

Hochgeschwindigkeitszüge Velaro für Russland

Andreas Lipp und David John, Erlangen; Rüdiger Mangler, Krefeld;
Aleksander S. Nazarov, Oleg N. Nazarov und Vitali P. Shilkin, Moskau

Acht zehnteilige Hochgeschwindigkeitszüge der Velaro-Familie werden ab Dezember 2008 nach Russland geliefert. Die zwei Triebzug-Varianten als Ein- und Zweisystemzüge mit verteilter Traktion werden auf konventionellen Strecken verkehren. Die technische Ausführung ist von den Besonderheiten des Einsatzlandes geprägt worden. Vor allem die schneereichen und extrem kalten Winter erforderten besondere Maßnahmen bei Belüftung und Heizung, bei hoch beanspruchten Materialien und hinsichtlich der Zuverlässigkeit von Komponenten.

High speed trains Velaro for Russia

From December 2008 on, eight ten-piece high-speed trains from the Velaro family from Siemens will be delivered to Russia. The two electrical multiple unit versions – single and double system trains equipped with distributed traction – will be put into service on the existing Moscow – St. Petersburg and Moscow – Nizhni Novgorod lines. The technical design and the special features for deployment in Russia are described.

Trains à grande vitesse Velaro pour la Russie

À partir de décembre 2008, huit trains à grande vitesse, composés chacun de dix voitures, de la gamme Velaro de Siemens, seront livrés à la Russie. Les deux versions de trains automoteurs à un ou deux systèmes avec traction distribuée doivent être affectées aux liaisons déjà existantes entre Moscou et Saint-Pétersbourg et entre Moscou et Nijni-Novgorod. La réalisation technique ainsi que les particularités de la mise en place en Russie seront détaillées.

1 Einführung

Nach Abschluss eines Vertrags über die erste Etappe der Projektierung von Zügen des Hochgeschwindigkeitsverkehrs (HGV) für Russland im April 2005 hat die russische Eisenbahn OAO RZD im Mai 2006 die Siemens AG mit dem Bau und der Lieferung von acht Hochgeschwindigkeitszügen vom Typ *Velaro* (Bild 1) beauftragt. Im April 2007 wurde für diese Züge ein Vertrag über deren Instandhaltung für 30 Jahre unterzeichnet.

Die Technik der Züge basiert auf der Siemens-Velaro-Plattform, die eine Weiterentwicklung der Triebzüge ICE 3 der Deutschen Bahn ist. Mit diesen seit Jahren in Betrieb befindlichen Zügen und dem *Velaro E* in Spanien kann der Hersteller große Erfahrung beim Bau und dem Betrieb von HGV-Zügen mit verteilter Traktionsausrüstung [1] vorweisen. Die neuen Züge *Velaro RUS* sind an die Einsatzbedingungen und klimatischen Verhältnisse in Russland angepasst und ihre Konstruktion berücksichtigt alle Anforderungen der russischen Normen.

Die Rohbaufertigung des ersten Wagens hat im Juni 2007 begonnen.

Der erste Zug wird im Dezember 2008 zur Inbetriebsetzung und für die anschließenden Abnahme- und

Zulassungsprüfungen nach Russland transportiert. Die Inbetriebsetzung findet vorwiegend im Depot in St. Petersburg statt. Die Prüfungen werden zwischen Moskau und St. Petersburg, auf dem Testring in Cherbinka der Moskauer Eisenbahn und auf der Schnellfahrstrecke Belorechenskaya – Maykop auf der Südkaukasischen Eisenbahn stattfinden.

Nach Abschluss der Tests beginnt der Passagierbetrieb der Züge im Dezember 2009.



Bild 1: Außendesign des Triebzugs *Velaro RUS*.

Tabelle 1: Wesentliche technische Daten der beiden Zugtypen des Velaro RUS.

Zugtyp		B1	B2
Spurweite	mm		1 520
Fußbodenhöhe über SO	mm		1 360
bedienbare Bahnsteighöhen	mm		1 100 ... 1 300
Zuglänge	mm		250 000
Wagenkastenlänge Endwagen	mm		25 535
Wagenkastenlänge Mittelwagen	mm		24 175
Wagenbreite	mm		3 265
Wagenkastenmaterial		Aluminium-Legierung	
Zugmasse besetzt	t	662	678
maximal zulässige Radsatzlast	kN	170	180
Netz-Nennspannung	kV	DC 3	AC 25 + DC 3
Anfahrbeschleunigung bis 60 km/h bei besetztem Zug	m/s ²	0,43	0,42
maximale Traktionsleistung am Rad im Fahren und Bremsen	MW		8
maximale Anfahrzugkraft	kN		328
maximale Betriebsgeschwindigkeit	km/h		250
Anzahl Sitzplätze	Business Tourist	Stück Stück	104 500
Außentemperaturbereich	°C		(-50) ... - 40 ... + 40
Betriebseinsatzdauer	Jahre		30

2 Besonderheiten des Betriebs in Russland

Vier der acht Züge sind für den Betrieb im Netz mit DC 3 kV, die anderen vier für DC 3 kV und AC 25 kV 50 Hz konzipiert. Dementsprechend werden die einen kurz B1 und die Züge für die beiden Systeme B2 bezeichnet. Die wesentlichen technischen Daten der beiden Zugtypen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Die Hauptstrecke von Moskau nach St. Petersburg, die mit DC 3 kV elektrifiziert und 645 km lang ist, soll mit bis zu 250 km/h befahren werden. Die Reisezeit ist aufgrund bestehender Geschwindigkeitsbeschränkungen mit rund 3 h 45 min geplant. Die Zweisystemzüge werden vorzugsweise auf der 436 km langen Strecke von Moskau nach Nizhni Novgorod mit einer Maximalgeschwindigkeit von 160 km/h eingesetzt.

Die Anforderungen an die Züge wurden mit der Technischen Aufgabenstellung zwischen dem Hersteller und der OAO RZD abgestimmt und festgeschrieben. Des Weiteren hat die RZD russische Institute beauftragt, die Projektierung und die Umsetzung der Anforderungen zu begleiten und zu prüfen. Das hat zur Folge, dass diese Institute bei der Festlegung der Konstruktion und bei der Abnahme stark eingebunden sind.

Für den *Velaro RUS* sind neben den europäischen Normen auch die russischen Normen einzuhalten. Weiterhin müssen neben dem Gesamtzug auch die einzelnen Komponenten eine Zulassung erhalten. Dieses erfordert in

vielen Fällen hohen Dokumentations- und Prüfumfang. In Russland müssen die Züge bis zu einer Umgebungstemperatur von -40 °C uneingeschränkt fahren können. Alle Komponenten mussten hierauf überprüft und daraufhin gegebenenfalls ertüchtigt werden. Es werden für diese Temperaturbereiche speziell geeignete Materialien eingesetzt, um so weitestgehend ohne zusätzliche Heizungen auszukommen. Um eventuellen Problemen mit Flugschnee zu begegnen, wird die benötigte Kühlluft für die Traktionskomponenten im Winterbetrieb über Luftkanäle vom Dach aus in die Bodenwanne geleitet.

Bezüglich elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) werden sehr harte Anforderungen an die Triebzüge gestellt. Die Grenzwerte liegen deutlich unter denen der europäischen Norm. Daher musste eine Vielzahl von EMV-Maßnahmen wie EMV-Filter und Schirmungen umgesetzt werden.

In Russland ist es erforderlich, dass bei Strecken von mehr als 3 h Fahrt der Triebfahrzeugführer den Zug auch im Stehen bedienen können muss. Die Kopfform des *Velaro RUS* musste so angepasst werden, dass ein 190 cm großer Triebfahrzeugführer den Zug stehend steuern kann. Zusätzlich wurde im Führerraum ein Arbeitsplatz für den in Russland erforderlichen so genannten Beifahrer geschaffen.

Zur Ausleuchtung der Strecke mussten wesentlich stärkere Scheinwerfer in den Kopf des Zuges integriert werden als bisher üblich.

Für die in Russland größere Spurweite und um den Gegebenheiten der Gleislage Rechnung zu tragen, wurde das Drehgestell der *Velaro*-Familie weiterentwickelt. Das Radprofil berücksichtigt das russische Schienenprofil und ist zum anderen für Hochgeschwindigkeit geeignet.

Die russische Betriebsleittechnik Klub-U und der russische Zugfunk wurden integriert und in diesem Zusammenhang weiterentwickelt. Für die Belange der Betriebsleittechnik wird ein Display verwendet. Für den Zugfunk des Triebfahrzeugführers und Beifahrers wird ein Dreibandssystem eingesetzt, welches die traditionellen russischen Frequenzen bei 2 MHz und 160 MHz sowie die Frequenz des Tetra bei 460 MHz benutzt. Beim Zugkommandanten ist ein Zweibandssystem mit 160 MHz und 460 MHz eingebaut. Beide Systeme, Klub-U und Zugfunk im Endwagen, wurden zu Diagnosezwecken über eine spezielle Schnittstelle an die Fahrzeugsteuerung angeschlossen.

3 Struktur und Ausstattung der Fahrgastbereiche

3.1 Zugkonstellation

Der *Velaro RUS* besteht aus zehn Wagen; deren Anordnung im Zugverband zeigt Bild 2. Zwei Wagen, die Endwagen, sind als Business-Klasse definiert, die übrigen als Touristenklasse. Insgesamt werden sieben Wagentypen, sechs je Zugtyp, unterschieden. Deren Bezeichnung orientiert

sich an den im Wagen angeordneten Hauptkomponenten von Traktion und Bordnetz. Bei der Projektierung wurde großer Wert auf Modularisierung gelegt. Der Einsystemzug B1 kann weitestgehend durch Weglassen von bei ihm nicht benötigten Traktionskomponenten aus dem Zweisystemzug gebildet werden.

Da die Komponenten der Traktions- und Hilfsbetriebeausrüstung im Unterflur- und Dachbereich des gesamten Zuges untergebracht sind, wird der Innenraum über die gesamte Zuglänge für die Passagiere und das Zugpersonal genutzt.

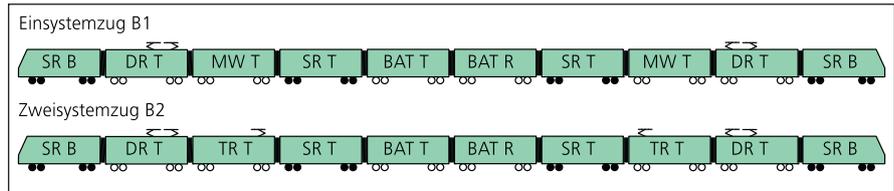


Bild 2: Übersicht über die Wagenreihung beim Einsystemzug B1 und beim Zweisystemzug B2.

- SR B Stromrichter-Endwagen, Businessklasse
- DR T Drosselwagen mit Netzfiltern, Touristenklasse
- MW T Mittelwagen bei B1
- TR T Transformatorwagen bei B2
- SR T Stromrichter-Mittelwagen
- BAT T Mittelwagen mit Batterie
- BAT R Mittelwagen mit Batterie und Restaurant

3.2 Innengestaltung

Die Aufteilung der Innenausrüstung der unterschiedlichen Wagen des Zuges geht aus der Grundrissdarstellung von Bild 3 hervor.

In einem Mittelwagen im zentralen Bereich des Zuges befinden sich das Restaurant und ferner das Abteil des Zugbegleiters, in dem auch ein Arbeitsplatz des Sicherheitspersonals eingerichtet ist. Der Restaurantwagen ist als Raucherwagen konzipiert.

Im Zug sind, verteilt auf die Mittelwagen, 13 Standard-WCs angeordnet. Ein Universal-WC ist für Behinderte ausgelegt und befindet sich in der Nähe des Behindertenplatzes in der Mitte des Zuges.

Die 1 310 mm x 660 mm großen Seitenfenster im Passagierbereich besitzen eine nicht-öffnungsfähige Isolierverglasung und sind mit Sonnenrollos versehen.

Zusätzlich zu den Kleiderhaken zwischen den Fenstern befinden sich mittig in acht Wagen Garderoben. In drei Wagen sind Schuhputzautomaten angeordnet.

Gegen die Seiten- und Deckenwände gerichtete Strahler bewirken eine indirekte Beleuchtung; das dadurch gestreute Licht entwickelt für die Passagiere ein angenehmes Raumempfinden in den Wagen. Zusätzlich sind alle Sitzplätze mit Leseleuchten ausgestattet.

Die Innentüren zum Übergang zwischen den Wagen und zu den Ein-/Ausstiegsbereichen sind aus durchsichtigem Sicherheitsglas ausgeführt.

An den Großraumbereichen aller Wagen sind Flächen zum Abstellen von großen Gepäckstücken freigehalten. Oberhalb der Fenster befinden sich über die gesamte Länge des Sitzbereichs in den Großräumen Gepäckablagen.

Alle Sitze im Passagierbereich sind konstruktiv mit verstellbaren Rückenlehnen sowie mit Klapp-tischen, Armlehnen und Fußstützen ausgeführt. Sie besitzen austauschbare Schutzbezüge für Nackenstützen. Die Sitze der Businessklasse sind mit Leder, die Sitze der Touristenklasse mit Stoff bezogen.

Auf Bild 4 ist der Passagierbereich mit Blick zum Führerraum zu sehen. Der Triebfahrzeugführer kann die Scheibe der Rückwand seiner Kabine je nach Bedarf durchsichtig oder trüb schalten.

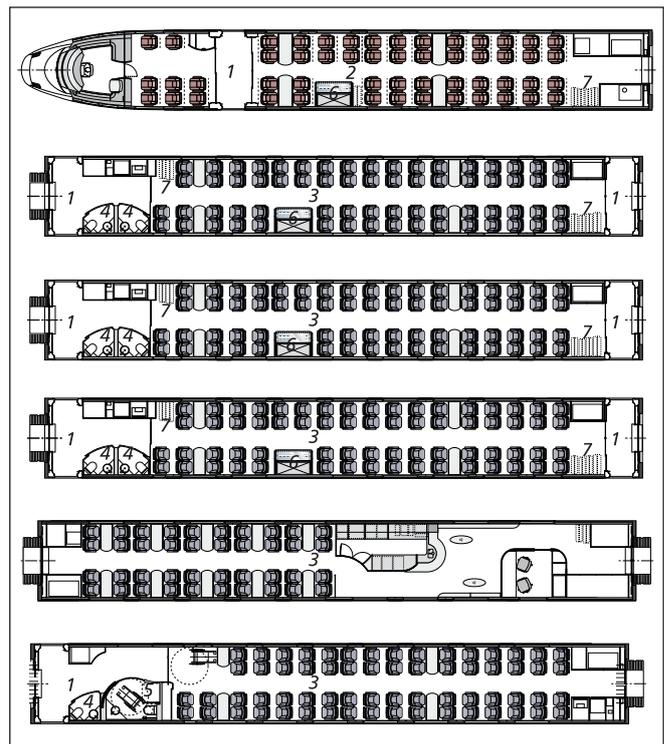


Bild 3: Schematische Darstellung des Innenraumes der zehn Fahrzeuge des Velaro RUS; die letzten vier Einzelfahrzeuge gleichen im Grundriss den ersten vier und sind nicht gezeichnet.

- 1 Einstiegsraum
- 2 Businessklasse
- 3 Touristenklasse
- 4 Standard-WC
- 5 Universal-WC
- 6 Garderobe
- 7 Gepäckabstellplatz

Der schwimmend gelagerte, trittschallarme Fußboden aller Passagierräume hat einen Teppichbelag. Die Seitenwände bestehen aus kratz- und stoßfestem glasfaserverstärktem Kunststoff mit abgerundeten Ecken. Alle Innenteile sind pflegeleicht ausgeführt.

Die Klimaanlage ist am Wagenende im Dach eines jeden Wagens angeordnet. Im Unterflurbereich befindet sich ein Lüfter zur Fortluftförderung. Die Klimaanlage sorgt durch eine optimale Luftführung und Luftverteilung für eine angenehme Heizung im Winter und Kühlung im Sommer. Dies wird dadurch erreicht, dass durch Umschaltungen in den Luftkanälen die kalte Luft im Sommer von oben und unten in den Wagen eingelassen wird und im Winterbetrieb die erwärmte Luft nur seitlich und unten



Bild 4: Innenraumgestaltung im Endwagen mit Blick auf die Triebfahrzeugführer-Kabine.



Bild 6: Bistrobereich.



Bild 5: Beispiele für eine Zugdatenanzeige innen (links) und außen (rechts).

eingeblassen wird. Eine Fahrgastraum-Innentemperatur von 22 °C lässt sich bei Außentemperaturen von -40 °C bis +27 °C sicherstellen.

Im Luftstrom der Klimaanlage liegen ein Außenluftgrobfilter, ein Mischluftfilter sowie eine Entkeimungseinrichtung.

Die beiden Führerräume haben ein separates Klimagerät sowie Zusatzheizungen in den Fußnischen und im Fußboden.

Ein Modell des Endwagens in Originalgröße war im Jahre 2006 in St. Petersburg auf dem Moskauer Bahnhof ausgestellt.

3.3 Fahrgastinformation und zuginterne Kommunikation

Das Fahrgast-Informationssystem dient der optischen und akustischen Information der Passagiere und zur Kommunikation des Zugpersonals. Dazu gibt es in allen Wagen eine Sprechstelle, auf die der Zugbegleiter für Durchsagen im Wagen Zugriff hat. Zusätzlich befindet sich je eine Sprechstelle in den Endwagen für den Triebfahrzeugführer und im Zugkommandantenabteil, von denen aus zugweit Durchsagen gemacht werden. Eine Kommunikation zwischen den Sprechstellen ist entsprechend den festgelegten Prioritäten möglich.

Der Zugkommandant hat Zugriff auf die Zentrale des Fahrgast-Informationssystems. Diese steuert die Außen- und Innenanzeigen (Bild 5), auf denen die Passagiere die für sie jeweils erforderliche Information erhalten.

Eine Videoüberwachung innerhalb der Passagierräume und außerhalb des Zuges wurde implementiert.

3.4 Gastronomische Versorgung

Im Restaurantwagen befindet sich eine Galley mit dem Bistro (Bild 6). Hier werden die Speisen für die Gäste angerichtet und es findet der Verkauf statt. Im Restaurantwagen befinden sich Plätze vis à vis mit Tischen und zwei Stehtische.

Die Passagiere der Businessklasse werden mit Tablett-service über kühlbare Trolleys versorgt. In der Touristenklasse werden vor der Abfahrt Lunchpakete auf die Sitzplätze verteilt und unterwegs weitere Waren mit Verkaufstrolley(s) zu den Fahrgästen gebracht.

Durch die Galley können auf diese Weise bis zu 250 Personen der Touristenklasse und alle Passagiere der Businessklasse mit Essen und Trinken versorgt werden.

4 Wagenkasten

Der Wagenkastenrohbau hat eine vollständig tragende Leichtbaustruktur in Aluminium-Integralbauweise, aus Großstrangprofilen verschweißt. Der Kopfbereich der Endwagen besteht aus geformten Profilen und Blechen ebenfalls einer Aluminiumlegierung, die miteinander verschweißt sind. Dort an den Zugenden wurde auf 1 100 mm Höhe die bei den russischen Bahnen gebräuchliche SA3-Kupplung integriert.

Am Rohbau werden über Anschweißpunkte, angentete Teile und C-Schienen in den Aluminium-Profilen die einzelnen Baugruppen des Zuges befestigt.

Die Anforderungen aus russischen Normen an die Festigkeit des Wagenkastens und der Kupplung wurden berücksichtigt und in einem Auflaufversuch nachgewiesen.

Die Festigkeit im Bereich des Fahrgastraumes und Führerraumes ist auf eine normative Belastung von 2 000 kN ausgelegt. Die Verformungs- oder Opferbereiche außerhalb der Fahrgasträume wurden für eine normative Belastung von 1 500 kN ausgelegt.

Zum Schutz gegen Auswirkungen von Stößen befindet sich unterhalb der Frontscheibe unter dem verkleideten Teil des Kopfes ein durch einen Brüstungsträger verstärktes Querschott, das als Abstützfläche für Stoßverzeherelemente dient. Gemeinsam mit den Energieverzeherelementen in der Kupplung kann eine Kollisionsenergie von zirka 2 MJ

aufgenommen werden. Ein Unterfahrschutz aus Abstütungen ist zusätzlich in der Lage, Energie zu absorbieren.

Die verwendete dreifache Lackbeschichtung ist witterungsbeständig und beständig gegenüber den auftretenden Temperaturschwankungen. Die Innenseite des Wagenkastens ist mit einer Spritzbeschichtung gegen Lärm und Vibrationen versehen.

Die guten thermischen Eigenschaften des Wagenkastens mit einem Wärmekoeffizienten $k = 1,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ während der Fahrt werden erreicht durch spezielle Maßnahmen der Spritzbeschichtung und Wärmedämmung innen sowie eine thermische Entkopplung der Kältebrücken am Wagenkasten.

Die Außentüren der Wagen sind elektrisch betätigte einflügelige Horizontal-Schwenkschiebetüren mit lichter Durchgangsbreite von 900 mm und lichter Durchgangshöhe von 2050 mm. Während der Fahrt schließen die Türblätter außenhautbündig mit dem Wagenkasten ab. Sie können durch Knopfdruck im Stand betätigt werden, wenn sie vom Triebfahrzeugführer freigegeben sind, und öffnen in Richtung der Drehgestelle. Sie bieten die Möglichkeit der Notöffnung von außen, aber auch einer Verriegelung von innen.

Die Wagenübergänge werden durch witterungsfeste Faltenbälge komplett umschlossen, die auch die Kuppelung einschließen, womit sich ein vollständig geschützter Übergang zwischen den Wagen ergibt. Die Kupplungshöhe zwischen den Wagen beträgt 995 mm.

5 Bremsystem und Druckluftausrüstung

Der *Velaro RUS* besitzt eine pneumatische Reibungsbremse mit Radscheibenbremsen an den Triebdrehgestellen und je drei Wellenscheibenbremsen auf jeder Radsatzwelle der zwölf Laufdrehgestelle. Zusätzlich werden die acht Triebdrehgestelle durch generatorischen Betrieb der Fahrmotoren gebremst. Für die elektrische Bremse ist eine höhere Reibwertausnutzung, nämlich maximal 0,15, als für die pneumatische Bremse erlaubt.

Bei voll besetztem Zug und einem angenommenen Reibwert von 0,13 im unteren Geschwindigkeitsbereich können Bremswege von 2 430 m aus 250 km/h und von 1 000 m aus 160 km/h bei ausschließlicher Verwendung der pneumatischen Reibungsbremse sicher eingehalten werden.

In jedem SR T-Wagen befindet sich ein Luftkompressor. Die ölfreien, speziell für den Einsatz unter russischen Bedingungen qualifizierten Kompressoren versorgen neben der Bremse unter anderem auch die Luftfedern der Drehgestelle, die Klimasteuerung, die Türsteuerung, die Scheibenwaschanlage, die Stromabnehmer und das Typhon. Die Druckluft wird durch die Hauptluftbehälterleitung auf die zahlreichen Luftbehälter im Zug verteilt.

Die Bremssteuerung funktioniert nach dem Prinzip der indirekten Bremse mit rein pneumatischer Energieversorgung; daher ist ein eventuelles Abschleppen des Zuges auch ohne elektrische Energie möglich. Zur Verbesserung der Dynamik der Steuerung der indirekten Bremse sind

im Zug elektropneumatische Steuerleitungen und Steuerventile mit elektropneumatischem Zusatz vorhanden.

Die Bremse wird normalerweise vom Triebfahrzeugführer durch einen stufenlos wirkenden Bremskraftsteller betätigt. Sie kann jedoch in Ausnahmefällen auch mit einem Hilfs-Führerbremsventil oder bei Notbremse durch einen Schlagtaster im Führerraum oder im Zugkommandantenabteil oder durch das Sicherheitssystem Klub-U überbrückt werden. Die Notbremse, die in jedem Wagen an mindestens zwei Stellen betätigt werden kann, wirkt über die Fahrzeugsteuerung; sie kann daher nach Auslösung durch einen Fahrgast vom Triebfahrzeugführer bei Bedarf unwirksam geschaltet werden.

Jeder Wagen besitzt ein Bremssteuergerät (BSG). Ein Master-Bremssteuergerät im Endwagen koordiniert die Aufteilung und den Ablauf der Bremsung zwischen den unterschiedlichen Wagen und den beiden Bremsystemen, je nach Verfügbarkeit und Anforderung an das Bremssystem.

In allen Wagen befinden sich Federspeicherbremsen als Parkbremse im Stand.

6 Zug- und Fahrzeugsteuerung

Die elektronische Fahrzeugsteuerung als das „Gehirn“ des Zuges steuert zentral die wichtigsten Vorgänge im Zug und übernimmt Überwachungs- und Diagnoseaufgaben. Neben der elektronischen Steuerung gibt es zahlreiche fest verdrahtete Signalstromkreise oder Sicherheitsschleifen, die insbesondere in Ausnahmesituationen noch für den Fortbestand lebensnotwendiger Funktionen sorgen oder Bremsungen auslösen können.

Basis für die elektronische Fahrzeugsteuerung ist das TCN (*Train Communication Network*), ein genormtes, hierarchisches und zweistufiges Kommunikationsnetzwerk (Bild 7). Das Netzwerk besteht aus dem Zugbus WTB (*Wired Train Bus*) und dem Fahrzeugbus MVB (*Multifunction Vehicle Bus*). Bei beiden Systemen werden ein serieller Datenbus verwendet sowie verdrehte und geschirmte Zweidrahtleitungen, die beim MVB zum Erreichen einer Redundanz jeweils doppelt ausgeführt sind, also mit 2x2 Leitern in einem MVB-Kabel.

Aus Redundanz- und Brandschutzgründen werden die Buskabel räumlich voneinander getrennt durch den ganzen Zug verlegt. Der Zugbus WTB verbindet die einzelnen Fahrzeugbus-Einheiten, die Traktionseinheiten, miteinander. Er sorgt für den Datenaustausch zwischen führender und geführter Einheit sowie die unabhängige Kommunikation zwischen den MVB-Einheiten.

Innerhalb der MVB-Einheit werden die Daten des jeweiligen als Master geschalteten Zentralen Steuergeräts (ZSG) im Endwagen über den separat vorhandenen, redundant aufgebauten Fahrzeugbus an die Subsysteme der einzelnen Wagen der jeweiligen Traktionseinheit übertragen. Endwagen, Transformatorwagen, Stromrichterwagen und Mittelwagen sind leittechnisch eine MVB-Einheit.

Eine MVB-Einheit ist aus einzelnen MVB-Segmenten aufgebaut, die in den Wagen über MVB-Repeater an den

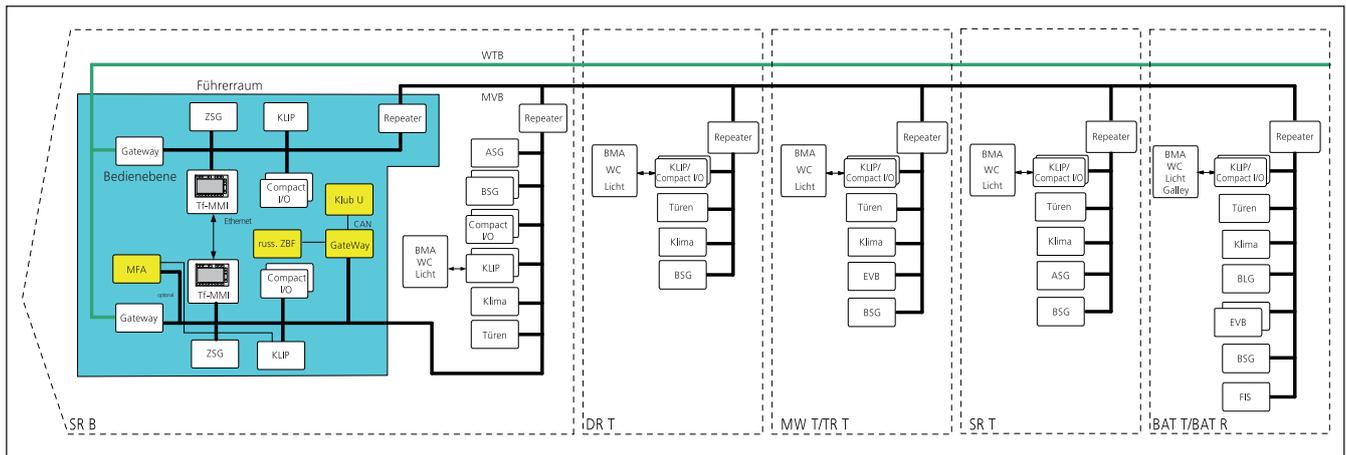


Bild 7: Prinzipschaltbild der Fahrzeugsteuerung je Halbzug in der Aufteilung auf die einzelnen Wagen nach Bild 2. SR B, DR T, MW T bei B1 oder TR T bei B2, SR T, BAT T oder BAT R, je nach Zughälfte.

BMA Brandmeldeanlage
 übrige Komponenten siehe im Text

Backbone geschaltet werden. Der Backbone ist die Basis-MVB-Verbindung zwischen den einzelnen Wagen einer Traktionseinheit. Mit Ausnahme des Endwagens, in dem aus Redundanzgründen zwei Segmente eingebaut sind, wird ein Wagen als MVB-Segment realisiert.

An den MVB sind alle elektronischen Geräte eines Wagens angeschlossen. Geräte, die eine MVB-Schnittstelle haben, kommunizieren direkt über den Bus mit anderen Systemen im Zug. Geräte ohne MVB-Schnittstelle sind über spezielle KLP-Baugruppen an den Bus angeschlossen. Dadurch ist die Übertragung digitaler und analoger Signale über den Bus möglich.

Die zentrale Steuerung des Zuges und die Traktionssteuerung werden durch Steuergeräte des Siemens Bahn-Automatisierung-Systems (Sibas) [2] durchgeführt. Sibas-Steuergeräte bilden ein modulares System, welches nach konkreten Bedürfnissen der Anwendung aus Baugruppen zusammengesetzt wird.

Alle komplexen elektronischen Geräte führen eine Eigendiagnose durch, deren Ergebnis sie über den MVB an die zentrale Diagnose des Fahrzeugs übergeben. Das Instandhaltungspersonal kann detaillierte Diagnosedaten über eine serielle Schnittstelle direkt am Gerät auslesen. Die zentralen Diagnosedaten werden je nach Art der Information an den Triebfahrzeugführer oder den Zugkommandanten über das HMI-Display angezeigt. Weiterhin werden Daten, die für die Instandhaltung des Zuges relevant sind, noch während der Fahrt über GSM an die Instandhaltungsstelle geschickt, damit diese bereits vor Eintreffen des Zuges Maßnahmen für eine Korrektur oder den Austausch defekter Bauteile treffen kann.

Das ZSG übernimmt die wichtigsten Überwachungs- und Diagnose-Funktionen für den Gesamtzug. Dazu zählen:

- Überwachung und Ansteuerung der Hochspannungsschalter und Stromabnehmer

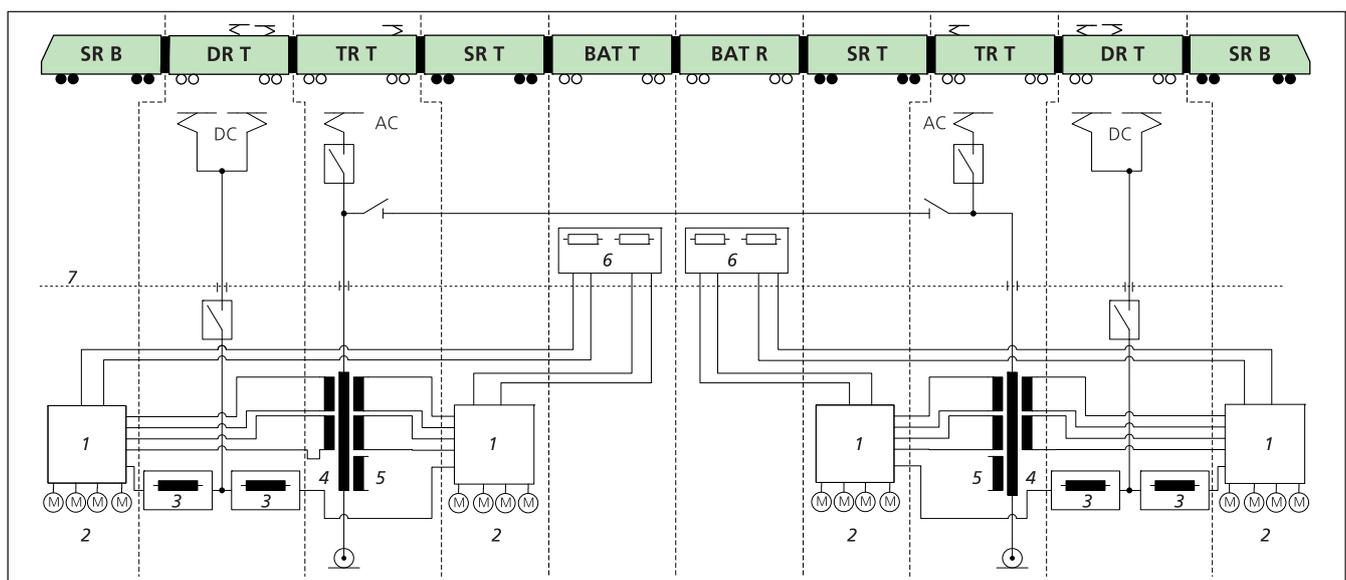


Bild 8: Prinzipschaltbild und Anordnungsschema für die Traktionskomponenten im Zweisystemzug.

- | | | | |
|----------------------|-----------------|-------------------|--|
| 1 Traktionscontainer | 3 Netzfilter | 5 Heizwicklung | 7 Dachlinie |
| 2 Traktionsmotoren | 4 Transformator | 6 Bremswiderstand | DC, AC Stromabnehmer + Hauptschalter DC-, AC-Betrieb |

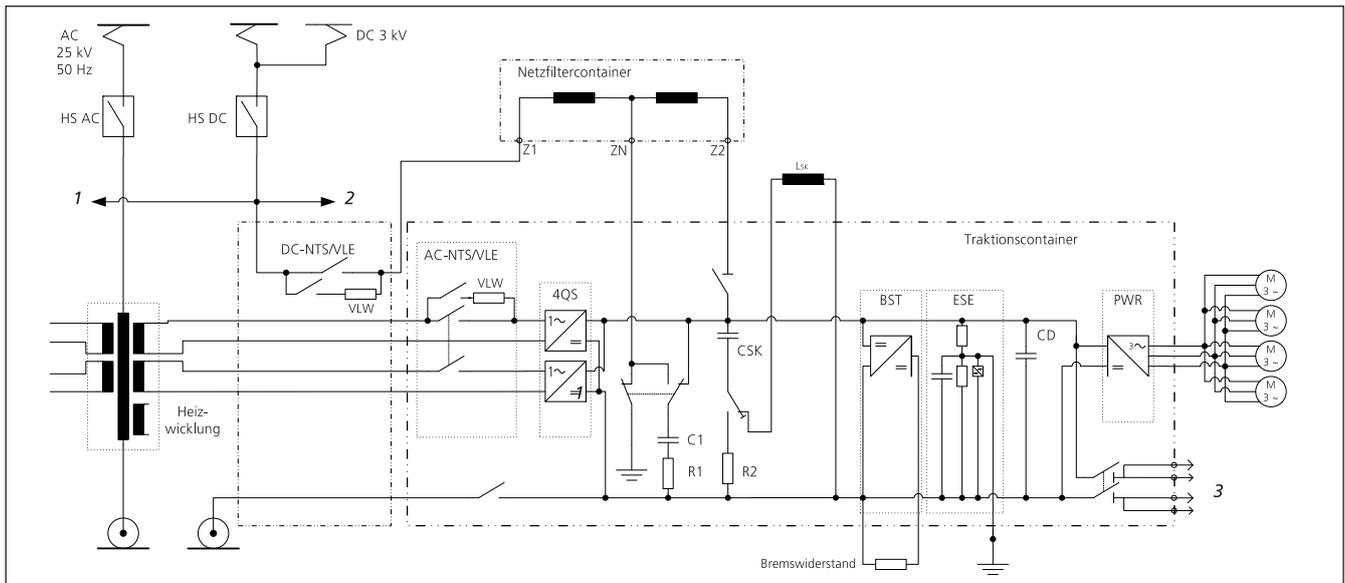


Bild 9: Prinzipschaltbild einer Leistungseinheit.

HS	Hauptschalter	CSK	Saugkreis Kondensator	PWR	Pulswechselrichter
NTS	Netztrennschalter	LSK	Saugkreisdrossel	1	zum zweiten Traktionsstromrichter
VLE	Vorladeeinheit	BST	Bremssteller	2	zur Heiz-/Ausgleichsstromschiene
VLW	Vorladewiderstand	ESE	Erdschlussüberwachungseinheit	3	zum EVB
4QS	Vierquadrantensteller	CD	Zwischenkreis Kondensator		

- Auswertung der Netzspannungs-Fühlsysteme bei den Zweisystemzügen
- Traktions-Sollwertvorgabe für die Antriebssteuergeräte (ASG)
- Bordnetzsteuerung
- Befehls- und Steuervorgabe für diverse Steuergeräte, wie Türsteuerung, Bremssteuerung
- Überwachung der Sicherheitsschleifen, Brandmeldeanlage und Drehgestell diagnose
- Rangierung digitaler oder analoger Ein- und Ausgaben über die dezentralen Ein- und Ausgabestationen Sibas-KLIP und MVB-Compact-I/O
- Steuerung der Betriebszustände des Zuges
- Eigendiagnose und Diagnose der Kommunikation am Zug- und Fahrzeugbus
- Konfigurationsermittlung und -überprüfung im Triebzug

Hinzu kommt die Überprüfung der Zulässigkeit von Bedienhandlungen des Triebfahrzeugführers, bei der unzulässige Systemzustände überwacht oder verriegelt werden.

7 Traktionsausrüstung

7.1 Funktionale Strukturierung der Ausrüstung

Die Traktionskomponenten des *Velaro RUS* [3] sind über alle zehn Wagen des Zuges verteilt (Bild 8). Jede Zughälfte besitzt eine autarke Traktionsanlage, die wiederum über zwei identische Leistungseinheiten (Bild 9) verfügt. Zu jeder Leistungseinheit gehören jeweils ein Traktionsstromrichter einschließlich ASG, vier parallel geschaltete Fahrmotoren,

eine Bremswiderstandseinheit sowie der Anschluss der Bordnetz-Energieversorgung am Traktionszwischenkreis. Bei Ausfall einer Leistungseinheit wird diese ohne Einfluss auf die noch verbleibenden Anlagen ausgruppiert, sodass der Zug seine Fahrt mit 75 % der installierten Traktions- und elektrischen Bremsleistung fortsetzen kann.

Durch die gleichmäßig über den gesamten Unterflurbereich verteilte Anordnung der Leistungseinheiten wird zum einen eine gleichmäßige Gewichtsverteilung über den gesamten Triebzug erreicht; die damit verbundene geringere maximale Radsatzlast schont den Gleiskörper und senkt den Instandhaltungsaufwand an Fahrwerk und Strecke. Zum anderen wird durch den Antrieb von 16 Radsätzen das verfügbare Kraftschlusspotenzial optimal genutzt.

Nach dem Zugkraftdiagramm $F(v)$ in Bild 10 beträgt die maximale Traktionsleistung am Rad 8 MW. Die Abnahme der entsprechenden Leistung an der Oberleitung bei bis zu 250 km/h stellt im DC-Betrieb eine große Herausforderung für die Stromabnehmer dar.

Zum Vergleich zeigt Bild 11 Bremskraftdiagramme $F(v)$ des Zuges.

7.2 Hochspannungs-Dachausrüstung

7.2.1 Übersicht

Die Hochspannungsausrüstungen des Zweisystemzuges einerseits für AC 25 kV 50 Hz und andererseits für DC 3 kV sind elektrisch komplett getrennt und auf vier der zehn Wagen installiert.

Für das AC-System ist der Zug mit zwei Stromabnehmern ausgerüstet, die auf beiden Transformatorwagen angeordnet und über eine Dachleitung miteinander ver-

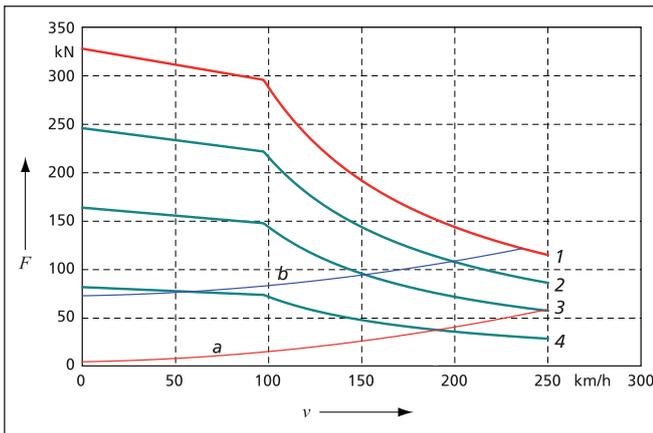


Bild 10: Zugkraftdiagramm für beide Zugtypen.
 1 100 % Traktion, maximal 8 MW am Rad
 2 75 % Traktion
 3 50 % Traktion
 4 25 % Traktion
 a Ebene
 b Steigung 1 %

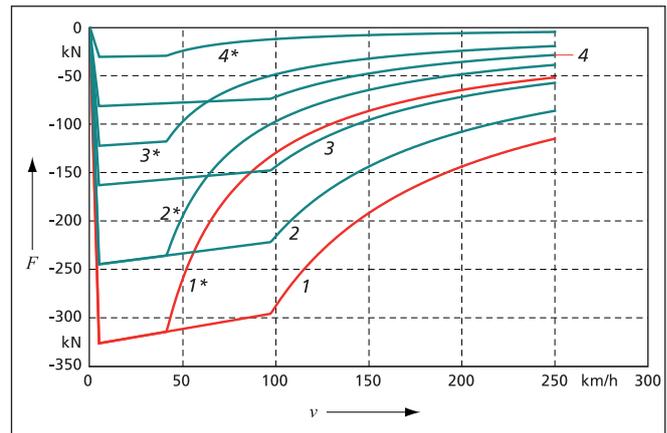


Bild 11: Bremskraftdiagramm für beide Zugtypen bei Rekuperation und zum Vergleich bei Einsatz der Bremswiderstände (*).
 1 100 % Netzbremse, maximal 8 MW am Rad
 2 75 % Netzbremse
 3 50 % Netzbremse
 4 25 % Netzbremse

bunden sind. Im Normalbetrieb wird nur mit einem gehobenen Stromabnehmer gefahren. Die Dachleitung zweigt hinter jedem Hauptschalter ab und ist im Fehlerfall durch die Hauptschalter geschützt.

Für das DC-System gibt es vier Stromabnehmer, je zwei auf beiden Drosselwagen. Im Normalbetrieb wird mit zwei gehobenen Stromabnehmern gefahren. Die beiden Zughälften werden getrennt mit Energie versorgt; es gibt hierfür keine Hochspannungsleitung zwischen den Drosselwagen.

Bei der Steuerung der Hochspannungsanlage wird besonders auf die Redundanzanforderung geachtet. Da im AC-System die beiden Zughälften elektrisch miteinander verbunden sind, wird im Fehler- oder Brandfall die Fahrfähigkeit des kompletten Triebzuges sichergestellt, indem die betroffene Zughälfte mittels Dachtrennschalter elektrisch abgetrennt wird.

Im DC-System kann bei Ausfall eines Stromabnehmers der zweite auf demselben Wagen benutzt werden.

Wegen der niedrigen EMV-Grenzwerte nach russischer Norm GOST 29205 sind für den DC- und den AC-Betrieb in der Hochspannungsanlage spezielle Drosseln und Kondensatoren installiert.

Die gesamte Hochspannungsausrüstung auf dem Dach ist den vorkommenden tiefen Temperaturen besonders ausgesetzt. Um die Funktionalität und Festigkeit auch bei -50°C noch zu gewährleisten, mussten Materialien von Teilkomponenten durch hierfür geeignete Werkstoffe ersetzt werden.

7.2.2 Stromabnehmer

Auf dem *Velaro RUS* wird im AC-Betrieb der Stromabnehmer SSS400+ aus der erfolgreichen Siemens/Schuck-Stromabnehmerfamilie eingesetzt, der für Geschwindigkeiten bis über 400 km/h und für beide Fahrrichtungen verwendet werden kann. Gerade an den Stromabnehmer werden bei Hochgeschwindigkeitsfahrten ganz besonders hohe Anforderungen hinsichtlich des dynamischen Verhaltens und der Aerodynamik gestellt. Die Wippenbreite wurde an die russischen Gegebenheiten angepasst und beträgt 1 950 mm.

Im DC-Betrieb werden Stromabnehmer SSS87 mit DC-Schleifleisten verwendet. Dieser Typ ist seit Jahren auf dem deutschen Hochgeschwindigkeitszug ICE T, BR 411/415 der DB AG, im Einsatz. Die Wippenbreite beträgt 2 000 mm.

7.2.3 Hauptschalter

Für das AC-System wird ein neu entwickelter Vakuum-Hauptschalter mit der Bezeichnung MACS von Secheron eingesetzt (Bild 12). Er wird nicht mit Druckluft betätigt, sondern besitzt einen elektrischen Antrieb. Der MACS ist eine Weiterentwicklung des jahrelang erfolgreichen Hauptschalters BVAC. Das maximale Ausschaltvermögen beträgt 18 kA. Wegen des Betriebs bei Temperaturen von bis zu -50°C ist innerhalb des Hauptschalters eine Heizung integriert.

Ein Erdungstrennschalter für die Hochspannungsanlage bildet zusammen mit dem Hauptschalter eine Einheit.

Im DC-Netz wird weiterhin der bewährte Hauptschalter UR 26 von Secheron verwendet, der unterflur eingebaut ist.

7.3 Haupttransformator

Für den Betrieb im AC-Netz hat der *Velaro RUS* zwei Haupttransformatoren, die unterflur in den Wagen TR T angeordnet sind. Jeder Transformator ist mit einer Bemessungsleistung von 5 460 kW bereits für einen späteren Betrieb mit bis zu 300 km/h ausgelegt. Sekundärseitig besitzt der Transformator vier Traktionswicklungen von je 1 550 V 1 300 kVA und eine Heizwicklung von 2 990 V 260 kVA.

Die Streuinduktivitäten des Transformators sind so projektiert, dass die Grenzwerte für die Störströme ohne zusätzliche Netzfilter eingehalten werden.

Die Kühlanlage ist mit dem Transformator in einem gemeinsamen Tragrahmen starr befestigt. Dieser Tragrahmen wird dann am Fahrzeug elastisch aufgehängt.

Die Kühlanlage besteht aus Wärmetauscher, Schmutzabscheidgitter und zwei polumschaltbaren Lüftern. Durch

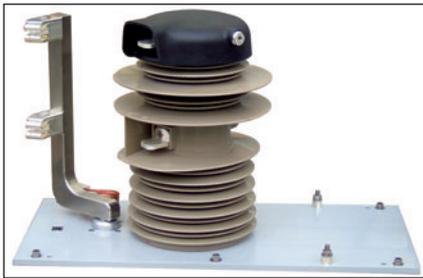


Bild 12: AC-Vakuum-Hauptschalter MACS von Secheron.

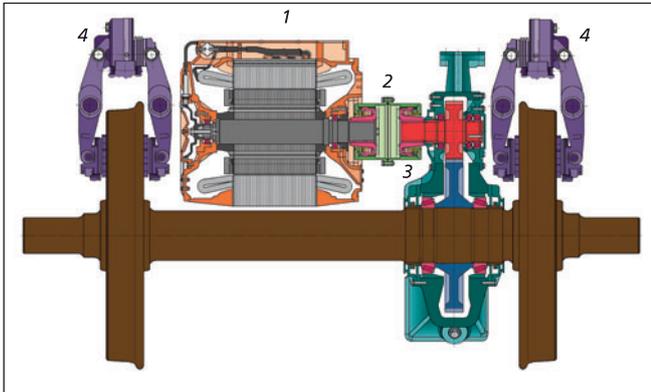


Bild 13: Prinzipdarstellung der Antriebseinheit.
 1 Fahrmotor 3 Getriebe
 2 Bogenzahnkupplung 4 Bremszange



Bild 14: Bremswiderstand.

die Polumschaltung und einzelnes Zu- und Wegschalten der Lüfter wird das Niveau der Geräuschemission gering gehalten sowie eine bedarfsabhängige Kühlung im Winterbetrieb ermöglicht. Als Kühlmittel wird ein Mineralöl verwendet, das bei -50°C noch eine hohe Viskosität aufweist.

7.4 DC-Netzfilter

Um die Anforderungen an die zulässige Störstromemission sowie die Eingangsimpedanz einzuhalten, werden im DC-Betrieb Netzfilter wirksam (Bild 9). Jedem Traktionsstromrichter ist ein eigenes Filter zugeordnet.

Besonders die Minimierung der Rückwirkungen im niederfrequenten Bereich um 25 Hz und 50 Hz stellten bei der Auslegung des Filters eine hohe Herausforderung dar. Die beiden magnetisch voneinander entkoppelten Eisenkern-Drosseln sind für einen Nennstrom von 740 A ausgelegt und in einem separaten, forciert belüfteten Container in den DR-T-Wagen (Bild 2) untergebracht. Die zugehörigen Filterkondensatoren befinden sich im Traktionsstromrichter und werden im AC-Betrieb als Saugkreis- und zusätzlicher Zwischenkreiskondensator genutzt.

7.5 Traktionsstromrichter

Vier Stromrichter sind unterflur in den Stromrichterwagen SR B und SR T angeordnet (Bild 8). Der Traktionsteil besteht aus zwei Vierquadrantenstellern, Spannungszwischenkreis, einem Pulswechselrichter, einem Bremssteller und einem Saugkreis.

Als Leistungshalbleiter werden 6,5-kV-IGBT in den vielfach eingesetzten wassergekühlten Phasen-Bausteinen verwendet, die eine kompakte Bauweise des Stromrichters bei geringem Gewicht erlauben. Die Steuerung und Regelung des Stromrichters übernimmt ein ASG der neuesten Generation.

Die Kühlanlage des Stromrichters wurde den hohen Betriebsanforderungen angepasst, indem der Antifrogen-N-Anteil erhöht wurde. Die Saugkreisdrossel ist im Abluftbereich in die Kühlanlage integriert. Die Kühlanlage besitzt zwei polumschaltbare Lüfter, die eine bedarfsabhängige Kühlung im Winterbetrieb ermöglichen und dadurch wiederum die Geräuschemission gering halten. Der Ausfall eines Lüfters führt zu Leistungsreduktionen, nicht jedoch zum Abschalten des gesamten Stromrichters.

7.6 Antrieb

Der *Velaro RUS* wird von insgesamt 16 Antriebseinheiten, bestehend aus Fahrmotor, Kupplung und Getriebe angetrieben (Bild 13), die sich alle in den vier Stromrichterwagen befinden (Bild 8). Je zwei Fahrmotoren sind im Triebdrehgestell in Fahrzeugquerrichtung an einem Motorträger befestigt. Diese Motorträger sind über eine querelastische Entkopplung im Drehgestellrahmen eingebaut. Dies führt zu einer Reduzierung der ungefederten Massen und dadurch zu einer Erhöhung des Fahrkomforts sowie einer Minderung der Beanspruchung des Oberbaus.

Der Fahrmotor ist als vierpolige Drehstrom-Asynchronmaschine mit Käfigläufer ausgeführt. Seine Bemessungsleistung beträgt 510 kW.

Die beiden Fahrmotoren eines Drehgestells werden durch einen gemeinsamen Lüfter gekühlt, der in der Bodenwanne des Wagenkastens angeordnet ist und die Kühlluft seitlich aus der Bodenwanne ansaugt. Die Luft wird durch in den Wagenboden integrierte Kanäle geleitet und strömt über Faltenbälge zu den Fahrmotoren im Drehgestell.

Die betrieblich auftretenden Relativbewegungen zwischen Fahrmotor und achsreitendem Getriebe werden durch eine Bogenzahnkupplung ausgeglichen. Unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Drehzahl des Fahrmotors wurde zum Erreichen der später vorgesehenen Höchstgeschwindigkeit von 300 km/h die Getriebeübersetzung auf 3,033 festgelegt.

7.7 Bremswiderstand

Der *Velaro RUS* verfügt über eine rheostatische Bremse mit insgesamt 3 600 kW Leistung am Rad (Bild 11), die allerdings nur dann einsetzt, wenn die elektrische Bremse angefordert wurde und das Netz aber, kurzzeitig oder dauernd, eine Energierückspeisung nicht oder nur begrenzt zulässt.

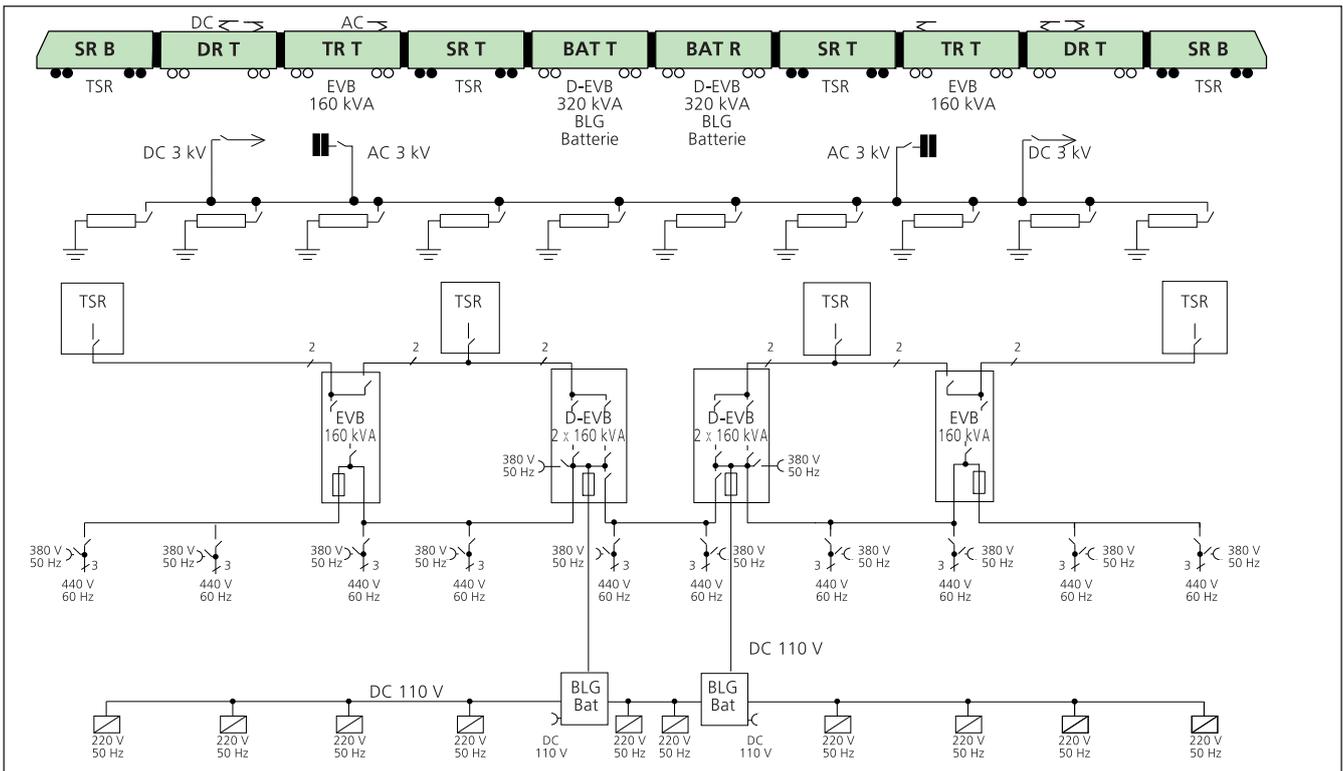


Bild 15: Bordnetzversorgung.

TSR Traktionsstromrichter D-EVB Doppel-Energieversorgungsblock BLG Batterieladegerät Bat Batterie
 übrige Abkürzungen siehe Bild 2 und Text

Je zwei forciert belüftete Bremswiderstände (Bild 14) sind in einem Gehäuse auf dem Dach der beiden Batteriewagen angeordnet. Jedem Traktionsstromrichter ist ein Bremswiderstand zugeordnet. Die Bremswiderstände werden auch zur Begrenzung von Überspannungen im Traktionszwischenkreis verwendet.

8 Bordnetzversorgung

8.1 Versorgungsstruktur

Das komplette Bordnetz mit den Hilfsbetrieben unter anderem für Traktion, Heizung, Klima, Beleuchtung und Druckluft-erzeugung, wird unabhängig vom Fahrleitungsnetz aus den Zwischenkreisen der Traktionsstromrichter gespeist (Bild 15). Bei Durchfahrt von Trennstellen zwischen AC- und DC-Netz kann das komplette Bordnetz ohne Umschaltung weiterversorgt werden, indem die Fahrmotoren die hierfür erforderliche elektrische Energie im Rückspeisebetrieb liefern (Bild 9).

Sehr wichtig ist die hohe Verfügbarkeit des Bordnetzes, besonders auch bei Temperaturen bis -50°C . Daher ist die Bordnetzversorgung des Zuges auf zwei Einfach-Energieversorgungsblöcke (EVB) und zwei Doppel-EVB verteilt (Bild 16). Jeder EVB hat eine Ausgangsleistung von 160 kVA, somit beträgt die gesamte installierte Bordnetz-Versorgungsleistung 960 kVA. Die Ausgangsspannungen der sechs EVB sind synchronisiert und erlauben somit Durchkuppelung und gleichzeitige Speisung der 3AC-Zugsammelschiene. Die Versorgungsspannung beträgt 3AC 440V 60 Hz.

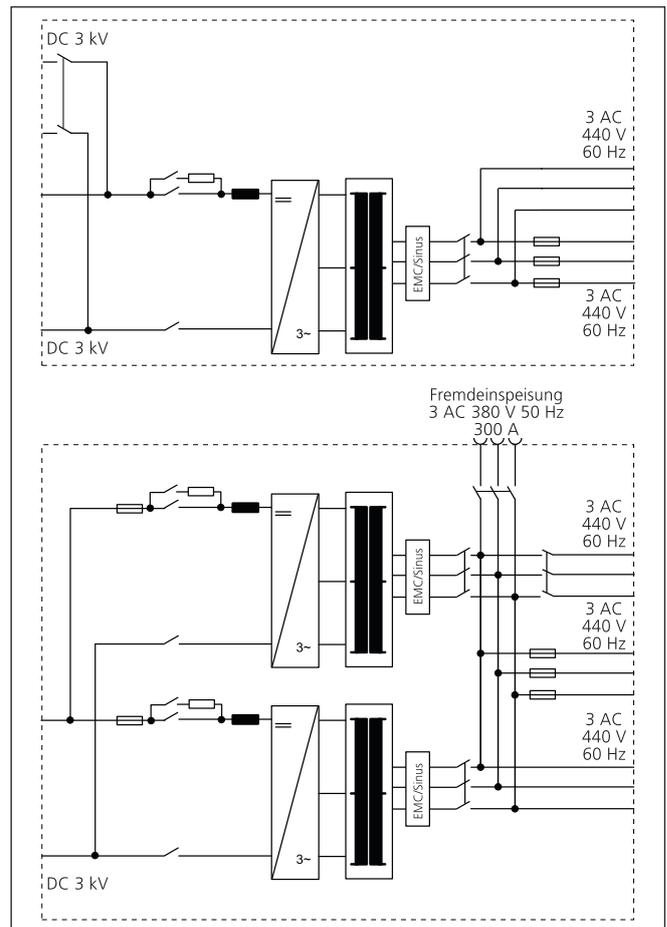


Bild 16: Prinzipschaltbild des Einfach- (oben) und Doppel-Energieversorgungsblocks (unten).



Bild 17: Einfach-Energieversorgungsblock 160 kVA.

Bei Ausfall eines EVB können sämtliche Hilfsbetriebe ohne Leistungseinbuße weiterbetrieben werden.

Die Heizung wird zu einem Teil aus dieser Zugsammelschiene und zum anderen Teil aus dem Netz gespeist, bei DC-Betrieb direkt und bei AC-Betrieb aus der Heizwicklung des Transformators. Das Heizungssystem wurde dazu aus Redundanzgründen für eine zusätzliche Heizspannung von 3 kV ausgelegt, um auch bei Ausfall des Bordnetzes die Heizung zu ermöglichen.

Das batteriegepufferte DC-110-V-Netz für die Steuerungsebene wird über zwei Batterieladegeräte mit je 60 kW, die über das AC-Bordnetz gespeist werden, versorgt.

Eine Fremdeinspeisung ist zentral an den beiden Doppel-EVB möglich. Zur Erhöhung der Leistung für Heizung/Klima kann jeder Wagen auch separat an die Fremdeinspeisung geschaltet werden.

8.2 Energieversorgungsblock

Der EVB des *Velaro RUS* ist in IGBT-Technologie mit Luftkühlung ausgeführt (Bild 17). Im Parallelbetrieb versorgen alle sechs PWR die leistungsstarke 3AC-Sammelschiene. Die nötige Potenzialtrennung wird mittels eines 3AC-Transformators mit Sinus- und EMV-Filter am Ausgang realisiert. Jeder EVB besitzt eine eigene Vorladeeinrichtung und kann im Fehlerfall ausgruppiert werden, ohne die weiteren EVB und Traktionsstromrichter zu beeinflussen.

Die EVB werden mit der Mikroprozessor-Kompaktsteuerung *Sibcos* gesteuert.

Eine spezielle Herausforderung, die bei der Auslegung des Bordnetzumrichters mit berücksichtigt werden musste, ist der Hochlauf und Betrieb des Umrichters bei Außentemperaturen von bis zu -50°C . Hierzu mussten für einige mechanische Komponenten speziell ertüchtigte Ausführungen für niedrige Temperaturklassen gewählt werden. Der EVB besitzt keine Zusatzheizung. Daher müssen für das Abstellen des Zuges unter -40°C bestimmte Bedingungen eingehalten werden, zum Beispiel darf der Triebzug hier nur aufgerüstet oder in einer Zughalle abgestellt werden.

9 Ausblick

Mit den Triebzügen *Velaro-RUS* wird die russische Eisenbahngesellschaft OAO RZD in Russland den HGV mit

250 km/h einführen. Später soll die maximale Geschwindigkeit auf 300 km/h oder mehr erhöht werden.

Velaro, Sibas, Sibcos sind eingetragene Markenzeichen der Siemens AG. ICE ist ein eingetragenes Markenzeichen der Deutschen Bahn AG.

Literatur

- [1] Brockmeyer, A.; Gerhard, T.; Lübben, E.: Vom ICE S zum Velaro: 10 Jahre Betriebserfahrung mit Hochgeschwindigkeits-Triebwagen. In: Elektrische Bahnen 105 (2007), H. 6, S. 362–368.
- [2] N. N.: Sibas 32 – Das Steuerungssystem für alle Schienenfahrzeuge. Druckschrift von Siemens Transportation Systems.
- [3] Horstmann, D.; Budzinski, F.; Pirwitz, J.: Die Mehrsystemtraktionsausrüstung des Hochgeschwindigkeitszuges Velaro für Russland. ETG-Fachbericht Nr. 107 (2007), S. 403 ff.

Dr. Dipl.-Ing. *Andreas Lipp* (47), Studium Industrielle Elektronik am Kiewer Polytechnischen Institut; seit 2005 Technischer Projektleiter Hochgeschwindigkeitszüge für Russland.

Adresse: Siemens AG, I MO TR HI RUS,
Werner-von-Siemens-Str. 69, 91052 Erlangen, Deutschland;
Fon: +49 9131 7-28372, Fax: -27529;
E-Mail: andreas.lipp@siemens.com

Dipl.-Ing. Dipl.-Phys *David John* (47), Studium Physik an der TU Dresden; seit 2006 Direktor Hochgeschwindigkeitszüge und Schnellzüge für Russland.

Adresse: siehe oben;
Fon: +49 9131 7-44466, Fax: -27529;
E-Mail: david.john@siemens.com

Dipl.-Ing. *Rüdiger Mangler* (35), Studium Maschinenbau an TU Dresden und Université de Bordeaux; seit 2005 Engineering-Projektleiter Hochgeschwindigkeitszüge für Russland.

Adresse: Siemens AG, I MO TR DH, Duisburger Str. 145,
47829 Krefeld, Deutschland;
Fon: +49 2151 450-83 80, Fax: -1660;
E-Mail: ruediger.mangler@siemens.com

Dipl.-Ing. *Aleksander S. Nazarov* (50), Studium Eisenbahnwesen am Moskauer Institut für Ingenieure des Transportwesens; seit 2005 1. Stellvertreter für technische Politik und Projektleiter Hochgeschwindigkeitszüge Siemens von Seiten OAO RZD, Moskau.

Adresse: OAO „RZD“ Moskau,
1. Stellvertretender Leiter des Departments
für technische Politik, Novaya Basmannaya, 2,
107174 Moskau, Russland;
Fon: +7 495 262-1895, Fax: 5499;
E-Mail: nazarovas@center.rzd.ru

Dr.-Ing. *Oleg N. Nazarov* (43), Studium Traktionsfahrzeuge am Moskauer Institut für Ingenieure des Transportwesens; seit 2002 Abteilungsleiter Triebzüge des Allrussischen Eisenbahninstituts für Transport, Moskau.

Adresse: VNIIZhT Moskau, stellvertretender Direktor VNIIZhT,
3 Mytixinskaya, 10,
129851 Moskau, Russland;
Fon: +7 495 687-6472, Fax: -6456;
E-Mail: oleg.nazarov@vniizht.ru

Full Ph. Dr. Tech. *Vitali P. Shilkin* (46), Studium Kettenfahrzeuge an der Moskauer staatlichen Hochschule N. E. Baumann; seit 2007 Stellvertretender Direktor für Hochgeschwindigkeitsverkehr und Triebzüge OAO RZD, Moskau.

Adresse: OAO „RZD“, Olkhovskii per. d.205,
105066 Moskau, Russland;
Fon: +7 495 262-6831, Fax: -1210;
E-Mail: otdel-mtd@pkbct.ru