

Druckschrift Nr. CH-B 0430 D



Strassenbahn-Gelenktriebwagen «Tram 2000» der Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ)

Urs Baechler, Zürich

Ab 1976 setzten die Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) 60 Gelenktriebwagen der Serie 2001/2301 «Tram 2000» in Betrieb. Diese Fahrzeuge, als «All-Electric»-Triebwagen konzipiert, besitzen elektronische Gleichstromsteller und elektronisch gesteuerte Federspeicherbremsen.

In knapper Form beschreibt der Autor die gesamte elektrische Ausrüstung dieser Fahrzeuge. Dank betrieblicher Bewährung und Anerkennung bei den Fahrgästen fiel 1983 die Wahl wieder auf die Bauart «Tram 2000», als sich neuerdings Fahrzeugbeschaffungen für Netzerweiterungen bei den VBZ und Rollmaterialerneuerungen aufdrängten.

Einleitung

Die Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) erschliessen mit einem Strassenbahnnetz von 102 km Linienlänge und zusätzlichen 44 Trolleybus- und Autobuslinien ein Gebiet mit rund 570 000 Einwohnern. Im Jahre 1975 wurden etwa 210 Millionen Personen befördert. Die Strassenbahn erbrachte dabei 61,4 % der Fahrleistungen. Hiezu standen Ende 1975 total 259 Triebwagen und 91 Anhängewagen zur Verfügung. Das Strassenbahnnetz enthält sowohl Strecken auf eigenem Bahnkörper, die für Geschwindigkeiten von 60 ... 65 km/h geeignet sind, als auch längere Bergstrecken

mit Steigungen von 70‰, auf denen Höhendifferenzen von bis zu 200 m überwunden werden.

Mitte 1974 bestellten die VBZ bei der Schweizerischen Wagons- und Aufzügefabrik Schlieren (mechanischer Teil) und bei Brown Boveri (elektrischer Teil) 60 Strassenbahn-Gelenktriebwagen des Typs Be 4/6 («Tram 2000» genannt). Diese Fahrzeuge sind für den Ersatz älterer Einheiten sowie als Ergänzung des Wagenparks im Zusammenhang mit Netzerweiterungen und Verbesserungen des Platzangebotes vorgesehen. Die Auslieferung der Fahrzeugserie begann im April 1976.

Fahrzeugkonzept

Die VBZ wählten nach sorgfältigen internen Studien einen Eingelenktriebwagen mit der Achsanordnung B'2'B' (Bild 1). An beiden Wagenenden sind je ein einmotoriges Triebdrehgestell, unter dem Gelenk ein Laufdrehgestell angeordnet.

Gegenüber der in den Jahren 1966–1969 ausgelieferten letzten Gelenktriebwagenserie Be 4/6 Nr. 1601–1726 wurden folgende Neuerungen realisiert:

- Ersatz der elektromechanischen Traktionsschaltapparatur durch Gleichstromsteller (Chopper)
- Einmotorige Drehgestelle
- Wegfall der Druckluftanlage («All electric»-Fahrzeug)

Bild 1 – Zwei Triebwagen Be 4/6 2001 ... in Doppeltraktion



218 991 C

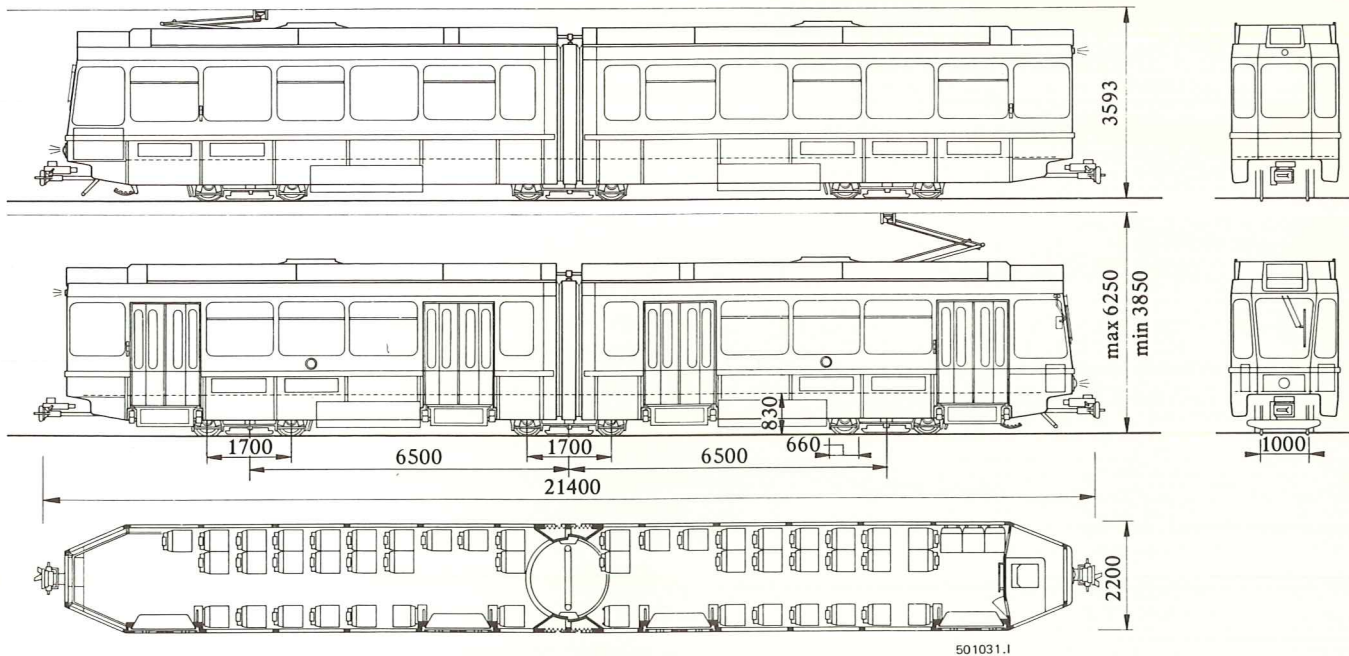


Bild 2 – Typenbild des Eingelenktriebwagens Be 4/6 VBZ 2001-2098

- Reduktion der Wagenbodenhöhe über Schienenoberkante von 920 auf 830 mm (bei neuen Rädern)
- Erhöhung der Lichtstärke der Innenbeleuchtung
- Verbesserungen der klimatischen Verhältnisse im Wageninnern
- Reduktion des Geräuschpegels
- Modularer Aufbau, Verwendung von Baugruppen wie Kastenelemente und Drehgestelle für weitere Fahrzeugtypen (z. B. Be 8/8 Forch-Bahn)

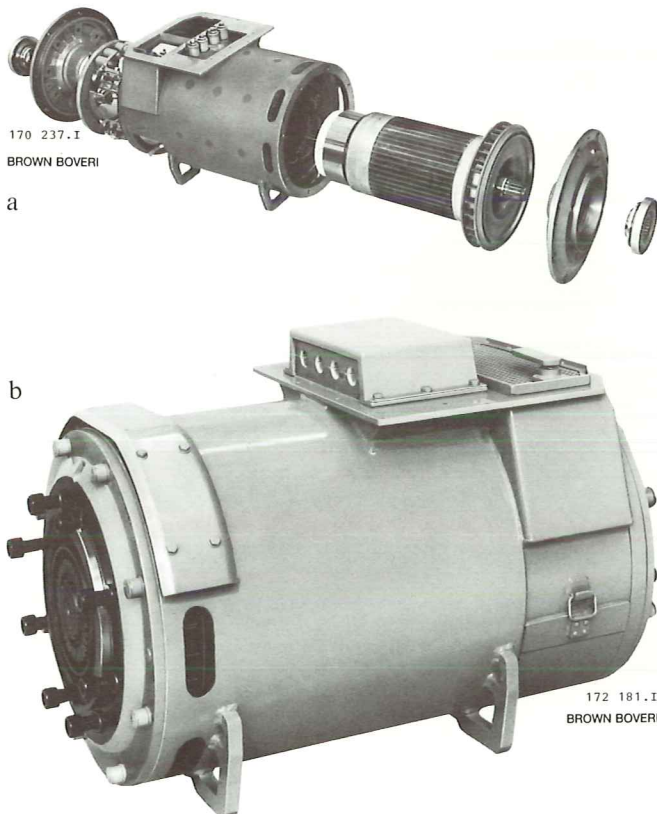
- Konstruktion des Wagenkastens, Einbau der elektrischen Apparatur und Konzept der elektrischen Schaltungen derart, dass eine spätere Fahrzeugserie ohne Umkonstruktion und mit gleicher Apparateanordnung als Zweirichtungsfahrzeug gebaut werden kann.

Die traktionstechnische Leistungsfähigkeit entspricht den bisherigen Fahrzeugen, die Maximalgeschwindigkeit wurde von 60 auf 65 km/h erhöht. Abgesehen von einigen Kreuzungsverboten in engen Kurven, lässt sich das ganze Netz betriebsmässig ohne Einschränkungen in Einfach- und Doppeltraktion befahren.

Die ersten 45 Fahrzeuge (Nr. 2001-2045) werden als Triebwagen, die weiteren 15 (Nr. 2301-2315) als sogenannte motorisierte Anhänger ausgeführt. Die letzten können im Zugverband nur an zweiter Stelle eingereiht werden, sind aber für Dienstfahrten mit einem Hilfsführerstand im Bug ausgerüstet. Beide Wagentypen verfügen über einen Heckführerstand.

Bild 3 – Fahrmotor 4 ELG 2052 c

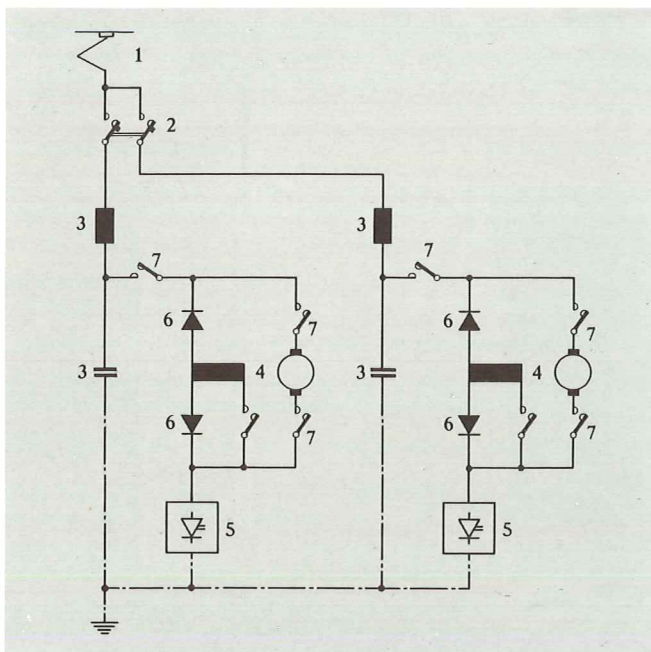
- a: Mit ausgezogenem Rotor
- b: Gesamtansicht



Technische Daten

(Typenskizze: Bild 2)

Stromsystem	Gleichstrom
Fahrdraht-Nennspannung	600 V
Spurweite	1000 mm
Achsanordnung	B'2'B'
Masse des mechanischen Fahrzeugteils	19,4 t
Masse des elektrischen Teils	7,1 t
Tara total	26,5 t
Davon Adhäsionsmasse	20,5 t
Platzangebot: Sitzplätze	50
Stehplätze	107 (6 Pers./m ²)
Tara pro Fahrgast bei besetztem Wagen	168,8 kg
Triebraddurchmesser (neu/abgenützt)	660/600 mm
Fussbodenhöhe über Schienenoberkante bei neuen Rädern	830 mm

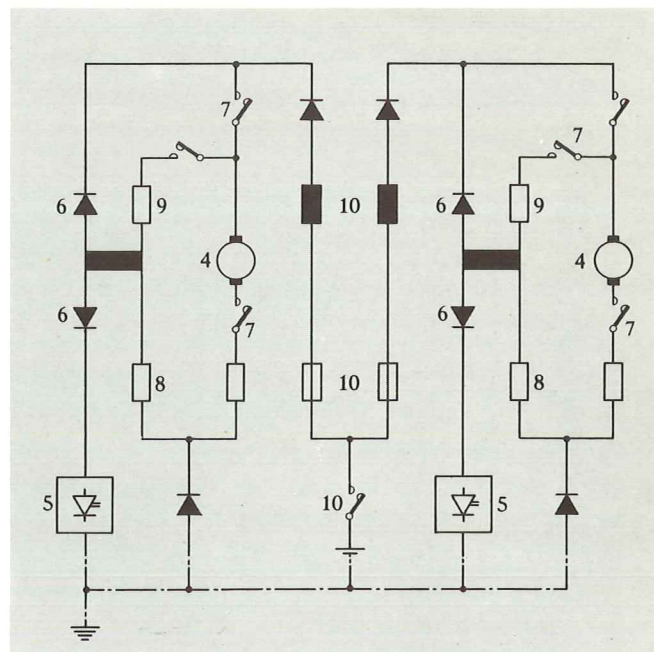


501 032.I

a

Bild 4 – Prinzipschema «Fahren» (a) und «Bremsen» (b)

- 1 = Stromabnehmer
- 2 = Hauptschalter
- 3 = Eingangsfilter
- 4 = Fahrmotor



501 033.I

b

- 5 = Zerhacker
- 6 = Freilaufdiode
- 7 = Umschaltapparat
- 8 = Bremswiderstand
- 9 = Verbundwiderstand
- 10 = Bremsvorerregung

Maximale Steigung	74,5%
Getriebeübersetzung	1:6,6
Anzahl Fahrmotoren	2
Stundenleistung an der Motorwelle	276 kW (total)
Stundenzugkraft am Rad (bei 27 km/h)	35,14 kN
Maximalgeschwindigkeit (techn. zulässig)	65 km/h
Anfahrzugkraft	75,34 kN
Umschaltapparat (Fahren/Bremsen, Vorwärts/Rückwärts)	Elektromagnetische Schütze
Steuerung	Elektronischer Gleichstromsteller mit Geschwindigkeits- und Beschleunigungsregelung

Fahrmotor

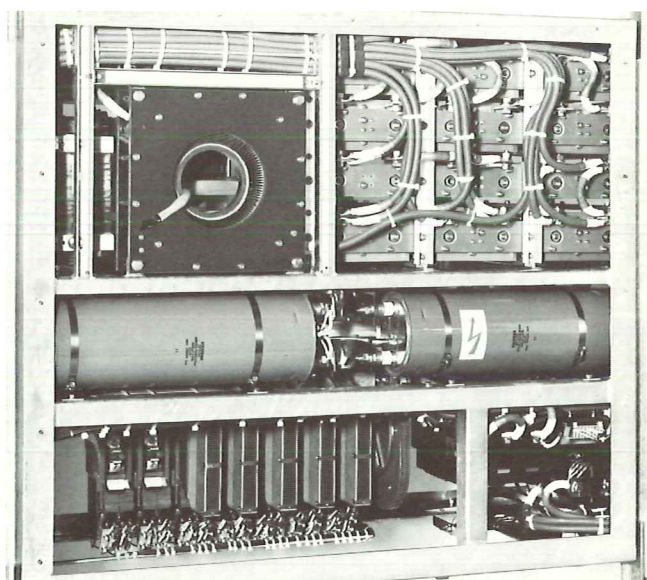
Die Forderungen nach 830 mm Wagenbodenhöhe über Schienenoberkante und 1700 mm Drehgestellradstand (gegeben durch Kurvenläufigkeit resp. Verzicht auf Ausschnitte in den Schürzen) liessen sich mit den üblichen 150-kW-Strassenbahnmotoren nicht erfüllen. Deshalb wurde aus der Reihe 2000 der Gleichstromfahrmotoren der Typ 4 ELG 2052c mit reduzierten Aussenabmessungen abgeleitet (Bilder 3a und 3b).

Die Leistungsdimensionierung dieses Motors erfolgte auf Grund von Fahrsimulationen mittels Computer. Diese Rechnungen wurden durch Erwärmungs- und Effektivstrommessungen an den bestehenden Gelenkwagen ergänzt und überprüft. Die in der Zwischenzeit erfolgten

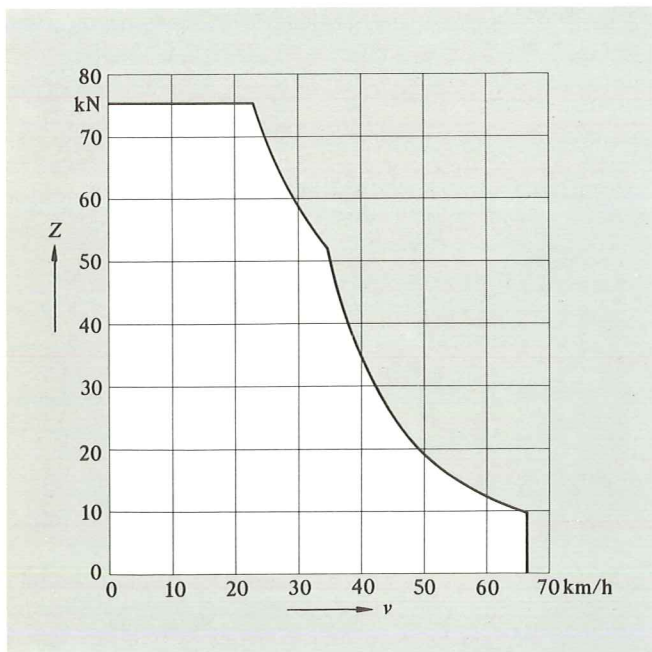
Lastfahrten mit den neuen Triebwagen bestätigten die Richtigkeit der Auslegung. Der Stator ist als massive Schweisskonstruktion ausgeführt. Die Haupt- und Wendepole sind geblecht. Die Statorwicklung ist in Klasse F, die Rotorwicklung in Klasse H isoliert.

Bild 5 – Gleichstromsteller

- Oben: Zerhacker
- Mitte: Eingangsfilter
- Unten: Umschaltapparat

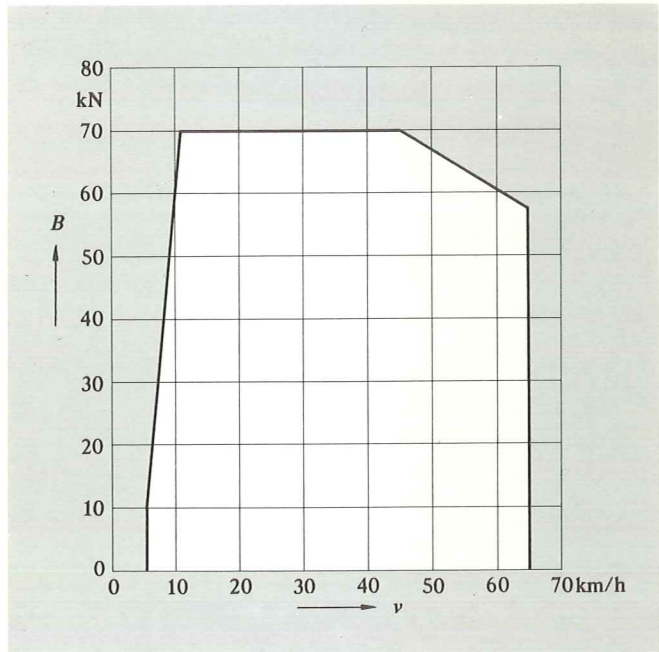


170 632.I



a 501 057.I

Bild 6 – Fahrzeugkennlinien
a: Fahren
b: Generatorisches Bremsen



b 501 058.I

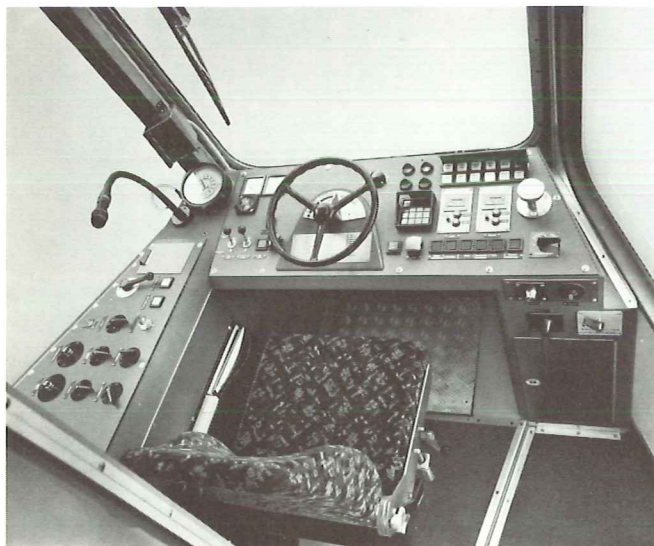
v = Geschwindigkeit
 Z = Zugkraft am Rad
 B = Bremskraft am Rad

Traktionsausrüstung

Die Traktionsanlage ist in zwei weitgehend autonome, den Triebdrehgestellen zugeordnete Antriebseinheiten unterteilt. Jede Einheit enthält einen Gleichstromsteller mit Eingangsfiler, Ladewiderstand und Steuersatz, die aus elektromagnetischen Schützen des Typs BMS 08.04 [1]

Bild 7 – Führerpult

Rechts vom Handrad: Bedienungsgeräte für Betriebsfunk und Liniennummer- bzw. Endzielangabe
Links vom Handrad: Geschwindigkeitsmesser, Batterieinstrumente, Türbetätigungsschalter
Links vom Führersitz: Steuerschalttafel



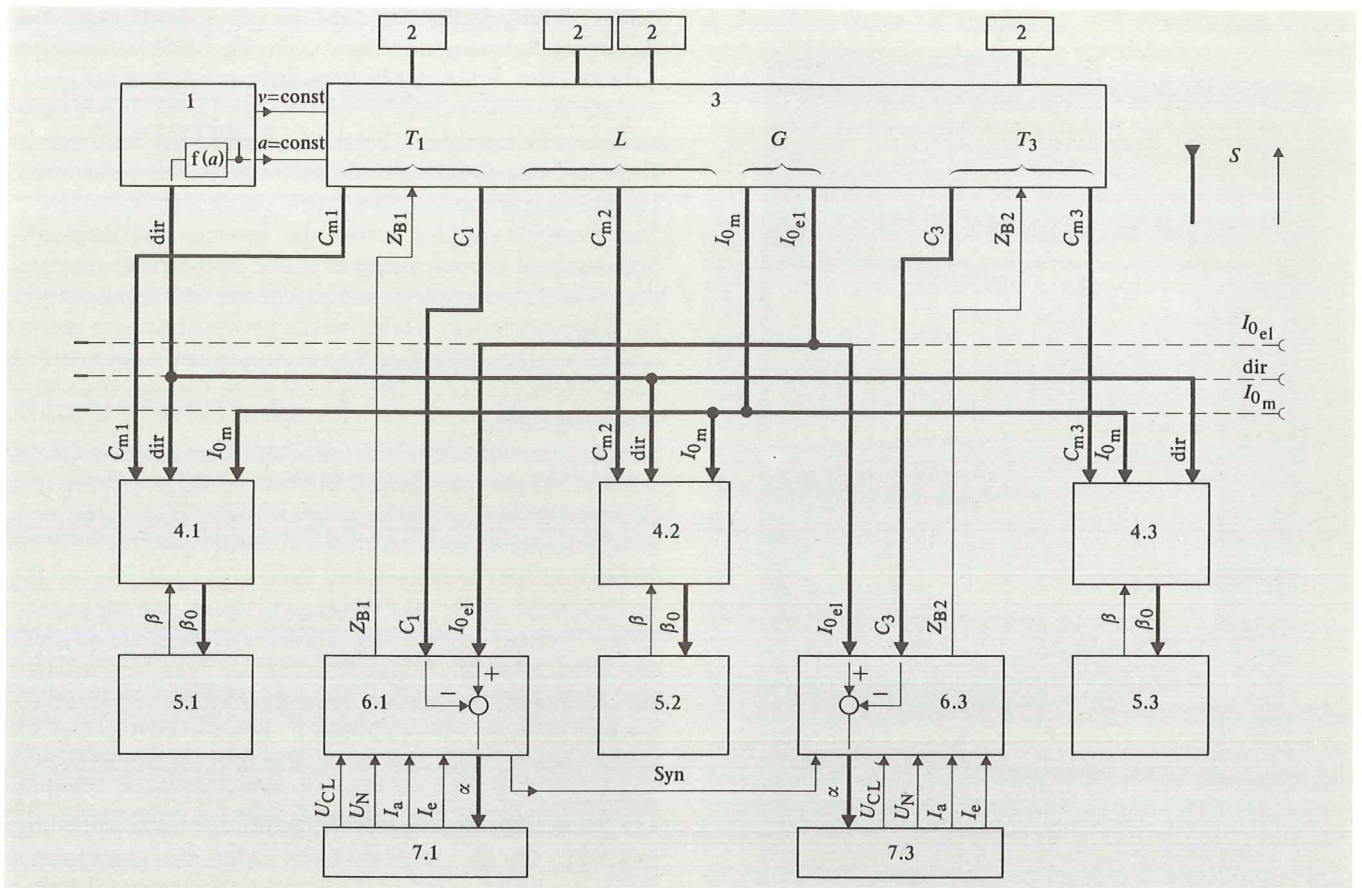
BROWN BOVERI

172 300.I

bestehende Fahrtwende- und Umschaltapparatur, einen Traktionsmotor und den zugehörigen Bremswiderstand. Für beide Antriebseinheiten gemeinsam sind der elektromechanisch betätigte Stromabnehmer vom Typ ESg 16-3100 [1], der Überspannungsableiter HMD-1, der zweipolige Hauptschalter und die Erdbürsten. Für Fahren und Widerstandsbremung sind die bewährten Schaltungen mit automatischer Feldschwächung verwendet (Bilder 4a und 4b). Die beiden Zerhacker arbeiten mit Konstantfrequenz von 440 Hz und werden versetzt getaktet. Eine besondere Schaltung ist für das Schleifen der Radbandagen mit der Unterflur-Schleifmaschine vorgesehen, da die Drehzahl der Räder während des Schleifens direkt durch variable Fahrdrabtspannung von nur 30...60 V geregelt wird. Die Gleichstromsteller sind in Einschubbauweise ausgeführt [4]. Zerhacker, Eingangsfiler, Motordrosselspule und Umschaltapparatur sind in einem gemeinsamen Kasten (Bild 5) angeordnet. Die Kühlluft für die Gleichstromsteller wird in den Öffnungen der Fahrzeugseitenwände unterhalb der Fenster angesaugt, in einem Filter gereinigt und nach Durchströmen des Choppers durch den Bremswiderstand [12] ausgeblasen. Die Fahr- und Bremscharakteristiken gehen aus den Bildern 6a und 6b hervor.

Steuerelektronik

Die Fahrzeugregelung ist im wesentlichen als Beschleunigungs-/Verzögerungsregelung mit vorwählbarer Geschwindigkeitsbegrenzung konzipiert. Die Ansteuerung und der Gleitschutz der elektromechanischen Federspeicherbremse [3] sind weitgehend in die Steuerelektronik integriert. Die Bedienung durch den Wagenführer lehnt sich stark an die bisherige Ausführung an.



501 034.1

Bild 8 – Steuerelektronik, Blockscha

- 1 = Eingabegerät (Steuerkontroller)
 2 = v -Geber (Geschwindigkeits-Istwert)
 3 = Zentralgerät
 4.1 }
 4.2 } = Regelgerät für elektromechanische Federspeicherbremse,
 4.3 } Drehgestelle 1, 2, 3
 5.1 }
 5.2 } = Elektromechanisches Bremsgerät für Drehgestelle 1, 2, 3
 5.3 }
 6.1 }
 6.3 } = Drehstellgerät für Triebdrehgestelle 1, 3
 7.1 }
 7.3 } = Chopper und Fahrmotor der Triebdrehgestelle 1, 3
 a = Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsregelung
 v = Geschwindigkeitsregelung
 dir = Direkt ab Steuerkontroller vorgegebener Sollwert der mechanischen Bremse
 α = Stellverhältnis des Choppers
 β = Verstellwinkel der elektromechanischen Federspeicherbremse (Istwert)

- β_0 = Verstellwinkel (Sollwert)
 C_1, C_3 = Korrektursignal für elektrische Zug-/Bremskraft (Schleudern/Gleiten)
 C_{m1} }
 C_{m2} } = Korrektursignal für mechanische Bremskraft (Gleiten der
 C_{m3} } Drehgestelle 1, 2, 3)
 G = Signale an alle Drehgestelle
 I_a = Ankerstrom
 I_e = Erregerstrom
 I_{0m} = Sollwert für mechanische Bremse
 I_{0e1} = Zug-/Bremskraft
 L = Signale an das Laufdrehgestell
 S = Signalfluss
 Syn = Synchronisation der Zündimpulse zwischen den Drehstellgeräten 6.1 und 6.3
 T_1 }
 T_3 } = Signale an die Triebdrehgestelle
 U_{CL} = Spannung am Löschkondensator
 U_N = Netzspannung
 Z_{B1} }
 Z_{B2} } = An Drehgestell 1 und 3 aufgebrauchte generatorische Bremskraft

Im *Fahrbetrieb* kann der Wagenführer neun diskrete Geschwindigkeitsstufen zwischen 6 und 60 km/h vorwählen. Jeder Stufe ist eine bestimmte Beschleunigung zugeordnet.

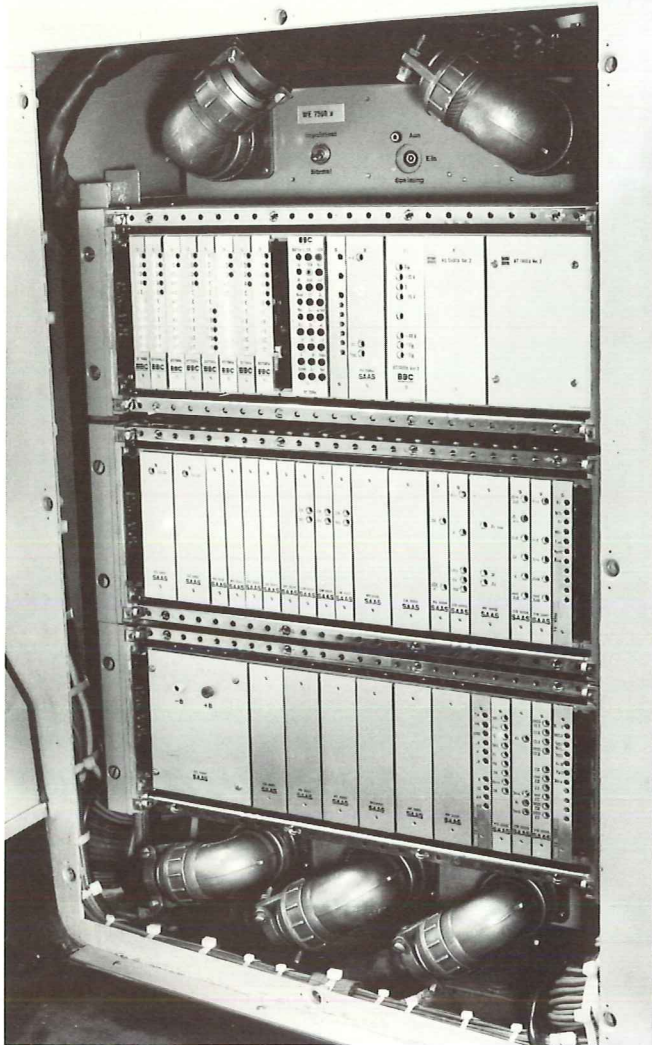
Im *Bremsbetrieb* sind am Steuerkontroller zwei getrennte Bereiche für Gefällefahrten mit konstanter Geschwindigkeit und für das Anhalten vorhanden. Dabei können für Gefällefahrten acht diskrete Geschwindigkeitsstufen zwischen 60 und 12 km/h und im Anhaltebetrieb acht Stufen mit verschiedenen Verzögerungen eingestellt werden. Die Anordnung der Apparate im Führerstand zeigt Bild 7. Vom Heckführerstand aus kann nur mit einem reduzierten Programm gefahren werden.

Die Steuerelektronik ist in das «Zentralgerät» und die beiden «Drehstellgeräte» unterteilt (Bild 8).

Das *Zentralgerät* enthält die Geschwindigkeits- und Beschleunigungsregelung, die Ansteuerung der mechanischen Bremsen sowie den Schleuder- und Gleitschutz. Der Regelteil ist nur im führenden Fahrzeug aktiv. Er erhält vom Steuerkontroller die Sollwerte für Beschleunigung und Geschwindigkeit sowie die Befehle «Fahren» oder «Bremsen». Die Istwerte werden aus den Drehzahlinformationen der drei Drehgestelle gebildet.

Die aus den Regelabweichungen resultierenden Zug- und Bremskräfte werden als Sollwerte über zwei getrennte Vielfachleitungen den Drehstellgeräten (Choppersteuersätze) und den elektronischen Regelgeräten der mechanischen Bremse zugeführt.

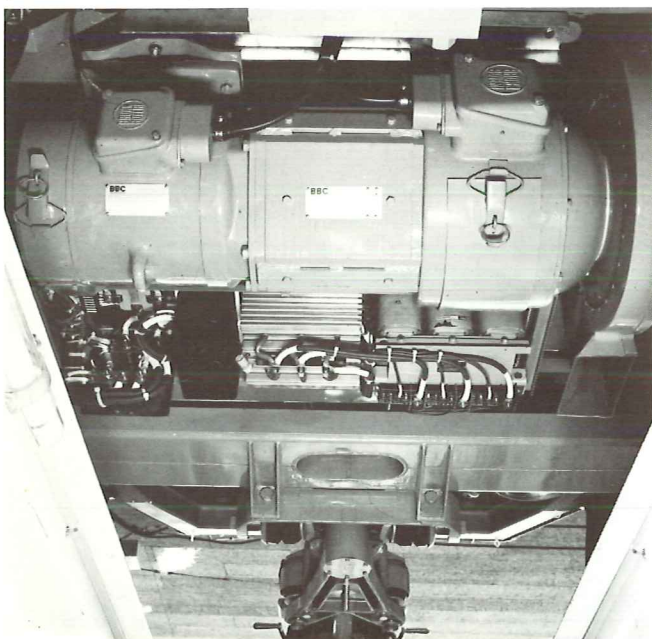
Der Schleuder- und Gleitschutz wirkt mittels Zug- oder Bremskraftkorrektursignalen drehgestell-selektiv auf die



BROWN BOVERI 172 295. I

Bild 9 – Elektronikblock in der Führerstandsrückwand
Oberste Etage: Drehstellgerät zu Triebdrehgestell I, darunter Zentralgerät.

Bild 10 – Umformergruppe in eingebautem Zustand. Dahinter der geöffnete Apparatekasten für Umformerregelung und Batterieladung (Ansicht von unten)



BROWN BOVERI 172 198. I

beiden Drehstellgeräte und die drei Regelgeräte der elektromechanischen Bremsen. Um ein möglichst präzises Arbeiten des Schleuder-/Gleitschutzes zu erreichen, werden Raddurchmesserdifferenzen in der Drehzahlerfassung automatisch korrigiert. Bei einem Defekt im Zentralgerät kann auf ein einfaches Hilfszentralgerät mit reduzierten Funktionen umgeschaltet werden.

Die *Drehstellgeräte* setzen die Summe aus Zugkraft-Sollwert und Korrektursignal in die dem Betriebszustand des Gleichstromstellers entsprechende Zündimpulsfolge der Thyristoren um. Dabei werden systembedingte strom- und spannungsabhängige Begrenzungen der Aussteuerung berücksichtigt. Jedes Drehstellgerät verfügt über eine eigene Speisung.

Die Ansteuerung der elektromechanischen Bremse erfolgt parallel zur generatorischen Bremse. Ist die generatorische Bremse wirksam, wird die generatorische Bremskraft vom Drehstellgerät zum Zentralgerät zurückgemeldet und die Bremskraft der mechanischen Bremse des entsprechenden Drehgestells über das Korrektursignal zurückgestellt. Dieses System regelt auch sämtliche Übergangsvorgänge bei kleinen Geschwindigkeiten und das rasche Einsetzen der mechanischen Bremse beim Ausbleiben der generatorischen Bremse. Die mechanische Bremse wird in Defektfällen vom Steuerkontroller in sieben Stufen direkt angesteuert.

Da bei diesem System der Wagenführer nicht unbedingt bemerkt, ob die generatorische oder die mechanische Bremse arbeitet, wird die Wirksamkeit der generatorischen Bremse überwacht. Damit kann eine allfällige thermische Überlastung der mechanischen Bremsen vermieden werden.

Die Prints und Parts der einzelnen Funktionseinheiten sind in Elnorm-Etagen zusammengefasst. Das Zentralgerät und das Drehstellgerät I sind im Hauptführerstand (*Bild 9*), das Drehstellgerät II im Heckführerstand eingebaut.

Das vorstehend beschriebene Konzept von Traktionsanlage und Steuerung weist damit folgende Hauptmerkmale auf:

- Jedes Drehgestell ist mit einer eigenen Traktionsanlage und einem Steuergerät ausgerüstet. Nur der Hauptschalter und das Zentralgerät sind gemeinsam. Die Triebdrehgestelle arbeiten «in Vielfachsteuerung».
- Bei Störungen in Steuer- oder Leistungskreisen lässt sich ohne lange Fehlerortung eine vollständige Antriebseinheit (Drehgestell) samt Steuersatz abtrennen.
- Schleuder- und Gleitvorgänge werden drehgestell-selektiv ausgeregelt.
- Dank der Regelung auf konstante Beschleunigung und der Integration der mechanischen Bremse in den Gleitschutz kann auf jegliche Lastmessung und Lastauswertung verzichtet werden.

Zusatzeinrichtungen

Die bis anhin pneumatisch betätigten Apparate wie Scheibenwischer, Sander, Türantrieb etc. wurden konsequent mit elektrischen Antrieben versehen. Auf dem Fahrzeug ist weder Pneumatik noch Hydraulik vorhanden.

Unter den Zusatzapparaten sind insbesondere zu erwähnen:

- Türautomatik
- Funkanlage für Sprach- und Datenübertragung (z. B. automatische Standortmeldung)
- Lautsprecheranlage mit Innen- und Aussenlautsprecher. Die Anlage gestattet direkte Durchsagen von der Betriebsleitstelle über Funk auf die Innenlautsprecher.
- Induktive Steuerung von Weichen und Verkehrssignalanlagen
- Fernsteuerung der Liniennummer und der Endzieltransparente des ganzen Zuges vom vordersten Führerstand aus

Ganzjahreslüftung

Die Triebwagen sind mit einer Grundheizung auf der Basis von Umluftgebläsen und einer Deckenlüftung ausgerüstet, die ganzjährig eine ausreichende Frischluftquote sicherstellt. Über die Temperatur der zugeführten Frischluft lässt sich der thermische Haushalt des Fahrgastraumes günstig beeinflussen. Obwohl mit der Lüftung kein primärer Heizungseffekt angestrebt wird, ist es doch vorteilhaft, bei Heizbedarf die Zuluft einige Temperaturgrade über der Raum-Solltemperatur einzublasen. Benötigt das Fahrzeug jedoch Kühlenergie, so darf die Frischluft unterhalb der Raumtemperatur zugeführt werden.

Die Kenndaten der Ganzjahreslüftung lauten:

	Stufe 1	Stufe 2
- Luftwechselzahl	23,5	47
- Frischluft pro Person, m ³ /h	12	24
- Heizleistung pro Wagen (ohne Umlaufheizer), kW	ca. 12	ca. 12

Jede Wagenhälfte wird von einer auf dem Wagendach angeordneten Aggregatkombination, bestehend aus Luftansaug und -reinigung, Lufterhitzer, Ventilator, Messung und Überwachung, bedient. Die beiden Aggregate eines Wagens sind identisch, ihre gemeinsame Regelung befindet sich im Wagenheck. Die Messung der Innenraumtemperatur erfolgt an zwei Stellen, die von offenen Fenstern und Türen nur wenig beeinflusst sind. Für die Regelung wird ein Mittelwert dieser beiden Temperaturen gebildet.

Die Regelung der Anlage arbeitet wie folgt:

- Die Zulufttemperatur der Lüftung wird innerhalb bestimmter Grenzen ca. umgekehrt proportional zur Raumtemperaturabweichung geregelt, d. h. wenn die Isttemperatur von der Solltemperatur des Raumes nach unten abweicht, wird die Zulufttemperatur über den Sollwert angehoben und umgekehrt.
- Unterschreitet die Raumtemperatur einen bestimmten Wert, werden zusätzlich die unter den Sitzen angeordneten Umluftheizgebläse eingeschaltet.

- Liegt die Aussentemperatur so tief, dass die Heizleistung der Ganzjahreslüftung kein Aufwärmen des Raumes mehr gestattet, wird die Frischluftmenge reduziert.

Diese grosse Zahl Luftwechsel ergibt besonders bei starker Wagenbesetzung eine wesentliche Verbesserung der klimatischen Verhältnisse im Wageninnern.

Bordnetzversorgung

Das Fahrzeug verfügt über ein Drehstrombordnetz von $3 \times 400 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ und ein Gleichstrombordnetz von 36 V . Die Energieversorgung dieser Netze erfolgt über eine rotierende Gleichstrom-/Drehstrom-Umformergruppe mit 8 kVA Generatorleistung (*Bild 10*). Durch eine sinnvolle Schaltungsanordnung können Frequenz und Spannung mit nur einem Regler geregelt werden.

Betriebserfahrungen

Der betriebliche Einsatz dieser Fahrzeuge bestätigt die hochgesteckten Erwartungen. Insbesondere brachten die Massnahmen zur Hebung des Passagierkomforts wie stufenlose Fahr- und Bremssteuerung, verbesserte Heizung und Lüftung, niedrige Wagenbodenhöhe sowie die angestrebte Energieeinsparung dank Gleichstromsteller den gewünschten Erfolg.

Als im Jahre 1983 die VBZ nicht nur die Erweiterung des Wagenparks für die vor Vollendung stehenden Neubausrecken nach Zürich-Schwamendingen, sondern auch eine partielle Rollmaterialerneuerung verwirklichen mussten, fiel die Wahl wieder zugunsten des bewährten Konzeptes «Tram 2000» aus. In der Zwischenzeit erzielte Fortschritte, so die Entwicklung des Standard-Fahrmotors der Reihe K (Typ 4 ELO 2052 K [5]) und die Vereinfachung der Gleichstromsteller dank Einführung rückwärtsleitender Thyristoren RLT [6], liessen sich ohne weiteres in die bestehende Traktionsausrüstung integrieren. Die Erweiterung des Strassenbahn-Wagenparkes der VBZ erstreckt sich auf 53 Gelenktriebwagen Be 4/6 2046-2098 sowie 20 einteilige motorisierte Anhänger Be 2/4 2401-2420 mit einem Einmotor-Drehgestell und einem Laufdrehgestell.

Eine Reihe von Realisierungen zeigt, dass sich das Konzept «Tram 2000» auch zur Abwicklung von Vorortsverkehr beim Bau von Stadtbahnwagen vorteilhaft anwenden lässt, wie z. B. bei den 6 Doppeltriebwagen Be 8/8 21/22-32/32 und 4 Steuerwagen Bt 201-204 der Forchbahn (Zürich) (*Bild 11*) [7], den 4 Triebwagen-Pendelzügen Be 4/4 501-504 + Bt 551-554 der Verkehrsbetriebe von Neuenburg und Umgebung [8] und den 4 Triebwagen-Pendelzügen BDe 4/4 11-14 + Bt 111-114 der Waldenburgerbahn.

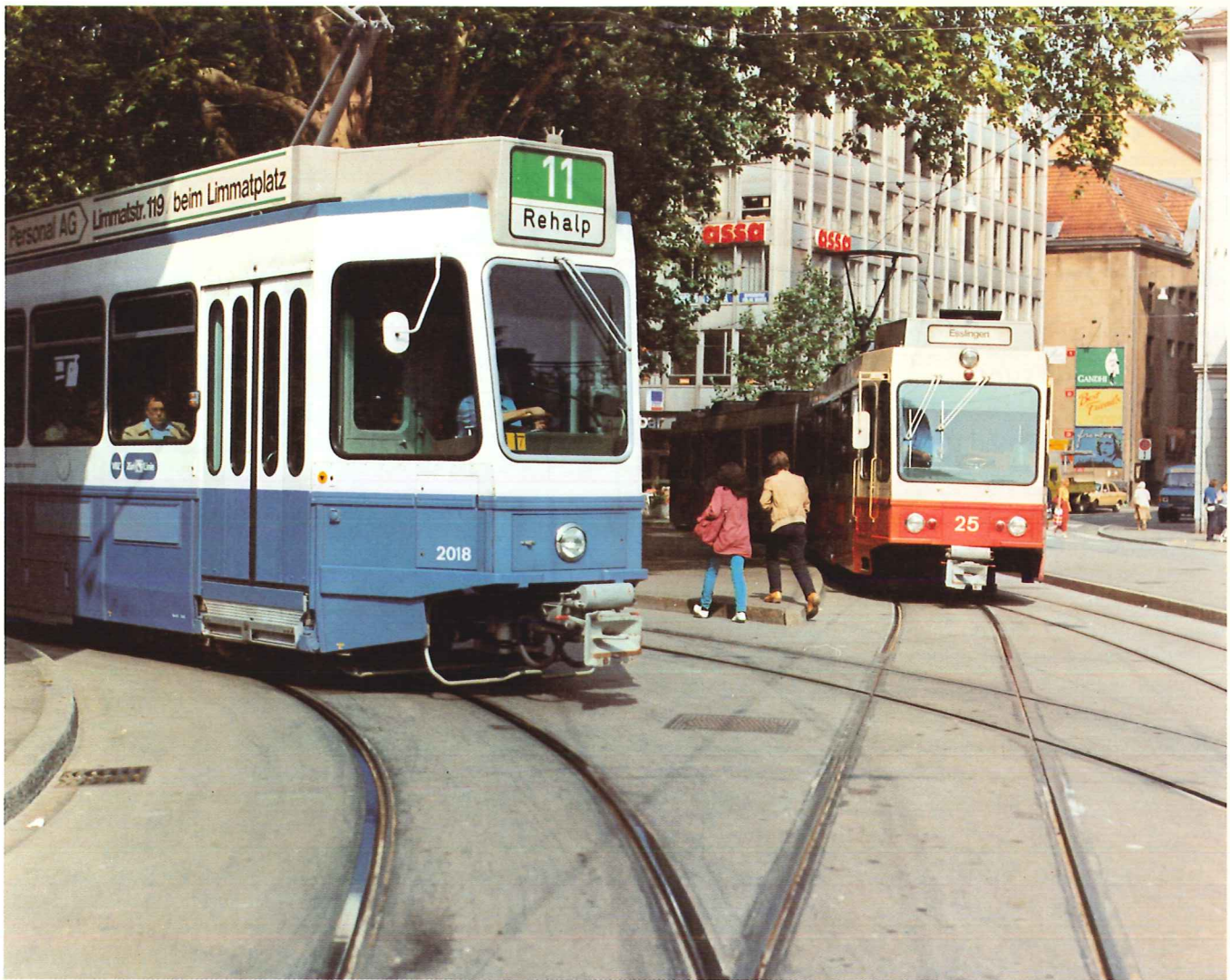


Bild 11 – Strassenbahn-Gelenktriebwagen Be 4/6 der Verkehrsbetriebe Zürich (links) und Stadtbahn-Doppeltriebwagen Be 8/8 der Forchbahn AG (rechts) als Beispiele des modularen Konzeptes «Tram 2000»

Literaturverzeichnis

- [1] *K. Aanensen, R. Keller*: Moderne Bahnapparate mit elektromagnetischem und elektromotorischem Antrieb. Brown Boveri Mitt. 63 1976 (12) 724–728.
- [2] *E. Müller*: Hochleistungswiderstand Reihe RMV für Fremdbelüftung. Brown Boveri Mitt. 63 1976 (12) 729–731.
- [3] *J. Werder*: Elektronisches Steuergerät für ein vielstufiges elektromechanisches Federspeicher-Bremssystem. Brown Boveri Mitt. 63 1976 (12) 732–736.
- [4] *R. Kaller, K. Vollenwyder, S. Manzoni*: Einheitstrolleybusse mit elektronischem Gleichstromsteller. Brown Boveri Mitt. 61 1974 (12) 531–539.
- [5] *H. Haas*: Kommutator-Fahrmotoren für Nahverkehrsbetriebe. Brown Boveri Mitt. 65 1978 (12) 786–794.
- [6] *P. Knapp*: 10 Jahre BBC-Gleichstromsteller für Nahverkehrsfahrzeuge. Brown Boveri Mitt. 65 1978 (12) 777–785.
- [7] *W. Frech*: Doppeltriebwagen Typ B'B'+B'B', Reihe Be 8/8, Baujahr 1976, der Forchbahn AG Zürich (FB). Brown Boveri Mitt. 65 1978 (12) 764–770.
- [8] *J. Werder*: Neue Triebwagen Typ B'B', Reihe Be 4/4, und Steuerwagen für Neuchâtel und Umgebung (Schweiz). Brown Boveri Mitt. 69 1982 (1/2) 27–31.

BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie.
CH-5401 Baden/Schweiz

Geschäftsbereich B
