

Nahverkehr – Triebfahrzeuge

Strassenbahn-Gelenktriebwagen Typ «Tram 2000-III» der Verkehrsbetriebe Zürich mit Drehstromantrieb

Druckschrift-Nr. CHVEK 1640 D



240 872 C

ABB Verkehrssysteme AG

ABB
ASEA BROWN BOVERI

Strassenbahn-Gelenktriebwagen Typ «Tram 2000-III» der Verkehrsbetriebe Zürich mit Drehstromantrieb

Ulrich Ritter, Zürich und Felix Hasler, Zürich

Mit der Schaffung des Fahrzeugtypes «Tram 2000» im Jahre 1972 legte die schweizerische Fahrzeugindustrie die Basis für ein Schienen-Nahverkehrsmittel in modularer Bauweise für Stadt- und Strassenbahnen, das sich seither in verschiedenen Varianten bewährte und die Gunst der Benutzer eroberte. Die jüngste Anwendung liegt bei den Verkehrsbetrieben Zürich vor, die eine weitere Serie von Gelenktriebwagen und motorisierten Beiwagen, dabei erstmals mit Drehstromantrieb in Betrieb setzten.

Einleitung

Die Einführung der S-Bahn [1] im Rahmen der Errichtung des kantonalen Zürcher Verkehrsverbundes (ZVV) brachte ein erhöhtes Verkehrsaufkommen auch für die Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) [2] in der Agglomeration der Stadt Zürich. Da gleichzeitig eine der laufenden Rollmaterialerneuerungen fällig war, beschlossen die VBZ 1988, weitere Strassenbahnfahrzeuge zu beschaffen.

Im Vordergrund standen dabei Züge des Types «Tram 2000». Nachdem damit bereits 1972 die Konzeption für ein ausgesprochen benutzerfreundliches Schienentransportmittel gewählt wurde, erfüllt diese die hohen Anforderungen an Komfort, bequeme Einstiegsverhältnisse, Transportkapazität, Aussehen und Gestaltung auch 20 Jahre später noch [3]. Die Fahrzeuge sind bei Publikum und Fahrpersonal gleichermaßen beliebt. Die VBZ entschlossen sich daher, eine weitere, dritte Serie von 23 Strassenbahn-Eingelenktriebwagen Be 4/6 und 15 motorisierten Strassenbahn-Beiwagen Be 2/4 in Auftrag zu geben (Bild 1). Damit wird die Familie «Tram 2000» insgesamt 171 Fahrzeuge umfassen (Tabelle I) (Bild 2a, 2b, 2c).

Für den Gleichstromstellerantrieb der ersten Serie «Tram 2000» griff man damals zu herkömmlichen Frequenzthyristoren und Dioden [4] sowie zu Gleichstrom-Fahrmotoren vom Typ 4 ELG 2052 C. Bedingung bei der Verwirklichung des zweiten Auftrages «Tram 2000-II» war die freizügige Austauschbarkeit von Baugruppen beider Serien. Diese Anforderung konnte trotz Verwendung von rückwärtsleitenden Frequenzthyristoren sowie von Fahrmotoren des Typs 4 ELO 2052 K mit geblechtem Stator [5] erfüllt werden. Zusätzliche Massnahmen führten zu einer merklichen Reduktion der Geräuschemissionen. Beiden Serien gemeinsam waren unter anderem die elektrische Widerstands-Bremse ohne Rekupe-ration, die rotierende Umformergruppe zur Speisung des Bordnetzes (3×380 V/50 Hz für Batterieladung und Lüftung, Batteriespannung 36 V) sowie die elektromechanisch betätigten Scheibenbremsen mit der dazugehörigen Regelung.

Bei der dritten Serie «Tram 2000-III» vollzogen die VBZ – unter Beibehaltung des unveränderten wagenbaulichen Teils – den Schritt zum Drehstromantrieb (Bild 3). Zur Fortbewegung findet dabei der *Antriebs-Direktwechselrichter* Anwendung, d. h. ein *GTO-Umrichter mit Gleichspannungs-Zwischenkreis zum direkten Anschluss an die Fahrleitung unter Verzicht auf den netzseitigen Gleichstromsteller* [6]. Die beiden Triebdrehgestelle des Triebwagens Be 4/6 werden von je einem Drehstrom-Asynchron-Fahrmotor des Typs 6 ELA 4045 angetrieben. Die Regelung des Umrichters sowie des Fahrzeuges übernimmt die mikrorechnergestützte, modulare ABB-Traktions-Leitelektronik MICAS®-S [7]. Dieses System regelt ebenfalls die Scheibenbremsen, welche neuerdings hydraulisch betätigt werden. Zur Speisung der Drehstrom- und Gleichstrom-Bordnetze ersetzt ein statisches Batterieladegerät mit Drehstromausgang die frühere Umformergruppe.

Tabelle I: Streckendaten der Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ)

Spurweite		1000	mm
Verkehrslänge (Strassenbahn)		110,7	km
Betriebsart		Gleichstrom	
Fahrleitungsspannung			
Nennwert		600	V
Grenzwerte		360 ... 720	V
Achslast	max.	9	t
Kurvenradius	min.	14,5	m
Höchstgeschwindigkeit		60	km/h
Steigung	max.	74,5	‰

Titelbild:
Strassenbahn-Zug «Tram 2000-III» mit Gelenktriebwagen Be 4/6 und motorisiertem Beiwagen Be 2/4 mit Drehstromantrieb im Betriebseinsatz auf dem Netz der VBZ

Ansicht der rechten Wagenseite bei Vorbeifahrt vor dem Landesmuseum Zürich über den unterirdischen Bahnsteigen der S-Bahn Zürich



Bild 1 – Strassenbahn-Zug «Tram 2000-III» mit Gelenktriebwagen Be 4/6 und motorisiertem Beiwagen Be 2/4 mit Drehstromantrieb im Betriebseinsatz auf dem Netz der VBZ

Ansicht der linken Wagenseite während der Vorbeifahrt unterhalb der Kirche von Zürich-Höngg

Die Fahrzeuge der drei Serien sind untereinander völlig freizügig im Zugsverband kombinierbar; für das Fahrpersonal ergeben sich wegen des Drehstromantriebes keine Bedienungsunterschiede. Durch die Möglichkeit, anfallende Bremsener-

gie in das Fahrleitungsnetz zurückspeisen zu können, nutzen die VBZ erstmals ein sehr wirksames Mittel zur Energieeinsparung voll aus.

Der Sprung in eine Fahrzeugserie mit derartigem Novitätsgrad führt sinnvollerweise über ein Prototyp-

oder Vorläuferfahrzeug. 1988 konnte ABB den Strassenbahn-Gelenktriebwagen Be 4/6 Nr. 2016 aus der ersten Serie, der einer planmässigen Revision zu unterziehen war, im Einverständnis und mit Unterstützung der VBZ mit Drehstromantrieb ausrüsten (Bild 4). Der fahrplanmässige Einsatz dieses Umrichter-Fahrzeuges erfolgte in den Jahren 1989/90/91. Aus Gründen, die nicht mit dem Antrieb zusammenhängen, erhielt der Triebwagen vorzeitig wieder seine Gleichstromsteller-Ausrüstung in der Original-Ausführung der ersten Serie.

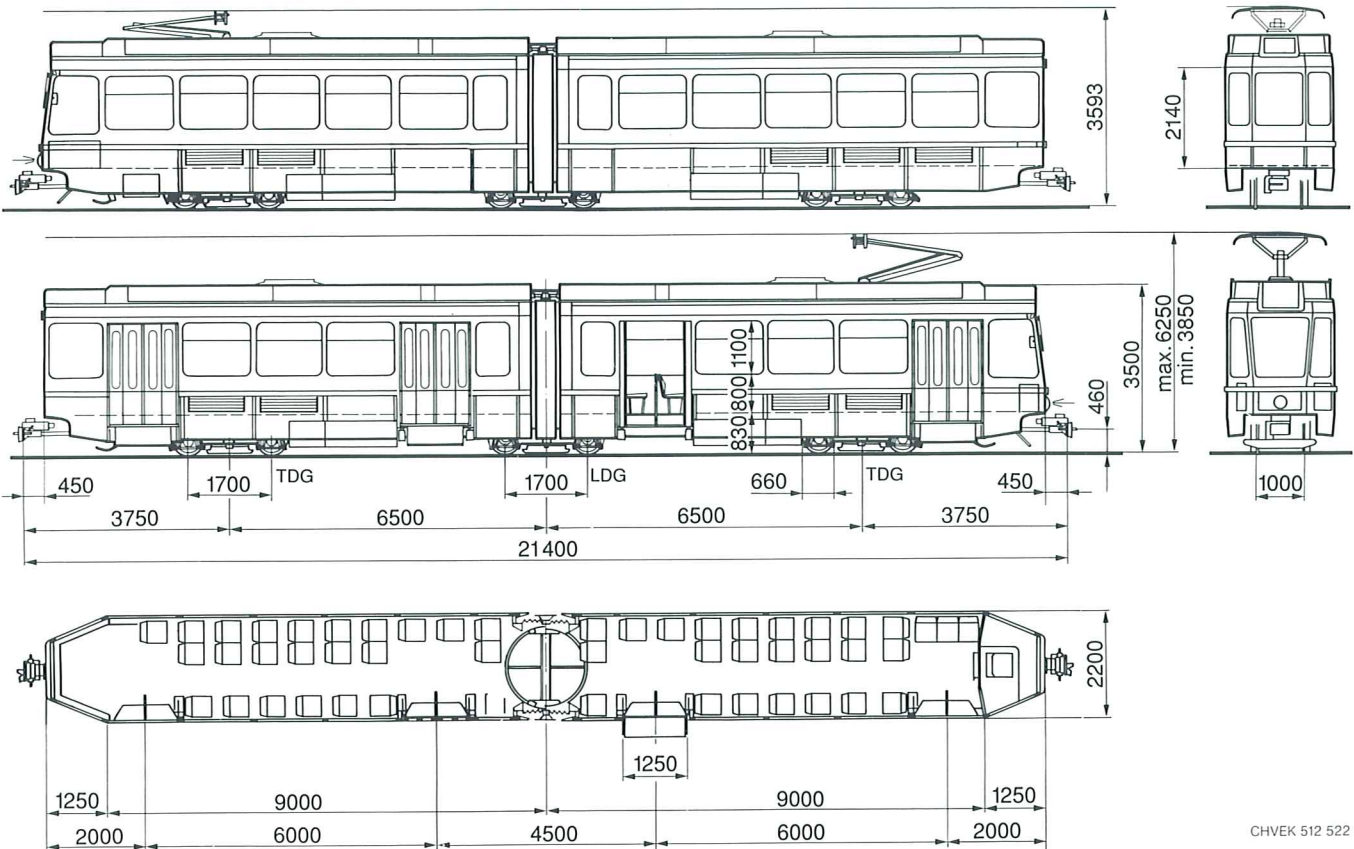
Die während des Versuchsbetriebes gewonnenen Erkenntnisse – verbunden mit Erfahrungen aus dem erstmaligen Einsatz der Umrichter-Triebwagen ABe 4/4 III Nr. 51 – 56 für Gleichstrombetrieb bei der Rhätischen Bahn/Berninastrecke – ergaben wertvolle Hinweise für die Realisierung grösserer Fahrzeugserien mit Drehstromantrieb für Gleichstrombetrieb mit 600...1350 V [8]. Dazu zählten einerseits die geplanten Strassenbahnfahrzeuge der VBZ,

Tabelle II: Fahrzeugaufstellung «Tram 2000» der Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ)

Serie «Tram 2000-..»	Fahrzeug- Bezeich- nung	Fahrzeug- Nrn.	Antriebseinheit (TSR; FM-Typ)	Inbetrieb- setzung
-I	Be 4/6	2001-2045	GSS/FT-D; 4 ELG 2052 C	1976-1978
-I	Be 4/6	2301-2315	GSS/FT-D; 4 ELG 2052 C	1977-1978
-II	Be 4/6	2046-2098	GSS/RLT; 4 ELO 2052 K	1985-1987
-II	Be 2/4	2401-2420	GSS/RLT; 4 ELO 2052 K	1986-1987
-III	Be 4/6	2099-2121	UR/GTO; 6 ELA 4045	1991-1992
-III	Be 2/4	2421-2435	UR/GTO; 6 ELA 4045	1991-1992

TSR	= Traktionsstromrichter
FM	= Fahrmotor
GSS	= Gleichstromsteller
FT-D	= Frequenzthyristoren und Dioden
RLT	= Rückwärtsleitende Thyristoren
UR	= Umrichter
GTO	= Abschalt- (Gate-Turn-Off-) Thyristoren

Bild 2 – Typenzeichnungen der meterspurigen Strassenbahn-Triebwagen «Tram 2000» der VBZ für Betrieb mit Gleichstrom 600 V¹⁾



CHVEK 512 522

Bild 2a – Gelenktriebwagen Be 4/6

mit Gleichstromstellerantrieb «Tram 2000-I/-II» Nr. 2001–2045/2046–2098 bzw. mit Drehstromantrieb «Tram 2000-III» Nr. 2099–2121

andererseits Nahverkehrsfahrzeuge von Regional- und Vorortbahnen, die unter Inanspruchnahme des 7. Rahmenkredites nach Art. 56 des schweizerischen Eisenbahngesetzes zu beschaffen waren, wie Mehrzweck-Triebwagen BDe 4/4 der Chemins de fer fribourgeois Gruyère-Fribourg-Morat (GFM) [9], Niederflur-Doppeltriebwagen (A)Be 4/8 der Bremgarten-Dietikon-Bahn (BD), des Regionalverkehrs Bern-Solothurn (RBS) und der Wynental-Suhrental-Bahn (WSB) [10] sowie Niederflur-Gelenktriebwagen ABe 4/6 der Ferrovie ed Autolinee Regionali Ticinesi (FART) [11].

Grundlegende Fahrzeug-Konzeption

Die wesentlichen Forderungen des Pflichtenheftes für den elektrischen Teil lauteten:

- Unterbringung der Umrichter im gleichen Einbauraum unter dem Wagenboden wie die Gleichstromsteller der ersten und zweiten Bauserie (Bild 5).
- Wegfall von Filtermatten im Kühlkreis für den Stromrichter.
- Kombinierte Netz-/Widerstandsbremse.
- Beibehaltung der mechanischen Konzeption des Wagenkastens und der Drehgestelle [12] (Bild 6).
- Freizügiger Einsatz der Fahrzeuge in Vielfachsteuerung auch mit den

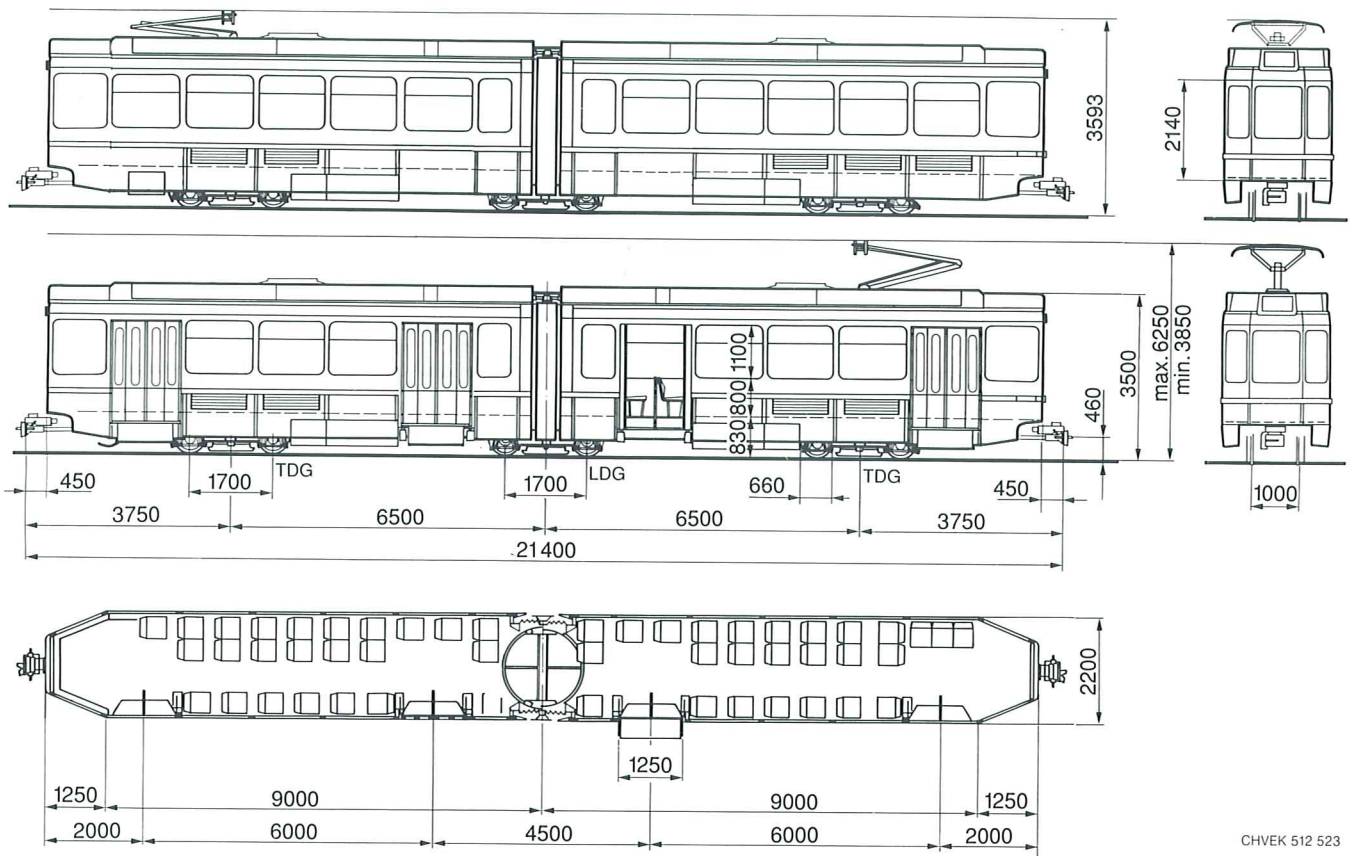
übrigen Triebwagen der Bauserien «Tram 2000-I/-II» mit Gleichstromstellerantrieb.

- Gleiche Bedienung und gleiches Fahrverhalten wie bei den bisherigen Fahrzeugen «Tram 2000».
- Transistorisiertes Batterieladegerät mit integriertem Dreiphasen-Wechselrichter für das Drehstrombordnetz [13].

Auf der mechanischen Seite fiel der Ersatz der elektromotorisch gelösten Federspeicher-Radbremse durch eine aktive elektrohydraulische Bremse mit schwimmenden Bremsätteln ins Gewicht.

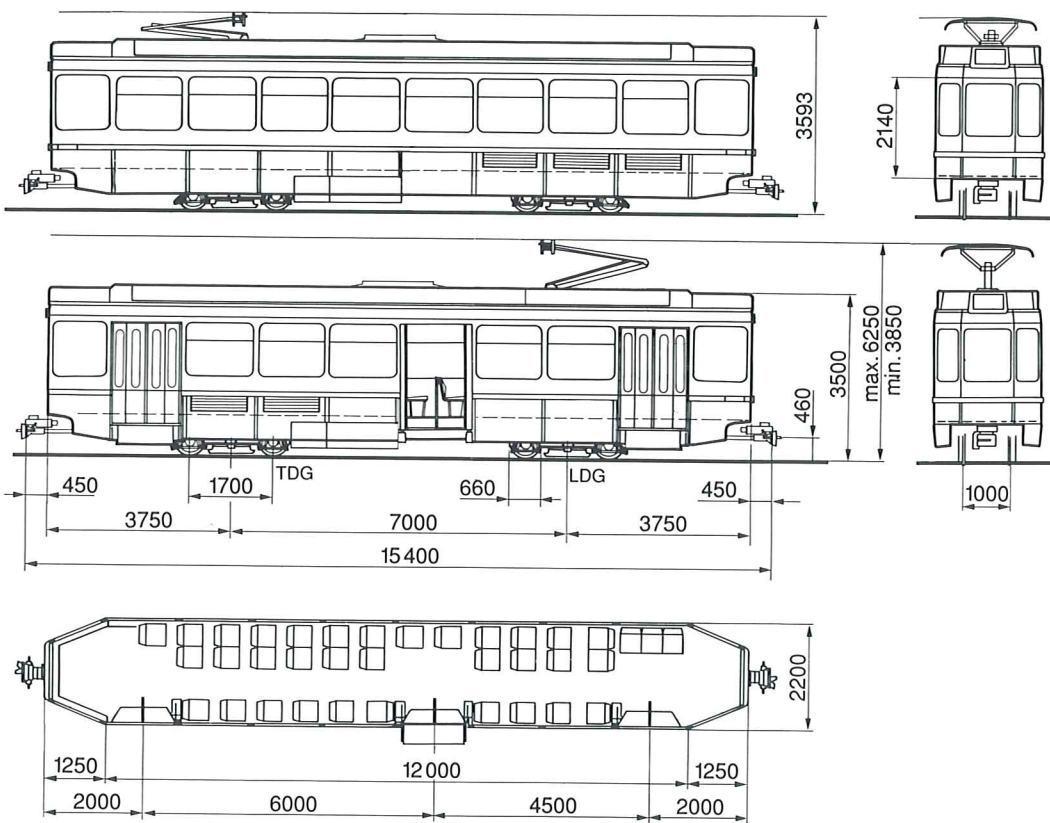
Die Hauptdaten der Fahrzeuge «Tram 2000-III» zeigt Tabelle II. Die Fahrzeugkurven gehen aus Bild 7 hervor.

¹⁾ Bei den Gelenktriebwagen Be 4/6 und den Motorbeiwagen Be 2/4 der Bauserie «Tram 2000-III» entfallen die dritten Luftansauggitter auf der linken Wagenseite über dem nachlaufenden Triebdrehgestell, da Batterieladegeräte die rotierenden Umformergruppen der frühern Bauserien ablösen



CHVEK 512 523

Bild 2b – Motorisierter Gelenkbeiwagen Be 4/6
mit Gleichstromstellerantrieb «Tram 2000-I» Nr. 2301–2315



CHVEK 512 524

Bild 2c – Motorisierter Beiwagen Be 2/4
mit Gleichstromstellerantrieb «Tram 2000-II» Nr. 2401–2420 bzw. mit Drehstromantrieb «Tram 2000-III» Nr. 2421–2435

Tabelle III: Technische Daten der Gelenktriebwagen Be 4/6 und der Motor-Beiwagen Be 2/4 «Tram 2000-III» der VBZ

Elektrische Ausrüstung	Hauptdaten		
<ul style="list-style-type: none"> ● Antriebskonzept: Drehstrom-Umrichterantrieb mit Antriebs-Direktwechselrichter für Speisung ab Fahrleitung ● Fahrmotorsteuerung: EingangsfILTER zur direkten Speisung des Gleichspannungs-Zwischenkreises ab Fahrleitung; 2 dreiphasige ABB-Antriebs-Pulswechselrichter (U-Umrichter mit GTO-Thyristoren) in modularer Flachbauweise (je 3 Zweigpaar-Ventilsätze) für Unterflur-Einbau mit Siederohrkühlung bei zwangsweiser Luftkühlung und minimalen Kühlstoffmengen ● Leitsystem: Mikrorechnergesteuerte, modulare ABB-Traktionsleitelektronik MICAS[®]-S mit Geschwindigkeits- und Beschleunigungsregelung mit je 2 Antriebs- und Fahrzeug-Leitgeräten und integrierter Diagnoseeinrichtung; Vielfachsteuerung freizügig zwischen «Tram 2000»-Triebwagen mit Gleichstromsteller- bzw. Drehstromantrieb ● Achsantrieb: 2 eigenbelüftete ABB-Drehstrom-Asynchron-Fahrmotoren Typ 6 ELA 4045 für Längseinbau mit Hypoidgetrieben ● Elektrische Bremse: Kombinierte Netz-/Widerstandsbremse mit Doppelbremssteller (Doppel-Zweigventilsatz) für Bremsbetrieb sowie Vorsteuergerät für Bremseinsatz bei fehlender Fahrleitungsspannung ● Hilfsbetriebe: Modulares transistorisiertes ABB-Batterieladegerät mit Drehstromausgang für Batterieladung und Drehstrom-Kurzschlussläufer-Hilfsbetriebemotoren ● Komforteinrichtungen: Warmluftheizung mit Ganzjahreslüftung, elektronisch geregelt durch Reglerbausteine Bauart WAKR 	Bahngesellschaft (Ort)	VBZ (Zürich)	
	Fahrzeugart	Strassenbahn-	
		-Gelenk-	-Motor-
	Betriebsbezeichnung	Triebwagen	Beiwagen
	Betriebsnummern	Be 4/6	Be 2/4
		2099-2121	2421-2435
	Inbetriebsetzung	1991/92	1991/92
	Stromart	Gleichstrom	
	Fahrleitungsnennspannung	V	600
	Spurweite	mm	1000
	Maximale Steigung	‰	74,5
		74,5	74,5
	Achsanordnung	B'2'B'	2'B'
	Masse elektrischer Teil	t	5,3
	Masse mechanischer Teil	t	20,5
	Dienstmasse	t	25,8
	Adhäsionsmasse	(1) t	19,8
	Nutzlast	t	11,1
	Sitzplätze	50	36
	Stehplätze	107	80
	Anzahl Fahrmotoren	2	1
	Dauer-Leistung an der Welle	kW	314
	Dauer-Zugkraft am Rad	kN	37,6
	- entsprechende Geschwindigkeit	km/h	30
	Anfahrzugkraft am Rad	kN	78
	Maximale dynamische Bremskraft am Rad	kN	76
	- entspr. Geschwindigkeitsbereich	km/h	48 bis 0
	Maximale Leistung am Rad	kW	550
	Höchstgeschwindigkeit	km/h	65
	- entsprechende Restzugkraft	kN	20
	Getriebeübersetzung	1:6,555	1:6,555
	Anhängelast	t	-
	Länge über Mittelpufferkupplung	mm	21400
	Gesamte Fahrzeugbreite	mm	2200
	Höhe bei gesenktem Stromabnehmer/ über Dach	mm	3593/3500
	Drehzapfenabstand	mm	6500+6500
	Drehgestellachsstand Trieb-/Lauf- Drehgestell	mm	1700
	Triebraddurchmesser	mm	1700
	- neu	mm	660
	- halbabgenützt	mm	630
	Laufreddurchmesser	mm	660
	Fussbodenhöhe über SOK	mm	830
	Hersteller		
	- des mechanischen Teils	Schindler Waggon AG, Pratteln/Schweiz (SWP)	
	- der Triebdrehgestelle und - der Laufdrehgestelle	SIG Schweizerische Industrie-Gesellschaft, Neuhausen am Rheinfluss/ Schweiz	
	- des elektrischen Teils	ABB Verkehrssysteme AG, Zürich/Schweiz (ABB)	

(1): bezogen auf Dienstmasse



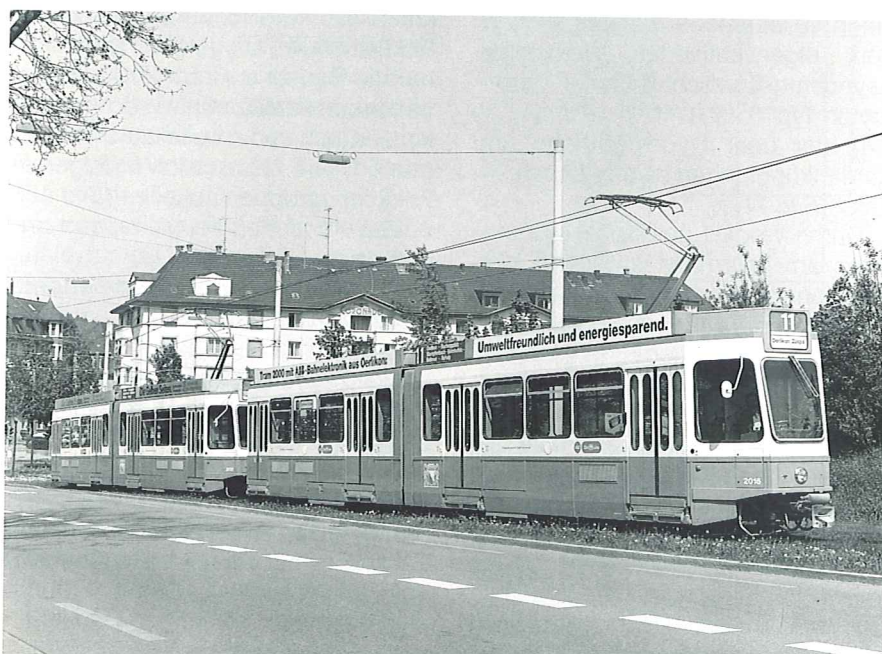
240 884 C

Bild 3a - Typenbild des Strassenbahn-Gelenktriebwagens Be 4/6 «Tram 2000-III» mit Drehstromantrieb



240 885 C

Bild 3b - Typenbild des Strassenbahn-Motorbeiwagens Be 2/4 «Tram 2000-III» mit Drehstromantrieb



234 271 C

Bild 4 - Strassenbahn-Gelenktriebwagen Be 4/6 Nr. 2016 der VBZ als Vorläuferfahrzeug von «Tram 2000-III» mit Drehstromantrieb in Vielfachsteuerung mit Gelenktriebwagen «Tram 2000-I/-II» mit Gleichstromstellerantrieb

Traktionsausrüstung

Antriebsstromrichter

Der Gelenktriebwagen Be 4/6 ist mit zwei vollkommen autonomen, je einem Drehgestell zugeordneten Antriebsstromrichtern (Antriebseinheiten) ausgestattet (*Tabelle III*). Einzig der Einholmstromabnehmer, der Überspannungsableiter und der Gleichstromschnellschalter als Fahrzeug-Hauptschalter bilden einen, beiden Antriebsstromrichtern gemeinsamen Strompfad. Dementsprechend beschränkt sich die Ausrüstung beim motorisierten Beiwagen Be 2/4 auf einen einzelnen Strompfad (Prinzipschaltbild *Bild 8*). Der als Vormontageeinheit ausgebildete Stromrichterblock setzt sich aus folgenden Hauptkomponenten zusammen (*Bild 9*):

- Störschutzfilter (12)
- Linienschütz (29), Aufladeschütz (29.1) und Aufladewiderstand (29.2)
- Eingangsfiler, bestehend aus der Eingangsfiler-Drosselspule (9.1) und dem Eingangskondensator (9.2) (Elektrolytkondensatorbatterie) mit zugehörigen Symmetrier- und Entladewiderständen
- Vorladegerät (23) für den Einsatz der dynamischen Bremse auch bei fehlender Fahrleitungsspannung
- 1 Doppel-Zweigventilsatz zum Doppelbremssteller (15.7) mit fremdbelüftetem Hochleistungs-Bremswiderstand (25)
- 3 Zweigpaar-Ventilsätze zum Antriebswechselrichter (28), welche als Phasenbausteine wirken und aus je 2 Abschalt- (GTO-)Thyristoren mit Antiparallel-Diode bestehen
- Strom- und Spannungswandler.

Die modular ausgelegten Ventilsätze sind für Siederrohrkühlung mit fremdbelüftetem Wärmetauscher ausgelegt (*Bild 10*). Im verschmutzten Luftraum liegen somit nur unempfindliche Komponenten wie Filterdrosselspulen, Siederrohrkühler und Widerstände, was den Verzicht auf periodisch zu wartende Filtermatten erlaubt.

Die empfindlichen Bauelemente wie Halbleiter, Gate Units, Strom- und Spannungswandler befinden sich alle im eigentlichen Umrichtergehäuse, das nach aussen dicht ist, und unterliegen daher keiner Verschmutzung. Ausser der periodischen Kontrollen sind am Umrichter innerhalb einer sechsjährigen Revisionsperiode praktisch keinerlei Wartungs- und Reinigungsarbeiten notwendig.

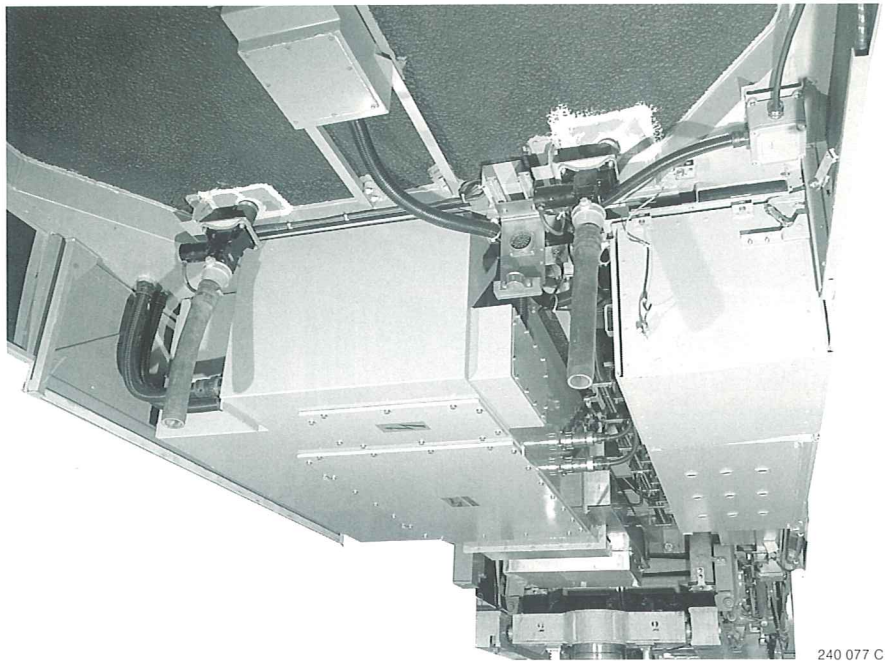


Bild 5 - Unterbringung des Umrichterblockes unter dem Wagenboden eines Gelenktriebwagens Be 4/6

Die Disposition unter dem hintern Gelenkwagenteil zeigt links den eigentlichen, von unten her zugänglichen Umrichter-Leistungsteil, anschliessend gegen die Fahrzeugmitte hin den angebauten Lüfter mit Bremswiderstand. Im Hintergrund ist das mittlere Laufdrehgestell erkennbar. Rechts befinden sich in einem von der Seitenwand her zugänglichen Apparatekasten die Niederspannungs- und die für die freizügige Vielfachsteuerung notwendigen Steuergeräte, ferner Hochspannungs-Schütze für die Wagenheizung.

Im Bedarfsfalle lassen sich die Ventilsätze in kurzer Zeit austauschen. Die im sog. Antriebsleitgerät (s. folgenden Abschnitt) integrierte Diagnose lässt Rückschlüsse auf die Art von Ausfällen zu und erleichtert so die Wartung.

Fahrmotoren

Jedes Triebdrehgestell enthält einen vollabgefederten, längsliegenden, eigenventilierten Drehstrom-Asynchron-Kurzschlussläufer-Fahrmotor Typ 6 ELA 4045 (*Tabelle IV*) [14], der über Hypoidgetriebe und Kardankupplungen beide Achsen antreibt (*Bild 11*).

Durch Wegfall des Kollektors entfallen am Fahrmotor zwischen zwei Revisionen jegliche Wartungsarbeiten. Besonders für Nahverkehrsfahrzeuge mit niedrig liegendem Wagenboden eignen sich die kompakt gebauten, schnell-drehenden Asynchron-Fahrmotoren, die als Folge des wegfallenden Kollektors und Bürstenapparates auch bezüglich Zugänglichkeit geringe Ansprüche stellen. Zur Unempfindlichkeit gegen Verschmutzung und Feuchtigkeit, nachdem in der Maschine keine blanken, spannungsführenden Teile vor-

handen sind, gesellt sich eine hohe Überlastbarkeit.

Steuerstromkreise, Leiteinrichtungen

Die freizügige Vielfachtraktion mit den bestehenden Fahrzeugen «Tram 2000», deren Steuerstromkonzept aus dem Jahre 1972 stammt, bringt es mit sich, dass viele Steuerstromkreise nach wie vor in konventioneller Relais-technik ausgeführt sind. Alle nur die Bauserie «Tram 2000-III» betreffenden Funktionen wurden jedoch konsequent in die Leitelektronik integriert. Diese lassen sich in folgende Funktionsgruppen aufteilen (*Bild 12*):

- Zug- und Fahrzeuggleitebene mit Fahrzeugleitgerät (FLG)
- Antriebsgleitebene mit Antriebsleitgerät (ALG)

Pro Triebdrehgestell (Antriebseinheit) ist je ein Antriebs- und ein Fahrzeugleitgerät der Bauart MICAS-S in einem standardisierten 19"-Baugruppenträger untergebracht. Auch bei Ausfall einer Antriebseinheit ist das Fahrzeug mit halber Leistung noch voll funktionsfähig. Damit erübrigt sich die in den bisherigen Bauserien vorhandene Notsteuerung (*Bild 13*).

Antriebsleitebene

Das ALG betreibt den Umrichter gemäss den Vorgaben des Fahrzeugleitgerätes. Von grossem Wert ist ein abgestuftes Schutzkonzept, das eine Beschädigung von Bauelementen im Umrichter verunmöglicht. Je nach Zustand wird zwischen Diagnosemeldungen an das FLG, Öffnen des Linienschützes unter gleichzeitigem Stützbremsbetrieb, Taktsperrung oder Schutzabschaltung unterschieden.

Eine anwendungsspezifische Schaltung in Form eines Micro-Chips (ASIC)²⁾ stellt die komplexen zeitlichen Abhängigkeiten zwischen den Leitbefehlen an und Rückmeldungen von den Steuerimpuls-Endstufen (Gate Units) sicher. Die Übertragung an die Gate Units geschieht aus Gründen des Störsschutzes über Lichtwellenleiter. Redundante Strom- und Spannungswandler lassen sowohl fehlerhafte Wandler als auch gefährliche Überspannungen und Überströme erkennen.

Die Umrichterantriebe der ersten Generation – ausgeführt u.a. bei den Mehrzweck-Triebwagen ABe 4/4 III Nr. 51–56 der RhB – steuern die Asynchronmaschinen über Kennlinien an. Je nach gewählter Optik liess sich ein Antrieb auf geringe Oberwellen im Netzstrom, geringe Drehmomentwelligkeiten oder andere Kriterien optimieren.

Die Fortschritte in der Mikroprozessortechnik erlauben heute mit der von ABB entwickelten «Direkten Selbst-Regelung» (DSR) [15] [16] wesentlich verbesserte Regelverfahren: Ein schneller Signalprozessor übernimmt die Regelung der Asynchronmaschine (ASM); dabei berechnet dieser 25 000 mal pro Sekunde ein mathematisches Modell der ASM und vergleicht das Ergebnis mit den aus Strom- und Spannungswandlern stammenden Informationen. Aus der Gegenüberstellung des dabei erhaltenen momentanen Ist-Drehmomentes mit dem gewünschten Soll-Drehmoment leiten sich direkt die Leitbefehle für die sechs GTO-Thyristoren der Zweigpaar-Ventilsätze ab.

Die DSR hat minimale Drehmomentpulsationen zur Folge. Die hohe Dynamik des Systems ermöglicht jedoch auch die aktive Bedämpfung der Schwingneigung des Eingangsfilters sowie die aktive Unterdrückung der allenfalls die Signalanlagen störenden Netzstromüberschwingungen.

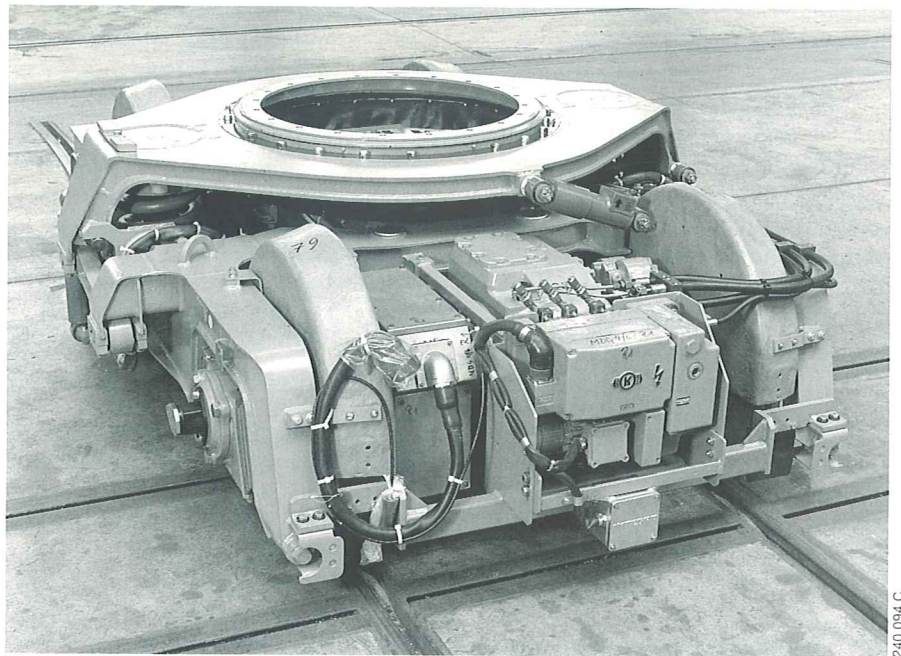


Bild 6 – Triebdrehgestell Bauart SIG mit Längsfahrmotor und elektrohydraulisch betätigter Scheibenbremse vor dem Aufsetzen des Wagenkastens

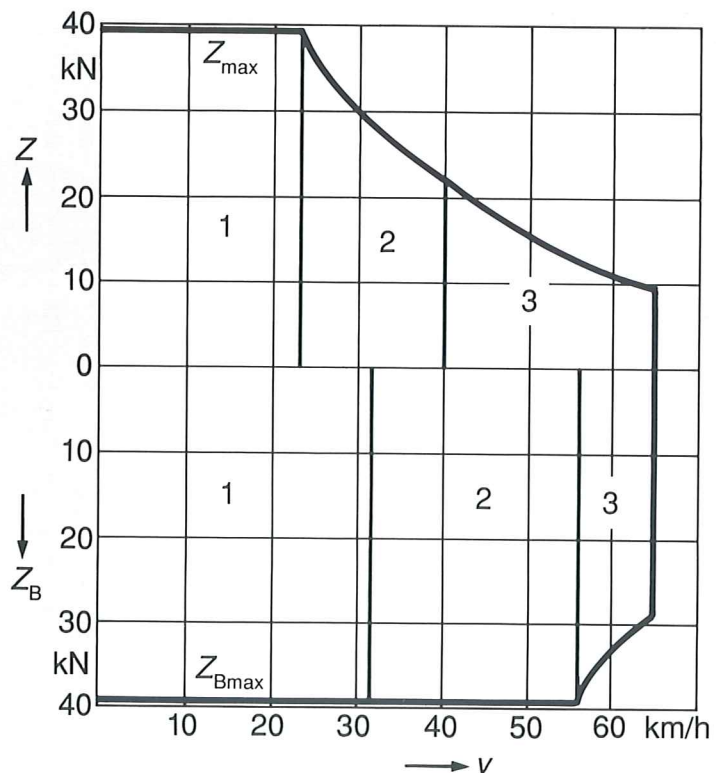
Bild 7 – Fahrzeugkennlinie des zweimotorigen Gelenktriebwagens Be 4/6 «Tram 2000-III» der VBZ mit Drehstromantrieb und Achsfolge B'2'B'

Fahrleitungsspannung 600 V

Bei den Fahrzeugkennlinien des einmotorigen Motorbeiwagens Be 2/4 betragen die Zugkraft-/Bremskraftwerte 50 %.

Bremsbetrieb für kombinierte Netz-/Widerstands-Bremsung

- v = Fahrgeschwindigkeit
- Z = Zugkraft am Rad
- Z_B = Bremskraft am Rad
- Z_{max} = Anfahrzugkraft
- Z_{Bdd} = Dauerbremskraft
- Z_{Bmax} = Maximale Bremskraft



²⁾ ASIC = «Application Specific Integrated Circuit»

**Tabelle IV: Technische Daten des Direkt-Antriebswechselrichters
Typ H8 U6 23-0606**

Leistung	max.	520	kVA
Eingangs-Strom	max.	600	A
Eingangs-Spannung	nom.	600	V
	max.	840	V
Wechselrichterfrequenz		0 ... 200	Hz
Masse inkl. Bremswiderstand		740	kg

Tabelle V: Technische Daten des Drehstrom-Asynchron-Kurzschlussläufer-Fahrmotors Typ 6 ELA 4045

Isolationsklasse		C	
Isolationssystem		Veridur	
Spannung, verkettet		468	V
Strom, verkettet		493	A
Leistung, dauernd		157	kW
Drehzahl	max.	3462	min ⁻¹
Statorfrequenz		0 ... 192	Hz
Drehmoment, dauernd		921	Nm
- Entsprechende Drehzahl		1658	min ⁻¹

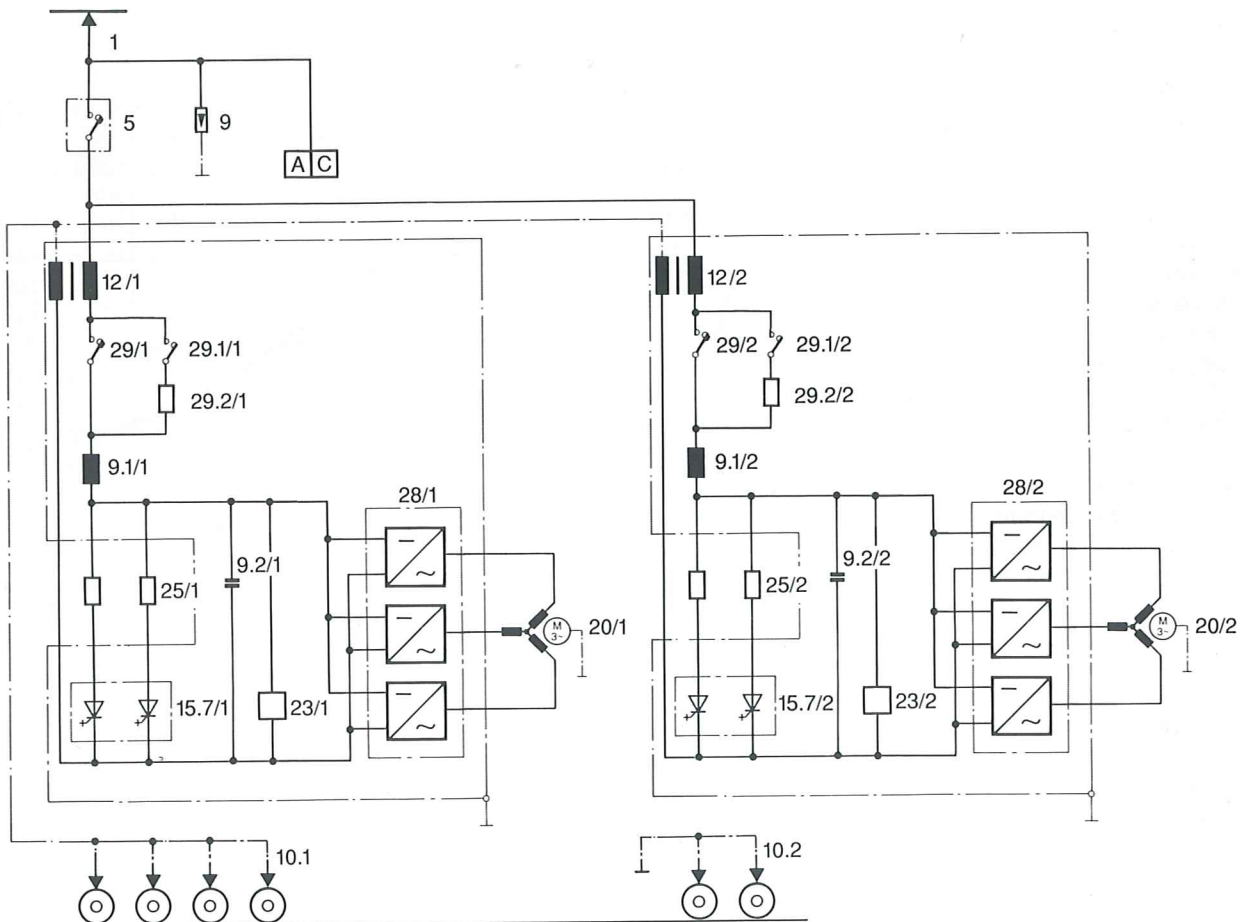
Ein konventioneller Mikroprozessor dient zur Ansteuerung des Doppelbremsstellers sowie zur Ansteuerung und Überwachung der weiteren im Umrichterblock eingebauten Geräte. Verschiedene Schutzkennlinien stellen den Betrieb der Antriebseinheit innerhalb der dem Antriebswechselrichter, dem Fahrmotor und dem Fahrleitungsnetz zuträglichen Grenzen sicher.

Die hohe Dynamik des DSR-Systems sowie die schnelle Regelung des Doppelbremsstellers erlauben einen hohen Wirkungsgrad der Netzbremse. Der Übergang zwischen Netz- und Widerstandsbremsbetrieb vollzieht sich ohne Stabilitätsprobleme im relativ kleinen Spannungsbereich zwischen 690 V und 720 V.

Nebst den ständig durchgeführten Online-Überwachungsfunktionen er-

Bild 8 - Prinzipschaltbild des Gelenktriebwagens Be 4/6 «Tram 2000-III» der VBZ mit Drehstromantrieb

- | | |
|--|---|
| 1 = Einholm-Stromabnehmer | 25 = Bremswiderstand |
| 5 = Fahrzeug-Hauptschalter (Gleichstrom-Schnellschalter) | 28 = Drehstrom-Antriebswechselrichter |
| 9 = Überspannungsableiter | 29 = Linienschütz |
| 9.1 = Drosselspule zum Eingangsfilter | 29.1 = Schütz für 29.2 |
| 9.2 = Kondensator zum Eingangsfilter | 29.2 = Aufladewiderstand für Eingangsfilter |
| 10 = Erdungsbürste | A = Hilfsbetriebe-Umrichter |
| 12 = Störschutzfilter | C = Heizung |
| 15.7 = Doppelbremssteller | m 1 = Drehgestell (Antriebseinheit) 1 |
| 20 = Fahrmotor | m 2 = Drehgestell (Antriebseinheit) 2 |
| 23 = Vorladegerät | |



laubt ein spezielles Testprogramm die Prüfung aller im Umrichterblock eingebauten Geräte im spannungslosen Zustand.

Fahrzeugleitebene

Die Fahrzeugleitebene setzt die von den Vielfachsteuerleitungen erhaltenen Signale in Steuerbefehle für den Antriebswechselrichter sowie die elektrohydraulisch betätigte Scheibenbremse um. Der über PC mit der Funktionsblock-Programmiersprache FUPLA programmierte Rechner übernimmt folgende Hauptfunktionen:

- Aufrüsten des Antriebswechselrichters, Übergang in den netzspannungsunabhängigen Stützbremsbetrieb mit Hilfe des Vorladegerätes.

Bei sich bewegendem Fahrzeug kann damit eine Gefahrenbremse immer mit der wesentlich wirksameren elektrischen Bremse durchgeführt werden.

- Anpassen des Drehmomentsollwertes des ALG an die Signale der Vielfachsteuerleitungen.

Die Signale der Vielfachsteuerleitung der bisherigen Serien «Tram 2000-I/-II» sind von ihrer Dynamik her für den Gleichstromstellerantrieb mit direkt vom Steuercontroller bedienten Umgruppierungsschütze für den Fahr- und Bremsbetrieb konzipiert. Von der Zugleitebene gelangte der Zugkraftsollwert direkt an die Antriebsleitebene. Die hohe Dynamik der DSR stellt wesentlich härtere Anforderungen an die zeitlichen Abläufe solcher Vorgänge, so dass diese

Signale auf der Fahrzeugleitebene nachbearbeitet werden.

- Ansteuerung und Überwachung der aktiven elektrohydraulisch betätigten Scheibenbremse.

Die elektromechanisch gelösten Federspeicher-Scheibenbremsen der Serien «Tram 2000-I/-II» wurden über einen gemeinsamen Sollwert der Zugleitebene angesteuert. Die wesentlich grössere Dynamik der elektrohydraulischen Bremse verlangt auch hier eine Nachbearbeitung dieses Sollwertes.

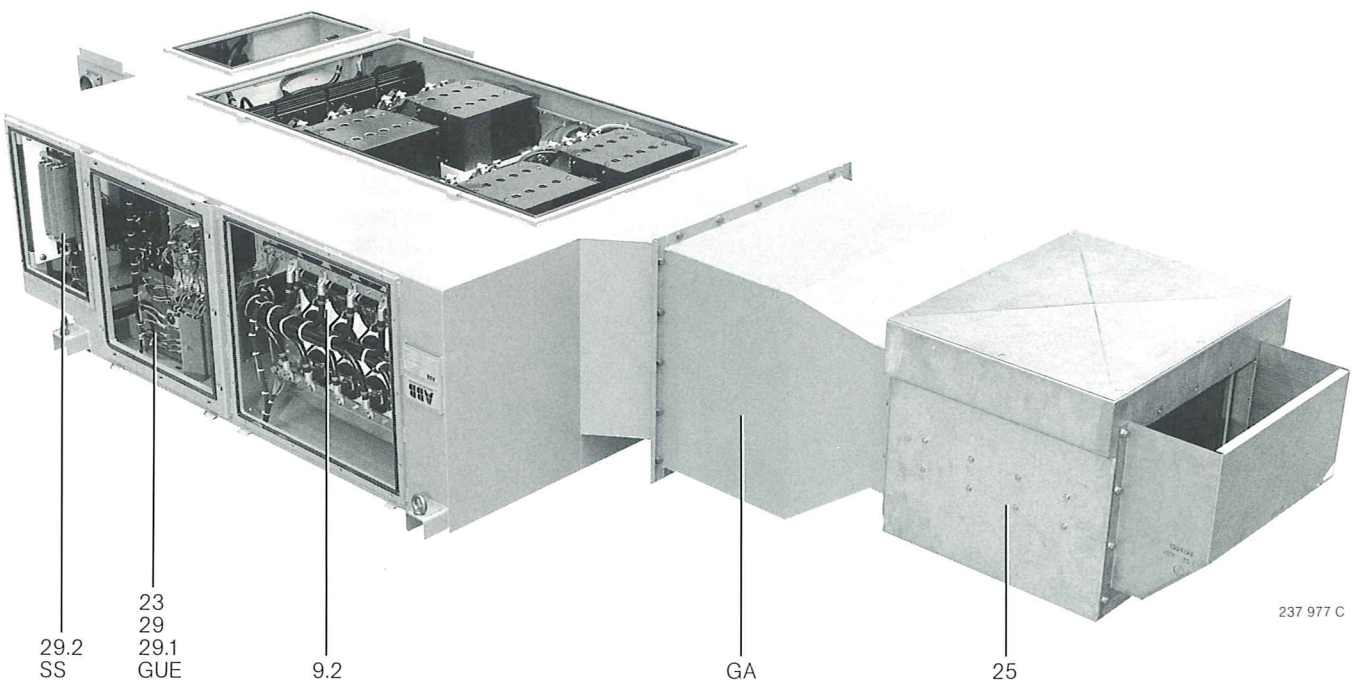
- Aufteilen der verlangten Bremskraft auf die mechanische und elektrische Bremse.

Die zeitlichen Verläufe der beiden Sollwerte für mechanische und elektrische Bremse sind auf die bisherigen Fahrzeugserien mit

Bild 9 – Antriebsstromrichterblock Typ H8 U6 23-0606 ohne Verschalung für Luftkühlung und Unterflureinbau zur Speisung eines Fahrmotors

- 9.1 = Eingangfilter-Drosselspule
- 9.2 = Eingangfilter-Kondensator
- 12 = Störschutzfilter
- 15.7 = Doppel-Zweigventilsatz zum Doppelbremssteller
- 23 = Vorladegerät
- 25 = Bremswiderstand
- 28 = 3 Zweigpaar-Ventilsätze zum Antriebswechselrichter
- 29 = Linienschütz

- 29.1 = Aufladeschütz
- 29.2 = Aufladewiderstand
- AK = Anschlussklemmenkasten
- CPC = Gerätestecker Steuerstrom
- CPL = Gerätestecker Lichtwellenleiter
- GA = Gebläseaggregat
- GUE = Gate-Unit-Speisung
- SS = Strom- und Spannungswandler



237 977 C

Bild 9a – Gesamtansicht (Blick auf Block-Unterseite)

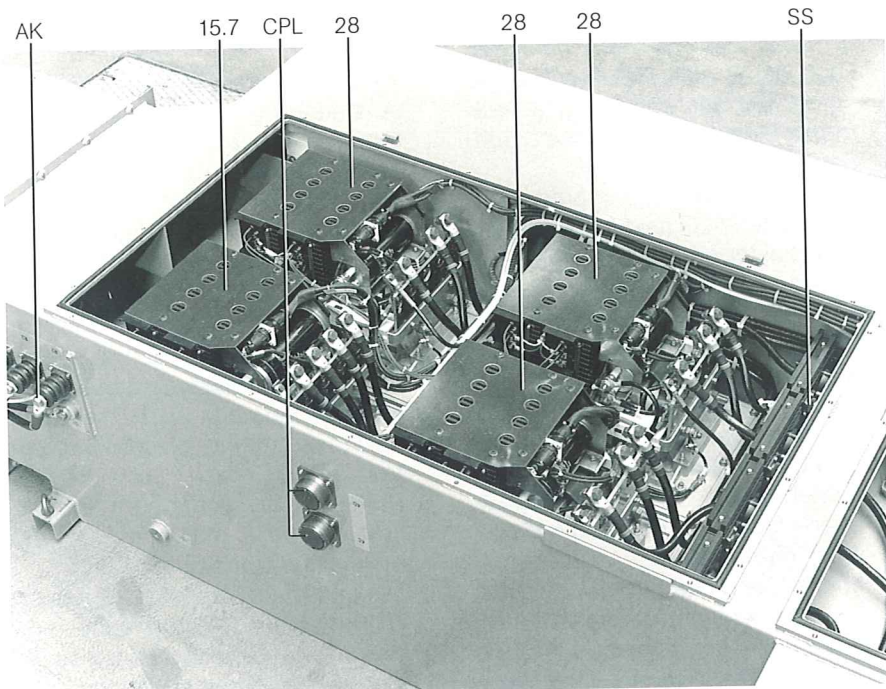


Bild 9b – Einblick in den Leistungsteil

237 979 C

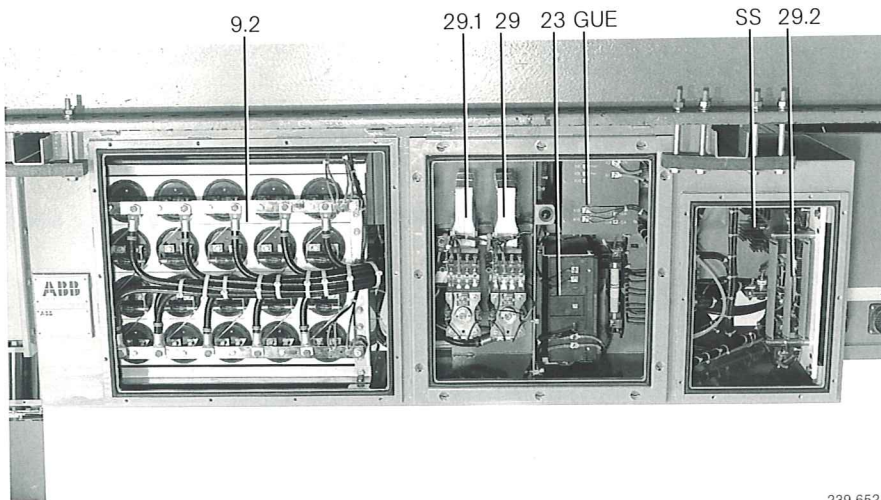


Bild 9c – Einblick in die seitlichen Beschaltungsköjen

239 652 C

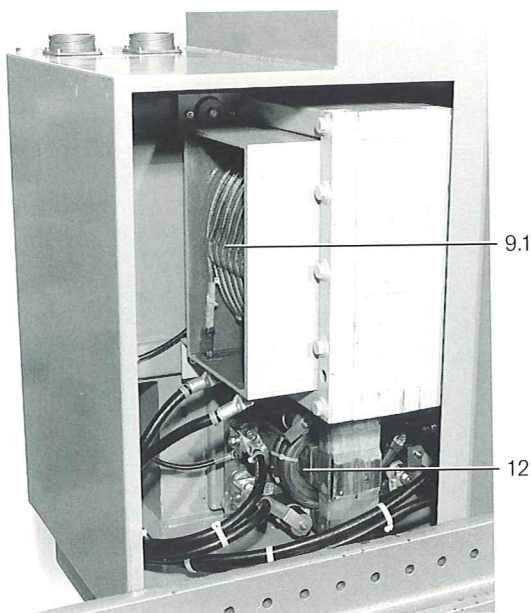


Bild 9d – Blick von der Unterseite in die Drosselspulen-Kammer

239 651 C

den relativ grossen Totzeiten der mechanischen Bremse abgestimmt. Das FLG der dritten Bauserie passt die Aufteilung optimal den Möglichkeiten des Drehstromantriebs und der elektrohydraulischen Bremse an.

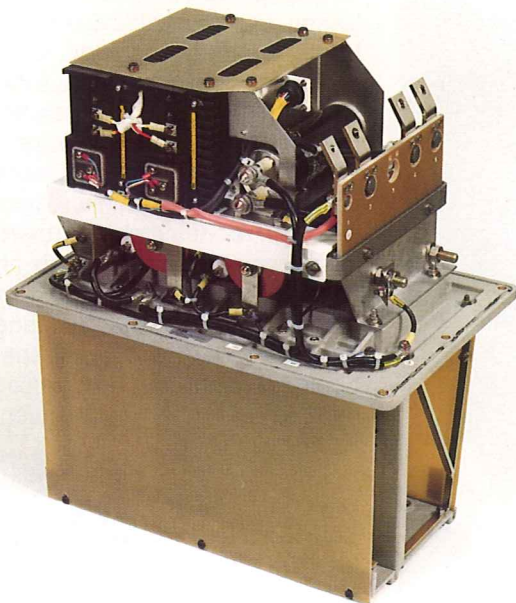
- Adhäsionsregelung mit Schleuder- und Gleitschutz für den Antriebsstromrichter und die elektrohydraulische Bremse.
- Freigabe des Batterieladegerätes und verschiedener Batterieverbraucher.
- Speicherung von Diagnosedaten des ALG und des FLG.

Die Fahr- und Bremscharakteristik zeigt Bild 7.

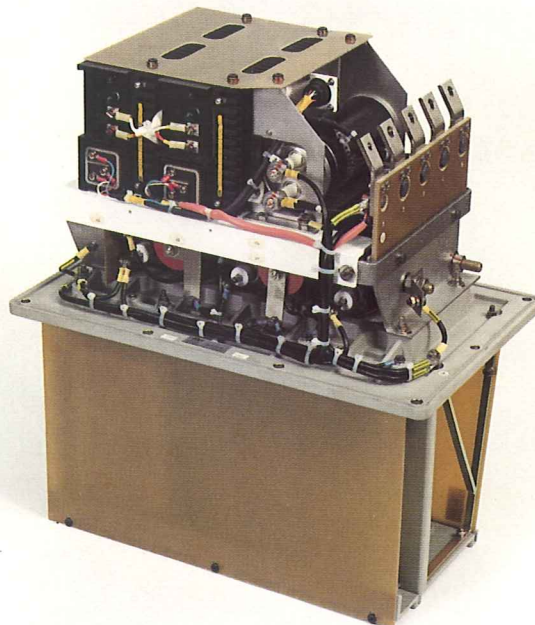
Das Zugkraft-Geschwindigkeits-(Z – v-)Diagramm lässt sich in drei Bereiche aufteilen:

- Der Bereich 1 entspricht dem Anfahrbereich mit konstantem Drehmoment. Die Motorspannung steigt proportional mit der Geschwindigkeit. Dieser Bereich entspricht dem Bereich mit konstantem Motorstrom beim Gleichstrommotor. Aus Gründen der Kompatibilität und der Netzbelastung ist die maximale Leistung gleich wie bei den Bauserien «Tram 2000-I/-II» gewählt worden.
- Der Bereich 2 entspricht dem Feldschwächebereich, in dem sowohl Motorspannung und Motorstrom konstant sind. Die konstante Leistung kann im Gegensatz zum Gleichstrommotor bis zu einer Geschwindigkeit von 40 km/h abgegeben werden.
- Im Bereich 3 ist die Kippgrenze der ASM erreicht, die Leistung sinkt proportional mit der Geschwindigkeit. Dies entspricht der Kennlinie einer Gleichstrommaschine bei maximaler Feldschwächung.

Das Bremskraft-Geschwindigkeits-($Z_B - v$)-Diagramm weist grundsätzlich dieselben Bereiche auf. Während bei der Gleichstrommaschine aus Kommutierungsgründen im Feldschwächebereich 2 Vorwiderstände bei konstantem Bremsdrehmoment für höhere Ankerspannung sorgen, wird bei der ASM in diesem Bereich der Strom angehoben.



241 755 C



241 752 C

Bild 10a – Zweigpaar-Ventilsatz (28) Typ H 8 ZV 23 – 0715 zum Antriebswechselrichter

Bild 10b – Doppel-Zweigventilsatz (15.7) Typ H 8 DV 23 – 0715 zum Doppelbremssteller

Zugleitebene

Für die Fahrzeugbedienung sind am Fahrschalter (Bild 14) im Fahrbetrieb neun diskrete Geschwindigkeitsstufen zwischen 6 km/h und 60 km/h vorwählbar. Jeder Stufe ist ein bestimmter Beschleunigungswert zwischen 0,8 m/s² und 1,2 m/s² zugeordnet.

Im Bremsbetrieb sind zwei getrennte Bereiche für Gefällefahrten mit konstanter Geschwindigkeit und Anhalten vorhanden. Acht Geschwindigkeitsstufen mit einer maximalen Verzögerung von 0,8 m/s² zwischen 12 km/h und 60 km/h können angewählt werden. Zum Anhalten dienen acht Stufen mit Verzögerungen zwischen 0,8 m/s² und 2,0 m/s².

Vom Heckführerstand des Triebwagens Be 4/6 sowie von beiden Hilfsführerständen des Triebwagens Be 2/4 lassen sich für Dienst- und Notfahrten vier Fahr- und vier Anhaltestufen wählen.

Ein FLG eines aus höchstens zwei Triebwagen-Einheiten bestehenden Zuges übernimmt die Funktion des Zugleitgerätes (ZLG) und bildet für den ganzen Zug die Sollwerte für die elektrische Zug- und Bremskraft sowie die mechanische Bremse. Aus Gründen der freizügigen Vielfachtraktion mit den Bauserien «Tram 2000-I/-II» sind Veränderungen an diesen Signalen nur bedingt möglich. Im Gegensatz zu den bisherigen Fahrzeugen mit einem einzigen Zugleitgerät verfügen diejenigen der Serie «Tram 2000-III» über zwei FLG,

so dass bei Ausfall des einen automatisch das andere Elektronikgerät zum ZLG wird. Damit kann die bisher vorhandene Notsteuerung entfallen. Bei Ausfall beider Elektronikgeräte lässt sich das Fahrzeug weiterhin mit der elektrohydraulisch betätigten Scheibenbremse und der Magnetschienenbremse bremsen.

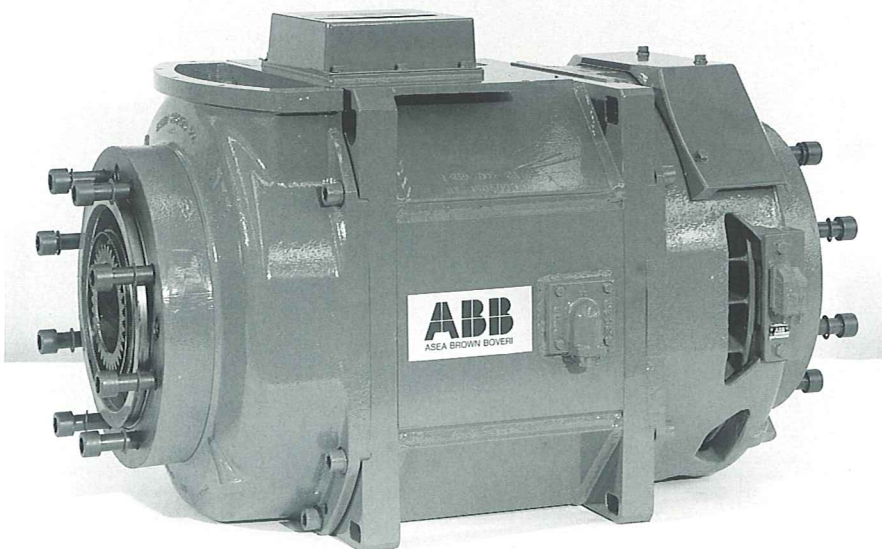
Diagnose

Da von den VBZ keine zusätzlichen Anzeige- und Bedienungselemente im Führerstand erwünscht waren, ist für das Fahrpersonal kein Display eingebaut, das im Klartext Informationen zu Betriebsstörungen liefert.

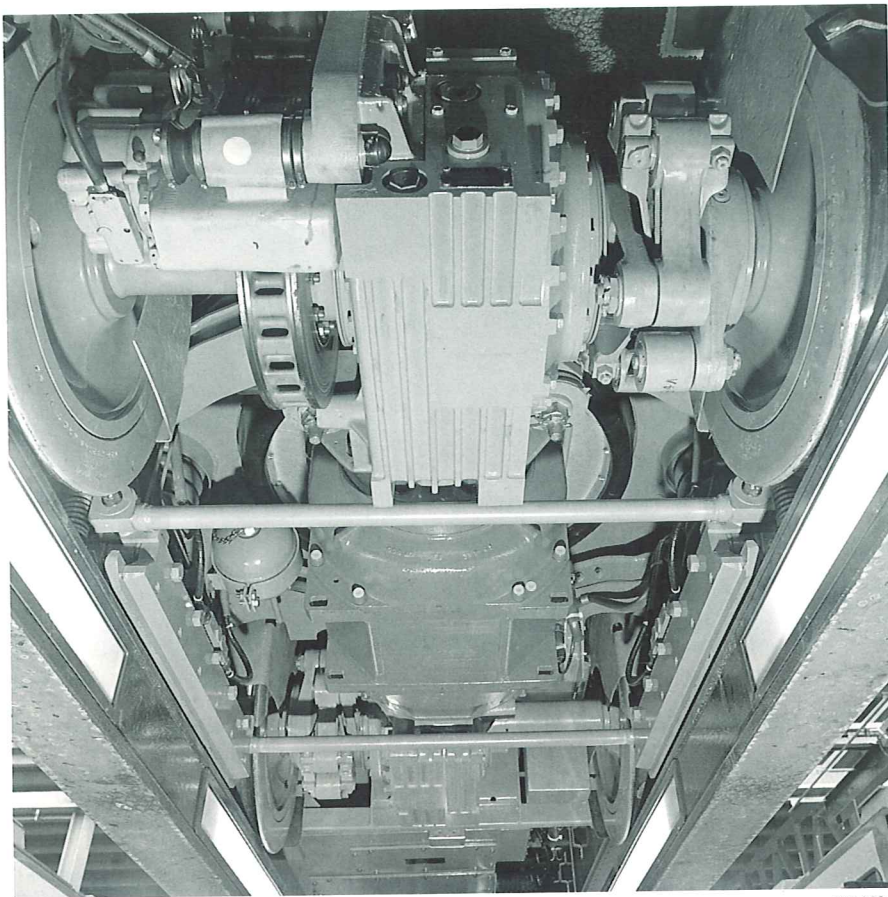
Bild 11 – ABB-Drehstrom-Asynchronfahrmotor Typ 6 ELA 4045 für längsgerichteten Einbau in SIG-Einmotor-Triebdrehgestell

Drehmomentübertragung auf beide Triebachsen über Hypoidgetriebe und Gummikardankupplung. Dem längsgestellten Asynchron-Fahrmotor steht der gleiche Einbauräum wie für die Mischstrom-Kollektor-Fahrmotoren der Baureihen «Tram 2000-I/II» zur Verfügung

Bild 11a – Ansicht des Fahrmotors



237 969 C



240 088 C

Bild 11b – Einbau des Fahrmotors im Drehgestell

Bild 12 – Strukturschema des Leitsystems

- | | |
|--|---------------------------------------|
| AA = Analoge Ausgabe | FLG = Fahrzeugleitgerät |
| AE = Analoge Eingabe | FR = Führerstand |
| ALG = Antriebsleitgerät | FS = Fahrzeugsteuerung |
| AWR = Antriebswechselrichter | GST = Gleichstromsteller |
| BA = Binäre Ausgabe | LDG = Laufdrehgestell |
| BE = Binäre Eingabe | M 1 = Fahrmotor 1 |
| Bm = Bremskraft mechanisch | M 2 = Fahrmotor 2 |
| BRG 1 = Bremsregelgerät zu TDG 1 | NI = Drehzahl-Ist-Signale |
| BRG 2 = Bremsregelgerät zu LDG | NS = Notsteuerung |
| BRG 3 = Bremsregelgerät zu TDG 2 | PWM = Pulse Width Modulated Signals |
| BUR = Bordnetzumrichter | TDG = Triebdrehgestell |
| CU = Controller für Umrichter | UR = Traktions-Umrichteranlage |
| EHS = Elektrohdydraulische Scheibenbremsen | VA = Geschwindigkeits-Austausch |
| EKR = Einkartenrechner | VI = Geschwindigkeits-Ist-Signale |
| EMS = Elektromechanische Scheibenbremsen | VSL = Vielfachsteuerleitung |
| | Z/Be = Zugkraft/Bremskraft elektrisch |

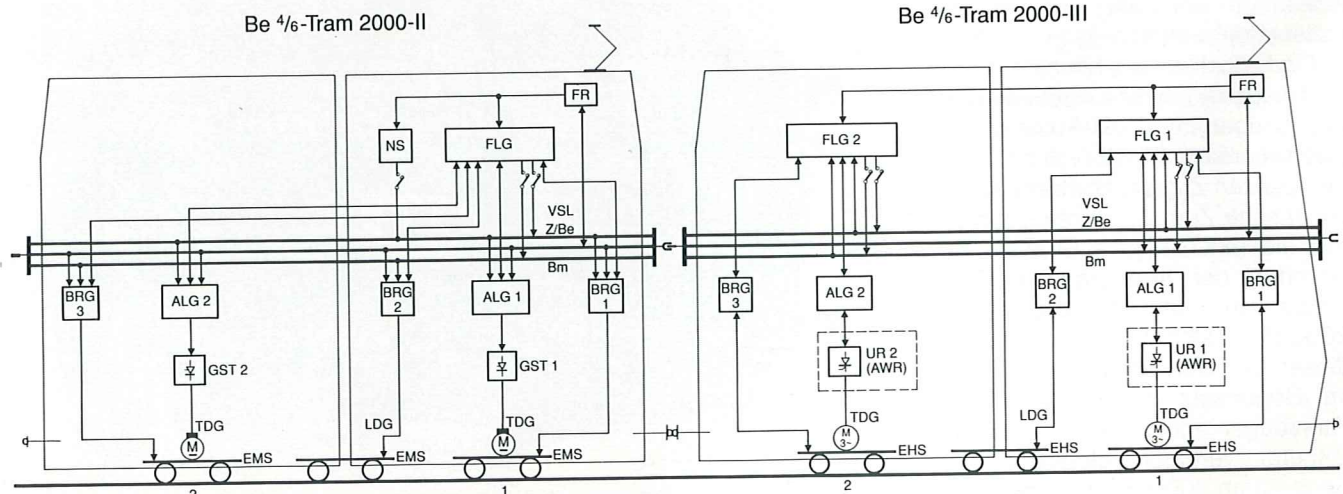
Die dichte Zugfolge sowie die Verknüpfung mit dem Individualverkehr lassen aber auch gar keine zeitraubende Störungssuche zu; das Fahrzeug muss vielmehr unter allen Umständen die Strecke räumen können. Bei flüchtigen Fehlern kann nach Wiedereinschalten des Hauptschalters weitergefahren werden, bei Defekten trennt sich die betroffene Antriebseinheit automatisch ab und das Fahrzeug bzw. ein Zug kann mit halber bzw. reduzierter Leistung weiterverkehren. Diese Vorgehensweise begrenzt nicht nur Betriebsstörungen, sondern entlastet auch das Fahrpersonal.

Das FLG legt in einem als Ring-speicher organisierten Speicher Betriebsdaten ab. Im Störfalle werden diese eingefroren und zusammen mit weiteren Angaben, wie Betriebszeit und Kilometerstand in einen nichtflüchtigen Speicher übertragen. Mittels PC und einem speziellen Auswerteprogramm ist so das Unterhaltspersonal in der Lage, detaillierte Informationen zu einem Störfalle zu erhalten.

Der modulare Aufbau des Antriebsstromrichters ermöglicht den raschen Tausch von defekten Baugruppen, so dass das Fahrzeug nach einer Störung schnell wieder verfügbar ist.

Komfortausrüstung

Ein hervorstechendes Komfortmerkmal der Strassenbahnfahrzeuge Typ «Tram 2000» stellt die Ganzjahreslüftung des Fahrgastraumes dar. Im *Lüftungsbetrieb* versorgt eine leistungsfähige Deckenlüftung das Wageninnere über die von ABB stets mit Erfolg vertretene Viellochdecke mit Frischluft. Fünfundfünfzig Luftwechsel pro Stunde tragen auch im



CHVEK 512 059

Hochsommer und bei starker Wagenbesetzung noch zu einer erträglichen Atmosphäre im Wagen bei.

Im *Heizbetrieb* wird die Luftwechselzahl auf die Hälfte reduziert und die Luft praktisch mit Raumtemperatur eingeblasen. Zusätzliche, unter den Sitzen angebrachte Umluftgebläse unterstützen im Winter die Zusatzheizung im Deckenluftkanal.

Wie schon bei der Bauserie «Tram 2000-II» wird die gesamte Heiz- und Lüftungsanlage von elektronischen Reglerbausteinen der Bauart WAKR geregelt. Der Übergang vom Heiz- zum Lüftungsbetrieb erfolgt dabei automatisch.

Der Passagierraum wird beidseitig durch je ein Lichtband mit Leuchtstoffröhren erhellt. Während die

Leuchtstoffröhren bei den Serien «Tram 2000-I/-II» ihre Energie aus dem Drehstrombordnetz beziehen, liegen jene der dritten Bauserie an transistorisierten Einzelvorschaltgeräten für Batteriespeisung. Damit erübrigen sich zusätzliche Glühlampen als Notbeleuchtung.

Bild 13 – Standardisierter 19"-Baugruppenträger der Traktionsleitelektronik mit mikrorechnergestütztem Antriebsleit- und Fahrzeugleit-Gerät Typ HV B 902 A 01

Links führen die Lichtwellenleiter zwischen Antriebsleitgerät und Leistungselektronik weg. In der Mitte sind die Abgänge vom Fahrzeugleitgerät erkennbar, die teilweise zum daneben bzw. darüber liegenden Steuergerät für die elektrohydraulische Scheibenbremse führen. Legende siehe Bild 12.

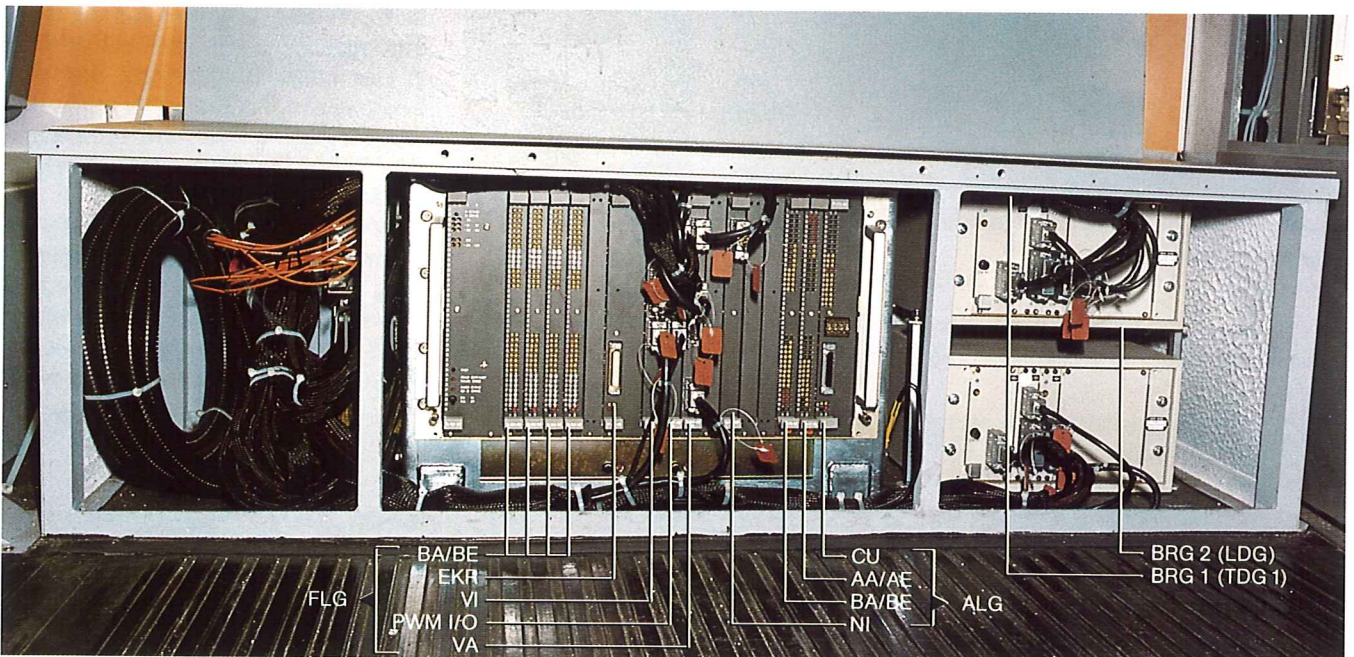


Bild 13a – Anordnung des Baugruppenträgers im Bug des Gelenktriebwagens Be 4/6 und Motorbeiwagens Be 2/4

240 099 C

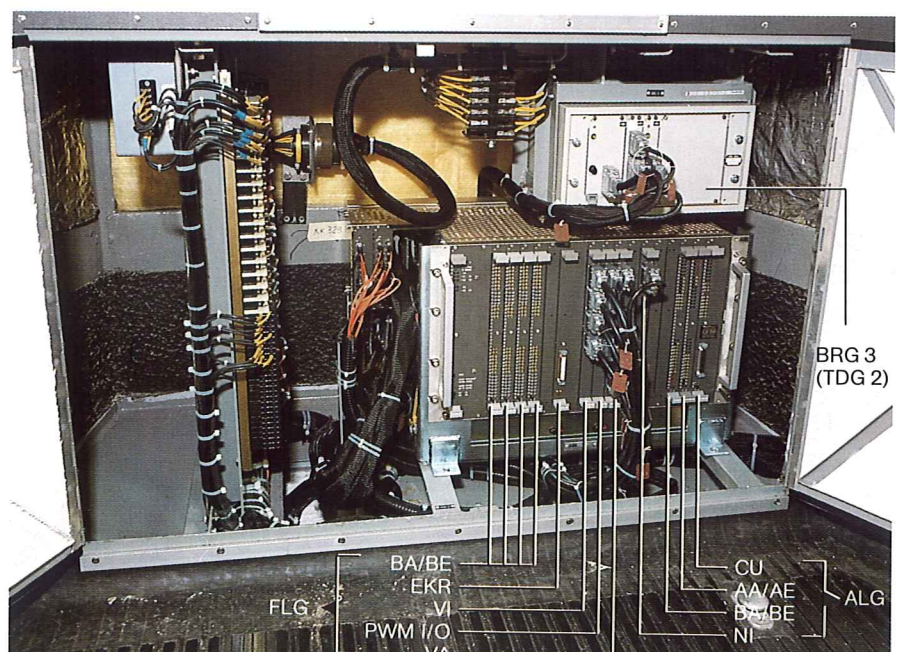


Bild 13b – Anordnung des Baugruppenträgers im Heck des Gelenktriebwagens Be 4/6

240 100 C



240 098 C

Bild 14 – Führerstand

Hilfsbetriebe

Ein statisches, transistorisiertes Batterieladegerät der ABB-Baureihe B 800 (Bild 15a, b) mit integriertem Dreiphasen-Wechselrichter speist ein Drehstrombordnetz mit $3 \times 230 \text{ V} / 50 \text{ Hz} / 7 \text{ kVA}$ sowie einen Gleichstromausgang mit $42 \text{ V} / 140 \text{ A}$ für Batterieladung. Damit können wie schon bei den beiden Bauserien «Tram 2000-I/-II» anspruchslöse Drehstrom-Asynchronmotoren für alle Hilfsbetriebe verwendet werden.

Da auf dem Fahrzeug keine Druckluftanlage vorhanden ist («All-Electric-Fahrzeuge»), sind alle Geräte, wie Scheibenwischer, Türen, Sandstreuer usw. mit elektrischem Antrieb ausgerüstet.

Die Betriebsfunkanlage mit automatischer Standortermittlung, die Lautsprecheranlage, die induktive Weichen- und Verkehrssignal-Steue-

rung sowie die Fernsteuerung von Liniennummer- und Endziel-Anzeige vervollständigen die Fahrzeug-ausrüstung.

Inbetriebsetzung und Betriebsergebnisse

Während der Inbetriebsetzung des ersten Gelenktriebwagens Be 4/6 mit Drehstromantrieb im Frühjahr 1992 fanden intensive Mess- und Einstellungsfahrten zur Erprobung der Vielfachsteuerung mit den Fahrzeugen mit Gleichstromstellerantrieb statt. Die hohe Flexibilität der Funktionsblock-Programmiersprache erlaubte eine feinfühligte Anpassung an das Verhalten der bestehenden Fahrzeuge. Trotz wesentlichen Unterschieden zwischen den drei Fahrzeugserien «Tram 2000» können diese freizügig in Vielfachtraktion verkehren (Bild 4).

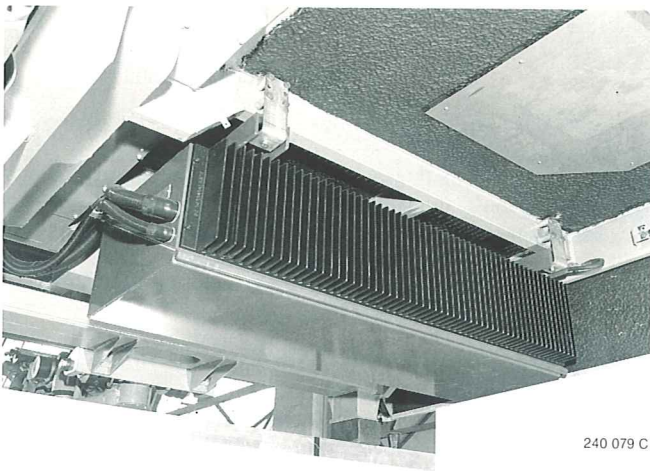
Die gegenüber den Triebwagen der Bauserien «Tram 2000-I/-II» wesentlich höhere Zugkraft bei hohen Geschwindigkeiten kommt vor allem bei der Bildung von Triebwagenzügen Be 4/6:-:Be 2/4³⁾ zum Tragen. Vorzugsweise gelangen deshalb die Einheiten «Tram 2000-III» zuerst auf der VBZ-Linie 9 mit Steilrampen und längeren Abschnitten mit Eigen-trasse zum Einsatz. Weitere Verschiebungen werden einem Grossteil der bald fünfzigjährigen mittelschweren Einrichtungs-Triebwagen des Typs VST III und den entsprechenden Anhängewagen die Verwendbarkeit streitig machen (Bild 16).

Erste Messungen haben ergeben, dass die Netzbremse etwa 20 % der Traktionsenergie wieder ins Netz zurückspeist. Dieser hohe Wert muss angesichts der relativ hohen Leerlaufspannung und der kurzen, nicht durchgekuppelten Speiseabschnitte in der Fahrleitungsanlage der VBZ beurteilt werden. Er kommt durch den Wegfall jeglicher Vorwiderstände und die hohe Dynamik der «Direkten Selbst-Regelung» zustande.

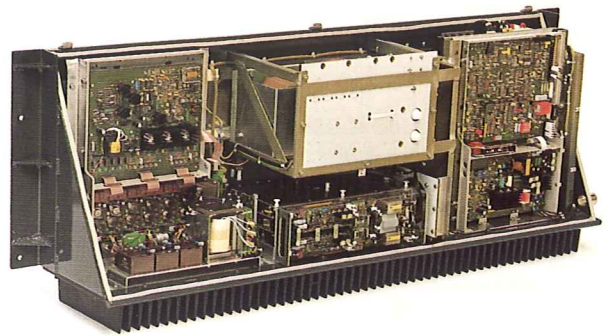
Wie schon bei den Bauserien «Tram 2000-I/-II» folgen der Ablieferung der 23 Gelenktriebwagen Be 4/6 und 15 Motor-Beiwagen Be 2/4 mit Drehstromantrieb für die VBZ noch acht Triebwagen Be 4/4 für die Forchbahn AG Zürich (FB), die in einer Betriebsgemeinschaft mit den VBZ steht [17]. Diese Zweispannungs-Fahrzeuge sind für Betrieb mit 600 und 1200 V Gleichstrom auf der VBZ-Stadtlinie bzw. auf der FB-Vorortsstrecke Zürich-Rehalp-Forch-Egg-Esslingen eingerichtet. Damit wächst die Familie «Tram 2000» bei den VBZ und FB insgesamt auf 189 Einheiten. Klare Vorstellungen über ein gesteigertes Komfortangebot für Schienennahverkehrsmittel – von 980 auf 830 mm über SOK abgesenkte Wagenbodenhöhe mit bequemen Einstiegen, Ganzjahresbelüftung, ruckfreie Fahrweise, Modulbauweise usw. – liessen in den 70iger Jahren mit «Tram 2000» eine Fahrzeug-Konzeption entstehen, die über zwei Jahrzehnte und auch in Zukunft Betreibern und Benützern gute Dienste leistet. Die Flexibilität dieser Lösung zeigte sich nicht nur bei Anwendungen ausserhalb der VBZ [18], sondern bei der laufenden Integration anwendungsreifer Entwicklungsschritte, z.B. des Drehstromantriebes.

³⁾ :-: bedeutet: Vielfachsteuerung zwischen betrieblich trennbaren Fahrzeugeinheiten (im Gegensatz zu «+» für nur werkstattmässig trennbare Einheiten)

Bild 15 – Batterieladegerät Baureihe D 800 mit zusätzlichem Drehstromausgang
 Transistorisiertes Gerät in Flachbauweise mit spritzwasserdichtem Kasten für Unterflureinbau



240 079 C



232 599 C

Bild 15a – Einbaudisposition unter dem Wagenboden

Bild 15b – Aktivteil nach Entfernung der Verschaltung

Bild 16 – Ein halbes Jahrhundert Entwicklung von Schienen-Nahverkehrsmitteln für städtische Agglomerationen

Im Vordergrund ein Triebwagenzug Be 4/6 :-: Be 2/4 «Tram 2000-III», dahinter ein Strassenbahnzug mit Triebwagen Be 4/4 und Beiwagen B der vor rund 50 Jahren geschaffenen Typenreihe «VST III».



240 874 C

Literaturverzeichnis

[1] *Hobmeier N.:*

Die S-Bahn Zürich
Orell Füssli Verlag Zürich und Wiesbaden
1990

Fechtig R., Glättli M.:

Projektierung und Bau der S-Bahn Zürich
Stäubli Verlag AG Zürich 1990

Gerber M., Müller R.:

Die neuen Fahrzeuge für die Zürcher
S-Bahn
Schweizer Eisenbahn-Revue 1989 (5-6)
CH-VT 1525 D

[2] *Trüb W., Balen J., Kamm P.:*

Ein Jahrhundert Zürcher Strassenbahnen
Orell Füssli Verlag Zürich 1982

[3] *Baechler U.:*

Strassenbahn-Gelenktriebwagen
«Tram 2000» der Verkehrsbetriebe Zürich
(VBZ)
Brown Boveri Mitt. 63 1976 (12) 717-723
CH-B 0430 D

[4] *Knapp P.:*

10 Jahre Gleichstromsteller für
Nahverkehrsfahrzeuge
Brown Boveri Mitt. 65 1978 (12) 777-785
CH-B 0600 D

[5] *Haas H.:*

Fahrmotoren für Triebwagen und
Trolleybusse
Brown Boveri Mitt. 65 1978 (12) 786-794
CH-B 0610 D

[6] *Runge W., Skrabo B.:*

Einsatz von GTO-Thyristoren in Fahrzeug-
stromrichtern
CH-VT 1360 D

[7] *Frösch R., Haag W., Seger T., Zwahlen R.,
Ruggli W.:*

Fahrzeugausrüstungen: Mikrorechner in der
modernen Leitelektronik auf Triebfahrzeu-
gen und Reisezugwagen
Brown Boveri Mitt. 71 1984 (12) 534-544
CH-VT 1330 87 D

[8] *Furgler H.:*

Die neuen Triebwagen ABe 4/4 51-53 für
die Bernina-Linie der Rhätischen Bahn
Schweizer Eisenbahn-Revue 1988 (6)
CH-VT 1325 D

[9] *Zimmermann A.:*

Triebwagen-Pendelzüge BDe 4/4 II::Bt der
Chemins de fer fribourgeois Gruyère-
Fribourg-Morat mit Drehstrom-
Asynchronantrieb für 900 V Netzspannung
ABB Verkehrssysteme AG, Zürich 1992
CHVEK 1620 D

[10] *Zimmermann A.:*

Benutzerfreundliche Schienen-
Nahverkehrsmittel in Niederflurbauweise
mit Drehstromantrieb für schweizerische
Regional- und Vorortbahnen
ABB Verkehrssysteme AG, Zürich, 1992
CHVEK 1650 D

[11] *Heinzmann Ch., Zimmermann A.:*

Niederflur-Gelenktriebwagen A(B)e 4/6
der FART/SSIF mit Drehstrom-Asynchron-
antrieb für 1350 V Netzspannung
ABB Verkehrssysteme AG, Zürich, 1992
CHVEK 1630 D

[12] *Stock W.:*

Zürich TRAM 2000
Der Stadtverkehr, Bielefeld 1976 (11/12)
420-423

Vogt H.:

Zürcher Tram 2000 II
Der Stadtverkehr, Bielefeld 1986 (4) 18-20

[13] *Tapavica K.:*

Transistorisierte Stromversorgungsgeräte
für Wagenausrüstungen
Brown Boveri Mitt. 70 1983 (12) 546-554
CH-B 0910 D

Statische Batterieladegeräte und Bordnetz-
speisungen (Prospekt)
ABB Verkehrssysteme AG, Zürich, 1990
CHVEK 0911 D

[14] *Galliker F.:*

Bauformen der BBC-Fahrmotoren für alle
kommenden Zugförderungsaufgaben
Brown Boveri Mitt. 71 1984 (12) 545-557
CH-B 0940 D

[15] *Teich W.:*

Triebfahrzeuge: Drehstrom-Antriebstechnik.
Entwicklung – heutiger Stand – Ausblick.
ZEV – Glasers Annalen 113 1989 (6/7) 241-
255.
Georg Siemens Verlagsbuchhandlung,
D-1000 Berlin
CH-VT 1545 D

[16] *Jänecke M., Kremer R., Steuerwald G.:*

Direkte Selbstregelung, ein neuartiges
Regelverfahren im Ersteininsatz bei diesel-
elektrischen Lokomotiven
eb – Elektrische Bahnen 89 1991 (3) 79-87
DELOK 9103 D

[17] *Frech W.:*

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
CH-B 0580 D

Baechler U.:

Vereinheitlichung der elektrischen Aus-
üstung von Nahverkehrs-Triebfahrzeugen
Brown Boveri Mitt. 68 1981 (1) 12-19

Vogt H.:

Durchgreifende Modernisierung der Forch-
bahn
Der Stadtverkehr, Bielefeld 1976 (11/12)
424-427

[18] *Werder J.:*

Neuer Triebwagen Typ B'B', Reihe Be 4/4,
und Steuerwagen für Neuchâtel und
Umgebung (Schweiz) (TN).
Brown Boveri Mitt. 69 1982 (1/2) 27-31

Waldburger H.:

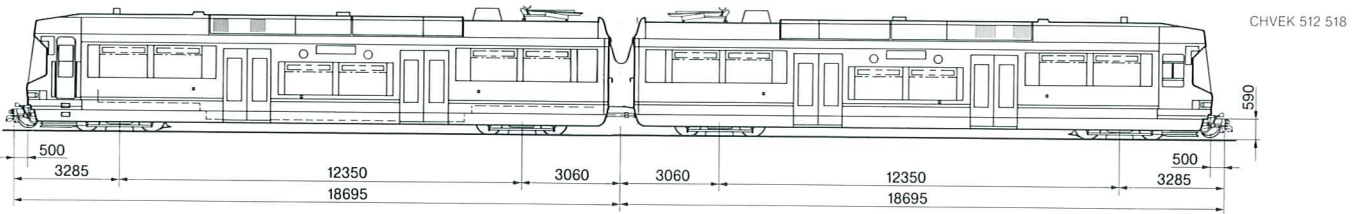
Die Waldenburgerbahn
Schweizer Eisenbahn-Revue 1986 (1)
CH-B 1065 D

Aeschlimann J., Röthlisberger P.:

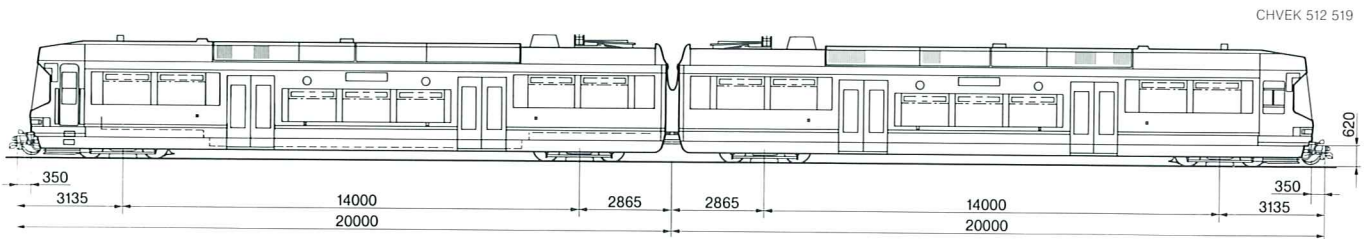
Die RBS-Linie Bern Kirchenfeld-Muri-
Worb Dorf
Schweizer Eisenbahn-Revue 1988 (1) 3-11



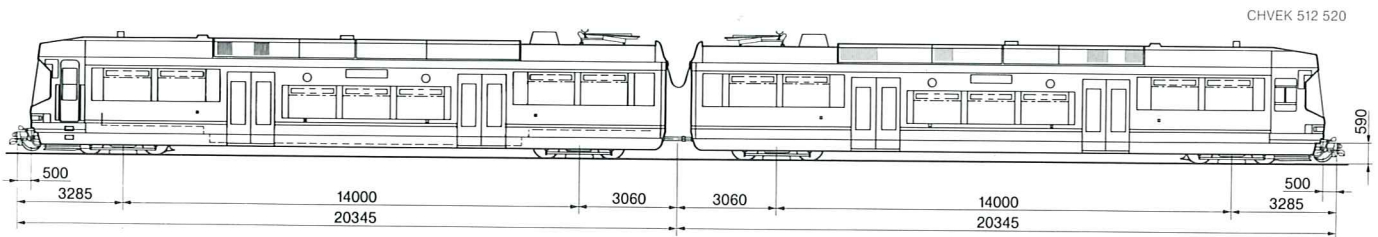
Weitere Nahverkehrs-Triebfahrzeuge mit ABB-Drehstromantrieb für Gleichstrombetrieb mit 750 . . . 1330 V Fahrleitungsspannung



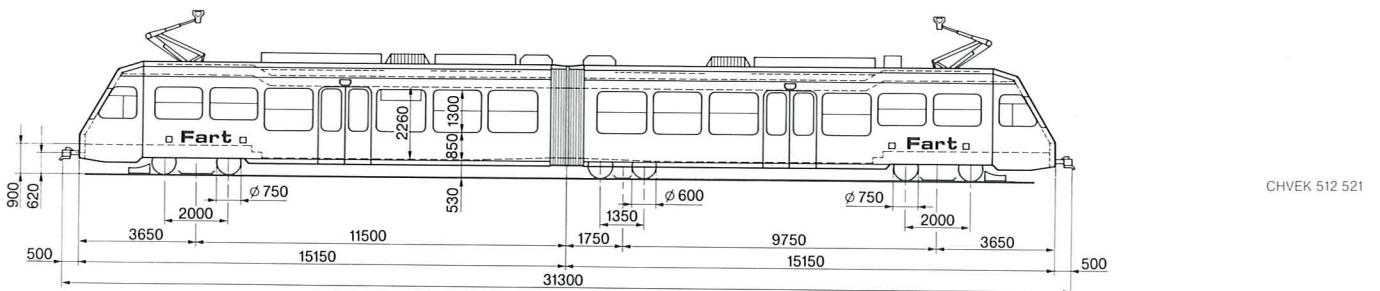
Vorortsbahn-Niederflur-Doppeltriebwagen Be 4/8 Nr. 21-25 der Bremgarten-Dietikon-Bahn (BD)



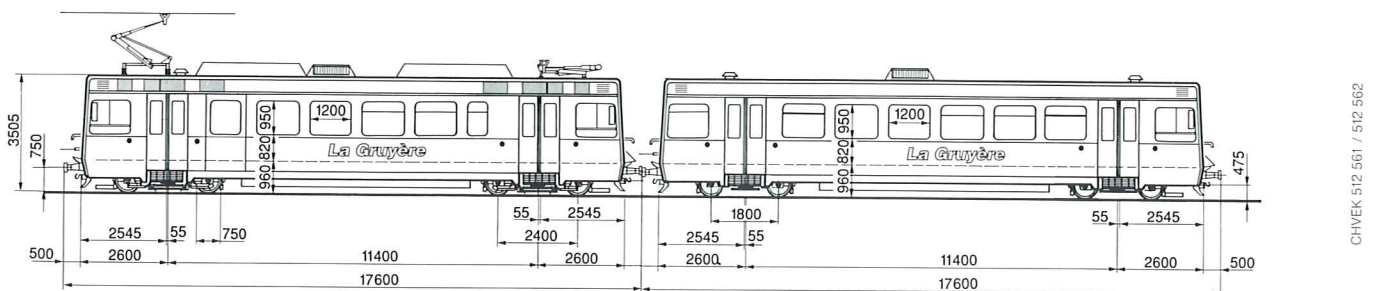
Regionalbahn- und Vorortsbahn-Niederflur-Doppeltriebwagen (A)Be 4/8 Nr. 62-72 des Regionalverkehrs Bern-Solothurn (RBS)



Regionalbahn-Niederflur-Doppeltriebwagen Be 4/8 Nr. 28-34 der Wynental-Suhrental-Bahn (WSB)



Regionalbahn-Niederflur-Gelenktriebwagen ABe 4/6 Nr. 51-56/61-64 der Ferrovie ed Autolinee Regionali Ticinesi (FART) / Società Subalpina di Imprese Ferroviarie (SSIF) und Ae 4/6 Nr. 57, 58 der FART



Regionalbahn-Mehrzweck-Triebwagen BDe 4/4 II Nr. 121, 122 mit Steuerwagen Bt Nr. 221-223 der Chemins de fer fribourgeois Gruyère-Fribourg-Morat (GFM)

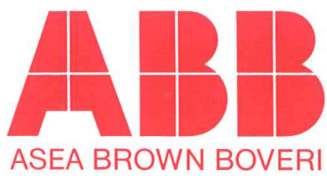


ABB Verkehrssysteme AG
Affolternstrasse 52 / Postfach 8384
CH-8050 Zürich/Schweiz

Telefon +41 (0-)1 318 36 02
Telefax +41 (0-)1 312 65 38