Die Vororttriebzüge RABDe 12/12 1101-1120 der SBB

Autor(en): **Rutschmann, Jakob / Desponds, Marcel**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **85 (1967)**

Heft 22

PDF erstellt am: **15.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-69463

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, ZÜRICH

Die Vororttriebzüge RABDe 12/12 1101–1120 der SBB

DK 625.285

Von **Jakob Rutschmann**, dipl. Ing., Stellvertreter des Obermaschineningenieurs der Kreisdirektion III, Zürich, und **Marcel Desponds**, dipl. Ing., Adjunkt bei der Sektion Triebfahrzeugbau der Generaldirektion der SBB, Bern

A. Einleitung

Der Vorortverkehr wurde von den Bahnen in den letzten Jahrzehnten unterschiedlich gepflegt. Er erfordert wegen seiner stark wechselnden Anzahl Reisenden mit ausgeprägten Spitzenfrequenzen und den aus sozialen Gründen niedrig gehaltenen Tarifen die Bereitstellung von viel Rollmaterial und Personal, ergibt jedoch nur verhältnismässig geringe Einnahmen. Es ist deshalb verständlich, dass gewisse Strecken des Vorortverkehrs im Ausbau zurückgeblieben sind. Mit der Zunahme der Bevölkerungszahl, der Ausdehnung der Besiedlungsflächen und den steigenden Verkehrsschwierigkeiten auf den Strassen und in den grossen Geschäftszentren beginnt man die Möglichkeiten der Eisenbahn als leistungsfähiges, öffentliches Verkehrsmittel wieder zu erkennen. Dieser Verkehrsweg hat meist von alters her noch den Vorteil, dass er mitten in die Verkehrszentren hineinführt, jedoch ausgebaut werden muss, um den heutigen Anforderungen genügen zu können. Ein Beispiel eines derartigen Verkehrswegs stellt die 36 km lange Strecke Zürich–Meilen–Rapperswil dar. Sie weist einen ausgesprochenen Vorortsverkehr auf, der stetig zugenommen hat. Die Gestaltung des Fahrplans wurde infolge der ungenügenden baulichen Anlagen dieser einspurigen Linie immer schwieriger. Die vielen Zugskreuzungen führten zu langen Fahrzeiten und häufigen Verspätungen. Dieser Betrieb vermochte den Anforderungen nicht mehr zu genügen.

Untersuchungen wurden angestellt, *um mit tragbarem finanziellem Aufwand innerhalb relativ kurzer Frist für die ganze Strecke eine entscheidende Sanierung zu erreichen.* Unter diesen Bedingungen schied der Ausbau der ganzen Strecke auf Doppelspur wegen den hohen Kosten und den Schwierigkeiten beim Landerwerb und beim Bau gewisser Abschnitte als an und für sich beste Lösung aus. Neben den baulichen und betrieblichen Verbesserungsmöglichkeiten wurde deshalb in besonderem Masse die Verbesserung der Zugförderung untersucht. Aus den Untersuchungen ging folgende Lösung zur Sanierung der Betriebsverhältnisse auf der rechtsufrigen Zürichseelinie hervor:

— Führung von artreinen Zügen, das heisst von Reisezügen, von Zügen mit güterdienstlichen Nebenaufgaben und von Güterzügen,
— Verkürzung der Fahrzeiten aller Züge, besonders der Reisezüge,
— Einführung eines starren Fahrplans für die Reisezüge mit Intervallen von 30 Minuten auf der ganzen Strecke.

Die erste Massnahme ist rein betriebstechnischer Art und wurde zu einem Teil schon vor längerer Zeit verwirklicht.

Um das zweite Ziel zu erreichen, muss bei den gegebenen kurzen Haltestellenabständen und der durch die vielen Kurven beschränkten Höchstgeschwindigkeit der Strecke durch eine hohe Beschleunigung beim Anfahren und starke Verzögerung beim Bremsen eine möglichst hohe Reisegeschwindigkeit angestrebt werden, wobei der Reisekomfort nicht beeinträchtigt werden darf. Die SBB haben sich aus diesem Grund für die Anschaffung von speziellen Triebwagenzügen nach Bild 2 und 3 entschlossen, die es erlauben, die Strecke Zürich–Rapperswil mit 15 Zwischenhalten in 51 Minuten (Stadelhofen–Rapperswil 41 Minuten) bei einer mittleren Reisegeschwindigkeit von 44 km/h zurückzulegen. Heute betragen diese Fahrzeiten bis zu 83 Minuten. Da für diese Triebwagenzüge eine Wendezeit von 9 Minuten genügt, erhält man einen Zugumlauf, der es erlaubt, den vorgesehenen starren Fahrplan mit einem Minimum an Rollmaterial zu verwirklichen.

Da im starren Fahrplan die – in diesem Falle drei – Zugkreuzungspunkte immer an derselben Stelle stattfinden, konnte man sich darauf beschränken, diese Streckenabschnitte entsprechend auszubauen und auf der restlichen, weiterhin einspurigen Strecke lediglich die Signal-, Sicherungs- und Gleisanlagen der Stationen zu modernisieren (Bild 1). Die Zugskreuzungen werden im Bahnhof Stadelhofen und auf den neuen Doppelspurabschnitten Küsnacht–Herrliberg (4,8 km) und Stäfa–Uerikon (2,5 km) stattfinden. Stadelhofen kann als Fixpunkt des Fahrplanschemas betrachtet werden. Alle Züge erhalten hier einen Aufenthalt von drei Minuten. Für Zürich Hauptbahnhof hat diese Lösung den grossen Vorteil, dass sich nur sehr kurze Belegungszeiten der Gleise und praktisch keine Rangierfahrten ergeben. Davon wird der Verkehr auf den übrigen in Zürich endenden Strecken profitieren.

B. Die Entwicklung der Triebwagenzüge

Das Studium des Verkehrs ergab die Notwendigkeit von Zugelementen mit rund 200 Sitzplätzen und einem kleinen Gepäckabteil für aufgegebenes Reisegepäck. Durch niedrige Fussbodenhöhe und grössere Anzahl Einstiege als beim normalen Rollmaterial sollte ein rasches Ein- und Aussteigen ermöglicht werden, was sehr kurze Haltezeiten auf den Stationen erlaubt und wesentlich ist für die Einhaltung der angestrebten kurzen Fahrzeit. In den Stosszeiten sollen drei bis vier Züge auf einfache Art gekuppelt und von einem Führerstand aus ferngesteuert werden. Das hohe Beschleunigungs- und Verzögerungsvermögen bedingte eine gegenüber einem konventionellen Personenzug relativ hohe installierte Leistung und eine wirksame elektrische

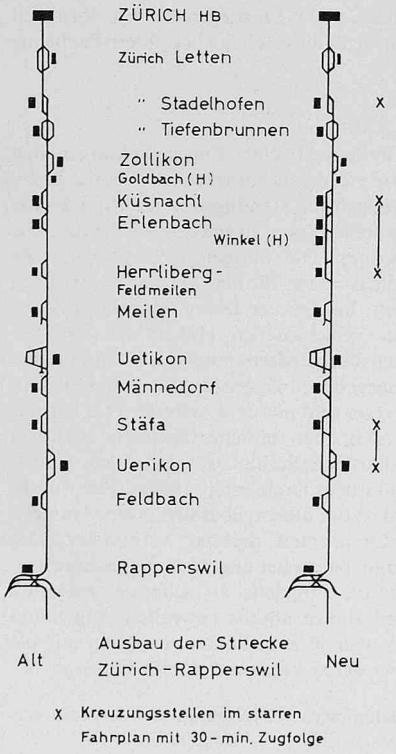


Bild 1 (links). Schematischer Streckenplan

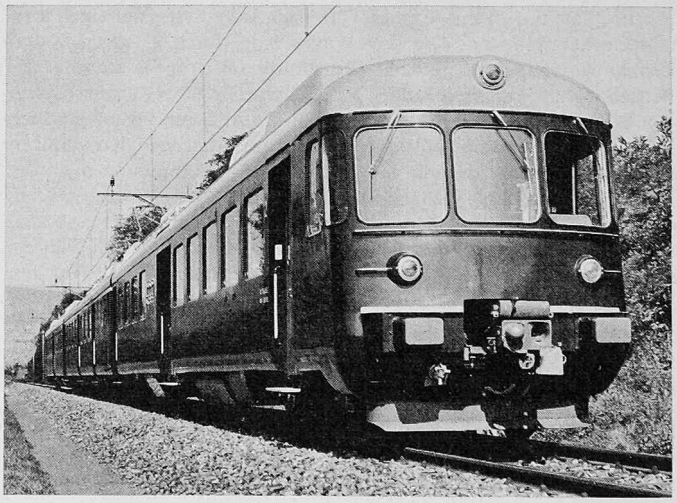


Bild 2 (rechts). Aussenansicht des Vorortzuges RABDe 12/12 1101—1120

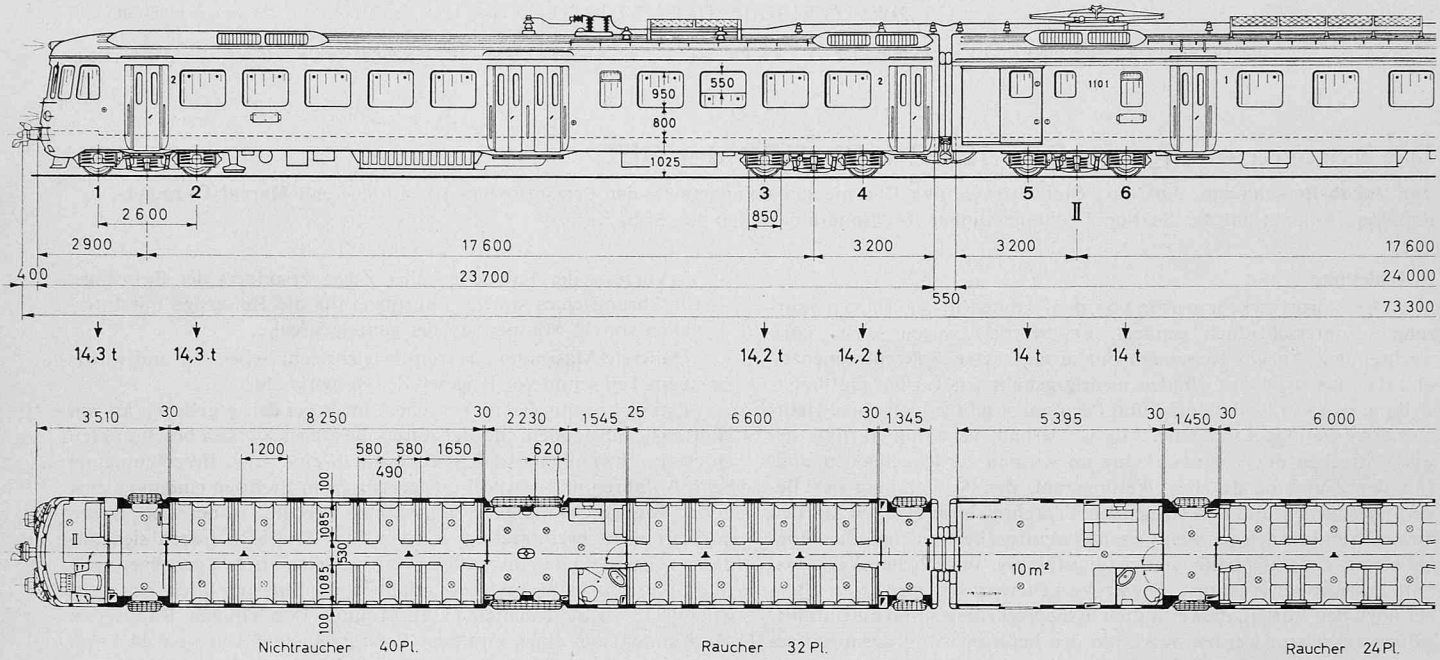


Bild 3. Typenskizze RABDe 12/12 1101—1120

Bremse. Diese Bedingungen führten im Vorprojekt zu einem aus drei Wagen bestehenden Triebzug, bei dem alle 12 Achsen als Triebachsen vorgesehen waren. Diese Grundlagen bildeten den Ausgangspunkt für die Konstruktion der RABDe 12/12 1101–1120.

Im Jahre 1957 veranstalteten die SBB einen Konstruktionswettbewerb für einen den obigen Anforderungen entsprechenden Vorortriebzug. Auf Grund der eingereichten Arbeiten wurde 1958 die Firma Schindler Waggon AG in Pratteln (SWP) mit einem Konstruktionsauftrag betraut. Nach verschiedenen durch zusätzliche Untersuchungen verursachten Verzögerungen bewilligte der Verwaltungsrat der SBB im Juli 1963 einen Kredit von 57 Mio Fr. für die Anschaffung von zwanzig RABDe 12/12. SWP blieb verantwortlich für die Gesamtkonzeption des wagenbaulichen Teils und für Konstruktion und Bau aller Drehgestelle und der Endwagen. Den Flug- und Fahrzeugwerken AG in Altenrhein (FFA) wurde Bau und Konstruktion der Mittelwagenkasten, den Ateliers de Sécheron SA in Genf (SAAS) Projektierung und Bau des elektrischen Teils übertragen. Die Einzelachsantriebe stammen von der AG Brown, Boveri und Cie., Baden (BBC). Die ganze Entwicklung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem Zugförderungs- und Werkstättedienst der SBB.

C. Der Aufbau der RABDe 12/12

Der neue Vorortriebzug besteht aus zwei austauschbaren Endwagen und dem Mittelwagen (Bild 3). Die Länge des RABDe 12/12 beträgt über die Kupplungsebenen gemessen 73,3 m, sein Gewicht 170 t. Jeder Endwagen ist eingeteilt in einen Führerstand mit zwei Mitfahrersitzen, drei Einstiegplattformen mit total 4 Türen nach jeder Seite und in zwei Abteile 2. Klasse mit zusammen 72 Sitzplätzen. Der Mittelwagen weist zwei Abteile 1. Klasse mit total 56 Sitzplätzen, drei Einstiegplattformen mit je einer Türe nach jeder Seite und einen kleinen Gepäckraum auf. Die drei Wagen sind durch gefederte Kurzkupplungen, welche Zug- und Stosskräfte übertragen, zu einer im Betrieb nicht trennbaren Einheit verbunden. Die Übergänge zwischen den Wagen sind durch gewöhnliche, von den neueren Personenwagen her bekannten Gummiwülste geschützt. Automatische Kupplungen an den Stirnseiten, die mit der mechanischen Verbindung auch die Luft-, Vorheiz- und Vielfach-Steuerleitungen kuppeln, ermöglichen ein rasches Verbinden oder Trennen der Triebzüge. Der Fussboden läuft ohne jegliche Rampe oder Stufe zwischen den beiden Führerstandrückwänden eines Zuges durch. Es sind keine Stirntüren für den Durchgang von einem Zug auf den andern vorhanden. Die elektrische Ausrüstung ist auf den Wagendächern, in den Führerständen und Apparateräumen der Mittelplattformen der Endwagen und im Gepäckabteil, sowie unter dem Wagenboden untergebracht. Alle zwölf Achsen des Triebzugs sind einzeln angetrieben. Diese Lösung bietet bezüglich Adhäsion zwischen Rädern und Schiene beim Anfahren und Bremsen Vorteile. Sie erlaubte ausserdem einheitliche Gestaltung der Drehgestelle, was sich auf die Fahreigenschaften günstig auswirkt, und sie erleichterte es dem Konstrukteur, die Forderung nach ausgeglichenen Achsdrücken zu erfüllen.

Tabelle 1. An den Achslagern angebaute Apparate

Drehgestell	Achse	links	rechts
1	1	Gleitschutzregler	Erdungsbürste
	2	Gleitschutzregler	Erdungsbürste
2	3	Erdungsbürste	Kilometerzähler
	4	Erdungsbürste	—
3^{I}	5^{I}	—	—
	6^{I}	—	—
3^{II}	5^{II}	Geber	Geber
	6^{II}	—	Kilometerzähler

Bei der Konstruktion des wagenbaulichen Teils wurden die Erfahrungen vom Bau der Einheitswagen [5]*), von denen schon mehr als 1000 Stück im Betrieb stehen, und der RBe 4/4-Triebwagen [4] verwertet. Die Verwendung relativ kleiner Räder, die niedere Fussbodenhöhe, die Unterbringung der umfangreichen elektrischen Ausrüstung und die Forderung nach mehr Einstiegen als bei normalen Personenwagen gaben den Konstrukteuren einige besondere Probleme zu lösen.

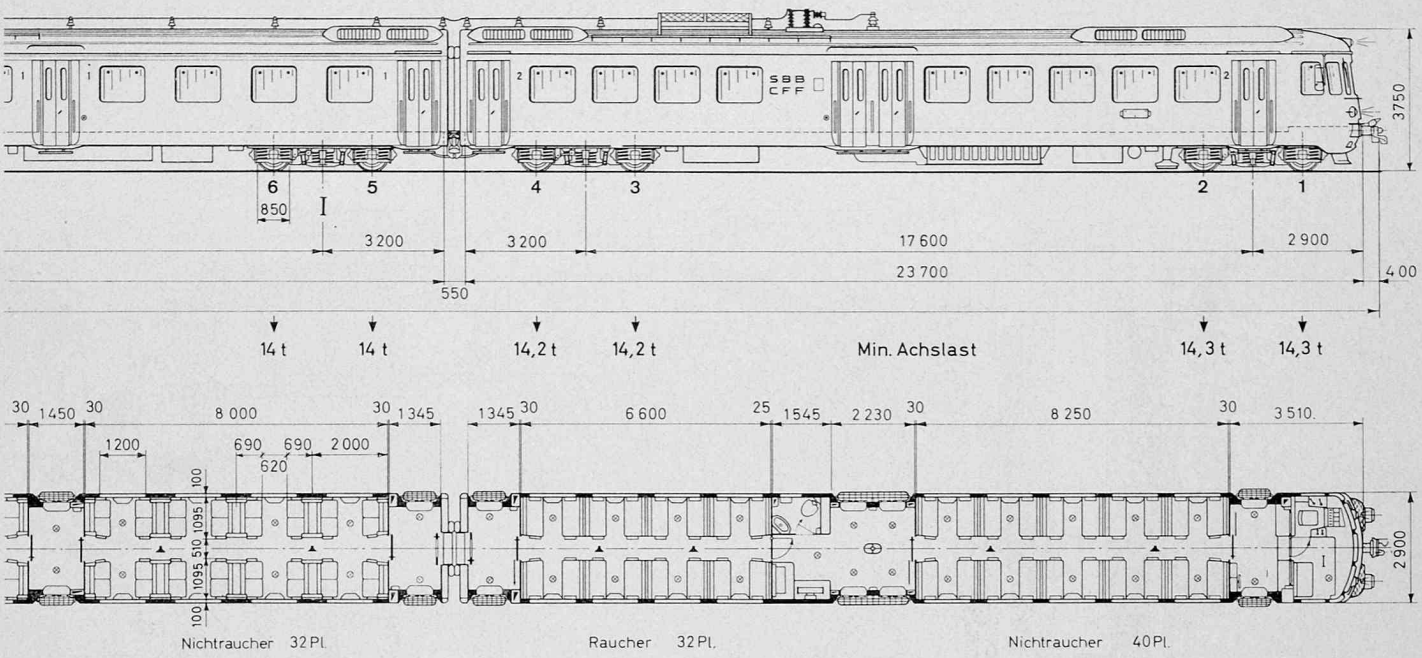
D. Die mechanische Ausrüstung

a) Die Drehgestelle (Bilder 4–8, 10 und 12)

Die sechs zweiachsigen Drehgestelle eines Zuges sind, abgesehen von der Traverse für die Magnete der automatischen Zugsicherung und den zusätzlichen Einrichtungen für Handbremse und Spurkranzschmierung an den Enddrehgestellen, von gleicher Ausführung. Alle Enddrehgestelle sind austauschbar. Die übrigen Drehgestelle eines Zuges unterscheiden sich lediglich in den für eine genaue Zentrierung des Federantriebs notwendigen, infolge der leicht unterschiedlichen Achsdrücke des leeren Zuges verschiedenen Höhen der Beilagen (Pos. 4 in Bild 5) unter den Achsbüchsfedern. Ausserdem sind an den Achslagern die in Tabelle 1 angegebenen Apparate angebaut (Bilder 4 und 5). Der Zweck dieser Apparate geht aus dem weiteren Text hervor.

Der Wagenkasten stützt sich über seitliche Gleitlager in Form einer im Ölbad auf einer gehärteten Stahlplatte gleitenden Kugelkalotte aus Bronze auf den unter dem Drehgestellrahmen quer durchlaufenden Wiegenträger ab und ist mit diesem über den in eine Gummi-Verbundfeder eingepressten Drehzapfen drehbar verbunden. Der Wiegenträger ruht über beidseitig paarweise angeordneten Schraubenfedern auf den Federträgern, die ihrerseits an schwach geneigten Pendeln aussen am Drehgestellrahmen allseits beweglich aufgehängt sind. Der Rahmen stützt sich über je zwei Schraubenfedern auf die vier Achslagergehäuse und über deren Lager auf die Radsätze ab.

*) Die Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.



Jedes Achslager (Bild 5) enthält ein doppelreihiges Pendelrollenlager, in dem der 150 mm dicke Achsschenkel gelagert ist. Die Radsätze sind schwedischer Herkunft. Auf drei leicht konischen Nabensitzen der Achswelle sind die beiden Scheibenräder und der Mitnehmer des Federantriebs aufgepresst. Die Radreifen entsprechen in ihrer chemischen Zusammensetzung und der Festigkeit von 80–92 kg/mm² den für SBB-Triebfahrzeuge üblichen Normen.

Die Form der Radscheiben wurde nach eingehenden Berechnungen auf Grund der letzten Erfahrungen so festgelegt, dass weder durch die Seitenkräfte während der Fahrt, noch durch die Temperaturdifferenzen im Rad beim Bremsen ausgeprägte Spannungsspitzen entstehen. Die Radreifen können von einem Durchmesser von 850 mm im Neuzustand bis auf 780 mm abgenützt werden. Dieser Laufkreisdurchmesser bedingt aus Sicherheitsgründen ein spezielles Spur-

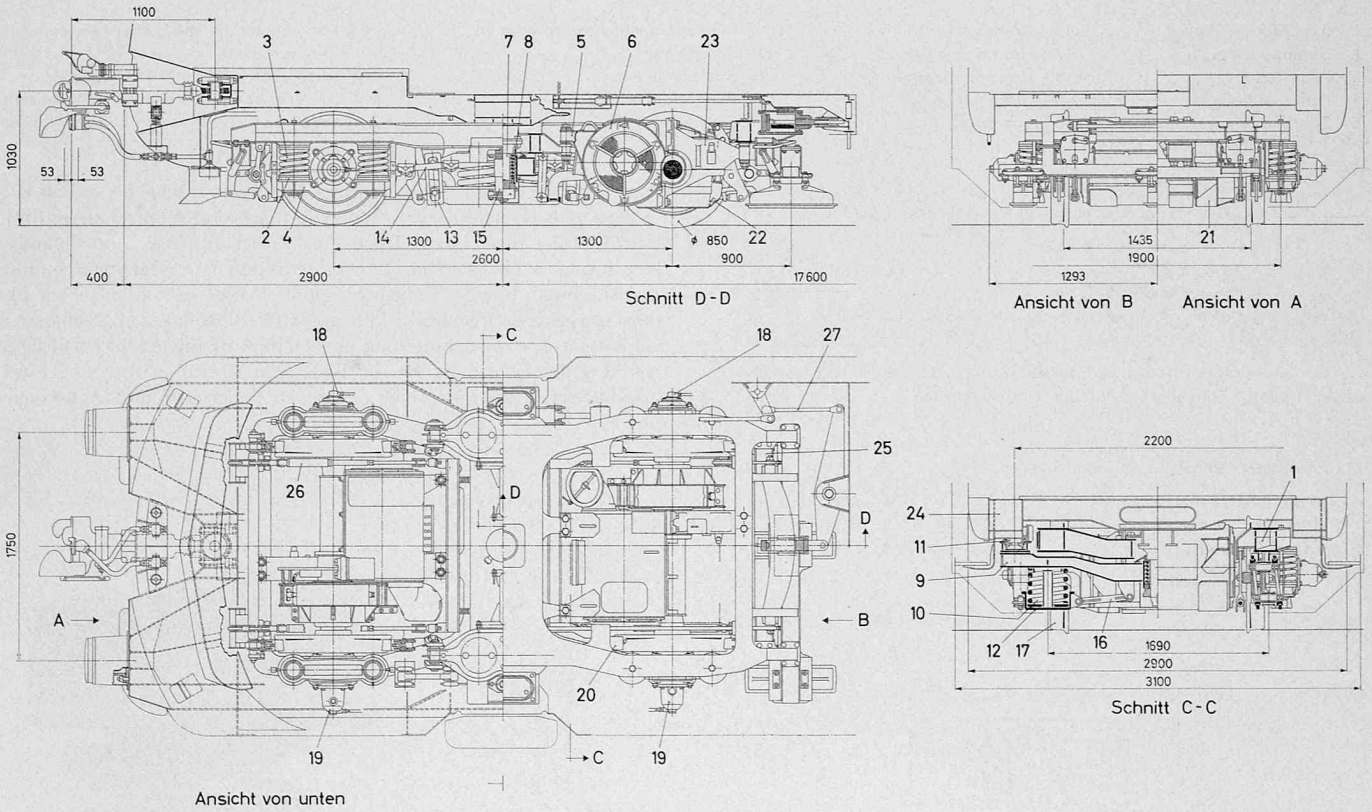


Bild 4. Drehgestell

1 Drehgestellrahmen
2 Gummielement
3 Schraubenfeder
4 Achslagergehäuse
5 Fahrmotorabstützung
6 Fahrmotor
7 Mitnehmerzapfen
8 Verbundfeder
9 Wiegenträger
10 Kastentragfeder
11 Sphärisches Gleitlager
12 Federträger
13 Pendel
14 Wiegenmitnehmer
15 Hydraulischer Stossdämpfer
16 Spurstange
17 Radsatz
18 Erdungsbürste
19 Gleitschutzregler
20 Spritzdüsen für Spurkranzschmierung
21 Getriebeverschalung zu Federantrieb
22 Oeleinfüllstutzen mit Messstab
23 Hohlwellenstummel
24 Kasten-Stützfuss
25 Bremszylinder
26 Bremsgestängeregler
27 Zugstange für Handbremse

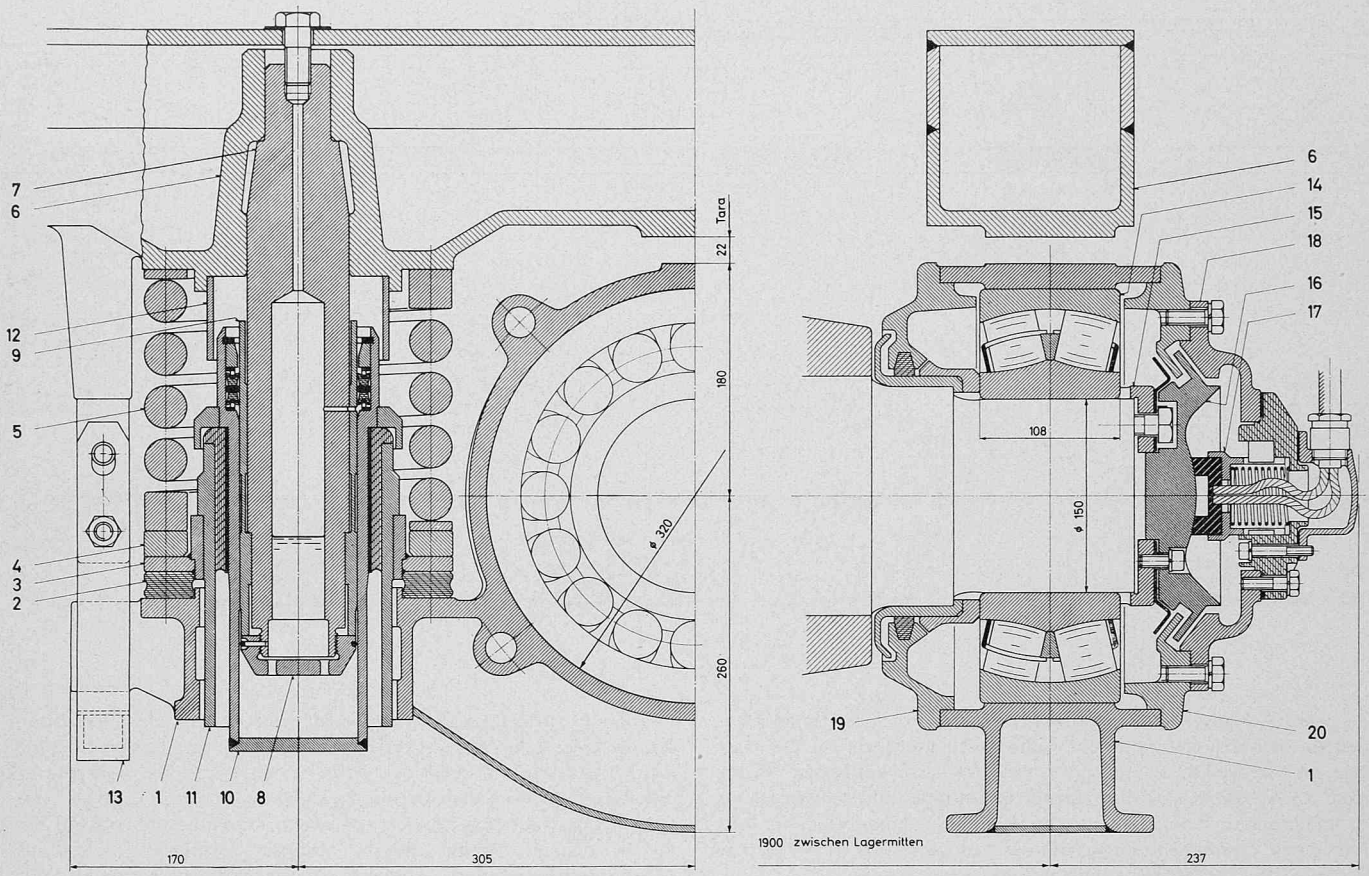


Bild 5. Achslagerführung und Achslagergehäuse mit Erdungsbürste

1 Achslagergehäuse
2 Gummiunterlage
3 Federteller
4 Feder-Auflage
5 Schraubenfeder
6 Drehgestell-Rahmen
7 Führungszapfen
8 Dämpfungsmutter
9 Gleitbüchse
10 Führungsrohr
11 Führungsbüchse mit Silentbloc
12 Schutzrohr
13 Sicherungsbügel
14 Pendelrollenlager
15 Sicherungsscheibe
16 Kontaktscheibe mit Labyrinthring
17 Erdungsbürste
18 Abschlussdeckel mit Isolierstück
19 Hinterer Lagerdeckel mit Dichtungsring
20 Vorderer Lagerdeckel mit Labyrinthring

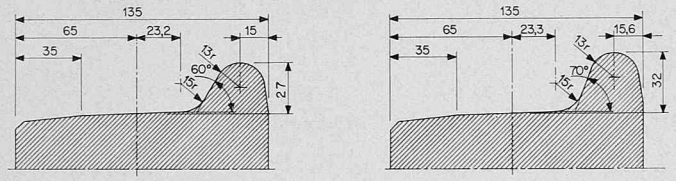


Bild 6. Radreifenprofile. Links: Normales Profil für Trieb- und Personenwagen. Rechts: Spezialprofil für die Vororttriebzüge

kranzprofil nach Bild 6, bei dem der Spurkranz höher als üblich ist.

Die Achslagerführungen sind zylindrisch und spielfrei ausgeführt (Bild 5). Eine Bronzegleitbüchse 9 ist durch die sogenannte Dämpfungsmutter 8 mit dem im Drehgestellrahmen 6 eingepressten und verschraubten, hohlen Führungszapfen 7 fest verbunden. Das im Achslagergehäuse 1 gelagerte Führungsrohr 10 ist unten abgeschlossen und enthält das zur Schmierung und Dämpfung dienende Ölbad. Die Lagerung des Führungsrohrs im Federteller 3 erfolgt über eine Führungsbüchse 11 mit Silentbloc. Zwischen Federteller und Achslager-

Bild 7 (unten). Schnitt durch den Radsatz

1 Hohlwellenstummel
2 Rollenlager für das grosse Zahnrad
3 grosses Zahnrad
4 Achswelle
5 Mitnehmer
6 Labyrinthring
7 Verschalung
8 Federkammer
9 Federpaket

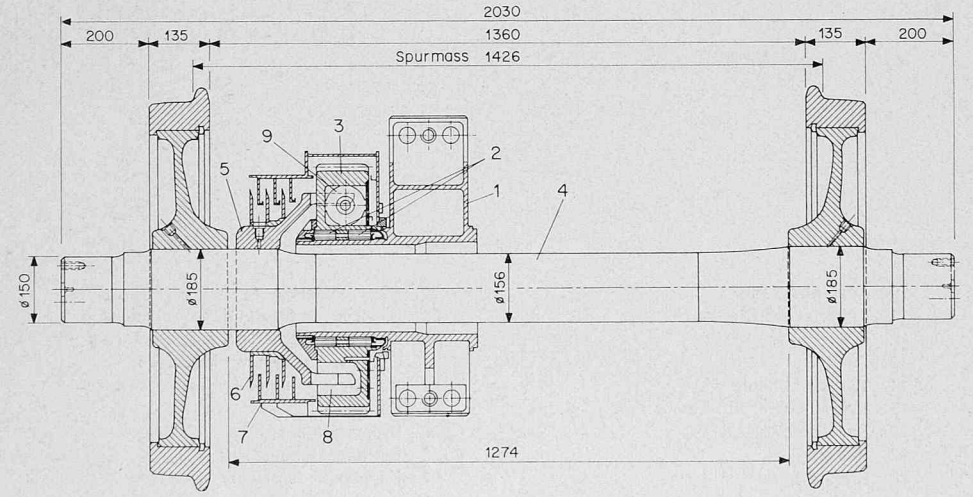
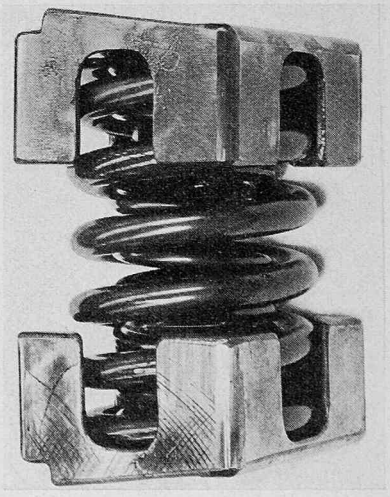


Bild 8. Federpaket



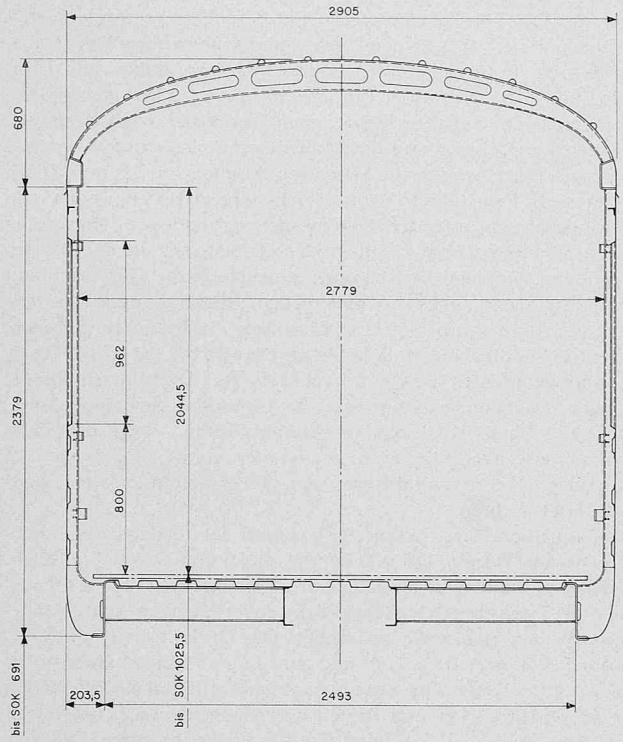


Bild 9. Schnitt durch den Wagenkasten

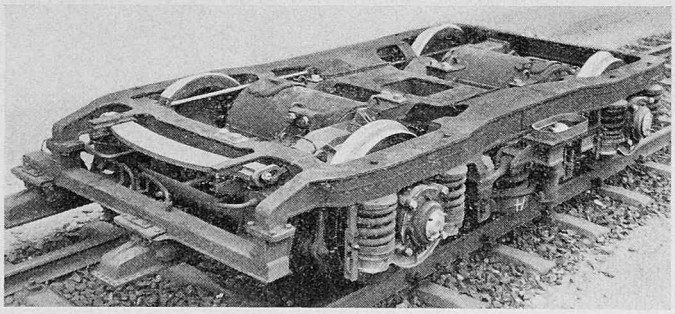
gehäuse befindet sich eine Gummiunterlage 2. Es besteht somit keine metallische Verbindung zwischen Achslager und Drehgestellrahmen, was sich günstig auf die Fahrgeräusche des Zuges auswirkt.

Der Drehgestellrahmen mit einer breiten mittleren Quertraverse ist vollständig elektrisch geschweisst und als rechteckiger Hohlkörper ausgebildet. Die komplizierteren unteren Partien der Langträger sind im Bereich der Achslagerungen aus Stahlguss, die übrigen Teile aus Stahlblechen hergestellt. Auf Bild 10 sind die Verbindungsschweissnähte deutlich sichtbar.

Jede Achse wird einzeln von einem quer im Drehgestellrahmen gelagerten Fahrmotor über einen Brown-Boveri-Federantrieb mit Hohlwellenstummel angetrieben (siehe Bilder 4, 7, 8, 10 und 12). Das Antriebsdrehmoment wird vom Ritzel des Motors in einem Übersetzungsverhältnis von 1:2,913 auf das im Hohlwellenstummel 23 (Bild 4) bzw. 1 (Bild 7) auf zwei Rollenlagern 2 drehende grosse Zahnrad 3 übertragen. Das Motorritzel und das grosse Zahnrad sind schrägverzahnt und stehen stets in korrektem Eingriff, da der Fahrmotor und der Hohlwellenstummel zu einer starren Einheit verschraubt sind. Diese Einheit ist einerseits über zwei Motor-Tragarme und harte Gummizwischenlagen mit der Mitteltraverse des Drehgestellrahmens, anderseits über einen Tragarm am Hohlwellenstummel mit der Kopftraverse verschraubt (siehe Schnitt D-D in Bild 4, Pos. 5, 6 und 23). Der Hohlwellenstummel umschliesst dabei die Achswelle mit einem für die Achsbüchsfederung notwendigen Spiel. Dieses Spiel für die Achsdurchfederung ist auch im Antrieb

Bild 12 (rechts). BBC-Federantrieb. Am demontierten Radsatz wurde der Hohlwellenstummel soweit achsial nach rechts verschoben, dass die Arme des Mitnehmers freigelegt und die Federkammern sichtbar wurden

Bild 10. Enddrehgestell mit Zugsicherungsmagnet und Handbremstraverse



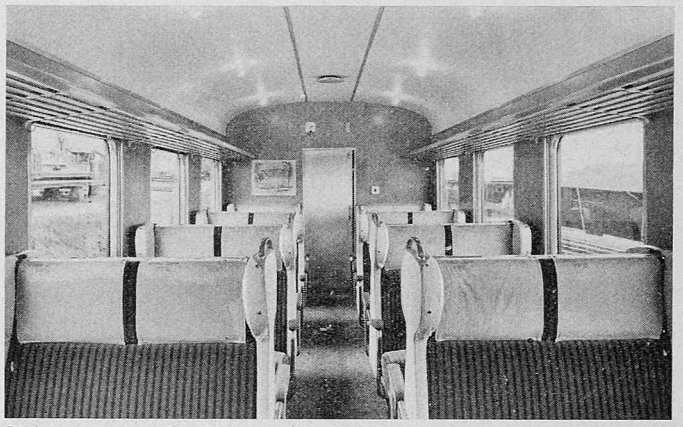


Bild 11. Ansicht des Abteils erster Klasse

selbst ermöglicht, zwischen dem mit der Achswelle 4 (Bild 7) fest verbundenen Mitnehmer 5, der das Antriebsdrehmoment auf den Radsatz überträgt, und dem im Drehgestellrahmen über den Hohlwellenstummel gelagerten grossen Zahnrad. Dieses enthält in Hohlräumen auf einem bestimmten Umfang sechs Federpakete 9 mit beidseitigen Druckplatten. Bild 8 zeigt ein solches Federpaket. Zwischen den Druckplatten liegen die Federkammern 8 (Bild 7), in welche die sechs Arme des Mitnehmers 5 eingreifen. Bild 12 veranschaulicht den Aufbau dieses Antriebssystems. Federkammern und Mitnehmerarme sind so bemessen, dass exzentrische Stellungen möglich sind, und so die für die Achsbüchsfederung notwendigen Relativbewegungen erlauben. Da die Achslager spielfrei am Drehgestellrahmen geführt werden (vgl. Bild 5), sind diese Relativbewegungen linear in vertikaler Richtung. Beim Brown-Boveri-Federantrieb ist die nicht abgefederte Masse relativ klein.

Die Antriebe des Vororttriebzuges befinden sich in jedem Drehgestell auf der einen Achse links, auf der andern Achse rechts, siehe Bild 4. Die Getriebe sind mit einem an Motor und Stummel befestigten Kasten verschalt. Diese Verschalung 7 (Bild 7) enthält ein Ölbad, in welches die Zähne des grossen Zahnrades eintauchen. Labyrinthe und Spritzringe verhindern Ölverluste und das Eindringen von Staub und Schmutz. Abtropfendes Spritzöl wird aufgefangen und zum Teil über einen Dochtschmierapparat zur Schmierung der Lager des Zahnrades verwendet, zum Teil über einen Leitring in die Federkammern geleitet.

Besondere Probleme stellt bei einem Personentriebwagen die Federung, da die anzustrebenden guten Laufeigenschaften eine weiche Federcharakteristik verlangen, die Federwege infolge der Belastung durch die Passagiere dadurch gross werden, jedoch die konstruktiven Merkmale des Federantriebs bei den Achsbüchsfedern aber nur einen sehr beschränkten Weg zulassen. Erschwerend wirkte beim RABDe 12/12 die niedere Bauhöhe von nur 1025 mm zwischen Schienenoberkante und Fussboden der Wagen, da dieser für die elektrische Ausrüstung benötigte Raum um die gesamten Federwege eingeschränkt wird. Im vorliegenden Fall wurde die Abfederung mit Schraubenfedern verwirklicht, deren Einfederungen in Tabelle 2 angegeben sind. Die spezifischen Einfederungen betragen 22 mm/t für die einzelne Achsbüchsfeder und 19,6 mm/t für die einzelne Wiegenfeder.

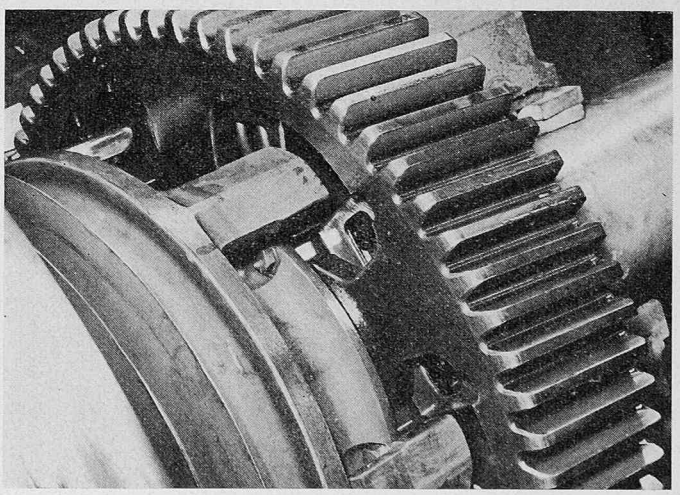


Tabelle 2. Einfederungen der Abfederung in mm

	Achslagerfedern	Wiegenfedern	Total
Null bis Tara	74	95	169
Tara bis Brutto	10	27	37
Tara bis 1,2× Brutto[1])	22[2])	52	74

[1]) Entspricht dem üblichen Zuschlag für Stösse.
[2]) Anschlag (wegen Federantrieb).

Die Bewegungen der Achsbüchsfederung werden durch die im Personenwagenbau bei den SBB angewendeten Dämpfungsmuttern der Achslagerführungen, diejenigen der Wiegenfedern durch die parallel zu jedem Federpaar geschalteten hydraulischen Stossdämpfer (Pos. 15 in Bild 4) mit einer Dämpferkraft von 500 kg (bei 0,1 m/s Kolbengeschwindigkeit) gedämpft. Der Einbau von Horizontalstossdämpfern zur Dämpfung der Querbewegungen zwischen Kasten, bzw. Wiegenträger und Drehgestell ist vorgesehen. Laufgütemessungen haben ergeben, dass es voraussichtlich genügt, in den Enddrehgestellen derartige Dämpfer einzubauen.

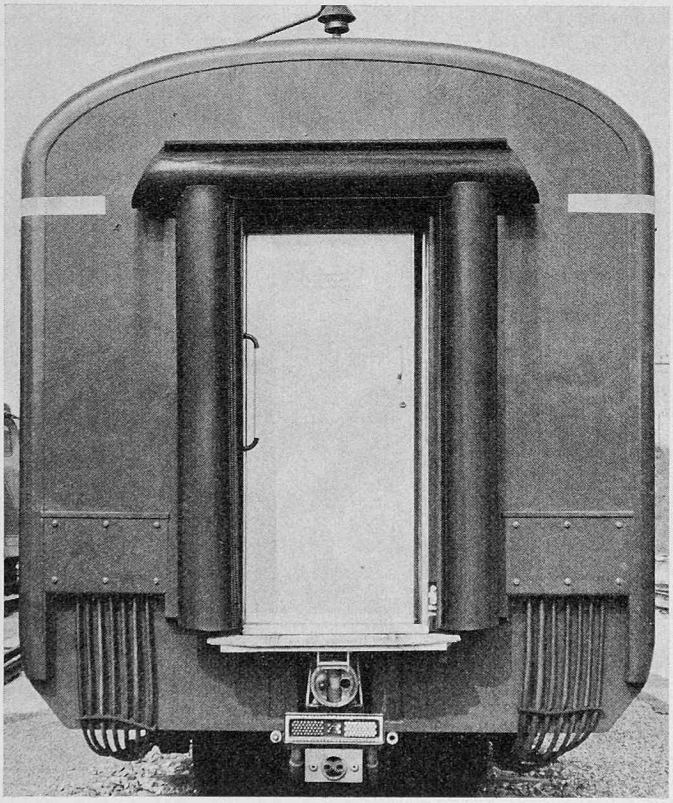
Die Schraubenfedern übertragen keine horizontalen Kräfte; bei der Primärfederung (Achslagerführung) dienen dazu die Führungszapfen. Bei der Sekundärfederung (Wiege) gehen Querkräfte vom Drehgestellrahmen über die Pendel 13 (Bild 4), Federträger 12 und Spurstangen 16 zum Wiegenträger 9, die Zug- und Bremskräfte in Längsrichtung über die Wiegenmitnehmer 14. Der Drehzapfen überträgt alle Horizontalkräfte zwischen Drehgestell und Wagenkasten. Die mit 6 bis 8 Tonnen eingepresste Verbundfeder mindert dabei die Geräuschübertragung und übernimmt die Drehbewegungen zwischen Drehgestell und Kasten. Die Bremszylinder und das ganze Bremsgestänge, ausgenommen der Handbremsantrieb an den Zugenden, befinden sich im Drehgestell.

b) Wagenkasten (Bilder 9, 11 und 13)

Die Kasten sind als selbsttragende Rohre ausgebildet und aus ebenen oder abgekanteten Blechen aus St 37 mit Cu-Zusatz zusammengeschweisst. Das Untergestell bildet mit dem Wagenkasten eine Einheit und besteht zur Hauptsache aus den beiden seitlichen, 6 mm dicken Langträgern in Z-form, verstrebt durch verschiedene Querträger und in Längsrichtung laufende Profile. Mit diesem Verband ist der Boden verschweisst, der im Drehgestellbereich aus Platzgründen aus einem 3 mm dicken, ebenen Blech, dazwischen aus dem üblichen 1,5 mm dicken Wellblech besteht. Kräftige Kopfstücke, welche allfällig auftretende zentrale Kräfte von der Wagenmitte nach den beiden Langträgern übertragen müssen, schliessen das Untergestell an den Wagenenden ab. Die Schemelträger sind besonders verwindungssteif ausgeführt, da sie alle über den Drehzapfen kommenden Kräfte aushalten müssen. Entsprechend den untergebrachten Kabel- und Luftkanälen und den Supports für die anzuhängenden elektrischen Apparate und Kästen ist das Untergestell kompliziert. Aussen an den Z-förmigen Langträgern sind die Säulenfüsse und die unten parabelförmig nach innen gezogenen Seitenwandbleche von 2,5 mm Dicke angeschlossen. Drei durch Punktschweissung zwischen Boden und Fensterausschnitten mit der Seitenwand verbundene Längsgurten versteifen die Kastenröhre. Oben werden die Seitenwände durch einen kräftigen abgekanteten Dachrahmen abgeschlossen. Die Dachhaut aus seitlich 2,5 mm, oben 1,5 mm dickem, durch Längssicken versteiftem Blech wird von den bogenförmigen Dachspanten getragen. Auf dem Dach aufgebaut sind die Ansaugkanäle für die in der Dachpartie untergebrachten Fahrmotorventilatoren, die Widerstandsverschalungen, Dachlaufstege, Supports für Isolatoren, Stromabnehmer, Hauptschalter und Hochspannungsdurchführung. Viele der beim Kastenbau verwendeten Bauelemente wurden vom Einheitswagen [5] übernommen. Der Zusammenbau der Teilelemente erfolgte weitgehend mittels Lehren.

Die akustische und thermische Isolation des Kastens, der Innenausbau (Boden, Wände, Decke), Fenster und Türen, sowie die Innenausstattung (Stühle, Gepäckträger u. a.) entsprechen den Einheitswagen. Die Zweitklass-Abteile wurden jedoch farblich neu gestaltet und gewisse neue Baustoffe verwendet. Die Decke ist aus glasfaserverstärktem Polyester hergestellt und läuft in drei Bahnen jeweils über die ganze Abteillänge. Die Seitenwände sind mit Kunststoff-Platten verkleidet. Nichtraucher und Raucher unterscheiden sich wie in der ersten Klasse durch das Grün und Rot der Polsterüberzüge. Die erste Wagenklasse des Mittelwagens wurde mit etwas einfacheren Stühlen als die Einheitswagen ausgerüstet und weist die Sitzanordnung 2+2 nebeneinander auf (Bild 11).

Die Konstruktion der Einstiegtüren entspricht genau derjenigen der Einheitswagen. Die Türen werden vom Lokomotivführer bei der Abfahrt elektro-pneumatisch geschlossen. Auf jeder Seite des Zuges ist pro 18 Sitzplätze 2. Klasse und pro 19 Sitzplätze 1. Klasse eine Einstiegtüre vorhanden, also mehr als doppelt so viele Türen wie bei einem Einheitswagen. Um ein flüssiges Ein- und Aussteigen zu ermöglichen, sind die Türen regelmässig über die Zuglänge verteilt. Die lichte Weite der Einstiege entspricht den im Wageninnern vorhandenen Türen, welche von den Einheitswagen übernommen wurden. Für Stehplatz-Passagiere wurden besonders in der Mittelplattform der Endwagen zahlreiche Handläufe zum Festhalten angebracht. Durch die kräftige Säule in der Mitte dieser Plattform verläuft die Hoch-



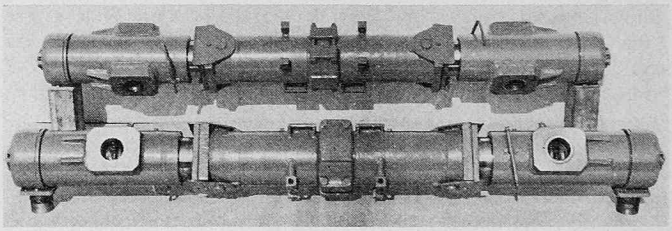
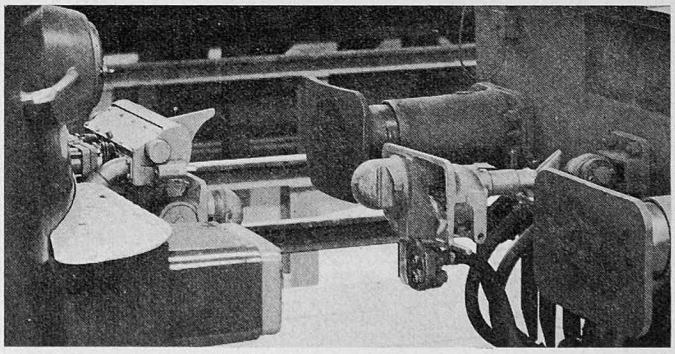


Bild 14 (oben). Kurzkupplung

Bild 13 (links). Stirnansicht des Mittelwagens

Bild 15. Hilfskupplung



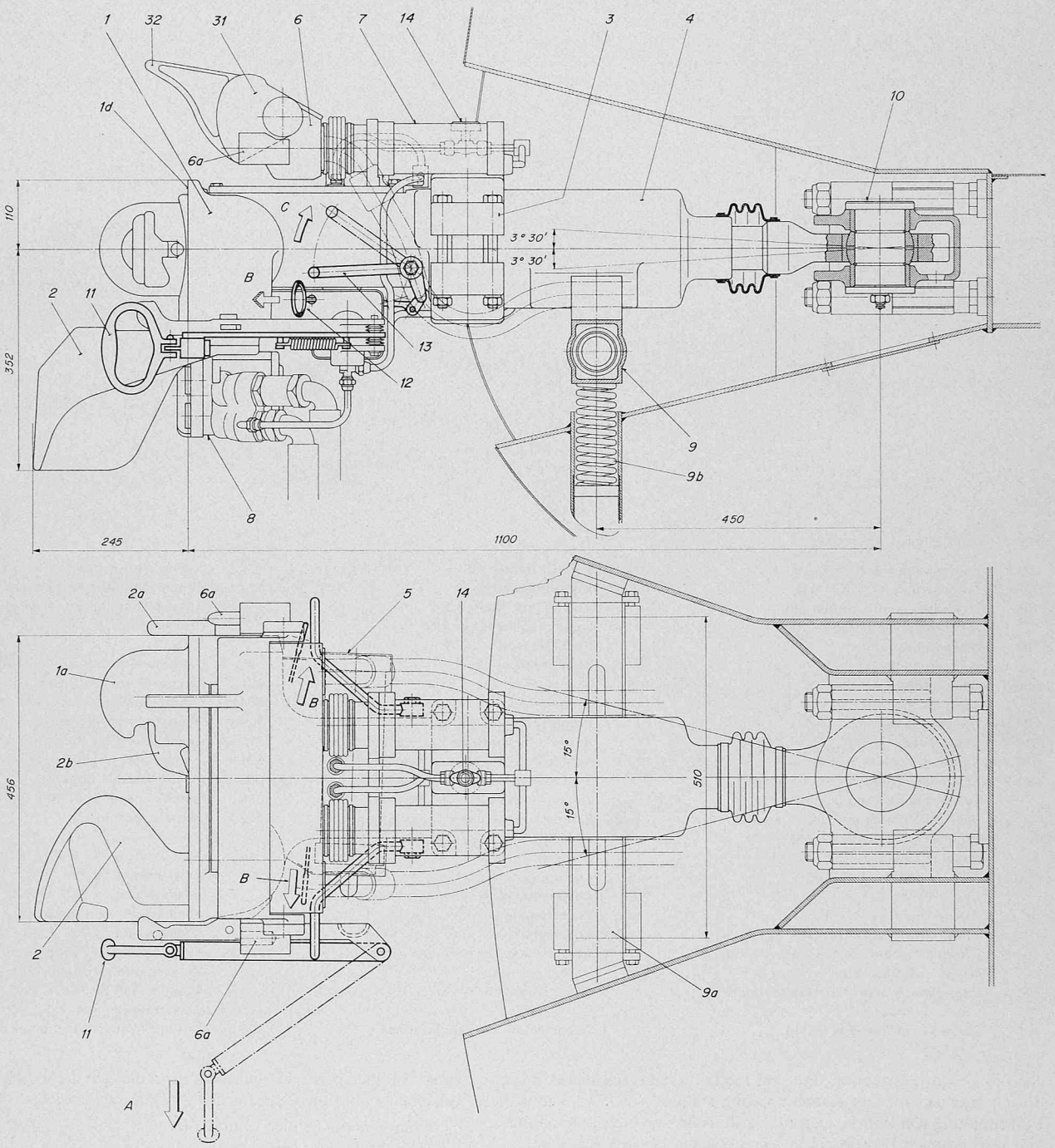


Bild 16. Ansichten der automatischen Kupplung mit Angabe der Bedienungshebel A für Entkuppeln, B für Wiederkuppeln und C für Sperren des Kuppelns. Masstab 1:10

1	Kupplungskopf	3	Schalenmuffe	8	Luftleitungskupplung	12	Wiedereinrückung
1a	Kupplungskuppe	4	Federanlage	9	Abstütz- und Zentriervorrichtung	13	Kupplungssperre
1d	Stossfläche	5	Pneumatischer Antrieb für Entkupplung	9a	Traverse	14	Absperrhahn zu 6
2	Leitschaufel	6	Kabelkupplung	9b	Druckfeder	31	Deckel zu 6
2a	Horn	6a	Zentriervorrichtung zu 6	10	Kupplungsbolzen	32	Horn zu 31
2b	Führungslappen	7	Pneumatischer Antrieb zu 6	11	Entkupplungshebel		

spannungseinführung zum Transformator, der unter dem Endwagen aufgehängt ist. Die Gestaltung der Führerstände erlaubt dem Passagier die Beobachtung der Strecke und der Arbeit des Lokomotivführers.

Ein Teil der umfangreichen elektrischen und pneumatischen Apparaturen musste in Schränken in den Führerständen, den Mittelplattformen der Endwagen und im Gepäckabteil untergebracht werden. Die Fahrmotor-Ventilatoren befinden sich in Kammern über den Endplattformen der Wagen. Die Kühlluft wird durch Düsenlüftungsgitter der schon erwähnten Ansaugkanäle auf dem Dach angesogen und in lärmisolierten Kanälen über Faltenbälge aus Kunststoff in die Fahrmotoren geblasen. Kleine Luftmengen gelangen in die Kabelkanäle, so dass die Apparateräume und -kasten unter leichtem Überdruck stehen. Da erfahrungsgemäss in der Kopfpartie ungünstige Druckverhältnisse während der Fahrt auftreten, wurden die äussersten Ansaugöffnungen des Zuges etwas zurückversetzt. Die Heizungs- und Belüftungsanlagen, wie die Innenbeleuchtung, welche vom Lokführer ein- und ausgeschaltet wird, sind ähnlich wie auf den Einheitswagen.

Im gummiwulstgeschützten Übergang vom Mittelwagen zum Endwagen (Bild 13) befindet sich eine dreiteilige Übergangsbrücke aus Polyester. Sie besteht aus zwei an den Wagen angelenkten, aufklappbaren Teilen, die sich auf dem an der Kurzkupplung befestigten Mittelteil abstützen. Diese Lösung ergibt in jeder Relativstellung der beiden Wagen eine gute Abdeckung des Zwischenraums im Durchgang.

c) Automatische Kupplung (Bild 16)

Die automatische Kupplung an den Enden der RABDe 12/12 ist ein Produkt der Firma Georg Fischer AG Schaffhausen (GF), wel-

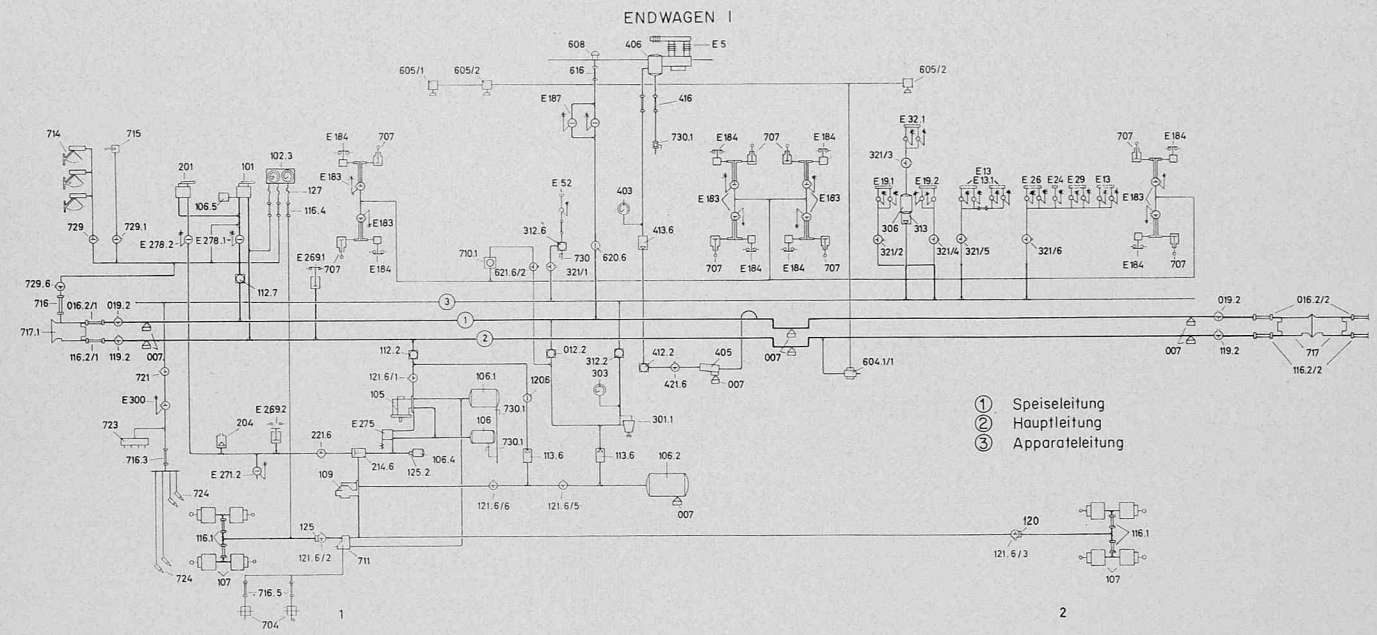


Bild 17. Luftleitungsschema

001.1	Kolbenkompressor
002	Zwischenkühler
003	Sicherheitsventil zu Pos. 001.1
.1	Sicherheitsventil zu Pos. 001.1
004	Wasserabscheider
.1	Wasserabscheider
006	Hauptluftbehälter 500 l
.1	Ausgleichbehälter zu Pos. 003
007	Wasserabscheider
012.2	Staubfänger
013.2	Rückschlagventil zu Pos. 001.1
016.2/1	Schlauchverbindung Speiseleitung — automatische Kupplung Pos. 717.1
.2/2	Schlauchverbindung Speiseleitung — automatische Kupplung Pos. 717
019.2	Kupplungshahn zu Pos. 717, 717.1
020.5	Absperrhahn zu Pos. 006
.6	Absperrhahn zu Pos. 006
021.6	Absperrhahn zu Pos. E 173
101	Führerbremsventil Oerlikon FV 3b
102.3	Dreifachmanometer für Bremszylinder, Haupt- und Speiseleitung
103.2	Doppelmanometer für Bremszylinder und Hauptleitung
105	Steuerventil Oerlikon ESt4d
106	Steuerbehälter 10 l
.1	Hilfsluftbehälter 25 l
.2	Vorratsluftbehälter 200 l
.4	Expansionsbehälter 0,5 l
.5	Reduktionsbehälter 3 l zu Pos. 101
107	Bremszylinder 8"
109	Drucküberset̀zer
112.2	Staubfänger
.7	Staubfilter
113.6	Rückschlagventil zu Pos. 106.2
116.1	Schlauchverbindung zu Pos. 107
.2/1	Schlauchverbindung Hauptleitung — automatische Kupplung Pos. 717.1
.2/2	Schlauchverbindung Hauptleitung — automatische Kupplung Pos. 717
.4	Schlauchverbindung zu Pos. 102.3
119.2	Kupplungshahn zu Pos. 717, 717.1
120.6	Absperrhahn zwischen Pos. 106.2 und Hauptleitung (normal offen)
121.6/1	Absperrhahn für automatische Bremse
/2	Absperrhahn für Bremszylinder, Drehgestell 1
/3	Absperrhahn für Bremszylinder, Drehgestell 2
/4	Absperrhahn für Bremszylinder, Drehgestell 3' bzw. 3"
121.6/5	Absperrhahn für Vorratsluftbehälter
/6	Absperrhahn für Drucküberset̀zer
125	Drosselschraube
.2	Drossel
127	Uebergangsstück zu Pos. 102.3
201	Rangierbremsventil Oerlikon FD 1
204	Entlüftungsventil
214.6	Doppelrückschlagventil
221.6	Absperrhahn für Rangierbremse
301.1	Druckregler für Apparate
303	Manometer für Apparate
306	Expansionsbehälter 10 l zu Pos. E 32.1
312.2	Staubfänger
.6	Staubfänger
313	Rückschlagventil zu Pos. E 32.1
321/1	Absperrhahn zu Pos. E 52
/2	Absperrhahn zu Pos. E 19.1
/3	Absperrhahn zu Pos. E 32.1
/4	Absperrhahn zu Pos. E 19.2
/5	Absperrhahn zu Pos. E 13, E 13.1
/6	Absperrhahn zu Pos. E 13, E 24, E 26, E 29
/7	Absperrhahn zu Pos. E 19.3
403	Manometer zu Pos. E 5
405	Oel- und Wasserabscheider zu Pos. E 5

che die Gesamtkonzeption und den mechanischen Teil dieser Kupplungen entwickelte. Die Kabelkupplung stammt von SAAS und die Luftkupplung von Bührle, Oerlikon. Alle Teile sind Neuentwicklungen und wurden nach Erprobung in Vorversuchen bei den RABDe 12/12 erstmals seriemässig verwendet. Die mechanische Kupplung ist über ein Kugelsegmentlager und den Kupplungsbolzen 10 (Bild 16) mit dem Kopfstück des Endwagens gelenkig verbunden. Die Federanlage 4 enthält die mit Ringfedern ausgerüstete Zug- und Stossvorrichtung mit einer Endkraft von 32 Tonnen bei ± 50 mm Hub und einem den Ringfedern entsprechenden grösseren Arbeitsverzehrvermögen. Der Kupplungskopf 1 mit dem Mechanismus für das selbsttätige Kuppeln ist durch die Schalenmuffe 3 starr mit dem Federgehäuse verbunden. Über dem Kupplungskopf ist die durch zwei elastisch gelagerte Luftzylinder 7 in Längsrichtung verschiebbare Kabelkupplung 6 für die Vorheiz- und Vielfachsteuerleitungen aufgebaut. Unter dem Kupplungskopf befindet sich die Luftkupplung mit der Haupt- und Speiseleitung von je 25 mm Durchmesser. Die ganze Kupplung wird durch eine gefederte Traverse 9a in der richtigen Höhe zentriert. Beim Zusammenfahren zweier Züge kuppeln alle drei Kupplungsteile selbsttätig, indem die Kabel- und Luftkupplung vom Kupplungsmechanismus mechanisch-pneumatisch gesteuert werden. Zum Kuppeln ist somit kein Personal notwendig. Für das Entkuppeln genügt ein kräftiger Zug am Entkupplungshebel 11 oder die Betätigung eines Entkupplungshahns in einem der nächtstliegenden Führerstände. In diesem Fall erfolgt das Entkuppeln pneumatisch. Die Kupplungen sind ausserdem mit einer Wiedereinrückvorrichtung 12 und einer Rangiersperre 13 versehen. Für die genaue Beschreibung der einzelnen Funktionen sei auf den Aufsatz [9] verwiesen.

d) Kurzkupplung (Bilder 13 und 14)

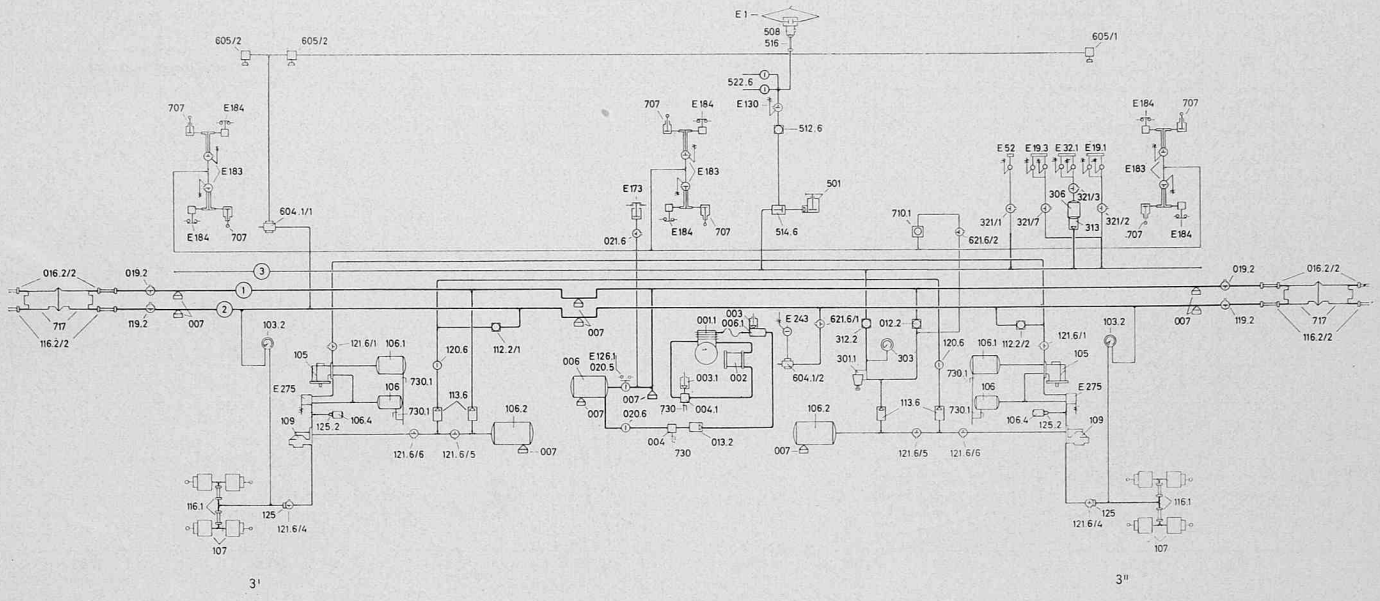
Die End- und Mittelwagen sind durch je eine Kurzkupplung, System Scharfenberg, untereinander verbunden, welche die gleichen Federelemente enthält wie die automatische Kupplung. Die starre Verbindung der beiden Kupplungshälften erfolgt mit einer zweiteiligen Schalenmuffe. Eine einfache Kabelkupplung und pneumatische Kupplung ist unterhalb der Kurzkupplung angebaut. Es wurden dabei die gleichen Bauteile wie bei den automatischen Kupplungen verwendet. Zum Trennen zweier Wagen müssen nur vier Schrauben bei der Schalenmuffe, zwei Schrauben bei der pneumatischen Kupplung, die Kabelverbindungen links und rechts, sowie die Litze der Dachleitung gelöst werden.

Die hinteren Teile der Kurzkupplung sind so im Kopfstück gelagert, dass sie nur in vertikaler Richtung drehbar sind. Die Auslenkung in horizontaler Richtung, zum Beispiel bei Kurvenfahrt, erfolgt in einem besonders ausgebildeten Gelenk innerhalb der Kupplung selbst. Dieses ist so beschaffen, dass eine Rückstellkraft entsteht, welche die Längsachsen der beiden benachbarten Wagen wieder in Übereinstimmung bringen will. Da diese Rückstellung durch die Ringfederpakete mit starker innerer Dämpfung erfolgt, wirkt die Anordnung bewegungshemmend. Auf den Einbau einer besonderen Schlingerbremse zwischen den Wagen wurde deshalb verzichtet.

e) Hilfskupplung (Bild 15)

Um betriebsunfähige RABDe 12/12 mit einem Fahrzeug mit

MITTELWAGEN



406	Behälter zu Pos. E 5	715	Rücksehspiegel	E 24	Hüpfer für elektrische Bremse
412.2	Staubfänger	716	Schlauchverbindung	E 26	Hüpfer für Rekuperations-Erregung
413.6	Rückschlagventil	.3	Schlauchverbindung zu Spurkranzschmierung	E 29	Trennhüpfer für Fahrmotor
416	Schlauchverbindung zu Pos. E 5	.5	Schlauchverbindung zu Pos. 704	E 32.1	Umschalter für Vorheizen
421.6	Absperrhahn zu Pos. E 5	717	Automatische Kupplung (Kurzkupplung)	E 52	Umschaltapparat für Ventilatormotor
501	Handluftpumpe zu Pos. E 1	.1	Automatische Kupplung (Endkupplung)	E 126.1	Kontakt am Absperrhahn Pos. 020.5 (Steuerstrom)
508	Schnellsenkventil zu Pos. E 1	721	Absperrhahn zu Spurkranzschmierung	E 130	Elektroventil zu Pos. E 1
512.6	Staubfänger	723	Verteiler zu Spurkranzschmierung	E 173	Kompressorautomat 8/10 Atm.
514.6	Doppelrückschlagventil	724	Spritzdüsen zu Spurkranzschmierung	E 183	Elektroventil für Türschliessung
516	Schlauchverbindung zu Pos. E 1	729	Hahn zu Pos. 714	E 184	Sicherheitsschalter für Türschliessung
522.6	Stromabnehmer-Entlüftungshahn	.1	Hahn zu Pos. 715	E 187	Elektroventil zu Pfeifenbetätigung
604.1/1	Notbremsventil Oerlikon	.6	Hahn zu pneumatischer Entkupplung (Pos. 717.1)	E 243	Elektroventil zu Sicherheitssteuerung
.1/2	Luftausströmventil der Sicherheitssteuerung Oerlikon	730	Ablasshahn	E 269.1	Druckschalter für automatische Bremse (3,5/4,5 Atm.)
605	Notbremszugkasten	.1	Ablasshahn	.2	Druckschalter für Rangierbremse (1,2/0,7 Atm.)
608	Signalpfeife	E 1	Stromabnehmer	E 271.2	Elektroventil zum Lösen der Rangierbremse
616	Schlauchverbindung zu Pos. 608	E 5	Hauptschalter	E 275	Elektrischer Druckregler mit Höchstdruckbegrenzung
620.6	Absperrhahn zu Pos. 608	E 13	Stufenhüpfer	E 278.1	Absperr-Elektroventil zu Pos. 101
621.6/1	Absperrhahn zu Pos. 604.1/2	.1	Ueberschalthüpfer	E 278.2	Absperr-Elektroventil zu Pos. 201
/2	Absperrhahn für Türschliessung	E 19.1	Wendeschalter	E 300	Elektroventil zu Spurkranzschmierapparat
704	Gleitschutzregler	.2	Umschalter «Fahren — Bremsen» (Endwagen)		
707	Zylinder für Türschliessung	.3	Umschalter «Fahren — Bremsen» (Mittelwagen)		
710.1	Druckregler für Türschliessung				
711	Entlüftungsventil für Gleitschutz				
714	Fensterwischer				

normaler Zug- und Stossvorrichtung abschleppen zu können, dient eine im Gepäckabteil jedes Zuges deponierte Hilfskupplung. Diese muss vor dem Kuppeln auf den Zughaken des Schleppfahrzeugs aufgesetzt werden. Durch Zusammenfahren mit mässiger Geschwindigkeit wird wie bei zwei Vororttriebzügen automatisch gekuppelt. Die Kabelkupplung des RABDe 12/12 muss dabei blockiert werden.

f) Hilfspuffer

Diese links und rechts der automatischen Kupplungen angeordneten Puffer berühren sich im Normalbetrieb nie. Sie dienen dazu, grössere Schäden zu verhüten beim Anprall eines mit normalen Puffern ausgerüsteten Fahrzeugs auf einen RABDe 12/12. Die Festigkeit der Wagenkasten wurde deshalb so bemessen, dass sie nicht nur einem zentralen statischen Druck von 200 Tonnen auf die Anlenkpunkte der Kupplungen ohne bleibende Schäden standhalten, sondern auch über die Hilfspuffer 2 × 100 Tonnen aufnehmen können.

E. Bremse und pneumatische Ausrüstung (Bild 17)

Ein unter dem Boden des Mittelwagens angebrachter Kolbenkompressor mit einer Förderleistung von 1 m³/min versorgt den Vororttriebzug mit Druckluft von 10 atü. Diese Luft wird benötigt – zum Teil über Druckminderer – für die Druckluftbremse, die Pfeife, die Hauptschalter, Stromabnehmer, Scheibenwischer, Rückspiegel, automatische Türschliessung, Kabelkupplung und alle elektro-pneumatisch gesteuerten elektrischen Apparate. Mit wenigen Ausnahmen sind alle Bedienungseinrichtungen der am Druckluftnetz angeschlossenen Apparate in jedem Wagen auf besonderen Tafeln zusammengefasst, die einen klaren Überblick über das ganze System erlauben.

Die Druckluftbremsanlage umfasst

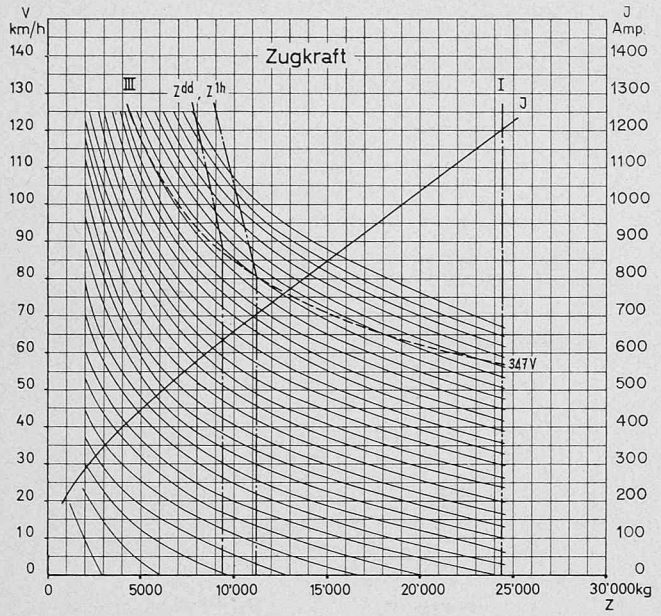
— die normale automatische Bremse mit Führerbremsventil Oerlikon FV 3b mit abstufbarem Lösevorgang,

— die elektropneumatische Druckregulierung der automatischen Bremse (EP-Bremse)

— die auf den bedienten Endwagen wirkende Rangierbremse.

Die EP-Bremse wird normalerweise von der Geschwindigkeitsregulierung gesteuert, sie kann aber auch über eine Notstellung des Fahrschalters vom Lokführer auf Schnellbremsung gestellt werden. Im Führerstand befinden sich die üblichen Bedienungseinrichtungen und Anzeigeinstrumente der Druckluftbremse. Besonderes Augenmerk wurde auf die sorgfältige Entwässerung des Luftleitungssystems gelegt und zu diesem Zweck an verschiedenen Orten automatische Entwässerungsventile angebracht. In den Drehgestellen ist jedem Rad ein 8''-Bremszylinder zugeordnet, der über ein sehr einfaches Bremsgestänge mit Gestängeregler auf zwei geteilte Bremsklötze wirkt. Der Gestängeregler gleicht die Klotzabnützung aus, so dass der Bremszylinder immer mit dem gleichen Hub arbeitet. Der Klotzdruck beträgt bei maximalem Bremszylinderdruck 1,875 t, das heisst 90 t für den ganzen Zug.

Die Bremsung erfolgt mit Kunststoff-Bremssohlen (K-Sohlen), deren Reibwert von der Zugsgeschwindigkeit praktisch unabhängig ist. Dieser Umstand erlaubte es, auf eine sogenannte R-Bremse mit zwei Druckstufen, wie sie bei den modernen Personenwagen und Lokomotiven mit Guss-Bremsklötzen üblich ist, zu verzichten. Die



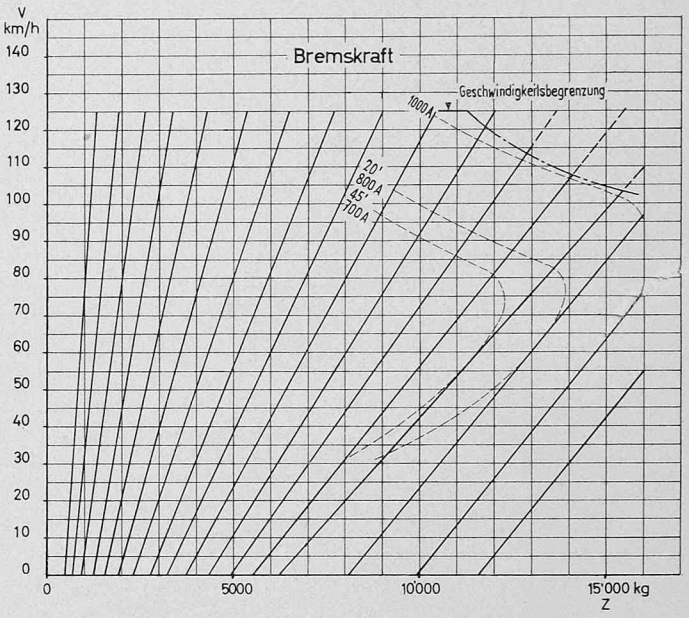


Bild 18. Zugkraft- und Bremskraft-Kennlinien

I Begrenzung durch Maximalstrom

III Geschwindigkeitsverlauf bei Nennspannung am Motor

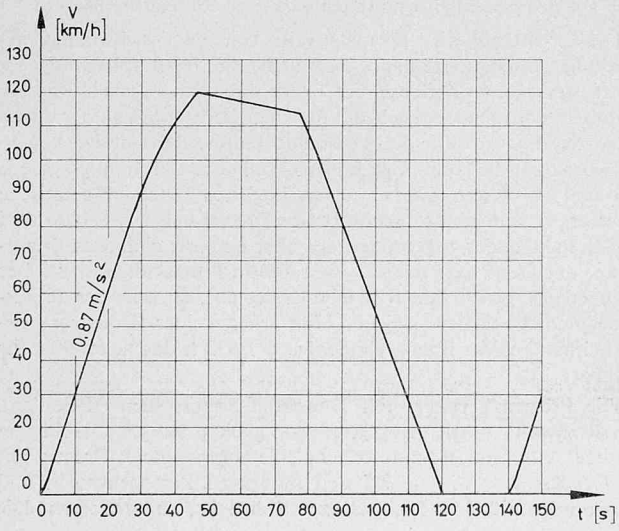
Z^{dd} Dauerzugkraft am Radumfang

Z^{1h} Stundenzugkraft am Radumfang

K-Sohlen haben eine wesentlich längere Lebensdauer als die Guss-Sohlen, arbeiten praktisch geräuschlos und sind für das Personal leichter zu handhaben. Die beiden Achsen der Enddrehgestelle sind mit einer Gleitschutzvorrichtung versehen, bestehend aus den an den Achslagergehäusen angeflanschten Gleitschutzreglern und einem gemeinsamen Entlüftungsventil auf der pneumatischen Apparatetafel. Beim Blockieren einer Achse bewirkt diese Einrichtung eine rasche Entlüftung der Bremszylinder, bis sich die Achse wieder dreht, und verhütet so die Bildung von Flachstellen auf den Rädern.

Wird mit einem Zug in kurzen Abständen immer wieder eine Haltebremsung ausgeführt, so speichert sich die Bremsarbeit bei einer Klotzbremse teilweise in Form von Wärme in den Rädern, was zu losen Radreifen oder Schäden in den Laufflächen führen kann. Im Falle des Fahrplans, den der RABDe 12/12 auf der Strecke Zürich–Meilen–Zürich erfüllen muss, ist die beim Bremsen mit grosser Verzögerung immer wieder zu vernichtende Energie bereits so gross, dass mit einer Klotzbremse allein mit Schwierigkeiten gerechnet werden müsste. Die neuen Vorortriebzüge haben deshalb eine leistungsfähige elektrische Bremse, welche im Bereich der höheren Geschwindigkeiten allein genügend wirksam ist, um die gewünschte Verzögerung des Zugs zu erreichen.

Die Handbremse wirkt auf zwei diagonal liegende Räder der Enddrehgestelle und kann von der Einstiegplattform hinter dem Führerstand aus bedient werden.



F. Die elektrische Ausrüstung

a) Die installierte Leistung

Zieht man von den für den starren Fahrplan vorgesehenen Fahrzeiten die Aufenthaltszeiten in den Stationen ab, so stellt man fest, dass nur noch rund 40 Minuten reine Fahrzeit bleiben, um mit 16 Anfahrten und Bremsungen die 36 km lange Strecke Zürich–Rapperswil zurückzulegen. Unter Berücksichtigung der mittleren Haltedistanz von 2,26 km und der zulässigen Strecken-Höchstgeschwindigkeit von 85 bis 95 km/h bedingt ein solches Fahrprogramm mittlere Beschleunigungen von rd. 0,8 m/s² im Geschwindigkeitsbereich von 0 bis 85 km/h. Um durchschnittliche Beschleunigungen von 0,7 m/s² zwischen 0 und 90 km/h auch auf Strecken mit ungünstigerem Profil als dasjenige der Strecke Zürich–Rapperswil und mit höher liegenden Maximalgeschwindigkeiten zu erreichen, wurde für eine Horizontalstrecke und für den halbbeladenen Zug ein Typenprogramm zu Grunde gelegt, welches durch die Fahrschaulinie Bild 19 dargestellt wird. Die Erfüllung dieser Bedingungen erforderte eine Stundenleistung am Rad von 3320 PS und führte schliesslich zu den Zug- und Bremskraft-Kennlinien des Bildes 18.

b) Allgemeine Anordnung

Die elektrische Ausrüstung eines Dreiwagenzugs ist in zwei Teile aufgeteilt, so dass ein Zug aus zwei in Vielfachsteuerung arbeitenden Hälften besteht. Die elektrische Symmetrieachse des Zuges liegt in der Mitte des Zwischenwagens. Die Endwagen enthalten je einen Haupttransformator und die für die Regelung der Fahrmotorspannung

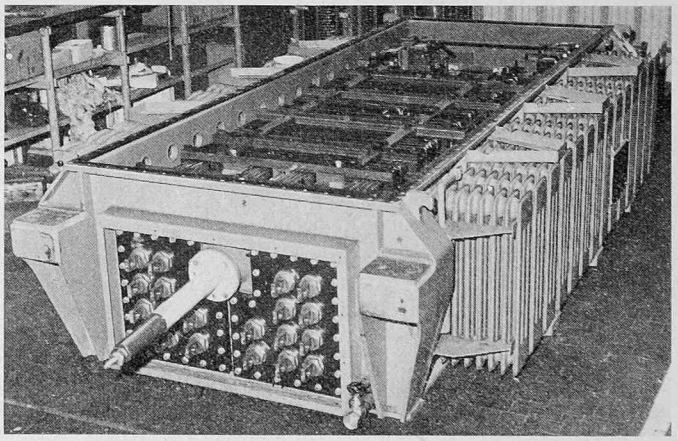


Bild 20 (oben). Ansicht des Haupttransformators

Bild 19 (links). Typen-Fahrschaulinie (Geschwindigkeitsverlauf in Abhängigkeit von der Zeit)

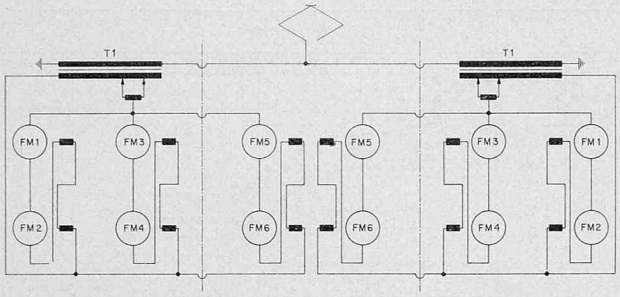


Bild 21. Prinzipschema für Fahren. T_1 Haupttransformator, FM 1 bis 6 Fahrmotoren

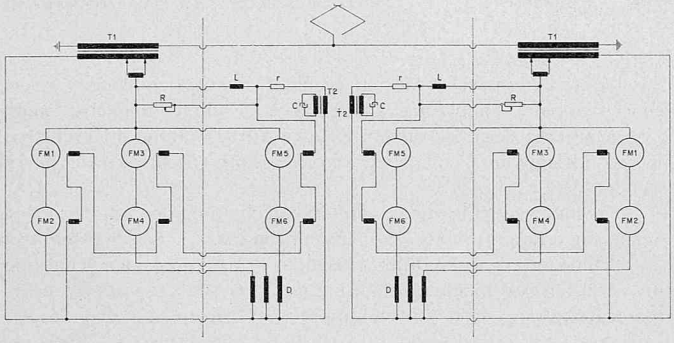


Bild 22. Prinzipschema für Bremsen

T_1 Haupttransformator
T_2 Erregertransformator
FM 1 bis 6 Fahrmotoren
D Bremsdrosselspule

für Rekuperationserregung:
C Kondensator
L Drosselspule
R Regulierwiderstand
r Widerstand

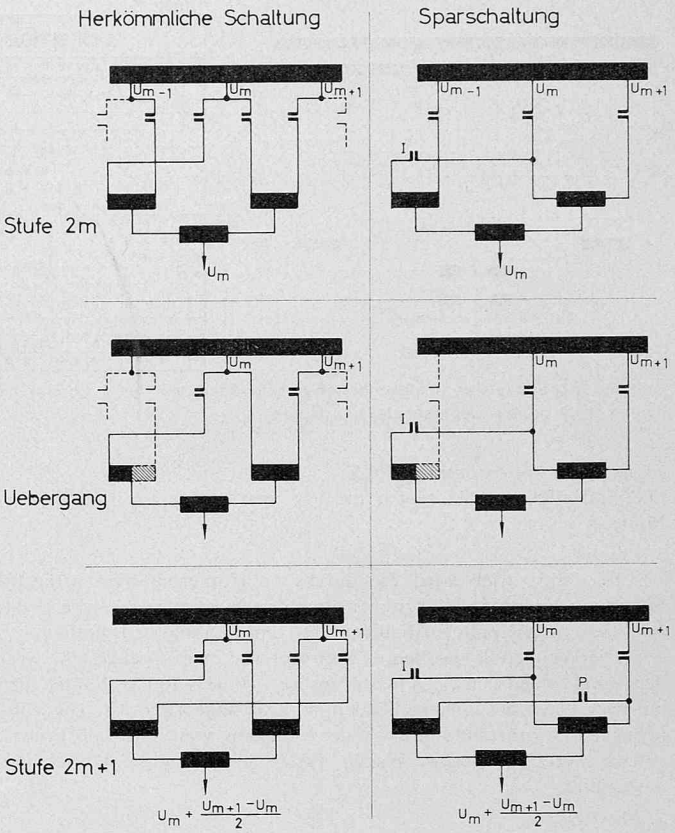


Bild 24. Prinzip der Schützensparschaltung im Vergleich mit der herkömmlichen Schaltung

notwendige Apparatur. Im Mittelwagen sind die Rekuperationsausrüstung des ganzen Zuges sowie die Apparate vereinigt, die – wie der Stromabnehmer, der Kompressor, der Geschwindigkeitsregler, usw. – nur einmal auf dem Zug vorkommen.

Diese Aufteilung der Ausrüstung ergibt eine übersichtliche und symmetrische Verteilung der Installation sowie eine erhöhte Betriebssicherheit. Es muss gleichzeitig eine Störung in beiden Ausrüstungen oder ein Defekt an einem der wenigen nur einmal vorkommenden Apparate auftreten, bis ein alleinfahrender Dreiwagenzug lahmgelegt wird und die Strecke mit eigenen Mitteln nicht befreien kann.

c) Der Hochspannungsstromkreis

Die Hochspannungsausrüstung besteht ausschliesslich aus von der Firma Brown Boveri gelieferten Apparaten, welche bereits bei der Konstruktion der modernen Triebfahrzeuge der SBB eingeführt und normalisiert wurden (Ae6/6, RBe4/4, Re4/4[II]). Der einzige Stromabnehmer des Zuges befindet sich über dem Gepäckabteil im Mittelwagen. Es handelt sich um den Typ 350/2, welcher eine Kombination des alten SBB-Normalstromabnehmers mit der für den Typ 355 der Viersystem-TEE-Züge entwickelten Flachwippe ist [7]. Eine Dachleitung führt die Hochspannung auf den Endwagen, wo die Druckluft-Hauptschalter Typ DBTF 20i mit angebautem Erdungsschalter angeordnet sind. Die 15 kV-Spannung wird von da durch eine Hochspannungseinführung an die Primärwicklung des Transformators geführt. Diese Einführung ist in der dicken Säule angeordnet, welche sich in der Mitte der mittleren Einstiegplattform befindet und an welcher ein Handlauf für die stehenden Fahrgäste befestigt ist.

d) Die Transformatoren (Bild 20)

Die Transformatoren, welche unter dem Boden der Endwagen angeordnet sind, weisen je folgende Dauerleistungen auf:

— 1462 kVA für die Traktionswicklung
— 60 kVA für die Heizwicklung
— 36 kVA für die Hilfsbetriebewicklung

Die Traktions-Sekundärwicklung besitzt 15 Anzapfungen, welche die Regelung der Fahrmotorspannung in 29 Stufen ermöglicht. Diese Regelung ist mittels elektro-pneumatischer Schützen und Vierweg-Drosselspulen verwirklicht worden. Diese Drosselspulen sowie die zur Messung der Fahrmotor-, Heiz- und Bremserregungsströme notwendigen Stromwandler sind im Transformatorkessel angeordnet. Die Kühlung erfolgt im Prinzip durch die natürliche Ventilation von den am Kessel angeschweissten Radiatoren. Versuche haben jedoch gezeigt, dass die gedrängte Apparateanordnung unter dem Wagenboden die Ventilation wesentlich stört. Für die Extrembedingungen des Pflichtenheftes ist eine Zwangskühlung durch eine Zirkulationspumpe und einen Ölkühler nötig. Es wurden Vorbereitungen getroffen, um diese Zusatzapparatur rasch anbauen zu können, falls die Triebzüge dauernd unter diesen extremen Betriebsbedingungen eingesetzt werden sollten.

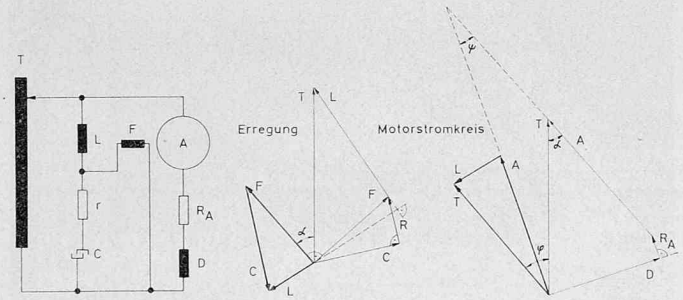
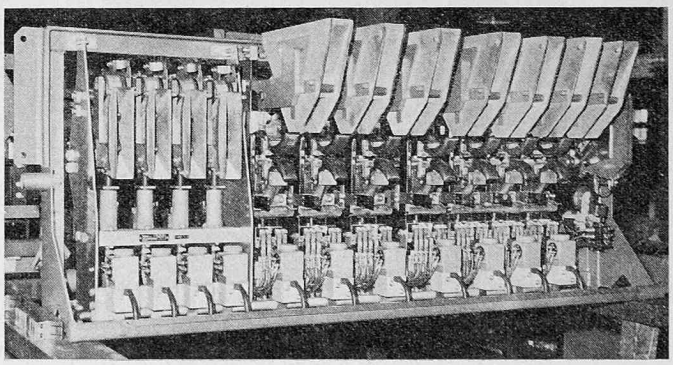


Bild 23. Prinzip-Bremsdiagramm

T Haupttransformator
F Feldwicklung
A Ankerwicklung
R_A Widerstand des Ankerstromkreises
D Bremsdrosselspule

für Rekuperationserregung:
L Drosselspule
r Widerstand
C Kondensator

Bild 25. Ansicht der Schützenbatterie



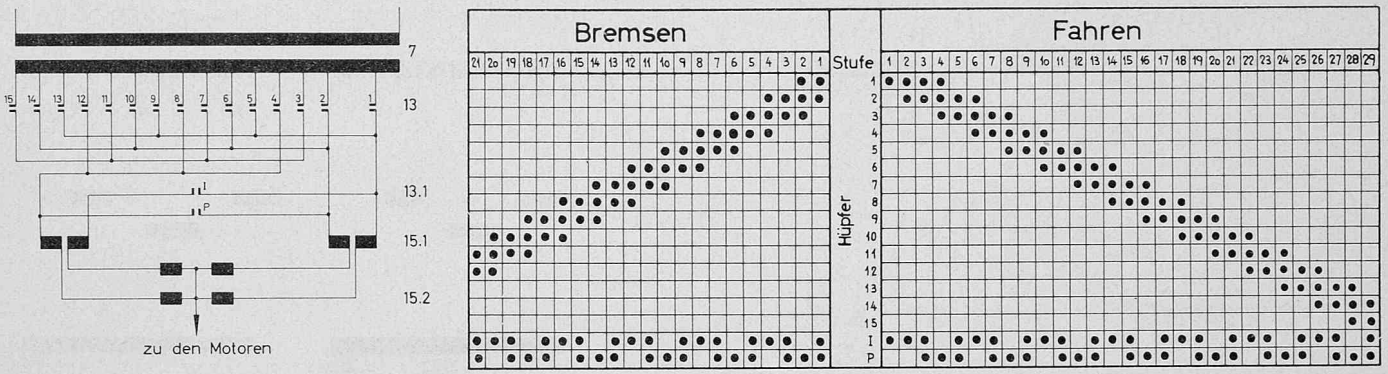


Bild 26. Schaltung der Schützenbatterien und Schalttabelle. 7 Haupttransformator, 13 Stufenschütze, 13.1 Ueberschaltschütze, 15.1 kleine Ueberschaltspulen, 15.2 grosse Ueberschaltdrosselspule

e) Der Fahrmotorstromkreis

Die Bilder 21 und 22 zeigen die Prinzipschemata für Fahren und Bremsen.

1. Fahren

Im Fahrbetrieb wird die durch die Hüpferbatterien geregelte Spannung in jedem Halbzug an drei Zweige angelegt, welche je die zwei in Serie geschalteten Fahrmotoren eines Drehgestells enthalten.

Die Wendepole der beiden Fahrmotoren eines Drehgestells werden durch einen gemeinsamen ohmschen Widerstand geshuntet, der auf dem Dach des entsprechenden Wagens angeordnet ist. Die Umkehrung der Fahrrichtung sowie der Übergang vom Fahr- auf Bremsbetrieb werden in jedem Wagen mittels unabhängiger Umschalter ausgeführt.

2. Bremsen

Die für die Nutzstrombremse gewählte Schaltung ist ein System mit Nebenschlusserregung, welches eine sehr hohe Stabilität bei allen Geschwindigkeiten aufweist. Bild 23 zeigt für einen Motor das Prinzip der Schaltung und das entsprechende Vektordiagramm. Im verwirklichten Schema sind die Felder der 6 Fahrmotoren einer Ausrüstung in Serie geschaltet, während die Anker – wie im Fahrbetrieb – in 3 Zweige gruppiert sind, mit je 2 in eine Reihe geschalteten Rotoren. Die Wendepole der beiden Fahrmotoren eines Drehgestells sind hier durch eine gemeinsame induktive Drosselspule geshuntet. Diese induktiven Shunts sind in Ölkesseln untergebracht, welche unter dem Wagenboden der drei Wagen montiert sind. Um den Platzbedarf der Kondensatorenbatterien C zu beschränken, wurden sie über den Transformator T2 geschaltet, der als Impedanzwandler arbeitet. Er gestattet noch dazu, einen für eine andere Rekuperationsschaltung bereits normalisierten Kondensatortyp spannungsmässig voll auszunützen. Die progressive Shuntung der Drosselspule L durch den Widerstand R bewirkt die Erhöhung der Bremskraft, wenn die höchstzulässige Spannung der Kondensatoren C erreicht ist.

3. Die Schützenbatterien (Bild 25)

Die Schütze eines Halbzuges sind in zwei Batterien aufgeteilt, welche in Apparatekasten links und rechts unter dem Wagenboden der Endwagen angeordnet sind. Diese beiden Batterien enthalten die Stufen-, Überschalt-, Brems-, Bremserregungs- und Heizschütze. Bei der Konstruktion wurde darauf geachtet, Schütze zu bauen, welche eine minimale Abnützung aufweisen und somit möglichst wenig Unterhalt erfordern. Zu diesem Zwecke wurden Gummimanschetten, Kunststofflager und ein neuer, verschleissloser Elektroventiltyp verwendet.

Erwähnenswert ist die gewählte Sparschaltung der Schütze. Diese Schaltung erlaubt, mittels n Stufenschützen und 2 Überschaltschützen $2n$–1 Stufen zu erreichen. Bild 24 zeigt das Prinzip der neuen Schaltung, im Vergleich zur üblichen Schaltung mit zwei Schützen pro Transformatoranzapfung. Die Anwendung dieses Prinzips an den 15 Anzapfungen des Transformators wird in Bild 26 dargestellt. Die hohe Zahl der Bremsstufen, die man der Schalttabelle entnehmen kann, wird im Betrieb nur selten erreicht, weil das Aufschalten unterbrochen wird, sobald die maximal zulässige Spannung der Bremskondensatoren erreicht ist. Dies geschieht bei normaler Fahrleitungsspannung ungefähr auf der 16. Stufe. Die zusätzlichen Stufen erlauben, bei niederer Fahrleitungsspannung die daraus resultierenden Bremskraftverluste zu kompensieren.

4. Die Fahrmotoren

Im Vorortsverkehr wird der Fahrmotor besonders beansprucht. Die Häufigkeit der Anfahrten und der Bremsungen mittels der elektrischen Rekuperationsbremse stellt besonders schwierige Bedingungen dar. Die im Laufe der letzten Jahre mit den verschiedensten Motortypen gesammelten Erfahrungen wurden berücksichtigt. So hat man zum Beispiel der Kleinhaltung der transformatorischen EMK in den kommutierenden Ankerwindungen die grösste Aufmerksamkeit geschenkt.

Tabelle 3. Nennwerte eines Fahrmotors

		Dauer-betrieb	Stunden-betrieb	max.
Motorspannung	V	347	347	465
Motorstrom	A	630	700	1200
Leistung an der Welle	kW	189	210	—
— entsprechende Geschwindigkeit	km/h	86,3	80	—

Bild 27. Ansicht des Fahrmotors

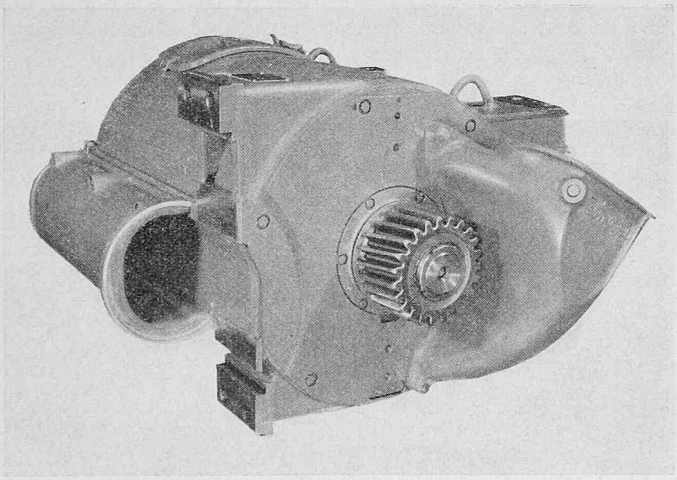


Bild 28. Ansicht des Rekuperationsblocks

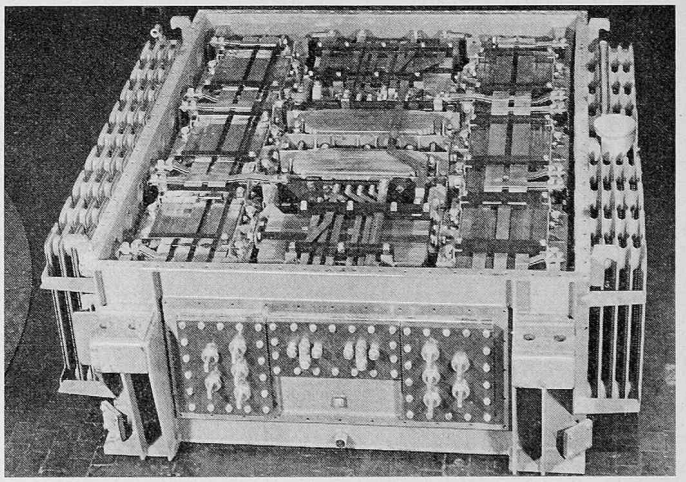
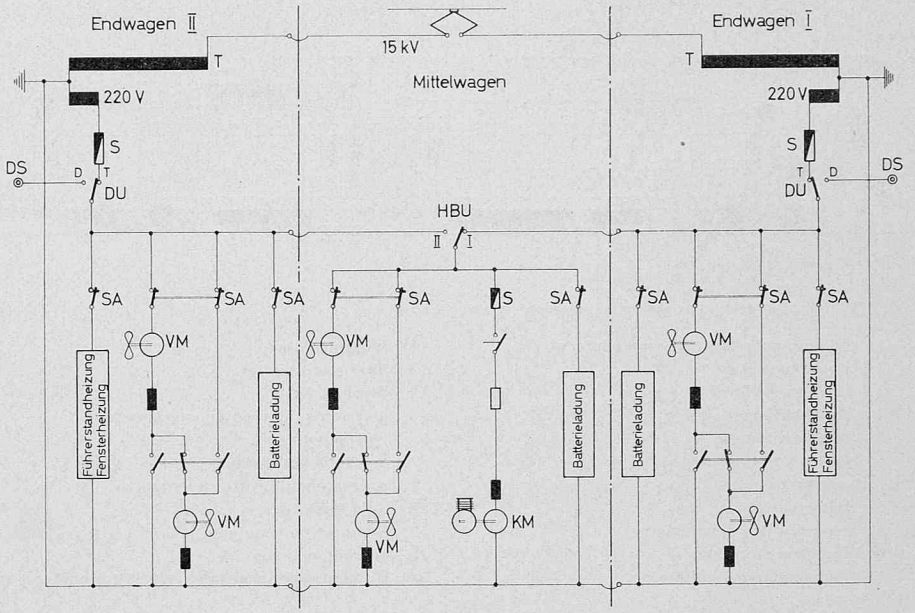


Bild 29. Schema der Hilfsbetriebsstromkreise

T Haupttransformator
S Sicherung
DU Depotumschalter
DS Depotsteckdose
HBU Hilfsbetriebsumschalter
SA Schaltautomat
VM Ventilatormotor
KM Kompressormotor



Der Fahrmotor (Bild 27) weist 6 Pole auf. Es wurde eine einfache Schleifenwicklung angewendet. Das Gewicht beträgt 1250 kg, die Anzahl Bürsten pro Bürstenstift 4, die Nennwerte sind auf Tabelle 3 angegeben.

Der Fahrmotor ist mit Materialien der Isolationsklasse F isoliert. Die Imprägnierung wurde unter Vakuum mit einem lösungsmittelfreien Lack durchgeführt. Jeder Motor erhält seine Kühlluft durch einen eigenen Ventilator. Die beiden Ventilatoren der Fahrmotoren eines Drehgestells werden durch einen gemeinsamen Hilfsbetriebemotor angetrieben. Die Ventilationsgruppen sind im Dach über den entsprechenden Drehgestellen angeordnet. Während der Fahrt werden die Fahrmotoren immer stark ventiliert. Während des Stillstandes des Zuges bleibt eine schwache Ventilation ständig eingeschaltet. Diese Nachventilation ist von besonderer Bedeutung für das Abführen der Motorstauwärme sowie zum Verhindern, dass durch Kaminwirkung Staub oder Pulverschnee durch die Fahrmotoren angezogen werden. Die Kühlluftmenge beträgt pro Fahrmotor 45 m³/min bei starker und 30 m³/min bei schwacher Ventilation.

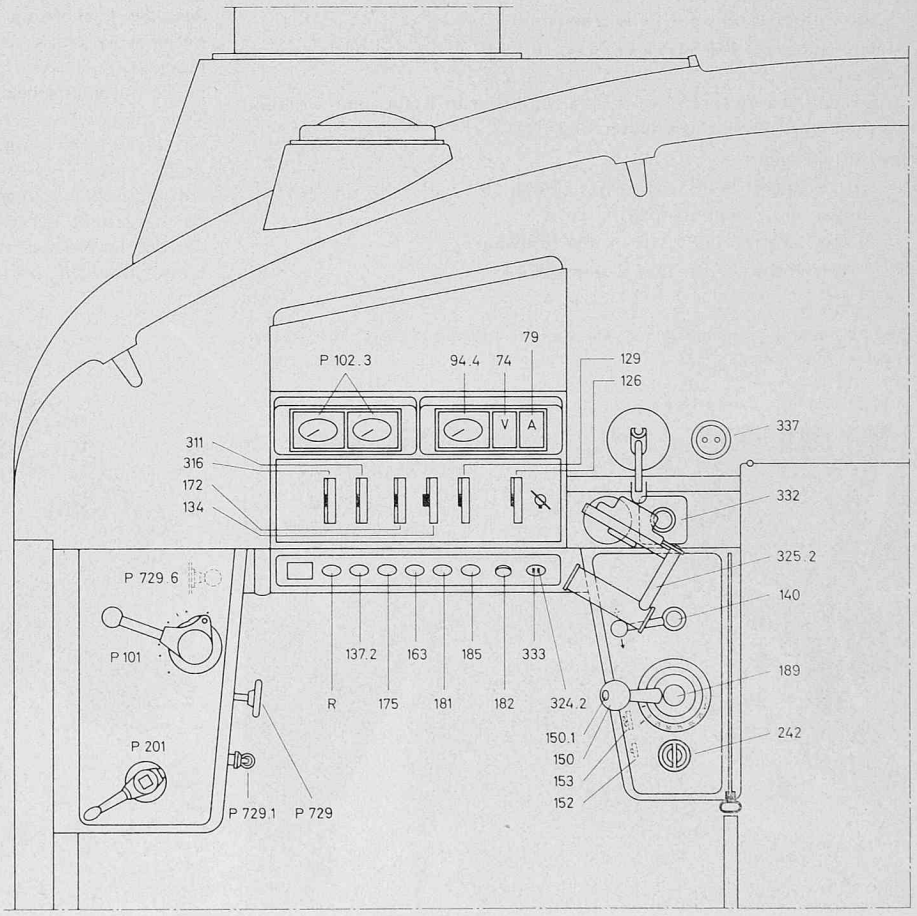
5. Der Rekuperationsblock (Bild 28)

Sämtliche induktive Drosselspulen und Erregertransformatoren des Bremsstromkreises der beiden Halbzüge wurden in einem Ölkessel vereinigt, dessen Konstruktion derjenigen der Haupttransformatoren ähnlich ist. Die Kühlung erfolgt ebenfalls durch natürliche Ventilation von den am Kessel angeschweissten Radiatoren. Wie für die Transformatoren ist Zwangskühlung durch eine Zirkulationspumpe und einen Ölkühler für die Extrembedingungen des Pflichtenheftes erforderlich. Die Rekuperationsblöcke sind auch für den Einbau dieser Zusatzeinrichtung vorbereitet im Falle, dass die Triebzüge dauernd unter diesen Bedingungen eingesetzt werden sollten.

Der Rekuperationsblock enthält nicht die ohmschen Widerstände

Bild 30. Anordnung der Bedienungsorgane im Führerstand

74 Fahrleitungsvoltmeter
79 Ampèremeter für Fahrmotorstrom
94.4 Doppelanzeiger für Ist- und Sollgeschwindigkeit
126 Steuerschalter für Steuerstrom
129 Steuerschalter für Stromabnehmer
134 Steuerschalter für Hauptschalter
137.2 Meldelampe für Hauptschalter
140 Fahrtrichtungsschalter
150 Fahrschalter
150.1 Druckknopf für Leerlauf
152 Druckknopf für Notsteuerung
153 Umschalter für Notsteuerung
163 Meldelampe für Leerlauf
172 Steuerschalter für Kompressor
175 Meldelampe für Ventilation
181 Meldelampe für Abfertigung
182 Druckknopfschalter für Türschliessung
185 Meldelampe für Türschliessung
311 Steuerschalter für Zugbeleuchtung
316 Steuerschalter für Dienstbeleuchtung
324.1 Schalter für Fahrplanhalter
325.2 Fahrplanhalter
332 Abblendpotentiometer
333 Abblendschalter
P 101 Führerbremsventil für automatische Bremse
P 102.3 pneumatische Messinstrumente
P 201 Rangierbremsventil
P 729 Hahn für Scheibenwischer
P 729.1 Hahn für Rücksehspiegel



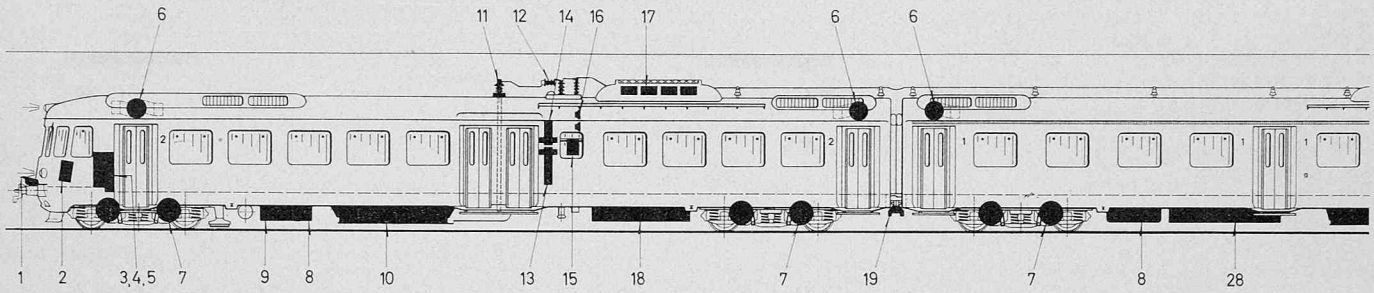


Bild 31. Disposition der elektrischen Ausrüstung

1 automatische Steuerstromkupplung
2 Steuerkontroller
3 Schalttafel für Hilfsbetriebe
4 Gleichstromschalttafel
5 Relaisschalttafel
6 Ventilatormotor
7 Fahrmotor
8 Batterien
9 induktive Wendepolshunts
10 Haupttransformator
11 Hochspannungseinführung
12 Hauptschalter
13 Bremsumschalter
14 Wendeschalter
16 elektronische Empfängerausrüstung der Endwagen
17 ohmsche Wendepolshunts und Regulierwiderstände für Bremserregung
18 Schützenbatterie
19 Steuerstromkupplung
20 Stromabnehmer
21 Hilfsbetriebeschalttafel und Batterieladegerät
22 Gleichstromschalttafel
23 Relaisschalttafel
24 steckbare Apparatekasten für elektronische Geschwindigkeitsregelung, Sicherheitssteuerung und Zugsicherung
25 Bremsumschalter
26 Kompressor
27 Rekuperationsblock
28 Kondensatorbatterie
29 ohmsche Wendepolshunts und Widerstände für Bremserregung

und die Kondensatoren des Nutzbremsstromkreises. Letztere sind in zwei Batterien zu je 14 Kondensatoren gruppiert, welche beidseitig unter dem Boden des Mittelwagens in der Längsrichtung angeordnet sind. Die festen Widerstände befinden sich auf dem Dach des Mittelwagens und diejenigen für die Regelung der Rekuperationserregung sind in der Nähe der entsprechenden Schützenbatterien auf dem Dach der Endwagen aufgestellt.

f) Der Hilfsbetriebestromkreis

Die Hilfsbetriebe werden mit 220 V durch eine besondere Wicklung des Haupttransformators gespeist. Die Maschinen und Apparate des Zwischenwagens können mittels eines Umschalters an einen der beiden Transformatoren angeschlossen werden. Das Hilfsbetriebenetz kann, wie bei sämtlichen Triebfahrzeugen, für die Unterhaltskontrollen ans Depotnetz 220 V, $16^2/_3$ Hz angeschlossen werden. Das Schema der Hilfsbetriebe (Bild 29) ist sehr einfach. Die Hilfsbetriebe umfassen:

in den Endwagen:

— die Führerstand- und Fensterheizung
— ein Ladegerät WESTAT G 7434, 36 V, 40 A für die Beleuchtungsbatterien
— 2 Ventilatormotoren, welche im Stillstand in Reihe und während der Fahrt in Serie geschaltet sind

im Mittelwagen:

— ein Ladegerät WESTAT, Typ G 7434, 36 V, 40 A für die Beleuchtungs- und Steuerstrombatterien
— 2 Ventilatormotoren, wie in den Endwagen
— 1 Antriebsmotor für den Kompressor

Sämtliche Verbraucher des Hilfsbetriebestromkreises sind durch Schaltautomaten geschützt, mit Ausnahme des Kompressormotors, dessen Stromstärke für solche Schutzapparate zu hoch ist.

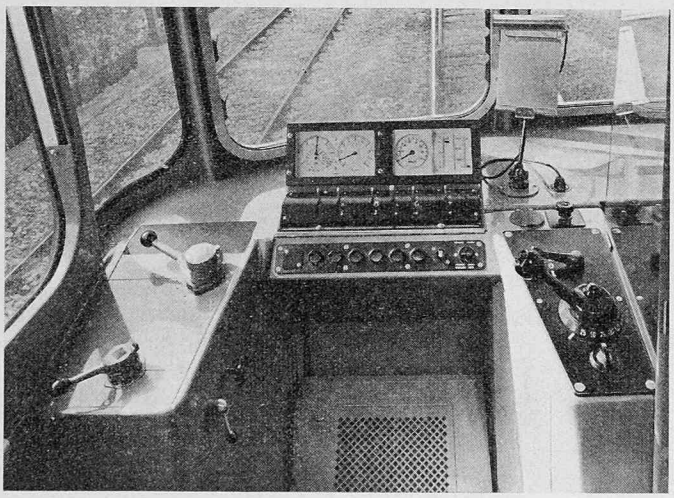
g) Die Zugheizung

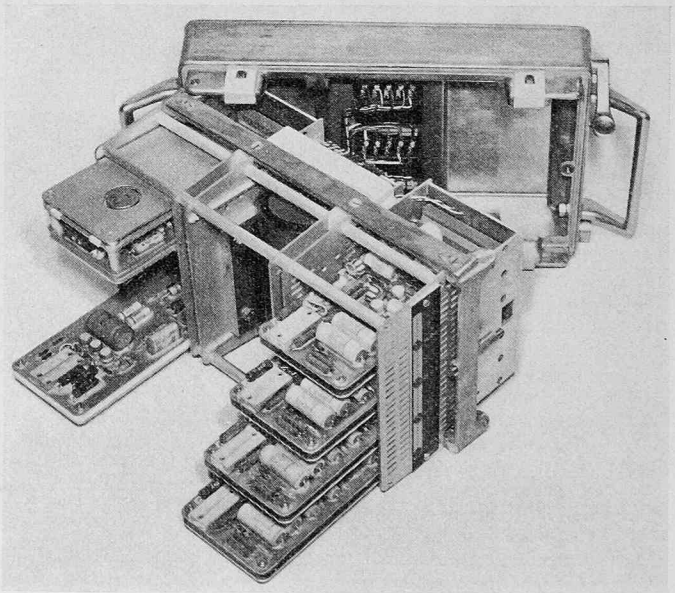
Die Zugheizung erfolgt in ähnlicher Weise wie bei den Einheitswagen [5]. Es handelt sich um eine Warmluftheizung, welche durch eine Wechselspannung von 1000 V gespeist wird. Jeder Halbzug wird einzeln geheizt. Die Heizleistung der Transformatoren erlaubt nicht, wenn einer von ihnen defekt ist, den ganzen Zug von einem einzigen Transformator aus zu heizen. Es ist festzuhalten, dass die Heizschütze einschalten, sobald der Stromabnehmer gehoben wird. Die Heizleitung befindet sich damit dauernd unter Spannung, was automatisch die Ventilation der Abteile während der warmen Jahreszeit sichert und den Lokführer von der Bedienung der Zugheizung entlastet.

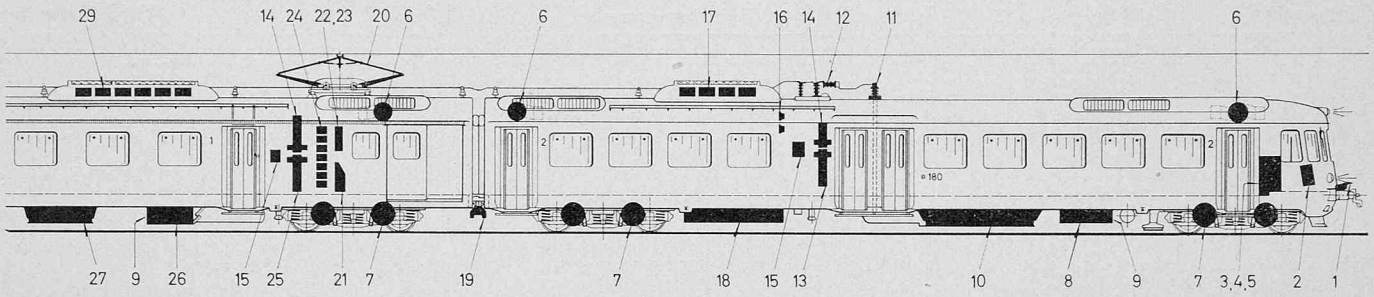
Der Schaltung des Heizstromkreises wurde eine sehr schwere Bedingung in bezug auf die Vorheizung gestellt. Es wurde verlangt, dass die Vorheizung einer Komposition von vier abgestellten Zügen mit dem Anschluss an die Vorheizanlage mittels eines einzigen Kabels möglich sei. Diese Bedingung erfordert die Führung der Heizleitung in die automatischen Kupplungen, wo 10 Kontakte des elektrischen Teils diesem Zweck reserviert und entsprechend isoliert werden müssen. Dazu ist es nötig, die zwei Heizleitungen der beiden Hälften eines Zuges mittels Umschalter untereinander sowie mit der entsprechenden automatischen Kupplung zu verbinden. Diese Verbindungen dürfen nur hergestellt werden, wenn die Komposition abgestellt ist und müssen bei der Wiederinbetriebnahme wieder aufgehoben werden. Diese Umschaltungen müssen zudem auch gemacht werden können, wenn

Bild 33 (rechts). Ansicht eines steckbaren Apparatekastens mit elektronischer Ausrüstung

Bild 32 (unten). Führerstand







die allgemeine Luftreserve der Züge erschöpft ist und dürfen zu keiner Dauerentladung der Steuerstrombatterien führen. Die Aufgabe wurde auf befriedigende Art gelöst; der Aufwand dafür ist jedoch ziemlich gross.

h) Der Beleuchtungsstromkreis

Die Triebzüge sind mit einer Glühlampenbeleuchtung ausgerüstet. In den 2. Klass-Abteilen sind Glühlampen von 30 W und in den 1. Klass-Abteilen solche von 50 W installiert. Die Beleuchtung ist, wie bei den modernen Pendelzügen, vom Führerstand aus ferngesteuert. Ein Umschalter erlaubt, einzeln in jedem Wagen eine reduzierte Beleuchtung für die Reinigungsarbeiten einzuschalten.

i) Die Lautsprecheranlage

Die Triebzüge sind mit einer Lautsprecheranlage ausgerüstet. Eine Sprechstelle mit Vorverstärker und Endstufe befindet sich im Gepäckabteil der Zwischenwagen. Die Personenabteile sind mit je zwei Lautsprechern und einem Lautstärkeregler ausgerüstet. Die Steuerung ist so vorgesehen, dass von der Sprechstelle eines beliebigen Zuges die Verstärker von allen sich in Vielfachsteuerung befindlichen Zügen angesteuert werden. Der Anschluss eines zusätzlichen Steuergeräts ist in jedem Führerstand möglich.

k) Die Steuer-, Kontroll- und Sicherheitsstromkreise

Wo immer möglich und mit Ausnahme der Steuerung der Traktionsausrüstung wurden die für die RBe4/4-Triebwagen und Re4/4^{II}-Lokomotiven bereits normalisierten Schemata und Apparate verwendet. So findet man für die Messstromkreise in jedem Halbzug einen Messwertgeber Trüb Täuber & Co., welcher eine zwischen 0 und 10 V variierende Gleichspannung für die Wechselgrösse der Fahrleitungsspannung und des Fahrmotorstroms liefert. Das Anzeigeinstrument für die Fahrmotorstromstärke zeigt den höchsten Strom aller sich in Vielfachsteuerung befindlichen Fahrmotoren.

Die Schemata für die Steuerung der Beleuchtung, die Türschliessung und die Zugabfertigung sind identisch mit denjenigen, die bei den letzten Pendelzügen verwirklicht wurden. Ein Abfertigungsschalter befindet sich auf jeder Seitenwand jedes Wagens sowie im Innern des Gepäckabteils. Jeder Triebzug verfügt über einen elektronischen Sicherheitsapparat ASEGA mit Wachsamkeitskontrolle und über die automatische Zugsicherung INTEGRA.

Die Geschwindigkeit wird in den Führerständen durch ein elektrisches Instrument angezeigt. Die klassischen Streifen- und Farbscheibentachographen sind je nur in einem Exemplar vorhanden und in einem Kasten im Gepäckabteil des Zwischenwagens angeordnet. Sie dienen lediglich der Registrierung der Geschwindigkeit- und Zeitdiagramme in Funktion des Weges.

b) Die automatische Geschwindigkeitssteuerung

Im Vorortverkehr mit einem Fahrplan, in dem jede Sekunde wertvoll ist, ist es wichtig, die installierte Leistung voll auszunützen und die ideale Fahrschaulinie möglichst auszufahren. Es ist daher angebracht, dem Lokomotivführer ein System zur Verfügung zu stellen, welches die Manipulationen so weit wie möglich vereinfacht. Es ist heute nicht mehr denkbar, ohne eine gewisse Automatik alle 2 Minuten 29 Stufen für die Anfahrt und fast soviele für die elektrische Bremsung aufschalten zu müssen. Aus diesem Grund hat man eine Geschwindigkeitssteuerung eingebaut. Der Lokomotivführer stellt mit einem Fahrschalter die von ihm gewünschte Fahrgeschwindigkeit des Zuges ein. Die Anfahrt oder die Bremsung sowie die Haltung der Sollgeschwindigkeit geschehen automatisch. Dabei wird der zulässige Fahrmotorstrom nicht überschritten und es entstehen keine ruckartige Bewegungen im Zuge. Die Ist- und Soll-Geschwindigkeit werden durch ein Doppelzeiger-Messinstrument angezeigt. Der Lokomotivführer ist somit von lästigen Operationen entlastet und kann seine volle Aufmerksamkeit der Strecken- und Signalbeobachtung schenken. Die Bilder 30 und 32 zeigen die Anordnung der Bedienungsorgane im Führerstand.

Eine solche Aufgabe wäre mit konventionellen Mitteln sehr schwierig zu lösen; nur eine elektronische Steuerung kann den Beanspruchungen eines intensiven Vorortverkehrs genügen. Aus diesem Grund hat man nach Möglichkeit mechanische Kontakte durch Halbleiter ersetzt. Der Elektronik wurden folgende Bedingungen gestellt:

— Regelung der vom Lokomotivführer eingestellten Sollgeschwindigkeit mit einer Genauigkeit von 1 bis 2 km/h
— Begrenzung des Motorstroms auf einen mit dem Komfort der Fahrgäste und den Charakteristiken der elektrischen Ausrüstung vereinbaren Wert
— Begrenzung der Maximalspannung an den Bremskondensatoren
— Automatische Ergänzung der Nutzstrombremse durch Einwirkung der elektropneumatisch gesteuerten Bremse
— Feststellung und Bekämpfung des Schleuderns und des Gleitens, unabhängig in jeder Zughälfte
— Vielfachsteuerung von im Maximum 4 Triebzügen mit minimalem Aufwand
— Steuerung der Schützenbatterien ohne Relais und ohne mechanische Servokontroller.

Die Elektronik besteht aus zwei Hauptteilen, dem Sende- und dem Empfängerteil. Der Sendeteil enthält die Elemente, welche die Vielfachsteueradern speisen und die Empfänger sind diejenigen, welche von diesen Leitungen die Steuerbefehle erhalten (Bild 34).

1. Die Senderausrüstung

Die Senderausrüstung befindet sich im Mittelwagen. Sie ist nur im Spitzentriebzug in Betrieb; der Lokomotivführer kann sie jederzeit ausser Betrieb setzen, indem er kurzzeitig einen Druckknopf drückt, der im Fahrhebel seines Steuerkontrollers angeordnet ist. Damit löst er ein Leerlaufrelais aus, welches die Senderausrüstung von den Vielfachsteueradern trennt. Der Zug läuft dann leer, bis der Lokomotivführer den Fahrhebel erneut betätigt. Der Sendeteil ist ebenfalls ausser Betrieb, wenn der Lokomotivführer den Notbetrieb einrichtet. Der Sendeteil wird dabei überbrückt und die Empfänger werden direkt gesteuert durch Signale, die vom Lokomotivführer auf die Vielfachsteueradern gegeben werden. Die Sendeeinrichtung ist in vier steckbaren Apparatekasten angeordnet.

2. Die Vielfachsteueradern

Es sind drei Vielfachsteueradern nötig, um von einer Sendeausrüstung aus vier Triebwagenzüge steuern zu können:

— Der Draht «Fahren» speist die Fahrstellungsventile und die Kontrollstromkreise der Fahr- und Bremsumschalter.
— Der Draht «Bremsen» speist nebst den Bremsstellungsventilen und den Kontrollstromkreisen der Fahr- und Bremsumschalter die Empfänger zur Steuerung der elektropneumatischen Bremse.
— Der Draht «Stromreferenz» steuert über den Empfängerteil die Speisespannung der Fahrmotoren sowie die elektropneumatisch gesteuerte Bremse. Dieser Draht erhält ein impulsbreitenmoduliertes Signal, dessen Potential dem Plus der Steuerstrombatterie gleich ist. Die Modulation 1 entspricht der maximalen Aufschaltkadenz der Stufenhüpfer und die Modulation 0 der maximalen Abschaltkadenz. Dies erlaubt die Verwirklichung einer einfachen Notsteuerung, indem man im Störungsfall der Sendeausrüstung an diesem Draht die Pluspolarität der Steuerstrombatterie anlegt oder nicht.

3. Die Empfängerausrüstung für den elektrischen Teil

Diese Ausrüstung befindet sich in den Endwagen. Ihre Betriebstüchtigkeit ist für das richtige Funktionieren der entsprechenden Halbzug-Einrichtung unentbehrlich. Die Ausrüstung besteht aus drei steckbaren Apparatekasten.

4. Die Empfänger für die elektropneumatische Bremse

Diese Empfänger sind im Mittelwagen untergebracht. Sie sind in einem einzigen steckbaren Apparatekasten vereinigt, dessen beide

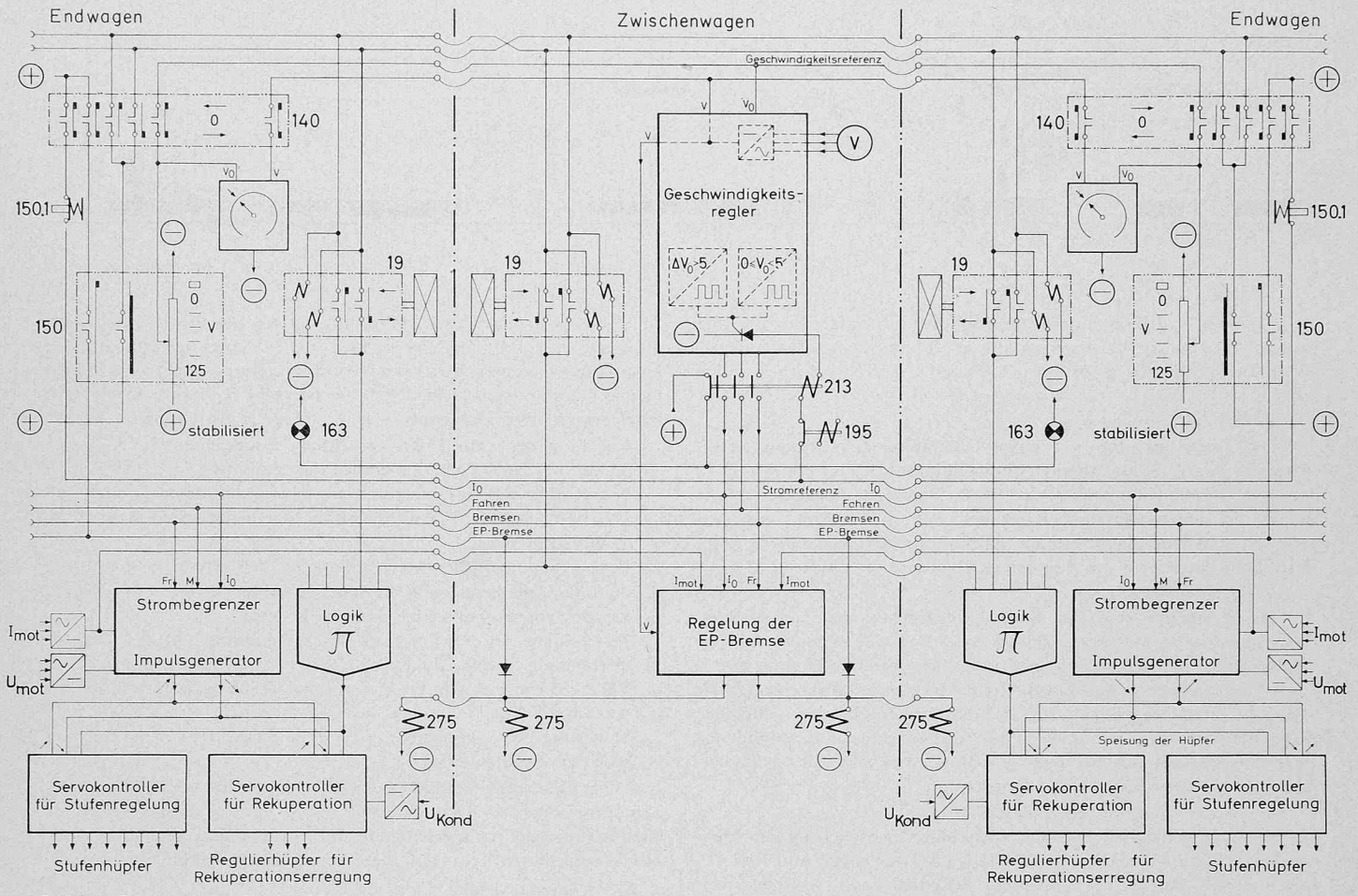


Bild 34. Prinzipschema für die Geschwindigkeitssteuerung

V	Istgeschwindigkeit	U_{mot}	Fahrmotorspannung	163	Meldelampe für Leerlauf
V_o	Sollgeschwindigkeit	19	Wendeschalter	195	Hilfsrelais für angezogene Luftbremse
I_o	Stromreferenz	140	Fahrtrichtungsschalter	213	Leerlaufrelais
I_{mot}	Fahrmotorstrom	150	Steuerkontroller	275	Elektroventil für elektropneumatische Bremse
U_{kond}	Bremskondensatorenspannung	150.1	Druckknopfschalter für Leerlauf		

Hälften die Elektroventile der elektropneumatischen Bremse der beiden Halbzüge steuern.

5. Die Apparatekasten der Senderausrüstung

5.1 Kasten «Speisung»

Dieser Kasten liefert die Spannungen, die für die Speisung der Senderausrüstung nötig sind. Die Elektronik arbeitet mit ± 12 V, wobei das Potential — 12 V demjenigen des Minus der Steuerstrombatterie entspricht.

5.2 Kasten «Geschwindigkeitsmessung»

In diesem Kasten werden die beiden Grössen gebildet, welche für die Geschwindigkeitssteuerung mit Differentialregler System Sécheron benötigt werden [8]. Die durch einen auf einer Achswelle montierten Dreiphasen-Tachoalternator gemessene Geschwindigkeit wird in eine kontinuierliche Grösse umgewandelt. Sie wird mit der Soll-Geschwindigkeit verglichen, die durch ein im Steuerkontroller montiertes Potentiometer geliefert wird. Es resultiert daraus ein Signal, das dem Geschwindigkeitsunterschied proportional ist. In der Nähe des Unterschiedes 0 wird diese Grösse abgeleitet, um ein Signal zu erhalten, welches stark und proportional mit der Beschleunigung variiert.

5.3 Kasten «Geschwindigkeitsregler»

In Funktion der Signale für Geschwindigkeitsdifferenz und Beschleunigung wird in einem Print entschieden, ob vom Fahr- in Bremsbetrieb oder umgekehrt übergegangen werden muss. Diese Umschaltung ist nur möglich, wenn die Zug- oder Bremskraft klein genug ist, um eine Unterbrechung zu erlauben, ohne dass im Zuge ruckartige Bewegungen entstehen. Die Stromreferenz wird in diesem Kasten bearbeitet. Dabei werden hauptsächlich die Geschwindigkeitsdifferenz, die Restbeschleunigung und die Fahrmotorstromstärke berücksichtigt. Wenn die Soll-Geschwindigkeit kleiner als 35 km/h ist, wird die Aufschaltkadenz der Stufenhüpfer begrenzt, damit in Bahnhöfen mit kleiner Beschleunigung rangiert werden kann. Eine ähnliche Begrenzung erfolgt, wenn die gemessene Beschleunigung grösser als 1,1 m/s² beträgt.

5.4 Kasten «Sender»

Dieser Kasten enthält die Leistungsstufen für die Speisung der drei Vielfachsteueradern. Beim Einschalten dieser Stufen werden ihre Ausgänge mit dem Plus der Steuerstrombatterie verbunden. Ein zusätzlicher Print erfasst die Fahrschalterbewegungen. Der Lokomotivführer kann somit den Leerlauf des Zuges aufheben und die automatische Steuerung wieder einschalten. Der gleiche Print liefert dem Sicherheitsapparat die für die Rückstellung der Wachsamkeitskontrolle nötigen Impulse.

6. Die Apparatekasten der Empfängerausrüstung

6.1 Kasten «Strombegrenzer und Impulsgenerator»

Dieser Kasten erzeugt die stabilisierte Speisespannung für sich selbst und für den Potentiometer des Steuerkontrollers des entsprechenden Halbzuges. Die Ströme der drei Fahrmotorenzweige werden in kontinuierliche Grössen umgewandelt. Der grösste dieser Werte wird ermittelt und verstärkt. In Funktion dieses Stromes und der im Vielfachsteuerkabel «Stromreferenz» vorhandenen Modulation liefert ein Doppel-Impulsgenerator Aufschalt- oder Abschaltimpulse für den Stufenschalter. Die Kadenz dieser Impulse ist so geregelt, dass ein ruhiger Lauf des Zuges entsteht und dass die Übergänge zu starken Beschleunigungen oder Verzögerungen rucklos erfolgen. Eine zusätzliche Schaltung erfasst das Schleudern bzw. das Gleiten durch Vergleich der Stromstärken in den drei Fahrmotorzweigen oder durch Vergleich der Motorspannungen innerhalb der in Reihe geschalteten Fahrmotoren eines Drehgestells. In einer ersten Stufe bewirkt diese Schaltung das rasche Abschalten der Stufenhüpfer und im Fahrbetrieb die Anlegung der elektropneumatischen Bremse. In einer zweiten Stufe werden die Trennschütze ausgelöst.

6.2 Kasten «Servokontroller für Stufenregelung» (Bild 33)

Dieser Kasten enthält die logische Schaltung, welche die Speisespannung der Hüpfer liefert, wenn alle Wendeschalter sowie Fahr- und Bremsumschalter in richtiger Stellung stehen. Ein Print bezweckt die Anpassung der Impulse des Impulsgenerators an den Eingang der Servokontroller. Er gestattet insbesondere die Einstellung der Hüpfer-Maximalschaltkadenz. Die für die Hüpfer gewählte Folgeschaltung erlaubt, sie mittels eines mechanischen Servokontrollers mit 8 Stellungen und 8 Kontakten zu steuern. Diese Funktion wird vom statischen Servokontroller übernommen. Der Zyklus von 8 Kontakten und Stufen wird von 4 Umschaltern mit je 2 Halbleiter-Thyratronen verwirklicht.

6.3 Kasten «Servokontroller für Rekuperation»

Dieser Kasten bewirkt durch ähnliche Umschaltelemente wie in den Servokontrollern für Stufenregelung die progressive Aufschaltung der Schützen zur Shuntung der Drosselspule im Bremserreger-Stromkreis. Ein Print überwacht die Spannung der Bremskondensatoren und leitet, wenn ihre Grenzspannung erreicht ist, den Aufschaltbefehl von den Stufenschützen auf die Schütze für die Regelung der Bremserregung um.

6.4 Kasten «Regelung der elektropneumatischen Bremse»

Dieser Kasten enthält zwei unabhängige Empfänger, die nur im Betrieb sind, wenn die Vielfachsteueradern «Bremsen» gespeist sind. Jeder Empfänger speist die beiden Elektroventile zur elektropneumatischen Bremse der entsprechenden Zughälfte und sichert die drei folgenden Funktionen:

— wenn der Bremsstrom der entsprechenden elektrischen Ausrüstung einen Minimalwert nicht erreicht, kompensiert er automatisch den Bremskraftverlust der elektrischen Bremse, sofern Modulation auf dem Referenzstrom-Steuerkabel vorhanden ist
— wenn die Fahrgeschwindigkeit kleiner als 7 km/h ist, speist er die Elektroventile impulsweise, so dass ein Stillhaltebremsdruck von 1,4 atü in den Bremszylindern herrscht
— bei Haltebremsungen setzt er bei 30 km/h die Stillhaltebremse in Funktion und bewirkt das Abschalten der Rekuperationsbremse. Wenn der Bremsstrom verschwunden ist, erhöht er den Bremszylinderdruck auf 2,8 atü, bis die Geschwindigkeit auf 7 km/h absinkt. Er verringert ihn dann wieder auf den Wert der Stillhaltebremse.

m) Die Anordnung der elektrischen Ausrüstung

Dem Konstrukteur wurden schwere Bedingungen gestellt, indem nur eine beschränkte Anzahl von sehr kleinen Apparateräumen im Innern der Wagen zugelassen wurde. In den Endwagen stand nebst den Führerkabinen nur ein Apparateschrank für die Wendeschalter und die Fahr-Bremsumschalter zur Verfügung.

Man war dadurch gezwungen, den grössten Teil der elektrischen Ausrüstung unter dem Wagenboden und auf dem Wagendach zu montieren. Im Wageninnern wurde der verfügbare Platz maximal ausgenützt, indem man mehrstöckige elektrische Schalttafeln vorsah. Bild 31 zeigt die verwirklichte Anordnung, welche eine befriedigende Zugänglichkeit zu den Apparaten bietet. Wie schon erwähnt, werden die Kabelkanäle durch einen Teil der Fahrmotor-Ventilationsluft belüftet, so dass die Apparatekasten unter leichtem Überdruck stehen. Diese Massnahme schützt die elektrische Ausrüstung gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und Staub.

G. Betriebserfahrungen

Nach monatelanger Erprobung des ersten gelieferten RABDe 12/12 auf der Strecke Bern–Romont in einem besonderen Versuchsfahrplan wurden auf Ende Mai 1966 drei, auf den Fahrplanwechsel im September drei weitere RABDe 12/12 im bestehenden Fahrplan der rechtsufrigen Zürichseelinie eingesetzt. Knapp die Hälfte aller Züge dieser Strecke sind damit mit dem neuen Rollmaterial bedient. Da die heutigen Fahrzeiten für die RABDe 12/12 reichlich bemessen sind, verschwanden sehr viele chronische Zugsverspätungen, die besonders in den Stosszeiten dem Publikum unangenehm waren. Wegen technischen Störungen kam es seither zu drei oder vier Zugsausfällen und einigen wenigen grösseren Verspätungen.

Die Laufeigenschaften der RABDe 12/12 dürfen als gut bezeichnet werden. Die Fahrgeräusche sind innen und aussen gering. Als unangenehm wird der Lärm des sehr häufig laufenden Kolbenkompressors empfunden.

Ein inzwischen behobener Mangel an den Achslagern führte zu einer Panne am ersten Betriebstag. Der äussere Ring des Pendelrollenlagers konnte sich im Gehäuse des Achslagers verschieben. Dies bewirkte, dass sich drehende und still stehende Teile der Achslager berühren konnten, was zum Warmlaufen der Lager führte, ohne dass grössere Schäden eintraten.

Die K-Sohlen führen bei feuchtem Wetter zu starken Beschädigungen der Bandagen durch Eiseneinschlüsse in den Sohlen, jedoch nur wenn die spezifische Pressung Sohle-Rad klein ist. Einige derartige Fälle sind an den Enddrehgestellen aufgetreten, welche mit Handbremse versehen sind.

Im allgemeinen sind bisher am mechanischen Teil keine schwerwiegenden Mängel aufgetreten. Die bisher zurückgelegten Parcours dieser Züge sind allerdings noch nicht sehr gross.

Seit den ersten Kontrollfahrten funktionierte der elektronische Regler zufriedenstellend. Es wurden nur geringe Anpassungen notwendig. Die Genauigkeit der Geschwindigkeitsregelung sowie die feine Abstufung beim Anfahren und Bremsen fielen von Anfang an auf.

Die elektrische Bremse zeigte schon bei den ersten Einstellungsfahrten eine hohe Stabilität bei allen Geschwindigkeiten und völlige Unempfindlichkeit gegen Selbsterregung. Die garantierte Bremskraft von 16 t zwischen 100 und 30 km/h wurde sehr gut eingehalten.

Grosse Beschleunigungen bis zu hohen Geschwindigkeiten erfordern starke Leistungsspitzen in der Stromversorgung. Auf der rechtsufrigen Zürichseelinie sind in diesem Zusammenhang Verstärkungen in den Unterwerken und in der Fahrleitungsanlage geplant und eingeleitet worden, die bis im Frühling 1968 abgeschlossen sein werden. Damit die neuen Triebzüge bis zu diesem Zeitpunkt auf dieser Strecke eingesetzt werden können, mussten sie mit einer Primärstrombegrenzung ausgerüstet werden. Dank der Anpassungsmöglichkeit der elektronischen Steuerung konnte diese Begrenzung ohne besondere Schwierigkeiten und auf elegante Art verwirklicht werden. Für die heutigen Fahrzeiten ist die sich daraus ergebende Verringerung der mittleren Beschleunigung nicht von Bedeutung. Die Begrenzung wird progressiv aufgehoben mit der Steigerung der Leistungsfähigkeit des Versorgungsnetzes.

Wie immer, wenn neuartiges Rollmaterial ohne vorherige Erprobung einer Prototypausführung in Betrieb genommen wird, haben sich einige «Kinderkrankheiten» gezeigt. Sie werden in enger Zusammenarbeit mit den Lieferfirmen untersucht und behoben.

Einige Bilder des Aufsatzes wurden freundlicherweise von den beteiligten Firmen zur Verfügung gestellt.

Literaturhinweise

[1] Das 10jährige Bauprogramm der SBB für Rollmaterial. SBB-Nachrichtenblatt 8–9/1957.
[2] Der Ausbau der Linie Zürich–Meilen–Rapperswil. SBB-Nachrichtenblatt 2/1962.
[3] Aus der Arbeit des ZfW. SBB-Nachrichtenblatt 6/1964.
[4] Über das traktionstechnische Konzept der SBB. SBZ 29/16. Juli 1964.
[5] Die neuen Einheitswagen der SBB. Jahrbuch des Eisenbahnwesens 1959.
[6] Doppelspur und starrer Fahrplan am rechten Zürichseeufer. «Technische Rundschau» Nr. 3, 21. 1. 1966.
[7] Scherenstromabnehmer für hohe Fahrgeschwindigkeiten. «BBC-Mitteilungen» 9/1960.
[8] Applications récentes de l'électronique dans les dispositifs de commande destinés aux véhicules-moteurs en traction électrique. «Neue Technik» 1/1964.
[9] *Hausherr, A.:* Die automatische Kupplung der Vororttriebzüge RABDe 12/12 der Schweiz. Bundesbahnen. SBZ *85* (1967) H. 14, S. 239–245.

Mitteilungen

Naturstoffchemie im Battelle-Institut. Das genannte Institut, 7, route de Drize, 1227 Carouge-Genf, teilt mit, dass seine *Gruppe für Naturstoffchemie* gegenwärtig folgende Gebiete behandelt: Bestimmung des Nährwertes von Lebensmitteln: chemische und mikrobiologische Methoden sowie Tierversuche – Quantitative Bestimmung der Aminosäuren in Eiweisstoffen – Toxikologische Untersuchungen an pharmazeutischen Produkten und Lebensmittel-Zusätzen – Lebensmittel-Technologie: Verfahren zur «Instantisierung», Konzentration, Trocknung (Gefriertrocknung, Sprühtrocknung, usw.) – Pasteurisierung und Sterilisierung: Milch, pflanzliche und mikrobielle Eiweissstoffe – Bakteriologie der Lebensmittel: Kontrolle und Verfahren – Industrielle Gärung: spezielle Kulturmedien (Alkane, Kohlenstoffe, Methan, usw.). Synthese auf mikrobiologischem Wege – Studium der Druckverpackung – Automatisierung und Optimalisierung von chemischen Verfahren und Lebensmittel-technologischen Prozessen. – Besondere Aufmerksamkeit wird der *Gefriertrocknung* geschenkt. Durch sie können Produkte mit neuen Eigenschaften bezüglich Art