Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 125/126 (1945)

Heft: 12: Generalversammlung Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein, 22. bis 24. September 1945 in Zürich

Artikel: Neue Grossraum-Anhängewagen Reihe 711 der Städtischen Strassenbahn Zürich

Autor: Bächtiger, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-83727

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: 13.12.2025

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

Oberalp- und der Schöllenenbahn berücksichtigt worden. Obschon der Aufstau des Sees in verschiedenen Etappen vor sich gehen soll, ist eine dem Bauprogramm angepasste sukzessive Höherlegung der untergehenden Verkehrsadern nicht denkbar, zumal auch die Ortschaften Andermatt und Hospenthal schon bei einem verhältnismässig geringfügigen Aufstau unter Wasser gesetzt werden. Das Problem der Schaffung neuer Heimstätten für die Talbewohner und der Verlegung von Strassen und Bahnen ist also durch eine einmalige Neuanlage über dem Stauziel 1630 zu lösen. Die Projektierung (s. Abb. 8) erfolgte im übrigen unter möglichster Ausschaltung von Gegengefällen, tunlichster Vermeidung von Strassentunneln und Wendeplatten und im Hinblick auf die Aufrechterhaltung des Verkehrs auch im Winter.

Schöllenenstrasse

Nach eingehendem Studium verschiedener Varianten wurde eine Lösung gewählt, die die bestehende Strasse bis zur Abzweigung der Bätzbergstrasse (Kote 1370) weiter benützt. An dieser Stelle wird die Reuss überquert, worauf die Trasse auf dem Osthang der Schöllenen in mehreren grossen Windungen bis Kote 1505 steigt, von welchem Punkte aus dann das rechte Staumauerwiderlager (1633) in schlanker Linie erreicht wird. Die Länge der neuen Strecke beträgt 3570 m, die zu überwindende Höhendifferenz 263 m. Von der Staumauer aus führt die Strasse dem See entlang mit leichter Steigung auf 1530 m Länge zur Bahn- und Poststation «Urseren» auf Kote 1655.

Schöllenenbahn

Die heutige Linie kann bis unterhalb des Urnerlochs belassen werden. Am Staumauerfuss (1415) ist eine Haltestelle vorgesehen. Von hier wird die Bahn in einem Kehrtunnel von 840 m Länge entwickelt und auf Kote 1550 eine Abzweigstelle für den Baubetrieb der Staumauer eingeschaltet, während die Bahn, beständig im Tunnel, bis zur Dürstelenbachbrücke (1645) ansteigt, um dann von hier aus ungefähr parallel zur neuen Strasse den Bahnhof Urseren (1648) zu erreichen. Die neue Bahnstrecke misst 2630 m. Der Anschluss der neuen Schöllenenstrasse an die Oberalpstrasse erfolgt etwas unter der Falkenkehre. Die Oberalpbahn wird durch einen neuen Kehrtunnel von Nordwesten her in den Bahnhof Urseren eingeführt, sodass die bisherige Verkehrsrichtung aufrechterhalten bleibt.

Neue Seestrasse und Furka-Oberalpbahn

Die neuen Trassen liegen nach Verlassen der Siedlung Urseren im allgemeinen mindestens 15 m höher als das endgültige Stauziel und verlaufen auf der ganzen Strecke bis zum oberen Seende parallel miteinander längs der südlichen Flanke des Urserentals. Diese Lösung ist einer ebenfalls studierten Nord-Variante in verschiedenen Beziehungen vorzuziehen. Zunächst ist das überstaute Oberalptal auf einer 250 m langen Brücke zu überschreiten. Hierauf folgt die Ueberquerung des fjordähnlichen Seearms im Unteralptal, dessen vollständige Umfahrung wegen der damit verbundenen zu grossen Verlängerung der beiden Hauptverbindungen und wegen der Lawinengefährlichkeit des Tals nicht tunlich erscheint. Nach Studium mehrerer Varianten wurde der grosse Talübergang an der aus Abb. 8 ersichtlichen Stelle gewählt und zwar in Form einer Fachwerkbalkenbrücke aus Stahl mit vier Oeffnungen von total 572 m Länge. Diese Konstruktion ist sowohl einer Hängebrücke als auch einer Massivbrücke aus zahlreichen Gründen überlegen. Bis zur Gotthardreuss, die ebenfalls mit einer Stahlbrücke von rund 250 m Gesamtlänge zu überspannen ist, sind wegen des an kleineren Lawinen reichen Berghangs zahlreiche Lawinengalerien erforderlich. Eventuell muss der Gurschenhang unterfahren werden. Am linken Ufer der Gotthardreuss zweigt auf Kote 1646 eine horizontale Verbindung zur bestehenden Gotthardstrasse ab; unmittelbar darauf folgt die Bahnhaltestelle Hospenthal. Die bis zur neuen Station Realp zu durchfahrende Strecke weist im allgemeinen sehr günstige Geländeverhältnisse auf, muss aber mehrere Lawinentobel auf Brücken überschreiten. Nun trennen sich Bahn und Strasse, indem die Furkabahn auf dem rechten Reussufer, zum Teil im Tunnel, die bestehende Linie erreicht, während die Strasse den obern Seearm auf einer rund 325 m langen Stahlbrücke mit vier Oeffnungen überschreitet und an die unterste Kehre der heutigen Furkastrasse anschliesst. Die zwei erwähnten Brücken über die Oberalpreuss und die Gotthardreuss sind zweistöckig angeordnet, wobei die Strasse oben, die Bahn unten verläuft. Niveauübergänge werden vermieden. Die drei Seearme in den Tälern der Unteralp-, Gotthard- und Furkareuss werden durch Nebenstrassen umfahren, die nur für den Sommerverkehr ausgebaut werden.

Die Gesamtlänge der neuen Hauptstrassen beträgt 18,2 km, diejenige der Nebenstrassen 9,7 km und die neue Bahnlänge 16,3 km. Ein Höhenweg als Verbindung der Bätzberg- und Furkastrasse und ein Touristenpfad vom rechten Widerlager der Talsperre zur Station Nätschen der Oberalpbahn vervollständigen das neu anzulegende Verkehrsnetz.

Die Sicherung des Gotthardtunnels

Schon bei der Besprechung der geologischen Verhältnisse (Abschnitt III) wurde erwähnt, dass nur die in der mesozoischen Zone befindliche Druckstrecke und allenfalls deren unmittelbare Nachbarschaft durch den Aufstau des Urserensees beeinflusst werden könnte. Die Studien über die Frage, ob und wie diese Strecke zu sichern sei, sind noch nicht ganz abgeschlossen. Dagegen wurden verschiedene Varianten untersucht. Die Sicherung des Tunnels durch Verfestigung des Gesteins mittels Injektionen muss wegen der festgestellten geringen Aufnahmefähigkeit an Injektionsgut fallen gelassen werden. Das selbe ist bezüglich einer Aussenverstärkung der Tunnelröhre zu sagen, weil jede Ausbrucharbeit das heutige Gleichgewicht der plastischen Gebirgsmasse stören und neue Druckerscheinungen zeitigen könnte. Gegen eine Innenverstärkung spricht das vorhandene enge Lichtraumprofil. Unter der Voraussetzung der Durchführbarkeit eines länger dauernden einspurigen Bahnbetriebs kann anderseits sehr wohl die Erstellung eines etwa 1250 m langen einspurigen Umfahrungstunnels in Frage kommen, nach dessen Inbetriebnahme der bestehende Tunnel soweit erforderlich von innen verstärkt und daraufhin ebenfalls einspurig betrieben würde.

Die in Abb. 8 dargestellte Variante geht viel weiter, indem sie eine vollständige doppelspurige Umfahrung des Stausees im Gebiet der mesozoischen Gesteine vorsieht. Beide Abzweigungen vom heutigen Tunnel liegen im guten Gestein, die nördliche im Aargranit, die südliche im Gneis bzw. Granit des Gotthardmassivs. Diese radikale Lösung wird vorläufig deshalb ins Auge gefasst, weil grundsätzlich bei der ganzen Projektierung für jedes Objekt die denkbar beste Ausbauform gewählt wurde, wodurch der Kostenvoranschlag mit aller wünschbaren Sicherheit aufgestellt werden konnte. (Fortsetzung folgt)

Neue Grossraum-Anhängewagen Reihe 711 der Städtischen Strassenbahn Zürich

Von Dipl. Ing. A. BÄCHTIGER, Zürich

Strassenbahnen haben in den meisten Städten starken Stoss-Verkehr zu bewältigen. Zu den durch die Arbeitszeiten gegebenen Verkehrsspitzen tritt auf einzelnen Linien ein überaus grosser Andrang zu Sportveranstaltungen und an Sonntagen ein starker Ausflugverkehr. Während nun für allgemein dichten Verkehr nach wie vor allein und in kurzen Intervallen fahrende Motorwagen nicht nur den Wünschen des Publikums am besten entsprechen, sondern auch die Strecke und den auf den Haltestellen verfügbaren Raum gleichmässig und gut ausnützen, werden erfahrungsgemäss Verkehrsspitzen am zweckmässigsten mit Anhängewagen bewältigt. Nachdem die Motorwagen [1]) seit 1939 in Leichtbauart erstellt werden, erwies es sich als dringend notwendig, auch die Anhänger in dieser Art zu entwickeln. Die Städtische Strassenbahn Zürich hat deshalb im Sommer 1944 bei der Schweiz. Industriegesellschaft Neuhausen (SIG) elf Grossraum-Anhängewagen bestellt, von denen die ersten bereits in Betrieb genommen wurden; sie weisen bemerkenswerte Neuerungen von allgemeinem Interesse auf.

Die Typenskizze Abb. 1 zeigt den grundsätzlichen Aufbau. Länge, Breite und Fassungsvermögen (rd. 100 Fahrgäste) entsprechen den schon erwähnten Motorwagen [1]). Für den Bau waren ausser den durch die Fahrstrecke gegebenen Vorschriften die Bedingung massgebend, dass der eine Bedienungsmann sowohl die Billetkontrolle als auch die Ueberwachung und Fernbedienung der beiden Türen durchzuführen hat. Dies führte zu der aus dem Grundriss, Abb. 1 unten, ersichtlichen Anordnung der Sitzplätze, der Türen und des Platzes für den Billeteur. Dabei wurde die hintere breite Einstiegtüre und der ganze Einstiegraum in Grösse und Anordnung unverändert von den Motorwagen übernommen, da sie sich dort sehr gut bewährt haben; zugleich erleichtert man dadurch dem Publikum das einheitliche Verhalten. Grössere Gepäckstücke dürfen im Einstiegraum abgestellt werden und der betreffende Fahrgast kann den Wagen wieder durch die hintere Türe verlassen. Um die Kontrolle zu

[1]) Vgl. SBZ, Bd. 115, S. 227* (1940); Bd. 119, S. 265* (1942); Bd. 123, S. 27* (1944).

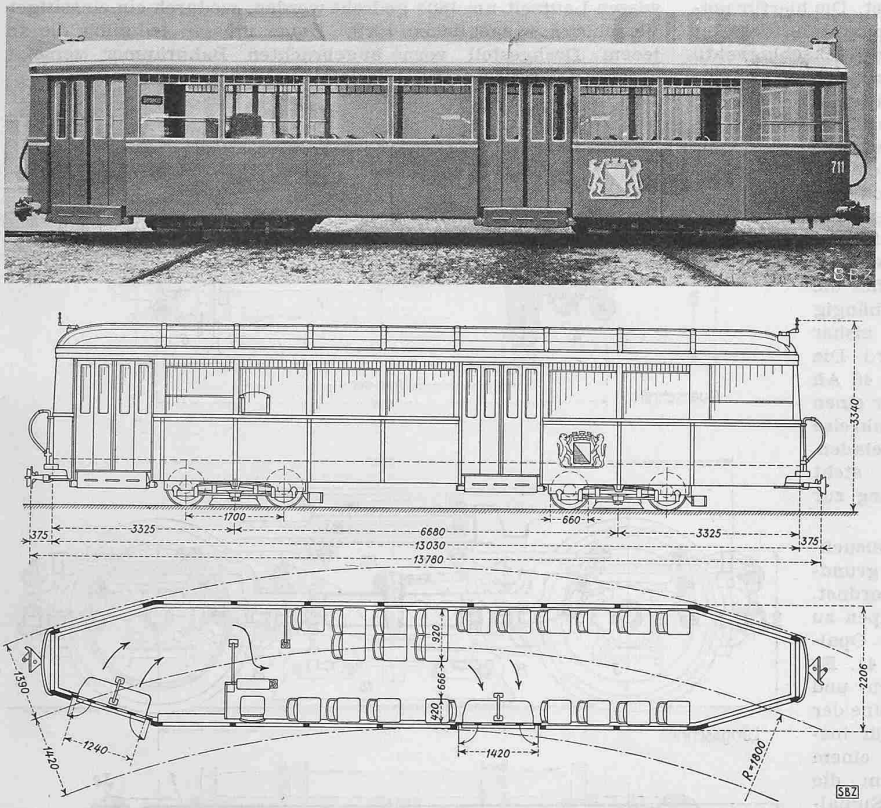

Abb. 1 u. 2. Vierachsiger Strassenbahn-Anhängewagen der St. St. Zürich. Ansicht und Typenskizze 1 : 120, Leichtbauweise, Tara 8,3 t, 21 Sitzplätze, 84 Stehplätze, Platzgewicht 79 kg

erleichtern, erhalten die neuen Anhänger im Gegensatz zu den Motorwagen nur eine Aussteigetüre etwas vor der Wagenmitte, die als Doppeltüre ausgebildet ist. Im vordern Wagenteil gibt es nur einfache Sitzplätze, sodass ein breiter Gang (1154 mm gegenüber 654 mm hinten) für den Verkehr in beiden Richtungen frei bleibt. Nötigenfalls können später dort mehr Sitzplätze eingebaut werden.

Grossraum-Anhängewagen müssen möglichst leicht sein; für das Netz der Strassenbahn Zürich sollte die Tara eines Anhängers weniger als die Hälfte der des Motorwagens für den Dreiwagenzug betragen, soll sich ein wirklich wirtschaftlicher Betrieb ergeben. Der hiefür in Betracht kommende, besonders leistungsfähige und wirtschaftliche Motorwagen, Typ 351, mit vier Motoren zu je 80 PS, wiegt leer 17 bis 18 t[2]); demgemäss wurde das Leergewicht des Anhängers zu rd. 8 t festgesetzt, was nur durch weitestgehende Verwendung von Aluminium und Magnesium und durch besondere konstruktive Massnahmen zu erreichen war.

[2]) Der Typ 401, auf den Fussnote 1 verweist, ist als ausgesprochener Leichtwagen gebaut und mit vier Motoren zu je 60 PS ausgerüstet.

Der *Wagenkasten* in selbsttragender Ganzmetallbauart ist in seinem untern Teil durch einen Anticorodal-Tragrahmen (Chassis) verstärkt, in dem alle wichtigen Apparate wie: Kupplungen, Bremszylinder, Luftbehälter, Bremssolenoid, Akkumulatorenbatterie usw. untergebracht sind. Das aufgesetzte Wagengerippe (Abb. 3) besteht aus Aviomag-(Magnesium)profilen der AIAG Lausanne-Chippis und ist mit Airal-(Magnesium)blechen der Aluminiumwerke Rorschach verschalt. Da das Wagendach praktisch kein zusätzliches Gewicht trägt, konnte der ganze obere Aufbau äusserst leicht gehalten werden, was sich auch auf die Schwerpunktslage günstig auswirkt. Magnesiumlegierungen bieten im Leichtwagenbau gegenüber Aluminium folgende Vorteile: Bei angenähert gleicher Festigkeit beträgt das spezifische Gewicht nur 1,8 kg/dm³ (Aluminium 2,7 kg/dm³), was im vorliegenden Fall eine Gewichtsersparnis von 300 kg pro Wagen bedeutet. Magnesium ist laugenbeständig, was wegen alkalischen Reinigungsmitteln und der Akkumulatorenbatterie wichtig ist (Aluminium ist sehr laugenempfindlich). Magnesium lässt sich gut bearbeiten, in warmem Zustand leicht biegen und auch leicht schweissen. Die etwa genannte Feuerempfindlichkeit des Magnesiums besteht praktisch nur bei feinverteiltem Zustand des Materials (Dreh- oder Feilenspäne, ganz dünne Bleche usw.), nicht aber für massive Bauteile. Nebenbei sei noch erwähnt, dass das Rohmaterial für die Herstellung des Magnesiums vollständig aus dem Inland stammt. An der atmosphärischen Luft soll Magnesium nicht ungeschützt verwendet werden, da es stärker angegriffen wird als Aluminium. Grosse Schwierigkeiten bot bisher der Anstrich. Versuche haben gezeigt, dass die meisten gebräuchlichen Farbanstriche auf Magnesium Reaktionen hervorrufen, die nach kurzer Zeit den an und für sich intakten Farbfilm vom Metall abstossen. Dank umfassender Proben und Untersuchungen, die die Strassenbahn Zürich mit Spezialfirmen der Lack- und Farbenbranche zusammen ausführte, ist dieses Problem heute praktisch gelöst, abgesehen von augenblicklich noch bestehenden Rohstoffschwierigkeiten.

Der innere Ausbau des Wagenkastens (Abb. 4) entspricht mit den Leichtmetallrohrsitzen, Wandverkleidungen aus Anticorodal und Pavatexplatten usw. den eingangs erwähnten neuen Strassenbahn-Motorwagen. Die Ventilation des Wageninnern ist durch Kiemenlüfter und Zugfenster so reichlich vorgesehen, dass auch heisseste Sommertage erträglich sein werden. Die Sonnenstoren bestehen überdies aus durchlässigem Netzstoff.

Für Züge mit rascher Anfahrt und hoher Reisegeschwindigkeit ist es unumgänglich notwendig, nur mit geschlossenen Türen zu fahren. Die neuen Fahrzeuge sind daher mit den *elektropneu-*

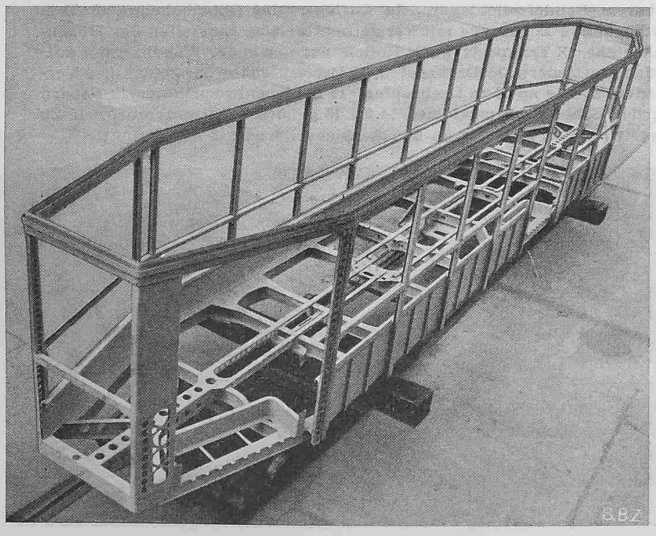

Abb. 3. Der Wagenkasten, selbsttragender Ganzmetallbau

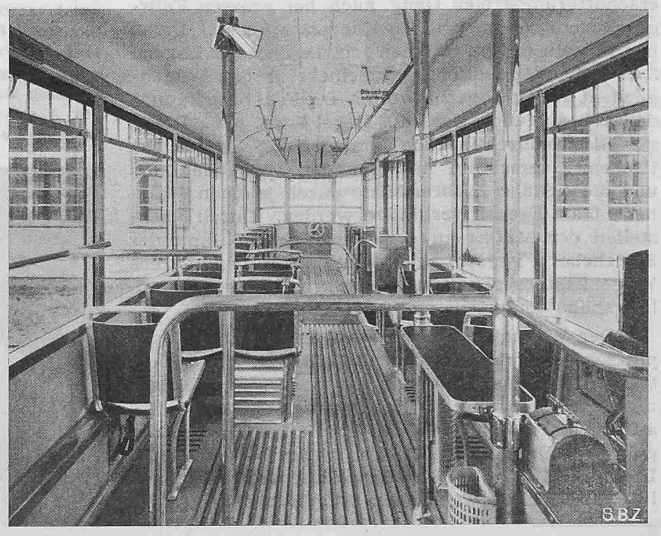

Abb. 4. Innenansicht, rechts Sitz des Billeteurs

matischen Klapptüren System BBC ausgerüstet. Die hierfür notwendige Druckluft wird einem besonderen Apparateluftbehälter entnommen, der aus der Bremsleitung über ein Rückschlagventil gespeist wird. An den Türkontakten befinden sich elektrische Verriegelungen, die beim Oeffnen der Türen automatisch das optische Haltesignal beim Wagenführer aufleuchten lassen und damit verhindern, dass sich Züge mit offenen Türen in Fahrt setzen. Die Ventile der Türbetätigung werden an je einem Schalter beim Billeteursitz elektrisch gesteuert und der dazu nötige Steuerstrom der in jedem Wagen eingebauten alkalischen Akkumulatoren-Batterie entnommen. Mit dieser Batterie kann der Billeteur im Bedarfsfall die Schienenbremse seines Anhängewagens unabhängig vom Motorwagen betätigen, wodurch eine bisher nicht gekannte Betriebsicherheit erreicht wird. Die Akkumulatorenbatterie von 32 Zellen zu je 40 Ah wird von der 600 Volt-Kontaktleitung aus über einen Ladewiderstand, sowie über die Nebenstromkreise gleicher Spannung fortwährend wieder aufgeladen. Zur Verständigung über die Türbedienung steht den Passagieren noch eine Summereinrichtung zur Verfügung.

Die eigentlichen *Nebenstromkreise:* Beleuchtung, Heizung, optisches und Notsignal sind grundsätzlich gleich wie bei den Motorwagen angeordnet. Die Beleuchtung umfasst insgesamt 15 Lampen zu je rd. 30 Watt, wovon der grösste Teil als Opalglasbirnen in die Decke eingelassen ist (Abb. 4). Es wurde besonderer Wert darauf gelegt, die Ein- und Ausstiegtreppen hinreichend zu beleuchten. Eine der drei Beleuchtungsserien zu je fünf Lampen für insgesamt 600 Volt Spannung ist überdies mit einem Lampensucher (Ueberbrücker) versehen, um die wichtigsten Beleuchtungskörper der äusseren Signallampen und der Treppenbeleuchtung auch bei Defekt einer Lampe zu sichern.

Die *Heizung* ist im ganzen Wagen gleichmässig verteilt und erreicht bei Vollbetrieb rd. 4 kW. Die einzelnen an 600 Volt angeschlossenen Widerstandsheizkörper sind unter den Sitzbänken untergebracht. Beim Billeteursitz ist überdies noch ein Fussheizkörper von 100 Watt eingebaut. Sämtliche Schaltapparate nebst den zugehörigen Sicherungen der Nebenstromkreise sind in der Nähe des Billeteursitzes auf einem besonderen Schaltbrett zusammengefasst. Die Energieversorgung mit 600 Volt Gleichstrom erfolgt vom Motorwagen her über ein besonderes Starkstrom-Kupplungs-Kabel. Um den Betrieb der neuen Anhängewagen ausnahmsweise auch mit älteren Anhängewagen zusammen zu ermöglichen, ist vorläufig noch ein Dachhaken üblicher Bauart für diese Energieübertragung vorhanden.

Die *Drehgestelle*, Abb. 5 bis 8, bestehen aus leichten, in Stahlblech durch Schweissung hergestellten Rahmen 1, die durch Torsionsstabfederung, Patent SIG[3]), mit den Lagerbüchsen 3 der Laufradachsen verbunden sind und so einen weichen, erschütterungsfreien Gang auch bei grossen Fahrgeschwindigkeiten und in Kurven ergeben. Dabei übermitteln die im Rahmen 1 in besonderen Lagern 3 a drehbar gehaltenen Gabelhebel 4 das Wagengewicht auf die Lagerbüchsen 3. Die Federung kommt dadurch zustande, dass die Hebel 4 auf jeder Drehgestellseite durch je einen Torsionsstab 5 von quadratischem Querschnitt mit einander verbunden sind und diese Stäbe in ihrer Mitte durch je einen Stützhebel 6 am Drehen verhindert werden. Durch Nachstellen der Mutter an den Zugstangen 7 kann der Stützhebel 6 gedreht und damit die Höhenlage des Wagenkastens genau auf die vorgeschriebene Kupplungshöhe eingestellt werden.

Der Wagenkasten ruht auf den in den Tragpratzen 8 eingebauten Rollen; die Blattfedern 9 übertragen das Kastengewicht auf die Drehgestellrahmen. Der Drehzapfen 10 hat nur horizontale Kräfte aufzunehmen, die durch den am Kastenunterteil angelenkten Dreieckhebel 11 übertragen werden. Jedes Drehgestell ist symmetrisch gebaut und soll bei nur in einer Richtung fahrenden Wagen nach einer gewissen Laufzeit um 180° gedreht werden, wodurch ein einseitiger Verschleiss ausgeglichen wird. Dabei müssen lediglich die an jedem Drehgestell vorn angebrachten Bahnräumer versetzt werden.

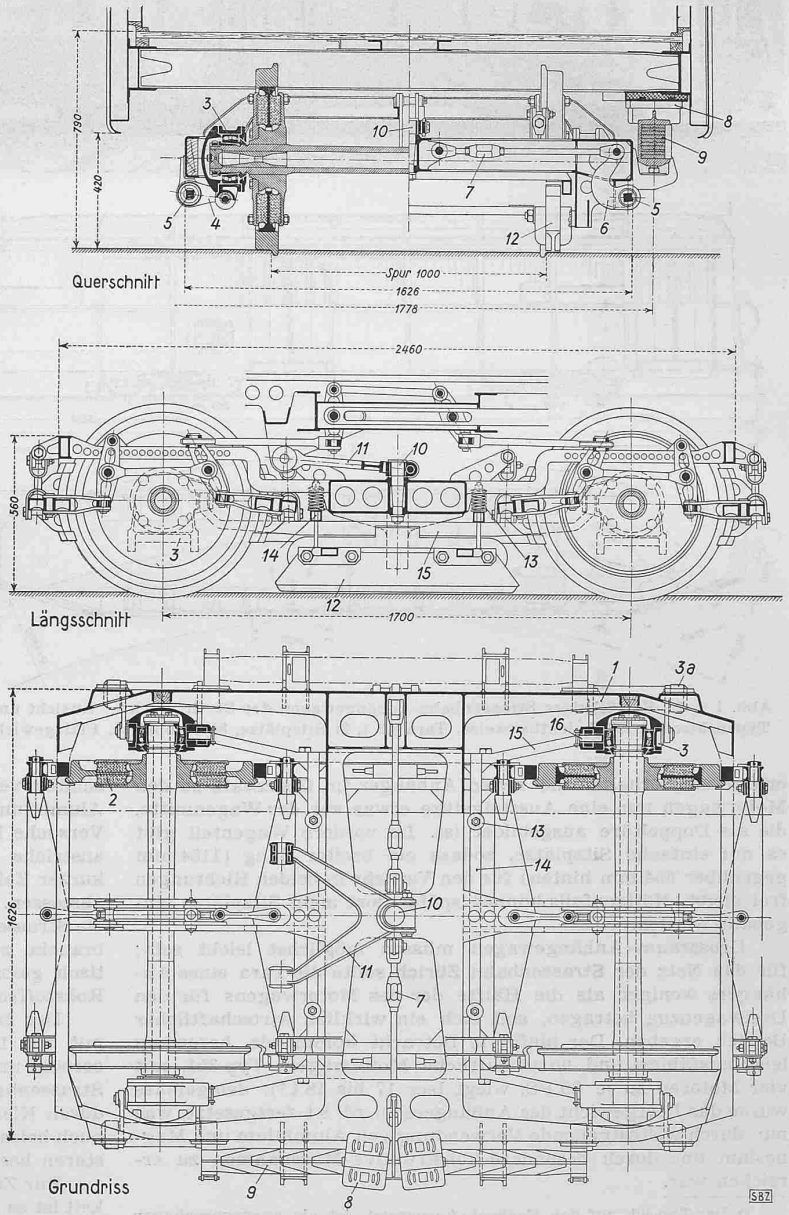

Abb. 5 bis 7. Einzelheiten des Drehgestells 1 : 30. — Legende: 1 Aus Stahlblech geschweisster Rahmen, 2 SAB-Räder mit Gummifederung, 3 Achslagerkörper mit axial verschiebbarem Pendelrollenlager, 3a Auflager des Gabelhebels 4, 5 Torsionstab, 6 Stützhebel, 7 Zugstange mit Verstellmutter zum Einstellen der Höhenlage des Wagenkastens, 8 Tragpratzen mit Rollen, auf denen der Wagenkasten aufruht, 9 Zugehörige Blattfedern, 10 Drehzapfen, 11 Dreiecklenker zur gelenkigen Verbindung des Wagenkastens mit dem Drehzapfen, 12 Schienenbremsklotz, 13 Federn zur Abstützung der Schienenbremsklötze, 14 Zu 13 gehörige Quertraversen, 15 Zu 13 gehörige Längstraversen, gelenkig an den Achslagerkörpern 3 aufgehängt

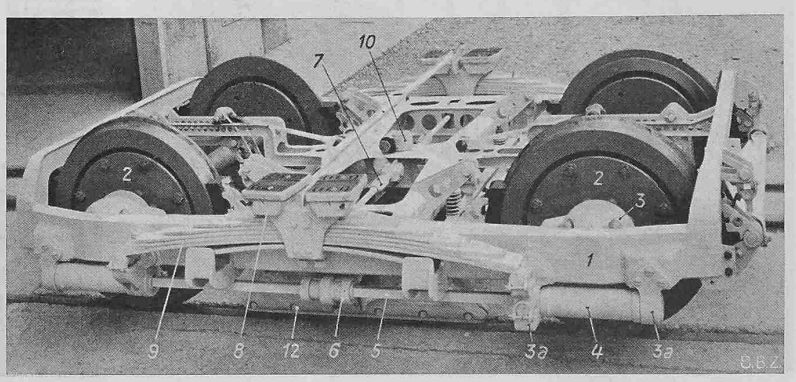

Abb. 8. Ansicht des Drehgestells (Legende oben)

[3]) Vgl. SBZ, Bd. 120, S. 98* (1942).

Die von den Eisen- und Stahlwerken vorm. G. Fischer, Schaffhausen, gelieferten SAB-Räder von 660 mm Durchmesser sind mit Gummifederung ausgerüstet[4]), die sich bei den Motorwagen aufs Beste bewährt haben; sie dämpfen den Fahrlärm stark ab, was namentlich von den Streckenanwohnern begrüsst wird. Die leichten Hohlachsen laufen in Pendelrollenlagern. Versuchsweise erhielten einzelne Wagen Naben und Radscheiben aus Leichtmetall.

Zum Bremsen stehen an jeder Achse je vier Bremsklötze, aus Grauguss, die elektromagnetisch, pneumatisch und von Hand bedient werden können, sowie insgesamt vier elektromagnetisch zu betätigende Schienenbremsklötze von je 4000 kg vertikaler Zugkraft zur Verfügung, die jeweilen in der Mitte zwischen je zwei Rädern angeordnet sind.

Die Bremsklötze sind an einstellbaren Federn 13 aufgehängt, die sich auf Quer- und Längstraversen 14 und 15 abstützen, wobei die Traversen 15 durch die Gelenke 16 mit den Achslagerkörpern verbunden sind. Auf diese Weise befinden sich diese Bremsklötze unabhängig von der Einfederung der Drehgestelle in der richtigen Höhenlage zu den Schienen. Die Bremseinrichtungen ermöglichen folgende Bremsordnung: Der Wagenführer bremst normalerweise seinen Motorwagen mit dem Motor selbst und gleichzeitig die Anhänger elektromagnetisch mit den Bremsklötzen an den Rädern. Bei kleinen Geschwindigkeiten (unter etwa 10 km/h) wird die Bremsung mit dem Motor unwirksam, so dass dann der Wagenführer den ganzen Zug durch pneumatische Betätigung der Radbremsklötze zum Stillstand bringt. Diese pneumatische Betätigung kommt ausserdem zur Wirkung, wenn irgendwo die pneumatische «Notbremse» gezogen, oder automatisch, wenn bei Kupplungsbruch die Verbindung zwischen Motorwagen und Anhänger unterbrochen wird. Die Schienenbremsklötze, die auch am Motorwagen vorhanden sind, werden bei elektrischen Notbremsungen vom Motorwagen aus am ganzen Zug betätigt und von der Akkumulatorenbatterie des Motorwagens gespeist.

[4]) Vgl. SBZ, Bd. 115, S. 228*, Abb. 8.

Ueber die *Wirtschaftlichkeit* der neuen Wagen lassen sich im Augenblick naturgemäss noch keine Erfahrungszahlen angeben. Aus den Ergebnissen mit den neuen Motorwagen lässt sich jedoch annäherungsweise berechnen, dass die Betriebskosten des Platzkilometers des neuen Anhängewagens gegenüber dem älteren zweiachsigen Typ bei ungefähr gleichem prozentualen Sitzplatzangebot etwa um 25 % billiger sein werden. In erster Linie wird dies erreicht durch das grössere Fassungsvermögen bei nur unmerklich höherer Tara. Weitere Einsparungen und in der Regel auch Mehreinnahmen sind dank der höheren Reisegeschwindigkeit, die sich aus der guten Kurvenläufigkeit ergibt, zu erwarten.

Dampf-Luft-Anlagen für gleichzeitige Erzeugung von mechanischer Energie und Wärme

Von Dipl. Ing. W. KARRER, Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich

A. Einleitung

Dampfkesselanlagen, die ausschliesslich Heizwärme liefern, lassen sich bekanntlich zu sehr wirtschaftlich arbeitenden Heizkraftwerken ausbauen, indem man Druck und Temperatur bei Kesselaustritt steigert und den Dampf in einer Gegendruck-Dampfturbine unter Erzeugung mechanischer Energie expandieren lässt. Die bei einer gegebenen Heizleistung gewinnbare mechanische Leistung ist umso grösser, je höher Druck und Temperatur vor der Turbine sind; ihr Wärmewert beträgt z. B. bei einem Gegendruck von 5 ata ungefähr 10 bis 15 % der Brennstoffwärme oder etwa 14 bis 21 % der nützlichen Heizleistung. In der vorliegenden Studie wird nun gezeigt, wie durch sinngemässes Eingliedern einer Luftturbine mit Kompressor die an der Welle gewinnbare Leistung angenähert verdoppelt werden kann, und zwar bei einer sehr günstigen Ausbeute der zusätzlich erforderlichen Brennstoffwärme.

B. Die Gegendruck-Dampfturbinenanlage

Wir gehen bei unseren Betrachtungen vom reinen Dampf-Heizwerk, Abb. 1, aus, bei dem auf dem Rost des Kessels der Verbrennungsluft die Brennstoffwärme $Q_{b\,(K)}$ mitgeteilt, und die Wärme $Q_{N\,(K)}$ in den Verbrauchern h nützlich abgegeben wird. Der Index (K) deutet an, dass es sich um eine Kesselanlage für ausschliessliche Heizwärmelieferung handelt. Bei allen nachfolgenden Betrachtungen soll, um eine gültige Vergleichsbasis zu erhalten, der Dampf mit 5 ata und 165°, also leicht überhitzt, ins Heiznetz eintreten (s. Punkt h, Abb. 4). Das Kondensat der einzelnen Wärmeverbraucher wird gesammelt und im Speisewasser-Vorwärmer e (Abb. 1) bis nahe an die Verdampfungstemperatur erwärmt. Die Rauchgase verlassen die Anlage bei f mit einer Temperatur, die bei allen betrachteten Fällen zu 130° C angenommen wurde.

Dieser einfachen Anlage stellen wir nun eine Gegendruck-Dampfturbinenanlage (Abb. 2) gegenüber, bei der in den Wärmeverbrauchern h die gleiche nützliche Heizleistung $Q_{N\,(GD)} = Q_{N\,(K)}$ abgegeben werde; gleichzeitig gibt die Dampfturbine g die mechanische Nutzleistung $N_{(GD)}$ ab. Die in den Kessel einzuführende Brennstoffwärme $Q_{b\,(GD)}$ ist um den Wärmewert dieser Leistung, den Wärmewert der Lagerreibung, sowie die zusätzlichen Wärmeverluste der Turbine und der Leitungen grösser als $Q_{b\,(K)}$. Die Verbrennungsgase geben die im Rost aufgenommene Wärme stufenweise im Verdampfer c, im Ueberhitzer d und im Speisewasser-Vorwärmer e ab und verlassen die Anlage bei f.

Die Summe des Wärmewertes der nützlichen mechanischen Leistung $860\,N_{(GD)}$ und der nützlichen Heizleistung $Q_{N\,(GD)}$ erreicht bei grösseren modernen Anlagen rd. 85 % der stündlich eingeführten Brennstoffwärme $Q_{b\,(GD)}$. Diese Zahl liegt nur unwesentlich tiefer als der Wirkungsgrad einer aequivalenten Kesselanlage ohne Erzeugung mechanischer Energie. Als Verluste der Gegendruck-Dampfturbinenanlage sind nur die «äussern» Verluste, nämlich die Wärmeabstrahlung der heissen Teile, die Verluste zufolge unvollständiger Verbrennung, die mit den Rauchgasen weggeführte Wärme und die Lagerreibung der Turbine einzurechnen, während die «innern» Strömungsverluste der Turbine in Wärme umgewandelt und mit dem Abdampf den Wärmeverbrauchern zugeführt werden, also nicht als Verluste zu buchen sind.

Im Entropiediagramm (Abb. 4) stellt h den oben festgelegten Dampfzustand am Eintritt in das Heiznetz dar. Dort sind, von h ausgehend und unter Berücksichtigung der bekannten Abhängigkeit des thermodynamischen Wirkungsgrades vom Frischdampfdruck für verschiedene Kesseldrücke die Expansionslinien eingezeichnet und so die erforderlichen Ueberhitzungstemperaturen (Punkte g vor der Turbine, Punkte d nach dem Ueberhitzer), sowie die Nutzleistungen $N_{(GD)}$ bestimmt worden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in der Energiebilanz (Abb. 5) zusammengefasst, aus der man erkennt, wie mit wachsendem Kesseldruck der in der Gegendruck-Dampfturbine in Nutzleistung umsetzbare Anteil an der eingeführten Brennstoffwärme zunimmt.

Setzt man die Summe des Wärmewertes der Nutzleistung $860\,N_{(GD)}$ und der nützlichen Heizleistung $Q_{N\,(GD)}$ zur pro Zeiteinheit zugeführten Brennstoffwärme $Q_{b\,(GD)}$ ins Verhältnis, so erhält man den Gesamtwirkungsgrad:

$$\eta_{g\,(GD)} = \frac{860\,N_{(GD)} + Q_{N\,(GD)}}{Q_{b\,(GD)}} \quad \ldots \quad (1)$$

Darin sind N in kW, Q_N und Q_b in kcal/h einzusetzen. Dieser Wirkungsgrad wird in Abb. 5 durch die durch kreuzweise Schraffur hervorgehobene Linie dargestellt.

Die Wärmebilanz (Abb. 5) gibt noch kein genügend genaues Bild über die Güte und die Grösse dieser Erzeugungsart von mechanischer Leistung. Dazu ist der Brennstoff-Mehrverbrauch eines Heizkraftwerkes gegenüber einem reinen Heizwerk bei gleicher nützlicher Heizwärmeabgabe, also die Grösse $Q_{b\,(GD)} - Q_{b\,(K)}$ zu bestimmen und zu ihr die Nutzleistung der Gegendruckturbine $N_{(GD)}$ ins Verhältnis zu setzen. Demzufolge definieren wir als *Wirkungsgrad der Erzeugung mechanischer Leistung:*

$$\eta_{(K)-(GD)} = \frac{860\,N_{(GD)}}{Q_{b\,(GD)} - Q_{b\,(K)}} \quad \ldots \quad (2)$$

Dieser Wirkungsgrad liegt im oben genannten Beispiel bei rd. 83 % und verändert sich nur unbedeutend mit dem Kesseldruck (Abb. 8). Ferner interessiert den Besitzer einer Heizanlage die *Energiemenge*, die ihm die Umwandlung seiner Heizanlage in eine Heizkraftanlage bei gleicher Nutzwärme-Abgabe $Q_{N\,(GD)} = Q_{N\,(K)}$ bringen wird. Wir führen daher die *Mengenziffer*

$$\mu_{(K)-(GD)} = \frac{860\,N_{(GD)}}{Q_{b\,(K)}} \quad \ldots \quad (3)$$

ein. Diese Kennzahl ist auf die Brennstoffwärme $Q_{b\,(K)}$ bezogen, die der reine Heizbetrieb nach Abb. 1 erfordert, weil nur *diese* Grösse dem Besitzer des Heizwerkes bekannt ist. Wesentlich anschaulicher als μ ist die spezifische Nutzleistung μ' in kW, die sich durch den Umbau des Heizwerkes in das Heizkraftwerk erzielen lässt, bezogen auf den Kohlenverbrauch in t/h des reinen Heizbetriebes vor dem Umbau; wir berechnen sie mit Hilfe von μ zu:

$$\mu'_{(K)-(GD)} = 1{,}165\,H_u\,\mu \text{ kWh/t} \quad \ldots \quad (4)$$