den mechanischen Teil (Untergestell und Wagenkasten) wurde diese Umwälzung entfacht durch Uebertragung der Automobilbaugrundsätze auf die Schiene und damit teilweise Abkehr von der klassischen Eisenbahnpraxis. Die extremsten Schienen-Leichttriebfahrzeuge sind die Schienenzeppeline und Micheline, die auf Luftreifen rollen und deshalb nur äusserst leicht möglich sind. Aber selbst den Grosslokomotivbau hat diese Wandlung massgebend beeinflusst.

Von diesem Sturm ebenfalls erfasst, aber viel gleichmässiger, haben sich die elektrischen Ausrüstungen und darin besonders ihre schwersten Teile, Triebmotor und Transformator, im Sinne grosser Einsparungen entwickelt.

Schon früher, nur neuerdings betont, hat eine prinzipielle Wendung der Baugrundsätze, gestützt auf gründliche Untersuchung und Ueberlegung, beigetragen zu den heutigen grossen Fortschritten in der Baustoffausnutzung. Früher ging die Entwicklung allzu oft im Sinne von Gewichtserhöhung. Infolge Bruch wurde der Querschnitt, infolge Heissläufer das Lager vergrössert, infolge Spannungsüberschlag die Distanz erhöht, infolge Durchschlag die Isolation verdickt. Erst eine neue Denkweise, zusammen mit eifriger Forschung, hat erlaubt, die Konstruktionen oft sogar im entgegengesetzten Sinn zu vervollkommen.

Gestatten Sie mir an einigen scheinbar unbedeutenden Beispielen die Wandlung der Denkweise zu zeigen.

1. Die Untergrundbahnen hatten langjährige Erfahrungen in äusserst schwer gebauten Triebmotoren verkörpert. Im Gegensatz zu diesen Erfahrungen haben wir wesentlich leichtere Motoren vorgeschlagen, z. B. mit kürzeren Passungen und viel dünneren Isolationen, mit der Begründung, dass kurze, gute Passungen gegen Losschlagen viel wirksamer seien als lange, ungenaue und dass dünne, harte Isolationen gegen Durchscheuern viel besser seien als dicke, weiche. Nach langen Diskussionen hat die Bahn unsere Argumente angenommen und die Richtigkeit derselben an allen darnach gebauten Motoren bestätigt gefunden. — Als zweites Beispiel zeigt Fig. 1 den kräftig gebauten Kollektor eines Gleichstrom-Lokomotivmotors. An den ersten Kollektoren wurden bleibende Deformationen von  $\frac{5}{10} \dots \frac{8}{10}$  mm festgestellt (Fig. 2). Als scheinbar

logische Folgerung hat die Bahn Verstärkung der Büchsen und Pressringe verlangt. Durch sorgfältige Untersuchungen konnte aber ermittelt werden, dass die Deformationen nur durch unnötig kräftiges Pressen bei der Herstellung verursacht waren, folglich ohne jede Verstärkung beseitigt werden konnte.

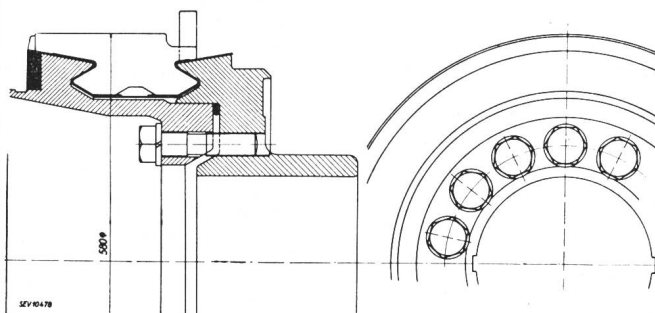


Fig. 1.

Kollektor eines Gleichstrom-Lokomotivmotors

ten. Versuche zeigten, dass auch 7 statt 14 Kollektorschrauben genügt hätten.

An 2 grossen Lokomotivkollektoren haben wir zum Nachweis einer Berechnung alle Preßschraubenschäfte sogar auf 40 % der damals üblichen Querschnitte abgedreht und nach gelungenen Versuchen in Betrieb gegeben. Diese Kollektoren haben sich in mehrjährigem Betrieb genau so gut gehalten wie die normalen. Solche Ergebnisse gaben Anlass

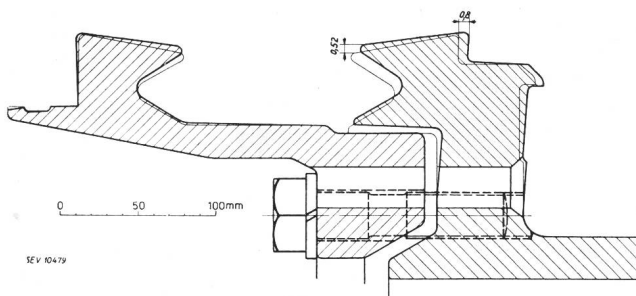


Fig. 2.

Bleibende Verformung des Kollektors nach Fig. 1, gemessen, Verformung im 10fachen Maßstab.

zu ausgedehnten Messungen und Fortschritten in der Kollektorwerkstoffausnutzung.

Weitere Beispiele könnten zeigen, wie Wellenbruch oder Heissläuferlager früher oft zu Wellenverstärkung und Lagervergrösserung, die neueren

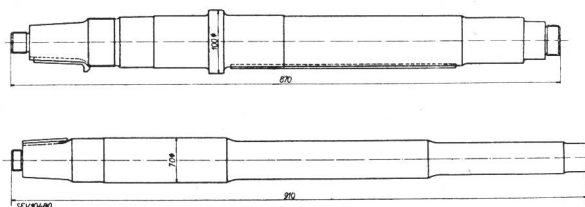


Fig. 3.

Strassenbahn-Motorwellen

Drehmoment und Zahndruck der unteren Welle 1,5fach gegenüber der oberen Welle.

Erkenntnisse über die Kerbwirkung und Vorgänge in den Lagern (Gleit- und Wälzlager) dagegen zur Verkleinerung der Wellen und Lager geführt haben. Fig. 3 zeigt diese Entwicklung an Bahnmotorwellen.

In dieser Beziehung beachtenswert ist der Bahnmotor (Fig. 4) mit sehr kleinem Zahnkolben zur Erzielung grosser Zahnradübersetzung, der über-

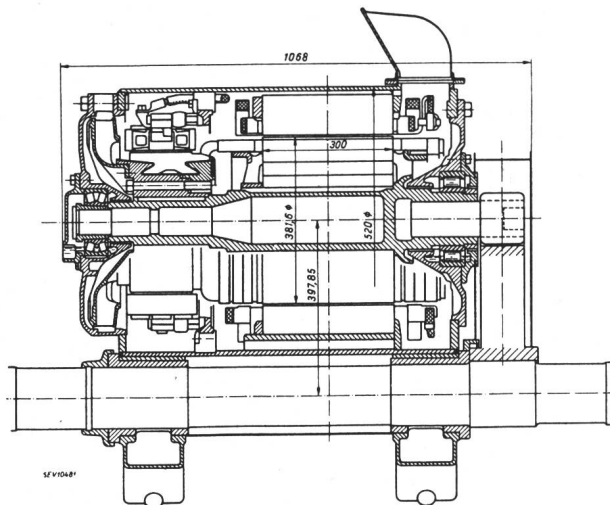


Fig. 4.  
Einphasen-Bahnmotor mit Zapfenkolben  
(Längsschnitt)

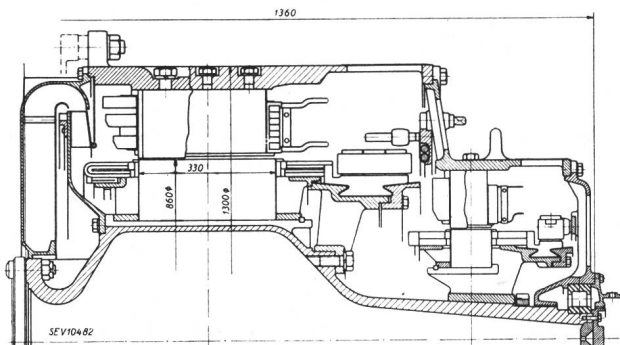


Fig. 5.  
Gleichstromgenerator für dieselelektrische Lokomotive  
(Längsschnitt)

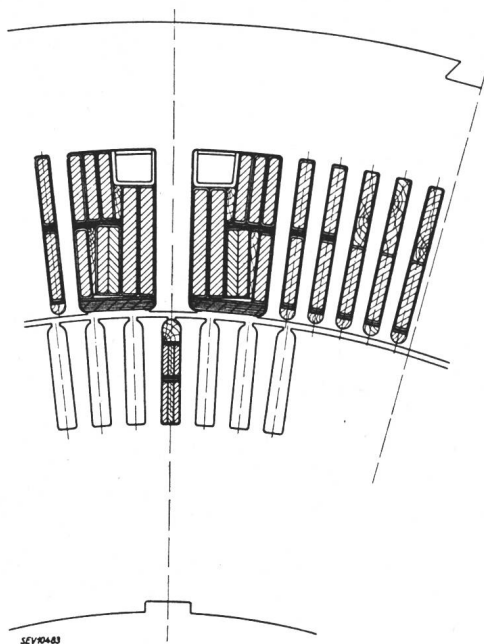
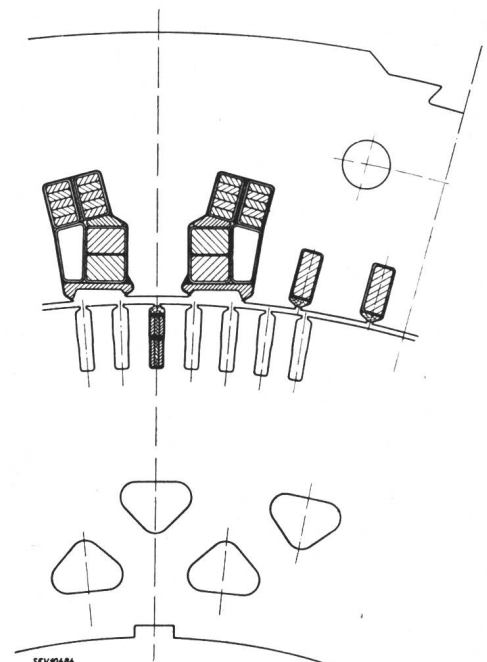


Fig. 6.  
Einphasen-  
Bahnmotoren  
(Wicklungsquer-  
schnitte)  
Ausführung 1920  
(links),  
Ausführung 1941  
(rechts).



haupt keine Welle besitzt, sondern nur zwei Zapfen, von denen der eine der Zahnkolben selbst ist. Auch der Gleichstromgenerator Fig. 5 für dieselelek-

trische Lokomotiven besitzt ohne Welle hohe Festigkeit.

Schliesslich erwähne ich die Massnahmen gegen Schwingungsbrüche, die früher häufig in Verstärkungen mit Massenvermehrung bestanden. Heute erreicht man weit bessere Abhilfe durch Versteifung mit Massenverminderung.

Neben den Erkenntnissen in der Formgebung und der zweckmässigen Erfüllung der Festigkeitsbedingungen haben andere, zum Teil auch im allgemeinen und Elektro-Maschinenbau bekannte Mittel bedeutende Fortschritte in der Ausnützung gebracht:

Richtige Uebertragung des Betriebsleistungsprogrammes auf die Nennleistung aller Teile<sup>1)</sup>.

Erfassung und Verringerung der Zusatzverluste in Kupfer und Eisen.

Ausgleich der elektrischen und magnetischen Beanspruchungen.

Erhöhung der Motor-Umfangsgeschwindigkeiten.

Lösung des Kühlproblems und vermehrte Fremdlüftung.

Wahl geeigneter Werkstoffe.

Giess- und Schweissfortschritte.

Gewichts- und raumsparende Sonderkonstruktionen statt schwerer Normalteile.

Bessere Abfederung.

#### Beispiele:

Den Wicklungsquerschnitt eines heutigen Einphasenbahnmotors, verglichen mit einem gleich grossen 20jährigen, zeigt Fig. 6. Geringere Stabhöhe aller Wicklungen gegen Zusatzverluste, rein achsiale Kühlkanäle (alle modernen Bahnmotoren sind rein achsial gekühlt), breite, kurze Zähne, daher geringe Sättigung, geringe Streuung, äusserste

Raumaussnützung. Es gab zwar damals schon Motoren mit niedrigeren Wicklungsstäben, die dafür aber

<sup>1)</sup> Bulletin SEV 1939, Nr. 12, S. 301...305.

prinzipiell umsomehr vom heutigen abweichen. Der Gleichstrom-Trammotor (Fig. 7 und 8), mit nur 3 Wendepolen, für gleich gute Kommutation

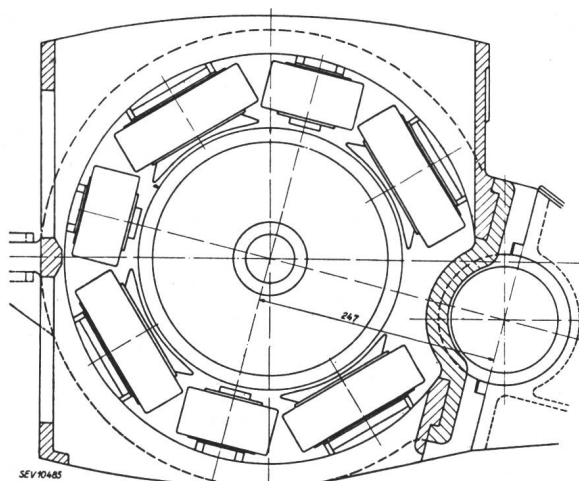


Fig. 7.  
Strassenbahnmotor mit nur 3 Wendepolen  
(Querschnitt)

wie mit 4 Wendepolen bemessen, ermöglicht besonders geringe Achsdistanz für kleine Raddurchmesser (normal beim Berner Tram). Der heutige Bahnmotor wiegt rund  $\frac{4}{5}$  desjenigen vor 10 Jahren und

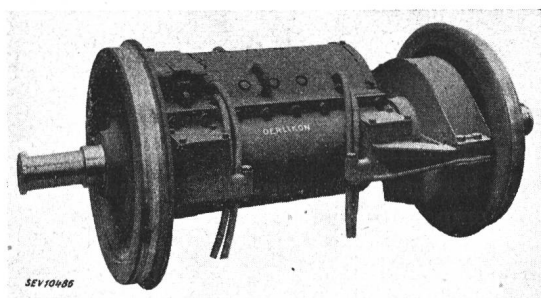


Fig. 8.  
Strassenbahnmotor nach Fig. 7  
(Ansicht)

die Hälfte des Motors gleicher Leistung vor 20 Jahren. Das Transformatorgewicht ist im gleichen Mass gesunken.

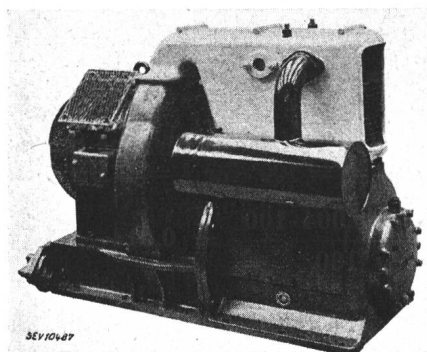


Fig. 9.  
Lokomotiv-  
Kompressor-  
gruppe

Speziell gebaute Hilfsmaschinengruppen werden wesentlich leichter, zweckmässiger, wenn auch eher teurer als Normalmaschinen. Die Lokomotiv-Kompressorgruppe (Fig. 9) für 10 kg/cm<sup>2</sup> Ueberdruck

mit 3800 l/min dauernder Förderleistung, mit bahn-mässigem Motor, wiegt samt Zwischenkühler 950 kg und damit kaum mehr als eine bisherige Gruppe

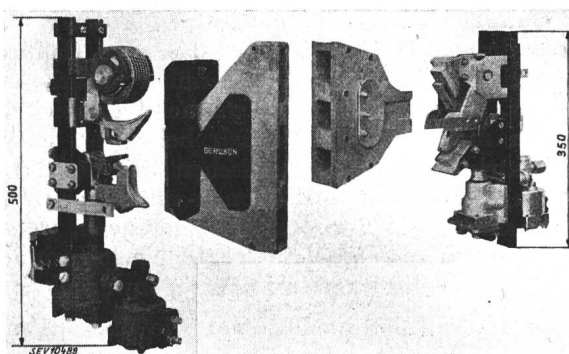


Fig. 10.  
Elektropneumatischer Gleichstromhüpfer 750 V, 250 A  
Gewicht im Jahre 1928: 18 kg (links),  
im Jahre 1940: 10 kg (rechts).

halber Leistung. Auch bei den Apparaten sind grosse Einsparungen gemacht worden, wie der elektropneumatische Hüpfer (Fig. 10) für 750 V, 250 A, mit 10 kg Gewicht und 350 mm Höhe zeigt, gegen 18 kg vor 14 Jahren und 500 mm Höhe. Das Gewicht des heutigen Pantographen-Stromabnehmers ist für gleiche Betriebsvorschriften von 600 kg vor 20 Jahren auf 260 kg gesunken. — Ein letztes Beispiel: Der heutige Transformatorölkühler (Fig. 11) wiegt bei gleicher Leistung rund  $\frac{1}{3}$  des vor 10...20 Jahren gebauten, der an älteren SBB-Lokomotiven der ganzen Lokomotive entlang sichtbar ist.

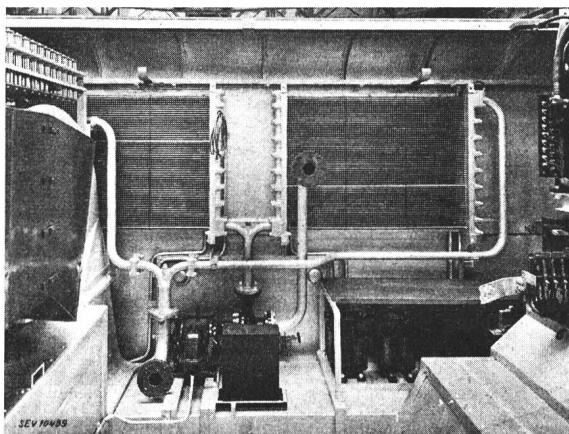


Fig. 11.  
Transformator-Ölkühlanlage in Lokomotive  
(Transformator noch nicht eingebaut)

Unter den Baustoffen stehen wohl die Isolationen an erster Stelle bezüglich Qualitätsfortschritt. Die Mikapreparate sind homogener geworden, der Schellack ist durch Harzlack verdrängt und asbestisolierte Drähte ersetzen die baumwollisolierten. Glas-isolation hat für Wicklungen die Mikaeigenschaften noch nicht erreicht.

Die vielversprechenden Qualitätsstähle haben durch ihre hohe Kerbempfindlichkeit enttäuscht. Leichtmetall leistet, in rechtem Mass angewendet, gute Dienste, so für Ventilatoren, Verschaltungen,



Apparatengehäuse, Stromschienen, wogegen für Motor- und Transformatorwicklungen Aluminium wegen grösserem Platzbedarf das Kupfer wohl nur vorübergehend ersetzt. Beim Bürstenhalter liegt der Hauptgewinn in der Erleichterung der ganzen Bürstenbrücke. Im ganzen hat das neue Bauprinzip «leicht, doch stark», gegenüber «stark und schwer», ungeahnte Erfolge gebracht, die sich bereits in mehrjährigem Betrieb behauptet haben. Im elektrischen und mechanischen Teil der Triebfahrzeuge, aber auch an Personen- und sogar Güterwagen sind grosse Einsparungen gelungen, welche die Sicherheit sogar wesentlich erhöhen. Ich erinnere nur an die selbsttragenden Personenwagenkasten.

Der Baustoffausnutzung sind wie überall auch im Fahrzeugbau bestimmte Grenzen gesetzt. Ausser den durch die Betriebssicherheit gegebenen sind es vor allem die Grenzen der Wirtschaftlichkeit und der Erwärmung.

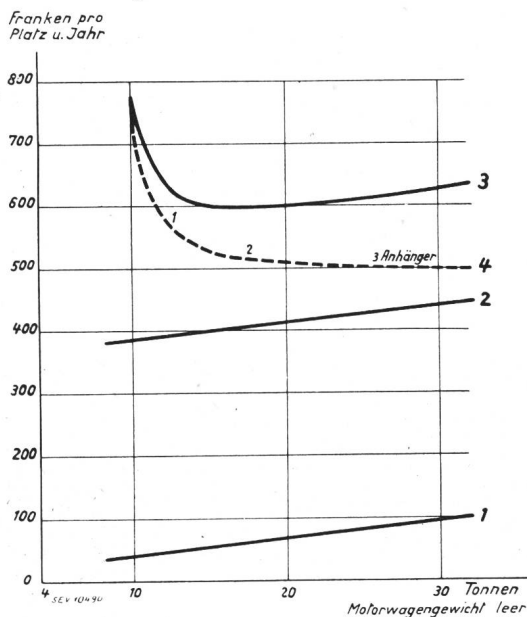


Fig. 12.

Kosten von Strassenbahnmotorwagen Ce 4/4 mit 100 Plätzen und Strassenbahnzügen mit 50plätzigen Anhängern

1 Energiekosten (7 Rp./kWh), 2 Energiekosten + Fahrpersonalkosten, 3 Gesamtkosten (Energie + Fahrpersonal + Unterhalt + Abschreibung + Verzinsung), 4 Gesamtkosten für Betrieb mit Anhängern.

1...3 für reinen Motorwagenbetrieb.

In Fig. 12 sind in Abhängigkeit des Gewichtes von 100plätzigen Strassenbahnmotorwagen die Kosten pro Platz und Jahr dargestellt. Am wirtschaftlichsten wäre das leichtest gebaute Fahrzeug, wenn nur der Energieverbrauch zu bezahlen wäre. Die Energiekosten sind aber nur ein Bruchteil der Gesamtkosten, die sich aus Fahrpersonalkosten + Verzinsung + Abschreibung + Energie + Unterhalt zusammensetzen. Infolge geringerer Lebensdauer und höherer Unterhaltskosten extrem leichter Wagen erreichen die Gesamtkosten ihr Minimum bei mässig leichtem Triebwagen. Dieses Minimum verschiebt sich mit der Entwicklung des Leichtbaues auf niedrigere Wagengewichte. Bei Strassenbahnzügen sinkt die Kostenkurve zu Gunsten des schweren Motorwagens, weil dieser mehr Anhänger zieht

(Kurve 4). Ziehende Triebfahrzeuge dürfen ja nicht beliebig leicht gebaut werden, weil ihr Adhäsionsgewicht mindestens das 4...6fache der Zugkraft am Rad betragen muss. Trotzdem bringt die Leichtbauweise sogar bei schweren Lokomotiven Vorteile in der Möglichkeit, Laufachsen wegzulassen und Leistungsreserven vorzusehen. So wird heute an Stelle der 7achsigen SBB-Schnellzuglokomotive Ae 4/7 mit Stundenleistung 2300 kW die 6achsige Ae 4/6 mit 4200 kW gebaut.

Eine zweite, sehr wichtige Grenze ist die Erwärmung der elektrischen Maschinen, Apparate und Leitungen. Es sind Bestrebungen im Gang, für Bahnmotoren die bisherige Temperaturgrenze von 130 bzw. 145° für Isolationsklasse B heraufzusetzen. Bei Ersatz von Kupfer durch Aluminium möchte man so möglichst ohne Wickelraumvermehrung auskommen. Leider wird damit viel weniger Leistungserhöhung erreicht als man gewöhnlich annimmt, und zwar infolge der Zunahme des ohmschen Widerstandes mit der Temperatur. Die Kupferverluste betragen bei Beharrung  $I^2 \cdot R_0 \cdot (1 + \alpha \Delta t)$ , andererseits ist die dauernd abgeführte Leistung

$$P = \beta_0 \cdot \Delta t = I^2 \cdot R_0 \cdot (1 + \alpha \Delta t).$$

Hieraus die Enderwärmung:

$$\Delta t = \frac{1}{\frac{\beta_0}{I^2 R_0} - \alpha}$$

Dabei bedeutet:

$\beta_0$  die Wärmeabgabe pro Grad Temperaturerhöhung (spezifische Abgabe  $\times$  Oberfläche),

$I^2 R_0$  die Stromwärme beim Widerstand  $R_0$  (15,5°),  $\alpha$  den Temperaturkoeffizienten des Kupfers (bzw. Aluminiums),

$\alpha = 0,004$  (bzw. 0,00384) für  $t_3 = 15,5^\circ$

Diese in Fig. 13 dargestellte Beziehung gilt ziemlich genau für stark gekühlte Wicklungen, wo die Strahlung gegenüber der Konvektion vernachlässigbar und die Wirbelstromverluste gering sind. Sie zeigt, dass die Erwärmung bei den Verlusten

$I^2 R_0 = \frac{\beta_0}{\alpha}$  unbegrenzt steigt, weil dann der Nenner Null wird. Der Wert

$$\frac{\beta_0}{R_0} = I^2 \frac{1 + \alpha \Delta t}{\Delta t}$$

ist gegeben, sobald die Erwärmung für eine Stromstärke festliegt, z. B.  $\Delta t = 100^\circ$  für  $I = 1$ . Dann ist

$$\frac{\beta_0}{R_0} = \frac{1 + 0,004 \cdot 100}{100} = 0,014$$

also  $\Delta t = \frac{1}{\frac{0,014}{I^2} - \alpha}$  wo  $I$  das Verhältnis des beliebigen Stromes zum Strom bei 100° Erwärmung (Stromfaktor) geworden ist.

Für  $I = 1,87$  würde  $\Delta t = \infty$ .

Eine Wicklung, die sich bei Stromstärke 1 um  $100^\circ$  über  $15,5^\circ$  erwärmt, erreicht nach Fig. 13 bei 1,2- oder 1,4fachem Dauerstrom nicht nur das 1,2<sup>2</sup>- oder 1,4<sup>2</sup>fache, sondern bedeutend höhere, nämlich

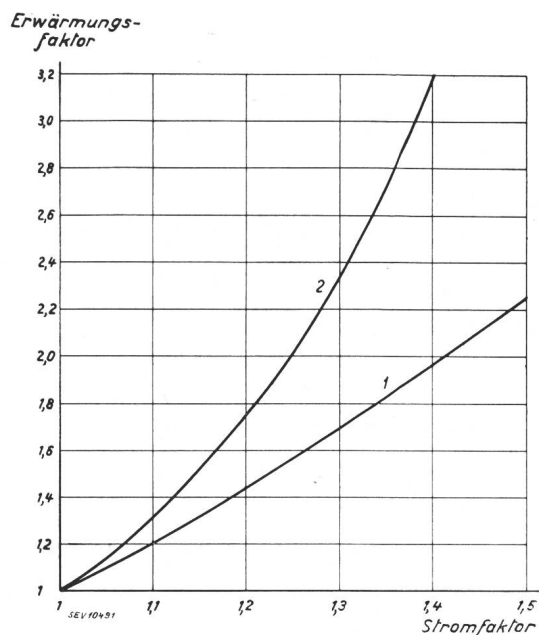


Fig. 13.

Faktoren für die Erwärmung bei Mehrstrom ohne (1) und mit (2) Berücksichtigung der Widerstandszunahme. Ausgangspunkt:  $\Delta\vartheta = 100^\circ$  über  $15,5^\circ$  bei Strom 1.

1,75- oder 3,2fache Erwärmung. Betrachten wir in Fig. 14 den Fall des 1,2fachen Stromes unter Annahme verschiedener Erwärmung beim einfachen. Statt auf das Quadrat, also das 1,44fache, steigen die Stromwärmeverluste von  $100^\circ$  aus auf das 1,75fache, von  $160^\circ$  auf das 2fache, also auf die 3. und 4. Potenz. Für Kupfer und Aluminium sind die

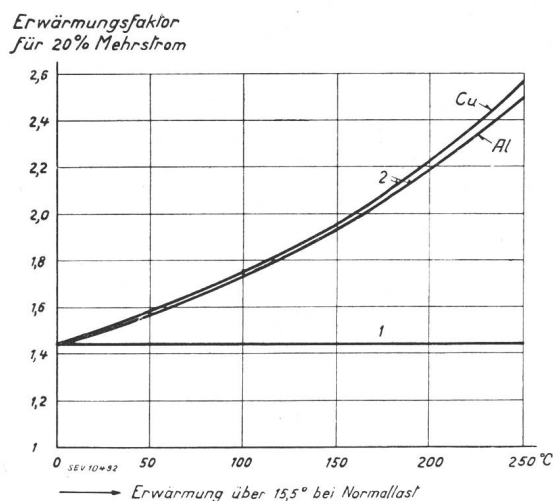


Fig. 14.

Faktoren für die Mehrerwärmung bei 20 % Mehrstrom ohne (1) und mit (2) Berücksichtigung der Widerstandszunahme.

Temperaturkoeffizienten und damit diese Erwärmungsfaktoren fast gleich.

Wenn die Kupferwicklung durch Aluminium gleichen Querschnittes ersetzt werden soll, rechnet man gewöhnlich mit 1,6facher Erwärmung entsprechend dem Verhältnis der spezifischen Wider-

stände bei gleicher Temperatur. Infolge des Temperaturkoeffizienten wird die Erwärmung statt  $100^\circ$  bei Kupfer schon über  $200^\circ$  mit Aluminium steigen und statt  $150^\circ$  Kupfererwärmung das 2,3fache, also

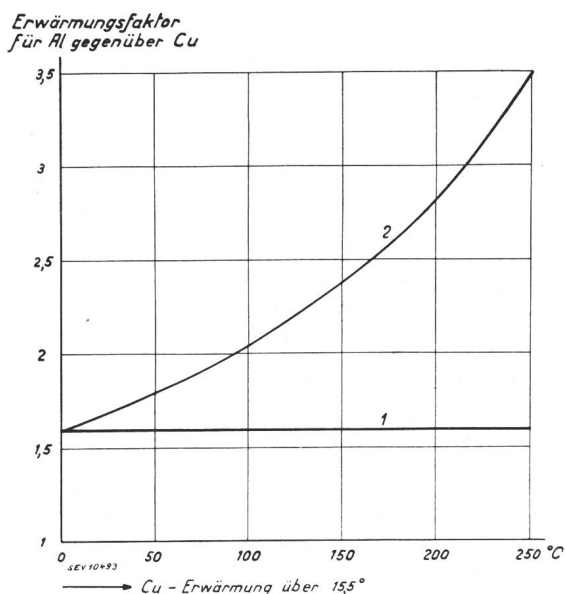
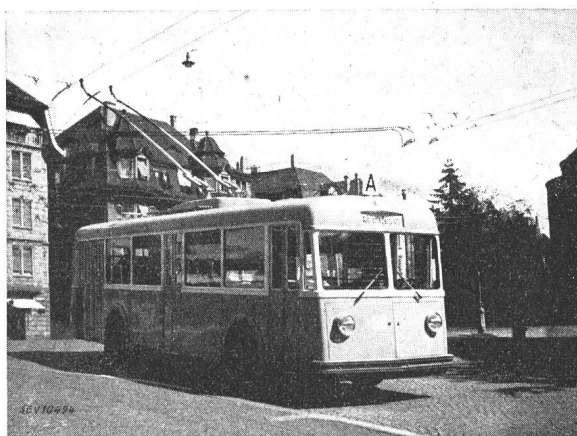
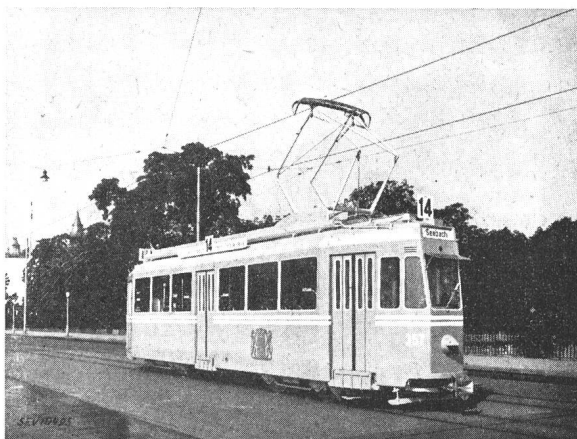


Fig. 15.

Faktoren für die Mehrerwärmung von Al gegenüber Cu bei gleichem Querschnitt ohne (1) und mit (2) Berücksichtigung der Widerstandszunahme.

Fig. 16.  
Trolleybus ZürichFig. 17.  
Strassenbahn Zürich

350° mit Aluminium erreichen (Fig. 15). Bei nur kurzzeitigem Mehrstrom wirkt diese Erscheinung weniger, trotzdem beeinträchtigt sie den Wert höherer Temperaturgrenzen wesentlich.

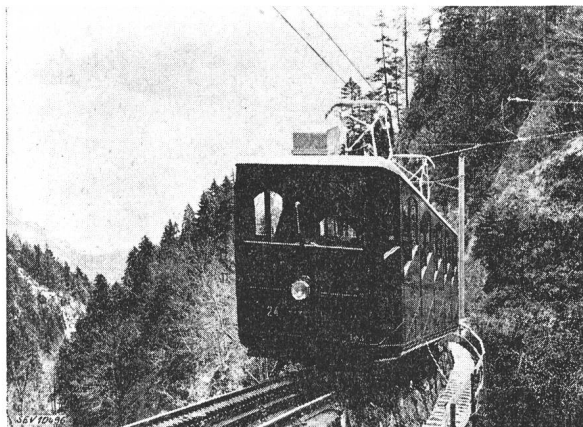


Fig. 18.  
Pilatus-Bahn

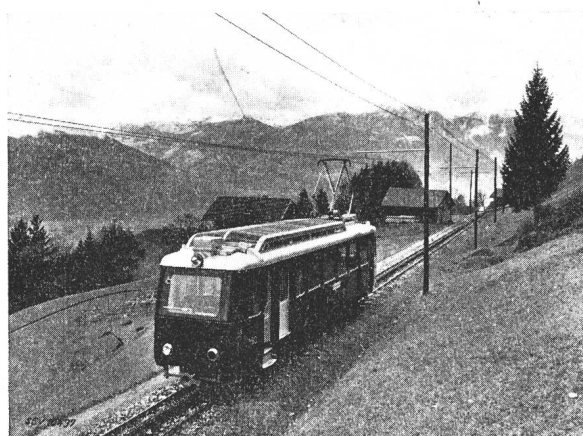


Fig. 19.  
Bex—Gryon—Villars—Chesières

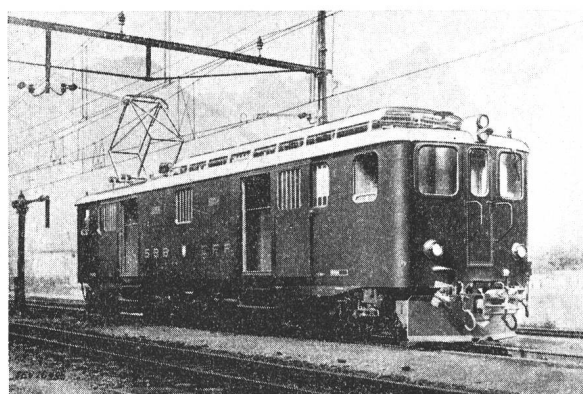


Fig. 20.  
Brünig-Bahn

In diesen Grenzen möchte ich nicht etwa das Ende der Entwicklungsmöglichkeiten voraussehen. Im Gegenteil — und damit bin ich am Schluss — sind noch viele Ziele in weiter Sicht. Ein solches sind wärmefeste Kabelisolationen an Stelle des

Gummis. Die in die Triebräder verlegte Federung, vertikal und seitlich, harrt ebenfalls einer besseren Lösung als derjenigen mit Gummi. Gesamtproblem der nächsten Zeit wird vor allem Ausbeutung der Betriebserfahrungen an den vielartigen, in den letzten 10 Jahren gebauten Leicht-Triebfahrzeugen sein, daraus diejenigen Konstruktionen zu behalten, die nicht nur technisch und haustofflich interessant sind, sondern den Gesamt-Betriebsbedingungen am besten entsprechen durch Zweckmässigkeit, Einfachheit, Einheitlichkeit. Jetzt, oder nach Kriegsende, können Dampfbahnen günstig elektrifiziert und viele, heute veraltete, schwere und langsame elektrische Triebfahrzeuge nach und nach vorteilhaft erneuert werden. Enge Zusammenarbeit der Behörden, Bahnen und Firmen wird dazu auch künftig wertvoll sein.

### Diskussion

**Vorsitzender:** Je remercie en votre nom M. Bodmer de son intéressante communication et je demande s'il y a quelqu'un qui désire prendre la parole.

Herr E. Schroeder, Oberingenieur der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden: Ich möchte nur mit ein paar Worten die Ausführungen von Herrn Bodmer voll und ganz unterstützen. Ich bin ganz und gar überzeugt davon, dass die Zukunft unserer Technik in jener Richtung liegt. Wir können Herrn Bodmer zu seinen Arbeiten nur gratulieren und die von ihm und seiner Firma erzielten Resultate neidlos anerkennen.

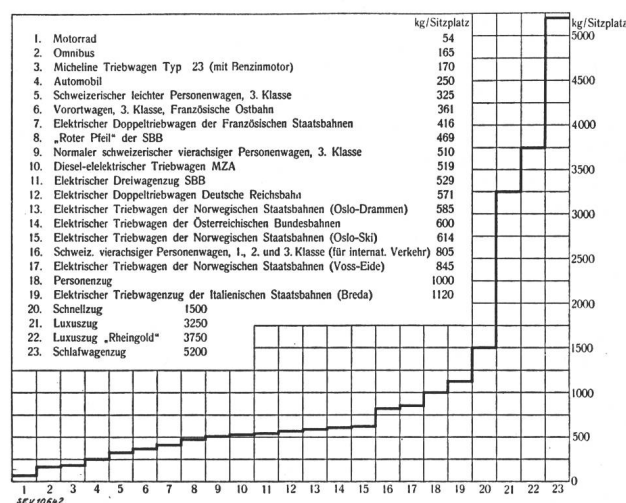


Fig. 1.

Sitzplatzgewichte für verschiedene Fahrzeugarten

$$= \frac{\text{Fahrzeugleergewicht}}{\text{Sitzplatzzahl}}$$

Die Kurve gibt einen ganz rohen Ueberblick über das, was im Triebfahrzeugbau mit Bezug auf Gewichte geleistet wurde und welche Uebertreibungen in der Vergangenheit vorgekommen sind, die in Zukunft vermieden werden müssen.

In diesen grundlegenden Gesichtspunkten gibt es keine Konkurrenz, kein sich gegenseitiges Abjagen von Geschäften, sondern hüben und drüben nur ein zähes Verfolgen eines gemeinsam als richtig erkannten Zieles. Diese Zusammenarbeit in der grossen Linie ist speziell auch nötig, und zwar mehr als je zwischen Elektriker und Mechaniker, zwischen Wagenfabriken, Lokomotivfabriken und dem Elektromaschinenbauer. Dies, um nach dem Krieg mit einem Vorsprung aufzuwarten gegenüber Ländern und Völkern, die jetzt an-



deres zu tun haben und die uns bald genug wieder im Fortschritt in der Technik hart bedrängen werden.

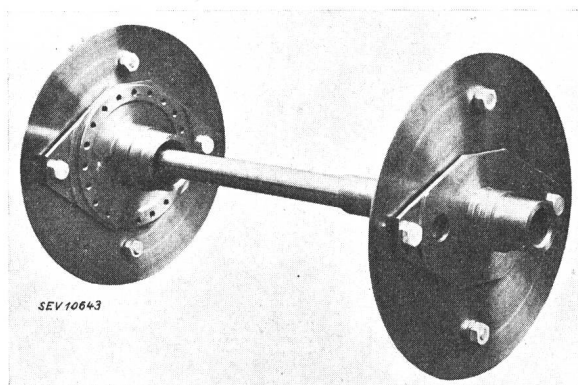


Fig. 2.

#### Kardanwelle zum Brown-Boveri-Scheibenantrieb

Die Stahlscheiben bilden die elastischen Verbindungen, die keine Schmierung und keinen Unterhalt erfordern und die keine Abnutzung zeigen. Der Antrieb in dieser oder einer andern konstruktiven Form ist für alle möglichen Arten von Fahrzeugen mit Vorteil verwendbar.

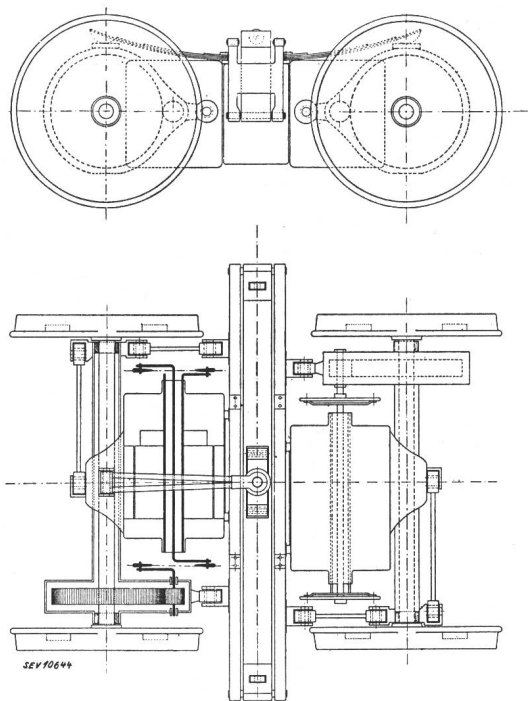


Fig. 3.

#### Schematische Anordnung des Simplex-Drehgestelles mit Motoren- und Federseibenantrieb

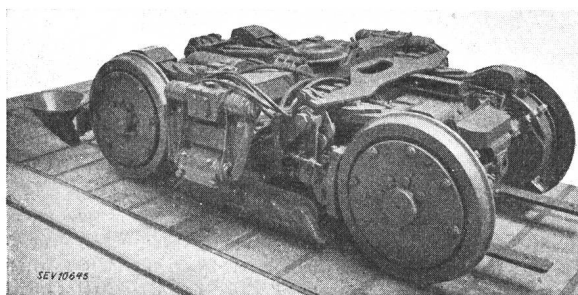


Fig. 4.

#### Simplex-Drehgestell, Bauart Zürich

Wir können in unserer Technik betrachten was wir wollen, wo ein Fortschritt erzielt wird, besteht er immer irgend-



Fig. 5.

#### Leichttriebwagen mit Simplex-Drehgestellen

für die Städtische Strassenbahn Zürich, 1-h-Leistung 150 kW, Tara 13 t, Fassungsvermögen 100 (Sitz- und Stehplätze zusammen).

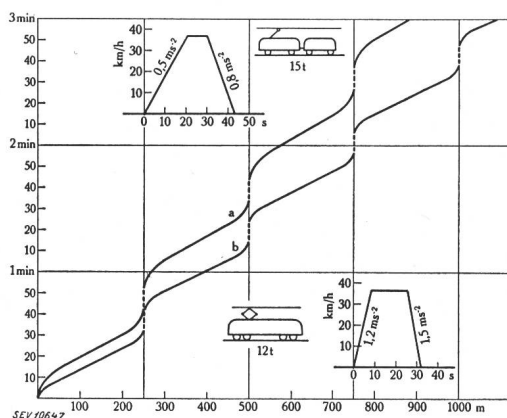


Fig. 6.

#### Anfahr-, Beschleunigungs- und Bremsdiagramm

eines zweiachsigen Motorwagens mit Anhänger (a) und eines vierachsigen Leichttriebwagens vom Typ Zürich (b). Man sieht, dass die Höchstgeschwindigkeit vom Leichttriebwagen viel rascher erreicht wird und über einem bestimmten Streckenabschnitt längere Zeit gehalten werden kann. Daraus resultiert grössere Reisegeschwindigkeit und bessere Ausnutzung des Fahrzeuges.

		Genoa	Chicago	Washington	Zürich
Spurweite	mm	1000	1435	1435	1000
Stromabnehmer		Trolley	Trolley	Trolley	Pantograph
Leistung pro t	PS	11,9	11,8	12,6	15,5
Beschleunigung	m/s <sup>2</sup>	1,8	1,65	1,5 - 2	2,2
Radstand im Drehgestell	mm	1800	1670	1550	1625
Raddurchmesser	mm	660	609	660	660
Gewicht des Wagens	kg	16780	16900	15850	12900
Gewicht eines Drehgestells einschl. Motoren	kg	3890	3772	3850	2950
Lieferant des elektr. Teils		Brown Boveri Mailand	G. E. Co.	G. E. Co.	Brown Boveri Baden
Lieferant der Drehgestelle		Brown Boveri Mailand	Brill Co.	Brill Co.	Brown Boveri Baden

Fig. 7.

Vergleich zwischen dem Leichttriebwagen Serie 401 der Städtischen Strassenbahn Zürich und einigen andern ausländischen Leichttriebwagen von etwa gleicher Leistung und mit ungefähr gleichem Fassungsvermögen.

wie in der Vergrößerung der *Geschwindigkeit*, ob es sich dabei um einen Gastrockner, um einen Druckluftschneid- oder um ein technisches Produkt für den Krieg handelt.

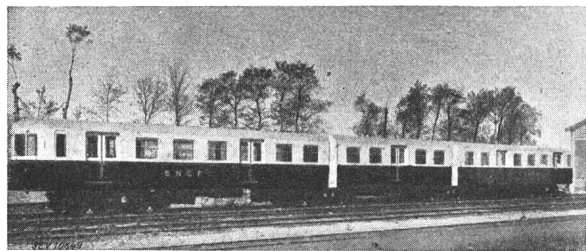


Fig. 8.

Normalspuriger elektrischer Micheline-Dreiwagenzug auf Pneu und auf Schienen laufend

mit Brown-Boveri-Ausrüstung mit 4 vierachsigen Triebdrehgestellen. Tara 32 t, 180 Sitz- und 76 Stehplätze, zusammen 256 Plätze. 1-h-Leistung 600 kW,  $v$  max. 120 km/h, mit einer Tara pro Platz von nur 125 kg. Das ist wohl der leichteste Triebwagen der Welt.

Die Geschwindigkeit ist immer direkt verbunden mit Leichtigkeit. *Hinauf mit der Geschwindigkeit, herunter mit den Gewichten*, das ist die Lösung im Fahrbetrieb. Dazu gehört mehr denn je die *Bequemlichkeit*, wie wir sie vom Auto gelernt haben. Ueber dem ganzen herrscht als dominierender Faktor die *Wirtschaftlichkeit*, ohne die auch in Zukunft ein Produkt nicht lebensfähig sein wird.

Herr Bodmer hat einige Beispiele im Bild gezeigt, ich darf vielleicht dazu die in diesem Beitrag eingestreuten Fig. 1...8 hinzufügen. Es sind nur einige Kostproben aus den Arbeiten der Bahnabteilung von Brown Boveri; es handelt sich dabei um grundsätzlich neue Konstruktionen, mit denen allein sich eine ganze Anzahl Fortschritte erzielen lassen. Mit ihrer Verwirklichung sind wir zurzeit stark beschäftigt.

Herr A. Bächtiger, Ingenieur, Werkstattechef der Städtischen Strassenbahn Zürich: Die Bahnverwaltungen sind im allgemeinen mit den gleichen Ueberlegungen beschäftigt, wie Sie sie von den beiden Herren Vorrednern gehört haben. Um im mechanischen Teil der Fahrzeuge das Material besser auszunützen, sind verschiedene Gedankengänge verfolgt worden, die wir auch schon in Fachzeitschriften da und dort veröffentlicht finden.

Im elektrischen Teil möchte ich besonders unterstreichen, was Herr Bodmer gesagt hat, dass gewisse Grenzen vorhanden sind, die man ungestraft nicht überschreiten kann. Ich führe das hier besonders an, weil man immer wieder von Verwaltungsbeamten hören kann, dass das elektrische Material nur gerade knapp ausreichen soll für den Betrieb. Dadurch entstehen dann Schwierigkeiten, die früher oder später zu Misserfolgen führen.

Bei jeder Bahn kommen durch die Frequenz, durch Verkehrseinflüsse usw. sehr ungleiche Beanspruchungen vor, die heute durch die Kriegsverhältnisse noch verstärkt werden. Es ist damit zu rechnen, dass das Personal auf den Fahrzeugen — besonders die Wagenführer — oft wechselt, d.h. es ist nicht immer derselbe Mann auf dem Wagen. An den meisten Orten sind auch verschiedenartige Fahrzeuge vorhanden. Das alles gibt Ungenauigkeiten in der Bedienung, die das Material besonders stark hernehmen.

Im allgemeinen können wir gegenüber den Firmen nicht genug darauf hinweisen, dass bei jeder elektrischen Ausrüstung in der Leistungsfähigkeit eine mindestens 20...25-prozentige Reserve enthalten sein soll, gegenüber dem normalen, für den Betrieb gewünschten Fall. Es ist dies auch wichtig, um einer späteren Entwicklung schon vorzuarbeiten; denn ein Verkehrsunternehmen wird nie absolut stille stehen.

In diesem Sinne wird es in nächster Zeit wichtig werden, einen Traktionsmotor grosser Leistung, aber geschlossener Bauart, für Ueberlandbahnen zu finden, weil man mit offenen Motoren, die natürlich die besonders gute Materialausnützung erlauben, im Winter überall schlechte Erfahrungen macht.

Herr C. Bodmer, Referent: Gestatten Sie mir ein kurzes Wort gerade zu dem letzten Teil der Ausführungen des Herrn Bächtiger. Damit, dass die Ausrüstung 20...25 % oder gegebenenfalls noch mehr Marge enthalten soll, bin ich sehr einverstanden; aber das muss zwischen Kunde und Lieferant stets vereinbart werden. Diese Fragen können auch mit dem Preis in Zusammenhang stehen. Man muss sich über das Leistungsprogramm, auch über die zukünftigen Reserven einigen, damit später, namentlich bei Aenderung der Betriebsweise, keine Enttäuschungen eintreten.

Vorsitzender: Je tiens à remercier MM. les conférenciers, M. Bodmer, M. Schroeder et M. Bächtiger, de leurs communications. De l'intérêt que le problème a soulevé, nous tirons la conclusion qu'il sera peut-être bon de le reprendre dans d'autres temps.

## Einige interessante Anwendungen elektrischer Antriebe in der Kunstseide- und Zellwollefabrikation

Referat, gehalten an der Kurzvortragsveranstaltung des SEV vom 26. September 1942 in Bern.

Von H. Karlen, Emmenbrücke

621.34 : 677.46

Entwicklung des Antriebes elektrischer Spinnzentrifugen bis zum heutigen Stand. Anforderungen für Einzelantriebe moderner Pendelzentrifugen. Kommutatormotoren und Antriebe mit Variatoren für verschiedene Zwecke. Antrieb von Wärmepumpen; Kolbenkompressoren und Turbokompressoren für Thermo-Kompression. Elektrizitätserzeugung durch Gegendruckturbinen.

Die Kunstseide- und Zellwolle-Fabrikation hat durch den kriegsbedingten Mangel an Textilrohstoffen derart an Bedeutung zugenommen, dass angeregt wurde, es möchten aus dieser bislang etwas geheimnisvollen Industrie einige interessante Anwendungsbeispiele elektrischer Antriebe bekanntgegeben werden.

Obwohl in der Fabrikation der Kunstfasern die verschiedenartigsten Maschinen anzutreiben sind, so bestreitet doch der gewöhnliche Feld-, Wald- und

Développement des broches centrifuges électriques, jusqu'aux modèles les plus récents. Exigences posées aux commandes individuelles des filières centrifuges modernes à bras mobile. Diverses applications des moteurs à collecteur et des commandes à variateurs. Commande des thermo-pompes: compresseurs à piston et turbo-compresseurs pour thermo-compression. Production d'énergie par turbines à contre-pression.

Wiesen - Drehstrom - Asynchronmotor mit Kurzschlussanker den Hauptanteil aller Antriebsmotoren. Es gibt verhältnismässig wenige Anwendungsarten für spezielle Konstruktionen, welche interessante Einzelheiten aufweisen.

Fig. 1 zeigt eine Kunstseidespinnmaschine, welche nach dem sog. Topfspinnverfahren arbeitet. Im Gegensatz zur Bobinen-Spinnmaschine, bei welcher das gesponnene feine Fadenbündel unter Beibehaltung der Parallelität auf Spulen gewickelt wird, um