

Elektrische Gelenktriebwagen RABe 526 680 – 689 für 15 kV / 16,7 Hz

Urs Wieser, Dipl.-Ing. ETH
Stadler Fahrzeuge AG

Peter Schoch, Ing. HTL
Fiat-SIG Schienenfahrzeuge AG

Matthias Emmenegger, Ing. HTL
Adtranz Schweiz AG

Einleitung und Hauptdaten

Das Konzept des Gelenktriebwagens GTW 2/6 wurde in dieser Fachzeitschrift bereits in den Ausgaben 5/1996 (dieselelektrischer Prototyp) sowie 3/1998 (elektrische Serienfahrzeuge der BTI/CEV) beschrieben. Es werden in der Folge die wesentlichen Eigenschaften und Unterschiede der elektrischen Normalpurversion behandelt.

Nach dem Entscheid des Schweizerischen Bundesrates, den Betrieb der Seelinie Schaffhausen – Romanshorn von den SBB an die Mittelthurgaubahn (MThB) abzutreten, erhielt die Stadler Fahrzeuge AG im Herbst 1996 von der MThB eine Absichtserklärung zur Beschaffung von zehn Gelenktriebwagen GTW 2/6, welche im Frühjahr 1997 in eine feste Bestellung umgewandelt wurde. Zusammen mit den Partnerfirmen Adtranz Schweiz AG, Zürich, für die elektrische Traktionsausrüstung und Fiat-SIG Schienenfahrzeuge AG, Neuhausen, für die Drehgestelle wurde das bestehende GTW-Konzept für den Einsatz unter der schweizerischen Standard-Fahrleitungsspannung von 15 kV / 16,7 Hz umkonstruiert.

Spezielle Anforderungen wurden dabei durch folgende Randbedingungen gestellt:

- Die Breite des Durchgangs im Mittelteil sollte aus Gründen der Transparenz und des Sicherheitsempfindens mindestens 1000 mm betragen, was hohe Ansprüche an die Konstruktion eines Transformators stellte (schmale und dafür hohe Bauart).
- Universeller Einsatz in der Schweiz und Deutschland, was den Einbau von drei Zugsicherungssystemen bedingt sowie weitere spezielle Normen zur Berücksichtigung auferlegte (Störstromvorschriften in Deutschland!).
- Angebot von erster und zweiter Klasse, Einbau einer Toilette sowie grosszügige Einstiegsverhältnisse für die erwartete Benützung durch Fahrgäste mit Fahrrädern.

Die Zielvorstellung war dabei klar am bestehenden Nahverkehrspendelzug der SBB und MThB formuliert worden:

- Gleiches Platzangebot wie NPZ-Komposition mit Trieb- und Steuerwagen,
- nur 50 % des Gewichtes dieser NPZ-Komposition,
- gleiches Leistungsgewicht wie diese NPZ-Komposition
- und als wichtigstes Kriterium nur 50% des NPZ-Beschaffungspreises.

Diese Bedingungen konnten erfüllt werden. Die Fahrzeugdisposition sowie die wichtigsten technischen Daten sind der beiliegenden Typenskizze und dem Z/V-Diagramm zu entnehmen.

Wagenkasten

Endwagen

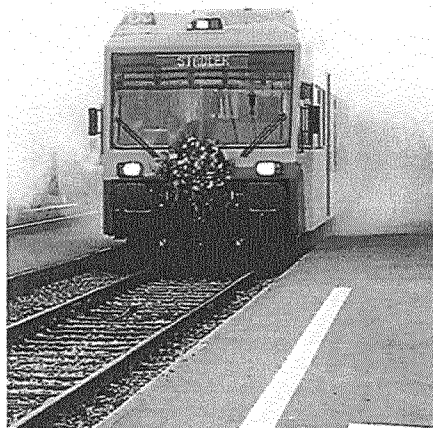
Die Endwagenkästen bestehen wie alle GTW vollständig aus Aluminium und sind in einer kombinierten Schraub-Schweiss-Konstruktion gefertigt. Eine stabile, vollständig geschweisste Untergestellwanne sowie geschraubte Seitenwand- und Dachkonstruktionen erlauben es trotz niedrigem Gewicht, die UIC-Norm-Kastendruckfestigkeit von 1500 kN statisch und alle betrieblichen Lastfälle dynamisch problemlos zu ertragen. Diese Festigkeit wurde nach der FEM-Rechnung am ersten Wagenkasten durch einen Druckversuch in der tschechischen Prüfanstalt VUKV bei Prag nachgewiesen und so auch vom deutschen Eisenbahn-Bundesamt (EBA) anerkannt.

Zur Anwendung kommen Grosstrangpressprofile unter Verwendung des patentierten Alusuisse-Aufbausystems M 5483, die eine günstige Fertigung ermöglichen. Die kombinierte Schweiss-Schraub-Konstruktion hat für die Fertigung in kleinen Seriegrößen den Vorteil eines geringen Vorrichtungsaufwandes und im Instandsetzungsfall ist ein segmentweiser Austausch der Profile leichter möglich. Für das MThB-Fahrzeug wurden drei neue Profile gepresst und so die Struktur weiter optimiert.

Mittelwagen

Der Mittelwagen ist als Stahlkonstruktion ausgeführt. Auch diese Struktur wurde mit finiten Elementen berechnet, um unnötiges

Feierlicher Roll-out des ersten fertiggestellten Triebwagens in Bussnang am 23.10.1998.



Gewicht zu vermeiden und trotzdem die 1500 kN Druckfestigkeit zu garantieren.

Der Bodenrahmen besitzt analog zu den BTI/CEV-Fahrzeugen einen um das Triebdrehgestell herum geführten Hauptrahmen. Damit können die Längskräfte auf der Höhe des Niederflurbodens der Endkästen um das Triebdrehgestell herum geführt werden, was zu einer wesentlich leichteren Lösung als bei der Prototypausführung führt, denn die Gelenkpartie und die Aluminiumrückwand können dadurch wesentlich vereinfacht werden.

Das Kastengerüst ist mit diversen demontierbaren Vertikal- und Horizontalpfosten in den äusseren Seitenwänden ausgeführt, um grosse Komponenten ausbauen zu können und um eine gute Zugänglichkeit zu allen wartungsbedürftigen Teilen der Ausrüstung zu erhalten. Die Pfosten beim Innendurchgang sind fest eingeschweisst und geben dem Gerüst zusammen mit dem Dach die nötige Strukturfestigkeit.

Im Dach ist ein grossflächiger Luftberuhigungsraum für die Transformator- und Stromrichter Kühlung mit beidseitigen Ansaugflächen integriert, auf dem Dach sind die Auflagen und Konsolen für die elektrischen Dachapparate angeordnet.

Geräteanordnung im Mittelwagen

Im Mittelwagen sind zwei Apparateräume vorhanden, die durch einen sehr grosszügigen Durchgang mit einer lichten Weite von 1000 mm voneinander getrennt sind. Dadurch ist der Fahrgastwechsel sehr komfortabel gewährleistet, und die von GTW-Kritikern gelegentlich bemängelte Durchsicht von Endwagen zu Endwagen ganz entscheidend verbessert worden.

Seite 1:

- IGBT-Stromrichter mit Antriebsleitgerät (ALG) und Hauptstromkabelanschlüssen zu den Motoren,
- Kühlturm für Stromrichter-, Bordnetzrichter-(BUR)- und Transformator Kühlung,
- Hilfsbetriebeblock,
- Batteriekasten,
- Bordnetzrichter mit Filter,

Seite 2:

- Transformator mit Glättungsdrossel und Expansionsgefäss,
- Pneumatiktafel und Vorratsluftbehälter,
- Kompressorgruppe mit Lufttrockner,
- Steuerstromblock mit Fahrzeugleitgerät.

Kupplungen

Aufgrund des universellen Einsatzes bei der Mittelthurgaubahn besitzen die RABe 526 680 – 689 die klassische UIC-Zug- und Stössvorrichtung, so dass problemlos Verstärkungswagen (an schönen Schulreiseta- gen im Sommer!) mitgeführt werden können.

Die Wagenkastenstruktur ist zusätzlich für den Einbau einer automatischen Zugkuppung unterhalb der Puffer ausgelegt. Damit könnte bei einem späteren Einsatz in vermehrter Doppeltraktion und dem Bilden von Flügelzügen der Trenn- und Vereinigungsvorgang vereinfacht werden. Die Druckkräfte würden weiterhin über die Puffer übertragen und die Kuppelbarkeit von klassischen Verstärkungswagen bleibe erhalten!

Bei Mehrfachtraktion werden Hauptleitung und Speiseleitung sowie für die elektrischen Verbindungen eine von Hand zu bedienende 59polige Steckkupplung sowie die 18polige UIC-Steckdose verbunden. Das Vorhandensein der 18poligen UIC-Steckdose erlaubt die Verwendung UIC-kompatibler Anhängewagen! Über die 59polige Vielfachsteuerleitungskupplung werden alle GTW-spezifischen Steuerbefehle übertragen. Ausserdem ist noch eine Steckdose der 1000-V-Zugsammelschiene für die Versorgung von Anhängewagen mit Bordenergie vorhanden.

Laufwerke

Die RABe 526 680 bis 526 689 der MThB, welche seit November 1998 im fahrplanmäßigen Einsatz stehen, wurden – erstmalig für diesen Fahrzeugtyp – mit Drehgestellen von FIAT-SIG ausgerüstet. Obwohl die alte SIG-Waggonfabrik täglich von Fahrzeugen Ihrer Provenienz um- oder unterfahren wird, hofft sie – nun als FIAT-SIG – mit der Lieferung dieser Drehgestelle einen Beitrag zum Neuaufleben der Seelinie Schaffhausen – Romanshorn zu leisten.

Trotz Neukonstruktion wurden bei beiden Drehgestellen viele bestehende Bauelemente übernommen, was den späteren Unterhalt der MThB erleichtert und auch erlaubt, die sehr kurzen Liefertermine (für eine Neukonstruktion!) einzuhalten. Die Achslagerung mit Kartuschen-Lagern, die Achsführung mit bewährtem, bestehendem Achslenker-Prinzip, und die Primärfederung mit Stahlfedern sind solche Bauteile.

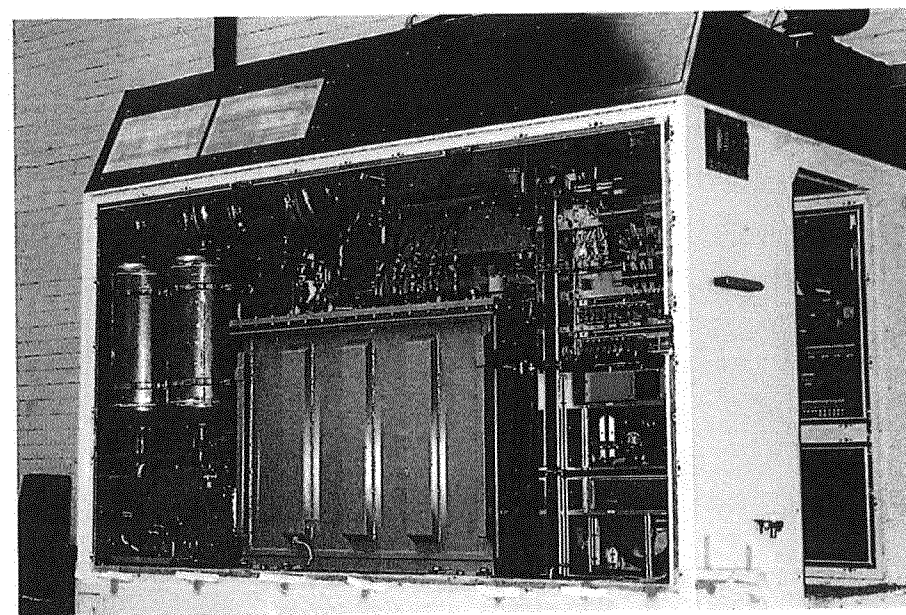
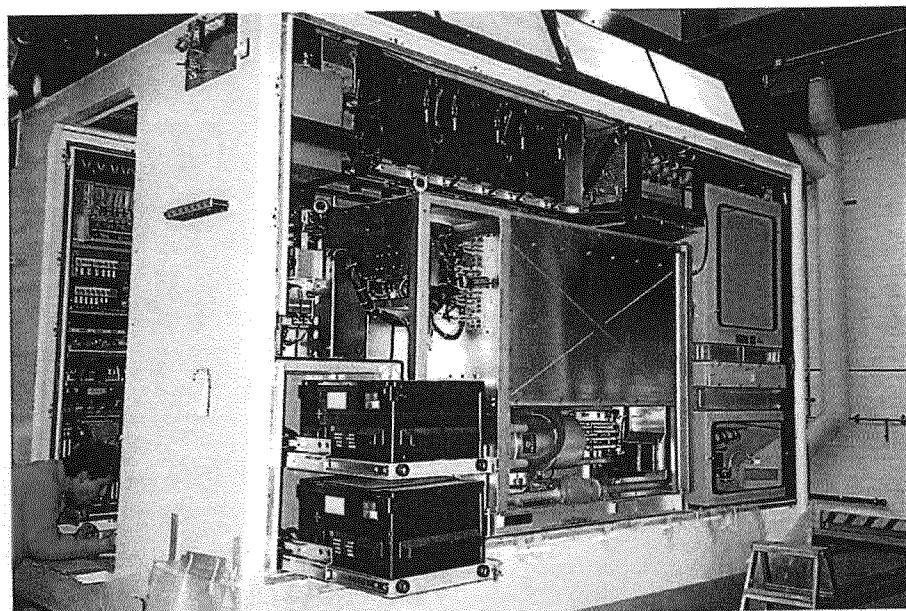
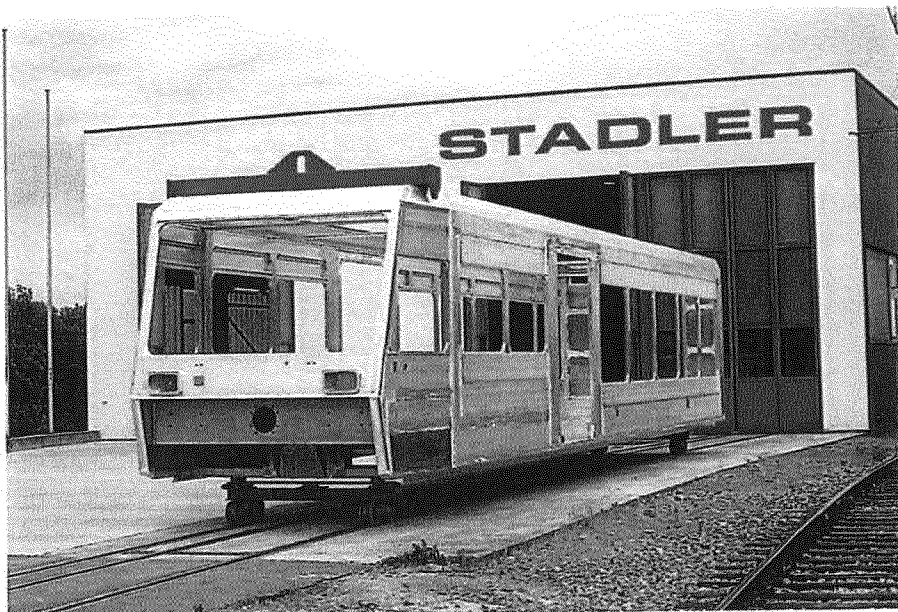
Triebdrehgestell

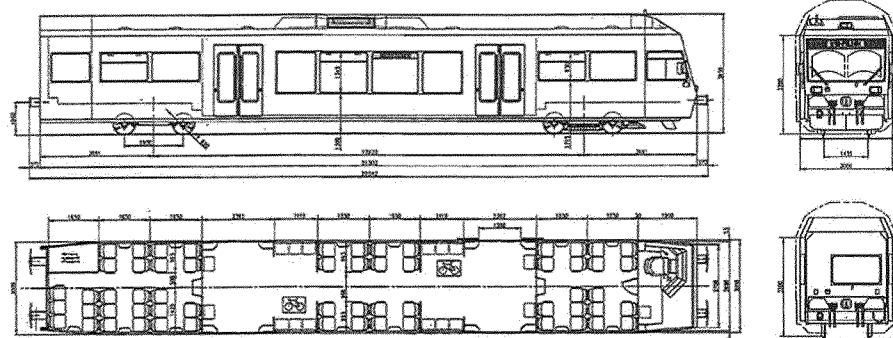
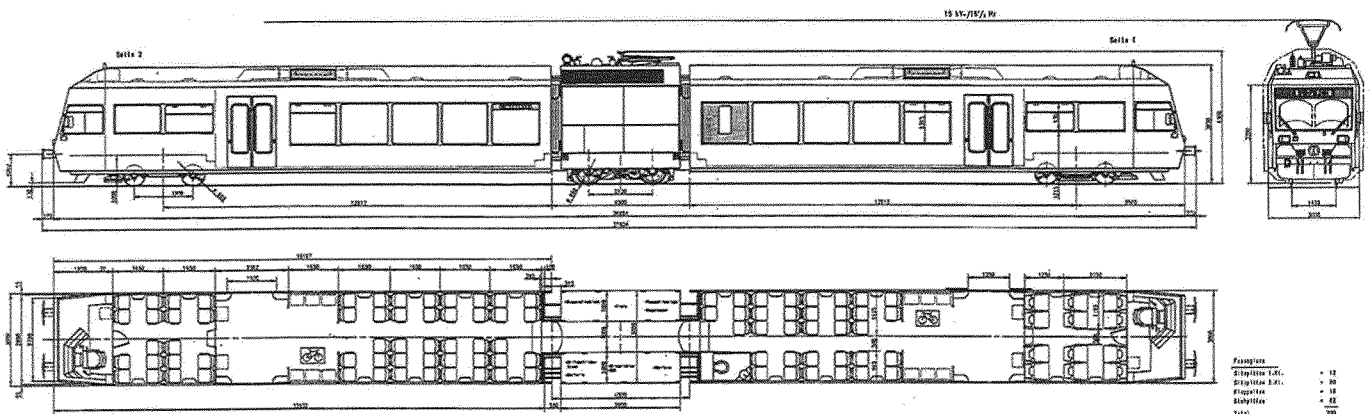
Als Besonderheit der GTW-Fahrzeuge ist bestimmt der mittig angeordnete Antriebsteil zu betrachten, unter welchem mit beschränkter Baulänge ein Motordrehgestell konstruiert werden muss. Dieses Drehgestell ist als Bi-Motor-Drehgestell ausgeführt. Die querliegenden Motoren sind mit den zweistufigen Stirnrad-Getrieben zu einem kompakten Block verschraubt (IGA-Bauweise von Adtranz) und auf dem Drehgestell-Rahmen vollständig abgedeckt gelagert. Hohlwellen-Kardangelenkkupplungen übertragen die Leistung von maximal 2 x 380 kW auf die Triebachsen.

Zur Abstützung des Mittelkastens auf den geschweissten Drehgestell-Rahmen dienen Schichtfeder-Elemente (Sekundärstufe), wobei die Rahmen-Konstruktion infolge der Direkt-Abstützung der Sekundärstufe auf die Achslager relativ leicht ausgeführt werden

Oben: Rohbaukasten eines Endwagens vor dem Herstellerwerk in Bussnang (Foto St. Heer, 4.11.1998).

Mitte und unten: Blick in den geöffneten Traktions-Mittelteil auf der Apparate- und auf der Transformatorseite (Foto Stadler).





Seiten- und Grundrisse des Triebwagens RABe 2/6 und des Steuerwagens Bt (Zeichnung Stadler).

Technische Daten

Triebwagen RABe 2/6

Masse	
Einstiegbreite	1 350 mm
Einstieghöhe	585 mm
Spurweite	1 435 mm
Kurvenradius minimal	8 m
Gewichte	
2 Wagenkasten à 12 700 und 13 450 kg	26 950 kg
Antriebseinheit, mechanischer Teil	5 800 kg
Elektrische Ausrüstung im Kasten	8 000 kg
Triebfahrzeug mit Motoren	9 000 kg
2 Laufdrehgestelle à 3800 und 4250 kg	8 050 kg
Tara	57 000 kg
Zuladung (200 Personen à 75 kg)	15 000 kg
Brutto	72 000 kg
Leistungen	
Anfahrzugkraft	70 kN
Höchstgeschwindigkeit (mit Mg-Bremse)	130 km/h
Maximale Leistung am Rad	760 kW

Steuerwagen Bt

Masse	
Länge über Puffer	22 042 mm
Länge über Wagenkasten	21 302 mm
Kastenbreite	3 000 mm
Höhe über SOK	3 850 mm
Achsstand Laufdrehgestell	2 000 mm
Einstiegbreite	1 350 mm
Einstieghöhe	585 mm
Spurweite	1 435 mm
Kurvenradius minimal	80 000 mm
Gewichte	
Wagenkasten	16 050 kg
Elektrische Ausrüstung	1 000 kg
2 Laufdrehgestelle à 3700 und 4250 kg	7 950 kg
Tara	25 000 kg
Zuladung (160 Personen à 75 kg)	12 000 kg
Brutto	37 000 kg
Passagiere	
Sitzplätze zweiter Klasse	59
Klappsitze	16
Stehplätze	85
Total	160

konnte. Als Folge der kurzen zur Verfügung stehenden Baulänge und der besseren Zugänglichkeit der Bremszangen wurden die gummigefederten Achslenker erstmals aussen gelagert und gegen die Drehgestellmitte hin reichend angeordnet.

Die Primärfederung ist über den Achslenkern mit Stahlfedern ausgeführt und akustisch vom Drehgestellrahmen mittels Gummielementen getrennt. Für die Achslagerung wurden bewährte, bestehende Kartuschen-Lager eingesetzt.

Die Längsmithnahme des Drehgestelles ist drehzapfenlos (praktisch keine Ausdrehbewegung) und erfolgt über ein gummigelagertes Mithnahmegestänge direkt an den Fahrzeugkasten. Vier am Drehgestellrahmen aufgehängte Bremszangen-Einheiten (zwei mit Federspeicher) wirken auf die Radbrems-scheiben der bandagierbaren Monobloc-Räder.

Stirnseitig am Drehgestell befestigte Quer-/Schlingerdämpfer, einseitig am Untergestell befestigt, sorgen für einen stabilen Fahrzeuglauf. Putzklötze und Sandereinrichtung vervollständigen die Drehgestell-Ausrüstung.

Diese Drehgestell-Bauart gestattet saubere Schnittstellen, welche bei Revisions-Arbeiten einen raschen Drehgestellwechsel erlauben.

Technische Hauptdaten:

Achsabstand	2100 mm
Drehgestelllänge total	3480 mm
Zulässige Achslast	18 t
Raddurchmesser neu	860 mm
abgenützt	800 mm
Motorleistung maximal	2 x 380 kW
Maximale Drehgestell- belastung statisch	260 kN
Gewicht total	8900 kg

Laufdrehgestell

Die unter den Endwagen des GTW angeordneten Laufdrehgestelle sind sehr niedrig konstruiert und weisen Raddurchmesser von neu 680 mm auf, um den Wagenboden möglichst tief zu halten.

Die Sekundärfederung ist als Luftfederung ausgeführt mit Zusatzluftbehälter in der Federtraverse sowie integrierter Notfederung. Ein Drehzapfen mit gummigelagerter Lemniskate und Abhebesicherungen bilden die Längsmithnahme sowie die Verbindung zum Untergestell. Wankstabilisator, Querdämpfer und Querpuffer bestimmen einen kleinen Neigungs-Koeffizienten. Zwei am Drehgestell-Rahmen gelagerte Bremszangen-Einheiten (eine mit Federspeicher) wirken auf je eine Bremscheibe pro Achse. Als Zusatzbremse ist ein Laufdrehgestell mit Magnetschienenbremse in UIC-Hochaufhängung ausgeführt.

Die Achsenden weisen die üblichen Apparate wie Erdung und Gleitschutz auf. Zugsicherung Integra und Indusi-Apparate erlauben den Einsatz auch auf Strecken der DB AG. Zusätzlich sind die Drehgestelle mit Schienenbürsten und Spurkranzschmierung ausgerüstet. Auch bei den Laufdrehgestellen ist durch eine klare Abgrenzung ein einfaches Untersetzen gewährleistet.

Technische Hauptdaten:

Achsabstand	1900 mm
Drehgestelllänge total ohne Zugsicherung	2600 mm
Zulässige Achslast	9 t
Raddurchmesser neu	680 mm
abgenützt	620 mm
Maximale Drehgestell- belastung statisch	150 kN
Gewicht je nach Ausführung von 3600 kg bis 4270 kg mit Magnetschienenbremse.	

Pneumatische Anlage

Die in enger Zusammenarbeit mit der MTHB entwickelte Druckluftanlage ist hauptsächlich im Mittelwagen untergebracht. Die Steuerapparate, Absperrhähne und Ventile sind zum grössten Teil auf einer zentralen Apparatetafel zusammengefasst, in den beiden Führerständen befinden sich nur noch die Führerbremssventile Oerlikon FV3 und die Bedientventile der dort eingebauten Hilfsbetriebsapparate.

Druckluftaufbereitung

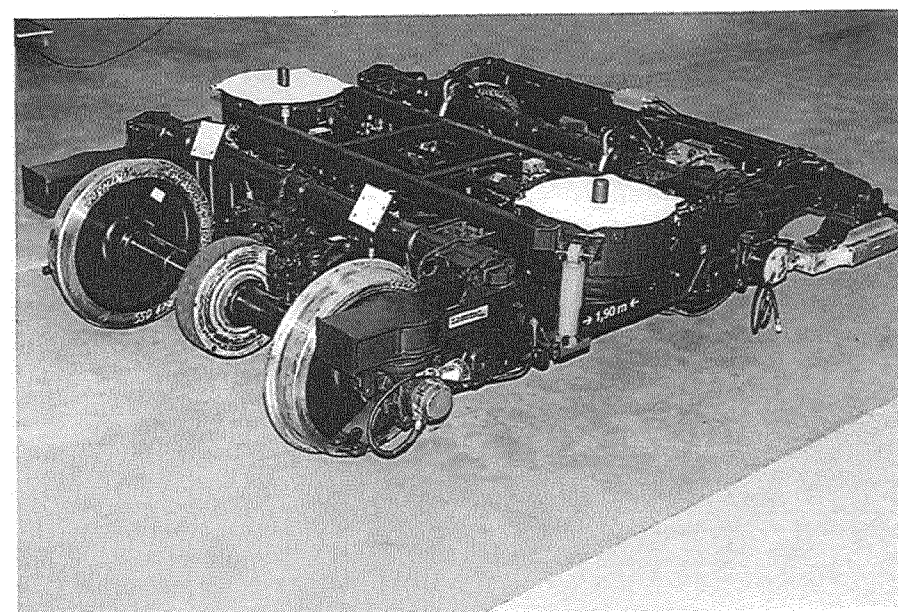
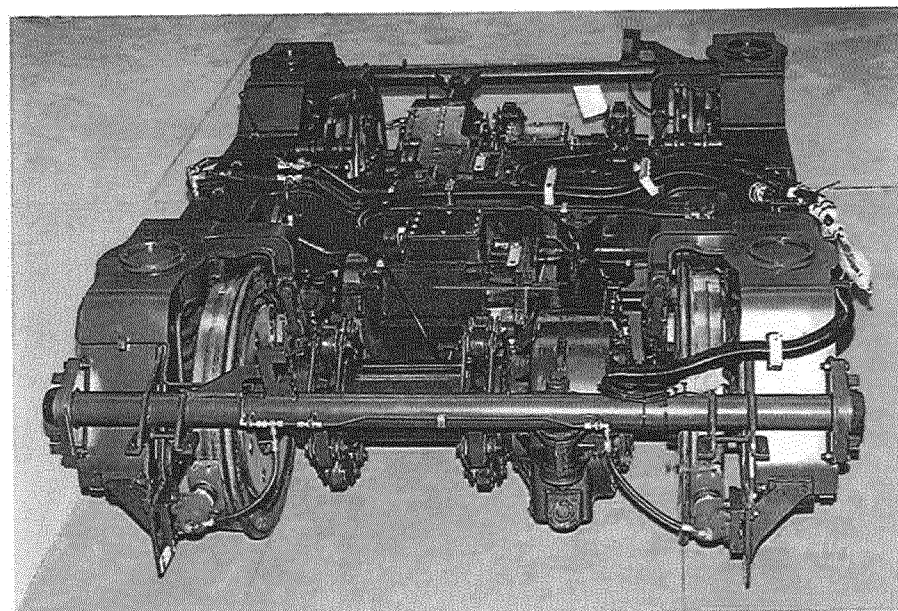
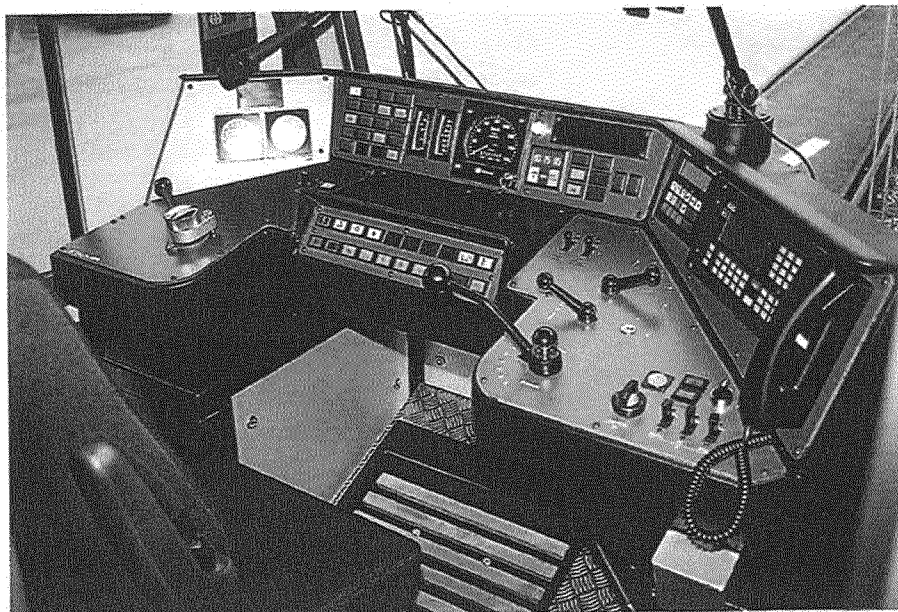
Wegen des sehr knappen Einbauraumes wurde ein sehr kompakt ausgeführter Mahle-MSK-07/10-Schraubenverdichter mit einer Fördermenge von 900 l/min eingebaut, der ab dem 400-V-Drehstrombordnetz angetrieben wird. Seine Ein- und Ausschaltung erfolgt in Abhängigkeit vom Speiseleitungsdruck mit einem Druckschalter (8,0 – 10 bar). Der Kompressor saugt die Luft aus dem Gelenkzwischenraum an.

Bremssystem

Das Fahrzeug verfügt als Betriebsbremse grundsätzlich über eine verschleissfreie elektrodynamische Bremse. Damit sind Verzögerungen bis $1,0 \text{ m/s}^2$ auch im voll beladenen Zustand erreichbar (vergleiche Z/V-Diagramm). Zur optimalen Reibwertausnutzung wird das Luftfeder-Lastsignal auch der Fahrzeugelektronik zur Verfügung gestellt, und die elektrische Bremse kann lastabhängig geregelt werden. Die entstehende Bremsenergie wird rekuperiert, da das Wechselstromnetz der Normalspurbahnen immer aufnahmefähig ist.

Als mechanische Bremse ist eine klassische, indirekt wirkende Bremse mit UIC-Steuventil eingebaut. Die wichtigsten Eigenschaften der pneumatischen Bremsanlage:

- Der Steuerdruck der Luftfedern im Laufdrehgestell wird für die lastabhängige Bremse genutzt.
- Die Triebachsen werden bei Vorhandensein der elektrischen Bremse automatisch ausgelöst (ep-Regler als Überbremschutz).
- Eine im Fahrzeugleitgerät integrierte, elektronische Gleitschutteinrichtung wirkt auf die Triebachsen achselektiv und auf die Laufachsen drehgestellselektiv.
- Im Führerstand ist ein Nothahn für die von EBA und vom schweizerischen Bundesamt für Verkehr (BAV) geforderte direkte Betätigung eingebaut, welcher direkt die Hauptleitung entlüftet und den Gleitschutz ausschaltet.
- Auslegung auf 135 Bremsundertstel.
- In einem Laufdrehgestell ist eine UIC-Magnetschienenbremse eingebaut, die bei einem Hauptleitungsdruck von weniger als 3 bar über einen Druckschalter betätigt wird.



Oben: Blick in den Führerraum (Foto Stadler)

Mitte: Das Triebdrehgestell (Foto Stadler)

Unten: Das Laufdrehgestell (Foto Stadler)

– Auf jeder Einstiegsplattform ist ein Notbremszugkasten mit Notbremsüberbrückungsmöglichkeit für den Lokomotivführer eingebaut.

Hilfsbetriebe

Als Tongeber sind an jedem Fahrzeugende zwei UIC-Makrofone angeordnet. Sie werden vom Führerpult angesteuert.

Es sind in jedem Führerraum aus dem Busbau stammende, normalisierte Scheibenwisch- und -waschanlagen (inklusive Intervallschaltung) eingebaut, die bei allen Betriebszuständen zuverlässig funktionieren. Die Scheibenwischer sind elektrisch angetrieben. Der Wasservorrat je Waschbehälter beträgt zirka 3 l; die Wasserpumpe wird ebenfalls elektrisch betrieben.

In jedem Führerraum sind elektropneumatisch angetriebene Rückspiegel eingebaut, welche mit einem handelsüblichen, geheizten LKW-Spiegel versehen sind.

Für die Spurkranzschmierung besitzt jedes Laufdrehgestell eine Anlage, die je nach Fahrtrichtung die erste Laufachse schmiert. Die eingebaute Rebs-Schmieranlage erlaubt auch das Versprühen von Feststoffschmiermitteln.

Innenausstattung

Führerräume

Die Führerräume sind so weit wie möglich den bereits bei der MThB im Einsatz stehenden NPZ für Einmannbedienung angepasst. Die bereits erwähnten Aussenspiegel an den Seitenfenstern ermöglichen dem Triebfahrzeugführer die Beobachtung des Zuges an Haltestellen. Auf dem Führerpult sind alle Instrumente und Bedienelemente angeordnet, die der Triebfahrzeugführer zum sicheren Bedienen des Triebwagens benötigt.

Der Arbeitsplatz des Fahrzeugführers wird so gestaltet, dass dieser zusätzliche Aufgaben wie Betreuung der Reisenden übernehmen könnte. Eine grossflächig verglaste Führerraumrückwand ermöglicht den leichten Kontakt zwischen Fahrgästen und Triebfahrzeugführer.

Einstiege

Eine Einstieghöhe von 585 mm ab Schienenoberkante (SOK) bis zum Niederflurfussboden (bei Normperronhöhen von 550 mm oder teilweise 350 mm) gewährleistet ein bequemes Ein- und Aussteigen auch für Behinderte. Auf jeder Wagenseite sind zwei doppelte Schwenkschiebetüren mit einer lichten Öffnung von 1350 mm angeordnet. Die Türbetätigung für den Öffnungs- und Schliessvorgang erfolgt elektropneumatisch ab einer handelsüblichen Industrie-SPS-Steuerung.

Die Befehle werden vom Führerstand aus für jede Wagenseite elektrisch getrennt erteilt. Wegen einer besonderen Totpunktverriegelung sind die Türen immer mechanisch blockiert, bis sie elektropneumatisch entriegelt werden. Bei Ausfall der elektropneumatischen Betätigung ist eine Notbetätigung von Hand möglich (Entriegelung via Bowdenzug).

Die üblichen Sicherheitselemente wie Einklemmschutz oder Fahrgastflusserfassung durch Infrarotdusche sind selbstverständlich eingebaut.

Fahrgasträume

Die zwei GTW-Endwagen sind nach einem einheitlichen Design-Konzept gestaltet. Dieses Design-Konzept wurde durch Lantal Textiles, MThB und Stadler gemeinsam erarbeitet. Im ganzen Fahrzeug sind keinerlei Abteiltrenntüren eingebaut! Vom Führerraum aus ist ein Blick durch den gesamten Gelenktriebwagen möglich.

Der sehr grosszügige Mehrzweckraum auf jeder Plattform ist ohne störende Absätze vom Einstieg aus erreichbar. Damit können auch Behinderte in Rollstühlen ohne grössere Schwierigkeiten transportiert werden. An den Seitenwänden werden Klappsitze angeordnet. Wegen der erwarteten Frequenzen von Fahrgästen mit Fahrrädern im Sommer ist der Verzicht auf 20 feste Sitzplätze zugunsten dieser grossen Mehrzweckräume zu vertreten.

Boden-, Wand- und Deckenverkleidungen

Der Bodenaufbau besteht aus einem schwimmenden Fussboden mit aufgeklebtem Altro-Sicherheits-Fussbodenbelag. An den Seiten ist der Belag ringsum wannenartig mit einem Hohlkehlenprofil hochgezogen, damit das Eindringen von Wasser (im Betrieb und bei der Reinigung) in den Fussboden verhindert wird.

Die Seitenwandverkleidungen bestehen aus leicht zu reinigenden, grossflächigen und dekorativen Schichtpressstoffplatten, die eine grosse Widerstandsfähigkeit gegen Beschädigungen haben.

Die aus abgekanteten Alucobond-Platten bestehende Decke ist im mittleren Bereich gelocht für die Frischluftzufuhr der Lüftungsanlage. Die Beleuchtungskörper sind in diesen mittleren Teil integriert und als blendfreies Mittenleuchtenband ausgeführt. Die Lautsprecher der Fahrgastinformationsanlage sind in den Blindelementen zwischen den Beleuchtungskörpern untergebracht.

Fenster

Es sind grossflächige, doppelverglaste Fenster teilweise mit zusätzlichem Klappoberteil eingebaut. Die äussere Scheibe ist gegen zu starke Sonneneinstrahlung leicht getönt, und eine spezielle Wärmeschutzbeschichtung erniedrigt den k-Wert auf weniger als 2 W/m²K.

Die Führerstände besitzen seitliche Schiebefenster mit zusätzlichem Klappoberteil. Die durchgehende Frontscheibe ist aus Verbund Sicherheitsglas. Der feste Teil der Schiebefenster sowie die Frontscheibe sind elektrisch heizbar.

Sitze

Die komfortablen Compin-Nahverkehrssitze in Cantilever-Ausführung haben gegen den Gang hin keine Abstützfüsse, was eine gute Reinigung stark erleichtert. In der ersten Klasse sind links und rechts des Mittelganges je zwei luxuriöse, echtledergelappte Einzelsitze angeordnet. In der zweiten Klasse ermöglicht eine 2+3-Anordnung ein optimales Platzangebot.

Inneneinrichtung

Unterhalb der Fenster der Abteile sind feste Tische und darunter EW-IV-Abfallbehälter

angebracht. Über den Sitzen befinden sich im Hochflurbereich Längs-Gepäckträger und im Niederflurbereich an den Rückwänden Seite Mittelteil quer angeordnete Gepäckträger.

Toilette

Erstmals wurde in einem GTW eine Toilette eingebaut. An die Stelle eines Viererabteils tritt beim Übergang zum Mittelteil eine sehr kompakte Toilettenzelle, die durch eine Schiebetür zugänglich ist. Die Semco-Vakuum-Toilette kann auf beiden Seiten an der Rückwand im Gelenkbereich befüllt oder entleert werden.

Fahrgastinformationsanlage

Die neuen MThB-Triebwagen sind mit einer umfangreichen Informationsanlage RAIL-VOX von Fabel ausgerüstet. Mit den Bedienzentren in den Führerständen und einer zentralen Verarbeitung- und Leistungseinheit werden die folgenden Funktionen erfüllt:

- Ansteuerung von Front- und Seitenanzeigen. Alle vier Anzeigen des Fahrzeugs zeigen dieselbe Anzeige; in Vielfachsteuerung besteht die Möglichkeit, dass die geführten Wagen je eine andere, freizügig wählbare Anzeige aufweisen. Damit kann allen betrieblichen Situationen mit einer korrekten Information des Ziels Rechnung getragen werden.

- Ansteuerung von zwei Doppelanzeigen in den Abteilen. Im Normalfall Anzeige der nächsten Haltestelle im Wechsel mit „Halt auf Verlangen“ sowie Möglichkeit der Anzeige weiterer Texte; umfangreiche Texte werden in „scrollender“ Form angezeigt. Zusätzlich wird an diesen Anzeigen ein Haltewunsch optisch angezeigt.

Die akustische Anlage weist folgende Merkmale auf:

- digitale Haltestellenansage mit automatischer, wegababhängiger Auslösung,
- digitale Ansage weiterer, gespeicherter Texte,
- direkte Durchsage ab Mikrofon,
- Interphonanlage von Führerstand zu Führerstand.

Ausrüstung mit „Informationssprechstellen“: jede Plattform verfügt über eine Sprechstelle. Damit hat der Passagier die Möglichkeit, mit dem Triebwagenführer Kontakt aufzunehmen und zum Beispiel einen Anschlusswunsch oder ähnliches mitzuteilen. Bei Not-situationen kann er über eine „Notruftaste“ unmittelbar mit dem Wagenführer Verbindung aufnehmen. Damit wird ein wichtiger Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit der Passagiere in unbegleiteten Zügen geleistet.

Heizung, Lüftung und Kühlung

Führerstand

Als Arbeitsplatz sind bei einem Nahverkehrsfahrzeug an den Fahrerplatz erhöhte Anforderungen zu stellen. Aus diesem Grund wurden die Fahrerabteile voll klimatisiert. Die Klimaanlage wurde von Hagenuk-Faiveley in Schkeuditz als einbaubereite, kompakte Anlage geliefert. Lediglich die Bedienelemente und der Raumfühler mussten separat eingebaut werden. Die Klimaanlage verfügt über eine Kälteleistung von mehr als 5 kW mit einer maximalen Frischluftmenge von 150 m³/h. Die Temperatur wie auch die Luft-

Oben: Blick in den Fahrgastraum des RABe 2/6; im Vordergrund zweite, im Hintergrund erste Klasse (Foto St. Heer).

Mitte: Erstklassabteil mit lederbezogenen Sitzpolstern (Foto St. Heer).

menge kann vom Wagenführer eingestellt werden.

Im Heizbetrieb wird der grösste Teil der Wärme durch am Boden angeordnete Konvektionsheizkörper erzeugt.

Passagierabteil

Für die Passagierabteile wurde unter Berücksichtigung von Randbedingungen, wie Energie, Kosten, Nutzen, eine optimale Lösung mit einer leistungsfähigen Heizungs-/Lüftungsanlage von Hagenuk-Faiveley gefunden.

Die mikroprozessorgeregelte Anlage umfasst pro Endwagen ein auf dem Dach montiertes Luftbehandlungsgerät. Dieses Gerät arbeitet im Normalfall als Frischluftgerät, kann aber bei niedrigen Aussentemperaturen in den Mischluftbetrieb gesteuert werden. Im Vorheizbetrieb arbeitet die Anlage im reinen Umluftbetrieb. Das Luftbehandlungsgerät enthält die Ventilatorgruppen zur Versorgung der beiden Abteile, die Umluftklappe sowie zwei Heizregister. Es ist damit in der Lage, pro Endwagen lufttechnisch zwei Abteile zu versorgen.

Der Einstiegsbereich wird zusätzlich mit einem Luftvorhang versorgt, der warme Luft aus dem Deckenkanal abzweigt.

Ergänzt wird die Anlage durch eine Konvektionsheizung mit speziellen Heizkörpern mit geringer Oberflächentemperatur, womit schlechten Gerüchen durch verbrannten Staub vorgebeugt wird.

Elektrische Traktionsausrüstung

Antriebsausrüstung

Die elektrische Energie wird über einen Einholmstromabnehmer zugeführt. Ein Vakuum-Hauptschalter vom Typ BVAC dient zum Abtrennen des Fahrzeuges von der Fahrleitung. Er bildet einen Bestandteil des Fahrzeugschutzkonzeptes.

Transformator

Der im Mittelwagen montierte Transformator besitzt eine Primärwicklung, zwei Traktionswicklungen, eine Filterwicklung, eine Hilfsbetriebswicklung und eine Zugsammelschienenwicklung. Die zwei Netzkreise speisen den Traktionsumrichter. Die Primärstromüberwachung erfolgt mittels einem Spannungswandler durch das Fahrzeugleitgerät. Die Sekundärströme werden im Stromrichter gemessen.

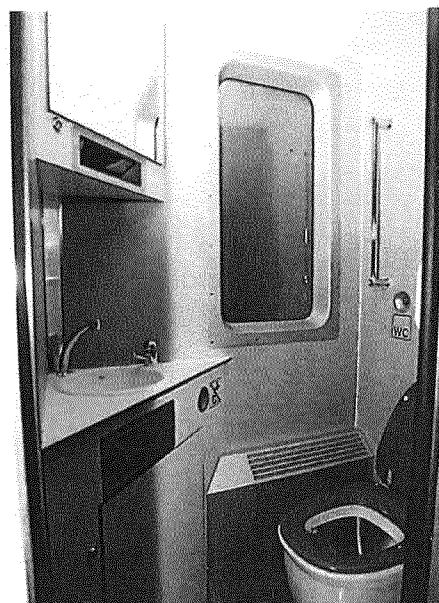
Die Filterwicklung dient der Aufgabe, den psophometrisch bewerteten Störstrom unter dem geforderten Grenzwert von 1 A zu halten. An der Hilfsbetriebswicklung ist ein wassergekühlter Bordnetzumrichter (BUR) zur Speisung der dreiphasigen Verbraucher sowie der Batterieaufladung angeschlossen. Über die Zugsammelschiene kann ein allfälliger Anhänger- oder Steuerwagen geheizt werden.



Um ein kostengünstiges Fahrzeug zu erhalten, wurde auf Redundanz bei der Traktionsausrüstung verzichtet. Bei Einsatz des Fahrzeuges in Mehrfachtraktion ist eine Weiterfahrt möglich. Wenn der führende Gelenktriebwagen ausfällt, so ist eine Weiterfahrt im Steuerwagenbetrieb möglich.

Umrichter

Der Umrichter stammt aus der neuen IGBT-Umrichter-Produktfamilie MPC (Modular Power Converter). Der MPC ist das Resultat einer konsequent anforderungsgerechten Stromrichterentwicklung, deren Ergebnis wesentlich zur Optimierung des Gesamtfahrzeuges beiträgt. Optimierung aus Sicht des Betreibers bedeutet minimale Betriebs- und Investitionskosten bei gleichzeitiger Erfüllung der funktionalen Anforderungen des Fahrzeuges. Diese MPC-Umrichtertechnik wurde in der Lokomotive 12 X unter extremen Bedingungen intensiv getestet. Die



Rechts: Die Toilettenkabine (Foto Stadler).

IGBT-Technik und insbesondere die Merkmale des MPC bieten dem Anwender zahlreiche Vorteile:

- Modularer Aufbau des Stromrichters, welcher die volle Zugänglichkeit und einfaches Austauschen der Phasenmodule erlaubt.
- Sehr effiziente, umweltfreundliche Wasserkühlung.
- Einfaches Reparatur- und Wartungskonzept.

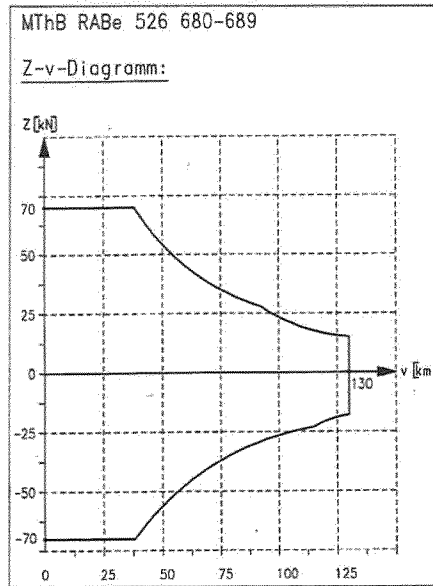
Es wird ein 7-Phasen-IGBT-Stromrichter eingesetzt. Dabei werden vier Phasen für den Vierquadranten-Netzstromrichter und drei Phasen für den Antriebsstromrichter benötigt. Die Zwischenkreisspannung beträgt je nach verlangter Leistung zwischen 1700 und 2100 Volt Gleichspannung.

Ein Momentanüberspannungsbegrenzer (MUB) schützt den Umrichter vor Überspannungen und greift bei transienten Vorgängen in die Regelung der Zwischenkreisspannung ein. Der MUB-Widerstand ist auf dem Dach montiert. Das Antriebsleitgerät ist im Stromrichtergehäuse untergebracht. Die Kommunikation zum Fahrzeugleitgerät erfolgt über den Fahrzeugbus MVB (Multifunction Vehicle Bus).

Der Triebwagen kann mit einer elektrischen Rekuperationsbremse die Bremsenergie in die Fahrleitung zurückspeisen. Der Kondensator des Saugkreises befindet sich im Stromrichtergehäuse, während die Saugkreisdrossel im Transformatorkessel untergebracht ist. Der Antriebswechselrichter versorgt die beiden parallel geschalteten Fahrmotoren. Die Fahrmotoren sind sechspolige, mantelgekühlte Asynchronmotoren und verfügen über einen Drehzahlgeber zur Regelung des Antriebes und des Gleit- und Schleuderschutzes.

Kühlung

Zur Rückkühlung des Transformatorenöls und des Wassers des Stromrichters dient Luft. Diese wird auf dem Dach angesaugt. Wenn die Luft beruhigt und gefiltert ist, gelangt sie in den Kühlturm. Dort durchströmt sie den Stromrichterwärmetauscher, den Transfor-



Zugkraft/Geschwindigkeits-Diagramm (Zeichnung Stadler).

mator-Wärmetauscher und die Bordnetzumrichter-Drossel. Danach entströmt die Luft unten aus dem Fahrzeug. Am Eingang abgezweigte Nebenluftströme versorgen den Stromrichter, den Hilfsbetriebeumrichter sowie das Hilfsbetriebeumrichterfilter mit Frischluft.

Hilfsbetriebeausrüstung

Die Vorgabe, dass nur „das Nötige, nicht aber das Mögliche“ eingebaut werden soll, führte auch bei der Bedienung zur Frage des für den Betrieb nötigen Ausrüstungsstandards. In Gesprächen mit der Bahn wurden die Bedürfnisse und Forderungen ermittelt und in einem Auswahlverfahren bestimmt.

Zur Versorgung der Hilfsbetriebe ist ein Bordnetzumrichter (BUR) vorhanden. Der BUR liefert mittels einem IGBT-Wechselrichter eine stabilisierte Dreiphasenspannung

Rechts: RABe 2/6 im Einsatz auf der Bodenseelinie zwischen Mammern und Steckborn (Foto R. Behrbohm, 6.11.1998).

von 3 x 400 Volt mit fester Frequenz von 50 Hertz sowie eine gleichgerichtete Spannung von 42 Volt zur Ladung der Batterie. Ein Sinus-Ausgangfilter ermöglicht den Einsatz von Standard-Drehstromasynchronmotoren. Der eingesetzte Bordnetzumrichter ist vom gleichen Typ wie jener der IC-2000-Wagen.

Leittechnik

Die Hauptelemente der Leittechnik sind das Fahrzeugleitgerät (FLG) und das Antriebsleitgerät (ALG). Die gesamte Leitelektronik der Gelenktriebwagen wurde aus Komponenten der Adtranz-Baureihe Mitrac ausgeführt. Die Struktur ist sehr einfach gehalten. Der Fahrzeugbus ist in Lichtwellenleitertechnik ausgeführt.

Fahrzeugleitgerät

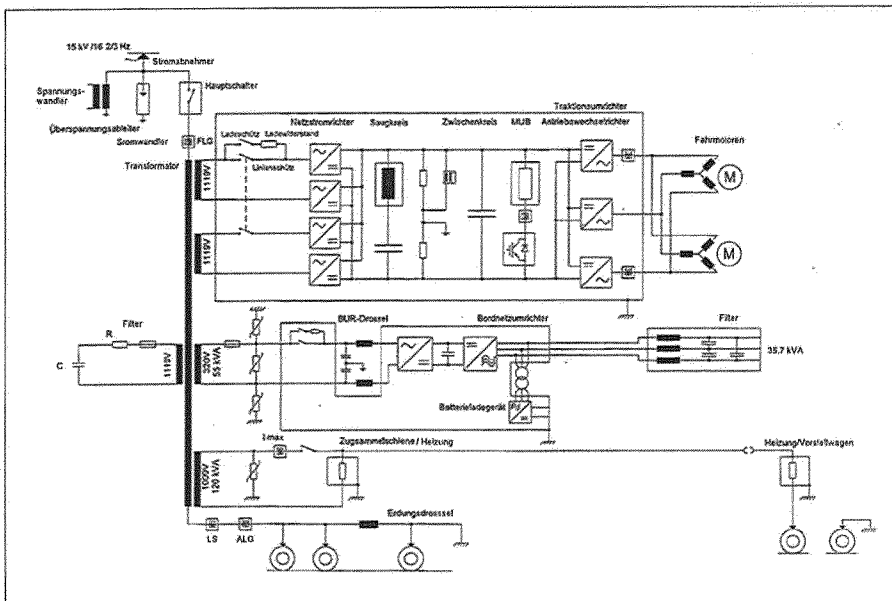
Das Fahrzeugleitgerät (FLG) übernimmt die folgenden klassischen Steuerfunktionen:

- Zug- und Bremskraftvorgabe,
- Überbremschutz,
- Grenzwertwächter,
- Aufrüsten des Triebwagens,
- Adhäsionsregelung mit Schleuder- und Gleitschutz, inbegriffen Ansteuerung des Gleitschutzes für die mechanische Bremse,
- Vorgaben für die Hilfsbetriebsteuerung,
- Aufbereitung der Sollwerte für den Antriebswechselrichter,
- Vielfachsteuerung mit gleichen Fahrzeugen oder Fernsteuerung ab Steuerwagen.

Als Steuerkontroller ist eine klassische Befehlsgebersteuerung montiert. In den Stellungen + und ++ läuft der Zugkraftsollwert stufenlos mit der entsprechenden Rampe bis zum geschwindigkeitsabhängigen Maximalwert oder bis der Führer die Zugkraft konstant halten will. Beim Bremsen funktioniert die Vorgabe der Bremskraft in analoger Weise.

Für den Übergang vom Fahr- auf den Bremsbetrieb muss keine Schaltungsumgruppierung vorgenommen werden. Die Statorfrequenz der Motoren wird so verlangsamt, dass Schlupfumkehr und damit eine Umkehr der Energieflussrichtung resultiert und die Maschine in den generatorischen Betrieb übergeht. Dieser Übergang geschieht rucklos. Die Energie fließt von den Motoren her zurück durch den Wechselrichter. Der Strom im Zwischenkreis wird umgepolt und fließt nun in der Gegenrichtung.

Die Bremsenergie wird vom Zwischenkreis über den Netzstromrichter direkt ins Netz zurückspeist. Das Steuerverfahren ist so ausgelegt, dass das Fahrzeug grundsätzlich elektrisch bremst. Bei höheren Bremskraftanforderungen, oder im Falle eines Gleitens, können die beiden Laufdrehgestelle mechanisch mitgebremst werden. Dies garantiert eine optimale Ausnützung der Adhäsion. Die Aufteilung wird vom Fahrzeugleitgerät vorgenommen.



Hauptstromkreise (Zeichnung Adtranz).

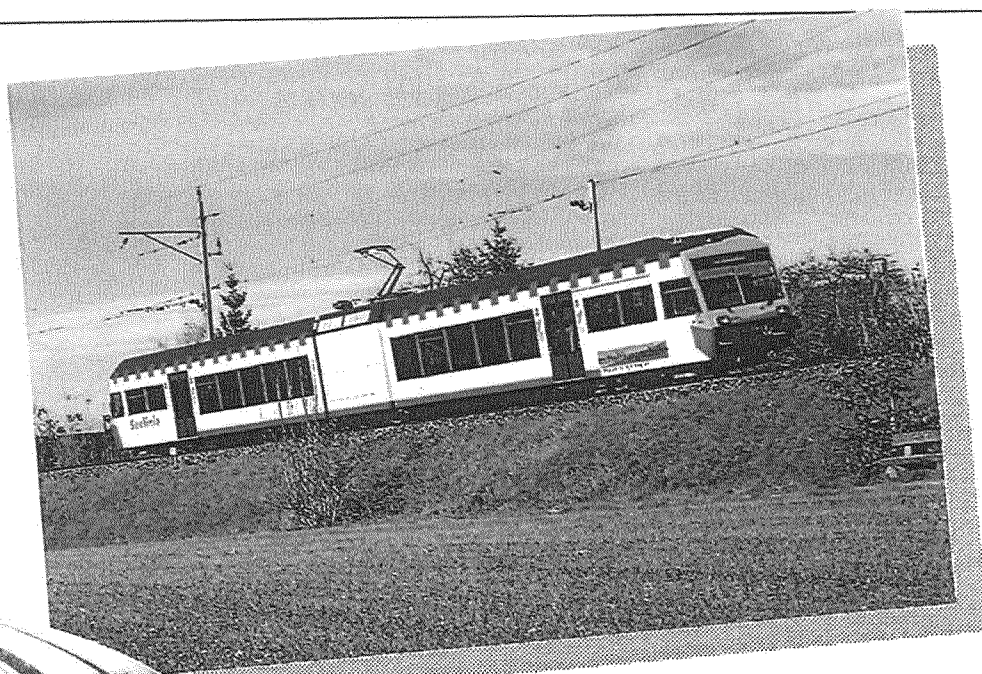
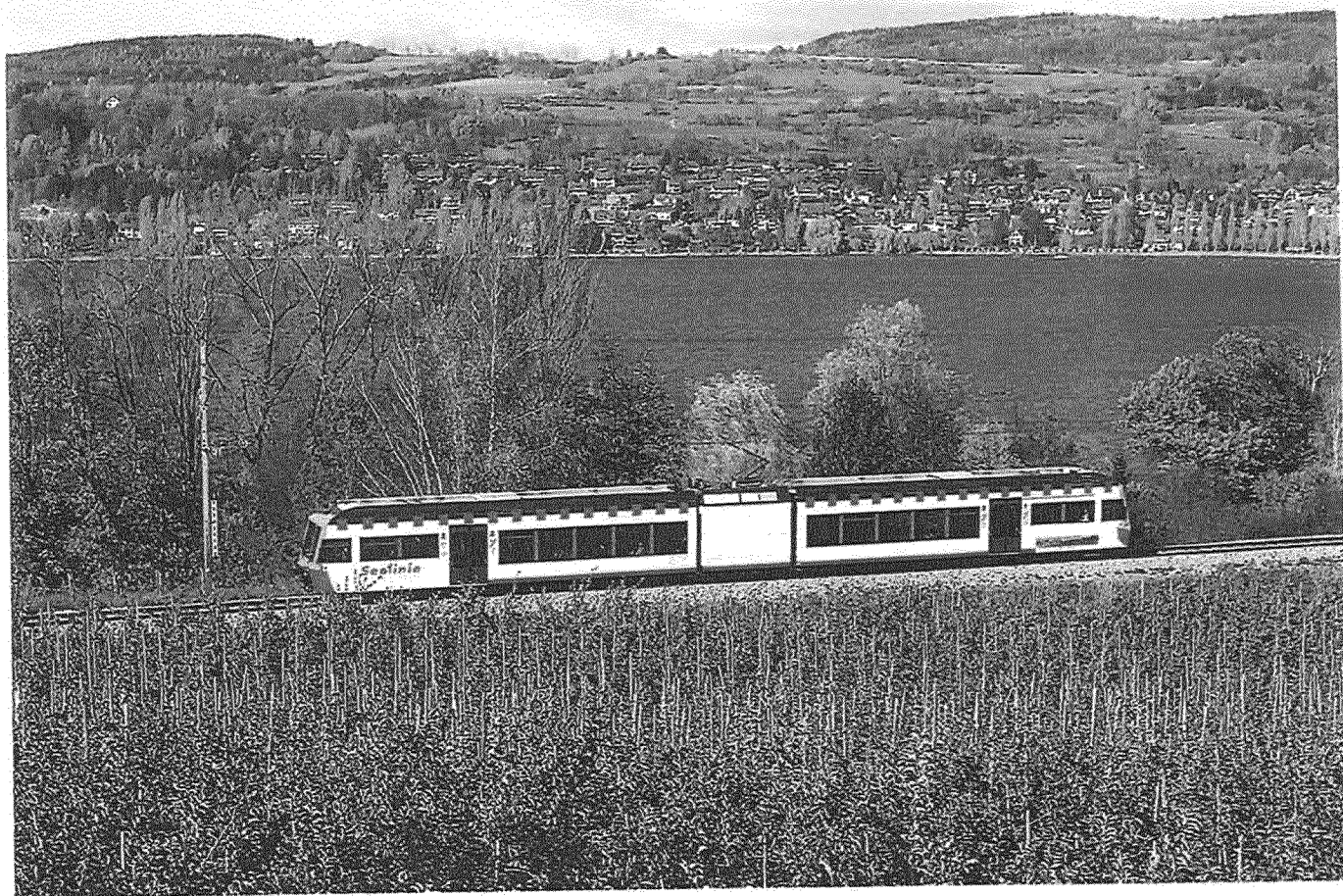


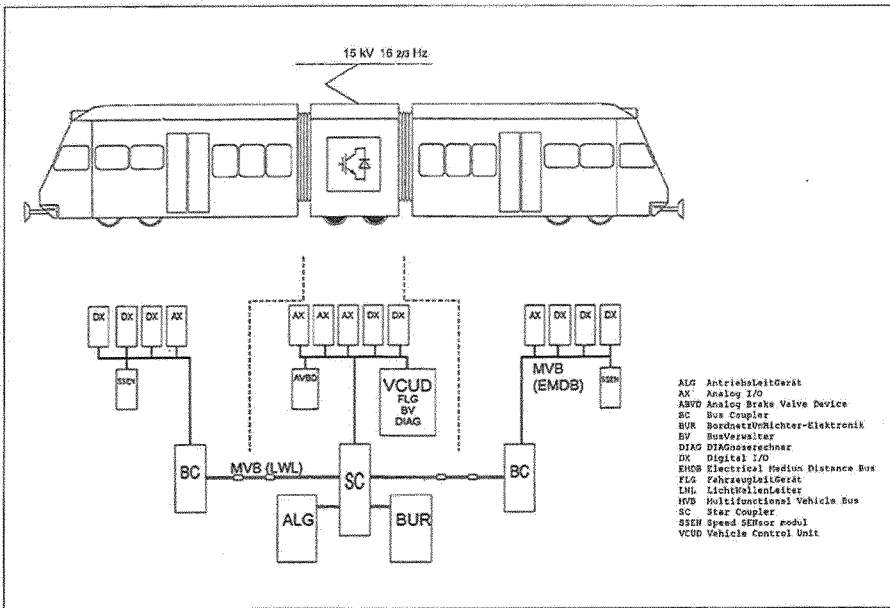
Foto: R. Beinbohm

STADLER

CH-9565 Bussnang TG
Telefon: 071 626 20 20
Telefax: 071 626 20 21

Unsere Spezialität sind individuelle, auf die Anforderungen des Kunden zugeschnittene Lösungen im Schienenfahrzeugbau. Bei der kostengünstigen Herstellung kommen modernste Technologien zur Anwendung.

Für Einzel- und Sonderfahrzeuge, sowie für Kleinserien sind wir **Ihr Partner** in der Schweiz. Profitieren Sie von unserer langjährigen Erfahrung und unserem ausgewiesenen Fachpersonal.



Leittechnik-Schema des RABe 2/6 (Zeichnung Adranz).

Vielfachsteuerung

Die Fahrzeuge sind mit einer konventionellen Vielfachsteuerung ausgerüstet, die das Führen von bis zu drei gekuppelten Gelenktriebwagen erlaubt. Dabei übernimmt das Fahrzeug mit eingeschaltetem Führerstand die Master-Funktion. Störungen auf den geführten Fahrzeugen werden als Sammelmeldungen im führenden Fahrzeug angezeigt. Deren Quittierung erfolgt ebenfalls vom führenden Fahrzeug aus.

Unterhalt

Damit der Fahrzeugunterhalt effizient ausgeführt werden kann, besitzt das Fahrzeug einen Diagnoserechner. Im Diagnoserechner sind alle Daten, welche zur Fehlersuche und Instandhaltung der Fahrzeuge benötigt werden, nichtflüchtig gespeichert. Mit einem handelsüblichen PC lassen sich die Daten jederzeit auslesen. Somit minimieren sich die Stillstandszeiten der Fahrzeuge. Zusatzinvestitionen in die Infrastruktur der Werkstätte der MThB waren kaum nötig. Für den Ein- und Ausbau der Hauptkomponenten genügt ein einfacher Gabelstapler.

Verschiedenes

An Zusatzausrüstungen ist der Gelenktriebwagen mit folgenden Sicherheitseinrichtungen ausgestattet:

- Schweizer Zugsicherung Siemens-Integra,
- deutsche Zugsicherung Indusi I 60 R inklusive Umschaltüberwachung wie auf den Bm 596 671 - 673,
- deutscher Zugbahnfunk „AEG VZFK '90“,
- Geschwindigkeitsmesssystem „MEMOTEL“ von Sécheron,
- mechanisch und elektrisch (inklusive Verkabelung) vorbereitet für den Einbau des SBB-Zugüberwachungssystems Siemens ZUB 121. Somit werden nur die eigentlichen Geräte nicht eingebaut.

Die Fahrtrichtungsumkehr geschieht ebenfalls ohne Umgruppierung der Schaltung. Die gewünschte Drehrichtung der Fahrmotoren wird durch die Phasenfolge der drei Motorphasen bestimmt.

Antriebsleitgerät

Das Antriebsleitgerät (ALG) bildet die stromrichternahe Leittechnik für Netz und Antriebsstromrichter. Es erfüllt folgende Funktionen:

- Netzstromrichter-Regelung,
- Antriebswechselrichter-Regelung,
- Rekuperationsregelung,
- Überspannungsschutz am Zwischenkreis.

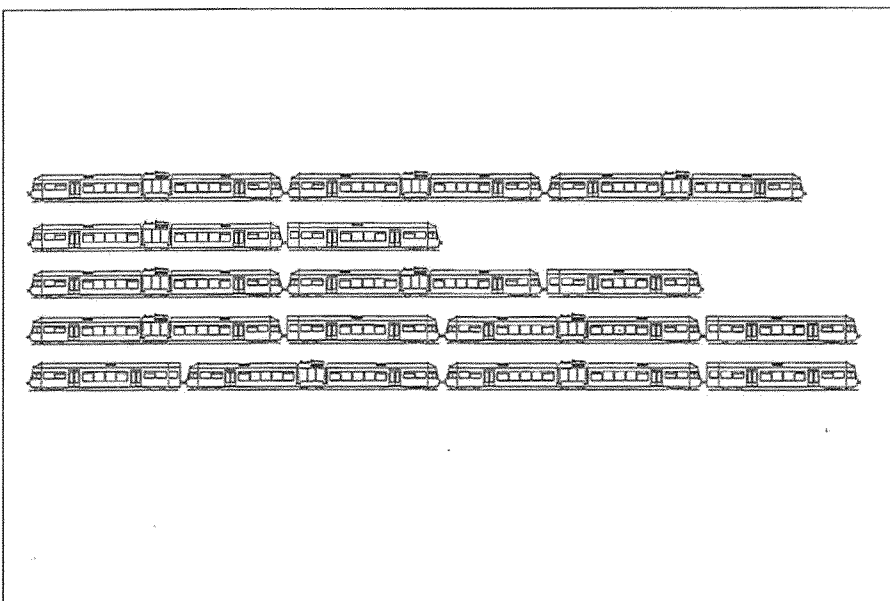
Zu den ersten beiden Punkten folgen einige Erläuterungen:

Der Netzstromrichter formt die Fahrleitungsspannung in eine Zwischenkreisspannung von 1700 - 2100 Volt Gleichspannung um. Eine Aufgabe des Antriebsleitgerätes ist es, diese Spannung über alle Betriebspunkte in

dem vorgegebenen Bereich zu halten. Im Fahren muss der Netzstromrichter so getaktet werden, dass Energie aus der Fahrleitung bezogen werden kann, um das Absinken der Zwischenkreisspannung zu verhindern. Im Bremsen dagegen, wird Energie aus dem Zwischenkreis in die Fahrleitung zurückgespeist, damit die Zwischenkreisspannung nicht zu hoch wird. Treten dennoch kurzzeitige Überspannungen auf, so werden diese durch Zuschalten des Momentanspannungsableiters (MUB) abgeleitet.

Die Antriebswechselrichter-Regelung erhält von der Fahrzeugleitebene den Befehl für die Drehmomentrichtung (Fahrtrichtung) und den Drehmoment-(Zugkraft)-Sollwert. Durch eine Modellbildung des Asynchronfahrmotors im Mikrorechner des Antriebsleitgerätes wird der Antriebswechselrichter unter Verwendung von äusseren Grössen, wie Drehzahl oder Temperatur, geregelt.

Das Verfahren setzt das Vorhandensein schneller Rechner voraus, die in jedem Augenblick die Berechnung der magnetischen Flüsse und der Drehmomente erlaubt.



Betriebseinsatz, Steuerwagen

Neben dem Einsatz in Einfach-, Doppel- oder Dreifachtraktion hat die MThB neben den zehn GTW 2/6 auch noch vier Steuerwagen Bt bestellt, die in der gleichen Bauweise wie die Endwagen der Gelenktriebwagen ausgeführt sind. Dank der topographisch relativ günstig gestalteten Seelinie ist der GTW in der Lage, auch mit einem solchen Steuerwagen das gewünschte Fahrplanprogramm zu erfüllen.

Der Steuerwagen wird dabei vom Triebwagen mit 1000 V aus der Zugsammelschiene (für Heizung und Batterieladung) und mit 400 V Drehstrom über die Vielfachsteuerung für die Lüftungs- und Klimaanlage versorgt.

Links: Betrieblich mögliche Kombination von Trieb- und Steuerwagen (Zeichnung Stadler).
 Rechte Seite oben: RABe 2/6 auf der Rheinbrücke bei Schaffhausen (Foto R. Behrbohm, 6.11.1998).
 Unten: RABe 2/6 auf der Bodenseelinie bei Stein am Rhein (Foto R. Behrbohm, 6.11.1998).

