

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 88 (1970)
Heft: 14

Artikel: Die Lokomotiven Serie Re 4/4² und Re 4/4³ der SBB
Autor: Meyer, Karl
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-84473>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Aufruf zur Schweizer Mustermesse 1970

Es werben Plakate, man sieht Inserate, und Zeitungsartikel weisen drauf hin: vom 11. bis 21. April findet in Basel die Schweizer Mustermesse statt. Ein alljährliches Frühjahrseignis, gewiss; aber doch hineingestellt in stets wieder andere Zeitumstände. Das trifft auf die diesjährige Veranstaltung in ganz besonderem Masse zu. Der Mensch hat seinen Fuss ins Weltall gesetzt. Epochemachendes ist geschehen – und schon ist es fast in unsern Alltag einbezogen. Schweizer Erzeugnisse waren beim Vorstoß ins Weltall dabei; sie stehen auch sonst in vorderster Linie der industriellen und wirtschaftlichen Entwicklung. Was in unserem Land intelligente Köpfe ersonnen, was begabte und fleissige Hände geschaffen haben, steht während der elf Messetage in Basel zur Schau. Einkäufer kommen aus allen Ländern der Erde, und die 2600 Aussteller setzen alles daran, die Gunst der Besucher zu gewinnen. So ergibt sich ein wechselseitiges Anbieten und Prüfen, Vergleichen und Wählen, das den Marktcharakter der Messe prägt. Das Angebot auch der diesjährigen Veranstaltung vermag zu bestehen. Hunderttausende von Besuchern aus dem ganzen Land und von allen Kontinenten werden in Basel erwartet; die Aussteller, die Messeleitung und die Stadt am Rhein heissen alle herzlich willkommen!

Schweizer Mustermesse

Der Präsident: A. Schaller Der Direktor: H. Hauswirth

Die Lokomotiven Serie Re 4/4^{II} und Re 4/4^{III} der SBB

DK 621.335.2

Von Karl Meyer, dipl. Ing., Bern

A. Einleitung

1. Zur Entstehungsgeschichte der Re 4/4^{II}

Ende 1960 gaben die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) bei der schweizerischen Industrie sechs Prototyplokomotiven einer neuen vierachsigen Bauart nach Bild 1 in Auftrag, denen insbesondere die Führung der immer schwerer werdenden Flachlandschnellzüge zugeschrieben war. Daneben sollten sie auch zur Beförderung von schnellen Güterzügen im Flachland und von leichteren Reisezügen auf Gebirgsstrecken (Gotthard und Simplon) geeignet sein, sowie in Doppeltraktion (Vielfachsteuerung) selbst schwerste Schnellzüge am Gotthard und Simplon befördern können [1]. Der geplante Einsatz war somit sehr vielseitig und verlangte eine möglichst hohe Zugkraft bis zur Maximalgeschwindigkeit, die unter Berücksichtigung zukünftiger Bedürfnisse mit 140 km/h festgelegt wurde. Das angestrebte Grenzleistungs-Diagramm (Bild 2) bedingte aus Leistungs- und Adhäsionsgründen – letzteres trotz besonderen Mass-

nahmen zur Erhöhung der betrieblich ausnutzbaren Haftreibung – ein totales Lokomotivgewicht von rund 80 t.

Um die hohe Zugkraft und Leistung dieser Lokomotiven in bezug auf erzielbare Fahrzeitgewinne voll zur Auswirkung zu bringen, war es notwendig, mit den erhöhten Kurven- und Maximalgeschwindigkeiten der Reihe R fahren zu können, die bisher ausschliesslich den Triebfahrzeugen mit einer Achslast bis maximal 17 t vorbehalten blieben. Eine Erhöhung dieses Achsdruckgrenzwertes auf 20 t durch die Bauabteilung der SBB war jedoch an die Bedingung geknüpft, dass die dabei auftretende Schienenbeanspruchung nicht oder nur unwesentlich vergrössert werden durfte. Es galt daher, alle bekannten Mittel zur Begrenzung der zwischen Rad und Schiene auftretenden Kräfte auf ihre Wirksamkeit zu prüfen und die entsprechenden konstruktiven Massnahmen zu verwirklichen. Erst auf Grund der an den Prototyp-Lokomotiven vorgenommenen Messungen dieser

Bild 1. Aussenansicht der Lokomotive Re 4/4^{II}



Bildernachweis:

BBC	19, 35, 36
MFO	16, 18, 24–27,
	32, 38, 39
TUBO	13
D. Heer, Zürich	41
Verfasser	42
SBB	1–12, 14, 15, 17, 20–23, 28–31, 33, 34, 37, 40

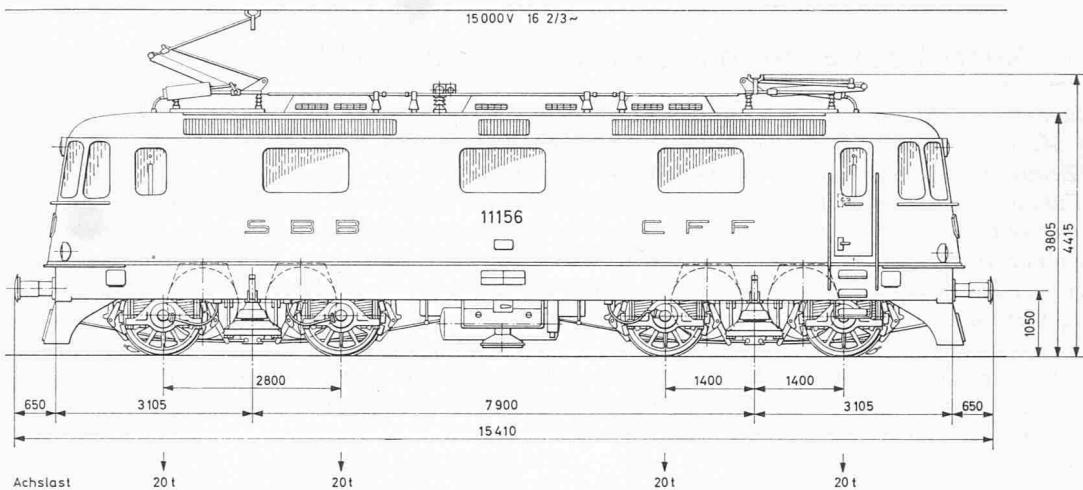


Bild 3. Typenbild der Re 4/4 II 11156—11254 und der Re 4/4 III 11351—11370, 1:120

Kräfte wurde die Reihe R zugestanden und damit der vollwertige Einsatz dieser Triebfahrzeuge im Schnellzugdienst ermöglicht [2].

Weiter galt es zu untersuchen, ob das neue Fahrzeug nach bisher üblicher Technik als Direktmotorlokomotive zu bauen sei oder ob sich die Anwendung der komplizierteren Gleichrichtertechnik wegen ihres besseren Adhäsionsverhaltens rechtfertige. Um diese Frage eindeutig abklären zu können, wurde eine Prototypmaschine (Nr. 11106, ursprünglich 11206) mit wahlweiser Schaltung als Direktmotor- oder Gleichrichterlokomotive gebaut. Dabei hat man die Übersetzung so gewählt, dass extrem hohe Zugkräfte entwickelt und dadurch die Adhäsionsgrenze jederzeit erreicht und überschritten werden konnte.

Die Auswertung der ausgedehnten Messungen [3] zeigte, dass der bei der Gleichrichtervariante erzielbare geringe Gewinn in bezug auf die Adhäsion die erhöhten Investitionen und das grösste technische Risiko gegenüber der bekannten und bewährten Direktmotorlösung – sofern gewisse Erkenntnisse (geeignete Fahrzeugcharakteristik) voll berücksichtigt werden – nicht rechtfertigen. Eine Leistungssteuerung mit Thyristoren stand im Zeitpunkt dieser Untersuchungen (1964) aus technischen Gründen noch nicht zur Diskussion.

Die Probelokomotive 11106 wurde nach Abschluss dieser Messungen normalisiert und bei dieser Gelegenheit

dispositions- und zum Teil apparativ gegenüber den übrigen fünf Prototyplokomotiven verbessert; sie diente somit als Muster-Voraustyp aller nachfolgenden Re 4/4 II.

Es ist gelungen, in den sechs Prototyplokomotiven eine Stundenleistung an den Fahrmotorwellen von 4120 kW einzubauen. Diese Leistung liess sich bei den Serielokomotiven durch die Anwendung der Isolationsklasse H für die Fahr motor-Rotoren sogar auf 4780 kW steigern. Die Stundenzugkraft beträgt dabei 14 700 bzw. 17 060 kg; sie kann bis zu einer Geschwindigkeit von 100 km/h eingehalten werden.

Die erstmals bei einer SBB-Lokomotive so hoch ange setzte Stundengeschwindigkeit ergibt einerseits die zur raschen Beschleunigung der Züge auf die höchsten Geschwindigkeiten notwendige Leistung im oberen Geschwindigkeits bereich und ermöglicht dadurch auf dem mit häufigen Geschwindigkeitseinschränkungen behafteten schweizerischen Strecken wesentliche Fahrzeitverkürzungen. Anderseits genügt die vorhandene Zugkraft zur Beförderung von 960-t-Zügen auf 12 % -Rampen oder von 460-t-Anhängelast auf der Gotthardlinie (26 % Steigung). Die vorhandene Reku perationsbremse gestattet, beinahe dieselben Lasten im entsprechenden Gefälle in der Beharrung zu bremsen.

Die sechs Prototyp-Maschinen sind im Jahre 1964 ab geliefert worden. Nach relativ wenigen Versuchs- und Mess fahrten konnten die Lokomotiven 11101–105 sofort und die Lokomotive 11106 ab Oktober 1965 den Schnellzugverkehr auf den Hauptlinien (Zürich—Genf, Zürich—Rorschach, Basel—Chur) übernehmen. Bis Ende 1969 hatten die sechs Prototypen zusammen bereits rund 6,3 Mio km zurück gelegt und sich dabei voll bewährt.

Der Entwurf und die Konstruktion entstand in enger Zusammenarbeit zwischen der Schweizerischen Lokomotiv und Maschinenfabrik Winterthur (SLM), der AG Brown, Boveri & Cie. Baden (BBC) und der Maschinenfabrik Oerlikon-Zürich (MFO), sowie dem Zugförderungs- und Werk stättendienst der SBB in Bern. Dabei lieferte die SLM sämtliche mechanischen Teile einschliesslich Antriebe, BBC die Dachausrustung einschliesslich Hauptschalter, Transfor mator mit Stufenschalter, Steuerung, Schleuderschutz, Montage und Inbetriebsetzung eines Teils der Lokomotiven und die MFO die Fahrmotoren, die Wende- und Bremsumschalter, die Hilfsbetriebe, die Rekuperationsapparate sowie Montage und Inbetriebsetzung des restlichen Teils.

Bereits ab 1964 wurden von den SBB weitere Einheiten nachbestellt. An diese Bestellungen schloss sich auch eine schweizerische Privatbahn an, so dass bisher insgesamt 155 Re 4/4 II gebaut oder in Auftrag gegeben wurden. Am Bau

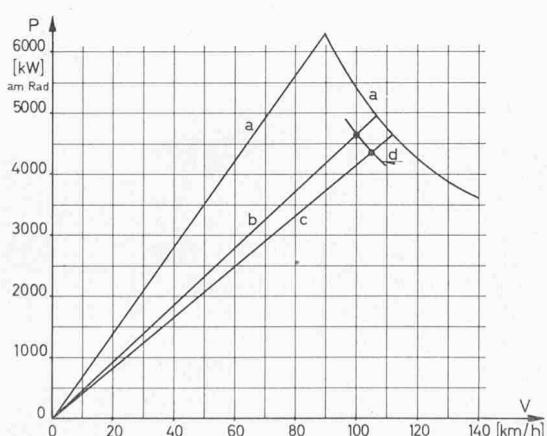


Bild 2. Leistungskennlinien für 15 kV-Fahrleitungsspannung (Leistung P am Rand in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit V): a für Höchstleistung, b für Stundenleistung, c für Dauerleistung, d für die Nennspannung von 525 V am Fahrmotor

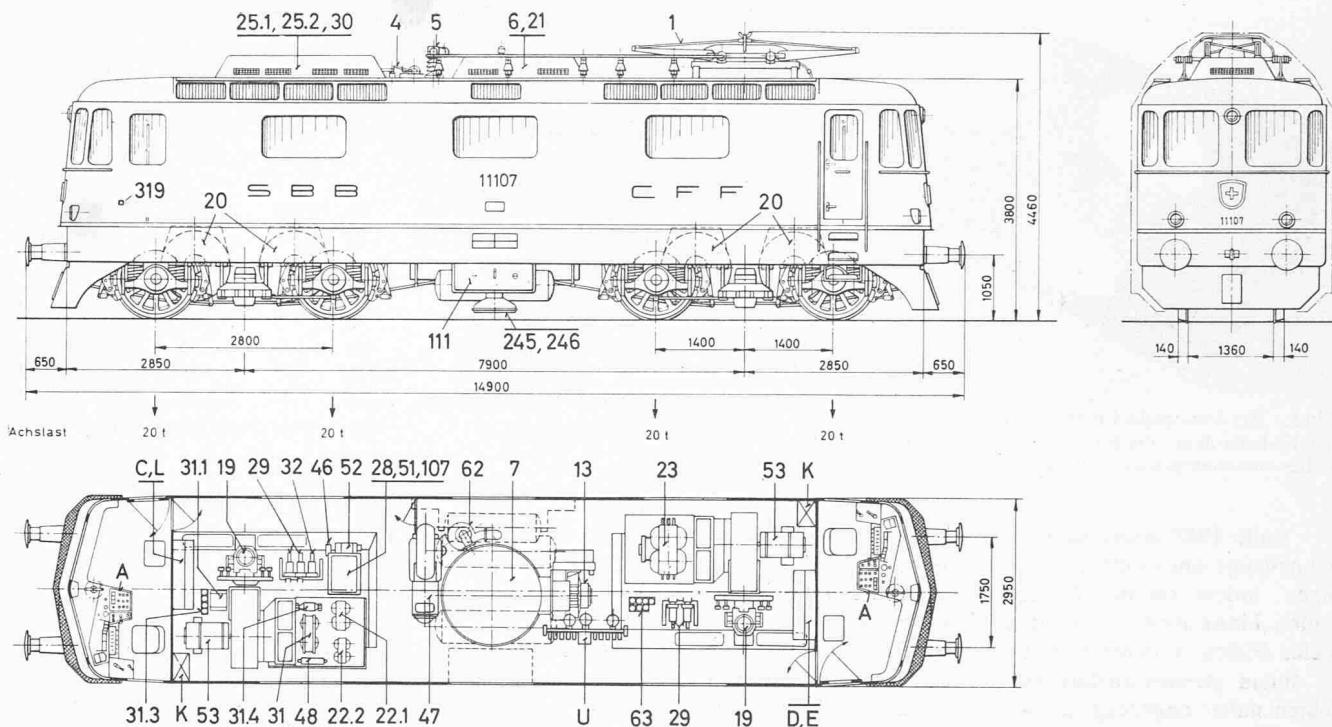


Bild 4. Typenbild der Re 4/4 II mit Anordnung der elektrischen Ausrüstung, 1:120

1	Stromabnehmer	28	Parallelschalthüpfer für Fahrmotorfelder	62	Ölpumpenmotor für Trafo-Öl
4	Erdungsschalter	29	Trennhüpfer für Fahrmotoren	63	Kondensator für Ölpumpenmotor
5	Hauptschalter	30	Gegenkompoundwiderstand	111	Batterie 36 V =
6	Hochspannungseinführung	31	Hilfsdrosselspule für elektrische Bremse	245	Erregermagnet für automatische Zugsicherung
7	Transformator	31.1	Transduktor für Bremserregung	246	Empfangsmagnet für automatische Zugsicherung
13	Stufenschalter	31.3	Kondensator für Bremserregung	319	Schalter für Zugschlussignal
19	Wendeschalter	31.4	Vorschaltwiderstand für Bremserregung	A	Führerstandschaftstafel
20	Fahrmotor	32	Heizhüpfer	C	Schalttafel für Wechselstrom
21	Ohmscher Wendepolshunt	46	Schütz für Kompressormotor	D	Schalttafel für Gleichstrom
22.1	Induktiver WP-Shunt für Fahrmotoren 1—3	47	Kompressormotor	E	Relaisstafel
22.2	Induktiver WP-Shunt für Fahrmotor 4	48	Vorwiderstand zu Kompressormotor	K	Kleiderschrank
23	Bremsdrosselspule	52	Umschaltapparat zu Pos. 53	L	Tafel für elektronische Apparate
25.1	Shunt für Fahrmotoren 1—3	53	Ventilatormotor für FM-Ventilation	U	Gerüst für pneumatische Apparate
25.2	Shunt für Fahrmotor 4				

dieser nachbestellten Lokomotiven, von denen seit anfangs 1967 jährlich etwa 30 Stück zur Ablieferung gelangen, ist auch die Firma SA des Ateliers de Sécheron, Genf (SAAS) beteiligt. Sie besorgt die Montage und Inbetriebsetzung eines Teils der Lokomotiven und fabriziert MFO-Fahrmotoren in Lizenz. Auch BBC baut Fahrmotoren in Lizenz; dagegen hat diese Firma seit der Aufhebung der Lokomotivmontage in Münchenstein (Ende 1967) keine Triebfahrzeuge mehr montiert.

Erwähnt seien noch folgende zwei Besonderheiten: Die vier Lokomotiven Re 4/4 II 11158–11161 erhielten einen rot/créme-Anstrich. Sie dienen in erster Linie der Bespannung der TEE-Züge «Roland» und «Helvetia» auf den Strecken Basel—Luzern—Gotthard—Chiasso (—Milano) bzw. Basel—Zürich. Die sechs Lokomotiven Re 4/4 II 11196–11201 sind mit einem Stromabnehmer mit DB/OeBB-Wippe ausgerüstet und führen die ohne Maschinenwechsel bis Lindau durchlaufenden Züge.

2. Zur Entwicklung des Typs Re 4/4 II

Im Jahre 1964 zeigte sich bei der Schweizerischen Süd-Ost-Bahn (SOB) das Bedürfnis, für die auf den dortigen Rampen von 50% immer öfters zu fahrenden schweren Personen- und Güterzüge ein neues Triebfahrzeug mit möglichst hoher Zugkraft zu beschaffen. Die Direktion der SOB trat mit den SBB in Verbindung, um die geeignete Bauart eines solchen Fahrzeuges (eine Einzelkonstruktion konnte

aus Preisgründen nicht in Frage kommen) abzuklären. Auf Grund der Messungen an der bereits erwähnten Versuchsmaschine Re 4/4 II 11106 schien es möglich, die SBB-Re 4/4 II durch Vergrösserung der Übersetzung an die Verhältnisse der SOB anzupassen. Theoretische Untersuchungen und zusätzliche Versuchsfahrten auf den Strecken der SOB zeigten, dass die Stundenzugkraft auf etwa 20 t erhöht werden könnten, so dass sich Züge bis etwa 320 t Gewicht auf den Steilrampen der SOB ohne Vorspann oder Schub befördern liessen. Die dank der grösseren Übersetzung erzielte günstigere Fahrzeugcharakteristik (dv/dZ kleiner als bei der Re 4/4 II) garantierte zudem ein gegenüber der Re 4/4 II verbessertes Adhäsionsverhalten [3].

Die Direktion der SOB hat im Jahre 1965 eine derartige Lokomotive bestellt und bereits 1967 in Betrieb nehmen können. Zwei weitere gleiche Einheiten wurden 1968 von der Emmental-Burgdorf-Thun-Bahn (EBT) in Auftrag gegeben.

Die konstruktive Verwirklichung der geänderten Übersetzung geschah durch Verminderung der Zähnezahl des Ritzels und dadurch bedingtes leichtes Verschieben der Fahrmotoren gegen die Radsätze. Ausser den Fahrmotorstatoren, den Ritzeln und den Hohlwellenstummeln zum BBC-Federantrieb mussten somit keine Bauteile geändert werden, so dass die Einheitlichkeit mit den Re 4/4 II der SBB weitgehend erhalten blieb.

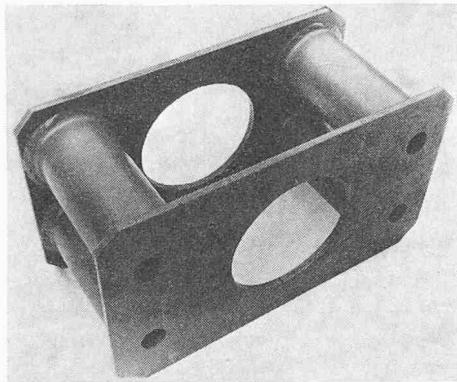


Bild 5. Zerstörungsglied hinter dem Puffer mit den vier Distanzrohren, die im Falle eines heftigen Anpralles zusammengestaucht werden

Ende 1968 zeigte sich bei den SBB das Bedürfnis, die Schnellzüge am Gotthard so bald als möglich zu beschleunigen, indem sie mit Re-Lokomotiven bespannt werden. Sollen hiezu Re 4/4^{II} verwendet werden, so führt dies in vielen Fällen zu deren Einsatz in Doppeltraktion und damit zu einem grossen Bedarf an solchen Triebfahrzeugen. Es schien daher angezeigt, auch für die SBB Re 4/4^{II} mit geänderter Übersetzung zu beschaffen und sie am Gotthard einzusetzen. Die etwas geringere Höchstgeschwindigkeit ist für diesen Einsatz genügend, da die Gotthardlinie mit ihren Zufahrten auch in Zukunft nur auf kurzen Abschnitten Geschwindigkeiten über 125 km/h zulassen wird.

Um die mit Rücksicht auf die Adhäsionsverhältnisse zulässige Anhängelast am Gotthard noch genauer bestimmen zu können, fand im Februar 1969 ein einmonatiger Versuchseinsatz der SOB-Lokomotive statt. Diese legte täglich zweimal die Strecke Luzern—Chiasso—Luzern zurück; ein Zugpaar wurde dabei regelmässig auf 580 t ausgelastet. Dieser Versuchsbetrieb hat die bereits vorhandenen Erkenntnisse erhärtet und bestätigt, dass die SOB-Lokomotive am Gotthard 580 t Anhängelast praktisch bei jedem Schienenzustand mit 80 km/h befördern kann. Im Frühjahr 1969 haben daher die SBB die Anschaffung von zwanzig solchen Triebfahrzeugen (nunmehr als Re 4/4^{III} bezeichnet) beschlossen.

Zählt man die total 23 Re 4/4^{III}-Lokomotiven zu den bisher bestellten 155 Re 4/4^{II}, so ergibt sich ein Gesamttotal von 178 weitgehend gleichen Lokomotiven. Dies ist eine für schweizerische Verhältnisse ungewöhnlich hohe Zahl.

3. Die Hauptdaten

Die Hauptabmessungen gehen aus den Bildern 3 und 4, die übrigen Daten aus Tabelle 1 hervor.

4. Der allgemeine Aufbau

Der Lokomotivkasten, der aus Betriebs- und Gewichtsgründen möglichst kurz gehalten ist, ruht auf zwei gleichen, mit einer Querkupplung verbundenen Drehgestellen. An den Kastenenden befindet sich je ein geräumiger Führerstand, Bild 4. Dessen Stirnseiten weisen zwei grosse, heizbare, doppelt verglaste Fenster auf. Zur Verbesserung der Sicht auf die Strecke sind in die Ecksäulen gewölbte Scheiben eingesetzt. Die Stirnfront selbst ist in der bereits von den Ae 6/6-Lokomotiven her bekannten, leicht V-förmigen, schräg gestellten Form ausgeführt und genügt dadurch allen Ansprüchen in bezug auf einfache Herstellung und rationelle Reparaturmöglichkeiten bei allfälligen Kollisionen. Der Führertisch besteht aus einem leicht wegnehmbaren,

Tabelle 1. Hauptdaten der Lokomotiven Re 4/4^{II} und Re 4/4^{III}

Lokomotivgruppe	I	II	III	IV
Triebbraddurchmesser neu	mm	1 260	1 260	1 260
Getriebeübersetzung		33:87	33:87	28:87
Maximale Anfahrgeschwindigkeit (Spitzenwert) am Rad ²⁾	kg	26 000	26 000	28 500
Stundenzugkraft am Rad ²⁾	kg	14 700	17 060	20 100
Stundenleistung am Rad bei Geschwindigkeit	PS	5 450	6 320	6 320
	km/h	100	100	85
Dauerzugkraft am Rad ²⁾	kg	13 000	15 240	17 960
Dauerleistung am Rad bei Geschwindigkeit	PS	5 040	5 930	5 930
	km/h	105	105	89
Maximale Geschwindigkeit	km/h	140	140	125
Inbetriebsetzung	Jahr	1964	1967—1972	1971
				1967
				1969

I SBB Re 4/4^{II} 11101—106

II SBB Re 4/4^{II} 11107—254
MThB Re 4/4^{II} 21¹⁾

III SBB Re 4/4^{III} 11351—370

IV SOB Re 4/4^{III} 41¹⁾
EBT Re 4/4^{III} 111, 112¹⁾

¹⁾ SOB = Schweizerische Süd-Ost-Bahn, Strecken Goldau—Rapperswil und Wädenswil—Einsiedeln (max. Steigung 50%).

EBT = Emmental-Burgdorf-Thun-Bahn, Strecken Solothurn—Burgdorf—Thun und Burgdorf—Langnau (maximale Steigung 25%).

MThB = Mittell-Thurgau-Bahn, Strecke Wil—Weinfelden—Kreuzlingen (maximale Steigung 22%).

²⁾ bei halb abgenützten Bandagen (1230 mm). Der angegebene Wert entspricht dem durch die Steuerungselektronik begrenzten Maximalstrom.

die wesentlichen elektrischen Apparate aufnehmenden und einem in die Stirnfront eingeschweißten, festen Teil. In den Führerstandrückwänden sind die Schaltschränke mit den verschiedenen Relais, Sicherungen, Schaltautomaten und anderen Steuerorganen untergebracht. Auf der Seite des Führerstandes sind sie mit Schwenktüren abgedeckt; auf der Seite des Maschinenraumes befinden sich Klappen, die sich im Bedarfsfall rasch entfernen lassen.

Zwischen den beiden Führerständen, die durch einen Z-förmigen Gang miteinander verbunden sind, befindet sich der Maschinenraum mit den elektrischen Apparaturen. Über den Drehgestellen wurden über dem Kastenboden Aufbauten angebracht, auf denen die Wendeschalter, die Ventilatorgruppen, die Trenn- und der Heizlüfter, die Hilfsbetriebeschütze und -zubehör sowie die Ölkühler und die Apparate der Rekuperationsbremse angeordnet sind. Seitlich dieser Aufbauten sind Revisionsklappen zur Kontrolle der Fahrmotoren eingebaut.

In der Mitte ist der Transistor samt angebautem Stufenschalter, Überschaltwiderstand und Ölpumpe in einer Wanne des Kastens eingelassen. Daneben steht, parallel zum Quergang, die Kompressorgruppe. Der Hauptschalter ist in der Kastenmitte, über dem Quergang im Dach eingebaut und somit gut zugänglich.

Die Kühlung pro Fahrzeuggruppe gelangt durch beidseitig in den Dachrundungen eingelassene Düsenlüftungsgitter, System Krapf und Lex (ohne Filter), in einen Beleuchtungsraum und wird von dort an den Drosselspulen für die Rekuperationsbremse vorbei durch die Ölfilter gesaugt und darauf durch zwei parallele Luftkanäle antriebsseitig in die Fahrzeuge gepresst. Ein geringer Teil zweigt vor den Fahrzeugen ab und bläst unterhalb der Wendeschalter in den Maschinenraum aus. Diese Luft kühlte die Wendeschalter und erzeugt im Maschinenraum einen

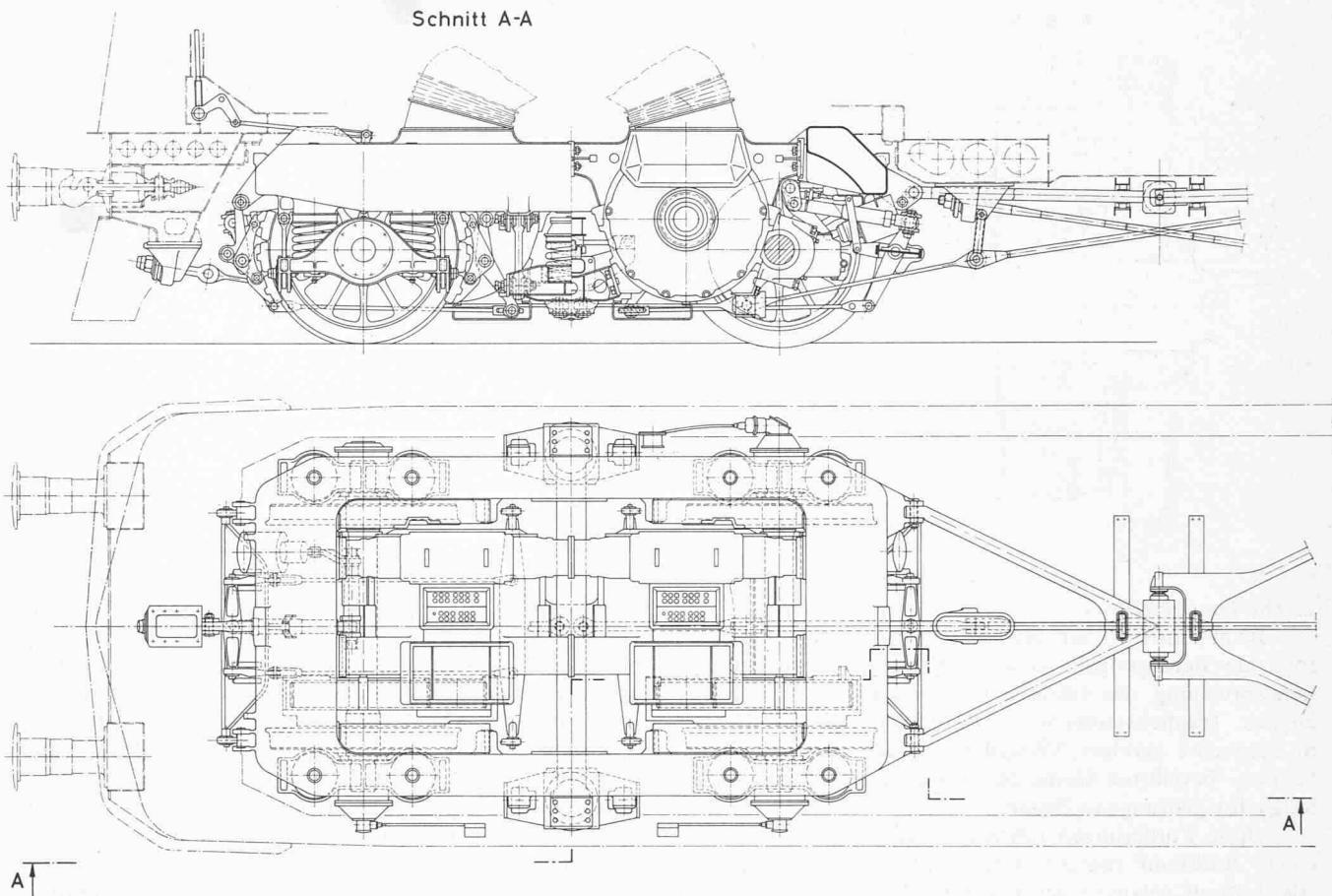


Bild 6. Drehgestell mit Fahrmotoren

kleinen Überdruck; sie kann durch je ein auf jeder Kastenseite in der Dachrundung angeordnetes Düsengitter oder in geringem Mass durch den mittleren Dachaufbau entweichen. Diese – für beide Drehgestelle symmetrische – Kühlluftführung gewährleistet das Ansaugen von möglichst staub- und schneefreier Luft und verhindert das Eindringen von Schmutz in den Maschinenraum, der gegen aussen weitgehend abgedichtet ist.

B. Der mechanische Teil

1. Der Lokomotivkasten

Der Kasten ist vollständig aus elektrisch verschweißten Stahlblechen zusammengesetzt. Die beiden Stoßbalken und die anschliessenden Längsträger sind aus 5-mm-Blech geformt und bilden ein sehr widerstandsfähiges Untergestell, das in der Mitte durch die den Transformatoren aufnehmende Wanne verstärkt ist. Die Seitenwände aus 2,5-mm-Blech, das Dach aus 2-mm-Blech und der Führerstand aus 3-mm-Blech bilden den Kastenaufbau, der nur durch die Fenster, die Lufteintrittsöffnungen und je eine seitliche Führerstandstür unterbrochen ist. Im Dach befinden sich drei grosse Luken, durch die die elektrischen Apparate ein- und ausgebaut werden können.

Im Untergestell sind die Rohrleitungen für die pneumatischen Apparaturen, verschiedene Kabelkanäle und viele einzelne Kabelrohre eingeschweißt. Unter dem Untergestell sind die massiven Bahnräume angeschraubt, ebenso die Supports (Angriffspunkte) für die Tiefanlenkung, die Luftbehälter, der Batteriekasten sowie ein Kasten für die Dachleiter und die Erdungsstange.

Im Stoßbalken befinden sich hinter den Puffern besondere Zerstörungselemente, Bauart SLM, nach Bild 5,

die im Falle eines heftigen Anpralls eine bedeutende Deformationsarbeit übernehmen und dadurch den Kasten wirksam zu schützen vermögen. (Die sechs Prototyp-Lokomotiven sind noch ohne diese Elemente ausgeführt und daher 10 cm kürzer.) Die ab 1969 ausgelieferten Maschinen weisen einen verlängerten, zur späteren Aufnahme der zentralen Zug- und Stoßvorrichtung vorbereiteten Stoßbalken auf. Der Kasten vermag eine maximale Druckkraft von 200 t ohne Deformation zu ertragen.

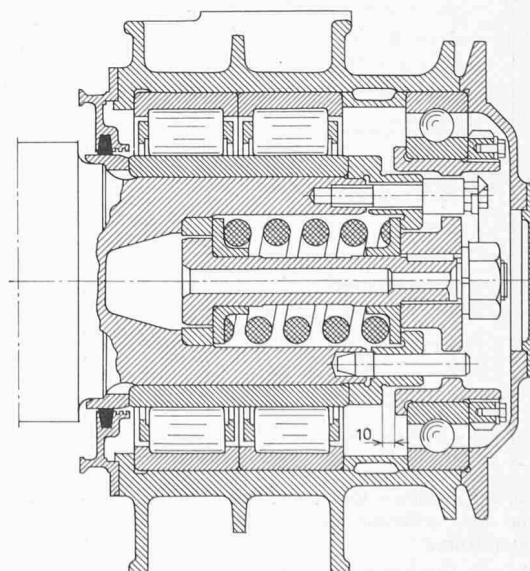


Bild 7. Achslager mit Seitenfederung

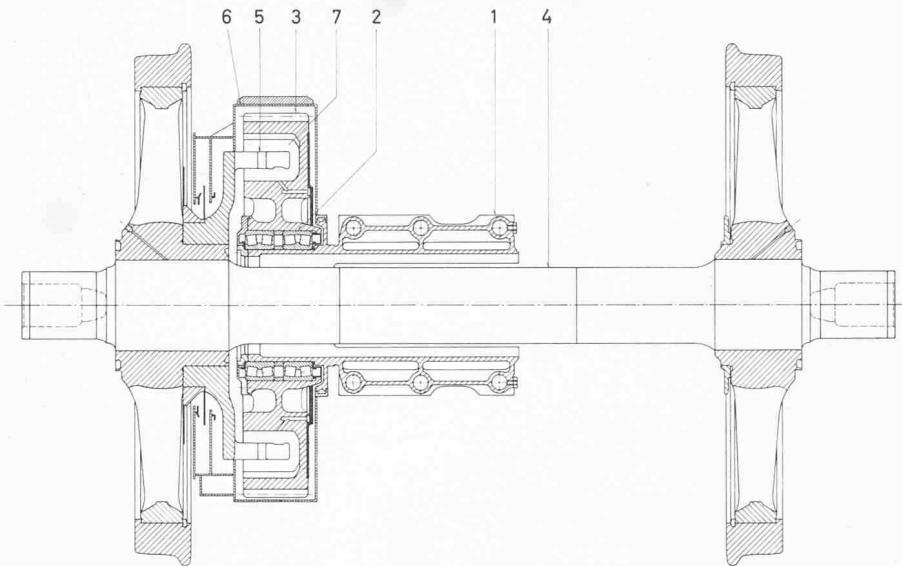


Bild 8. Schnitt durch den Radsatz und den Antrieb 1:200. 1 Hohlwellenstummel (mit dem Fahrmotorgehäuse verschraubt), 2 Rollenlager für das grosse Zahnrad, 3 grosses Zahnrad, 4 Achswelle, 5 Mitnehmer, 6 Zahnradverschalung, 7 Federkammer

2. Die Drehgestelle

Beim Entwurf der Drehgestelle waren hauptsächlich folgende Bedingungen massgebend: a) möglichst geringe Beanspruchung des Gleises, d. h. minimale Massen und kleines Trägheitsmoment in bezug auf die Drehachse, b) möglichst geringer Verschleiss durch Verwendung bekannter, bewährter Elemente, c) geringes Gewicht, daher möglichst gedrungene Bauart.

Diese Forderungen führten zu einem Drehgestell mit einem Radstand von 2,8 m und seitengefederten Achsen. Als Antrieb gelangte der bei den SBB bestens bewährte BBC-Federantrieb zur Anwendung, bei dem bekanntlich das Drehmoment durch einen auf der Radnabe aufgeschrumpften Mitnehmer übertragen wird, der in die Federkammern des starr im Drehgestell gelagerten grossen Zahnrades eingreift.

Der sehr einfach gestaltete Drehgestellrahmen, Bild 6, besteht im wesentlichen aus den beiden seitlichen, die total acht Zapfen für die Achsbüchsführungen aufnehmenden Längsträgern und den zwei Kopftraversen, auf die sich die beiden miteinander verschraubten, einen Block bildenden Fahrmotoren abstützen. Es handelt sich um eine Schweiß-

konstruktion aus vorgeformten Eisenblechen und – in den komplizierten Partien – aus Stahlgussteilen. Die Schweissnähte sind in die neutralen Zonen oder in theoretisch und fabrikatorisch gut beherrschbare Stellen verlegt worden. Die glatt gestaltete Oberfläche wirkt der Schmutzablagerung entgegen, so dass die hoch beanspruchten Stellen sauber und jederzeit gut kontrollierbar bleiben. Die Achsbüchsführungen im Ölbad, mit Silentbloc, Schraubenfedern und dazu parallelen Reibungsdämpfern entsprechen der klassisch gewordenen, bewährten SLM-Bauart.

Die Radsätze mit Speichenräder und aufgeschrumpftem Mitnehmer sind in je zwei SKF-Zylinderrollenlagern, Typ 235548, pro Achsschenkel gelagert, die eine Seitenverschiebung von ± 10 mm gestatten, Bild 7. Der Übertragung der Seitenkräfte bzw. der Zentrierung des Radsatzes dient ein zusätzliches, aussen angeordnetes Kugellager, Typ 6040 MA/C3, auf das eine Schraubenfeder abgestützt ist. Auf Grund eingehender Versuche [2] wurde die Federcharakteristik so gewählt, dass sich pro Radsatz eine Federkonstante von 2 t/cm ergibt. Da die Vorspannung 2 t beträgt, kann somit eine seitliche Kraft von 4 t federnd übertragen werden. Die Achslagerkonstruktion stellt eine Weiterentwicklung der bereits 1955 versuchswise bei der Ae 6/6 11414 eingebauten Ausführung dar, die inzwischen über 2,5 Mio km anstandslos zurückgelegt hat.

Das Fahrmotorritzel mit 33 bzw. 28 Zähnen und das Grossrad mit 87 Zähnen weisen im Einsatz gehärtete Zahnräder auf. Die Ritzelzähne sind leicht konisch geschliffen, um auch bei hohen Drehmomenten eine einwandfreie Zahnauflage zu gewährleisten. Verzahnung und Federkammern des BBC-Antriebs werden mit demselben Öl geschmiert.

Das grosse Zahnräder, das auf dem mit dem Fahrmotorgehäuse verschraubten Hohlwellenstummel gelagert ist, Bild 8, weist zehn Federkammern auf. Die Druckfedern sind so bemessen, dass das Maximaldrehmoment noch federnd auf den Mitnehmer übertragen wird. Zwischen Zahnräder und Hohlwellenstummel sind zwei mit Fett dauerbeschichtet versehene SKF-Pendelrollenlager, Typ 23956 M/NR, eingebaut. Der einwandfreien Abdichtung und Gestaltung des auf kleinstem Raum unterzubringenden Radkastens wurde mit Erfolg besondere Beachtung geschenkt.

Die Spurkränze der Radsätze 1 und 4 werden zwecks Verminderung der Abnutzung mit der Spurkranzschmierung Typ SBB geschmiert. Bei diesem System wird durch eine

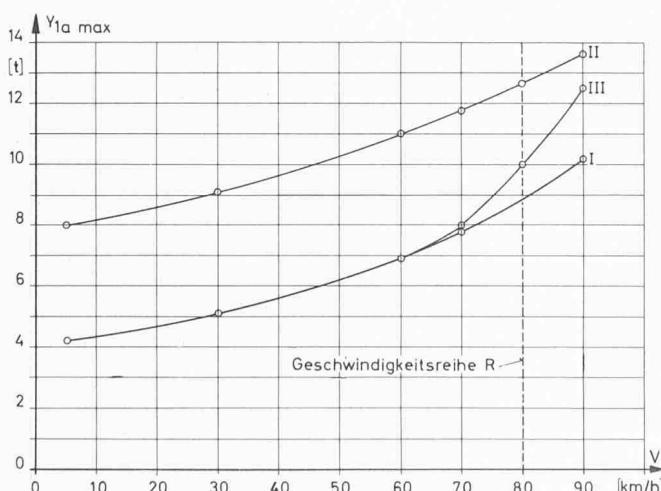
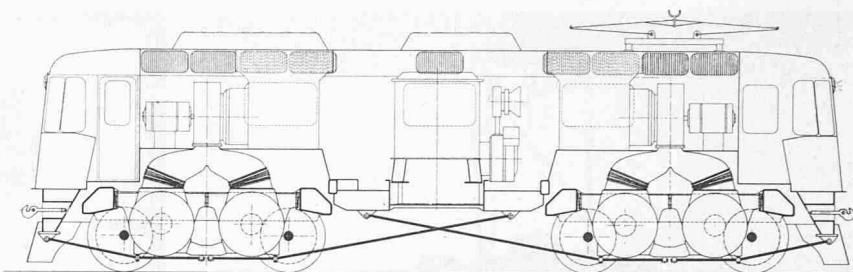


Bild 9. Zwischen Rad und Schiene an der führenden Achse gemessene Maximalkräfte bei verschiedenen Geschwindigkeiten in einer 300-m-Kurve

- I.: mit Querkupplung und seitengefederten Achsen
- II.: ohne Querkupplung, mit seitengefederten Achsen
- III.: mit Querkupplung und blockierten Achsen

Bild 10. Prinzipielle Anordnung der Tiefzugvorrichtung



Düse in regelmässigen Abständen (alle 320 m) eine gewisse Ölmenge mittels Druckluft zerstäubt. Das im bituminierten Öl enthaltene Lösungsmittel verdunstet, sobald das Gemisch am Spurkranz haftet; dadurch wird dem Weiterfliessen des Öls auf die Lauffläche wirksam begegnet.

Pro Drehgestell sind zwei Bremszyylinder eingebaut, die je auf das Bremsgestänge der benachbarten Achse wirken. Dieses Gestänge ist im Interesse geringen Gewichts und eines möglichst konstant bleibenden Wirkungsgrades sehr einfach gestaltet. Jedes Rad wird durch total sechs Gusssohlen (je drei pro Seite) gebremst; der Bremszyylinderhub verändert sich dank der vorhandenen automatischen Bremsgestängeregler, Bauart Charmilles (Stopex), nur in engen Grenzen. Die gemessenen Bremswege entsprechen einem Bremsverhältnis von 125 %. Zusätzliche konstruktive Massnahmen ermöglichen eine dauernd spielfreie und damit geräuscharme Lagerung der Bremssohlen und der Bremssohlenhalter. Vor die vorlaufenden Räder kann Sand gestreut werden. Die Sanderrohre sind an den Achsbüchsen befestigt und somit relativ zur Schiene immer in gleich günstiger Lage.

Die beiden Drehgestelle sind durch eine elastische Querkupplung miteinander verbunden. Diese bewirkt einen geringeren Anlaufwinkel der beiden führenden Achsen in Kurven, was die statischen Kräfte zwischen Rad und Schiene verkleinert. Die Querkupplung entspricht der von der Ae 6/6 her bekannten Bauart. An jedem Drehgestell ist eine in vertikaler Richtung bewegliche, dreieckförmige Deichsel angebracht. In der Mitte des Lokomotivkastens greifen die beiden Deichseln ineinander, indem der L-förmige

Fortsatz der einen Deichsel den in Querrichtung gefederten, an der anderen Deichsel befestigten Federtopf umgreift. Eine Traverse unter dem Kastenboden übernimmt die vertikale Abstützung der inneren Deichselenden samt Federtopf. Die Wirksamkeit der einzelnen Massnahmen zur Verringerung der zwischen Rad und Schiene auftretenden Kräfte geht aus Bild 9 hervor (weitere Einzelheiten s. [2]).

3. Die Zugkraftübertragung, Zug- und Stoßvorrichtung

Um die Adhäsion gut auszunützen, wurde auf einen Drehzapfen verzichtet und die Übertragung der Zug- und Bremskräfte vom Drehgestell auf den Kasten mittels tiefliegender, ausschliesslich auf Zug beanspruchter Stangen bewerkstelligt, Bild 10. Diese sind unterhalb der Fahrmotoren derart angelehnt, dass die Zugkraft theoretisch genau auf Schienenoberkante angreift und somit keine Achsentlastung innerhalb des Drehgestells verursacht. Die Drehgestellentlastung bzw. Mehrbelastung wird nicht kompensiert; sie beträgt etwa 13 % der ausgeübten Zugkraft. Bei den vorlaufenden zwei Achsen tritt somit eine grösste Entlastung von je 1,7 t oder 8,5 % der statischen Achslast auf. Demgegenüber würde die vorlaufende Achse bei einem analogen Drehgestell mit tiefliegendem Drehzapfen um mehr als 3 t entlastet. Am Kasten wird die Zugkraft über eine

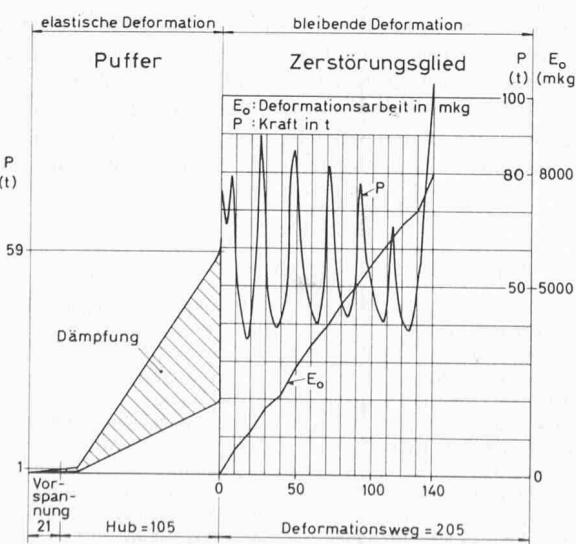


Bild 11. Deformationsarbeit von Puffer und Zerstörungsglied

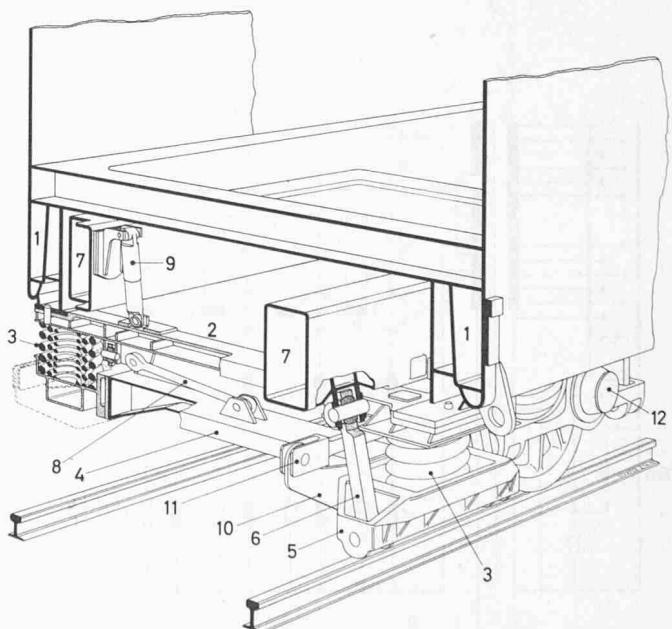


Bild 12. Prinzip der Kastenaufhängung

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1 Bodenrahmen zum Lokomotivkasten | 7 Drehgestell-Rahmen |
| 2 Kastenquerträger | 8 Querlenker |
| 3 Kastenträgfeder | 9 Vertikaldämpfer |
| 4 Wiegebalken | 10 Support am Wiegebalken |
| 5 Federwanne | 11 Längslenker |
| 6 Pendel | 12 Achslagergehäuse |

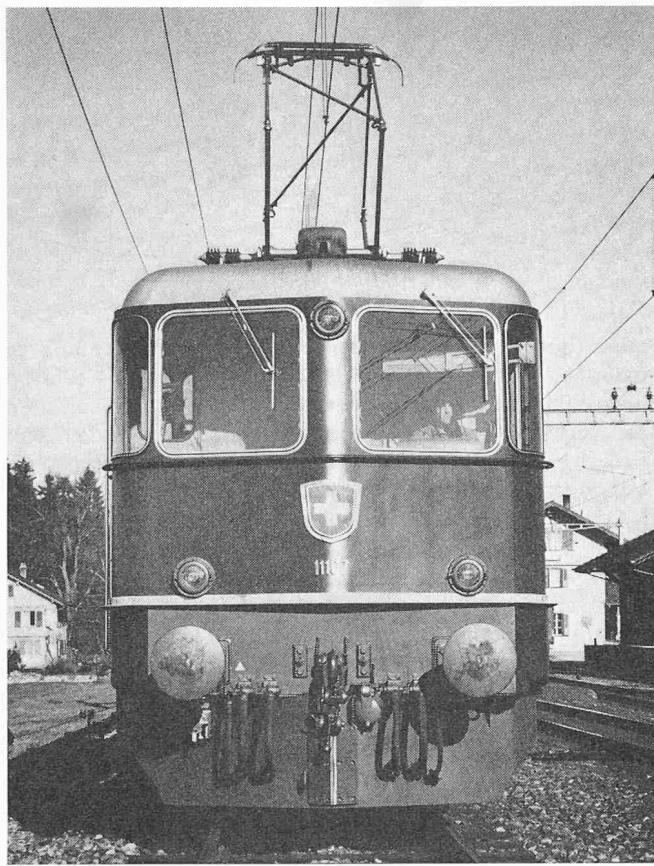


Bild 14. Stirnansicht der Lokomotive. Von links nach rechts befinden sich am Stoßbalken die Kupplungsdose für die Zugheizung, die Schläuche für Rangierbremse, Speiseleitung und automatische Bremse, die Kupplungsdose für die Vielfachsteuerung, die Schläuche für automatische Bremse, Speiseleitung und Rangierbremse

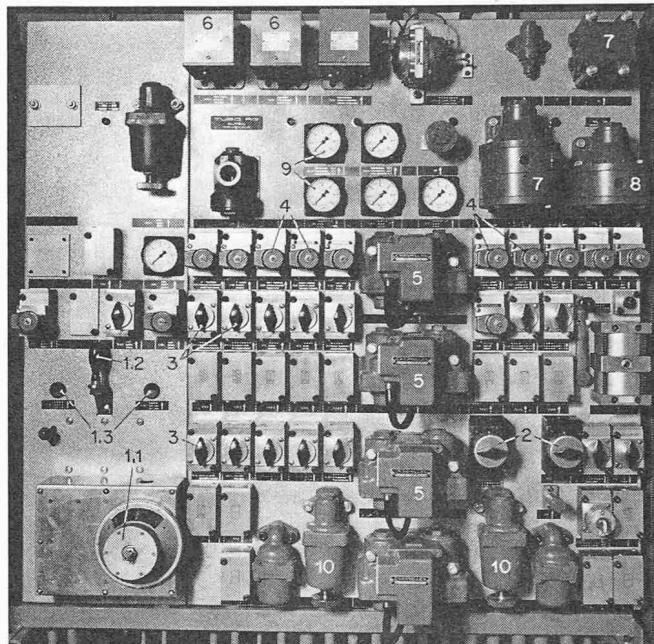


Bild 13. Ansicht der TUBO-Tafel mit den pneumatischen Apparaten

- 1.1 Handantrieb zum Stufenschalter mit Stufenanzeige
- 1.2 Kurbel zum Betätigen des Handantriebes
- 1.3 Meldelampen zur Befehlsübermittlung vom Führerstand her
- 2 Absperrhähnen zum Hauptluftbehälter
- 3 Absperrhähne für verschiedene pneumatische Apparate
- 4 Elektroventile für pneumatische Apparate
- 5 Schleuderbremsventile für die vier Achsen
- 6 Druckschalter für Kompressor und für Überwachung des Bremszylinderdrucks
- 7 Steuerventil LSt 1 mit Zusatzgerät
- 8 Druckregler D 1 für Rangierbremse
- 9 Manometer
- 10 Druckregler für pneumatische Apparate

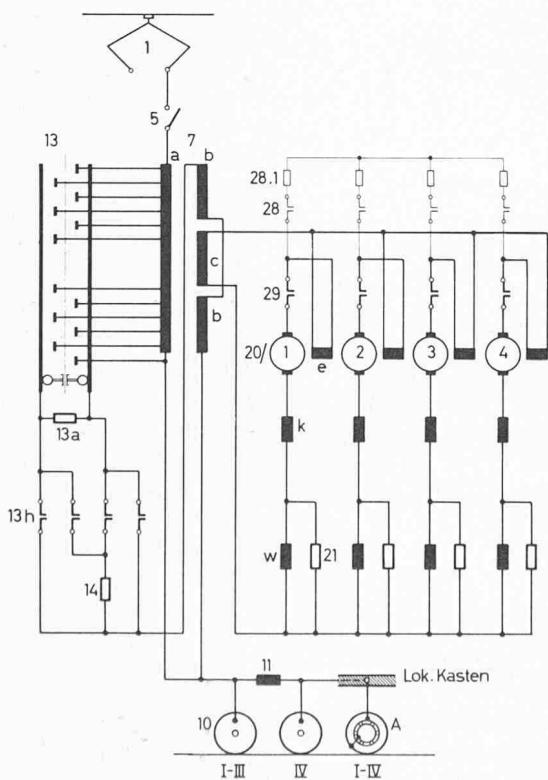


Bild 15. Prinzipschema für Fahren

vorgespannte Gummifeder mit progressiver Charakteristik von der Tiefzugstange übernommen. Die dadurch entstehende Federung in Längsrichtung erzwingt die genannte Beanspruchung der Stangen auf Zug und dämpft wirksam die Drehmomentstöße der Fahrmotoren beim Schalten und bei Gleisunregelmäßigkeiten.

Die Zughaken weisen eine Bruchlast von 85 t auf. Sie sind über je zwei Kegelstumpffedern mit insgesamt 44 t Endkraft federnd im Stoßbalken gelagert. Die ursprünglich verwendete Gummifederung mit Gummi sternscheiben war den Beanspruchungen auf die Dauer nicht gewachsen und musste ersetzt werden. Bei den bis 1967 gelieferten Lokomotiven gelangten Ürdingerpuffer mit 33 t Endkraft zum Einbau. Da dieser Puffer infolge der beim Rekuperieren auftretenden hohen Bremskräfte (bis 14 t) einem relativ hohen Verschleiss unterworfen ist, verwendete man bei

Legende zu Bild 15:

- | | | | |
|----|-------------------------------------|------|------------------------|
| 1 | Stromabnehmer | 14 | Überschaltwiderstand |
| 5 | Hauptschalter | 20 | Fahrmotor |
| 7 | Transformator | e | Erregerwicklung |
| a | Regulierwicklung | k | Kompensationswicklung |
| b | Primärwicklung des Leistungsträfo | w | Wendepolwicklung |
| c | Sekundärwicklung des Leistungsträfo | 21 | Ohmscher Wendepolshunt |
| 10 | Erdungsbürsten | 28 | Parallelschalthüpfer |
| 11 | Drosselpule für Erdung | 28.1 | Drosselpulen |
| 13 | Hochspannungs-Stufenschalter | 29 | Trennhüpfer |
| a | Schutzwiderstand | | |
| h | Lastschalter | | |

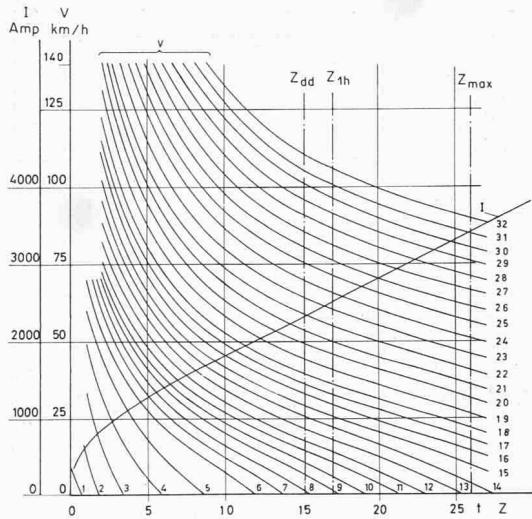


Bild 16. Zugkraft-Kennlinien der Re 4/4II

I Fahrstrom in A

V Fahrzeuggeschwindigkeit in km/h

Z totale Zugkraft am Radumfang in t

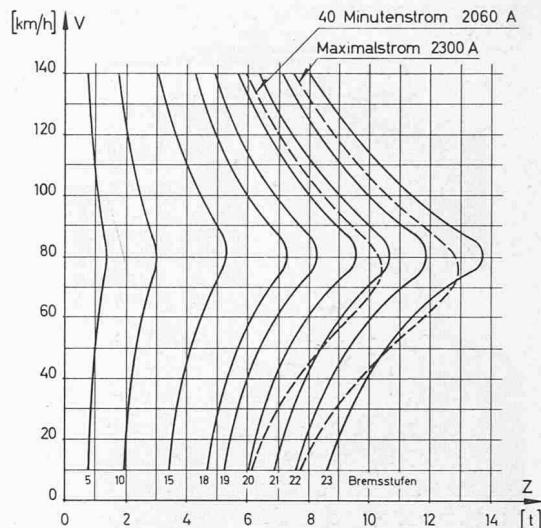


Bild 17. Bremskraft-Kennlinien der Re 4/4II

V Fahrzeuggeschwindigkeit in km/h

Z totale Bremskraft am Radumfang in t

den später gebauten Lokomotiven den verstärkten Puffer mit 59 t Endkraft. Das in Serie zum Puffer geschaltete Zerstörungsglied beginnt sich bei etwa 80 t Druck zu deformieren. Aus Bild 11 geht die Deformationsarbeit von Puffer und Zerstörungsglied hervor.

4. Die Kastenabstützung

Um die auf die Schienen wirkenden Kräfte möglichst klein zu halten, musste eine minimale Kopplung zwischen Kasten und Drehgestellen verwirklicht werden, was durch eine Abstützung über Pendel mit getrennter Wiege erzielt wurde. Der Kasten stützt sich über insgesamt vier seitliche, aus je drei konzentrischen Schraubenfedern bestehende Federpakete auf je eine unter den Drehgestell-Längsträgern durchgeführte Quertraverse ab, Bild 12. Diese Traverse ist über Lenkstangen derart mit dem Kasten verbunden, dass sie sich nur in einer senkrecht zur Kastenlängsachse stehenden Ebene auf- und abbewegen kann. Die hochbelasteten Schraubenfedern werden somit fast ausschliesslich auf Druck beansprucht.

Die beiden Quertraversen sind über je vier in Gummi gelagerte Pendel am Drehgestellrahmen aufgehängt. Diese Pendel lassen Quer- und Längsbewegungen zu und nehmen somit ausser den Querbewegungen des Kastens auch die aus der Drehgestellauslenkung in Kurven sich ergebenden Lageänderungen auf. Die Pendel sind um 6° gegen aussen geneigt und zentrieren somit den Kasten automatisch in seiner Mittellage.

Zur Dämpfung der Kastenbewegungen sind parallel zu den Schraubenfedern und zwischen den Drehgestellkopftraversen und dem Kasten insgesamt acht hydraulische Dämpfer eingebaut. Davon wirken vier in vertikaler und vier in horizontaler Richtung. Ursprünglich verwendete man französische Brouillet-Dämpfer; später wurde auf schwedische ASEA-Dämpfer umgestellt. Bei dieser Gelegenheit sind auch die anfänglich nur zwei in horizontaler Richtung wirkenden Dämpfer um zwei weitere, an den innern Drehgestellkopftraversen angebrachte ergänzt worden.

Die bis Mitte 1968 gelieferten Lokomotiven wiesen eine Kastenabstützung über Gummi - statt Schraubenfedern auf. Diese Bauart versprach neben geringerem Gewicht wenig Unterhalt, da man glaubte, dank der Eigen-

dämpfung des Gummis auf besondere Dämpfer verzichten zu können. Die Laufeigenschaften der Lokomotiven vermochten aber in der Folge nicht zu befriedigen; sie konnten auch durch Wechseln der Gummicharakteristik und den nachträglichen Einbau der erwähnten Dämpfer nicht grundlegend verbessert werden. Wie eingehende Messungen zeigten, waren die relativ hochfrequenten, hauptsächlich in vertikaler Richtung auftretenden Beschleunigungen eine direkte Folge der Charakteristik der Gummifedern. Deren dynamische Eigenschaften weichen in ungünstigem Sinne von den statischen ab und ergeben bei schnellen Bewegungen unzulässig hohe Federkonstanten; d. h. ungenügende Federwege. Demgegenüber weisen die jetzt verwendeten Schraubenfedern fast die doppelte statische Einfederung (1 t/cm) und damit ein bedeutend günstigeres Verhalten auf.

5. Die pneumatischen Einrichtungen

Ein zweistufiger Kolbenkompressor, Fabrikat MFO, verdichtet 42 l/s Luft auf maximal 10 atü Enddruck. Diese wird in zwei unter dem Lokomotivkasten angebrachten Luftbehältern von total 900 l Inhalt gespeichert. Die Anordnung der Hauptluftbehälter ausserhalb des Kastens gewährleistet eine gute Wasserabscheidung.

Die Lokomotiven sind mit drei pneumatischen Bremsen ausgerüstet; nämlich a) eine zweistufige, geschwindigkeitsabhängige, automatisch wirkende Bremse, Bauart Oerlikon, mit Führerbremsventil Typ FV4b und Steuerventil LSt 1, b) eine direkte, nur auf die bediente und – sofern vorhanden – die benachbarte, ferngesteuerte Lokomotive wirkende Rangierbremse, ebenfalls Bauart Oerlikon, und c) eine individuell auf jede Achse wirkende Schleuderbremse, Bauart Charmilles/BBC. Diese Bremse kann vom Lokomotivführer oder automatisch durch die Schleuderschutzeinrichtung betätigt werden. Die pneumatischen Apparate (Ventile, Absperrhahnen) sind auf einem zentralen Gerüst (Bauart TUBO, Olten) im Maschinenraum übersichtlich aufgeschraubt, wobei O-Ringe als Dichtungen dienen. Diese Bauart ermöglicht eine rasche Austauschbarkeit der normalisierten Hahnen und Ventile, Bild 13. Die Anordnung der Kupplungsschläuche für die Bremsleitungen am Stoßbalken geht aus Bild 14 hervor.

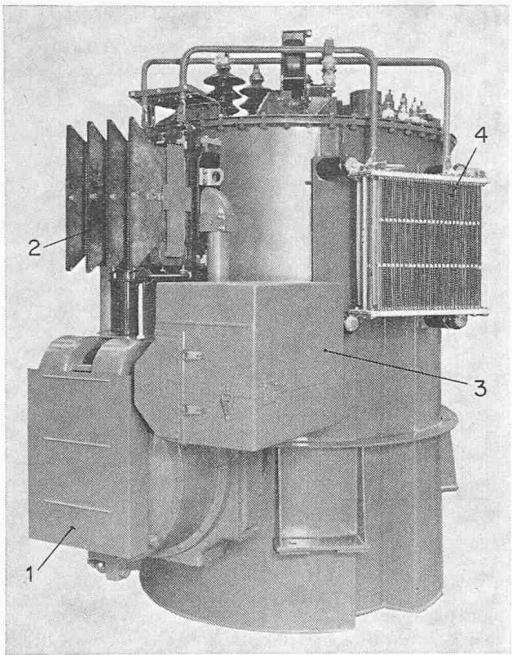


Bild 19. Transformator mit angebautem Stufenschalter; 1 Stufenwähler, 2 Lastschalterbatterie (vierpolig), 3 Luftpumpe mit Verriegelungs- und Steuerkontakte, 4 Überwiderstand in Schaufelbauart

C. Die elektrische Ausrüstung

1. Die Hochspannungs- und Fahrmotorstromkreise, Dachausstattung

Die elektrischen Stromkreise der Re 4/4^{II} entsprechen der klassischen Ausführung für Einphasen-Wechselstrom-Fahrzeuge. Die Primärspannung wird in einem Transformator mit angebautem, hochspannungsseitigem Stufenschalter auf den für die vier parallel geschalteten Einphasen-Serie-Fahrmotoren geeigneten Wert von etwa 565 V maximal (bei 15 kV primär) reduziert, Bild 15.

Bei den bis Ende 1968 gebauten Lokomotiven gelangt der Fahrleitungsstrom über einen normalisierten Scherenstromabnehmer, Bauart BBC, Typ 350/2, und eine kurze Dachleitung zu dem im mittleren Dachteil eingelassenen, ebenfalls normalisierten Drucklufthauptschalter BBC, Typ DBTF 20 i 200, an den ein zweipoliger, von innen zu betätigender Erdungsschalter angebaut ist. Von der Sekundärseite des Hauptschalters führt eine Leitung zur seitlich des kleinen mittleren Dachaufbaus angebrachten Hochspannungseinflöpführung, die ihrerseits über eine kurze Verbindungsleitung mit dem Transformator verbunden ist. Erdseitig wird der Primärstrom über total vier Erdungsbürsten auf die Radsätze geleitet.

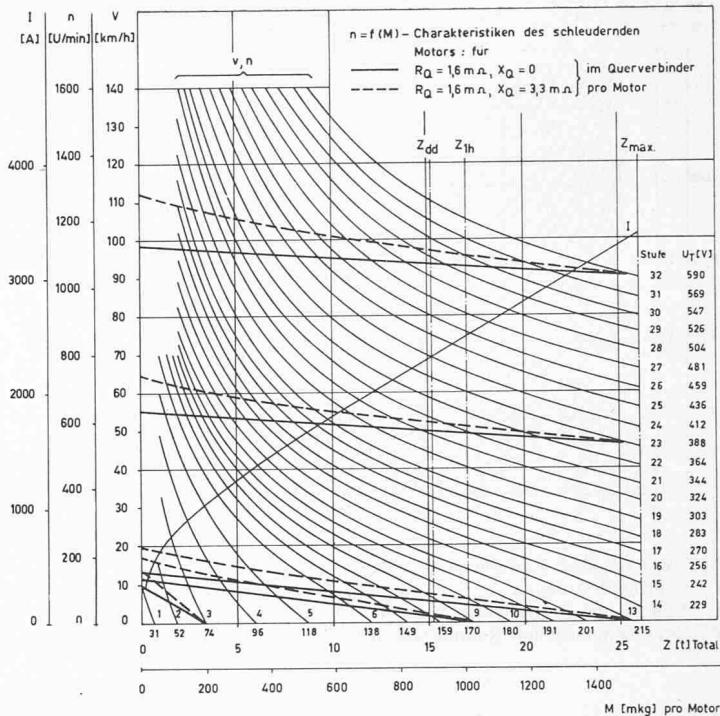


Bild 18. Fahrzeug- bzw. Fahrmotorkennlinien der Re 4/4^{II} mit eingezeichneten Kennlinien $V = f(Z)$ bzw. $n = f(M)$ eines schleudern den Motors. Gerechnete Werte für verschiedene Ausgangspunkte

Bei den später gebauten Lokomotiven wurde aus betrieblichen Gründen anstelle des einzigen Scherenstromabnehmers an jedem Ende des Daches ein einholmiger Stromabnehmer neuer, platzsparender Bauart BBC, Typ ESa 06-2500, angeordnet. Die zwei Stromabnehmer sind über eine Dachleitung ständig miteinander verbunden. Auf den Einbau besonderer Trennmesser wurde aus Gewichts- und Platzgründen verzichtet. Dennoch lassen sich die Stromabnehmer durch Lösen einer Verbindungsleitung notfalls elektrisch abtrennen. Ausser den genannten Apparaten sind auf dem Dach die vier ohmschen Wendepolshunts der Fahrmotoren und drei Widerstände der Bremsstromkreise aufgebaut.

Der Fahrmotorstromkreis ist über einen Spannungssteiler geerdet. Ein allfälliger Erdschluss wird somit wohl angezeigt und löst den Hauptschalter aus, richtet jedoch keinen Schaden an. Nach dem Abtrennen des Spannungssteilers kann die Fahrt trotz des weiterbestehenden Erdeschlusses fortgesetzt werden. Bild 16 zeigt die Zugkraftkennlinien und Bild 17 die Bremskraftkennlinien der Re 4/4^{II}.

Im Fahrbetrieb sind die vier Erregerwicklungen der Fahrmotoren dauernd über kleine Drosselpulen parallel-

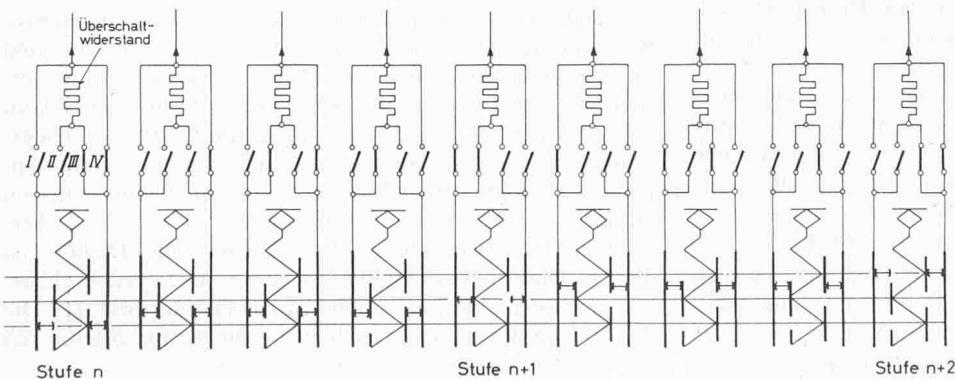


Bild 20. Schaltfolge der Lastschalter und der Wählerkontakte beim Stufenschalter NO 32/4

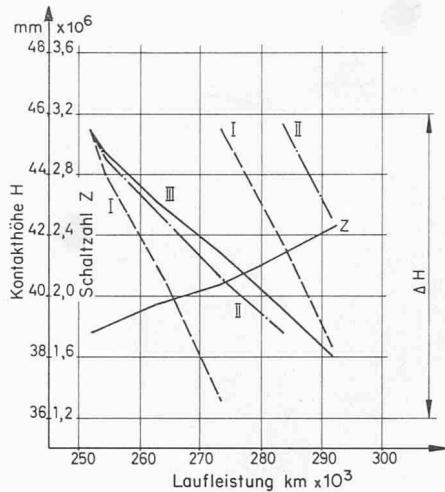


Bild 21. Gemessene Abnützungen der Abbrechkontakte beim dreipoligen Lastschalter (Lok 11102 im Ablieferungszustand)
I, II, III: Totale Kontakthöhe am Lastschalter I, II, III. (Die Kontakte I und II mussten während der Messperiode ersetzt werden.)
 ΔH : abnützbare Kontakthöhe, Z = Schaltzahl

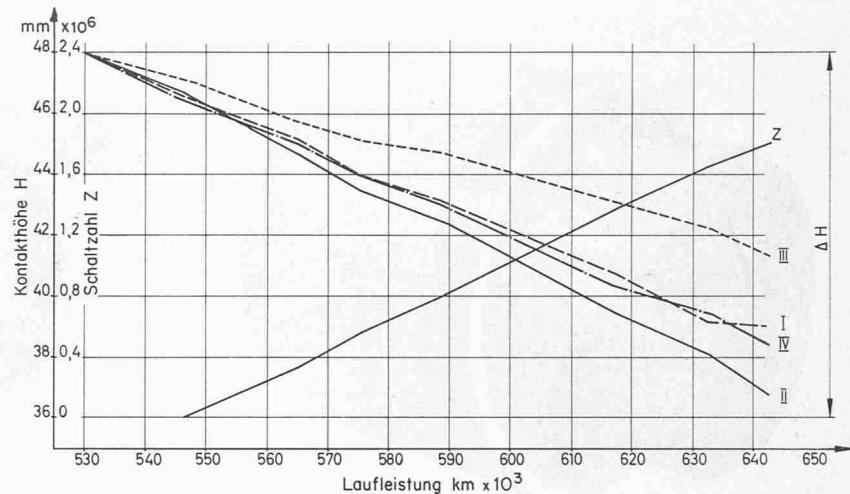


Bild 22. Gemessene Abnützungen der Abbrennkontakte beim vierpoligen Lastschalter (Lok 11103 nach Umbau der Lastschalterbatterie)
I, II, III, IV: Totale Kontakthöhe am Lastschalter I, II, III, IV
 ΔH : abnützbare Kontakthöhe, Z = Schaltzahl

geschaltet. Diese Querverbindungen werden durch vier kleine Hüpfer geschlossen, sobald die Fahrmotortrennhüpfer eingeschaltet sind. Die Parallelschaltung der Fahrmotorfelder bewirkt im Falle des Schleuderns einer Achse, dass der entsprechende Erregerstrom weniger stark absinkt als der zugehörige Ankerstrom; sie begrenzt dadurch den Drehzahlzuwachs der schleudernden Achse. Die künstlich bewirkte Nebenschluss-Schaltung des schleudernden Fahrmotors verleiht diesem eine sehr flache Charakteristik, das heisst einen in bezug auf das Adhäsionsverhalten günstigen Wert dv/dZ (Bild 18). Die theoretisch gefundene Schleudercharakteristik wurde durch Versuche kontrolliert, indem eine einzelne Achse leicht angehoben und darauf der Stufenschalter einige Stufen aufgeschaltet wurde. Die frei durchdrehende Achse nahm die berechnete, geringe Drehzahl an. Es ist somit erwiesen, dass die Parallelschaltung zusätzlich als sehr wirksamer Durchbrennschutz für eine einzelne, stark schleudernde Achse dient. Zu beachten bleibt jedoch, dass die gesamte Wirkung verloren geht, wenn alle vier Achsen der Lokomotive gleichzeitig infolge Überschreitens der Adhäsionsgrenze durchdrehen.

Die in Serie zu den Parallelschalthüpfen geschalteten kleinen Drosseln dienen der Begrenzung der wegen un-

gleicher Fahrmotor-Charakteristiken (bedingt durch Fertigungsungenauigkeiten und durch den ungleichen Drehsinn der vier Fahrmotoren) auftretenden Ausgleichsströme. Sie sind so bemessen, dass sie bei starker Verkleinerung der Ausgleichströme die Wirkung der Parallelschaltung nur wenig abschwächen. Erwähnt sei auch, dass die Ausgleichsverbindungen ohnehin einen gewissen Widerstandswert aufweisen müssen, ansonst ein selbsterregter Strom auftreten kann. Die Berechnung und Wirkung dieser Parallelschaltung ist in [4] eingehend beschrieben worden.

2. Der Transformator mit angebautem Stufenschalter

Der Transformator entspricht der bekannten BBC-Ausführung mit radialgeblechtem Kern und E-förmigen Rück schlussjochen, Bild 19. Im unteren Teil ist die als Spartrafo geschaltete Regulierwicklung untergebracht. Im oberen Teil befindet sich der Leistungstrafo mit den zwei für die Rekuperationsbremse notwendigen sekundären zusätzlichen Anzapfungen. Eine besondere Wicklung im unteren Trafoteil liefert die Hilfsbetriebespannung von etwa 240 V; die Heizleistung (nur 1000 V Heizspannung vorhanden) wird der Regulierwicklung entnommen. Die Trafo-Nennleistung beträgt 4000 kVA für die Fahrmotoren, 500 kVA für die Zugheizung und 80 kVA für die Hilfsbetriebe.

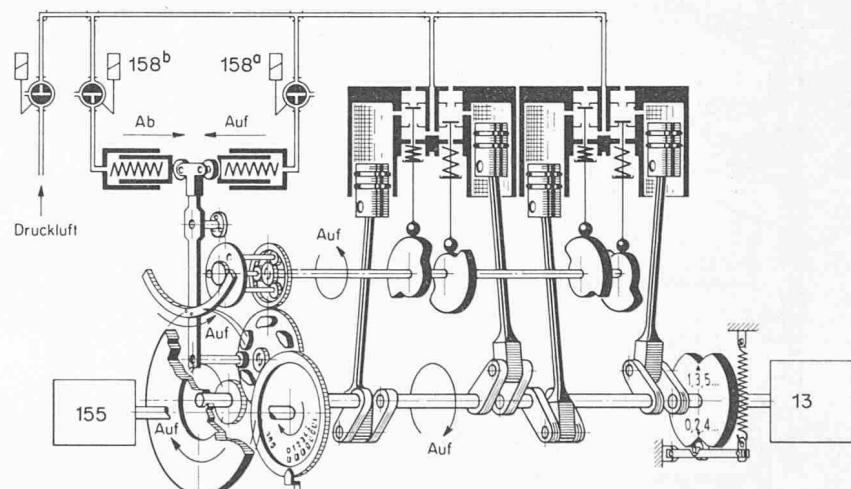


Bild 23. Prinzipschema des Luftpumpen Typ MG 2; 13 Stufenschalter, 155 Walze mit Steuer- und Verriegelungskontakten, 158a Elektroventil «Auf», 158b Elektroventil «Ab»

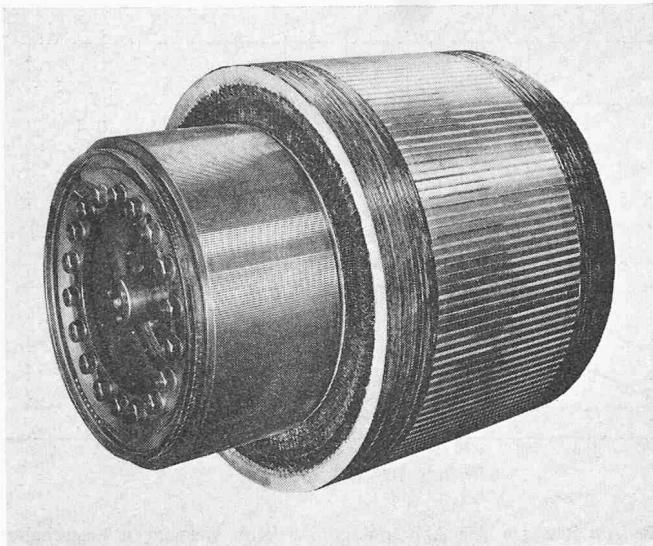


Bild 24. Fahrmotoranker mit Orlisilast-Isolation Klasse H

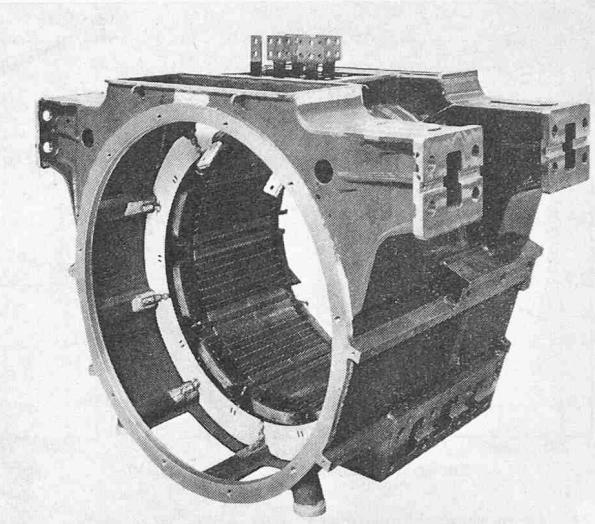


Bild 25. Fahrmotor-Stator

Besondere Sorgfalt wurde der Abstützung der Wicklungen gegen die Joche gewidmet; zudem sind die einzelnen Wicklungsabteilungen miteinander verklebt. Beide Massnahmen haben zusammen eine wesentliche Erhöhung der Kurzschlussfestigkeit gegenüber früheren Ausführungen gebracht. Eine stopfbüchsenlose MFO-Ölpumpe mit Kondensatormotor sorgt für eine hinreichende Ölumwälzung. Die

Verlustwärme wird dem Trafoöl vor allem in zwei parallel geschalteten, in den Ansaugkanälen der Fahrmotorkühlluft angeordneten Rohrkühlern entzogen.

Direkt am Transformatorkessel ist der Hochspannungs-Stufenschalter Bauart NO 32/4 angebaut. Der Stufenwähler erlaubt 32 verschiedene Stufenspannungen; diese werden durch einen schwenkbaren Hebelarm mittels Kontaktrollen

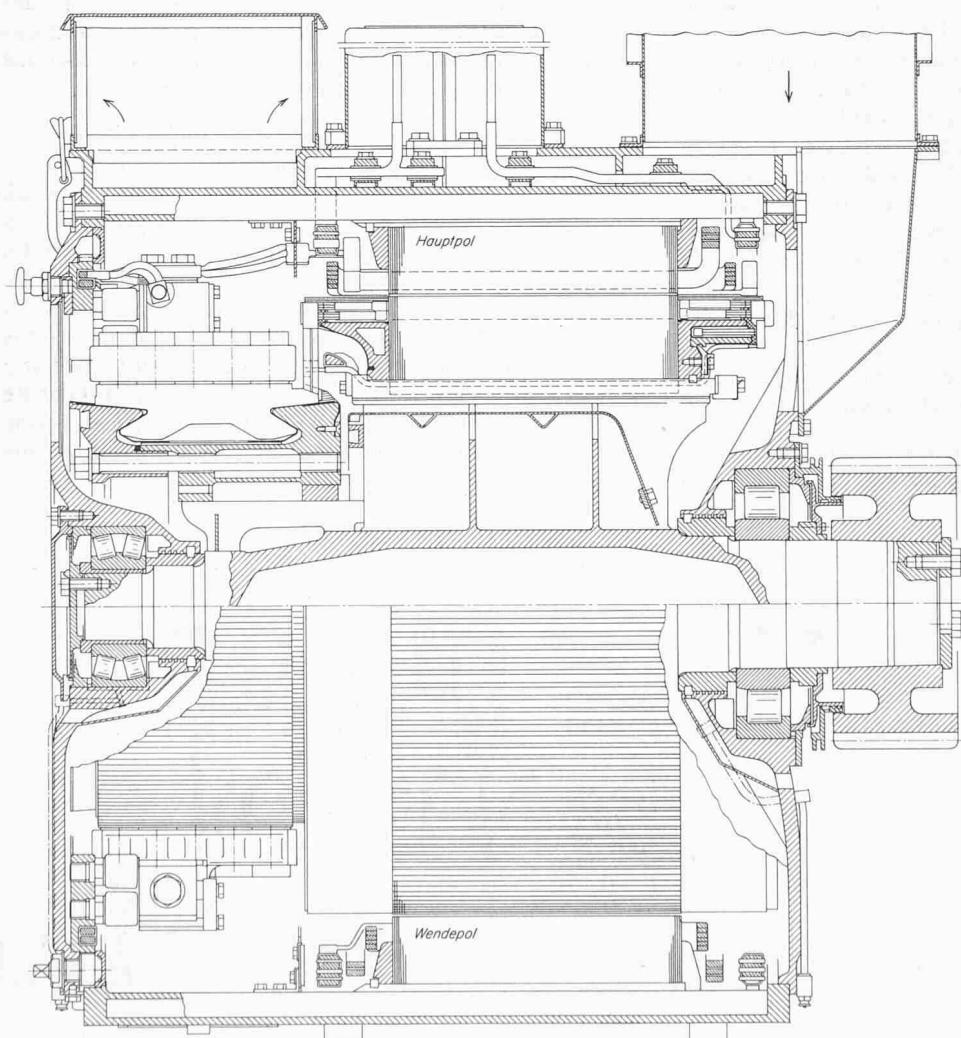


Bild 26. Längsschnitt durch den Fahrmotor (Rotor mit Hohlwelle).
1:10

Tabelle 2. Hauptdaten des Fahrmotors der Re 4/4^{II}

Typ	Prototyp-Lok		Serie-Lok
	11101-106 10 HW 895	11107-254 10 HW 895	
Spannung	dauernd	V	500
	einständig	V	500
	maximal zulässig	V	rd. 660
Strom	dauernd	A	2080
	einstündig	A	2250
	maximal	A	3400
Leistung an der Welle, dauernd	kW	955	1113
	einstündig	kW	1030
Drehzahl	bei Dauerleistung	U/min	1200
	bei Stundenleistung	U/min	1140
	bei Höchstgeschwindigkeit	U/min	1600
Schleuderdrehzahl		U/min	2000
Drehmoment an der Welle, dauernd	mfp	778	905
	1stündig	mfp	880
	maximal	mfp	1553
Statorisolation	Klasse	F	F
Rotorisolation	Klasse	F	H
Gewicht, ohne Ritzel	kg	3900	3900
Kühlluftmenge bei 140 mm WS	m ³ /s	2,5	2,5
Spannung e_{tr} bei Stundenstrom	V	2,86	3,0
bei Maximalstrom	V	3,3	3,3

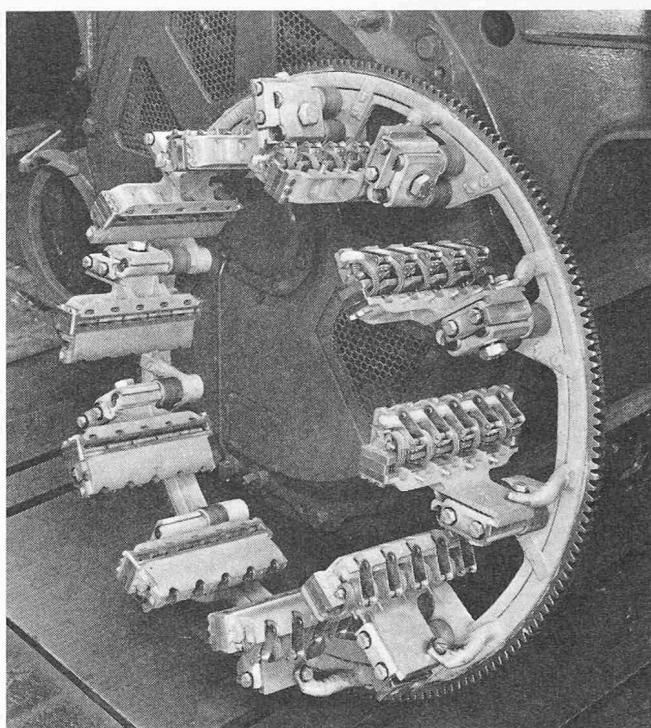


Bild 27. Bürstenring mit Bürstenhaltern des Fahrmotors

an den 32 kreisförmig auf einer Isolierplatte angeordneten Kontaktsegmenten abgegriffen. Die Isolierplatte nimmt gleichzeitig die Durchführungen zu den Anzapfungen an der Regulierwicklung auf und trennt das Trafoöl vom Wähleröl. Die Stufenspannung wird vom Wähler der über diesem angeordneten Lastschalterbatterie zugeführt und von dort an die Primärwicklung des Leistungstransformators weitergeleitet. Beim Übergang von einer Stufe zur nächsten öffnen bzw. unterbrechen die vier Schaltelemente des Lastschalters die entsprechenden Stromzweige in mechanisch bedingter, zwangsläufiger Schaltfolge derart, dass die Kontaktrollen im Wähler nur in stromlosem Zustand von einem Segment zum benachbarten bewegen können und dass dabei die Speisung des Leistungstrafos (und somit der Fahrmotoren) nicht unterbrochen wird. Die Einzelheiten des Schaltvorganges sind aus Bild 20 ersichtlich. Grossen Anstrengungen wurden unternommen, um den Zugkrafteinbruch beim Schalten von einer Stufe zur nächsten zu verringern und um eine hohe Lebensdauer der Abbrennkontakte zu erreichen.

Die sechs Prototyplokomotiven besaßen ursprünglich eine Lastschalterbatterie mit drei Schaltelementen (bisher allgemein übliche Schaltung, zum Beispiel Ae 6/6). Es zeigte sich aber bald, dass die Lebensdauer der Abbrennkontakte den gestellten Anforderungen nicht entsprach. Sie wies starke Unterschiede zwischen den drei Schaltelementen auf und erlaubte nur geringe Wartungsintervalle. Theoretische Überlegungen führten dann zur Schaltung mit vier Schaltelementen unter gleichzeitiger Optimierung des Ohmwertes des Überschaltwiderstandes. Die neue Schaltung, eine gleichzeitige Vergrösserung der Höhe des Kontaktes um 1 mm und die Verwendung einer etwas günstigeren Legierung brachten eine Verlängerung der kleinsten Lebensdauer auf etwa den fünffachen Wert (Bilder 21 und 22).

Die Schalthäufigkeit dieser Stufenschalter ist wegen den schwierigen topographischen Verhältnissen der schweizerischen Strecken (häufiges Beschleunigen und Abbremsen)

sen) und der Anwendung einer Rekuperationsbremse (deren Bremskraft ebenfalls mit dem Stufenschalter geregelt wird), verhältnismässig hoch; sie beträgt 18 bis 20 Schaltungen pro km im Schnellzugsdienst und erreicht im Personenzugdienst bis 25 Schaltungen pro km. Deshalb mussten besondere Massnahmen getroffen werden, um den rein mechanischen Verschleiss des Stufenschalters möglichst klein zu halten. In diesem Zusammenhang wurde recht ausgiebig – und mit gutem Erfolg – von Loctite zur zusätzlichen Befestigung von Zahnrädern auf Wellen und dergleichen Gebrauch gemacht. Diese Methode verhindert auch geringste Anfangsspiele infolge Ausführungsfehlern und damit ein allmähliches Lockern von betriebswichtigen Verbindungen.

Der Stufenschalter wird im Normalfall von einem vierzyindrischen, mit Druckluft gespeisten Kolbenmotor Bauart BBC MG 2, mit mechanischer Ventilbetätigung angetrieben, Bild 23. Die für die beiden Drehrichtungen getrennte Luftzufuhr zu diesem Motor wird durch je ein Elektroventil gesteuert. Im Störungsfall kann der Stufenschalter von Hand mittels einer Kurbel vom Seitengang der Lokomotive aus betätigt werden.

Der Transformator samt angebautem Stufenschalter wiegt einschliesslich Ölfüllung rund 12 500 kg.

3. Der Fahrmotor

Der Fahrmotor stellt einen der wichtigsten Bauteile eines elektrischen Triebfahrzeugs dar und beeinflusst daher dessen Betriebstüchtigkeit, Leistungsfähigkeit und Unterhaltungskosten wesentlich. Es war daher auch im vorliegenden Fall angebracht, bereits bewährte und erprobte Konstruktionen anzuwenden. Die verlangte grosse Leistung, die relativ geringen zulässigen Abmessungen und der Wunsch nach kleinem Gewicht stellten an Berechnung und Konstruktion bedeutende Anforderungen. Die MFO hat einen Fahrmotor mit zweifacher Schleifenwicklung nach Bild 26 vorgeschlagen. Derartige Fahrmotoren erlauben bei mässigen elektrischen Beanspruchungen und geringer Polzahl eine sehr hohe Gesamtleistung; die MFO konnte sich

dabei auf mehrjährige Erfahrungen mit solchen Motoren in 10-, 16- und 20poliger Ausführung stützen.

Der gewählte zehnpolige Fahrmotor Typ 10 HW 895 stellt eine Weiterentwicklung des ebenfalls zehnpoligen Fahrmotors 10 WB 900 dar, der sich seit 1954 in den drei Ae 6/6-Lokomotiven 11412–11414 voll bewährt und insbesondere ein durchschnittliches Intervall von rd. 1 Mio km zwischen zwei Kollektorbehandlungen zugelassen hat. Die 40 %ige Leistungserhöhung gegenüber dem Ae 6/6-Motor wurde bei gleichbleibendem Ankerdurchmesser von 820 mm, gleichem Drehmoment und nur leicht erhöhtem Strom durch eine 40 %ige Vergrösserung der Nenndrehzahl erreicht. Diese Massnahme war möglich, weil gleichzeitig zwecks Verkleinerung der transformatorischen Spannung e_{tr} und der Reaktanzspannung e_r die Eisenlänge von 410 auf 380 mm verkürzt und die Leiterzahl pro Nut von 8 auf 6 verringert wurde. Dementsprechend stieg der Strombelag leicht an. Er beträgt 395 A/cm bei Stundenstrom.

Die Prüffeldversuche dieses Fahrmotors erbrachten die erwarteten guten Resultate und zeigten insbesondere, dass die elektrische Beanspruchung und damit die Leistung bei Inkaufnahme der entsprechenden Mehrerwärmung durch Erhöhung des Stundenstromes nochmals um rund 10 % vergrössert werden durfte. Die Mehrerwärmung bedingte allerdings im Rotor, Bild 24, den Ersatz der Ankerleiterisolation Klasse F durch eine solche der Klasse H, während für den Stator, Bild 25, die bisherige F-Isolation ausreichte.

Abgesehen von den verwendeten Isolationsmaterialien und der deswegen unterschiedlich definierten Leistung sind alle Re 4/4^{II}-Fahrmotoren fast gleich und somit gegenseitig austauschbar. Die Rotoren sowie der Aktivteil des Stators sind zudem identisch mit denjenigen der Re 4/4^{III}-Lokomotiven. In Tabelle 2 sind die Hauptdaten zusammengestellt.

Stator und Rotor stellen Schweißkonstruktionen üblicher Bauart dar, wie aus den Bildern 25 und 26 hervorgeht. Beim Rotor ist anfänglich eine Hohlwelle verwendet worden, deren zwei Wellenteile vorgängig einseitig ausgehornt und dann zusammengeschweisst wurden. Später hat man auf Wunsch der Unterholtwerkstätten normale, durchgehende Wellen verwendet, weil auf deren Auswechselbarkeit grösserer Wert gelegt wird als auf die dadurch entstehende Gewichtsvermehrung (etwa 60 kg pro Fahrmotor). Bei den Hohlwellenrotoren ist der das aktive Eisen samt Wicklung tragende Rotorstern direkt auf die Hohlwelle aufgeschweisst, bei den neueren Rotoren sitzt er auf einer Büchse, in die die Welle eingepresst wird. Die Lagerschilder sind aus Stahlguss gefertigt; auf der Kollektorseite gelangte ein Pendelrollenlager Typ 22320 mit zylindrischer Abziehhülse, auf der Ritzelseite ein Zylinderrollenlager Typ NU 334 M/C4 zum Einbau. Beide Lager sind mit Fett geschmiert, das durch einen Fettmengenregler dosiert wird. Das Ritzel ist ohne Verdreh sicherung auf dem leicht konischen Wellenende aufgeschrumpft.

Die Kühlung wird auf der Antriebsseite in den Fahr motor eingeblasen. Sie gelangt darauf auf drei parallelen Wegen durch den Luftspalt, durch die Zwischenräume im Stator, durch das Rotorinnere und durch die offene Fahnenwand auf die Kollektorseite, von wo sie den Motor durch Löcher im Lagerschild und durch Öffnungen im oberen Kollektordeckel verlässt.

Der Bürstenapparat, Bild 27, besteht aus zehn Bürstenhaltern der von den SBB entwickelten, bewährten Bauart Giambonini, die auf einem drehbaren Bürstenring montiert sind. Jeder Bürstenhalter enthält fünf armaturlose Zwillingsskahlen von $(2 \times 6) \times 50$ mm Querschnitt.

Die Rotorwicklung ist in total 150 offene, achsparallele Nuten eingelegt. Sie ist als 6-Etagen-Wicklung ausgebildet und enthält – wie jede zweifache Parallelwicklung – sämtliche Ausgleichsleiter erster und zweiter Ordnung. Letztere sind in total 16 Bündel zusammengefasst und so unter dem aktiven Eisen hindurch auf die Gegenseite geführt. Die Ausgleichsleiter erster Ordnung sind antriebsseitig auf einem besonderen, auswechselbaren Tragring angeordnet.

Eingehende theoretische Überlegungen und praktische Versuche dienten der zweckmässigsten Festlegung der Leiterfolge in der Nute. Bekanntlich lassen sich bei einer 6-Etagen-Wicklung die drei Leiterfolgen 1–3–5, 3–5–1 und 5–1–3 verwirklichen, die unterschiedliche Reaktanzspannungen und somit eine unterschiedliche Kommutationsgüte aufweisen. Alle drei Varianten wurden bei Prototyp-Rotoren ausgeführt und im Versuchslokal erprobt und beurteilt; die beste Variante wendete man dann bei allen folgenden Rotoren an. Da die Unterschiede jedoch relativ klein sind und keine besondere Shunteinstellung erfordern, konnten auch die Rotoren mit den weniger gut befriedigenden Wicklungen übernommen und in zufälliger Reihenfolge in die Lokomotiven eingebaut werden.

Gewisse Probleme stellte der Übergang auf die Isolationsklasse H im Rotor, da wenig praktische Erfahrungen zur Verfügung standen. Insbesondere war noch kein lösungsmittelfreier Lack für Vakuumimprägnierung erhältlich, der sich gut verarbeiten lässt und der Klasse H entsprechen konnte. Man verzichtete daher auf eine Imprägnierung der bewickelten Rotoren und widmete der Ausbildung der Leiterisolation vermehrte Beachtung. Die aus Glasgewebe, Glimmervlies und Silikonelastomer aufgebaute Bandisolierung der Stabpakete wird vor deren Einlegen in die Nute vulkanisiert, so dass ein dichter Schlauch entsteht. Sämtliche Hohlräume werden mit Kitt- und Vergussmassen auf Silikonbasis aufgefüllt. Die dauernd elastisch bleibende Vergussmasse schützt die Wicklungsköpfe gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und Schmutz und ermöglicht zusammen mit der ebenfalls elastisch bleibenden Spulenisolierung der Wicklung die erwärmungsbedingten geringfügigen Relativbewegungen, ohne dabei eine mechanische Abnutzung zu erleiden.

Gewisse Schwierigkeiten ergaben sich im Betrieb, weil der Blechkörper unerwartet hohe Mengen an Feuchtigkeit aufnahm, wodurch der Isolationswiderstand der Wicklung stark absank. Obschon diese Erscheinung keine Wicklungsschäden zur Folge hatte und sich praktisch immer ohne besondere Massnahmen nach einer gewissen Zeit wieder bessere Isolationswiderstände einstellten, sind in der Folge alle weiteren Blechkörper mit einem Harz versiegelt worden, um das Eindringen von Feuchtigkeit nach Möglichkeit zu verhindern. Die Zweckmässigkeit dieser Massnahme wurde durch besondere «Wassertest» nachgewiesen, die härtesten Betriebsbedingungen entsprachen. Trotzdem besteht weiterhin das Ziel, eine Imprägnierung mit lösungsmittelfreiem H-Lack zu verwirklichen.

Besondere Aufmerksamkeit wurde den Kollektorfahnen gewidmet, um die beste Fahnenform und das günstigste Material, das eine möglichst geringe Ermüdung aufweist, zu finden. Probefahnen sind auf einer Prüfmaschine Dauерwechselbeanspruchungen bis zum Bruch unterworfen worden. Die besten Resultate ergab eine zweiteilige Fahne aus Beryllium-Bronze. Sie wurde bei allen Seriromotoren angewendet. Eine eingehende Beschreibung des Fahrmotors Typ 10 HW 895 erschien in [5].

4. Die Hilfsbetriebe

An die Hilfsbetriebespannung von rund 240 V sind angeschlossen:

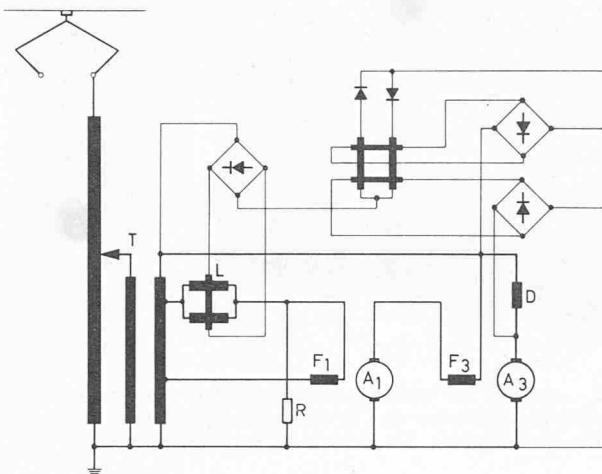


Bild 28. Prinzipschema für Rekuperation; A1, A3 Anker der Erreger- und der Bremsmotoren, F1, F3 Feld der Erreger- und der Bremsmotoren, D Drosselspule, L Vorgesättigte Drossel (Regulierdrossel), T Transformator, R Widerstand

- zwei Einphasen-Serie-Motoren, zum Antrieb der beiden Ventilatoren (Radialbauart Sulzer), Motorenhauptdaten: 22 kW, 2750 U/min,
- ein Einphasen-Serie-Motor zum Antrieb des Kompressors, Leistung 19 kW, 2900 U/min,
- ein statischer Umformer zur Ladung der 36 V-Steuerstrombatterie, Bauart Westinghouse «Westat», 15 A Ladestrom für die Lokomotiven 1110-155+SOB 41, bzw. Bauart Leclanché «Transicomm» 20-25 A Ladestrom für die übrigen Lokomotiven,
- ein kollektorloser Kondensatormotor zum Antrieb der Ölspülung, Leistung 2,8 kW,
- die Führerstandsheizung (total 4250 W pro Führerstand),
- der Messwertgeber für die Fahrleitungsspannungsanzeige im Führerstand.

Die zwei Ventilatorgruppen sind entweder in Serie (Schwach-Ventilation) oder parallel (Stark-Ventilation) geschaltet. Die Steuerung erfolgt automatisch, entweder auf «schwach» beim Einschalten des Hauptschalters, solange die Fahrgeschwindigkeit weniger als 30 km/h beträgt und der Stufenschalter auf einer der Stufen 0 bis 5 steht, oder auf «stark» beim Überschreiten einer Geschwindigkeit von 30 km/h oder wenn der Stufenschalter auf einer der Stufen 6 bis 32 steht. Im Stillstand kann die Ventilation abgestellt werden. Die richtige Arbeitsweise der Ventilatoren und der Ölspülung wird überwacht und dem Führer angezeigt.

Bei der Berechnung und der Konstruktion der Hilfsbetriebe-Kollektormotoren wurde ein Revisionsintervall von mindestens 1,2 Mio km angestrebt. Innerhalb dieser Frist sollen außer periodischem Kohlebürstenersatz und Reinigung keine Unterhaltsarbeiten notwendig sein. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass dieses Ziel bei den Serie-Lokomotiven erreicht werden dürfte.

5. Die Schaltapparate in den Fahrmotorstromkreisen

An hauptsächlichen Schaltapparaten sind die zwei kombinierten Wende- und Bremsumschalter Bauart MFO WBP 15.08 und die vier Trennhüpfer für die Fahrmotoren Typ MFO PH 10.25 zu erwähnen [6]. Die Wende- und Bremsumschalter weisen vier Betriebsstellungen (Fahren vorwärts – Bremsen vorwärts – Bremsen rückwärts – Fahren rückwärts) auf, die durch einen elektropneumatischen Antrieb eingestellt werden. Der Apparat ist nach dem Baukastenprinzip aufgebaut und kann daher aus normalisierten

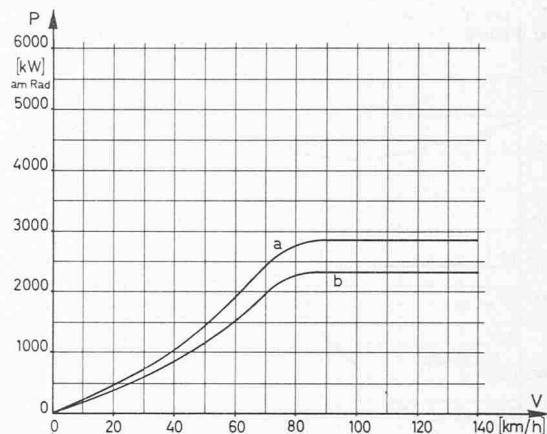


Bild 29. Leistungs-Kennlinien für Rekuperation; P = Bremsleistung am Rad, a für Höchstleistung (bei Maximalstrom), b für 40-Minuten-Leistung (bei 40-Minuten-Strom)

Einzelteilen für jedes beliebige Schaltprogramm zusammengestellt werden. Bei den Serie-Lokomotiven ist es trotz der durch die Rekuperationsbremse bedingten Ungleichheit der vier Fahrmotorstromkreise gelungen, pro Lokomotive zwei identische Umschalter zu verwenden.

Während die Statorkontakte starr befestigt sind, sorgt eine Wippenkonstruktion dafür, dass die beweglich im Rotor gelagerten Gegenkontakte dauernd den notwendigen Anpressdruck aufweisen. Die Stromzufuhr zu den Rotorkontakte erfolgt über Litzen. Zur Wartung der Kontaktköpfe aus Silber können die beiden Statorhälften um eine zum Rotor parallele Achse leicht geschwenkt werden, so dass deren Innenseite zugänglich wird. Da sich einzelne Kontakte im betriebsbereiten Schalter nicht abheben lassen, sind in den Zuleitungen zu den Fahrmotorfeldern besondere Trenner eingebaut. Sie dienen auch zum Abschalten eines defekten Wendeschalterteils.

Die elektropneumatischen Trennhüpfer Typ PH 10.25 aller Serie-Lokomotiven entsprechen der bewährten MFO-Bauart mit Haupt- und Abbrennkontakt. Die beiden beweglichen Kontakte sind derart auf einer Wippe gelagert, dass stets vorerst der Haupt- und nachher der Abbrennkontakt öffnet. Bevor der bewegliche Teil des Hüpfers die Ausschaltstellung voll erreicht, wird zudem durch eine Düse Luft gegen den Schaltlichtbogen geblasen. Die Hauptkontakte sind zur Gewährleistung eines geringeren Übergangswiderstandes mit einem Silberbelag versehen, die Abbrennkontakte weisen einen Belag aus einer besonders verschleißfesten Wolframlegierung auf. In der Zone der Abbrennkontakte sind Specksteinscheiben in die Kaminwände eingeschoben.

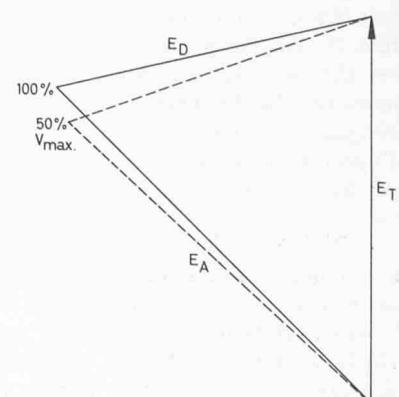


Bild 30. Vektordiagramm der Rekuperationsbremse bei 140 und bei 70 km/h Geschwindigkeit.
ET Transformatorspannung, ED Bremsdrosselspannung, EA Ankerspannung

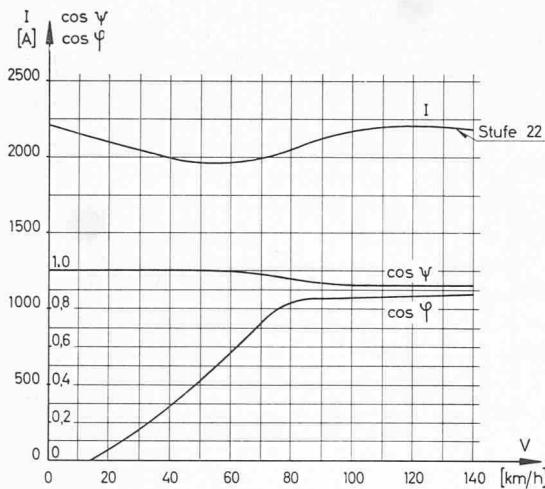


Bild 31. Verlauf der Leistungsfaktoren und des Stromes in Funktion der Geschwindigkeit beim Rekuperieren; $\cos \psi$ Leistungsfaktor der Bremsmotoren; $\cos \varphi$ Leistungsfaktor im Transformator (sekundär), I Strom der Bremsmotoren auf Stufe 22

gesetzt, weil diese Wände aus Kunstharz bestehen, das den Schaltlichtbogen nicht in genügendem Masse zu widerstehen vermag. Der Hüpfen erweist sich als sehr betriebsicher und verlangt nur einen geringen Unterhalt. Die Kontakt- und Kaminlebensdauer ist bedeutend höher als bei bisherigen Konstruktionen. Der Heizhüpfen Typ MFO PH 15.14 unterscheidet sich im wesentlichen nur in den Nenndaten von den Trennhüpfen.

6. Die Rekuperationsbremse

Gemäss Pflichtenheft der Re 4/4^{II}-Lokomotiven muss während der ganzen Talfahrt auf der Gotthard-Südrampe, d. h. während maximal 40 Minuten, eine Bremskraft von rund 10 t bei einer Geschwindigkeit von 75 km/h ausgeübt werden können. Diese Bremskraft genügt, um rund 400 t Anhängelast in der Beharrung zu halten. Die gestellten Anforderungen konnten nur durch eine Rekuperationsbremse erfüllt werden. Man verwendete eine verbesserte Variante der Ae 6/6-Erregermotorschaltung, bei der im Erregerstromkreis eine Regulierdrossel eingefügt ist, die eine stetige Einstellung der Bremskraft im oberen Geschwindigkeitsbereich erlaubt.

Bild 28 zeigt den prinzipiellen Aufbau der als Regulier-Erregermotorschaltung bezeichneten Bremse. Im verwirklichten Schema sind die drei Felder der Bremsmotoren in Serie, die drei Anker wie beim Fahren parallel geschaltet. Die Regulierdrossel L wirkt derart auf den Feldstrom des Erregermotors ein, dass die Bremsleistung im Geschwindigkeitsbereich von etwa 80 bis 140 km/h konstant bleibt, Bild 29. Als Ausgangswerte für die Regulierung dienen dabei die maximal auftretende Ankerspannung der Bremsmotoren und die Tranformatorspannung. Diese zwei Spannungen werden gleichgerichtet und für die Steuerung eines Transduktors verwendet, der seinerseits die Steuerwicklung der Regulierdrossel speist.

Bild 30 zeigt das Vektordiagramm der wichtigsten Spannungen. Diese verändern sich im Geschwindigkeitsbereich von 140 bis rund 80 km/h nur wenig. Bei etwa 80 km/h erreicht der Feldstrom des Erregermotors seinen Höchstwert und bleibt bei weiter sinkender Geschwindigkeit konstant. Demzufolge nimmt von da an bei fallender

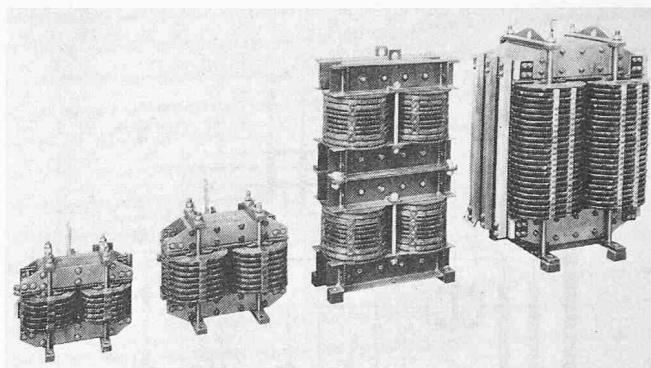


Bild 32. Apparate der Rekuperationsbremse; von links nach rechts: induktiver Wendepolshunt des Erregermotors, induktiver Wendepolshunt der Bremsmotoren, Regulierdrossel, Bremsdrosselpule

Geschwindigkeit die Ankerspannung der Bremsmotoren und dadurch bedingt auch die Bremsleistung stetig ab.

Die gewählte Schaltung ergibt in einem grossen Geschwindigkeitsbereich sehr gute Werte für den internen und den externen Leistungsfaktor (Bild 31) und benötigt nur statische Elemente. Da zudem der Bremsstrom fast nur von der Bremsstufe, nicht aber von der Geschwindigkeit abhängig ist, wie aus Bild 31 hervorgeht, sind auch keine besonderen Massnahmen für die Stufenschaltersteuerung erforderlich. Es genügt, ein Strombegrenzungsrelais vorzusehen, das kurz vor dem Erreichen des grössten zulässigen Stromwertes den Aufschaltbefehl unterbricht.

Die Rekuperationsapparate, Bild 32, wiegen total rund 2500 kg; das Leistungsgewicht beträgt somit etwa 1,1 kg/kW und liegt bedeutend unter demjenigen älterer Rekuperationsbremsen. Die benötigten Drosselpulen und induktiven Shunts sind alle luftgekühlt; es wurden durchwegs Isoliermaterialien der Klasse F verwendet.

Bei maximaler Bremskraft treten betrieblich noch zulässige Pufferkräfte auf. Grössere Kräfte können bei ungünstiger Zugzusammensetzung zu Entgleisungen der nachfolgenden Wagen führen und müssen daher bei Stellung einer Vorspannlokomotive oder bei Anwendung der Vielfachsteuerung vom Führer durch Begrenzung des Bremsstromes berücksichtigt werden. Die grösstmögliche Bremskraft pro Achse beträgt ungefähr 3,8 t. Höhere Werte wären auch aus Adhäsionsgründen nicht ratsam. Bei den Re 4/4^{III} wurde der infolge des geänderten Übersetzungsverhältnisses vergrösserte Wert durch eine tiefere Einstellung des Strombegrenzungsrelais zurückkorrigiert.

7. Die Stufenschaltersteuerung

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, wurden zwecks Fahrzeitverkürzungen hohe Anforderungen an das Beschleunigungsvermögen gestellt. Die betrieblich erzielbaren Beschleunigungen hängen indessen nicht nur von der installierten Zugkraft und Leistung, sondern auch von der Bedienung des Stufenschalters ab. Es lag daher nahe, eine halbautomatische Steuerung mit Strombegrenzungsrelais vorzusehen, wie sie schon 1959 bei den sechs RBe 4/4-Triebwagen 1401–1406 verwirklicht wurde. Diese vermochte in bezug auf die Konzeption voll zu befriedigen, bereitete jedoch Schwierigkeiten, weil die mechanischen Steuer- und Strombegrenzungsrelais der grossen Schalthäufigkeit nicht gewachsen waren. Der in der Zwischenzeit erzielte technische Fortschritt und der volle Erfolg eines nachträglich mit elektronischen Relais ausgerüsteten Triebwagens erleichterten den Entschluss, die als Befehlsgebersteuerung be-

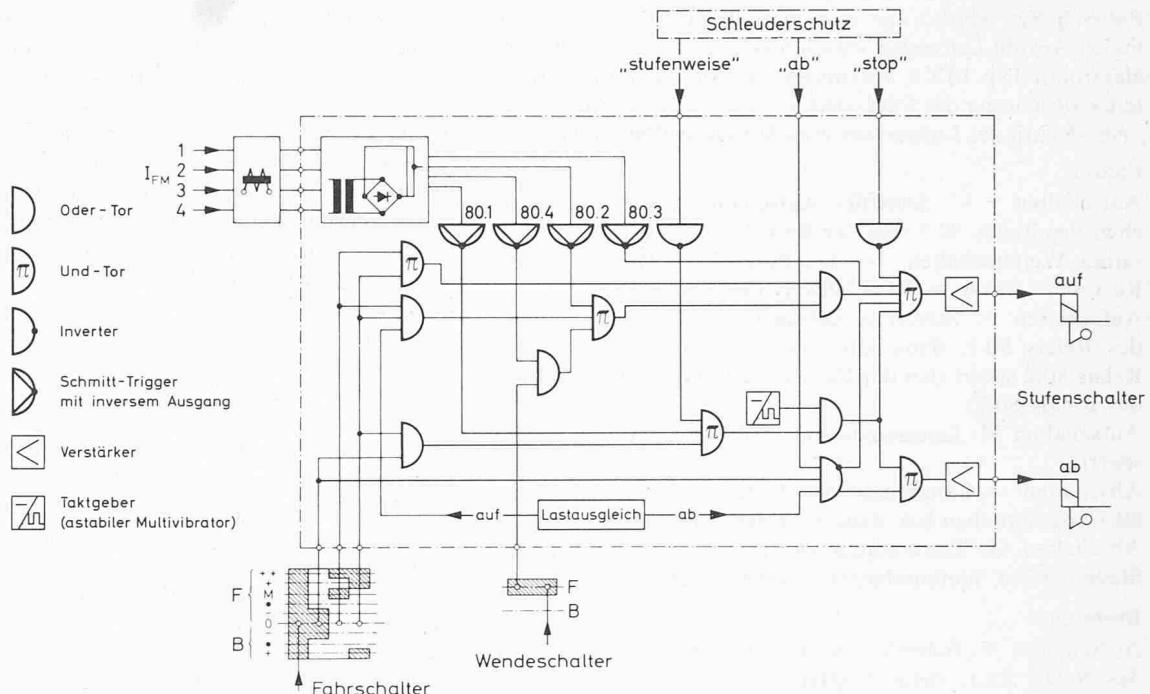


Bild 33. Prinzipschema der Stufenschaltersteuerung

zeichnete Schaltung dennoch für die Re 4/4^{II} zu übernehmen. Man war sich dabei bewusst, dass die fast bei jedem Beschleunigen zwangsläufig erwirkte Maximalausnützung der verfügbaren Zugkraft an die elektrischen Apparate und die Antriebe erhöhte Anforderungen stellen würde.

Der damalige Entschluss, die Befehlsgebersteuerung in verbesserter Form weiterzubauen, hat sich gelohnt. Die heute mit grosser Zuverlässigkeit arbeitende Einrichtung wird in gleicher Ausführung in absehbarer Zukunft in insgesamt 274 schweizerischen Triebfahrzeugen vorhanden sein; es sind das 155 Re 4/4^{II}-Lok der SBB und MThB, 23 Re 4/4^{III}-Lok der SBB, SOB und EBT, 82 RBe 4/4-Triebwagen der SBB und 14 ABDe 4/4/BDe 4/4/ABDe 2/4-Triebwagen verschiedener Privatbahnen¹⁾. Diese Triebfahrzeuge erfordern alle eine fast genau gleiche Bedienung und sind untereinander in Vielfachsteuerung verwendbar. Betrieblich erleichtert dies den Fahrzeugeinsatz und ermöglicht Einsparungen an Personal und Leerfahrten. Die fahrzeugbedingten Unterschiede in der Einstellung der Stromwerte der Zuschaltrelais beeinträchtigen die universelle Austauschbarkeit der Bestandteile der Steuerung nur wenig und vermögen daher die Vorteile beim Unterhalt kaum zu schmälern.

Die Steuerung beruht auf dem «Auf-Ab»-Prinzip, Bild 33. Der Fahrschalter weist folgende Stellungen auf:

- ++ Rasches Aufschalten mit maximalem Zuschaltstrom bis zur obersten Stufe
- + Rasches Aufschalten mit verringertem Zuschaltstrom bis zur obersten Stufe

M Langsames Aufschalten mit verringertem Zuschaltstrom bis zur obersten Stufe

- Festhalten des Stufenschalters auf der erreichten Stufe
- Rasches Abschalten des Stufenschalters
- O Trennhüpfer aus, Verriegelungsstellung
- Abschalten der Rekuperationsbremse
- Festhalten der erreichten Bremsstufe
- + Rekuperationsbremse aufschalten

In der Nullstellung steht der Fahrschalterhebel waagrecht; zum Beschleunigen verstellt ihn der Führer nach vorn, für die Bremsung bewegt er ihn gegen sich. Vom

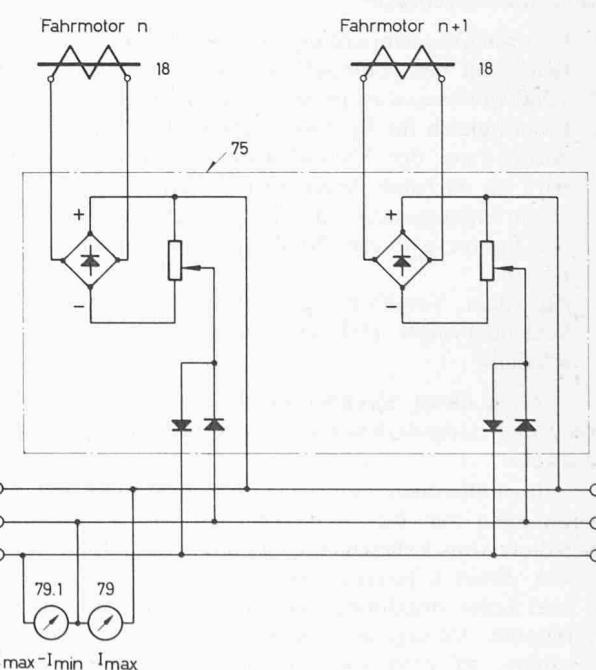


Bild 34. Prinzipschema der Fahrmotorstrom-Messung;
18 Stromwandler für Fahrmotorstrom, 75 Messwertgeber,
79, 79.1 Instrumente im Führerstand

¹⁾ 1460 PS-Triebwagen ABDe 4/4 171 der GFM (Linie Fribourg—Murten—Ins/Bulle—Romont)
1460 PS-Triebwagen ABDe 4/4 6—8 der MO (Linie Martigny—Orsières/Sembacher—Le Châble)
1460 PS-Triebwagen ABDe 4/4 11—15 der MThB (Linie Kreuzlingen—Weinfelden—Wil)
1460 PS-Triebwagen BDe 4/4 1, 2 der WM (Linie Wohlen—Meisterschwanden)
1460 PS-Triebwagen ABDe 4/4 103 der RVT (Linie Travers—Fleurier—Buttes und —St-Sulpice)
560 PS-Triebwagen ABDe 2/4 101, 102 der selben Bahn

Fahrschalter werden die einzelnen Befehle in einer minimalen Anzahl Leitungen verschlüsselt an die Stufenschalterelektronik Typ BIX 5 übermittelt, die sie nach Auswertung unter Beachtung der folgenden Kriterien an das «Auf»- bzw. «Ab»-Ventil des Luftmotors zum Stufenschalter weiterleitet:

Fahren:

Aufschalten ++: Schnelles Aufschalten bis zum Ansprechen des Relais 80.1 (bei der Re 4/4^{II}: 2100 A), dann langsames Weiterschalten, bis das Relais 80.3 sperrt (bei der Re 4/4^{II}: 3100 A = Rückfallwert des Relais 80.3)

Aufschalten +: Schnelles Aufschalten bis zum Ansprechen des Relais 80.1, dann langsames Weiterschalten, bis das Relais 80.2 sperrt (bei der Re 4/4^{II}: 2300 A = Rückfallwert des Relais 80.2)

Aufschalten M: Langsames Aufschalten bis das Relais 80.2 sperrt.

Abschalten -: Langsames Abschalten, solange das Relais 80.1 angesprochen hat, dann schnelles Abschalten.

Abschalten O: Trennhüpfer öffnen ohne Einwirkung des Steuergerätes, Stufenschalter schaltet schnell ab

Bremsen:

Aufschalten +: Schnelles Aufschalten bis zum Ansprechen des Relais 80.1, dann langsames Weiterschalten, bis das Relais 80.4 sperrt (Re 4/4^{II}: 2200 A = Rückfallwert des Relais 80.4)

Abschalten -: Langsames Abschalten bis zum Abfallen des Relais 80.1, dann schnelles Abschalten.

Das Auf- und Abschalten kann zudem durch die Schleuderschutzelektronik beeinflusst werden, wie nachfolgend beschrieben wird.

Die vier erwähnten Relais reagieren auf den Größtwert der vier Fahrmotorströme. Der Logikteil der Steuerlektronik ist in einem normalisierten, steckbaren Apparategehäuse untergebracht. Er ist für alle Fahrzeugtypen identisch und daher auswechselbar. Im Grundrahmen des Apparatekastens befinden sich die fahrzeugabhängigen Teile, an denen die fahrzeugbedingten Ansprechwerte der Relais eingestellt werden. In einem zweiten, analogen Apparatekasten Typ BXX 6 sind die ebenfalls elektronischen Zusatzeinrichtungen untergebracht:

- Überwachungseinrichtung für den Überschaltwiderstand (wirkt auf den Hauptschalter, wenn der Strom im Überschaltwiderstand zu gross ist oder zu lange fliesst)
- Lastausgleich für Synchronisierung der Stufenschalter bei Anwendung der Vielfachsteuerung (die Wirkungsweise wird im nächsten Abschnitt erläutert)
- Steuerungsapparatur für die Überschalthüpfer (wird nur bei Fahrzeugen mit Niederspannungsstufenschalter benötigt)
- Auf dem Vergleich der Fahrmotorströme beruhender Schleuderschutz (bei den Re 4/4^{II} und Re 4/4^{III} abgeschaltet).

Auch dieser Steckteil ist allgemein verwendbar, während der Grundrahmen fahrzeugabhängige Einstellungen aufweist.

Im Falle einer Störung an einem Stufenschaltersteuergerät kann der Stufenschalter nach dem Umstellen eines Schalters vom Fahrschalter aus unter Umgehung der Elektronik direkt angesteuert werden. Der Führer kann somit – jetzt unter Beachtung der Fahrmotorströme – die Fahrt fortsetzen. Versagt auch diese Fernsteuerung des Stufenschalters, so wird zum Handbetrieb übergegangen. Ein zweiter Mann (zum Beispiel ein Kondukteur) betätigt die Handkurbel im Seitengang des Maschinenraums; je eine «Auf»- und «Ab»-Meldelampe zeigt neben dem Hand-

antrieb die Stellung des Fahrschalters an und übermittelt so die vom Führer gewünschten Schaltungen. Eine Beschreibung der Stufenschaltersteuergeräte erschien in [7].

8. Die Fern- und Vielfachsteuerung

Die Befehlsgebersteuerung des Stufenschalters ist besonders geeignet für eine Fernsteuerung, da die Steuerung des Stufenschalters im Gegensatz zu einer klassischen Steuerung nur sehr wenig Leitungen benötigt. Im vorliegenden Fall genügten für die Übermittlung aller Stufensteuerungsbefehle sechs Leitungen, nämlich je eine für Trennhüpfer «Fahren», Trennhüpfer «Bremsen», Stufenschalter Abschalten, Lastausgleich und zwei für Stufenschalter Aufschalten. Es standen somit bei Verwendung der bewährten MFO-Steuerstrom-Kupplungen Typ STK 42 36 weitere Adern für die Übermittlung der übrigen Befehle zur Verfügung; sie sind zurzeit noch nicht voll belegt.

Die Steuerapparaturen im Führerstand sind so entworfen, dass von einem Führerstand aus drei Triebfahrzeuge gesteuert werden können; es spielt dabei keine Rolle, ob der besetzte Führerstand sich in einem Steuerwagen oder in einem Triebfahrzeug befindet. Ursprünglich war lediglich die Anwendung der Vielfachsteuerung gleichartiger Fahrzeuge gefordert; die Entwicklung der Steuerung zeigte dann aber, dass die beliebige Mischung von Fahrzeugen ganz unterschiedlicher Charakteristik zugelassen werden kann (Lok Re 4/4^{II}, Re 4/4^{III}, Triebwagen RBe 4/4 und die erwähnten Privatbahnentriebwagen).

Die Bedienung erfährt (abgesehen vom elektrischen Bremsen, siehe Abschnitt C 6) für den Führer keinen Unterschied, ob er ein oder mehrere Triebfahrzeuge steuert. Insbesondere sind keinerlei Umschalter vorhanden. Es genügt, die verschiedenen Triebfahrzeuge durch die 42adrigen Kabel zu verbinden. Jedes angeschlossene Fahrzeug ist dann automatisch unbeschränkt mitgesteuert.

Damit bei Verwendung mehrerer Triebfahrzeuge in Vielfachsteuerung die Lastaufteilung auf die einzelnen Fahrzeuge deren technischen Möglichkeiten angepasst wird, sind besondere Massnahmen erforderlich. Ohne sie könnte ein einzelnes Fahrzeug infolge Überlastung schweren Schaden erleiden. Im vorliegenden Fall wurden an die Synchronisierung der Stufenschalter (Lastausgleich) folgende Forderungen gestellt:

- Individuelles Aufschalten des Stufenschalters eines jeden Fahrzeugs unter voller Ausnutzung der Adhäsion und der zulässigen Zuschaltströme
- Eingreifen des Lastausgleichs erst bei Beharrung, und zwar derart, dass alle Fahrzeuge proportional zu ihrer Stundenzugkraft belastet werden.

Der ausgeführte Lastausgleich beruht auf einem Vergleich zwischen dem grössten Fahrmotorstrom jedes Fahrzeugs. Dabei wird durch eine sinnvolle Wahl des Wandler-Ubersetzungsverhältnisses bei jedem Fahrzeug das Vergleichssignal so gebildet, dass es bei allen Fahrzeugtypen bei deren Fahrmotor-Nennstrom den gleichen Wert annimmt. Der Lastausgleich wirkt, sobald der Fahrschalter auf die Stellung «Festhalten» zurückgenommen wird. Sind nun die Vergleichssignale der einzelnen Triebfahrzeuge ungleich, so werden den einzelnen Stufenschaltern die zum Ausgleich notwendigen Schaltbefehle erteilt. Die Empfindlichkeit des Lastausgleichs wurde so gewählt, dass bei genügend guter Wirkung möglichst kein Pendeln der Stufenschalter auftritt.

9. Die Messung des Fahrmotorstromes

Eine weitere Voraussetzung für die erfolgreiche Verwirklichung der erwähnten Fern- und Vielfachsteuerung

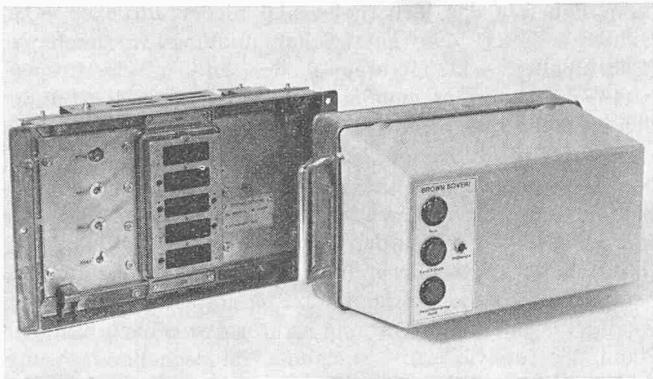


Bild 35. Ansicht des normalisierten Apparatekastens mit der Schleuderschutz-Elektronik

war die Schaffung einer Fahrmotorstrommessung, die keinerlei Umschaltungen in den Sekundärkreisen der Stromwandler erfordert und wenig Adern in der Vielfachsteuerung beansprucht. Die gewählte, von den SBB entwickelte Lösung arbeitet mit Gleichspannung. Jeder Sekundärstrom wird gleichgerichtet und durch einen Belastungswiderstand gedrückt. An diesem wird eine stromproportionale Spannung (rund 10 V bei Maximalstrom) abgegriffen und auf die als Ampèremeter geeichten Voltmeter in den Führerständen geleitet.

Durch eine geeignete Zwischenschaltung von Dioden wurde erreicht, dass im Führerstand immer der grösste aller auftretenden Fahrmotorströme angezeigt wird. Auf analoge Weise ist die Anzeige der Differenz zwischen dem grössten und dem kleinsten aller Fahrmotorströme verwirklicht (Bild 34). Die Elemente der Strommessung sind ebenfalls in einem normalisierten Apparatekasten, dem Messwertgeber, zusammengefasst; Hersteller: Trüb-Täuber, Zürich.

10. Die Schleuderschutzeinrichtung

Obwohl sich dank besonderer Massnahmen (Tiefanlenkung, günstige Fahrzeugcharakteristik mit kleinem Wert dv/dZ , Parallelschaltung der Fahrmotorfelder, Sandstreuvorrichtung) ein günstiges Adhäsionsverhalten ergab, konnte auf den Einbau einer wirksamen Schleuderschutzvorrichtung nicht verzichtet werden. Deren Aufgabe besteht darin, den Schlupf der einzelnen Radsätze zu überwachen und einzufangen, wenn eine Achse den dem grössten Adhäsionskoeffizienten zugehörigen Wert überschreitet oder zu überschreiten droht (über die Abhängigkeit des Adhäsionskoeffizienten vom Schlupf zwischen Rad und Schiene siehe [3]). Die Vorrichtung hilft dadurch mit, die verfügbare Adhäsion besonders bei mittelmässigem oder schlechtem Schienenzustand besser auszunützen.

Die sechs Prototyp-Re 4/4^{II} waren ursprünglich mit einem auf dem Vergleich der Fahrmotorströme beruhenden Schleuderschutz ausgerüstet. Diese Einrichtung konnte, obwohl technisch befriedigend, nicht allen Anforderungen gerecht werden und wurde daher durch eine neue, ursprünglich von den SBB entwickelte Apparatur ersetzt.

Die Bedingungen, die an den neuen Schleuderschutz gestellt werden mussten, wurden anhand eingehender Versuche [3] und Betriebserfahrungen ermittelt; es sind dies:

- a) Selektive Wirkung auf die schleudernde Achse
- b) Rasches Ansprechen in verschiedenen Stufen, je nach Grösse des Drehzahlüberschusses der schleudernden Achse
- c) Erfassung des gleichzeitigen Durchdrehens sämtlicher Achsen

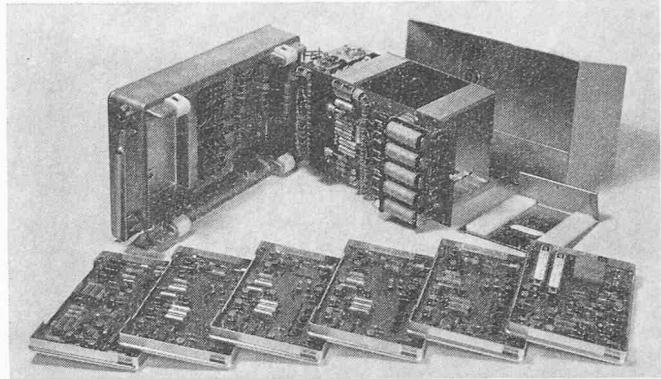


Bild 36. Schleuderschutz-Elektronik, Apparatekasten geöffnet und die einzelnen Print herausgezogen

- d) Auslösung des Hauptschalters, sobald eine Achse eine betriebsmässig unzulässige Drehzahl erreicht
- e) Hohe Betriebstüchtigkeit und geringe Wartung.

Die bei den Re 4/4^{II} und Re 4/4^{III} eingebaute Einrichtung Typ DUX 106-4, Bilder 35 und 36, kann diese Forderungen weitgehend erfüllen. Sie beruht auf dem Drehzahlvergleich der einzelnen Achsen und wirkt nach folgendem Programm:

1. Stufe: Bei einem Drehzahlunterschied entsprechend rund 4 km/h tritt die Schleuderbremse der schneller drehenden Achse in Funktion (rund 0,8 atü Bremszylinderdruck); das Aufschalten des Stufenschalters wird zwangsläufig gestoppt; eine blinkende Meldelampe im Führerstand macht den Führer auf das Ansprechen des Schleuderschutzes aufmerksam.

2. Stufe: Steigt die Differenzdrehzahl trotz des Abbremsens der schneller drehenden Achse weiter an, so wird bei einem Drehzahlunterschied von etwa 10 km/h zusätzlich der Stufenschalter stufenweise abgeschaltet.

3. Stufe: Überschreitet die Drehbeschleunigung einer Achse einen Wert entsprechend etwa 3,5 m/s², so wird die Schleuderbremse aller Achsen angelegt und der Stufenschalter während etwa 3 Sekunden abgeschaltet, unter gleichzeitiger Anzeige im Führerstand.

4. Stufe: Erreicht eine Achse eine Drehzahl entsprechend rund 110 % der Höchstgeschwindigkeit, so wird der Hauptschalter ausgelöst.

Nach dem Ansprechen der 2. und 3. Stufe wird während etwa 10 Sekunden nur das langsame Aufschalten des Stufenschalters (etwa eine Stufe pro Sekunde) freigegeben.

Im Bremsbetrieb arbeitet die Einrichtung analog, ohne jedoch die pneumatischen Bremsen zu beeinflussen. Wird zum Beispiel eine Achse durch die mechanische Bremse blockiert, so leuchtet die Meldelampe im Führerstand intermittierend auf und warnt den Führer, der nun seinerseits eingreifen muss, um den abnormalen Zustand zu beheben. Gerät beim Rekuperieren eine Achse ins Gleiten, wird die Bremskraft durch automatisches Abschalten des Stufenschalters auf den zulässigen Wert verringert; die Schleuderbremse bleibt selbstverständlich gesperrt.

Die mehrfache Funktion des Schleuderschutzes konnte nur durch eine elektronische Auswertung und Verarbeitung der Eingangssignale befriedigend gelöst werden. Jede Achse treibt einen auf dem Achsbüchsdeckel montierten Dreiphasen-Tachogenerator an; dessen drehzahlproportionale Spannung wird gleichgerichtet und im elektronischen Gerät mit der Spannung der drei weiteren Generatoren verglichen. Die Ausgangssignale der Elektronik steuern Relais, die die genannten Wirkungen hervorrufen.

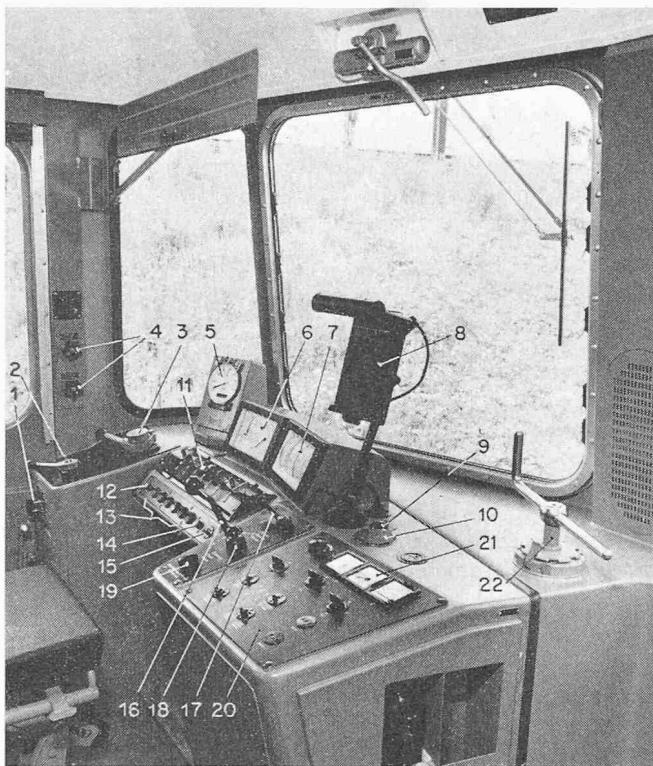


Bild 37. Führerstand

- 1 Sanderschalter
- 2 Bremsventil FD1 für direkt wirkende Bremse
- 3 Führerbremsventil FV4b der automatischen Bremse
- 4 Hahnen für Fensterwischer
- 5 Geschwindigkeitsmesser
- 6 Manometer-Block (Hauptleitungdruck, Hauptluftbehälterdruck, Bremszylinderdruck)
- 7 Elektrische Messinstrumente (Fahrleitungsspannung, Fahrstrom, Fahrmotordifferenzstrom)
- 8 Fahrplanhalter
- 9 Schalter zum Abstellen der Ventilatoren
- 10 Aschenbecher
- 11 Steuerschaltkasten
- 12 Schalter für Schleuderbremse (Handbetätigung)
- 13 Meldelampen
- 14 Schalter für Türschließung
- 15 Schalter für Instrumentenabblendung und für Fahrplanbeleuchtung
- 16 Fahrtschalter
- 17 Fahrrichtungsschalter
- 18 Pfeifenschalter
- 19 Quittierschalter für Zugsicherung
- 20 Schalter für Beleuchtung und Führerstandheizung
- 21 Messinstrumente (Batteriestrom, Batteriespannung, Zugheizstrom)
- 22 Handbremse

Die gesamte Schleuderschutzelektronik ist ebenfalls in einem normalisierten, steckbaren Apparatekasten untergebracht. Drei spezielle Prüftasten erlauben eine fast vollständige Funktionskontrolle des Gerätes. Bei Störungen kann der Führer die Einrichtung durch Betätigen eines Schalters ausser Betrieb setzen; in diesem Fall wirkt automatisch der vereinfachte, auf dem Stromvergleich der Fahrmotoren beruhende Schleuderschutz.

11. Die Sicherheitseinrichtungen

Die Lokomotiven sind mit der wegabhängigen elektronischen Sicherheitssteuerung Bauart ASEGA und der induktiven Zugsicherung Bauart INTEGRA ausgerüstet. Auch diese beiden Einrichtungen wurden in je einem normalisierten, steckbaren Apparatekasten untergebracht.

Die Sicherheitssteuerung überwacht die Funktionen des Lokomotivführers. Unterlässt es dieser, während etwa

50 m Fahrweg das Sicherheitspedal niederzudrücken oder während dieser Zeit eine Schalthandlung vorzunehmen (Fahrtschalter, Schleuderbremse oder automatische Bremse betätigen), so ertönt ein Summer. Unterbricht der Führer den im Ablauf begriffenen Vorgang während weiteren 50 m nicht, so wird der Hauptschalter ausgelöst und eine Schnellbremsung eingeleitet. Eine Zusatzüberwachung setzt einen Summer mit intermittierender Frequenz in Tätigkeit, wenn während 1600 m Weg der Führer keine Schalthandlung (Fahrtschalter, Schleuderbremse oder automatische Bremse betätigen, Sicherheitspedal kurzzeitig loslassen) vornimmt. Reagiert er auf diese Warnung nicht, so wird nach weiteren 200 m der Zug wiederum durch eine Hauptschalterauslösung und Schnellbremsung angehalten.

Die induktive Zugsicherung spricht beim Überfahren eines geschlossenen Vor- oder Ausfahrauhauptsignals an und warnt den Führer durch Ansprechen eines Summers und gleichzeitiges Aufleuchten einer Meldelampe. Nach 100 m Weg wird der Hauptschalter ausgelöst und eine Schnellbremsung eingeleitet, sofern der Führer den Vorgang nicht durch Betätigen eines Quittierschalters annulliert. Jedes Ansprechen der Zugsicherung wird auf dem Streifen des Geschwindigkeitsmessers registriert.

12. Die Schutzrelais

Die Ströme des Transformators, der Zugheizung und der Fahrmotoren werden unter Zwischenschaltung eines vergossenen Stromwandlers der MFO-Baureihe IEBL einem mechanischen Drehankerrelais Bauart MFO zugeführt. Sobald der zulässige Strom überschritten wird, lösen diese Relais den Hauptschalter aus. Das Ansprechen der Relais wird durch eine an ihnen eingebaute Fallklappe angezeigt, die von Hand zurückgestellt werden muss. Die Relais arbeiten ohne Selbsthaltung, so dass es dem Führer möglich ist, den Hauptschalter nach dessen Auslösung sofort wieder einzuschalten. Analoge Relais überwachen den Strom im Überschaltwiderstand, den Erdstrom des Fahrmotorstromkreises und die Fahrleitungsspannung. Sie lösen im Bedarfsfalle ebenfalls den Hauptschalter aus.

13. Die Führerstandsaurüstung

Die Anordnung der Bedienungs- und Anzeigeelemente ist gleich wie bei den mit identischer Stufenschaltersteuerung ausgerüsteten RBe 4/4-Triebwagen und ähnlich wie bei den Vororttriebzügen Typ RABDe 12/12 [8]. Die weitgehend einheitliche Ausführung aller neuern Führerstände erleichtert den Dienst des Personals und vermindert den Aufwand für deren Instruktion. Grosser Wert wurde auf eine funktionsgerechte Anordnung der Apparate gelegt. Alle während der Fahrt zu bedienenden oder zu beobachtenden Elemente sind in unmittelbarer Griffnähe bzw. im Blickfeld des Führers angeordnet. Neue Erkenntnisse über die arbeitsphysiologisch optimale Gestaltung als Arbeitsplatz sind berücksichtigt.

Auf der linken Seite sind, wie auf Bild 37 ersichtlich, der Sanderschalter, das Bremsventil der direkt wirkenden Bremse, das Führerbremsventil der automatischen Bremse und unmittelbar darüber die Hahnen für die pneumatischen Fensterwischer angeordnet. Im direkten Blickfeld des Führers befinden sich von links nach rechts der Hasler-Geschwindigkeitsmesser (mit elektrischem Fernantrieb), der Manometer-Block mit je einem Manometer für den Hauptleitung-, Hauptluftbehälter und Bremszylinderdruck, der Block mit den elektrischen Messinstrumenten (Fahrleitungsspannung, Fahrstrom und Fahrmotordifferenzstrom) und daran anschliessend der Fahrplanhalter, der Druckknopfschalter zum Abstellen der Ventilation und der Aschenbecher.



Bild 38. Montage der Schalttafeln C für die Wechselstrom-Hilfsbetriebe im Lieferwerk. Sichtbar sind drei Tafeln für drei Lokomotiven

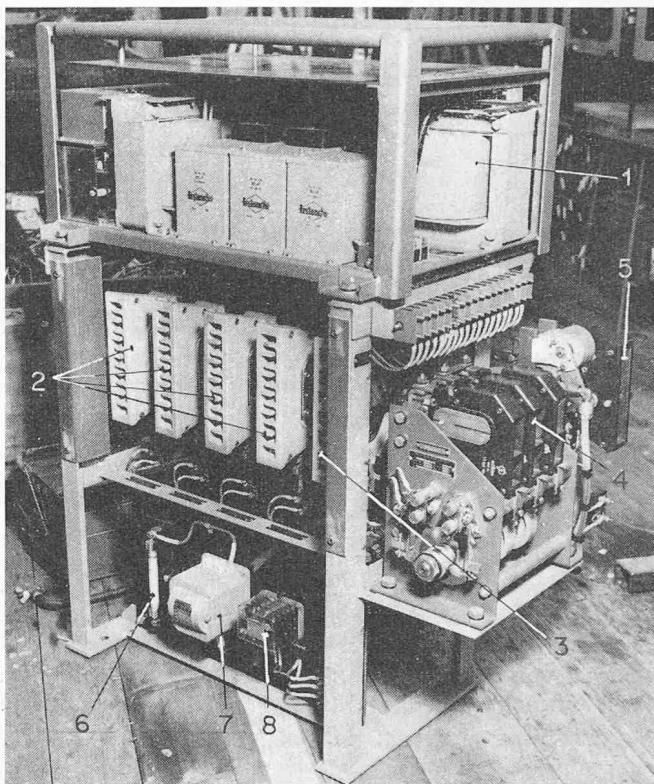


Bild 39. Ansicht eines Hilfsbetriebblocks; 1 Statisches Batterieladegerät, 2 vier Parallelschalthüpfen für die Fahrmotorfelder, 3 Ventilatorhüpfer, 4 Umschaltapparat für Ventilatoren, 5 Kompressorhüpfer, 6 Sicherung für die Zugheizungsverriegelung, 7 Transformator für die Zugheizungsverriegelung, 8 Relais für die Zugheizungsverriegelung

Vor dem Manometerblock sind die bei der Inbetriebnahme der Lokomotive zu betätigenden Schalter in einem gemeinsamen Schaltkasten in der zu bedienenden Reihenfolge plaziert, von rechts nach links: Batterie, Stromabnehmer, Hauptschalter, Kompressor, Zugheizung, Zugbeleuchtung, Stirnbeleuchtung. Vor dem Steuerschaltkasten haben (von rechts nach links) die Schalter für Instrumentenabblendung und Fahrplanbeleuchtung Platz gefunden, weiter je eine Meldelampe für Türschliessung, Abfahrbefehl, Stufenhalterückmeldung, Ventilationsüberwachung, Zugheizung, Schleuderanzeige und der Druckknopfschalter zur Handbetätigung der Schleuderbremse aller vier Achsen.

Im rechten Teil des Führertisches sind der Fahrschalter mit Pfeifenschalter, der Fahrrichtungsschalter, der Quittierschalter für die Zugsicherung und daneben die Schalttafel mit den Schaltern für Beleuchtung und Führerstandsheizung sowie drei Messinstrumente (Batteriespannung, Batteriestrom, Zugheizstrom) untergebracht. Die Handbremse wirkt auf die jedem Führerstand benachbarte Endachse.

Als Führersitz ist ein längs- und höhenverschiebbbarer Bremshey-Sitz eingebaut, der im Bedarfsfall drehbar gemacht und dessen Federcharakteristik nach Wunsch eingestellt werden kann. Besondere Beachtung wurde der bestmöglichen Abdichtung des Führerstandes gegen Zugluft und der Schalldämpfung geschenkt. Die Rückwand ist mit Schallschluckmasse isoliert und die Lochdecke mit Glasfaser Matten hinterlegt. Zur Vermeidung von Zugluft im Führerstand sind gegen aussen nur die unbedingt notwendigen Öffnungen angebracht worden: Stirnlampen und eine einzige Seitentüre. Die Türen in der Führerstandsrückwand gewährleisten dank besonderer Gummilippen eine gute Abdichtung gegenüber dem Maschinenraum.

14. Montage der Lokomotiven

Zwecks rationeller und preisgünstiger Montage wurden die elektrischen Apparate weitgehend in Montageblöcken zusammengefasst, die außerhalb der Lokomotive montiert, verdrahtet und geprüft werden; sie erlauben somit die Serienherstellung in relativ grossen Stückzahlen, Bild 38. Von der Unterhaltseite her wird an solche Blockeinheiten neben der Forderung nach einfacher Ein- und Ausbaubarkeit die Bedingung gestellt, dass sich auch die Einzelapparate ohne Schwierigkeiten auswechseln lassen. Dies ist notwendig, weil die grossen Blöcke im allgemeinen nur anlässlich der Hauptrevisionen ausgebaut werden.

Bei den Re 4/4^{II} sind außer den Schalttafeln folgende Montageblöcke zu erwähnen: Führertisch, Transformator mit Stufenschalter, Hüpfgerüst auf jeder Seite, Hilfsbetriebgerüst mit Parallelschalthüpfen, Ventilatorhüpfer, Umschaltapparat für Ventilation, Kompressorhüpfer, Batterieladegerät und Nullspannungsrelais samt Hilfstrafo für die Zugheizung (Bild 39), Tubo-Tafel für Druckluftapparate (Bild 13). Beim Führertisch und beim Luftmotor zum Stufenschalter sind sämtliche externen Steuerstromanschlüsse über VEAM-Vielfachkupplungen geführt.

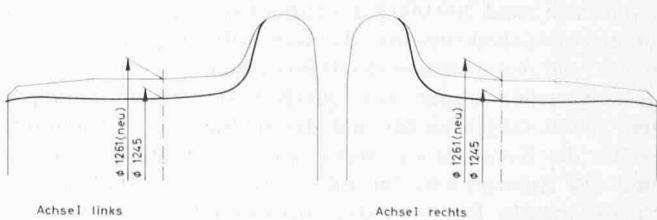


Bild 40. Radreifenprofile der Lokomotive 11104 nach einer Laufleistung von 574 584 km (Achse 1)

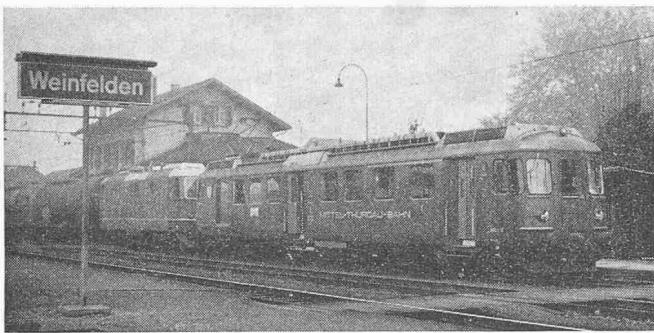


Bild 41. Triebwagen ABDe 4/4 12 der Mittel-Thurgau-Bahn (MThB) und Lokomotive Re 4/4^{II} 11141 der SBB in Vielfachsteuerung mit Ölzug

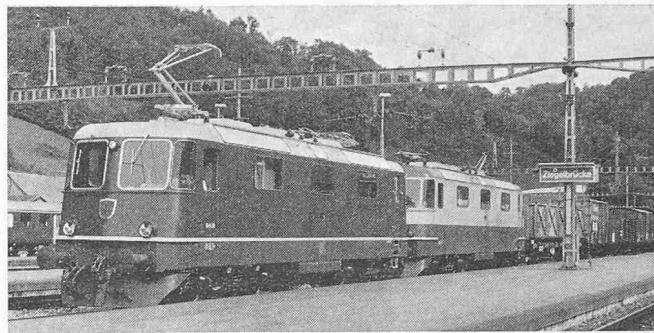


Bild 42. Lokomotiven EBT 111 (Re 4/4^{III}) und SBB 11161 (Re 4/4^{II} mit TEE-Anstrich) in Vielfachsteuerung mit Güterzug anlässlich der Abnahmeprobefahrt der EBT-Lokomotive

D. Betriebserfahrungen

Die Prototyp-Lokomotiven stehen seit dem Frühjahr 1964 im planmässigen Einsatz; die Serie-Lokomotiven folgten ab Januar 1967. Bis Ende 1969 waren 84 Re 4/4^{II} an die SBB abgeliefert. Die Laufleistungen betragen pro Lokomotive und Jahr im Durchschnitt rund 200 000 km und stehen damit an der Spitze der Werte aller ausschliesslich im internen Verkehr eingesetzten Triebfahrzeuge der SBB.

Die bisher aufgetretenen technischen Schäden und Störungen waren geringfügiger Art und liessen sich jeweils rasch beheben. Dank der intensiven Überwachung der Prototyp-Lokomotiven und der dort verschiedentlich vorgenommenen Verbesserungen konnten Mängel, die zu systematischen Störungen führten, bei den Serie-Lokomotiven weitgehend vermieden werden.

Zu Beanstandungen Anlass gaben die Laufeigenschaften. Die ursprünglich vorhandenen Gummifedern der Kastenabstützung wurden daher verlassen und durch Schraubenfedern ersetzt. Der gleichzeitige Einbau von hydraulischen ASEA-Dämpfern hat mitgeholfen, den Mangel einwandfrei zu beheben.

Eine gewisse Anzahl Fahrmotoren hat bereits über 1 Mio km zurückgelegt, ohne dass deren Kollektoren überdreht werden mussten. Bei andern Fahrmotoren weisen die Kollektoren dagegen eine wellenförmige Abnutzung auf, woraus sich ein erhöhter Kohlebürstenverschleiss ergibt. Neuere Erkenntnisse über die Einstellung des Wendefeldes zeigten Verbesserungsmöglichkeiten; deren Wirksamkeit kann jedoch erst nach einer längeren Betriebsdauer endgültig beurteilt werden.

Bisher wurden noch keine grösseren Revisionsarbeiten vorgenommen. Die Radreifenabnutzung ist gering und erlaubt – ausserordentliche Fälle wie Flachstellen und dergl. vorbehalten – Intervalle zwischen zwei Reprofilierungen von mehr als 500 000 km. Bild 40 zeigt Bandagenprofile der Lokomotive 11104, Endachse 1, nach einer Laufleistung von 575 000 km. Den Rekord hält bisher die Lokomotive 11106, die 595 000 km bis zur ersten Radreifenbehandlung zurücklegte.

Gemäss der derzeitigen Planung werden die Lokomotiven nach rund 500 000 km Laufleistung einer Revision R1 unterzogen; diese umfasst die Reprofilierung der Radbandagen, die Aufarbeitung der Bremssohlenhalter, der Bremsgestängesteller Stopex, der Querkupplung (Federtopfköpfe und deren Gegenstücke) und der hydraulischen Dämpfer; weiter die Kontrolle der pneumatischen Bremsapparaturen und das Auswechseln der Führerbremsventile und Steuerventile zwecks Revision, das Ausblasen der Fahrmotoren, eine Isolationsmessung und das Nachschmieren der mit Fettdauerschmierung versehenen Lager (Achslager, Fahr-

motorlager, Hohlwellenstummellager usw.). Damit der Werkstätteaufenthalt möglichst kurz (1 bis 2 Tage) ausfällt, werden vorher aufgearbeitete Drehgestelle eingebaut. Weitergehende Revisionsarbeiten sind bisher nicht durchgeführt worden; an den Prototyp-Lokomotiven ist nach etwa 1 Mio km totaler Laufleistung nochmals eine Revision R1 vorgenommen worden.

Gemäss Planung ist die Revision R2 am Kasten nach 1,5 Mio km, am Drehgestell je nach weiterer Erfahrung nach 1,0 oder 1,5 Mio km vorgesehen. Diese Revisionsart R2 umfasst zusätzlich zu den R1-Arbeiten (soweit dies heute überblickt werden kann) die Revision der Fahr- und Hilfsbetriebsmotoren (Reinigung, Kollektorbehandlung, allfällige Imprägnierung) sowie des Hauptschalters²⁾ und des Stufenschalters, weiter die Aufarbeitung des Kompressors²⁾ und schliesslich den Ausbau und die gründliche Reinigung der Ölkühler. Die Hauptrevision R3, bei der sämtliche Apparate ausgebaut und überholt werden, ist nach etwa 3 Mio km vorgesehen.

Die Lokomotiven sind den Depotinspektionen Lausanne, Basel und Zürich zugewiesen und führen heute fast alle schweren Schnellzüge im Mittelland und im Wallis, darunter alle Städteschnellzüge. Seit dem Sommer 1969 sind ihnen auch einige Leistungen am Gotthard (Intercity-Züge Zürich–Milano und TEE «Roland») zugeteilt. Von der Vielfachsteuerung von zwei zusammengekuppelten Re 4/4^{II} wird am Simplon, am Gotthard und am Bözberg bei schweren Schnell- und Güterzügen planmäßig Gebrauch gemacht; daneben werden im Kreis I im Sommerfahrplan häufig, im Winterfahrplan vereinzelt Kombinationen Re 4/4^{II}/RBe 4/4 in Vielfachsteuerung verwendet.

Die Vielfachsteuerung wird zudem bei ausserplanmässigen Leistungen, zum Beispiel für Triebfahrzeugüberfuhren und für schwere Block-Güterzüge (hauptsächlich Ölzüge) sehr oft angewendet. Regelmässig sind auch Ölzüge mit einer Re 4/4^{II} von der Westschweiz nach Weinfelden befördert, und von dort – mit einem Triebwagen der MThB zusätzlich bespannt – in Vielfachsteuerung zu den an der steilern MThB-Strecke gelegenen Öllagern weitergeleitet worden, Bild 41. Im allgemeinen werden die Triebfahrzeug-Paare täglich getrennt und neu gebildet, so dass immer wieder andere Triebfahrzeuge zusammenarbeiten. Die häufige Anwendung der Vielfachsteuerung in den verschiedenen Kombinationen beweist deren Zweckmässigkeit und Zuverlässigkeit.

Die Lokomotiven erlauben dank der getroffenen Massnahmen zur optimalen Ausnutzung der Adhäsionsverhältnisse spezifisch höhere Anhängelasten zu befördern als äl-

²⁾ Hauptschalter und Kompressor werden alle 1,0 Mio km ausgewechselt und revidiert.

tere Triebfahrzeugtypen. Die vorhandene Zugkraft kann bei gutem Schienenzustand bis zur obersten Stufe voll ausgenutzt werden; bei schlechtem Schienenzustand muss – durch stufenweises Aufschalten durch den Führer – eine etwas geringere Zugkraft eingestellt werden. Auch in diesem Fall erweist sich die ausnützbare Adhäsion als weitgehend konstant bis zu höchsten Geschwindigkeiten.

Die seinerzeitigen Betriebserfahrungen mit den Prototypen zeigten, dass bei einer Lokomotive der vorliegenden Leistungsklasse weder auf eine Sandstreueinrichtung noch auf eine wirksame Schleuderschutzanlage verzichtet werden darf. Die Ansprechempfindlichkeit des Schleuderschutzes muss jedoch so eingestellt sein, dass der bei schlechtem Schienenzustand auftretende, relativ grosse und nützliche Schlupf zwischen Rad und Schiene noch kein Ansprechen dieser Einrichtung bewirkt. Im Sinne einer möglichst guten Ausnutzung der Zugkraft soll der Schleuderschutz zudem erst beim Übergang vom schlüpfenden zum schleudernden Zustand des Rades den Stufenschalter automatisch abschalten.

Interessante Vergleiche konnten angestellt werden bei der Erprobung der Re 4/4^{III} der SOB. Verschiedene Parallelfahrten mit Re 4/4^{II} und Re 4/4^{III} bei gleichem Schienenzustand und auf derselben Strecke zeigten, dass bei beiden Lokomotiven die Adhäsionsgrenze bei fast denselben Fahrerströmen erreicht wird. Da die zugehörigen Zugkräfte entsprechend der ungleichen Übersetzung verschieden sind, wurde damit erneut der bereits bekannte Zusammenhang zwischen der Flachheit der Fahrzeugcharakteristik (Wert dv/dZ) und dem Adhäsionsverhalten bestätigt [3]. Die Re 4/4^{III} mit dem kleineren Wert dv/dZ kann im Durchschnitt um etwa 15 % grössere Zugkräfte ausüben als die Re 4/4^{II}. Bild 42 zeigt einen Versuchszug.

Besonders eindrücklich verlief im Herbst 1967 eine Vorführung der SOB-Lokomotive auf der Emmental-Burgdorf-Thun-Bahn. In einer 250-m-Kurve auf 25 % Steigung wurde ein mit Panzern beladener Zug (709 t Anhängelast, 44 Achsen) ohne Schleudern, lediglich mit grossem, jedoch gleichmässigem Schlupf der beiden vorlaufenden Achsen, einwandfrei angefahren.

Zum Abschluss sollen noch einige statistische Angaben aus dem Jahre 1969 über die 25 der Depotinspektion Lausanne zugeteilten Re 4/4^{II} 11125–135, 11141–148 und 11176–181 bekanntgegeben werden: Die gesamte Laufleistung betrug im Juli 576 600 km, im August 560 600 km, im September 538 400 km. Daraus ergab sich eine mittlere Laufleistung pro Lokomotive im Juli von 23 000 km, im August von 22 400 km und im September von 21 500 km. Über die Ausnutzung pro Lokomotive in der Zeit vom 1. Juli bis 30. September 1969 geben folgende Zahlen Auskunft:

Mittlere Anzahl Betriebstage	90,22	(98,06 %)
Anzahl Tage für planmässigen Unterhalt	0,84	(0,91 %)
Anzahl Tage Reparatur im Depot	0,54	(0,59 %)
Anzahl Tage Reparatur in einer Hauptwerkstatt oder im Lieferwerk, einschliesslich Überfuhrzeit	0,40	(0,43 %)

Dieses Ergebnis ist ermutigend und beweist den erreichten hohen Stand in bezug auf Konstruktion und Ausführung.

E. Ausblick

Im Hinblick auf eine weitere Verkürzung der Fahrzeiten wird zurzeit untersucht, ob die vielen Kurven unseres Streckennetzes schneller befahren werden können und welche Bedingungen an das vorgesehene Rollmaterial zu stellen sind. Im Gang sind Untersuchungen über den Bau

von Personenwagen mit ausschwenkbaren Wagenkästen. Diese Massnahme erlaubt es, die infolge fehlender Gleisüberhöhung auftretende, unkompensierte Fliehkraft auszugleichen und dadurch für den Reisenden gegenüber heute mindestens gleichwertige Komfortbedingungen zu schaffen. Damit der durch das schnellere Befahren der Kurven erzielbare Fahrzeitgewinn voll erhalten bleibt, ist es unumgänglich, derartige Züge weiterhin mit elektrischen Triebfahrzeugen zu bespannen.

Die bisher durchgeföhrten Messungen an Re 4/4^{II}-Lokomotiven haben gezeigt, dass, wie erwähnt, die Kräfte zwischen Rad und Schiene trotz hoher Achslast von 20 t durch konstruktive Massnahmen auf eine Grössenordnung verringert werden konnten, die die Geschwindigkeitsreihe R zulässt. Zudem werden die Grenzkräfte entsprechend einem physikalischen Gesetz, das anlässlich der erwähnten Messungen bestätigt wurde, bei Kurvenradien über etwa 350 m nicht voll erreicht; somit kann die Geschwindigkeit in den erwähnten Kurven nochmals erhöht werden. Aus Profilgründen darf dabei der Stromabnehmer gegenüber heute keine grösseren seitlichen Ausschläge erfahren; eine pendelnde Aufhängung des Lokomotivkastens fällt somit ausser Betracht. Es sind sogar Stabilisatoren notwendig, die der Wankbewegung des Kastens gegen die Kurvenaussenseite entgegenwirken. Der versuchsweise Einbau solcher Stabilisatoren in eine Re 4/4^{II} ist bereits eingeleitet; mit dieser Lokomotive sollen ab Frühjahr 1970 Messfahrten vorgenommen werden.

Da die Re 4/4^{II} und die Re 4/4^{III} auf Gebirgsstrecken (insbesondere am Gotthard) der relativ geringen zulässigen Anhängelast wegen auf die Dauer nicht voll befriedigen können und anderseits die bewährten Ae 6/6-Lokomotiven (von denen von 1952 bis 1966 120 Stück gebaut wurden) nicht mit den erhöhten Geschwindigkeiten nach Reihe R verkehren dürfen, drängt sich der Bau einer neuen, leistungsfähigeren Berglokomotive der Baureihe Re 6/6 auf. Vier entsprechende Prototyp-Lokomotiven sind Ende 1969 bestellt worden. Es liegt nahe, alle bewährten Elemente der Re 4/4^{II} für die neue sechsachsige Lokomotive zu übernehmen und die durch Messung, Bau und Betrieb erkannten Verbesserungsmöglichkeiten voll zu berücksichtigen.

Die enge Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Lieferfirmen und den SBB hat zu erfreulichen Resultaten geführt. Wir sind überzeugt, dass auch zukünftigen Lösungen ein gleicher Erfolg beschieden sein wird.

Literaturverzeichnis

- [1] Dr. F. Gerber: Über das traktionstechnische Konzept der SBB. «Schweizerische Bauzeitung» 82 (1964), H. 29, S. 505–512.
- [2] Dr. H. H. Weber: Zur Ermittlung der Kräfte zwischen Rad und Schiene. Diss. Nr. 4117 der ETH, 1968.
- [3] Dr. H. H. Weber: Untersuchungen und Erkenntnisse über das Adhäsionsverhalten elektrischer Lokomotiven. «Schweiz. Bauzeitung», 83 (1965), H. 48, S. 877–888.
- [4] H. Sie, R. Moser und E. Dünner: Der Einsatz von Querverbindern zwischen den Fahrerströmen bei Triebfahrzeugen mit Einphasen-Wechselstrom-Seriemotoren. «Bulletin Oerlikon» 368/369, September 1966, S. 36.
- [5] R. Moser, H. Haas und E. Dünner: Die Fahrerströme der SBB-Lokomotive Re 4/4^{II}. «Bulletin Oerlikon» 368/369, September 1966, S. 26.
- [6] H. Kloter: Neuzeitliche Schaltapparate der elektrischen Traktion. «Bulletin Oerlikon» 368/369, September 1966, S. 48.
- [7] M. Forster: Die Elektronik-Elemente in der Steuerung der Lokomotiven der Serie Re 4/4^{II} der Schweizerischen Bundesbahnen. «Brown Boveri Mitteilungen» 52 (1965), H. 9/10, S. 720–726.
- [8] J. Rutschmann und M. Desponds: Die Vororttriebzüge RABDe 12/12 1101–1120 der SBB. «Schweiz. Bauzeitung» 85 (1967), H. 22, S. 377–393.