

Die Prototyplokomotiven der Serie Re 6/6 der Schweizerischen Bundesbahnen

Autor(en): **Meyer, Karl**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **90 (1972)**

Heft 48

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85372>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Die Prototyplokomotiven der Serie Re 6/6 der Schweizerischen Bundesbahnen

DK 621.335.2

Von Karl Meyer, Bern

1. Einleitung

1.1 Allgemeines

Im Jahre 1969 entstanden in enger Zusammenarbeit zwischen der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur (SLM), der Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., Baden (BBC), und der Abteilung Zugförderung und Werkstätten der SBB in Bern die Entwürfe für eine neue sechsachsige Grenzleistunglokomotive.

Nach Bereinigung der Offertunterlagen bestellten die SBB bei den erwähnten Firmen Ende 1969 4 Prototyplokomotiven nach den Bildern 1 und 2, die zurzeit in Ablieferung begriffen sind. SLM liefert den gesamten mechanischen Teil samt Antrieben, BBC die elektrische Ausrüstung.

1.2 Zur Entstehungsgeschichte der Re 6/6

Seit 1955 wurden die Schnellzüge am Gotthard fast ausschliesslich durch die ab 1952 (2 Prototyplokomotiven) bzw. 1954 beschafften sechsachsigen Co'Co'-Lokomotiven der Baureihe Ae 6/6 bespannt [1]. Von dieser seinerzeit für den Einsatz am Gotthard entworfenen Serie sind seit 1966 120 Einheiten vorhanden. Die ursprünglich für 600 t Anhängelast entworfenen Ae 6/6 schleppen heute auf den Gotthardrampen 650 t Anhängelast mit einer Geschwindigkeit von 75 km/h. Ihre betriebliche Höchstgeschwindigkeit betrug bis 1971 110 km/h, seither sind 120 km/h zugelassen.

Obschon der Einsatz der Ae 6/6 am Gotthard betrieblich und technisch als voller Erfolg bezeichnet werden kann, stört der Umstand, dass nicht nach Reihe R (d.h. in den 300-m-Kurven der Rampen mit 80 km/h Geschwindigkeit) gefahren werden darf, immer mehr. Die Begrenzung der Geschwindigkeit in den erwähnten Kurven auf 75 km/h ist bedingt durch die zwischen Rad und Schiene auftretenden Kräfte, die bei einer Lokomotive mit dreiachsigen Drehgestellen der Bauart Co naturgemäss grösser sind als zum Beispiel bei einer Lokomotive mit zweiachsigen Drehgestellen.

Zur Verkürzung der Reisezeiten wurden in Einzelfällen ab 1969, in grösserem Ausmass ab Fahrplanwechsel 1971, anstelle von Ae 6/6 im Schnellzugverkehr am Gotthard die vierachsigen Hochleistungslokomotiven der Serien Re 4/4^{II} und Re 4/4^{III} eingesetzt [2]. Diese Lokomotiven konnten auf Grund der im Jahre 1964 durchgeführten Messungen der Kräfte zwischen Rad und Schiene [3] in die Geschwindigkeitsreihe R eingestuft werden und erreichen auf gewissen Streckenabschnitten Geschwindigkeiten bis 125 km/h (die Höchstgeschwindigkeit von 140 km/h der Re 4/4^{II} lässt sich am Gotthard vorläufig nicht ausnützen).

Die zulässige Anhängelast dieser vierachsigen Lokomotiven ist auf den Gotthardrampen auf 460 t (Re 4/4^{II}) bzw. 580 t (Re 4/4^{III}) beschränkt. Viele Schnellzüge weisen jedoch grössere Gewichte auf, weshalb besonders beim Einsatz von Re 4/4^{II} häufig zwei Lokomotiven vorgespannt werden müssen. Dabei wird die zweite Lokomotive von der ersten aus ferngesteuert, benötigt also keinen Lokomotivführer. Diese Traktionsart bewährt sich technisch gut. Nachteilig ist der relativ hohe Bedarf an Lokomotiven, die sich in diesen Einsätzen nicht voll ausnützen lassen, beträgt doch das Gewicht der Schnellzüge nur in Einzelfällen bis etwa 800 t, nie aber die für zwei Re 4/4^{III}-Lokomotiven zulässigen 920 t.

Es war daher naheliegend, wieder eine sechsachsige Lokomotive zu konstruieren, die jedoch, im Gegensatz zur Ae 6/6, nach der Reihe R verkehren darf und eine auch für zukünftige Bedürfnisse ausreichende Höchstgeschwindigkeit aufweist [4].

1.3 Grundsätzliches zum Entwurf der Re 6/6

Das im Jahre 1969 erarbeitete Pflichtenheft für den neuen, mit Re 6/6 bezeichneten Lokomotivtyp umfasst die nachfolgenden hauptsächlichen Punkte:

1. Achslast 20 t; Gesamtgewicht der Lokomotive 120 t.
2. Anhängelast am Gotthard, d.h. bei 26‰ Steigung, 800 t. Diese Bedingung verlangt eine Zugkraft am Rad bei Stunden-

Bild 1. Aussenansicht der Lokomotive Re 6/6 11 602 mit geteiltem Kasten

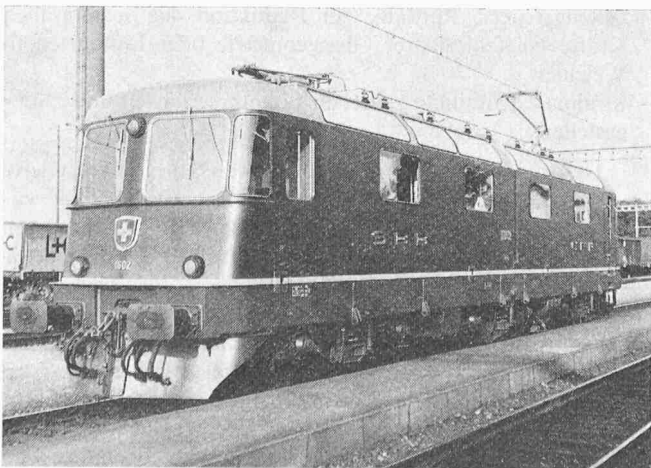
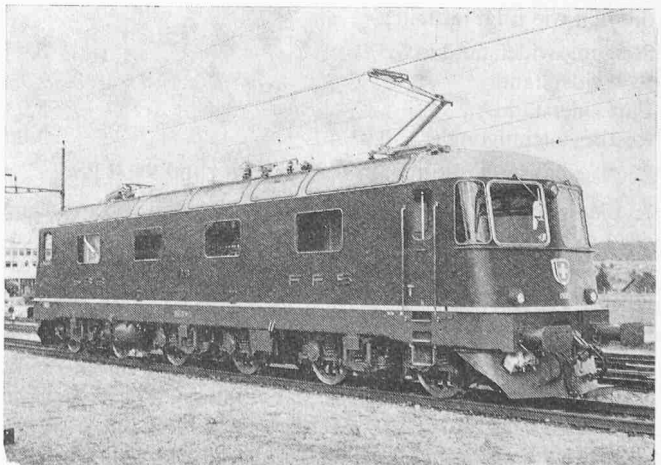


Bild 2. Aussenansicht der Lokomotive Re 6/6 11 603 mit einteiligem Kasten



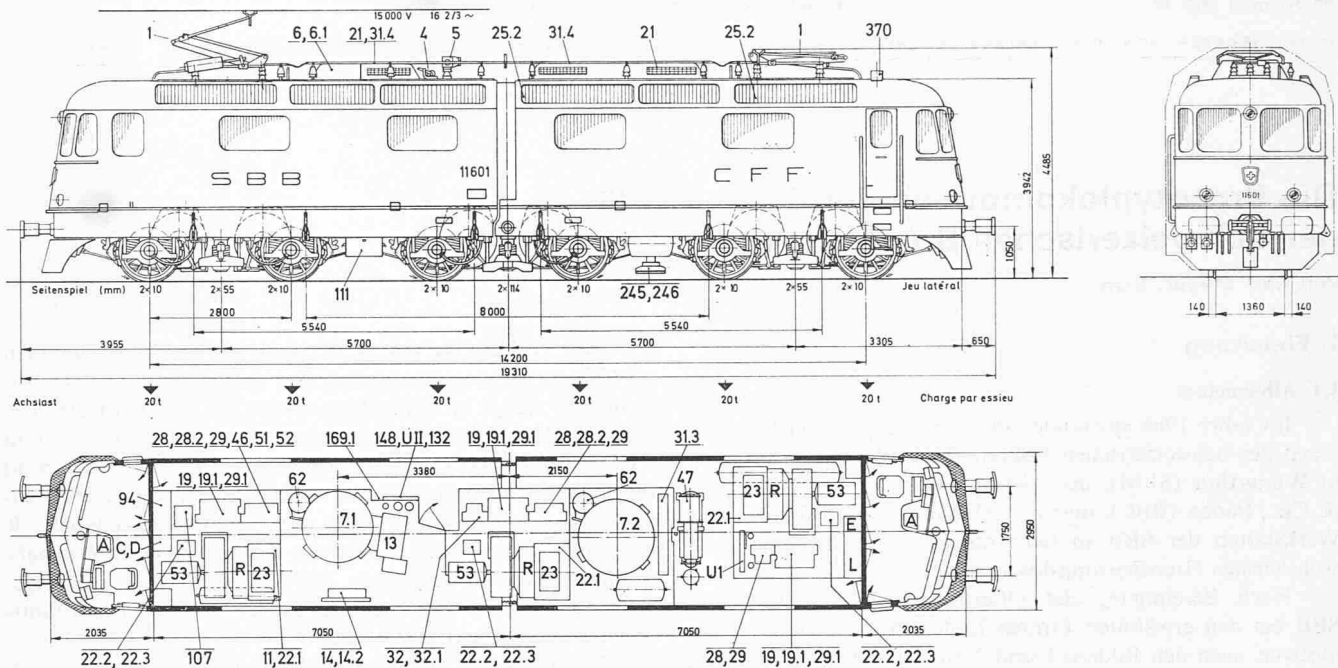


Bild 3. Typenbild der Re 6/6 11601/11602 mit Anordnung der elektrischen Ausrüstung

- | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|--|
| 1 Stromabnehmer | 11 Drosselspule für Schutzerdung | 21 Ohmscher Wendepolshunt |
| 4 Erdungsschalter | 13 Stufenschalter | 22.1 Induktiver WP-Shunt für Fahren |
| 5 Hauptschalter | 14 Überschaltwiderstand | 22.2 Induktiver WP-Shunt für Bremsen |
| 6 Hochspannungs-Einführung | 14.2 Hüpfen für Pos. 14 | 22.3 Schütz für Zusatzwicklung von Pos. 22.1 |
| 6.1 Stromwandler für Primärstrom | 19 Wendeschalter | 23 Bremsdrosselspule |
| 7.1 Regulier-Transformator | 19.1 Fahr-/Bremsumschalter | 25.2 Widerstand für Kommutation |
| 7.2 Leistungs-Transformator | | |

leistung von 27,2 t und in der Beharrung die Ausnützung eines Adhäsionskoeffizienten von etwa $\mu = 0,23$.

3. Einhaltung der höchstzulässigen Geschwindigkeit von 80 km/h auf den Gotthardrampen mit der unter Punkt 1.3.2 verlangten Anhängelast. Hierzu wird eine Leistung am Rad von 8060 PS benötigt.

4. Begrenzung der auf das Gleis wirkenden Kräfte derart, dass die Lokomotive in die höchste bei den SBB vorhandene Geschwindigkeitskategorie, die Reihe R, eingestuft werden kann. Demzufolge darf die Lokomotive die durch die Re 4/4^{II} verursachten Beanspruchungen des Gleises höchstens nur unwesentlich überschreiten.

5. Höchstgeschwindigkeit 140 km/h.

6. Beförderung einer Anhängelast von 800 t mit Höchstgeschwindigkeit in einem zukünftigen Alpenbasistunnel mit 6,5‰ maximaler Steigung. Nähere Untersuchungen zeigten, dass dies bei 140 km/h noch eine Zugkraft von 19 t erfordert, die sich wie folgt aufteilt:

Steigungswiderstand in 6,5‰	5,9 t
Rollwiderstand	2,1 t
Luftwiderstand	8,0 t
Restbeschleunigung $a = 0,03 \text{ m/s}^2$	3,0 t

Die zugehörige Leistung am Rad beträgt rund 9900 PS.

7. Elektrische Rekuperationsbremse zur vollen Abbremsung der Lokomotive und eines Anteils von 400 t der gesamten Anhängelast in der Beharrung bei 80 km/h während einer Talfahrt am Gotthard. Die entsprechende Bremskraft am Rad berechnet sich zu 11 t.

Der Gesamtentwurf der Lokomotive wurde durch Punkt 4 des Pflichtenheftes massgebend beeinflusst. Die eindeutige Begrenzung der zulässigen Gleisbeanspruchung schloss zum vornherein die Verwendung dreiachsiger Drehgestelle aus. Ein-

gehende Untersuchungen theoretischer Art und deren Vergleich mit Messresultaten, die mit der Re 4/4^{II} und Ae 6/6 gewonnen wurden, zeigten, dass die gestellten Forderungen von einer entsprechend gebauten Lokomotive mit drei zweiachsigen Drehgestellen erfüllt werden können. Damit stand für die Re 6/6 die Bauart Bo'Bo'Bo' fest. Die seinerzeit beim Bau der Re 4/4^{II} getroffenen Massnahmen zur Kleinhaltung der auf das Gleis wirkenden Kräfte behielten auch für die Re 6/6 ihre volle Gültigkeit:

- Möglichst geringe unabgefederte Radsatzmasse
- Kleiner Radstand im Drehgestell, Konzentration der Massen im Drehgestell gegen dessen Mitte zur Erreichung kleiner Trägheitsmomente um den Schwerpunkt
- Verbindung der Drehgestelle über eine gefederte Querkuppelung zur Erreichung einer optimalen Einstellung in den Kurven und zur Verminderung der statischen Führungskräfte
- Seitengefederte Radsätze zur Reduktion der dynamischen Kräfte bei fehlerhafter Gleisgeometrie oder Einfahrten in Weichen
- Minimale Kopplung zwischen Lokomotivkasten und Drehgestellen.

Ursprünglich erwog man, für die Re 6/6 drei unveränderte Drehgestelle der Re 4/4^{II} samt deren Fahrmotoren zu verwenden. In diesem Falle hätte sich eine Zugkraft bei Stundenstrom von $1,5 \times 17,06 = 25,6 \text{ t}$ und eine solche bei Höchstgeschwindigkeit von etwa 13 t ergeben. Dieser Wert liegt derart tief unter dem geforderten, dass diese Lösung ausser Betracht fallen musste. Die theoretische Möglichkeit, die notwendige Restzugkraft durch Anheben der maximalen Fahrmotorspannung zu erreichen, schied ebenfalls aus, weil der Fahrmotor der Re 4/4^{II} spannungsmässig überfordert worden wäre. Es wurde daher ein neuer Fahrmotor entworfen, der unter Bei-

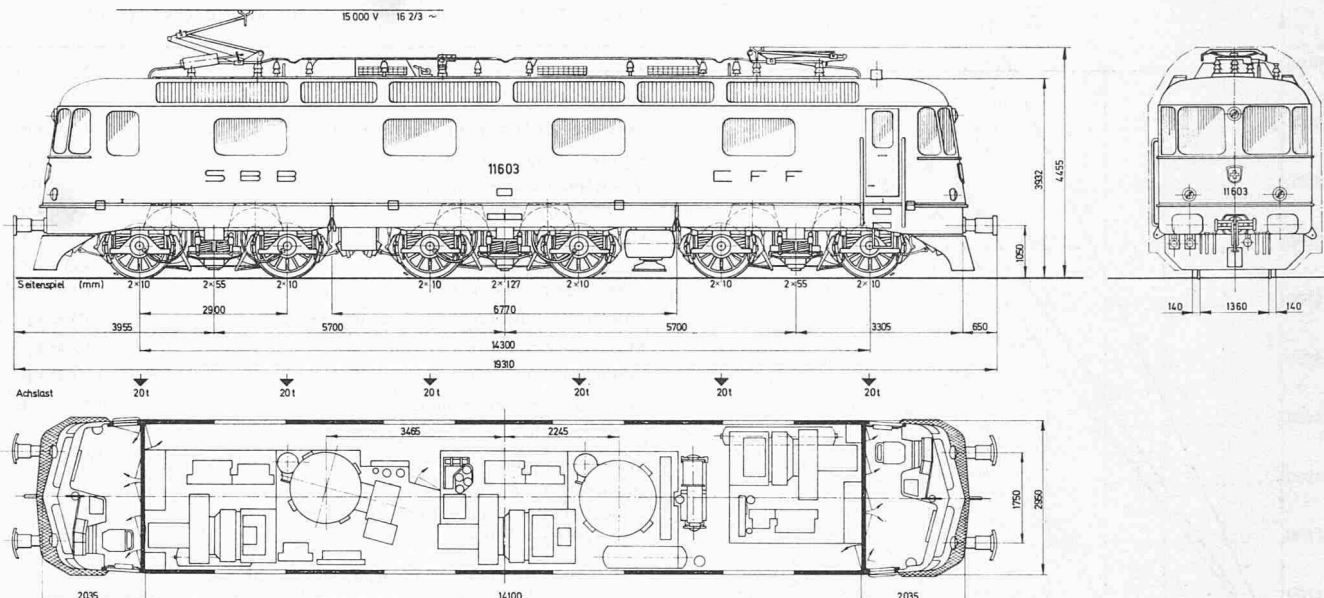


Bild 4. Typenbild der Lokomotive Re6/6 11603

- | | | |
|---|--|--|
| 28 Parallelschaltpuffer für Fahrmotorenfelder | 51 Hüpfen für Ventilatormotoren | 245 Erregermagnet für aut. Zugsicherung |
| 28.2 Hüpfen für Feldschwächung | 52 Umschaltapparat für Ventilatormotoren | 246 Empfangsmagnet für aut. Zugsicherung |
| 29 Motor-Trennhüpfen | 53 Ventilatormotor | 370 Antenne für Zugfunk |
| 29.1 Motor-Trenner | 62 Motor zu Ölpumpe | A Schalttafel (Führerstand) |
| 31.3 Kondensator für Bremserregung | 94 Zentralgerät der Geschwindigkeitsmessanlage | C Schalttafel (Wechselstrom) |
| 31.4 Widerstand für Bremserregung | 107 Ladegleichrichter | D Schalttafel (Gleichstrom) |
| 32 Heizhüpfen 1000 V | 111 Batterie | E Schalttafel (Abtrennschalter und Steuerrelais) |
| 32.1 Heizhüpfen 3000 V | 132 Wählschalter für Stromabnehmer | L Elektronik-Block, |
| 46 Schütz für Kompressor motor | 148 Schalter für Stufenschalterantrieb | R Ölkühler |
| 47 Kompressor motor | 169.1 Wählschalter für Zugheizung | U I Gerüst für pneumatische Apparate I |
| | | U II Gerüst für pneumatische Apparate II |

behaltung der Re4/4^{II}-Übersetzung die gewünschte Stundenzugkraft erreicht und im oberen Geschwindigkeitsbereich dank Feldschwächung die in Punkt 6 des Pflichtenheftes geforderte Restzugkraft noch übertreffen kann. Die Feldschwächung wird im vorliegenden Fall unseres Wissens erstmals für Einphasen-Wechselstrom-Fahrmotoren angewandt. Sie erlaubt es, die maximale Fahrmotorspannung relativ niedrig zu halten. Nach Festlegung der minimalen Hauptfelderregung der Fahrmotoren stand auch die erforderliche Fahrmotorspannung und die Stundenleistung der Lokomotive fest. Diese ergab sich als direkte Folge des Punktes 6 des Pflichtenheftes zu 10920 PS, an den Fahrmotorwellen gemessen.

Die relativ hohe Zugkraft bei Stundenleistung verlangt spezielle Massnahmen zur guten Ausnutzung der Adhäsionsverhältnisse. Wie bei der Re4/4^{II} wurde von folgenden Möglichkeiten Gebrauch gemacht:

- Günstige Fahrzeugcharakteristik: dv/dZ klein
Keine Zugkrafteinbrüche beim Schalten von einer Stufe zur nächsten, feine Abstufung im ganzen Geschwindigkeitsbereich;
- Übertragung der Zug- und Bremskräfte über Tiefzugstangen, so dass innerhalb jedes Drehgestells gleiche Achslasten gewährleistet sind;
- Einbau einer wirksamen Schleuderschutzbremse, die selektiv auf jede Achse wirkt;
- Sander vor den vorlaufenden Achsen des vorderen und mittleren Drehgestells.

Zusätzlich waren besondere konstruktive Massnahmen zu treffen, um eine möglichst gleichmässige Verteilung des Kastengewichts auf die drei Drehgestelle zu erreichen. Die gewählten Lösungen sind in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

Bei der Planung der elektrischen Ausrüstung musste überlegt werden, ob eine «klassische Lösung» mit Stufenschalter und Einphasen-Wechselstrommotoren vorzusehen sei oder ob die Anwendung der Thyristortechnik in Verbindung mit Wellenstrommotoren angezeigt wäre. Die letztere Lösung hätte Vorteile gebracht in bezug auf folgende Punkte:

- Optimale Ausnutzung der Adhäsion (noch flachere Charakteristik, keine Stufensprünge);
- Geringere Massen in den Drehgestellen (kleinere Fahrmotoren);
- Besserer Komfort infolge stufenloser Zugkraftregelung;
- Wegfall des einem relativ hohen Verschleiss unterworfenen Stufenschalters und Wegfall des Reguliertransformators.

Demgegenüber sind bedeutende Nachteile der Thyristor-Triebfahrzeuge der vorliegenden Leistungsgrösse zu erwähnen:

- Beeinflussung von Fernmelde- und Sicherungsanlagen durch die im Primärstrom auftretenden Oberwellen;
- Schlechter Leistungsfaktor auf der Primärseite.

Besonders die vielen im Zeitpunkt der Projektausarbeitung noch ungelösten Probleme im Zusammenhang mit der Beeinflussung ortsfester Anlagen erlaubten es nicht, auf eine Anwendung der traktionstechnisch verlockenden Thyristortechnik einzutreten.

In der Zwischenzeit haben ausgedehnte Versuche und Messungen mit der BLS-Prototyp-Thyristorlokomotive Re4/4 161 (Stundenleistung an den Fahrmotorwellen 6780 PS) wesentliche Erkenntnisse gebracht. Die Erarbeitung der fehlenden Grundlagen zur Vorausbestimmung und Beurteilung der an den ortsfesten Anlagen vorzunehmenden Anpassungen ist zurzeit in vollem Gang; deren Ausführung dürfte bedeutende finanzielle Mittel erfordern und daher nur langfristig realisierbar.

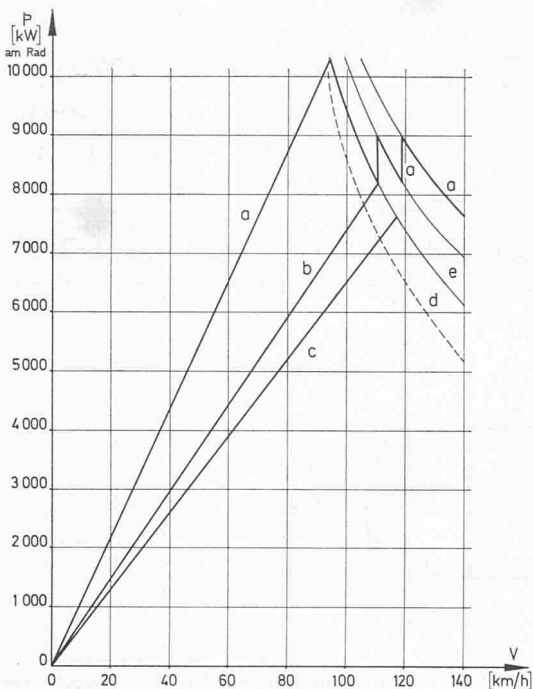


Bild 5. Leistungskennlinien für 15 kV Fahrleitungsspannung (Leistung P am Rad in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v):

- a für Höchstleistung
- b für Stundenleistung
- c für Dauerleistung
- d für Nennspannung von 560 V am Fahrmotor
- e auf der höchsten Stufe ohne Feldschwächung

bar sein. Demzufolge muss mit dem Bau leistungsstarker Thyristorlokomotiven bei den SBB vorläufig zugewartet werden.

Die Re6/6 darf weitgehend als Weiterentwicklung der Re4/4^{II} und Re4/4^{III}-Lokomotiven, von denen die SBB bisher 204 bzw. 20 Einheiten in Auftrag gaben, angesehen werden. Obschon viele bewährte Bauelemente übernommen wurden, drängten sich umfangreiche Neukonstruktionen auf, dies insbesondere im Zusammenhang mit der erhöhten Achsenzahl und der umfangreicheren elektrischen Ausrüstung. Zur Ermittlung der günstigsten Konstruktionen sind bei den vier Probelokomotiven zahlreiche Einzelheiten in abweichender Ausführung verwirklicht. Trotzdem wurde auf die bedingungslose Austauschbarkeit aller hauptsächlichlichen Einzelteile grosser Wert gelegt.

1.4 Die Hauptdaten

Die vorgenannten Anforderungen führten zu einer Bauweise, deren Hauptdaten und -abmessungen aus Tabelle 1 sowie den Bildern 3 und 4 ersichtlich sind. Bild 5 zeigt die Leistungskennlinien bei 15 kV Fahrdrachtspannung.

1.5 Der allgemeine Aufbau

Der Lokomotivkasten in leichter Stahlbauart stützt sich auf drei grundsätzlich gleich gebaute, durch eine Querkuppung verbundene zweiachsige Drehgestelle ab. Zur Gewährleistung einer gleichmässigen Gewichtsverteilung auf die drei Drehgestelle waren folgende Massnahmen erforderlich:

- Bei den Lokomotiven 11601 und 11602 ist der Kasten zweiteilig ausgeführt. Die beiden Kastenteile sind durch verschleissfreie Gelenke, die wie ein horizontales Scharnier quer zur Längsachse wirken, miteinander verbunden. Der Lokomotivkasten kann sich in vertikaler Richtung einstellen und somit der Höhenlage des mittleren Drehgestells anpassen. Diese Lösung hat sich bereits bei den Lokomotiven Ge6/6

Tabelle 1. Hauptdaten der Lokomotiven Re6/6 11601 bis 11604

Triebraddurchmesser neu	1260 mm
Getriebeübersetzung	33:87
Maximale Anfahrzugkraft am Rad ¹⁾ (Spitzenwert)	40200 kp
Stundenzugkraft am Rad ¹⁾	27200 kp
Stundenleistung am Rad bei Geschwindigkeit	10600 PS 105,6 km/h
Dauerzugkraft am Rad ¹⁾	24000 kp
Dauerleistung am Rad bei Geschwindigkeit	9843 PS 110,6 km/h
Zugkraft am Rad ¹⁾ bei Höchstgeschwindigkeit	20000 kp
Maximale Bremskraft am Rad ¹⁾	13000 kp
Bremskraft am Rad ¹⁾ während 40 Minuten	11000 kp
Maximale Geschwindigkeit	140 km/h
Dienstgewicht = Adhäsionsgewicht	120 t
Inbetriebsetzung	1972
Gewichtsaufteilung:	
mechanischer Teil einschl. Antriebe	62,5 t
elektrischer Teil	57,8 t

¹⁾ bei halb abgenützten Radreifen (1230 mm)

701-707 der Rhätischen Bahn bewährt. Nachteilig ist der grosse Aufwand für das Gelenk, die vielen pneumatischen und elektrischen Verbindungen und die notwendigen Dichtungsbälge zwischen den beiden Kastenhälften.

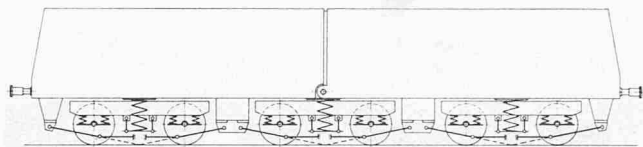
- Die Kasten der Lokomotiven 11603 und 11604 sind einteilig. Lokomotive 11603 erhält Schraubenfedern für die Kastenabstützung, die beim mittleren Drehgestell eine möglichst weiche Charakteristik aufweisen. Dank dieser wird die Gewichtsverteilung auf die drei Drehgestelle im Falle einer vom Mittelwert abweichenden Höhenlage des mittleren Drehgestells relativ wenig beeinflusst.
- Lokomotive 11604 besitzt Luftfedern für die Kastenabstützung. Die Luftdrücke lassen sich durch Verbinden einzelner Federbälge im gewünschten Sinn beeinflussen («Balancier»). Die Erprobung wird zeigen müssen, ob die recht aufwendige Zusatzapparatur (elektrische und pneumatische Elemente zur Steuerung, Hochdruckkompressor usw.) den harten Anforderungen des Bahnbetriebes gewachsen sind.
- Die Drehgestelle der Lokomotiven 11603 und 11604 sind so gestaltet, dass wahlweise Schrauben- oder Luftfedern eingebaut werden können. Voraussichtlich werden beide Lokomotiven später einander angepasst, wobei auch eine Kombination zwischen Schrauben- und Luftfedern denkbar ist.

Bild 6 zeigt eine prinzipielle Darstellung der drei Varianten für die Ausführung der Kastenabstützung und des Kastens, Bild 7 die grundsätzliche Ausführung der Querkuppung.

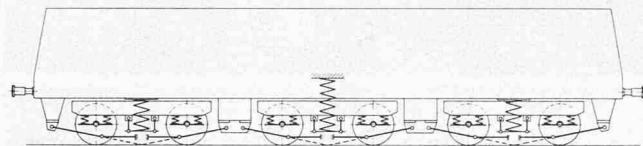
An den Enden des Lokomotivkastens befinden sich die beiden geräumigen Führerstände in gleicher Ausführung wie bei den Re4/4^{II}- und Re4/4^{III}-Lokomotiven. Die Stirnseiten weisen je zwei grosse heizbare Fenster auf. Die beiden Gläser sind durch eine Kunststoffschicht miteinander verbunden und erhalten dadurch eine bedeutende mechanische Widerstandskraft. Eine Goldschicht auf der Innenseite des äusseren Glases dient gleichzeitig als Heizung und zur Reflektion der Sonneneinstrahlung. Zudem ist der Einbau einer wirksamen Lüftung im Führerstand vorbereitet. Deren Einbau und Inbetriebnahme erfolgt, sobald entsprechende Vorversuche auf einer Re4/4^{III}-Lokomotive abgeschlossen sind.

Der Führertisch besteht aus einem wegnehmbaren, die wesentlichen elektrischen Apparate aufnehmenden und einem in die Stirnfront eingeschweissten festen Teil.

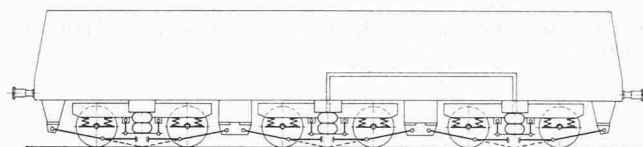
In den Führerstandrückwänden sind die Schalttafeln mit den verschiedenen Relais, Sicherungen, Schaltautomaten und anderen Steuerorganen sowie die zentrale Steuer- und Über-



Re^{6/6} 11601 und 11602 mit geteiltem Kasten und Schraubenfederung



Re^{6/6} 11603 mit einteiligem Kasten und Schraubenfederung



Re^{6/6} 11604 mit einteiligem Kasten und Luftfederung

Bild 6. Prinzip der Kastenabstützung (Sekundärfederung) der vier Prototyplokomotiven Re 6/6

wachungselektronik und das Zentralgerät der Geschwindigkeitsmessanlage untergebracht. Auf der Seite des Führerstandes sind sie mit Schwenktüren abgedeckt; auf der Seite des Maschinenraumes übernehmen diese Aufgabe Deckel, die sich im Bedarfsfalle 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 drei Drehgestellen sind Aufbauten angebracht, auf denen je die den entsprechenden Drehgestellen zugeordneten Apparate (Ventilatorgruppe, Wendeschalter, Fahr-/Bremsumschalter, Trennhüpfen, Parallelschaltpuffer, Bremsdrosselspule, induktive Shunt) aufgebaut sind. Auf denselben Aufbauten befinden sich je ein Ölkühler sowie an zentraler Stelle über dem Drehgestell 3 die Schaltapparate für die Hilfsbetriebe. Seitlich dieser Aufbauten sind Revisionsklappen zur Kontrolle der Fahrmotoren eingebaut.

Der Reguliertransformator samt angebaute Stufenschalter und Ölpumpe befindet sich zwischen den Drehgestellen 2 und 3. Der Überschwandwiderstand ist im Hochspannungsraum an der gegenüberliegenden Seitenwand angeordnet; daneben sind der zugehörige Kurzschliesshüpfen und bei den Lokomotiven 11603 und 11604 die Heizhüpfen aufgestellt.

Zwischen den Drehgestellen 1 und 2 steht der Leistungstransformator und unmittelbar daneben der Kondensator für die elektrische Bremse sowie im Quergang die Kompressorgruppe. Die Luftapparategerüste sind auf beide Lokomotivhälften verteilt; das Hauptgerüst wird vom Quergang her, das Nebengerüst von der Mitte des längeren Seitenganges aus bedient.

Die Kühlluft für je zwei benachbarte Fahrmotoren gelangt durch beidseitig in den Dachrundungen eingelassene Düsenlüftungsgitter, System Krapf und Lex (ohne Filter), mit einer mittleren Ansauggeschwindigkeit von 1,8 m/s in einen Beruhigungsraum und wird von dort an der zugehörigen Bremsdrosselspule vorbei durch den benachbarten Ölkühler gesaugt. Von dort gelangt sie in den Radialventilator und wird durch zwei parallele Luftkanäle antriebsseitig in die entsprechenden zwei Fahrmotoren gepresst. Ein geringer Teil zweigt

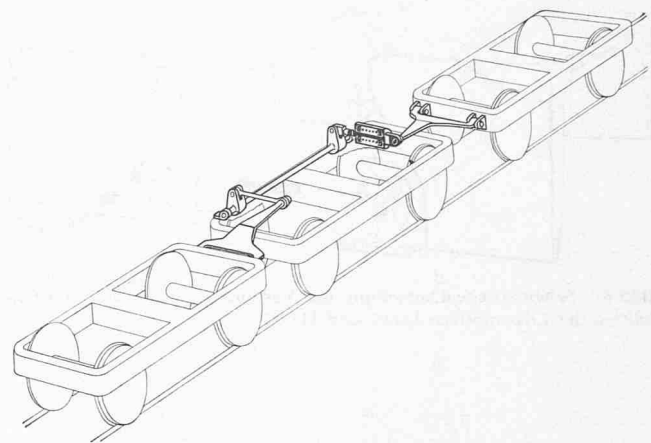


Bild 7. Grundsätzliche Anordnung der Querkupplung zwischen den drei Drehgestellen

je vor den Fahrmotoren ab und gelangt hinter den Wende- und Fahr-/Bremsumschaltern in den Maschinenraum. Diese Luft kühlt die erwähnten Schalter und erzeugt im Maschinenraum einen kleinen Überdruck. Diese für alle drei Drehgestelle identische 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.

2. Der mechanische Teil

2.1 Der Kasten der Lokomotiven 11601 und 11602

Die beiden Kastenhälften in leichter, vollständig geschweisster Stahlbauart sind nach den schon bei den Re 4/4^{II} und Re 4/4^{III} angewandten Konstruktionsprinzipien ausgeführt. Für die Stossbalken, die für die Aufnahme der zukünftigen automatischen Zug- und Druckkupplung (AZDK) bemessen sind, fanden Stahlbleche von 4 bis 14 mm Dicke Verwendung, ebenso für die anschliessenden Längsträger. Stossbalken, Längsträger und Querträger im Maschinenraum bilden ein widerstandsfähiges Untergestell, auf das die durch Profile verstärkten Seitenwände aus 2-mm-Blech, die Führerstände aus 3-mm-Blech und die Aufbauten über den Drehgestellen aufgesetzt sind. Der Aufbau über dem mittleren Drehgestell befindet sich an der Kastenhälfte 1 und ragt in die Kastenhälfte 2 hinein, gegen die er mittels eines Faltenbalges abgedichtet ist.

Die Dachkonstruktion, weitgehend aus 2-mm-Blech zusammengesetzt, weist pro Kastenhälfte je zwei grosse Öffnungen zum Ein- und Ausbau der elektrischen Apparate auf. Die zugehörigen Dachdeckel sind aus Leichtmetall gefertigt.

Im Untergestell eingeschweisst ist eine grosse Zahl von Rohrleitungen für die pneumatischen Apparaturen und für elektrische Kabelverbindungen.

Unter den Stossbalken ist je ein massiver Bahnräumer befestigt sowie je ein Support für die Tiefzugvorrichtung. Die vier weiteren Supports für die Tiefzugvorrichtung befinden sich paarweise an den beiden Stahlblechträgern, die je zwischen den Drehgestellen angeordnet sind und als Verlängerung der dortigen Untergestell-Querträger nach unten angesehen werden können. Unterhalb der Längsträger befinden sich zwischen den Drehgestellen beidseitig je ein Luftbehälter (Kastenhälfte 1) und je ein Batteriekasten (Kastenhälfte 2).

In Stossbalkenmitte eingelassen ist eine Ringfederpatrone, System Uerdingen, die zurzeit den normalen Zughaken enthält. In einem späteren Zeitpunkt wird sie den Kupplungskopf der AZDK aufnehmen. In Serie zu den Puffern wurden

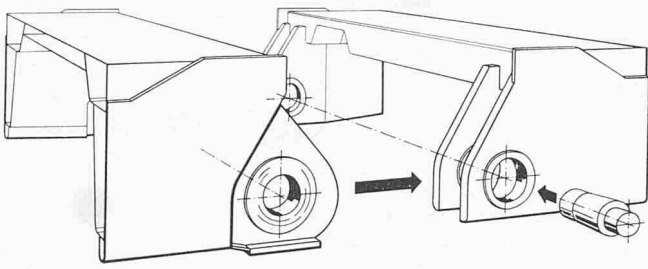


Bild 8. Schematische Darstellung der Verbindung der beiden Kastenhälften der Lokomotiven 11601 und 11602

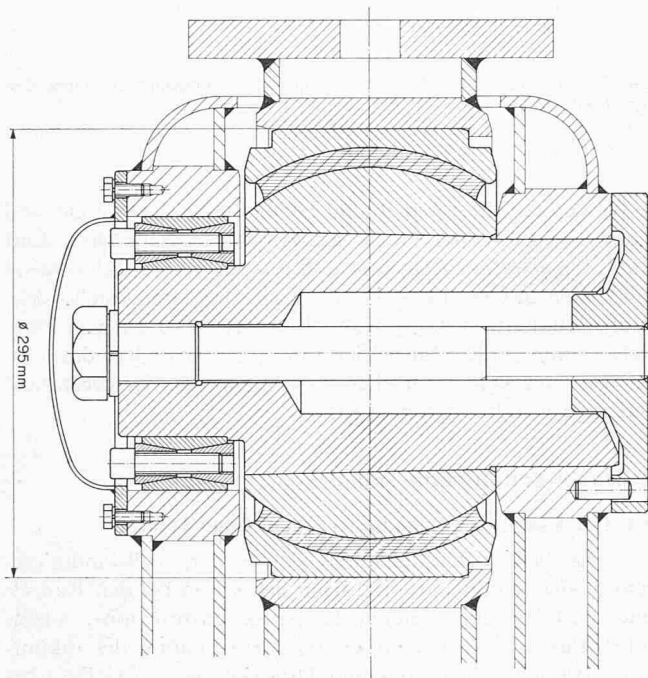


Bild 9. Schnitt durch das Kastengelenk der Lokomotiven 11601 und 11602

wie bei den Re4/4^{II,III} besondere Zerstörungselemente angeordnet. Diese vermögen im Falle eines Anpralls eine bedeutende Deformationsarbeit aufzunehmen und dadurch den Kasten wirksam zu schützen.

Jede Kastenhälfte weist auf der dem Stossbalken entgegengesetzten Seite die Supporte für das Kastengelenk – dessen Drehpunkt befindet sich auf Pufferhöhe – auf. Die Kastenhälfte 1 besitzt bei jedem Längsträger einen U-förmigen Fortsatz, die Kastenhälfte 2 eine einfache Nase, die in das U des Teils 1 hineingreift. Das Gelenk selbst besteht bei den beiden Längsträger-Verbindungsstellen je aus einem grossen Silentbloc, dessen Achse horizontal und quer zur Kastenlängsachse liegt. Der Silentbloc selbst lässt sich als Gummi-Kugelschicht beschreiben, die einen Innenring mit einem Aussenring fest verbindet. Der Aussenring ist in der Nase des Kastenteils 2, der Innenring auf einem Bolzen fixiert, der seinerseits beidseitig in den U-Trägern des Kastenteils 1 verspannt wird. Somit werden alle Gelenkbewegungen verschleissfrei vom Gummi aufgenommen. Bild 8 zeigt schematisch die Verbindung der beiden Kastenteile, Bild 9 einen Schnitt durch das Gelenk und Bild 10 eine Ansicht der Gelenkpartie.

Seitlich an den Längsträgern sind pro Kastenhälfte je drei Tragösen zum Abheben des Lokomotivkastens angebracht. Die pro Kastenhälfte äusseren Ösen dienen zum Heben der einzelnen Kastenhälften, die dazwischenliegenden zum gemeinsamen Heben der fertig montierten, miteinander verbundenen

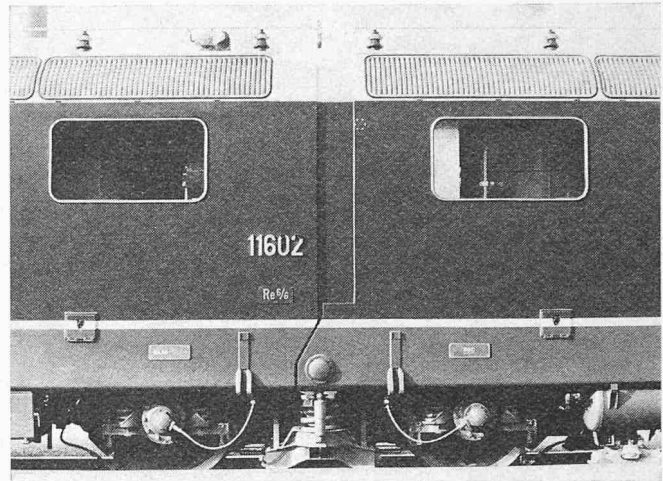


Bild 10. Ansicht der mittleren Kastenpartie der Lokomotive 11602 (und 11601)

Kastenhälften. Im letzteren Fall werden die beiden Kastenhälften in der Dachpartie durch je eine seitliche Lasche gegeneinander abgestützt, so dass Relativbewegungen ausgeschlossen sind.

Die beiden miteinander verbundenen Kastenhälften wurden erfolgreich einer Druckprobe in Längsrichtung unterzogen. Die senkrecht zur Stossbalkenebene eingeführten Kräfte (beim ersten Versuch je 100 t in den beiden Pufferischen, beim zweiten Versuch 200 t in Stossbalkenmitte) bewirkten keine bleibenden Deformationen.

2.2 Die Kasten der Lokomotiven 11603 und 11604

Die einteiligen Kasten dieser zwei Lokomotiven sind grundsätzlich gleich aufgebaut wie die zweiteiligen. Die Führerstände, die Stossbalken und Teile des Untergestells sind identisch. Vereinfachungen ergaben sich durch den Wegfall der Gelenke. Andererseits bedingte aber der wesentlich längere Kasten infolge der auftretenden höheren Biegemomente eine Verstärkung der Längsträger und der Dachpartie. Deswegen musste die Bauhöhe der Längsträger vergrössert werden, wodurch die Bodenhöhe im Maschinenraum zunahm und die freie Höhe im Verbindungsgang zwischen den Führerständen einengte. Die Versteifung der Dachpartie liess sich durch ein Tiefersetzen der Seitenfenster erreichen. Die Seitenwände sind bei diesen zwei Lokomotiven aus 2,5-mm-Blech gefertigt.

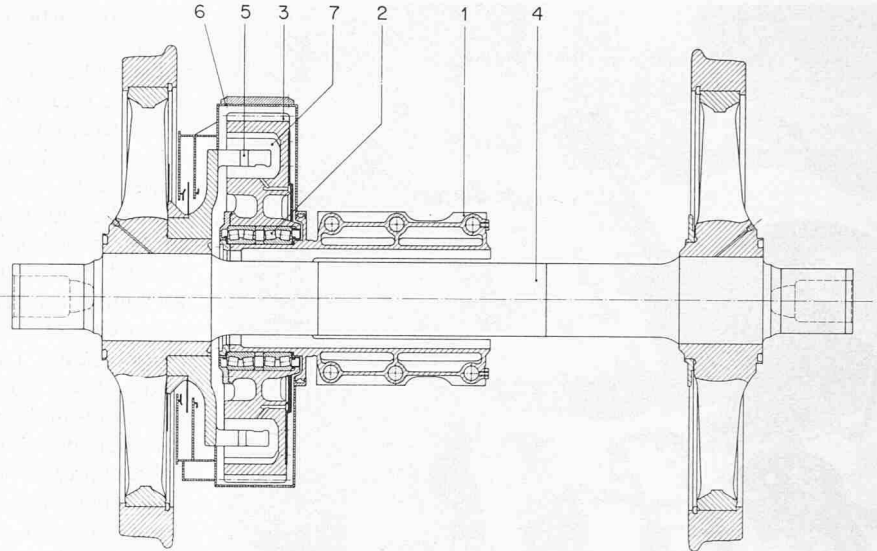
2.3 Die Drehgestelle der Lokomotiven 11601 und 11602

Die an die Drehgestelle zu stellenden Bedingungen wurden bereits in Abschnitt 1.3 festgehalten. Die Drehgestelle der Lokomotiven mit geteiltem Kasten entsprechen weitgehend denjenigen der Re4/4^{II}/Re4/4^{III}. Anpassungen ergaben sich durch die Verwendung eines etwas grösseren Fahrmotors und – beim mittleren Drehgestell – durch die engeren Platzverhältnisse in der Umgebung des Kastengelenks.

Der Radstand beträgt 2,8 m wie bei der Re4/4^{II} und Re4/4^{III}. Unverändert übernommen wurden auch der BBC-Federantrieb und der seitengefederte Radsatz, im vorliegenden Fall mit dem genau gleichen Hohlwellenstummel wie bei der Re4/4^{III}. Der gegenüber der Re4/4^{II} kleinere Stummel ergibt zusammen mit dem im Durchmesser grösseren Fahrmotor den gleichen Abstand Motorwelle-Zahnradzentrum und erlaubte die Verwendung der gleichen Zahnräder und Ritzel wie bei der Re4/4^{II}. Die Getriebeverzahnungen sind im Einsatz gehärtet und geschliffen. Die Ritzelzähne sind leicht konisch und ballig geformt, um bei allen Drehmomenten eine einwandfreie Zahnaufgabe zu gewährleisten.

Bild 11. Schnitt durch den Radsatz und den Antrieb

- 1 Hohlwellenstummel
(mit Fahrmotorgehäuse verschraubt)
- 2 Rollenlager für das grosse Zahnrad
- 3 grosses Zahnrad
- 4 Achswelle
- 5 Mitnehmer
- 6 Zahnradverschalung
- 7 Federkammer



Das grosse Zahnrad, das auf dem mit dem Fahrmotorgehäuse verschraubten Hohlwellenstummel gelagert ist (Bild 11), weist zehn Federkammern auf. In diese greifen die zehn Arme des Mitnehmers ein, der auf der Radnabe aufgeschraubt ist. Die beidseitig neben den Mitnehmerarmen in jeder Federkammer angeordneten Druckfedern sind so bemessen, dass das maximale Motordrehmoment möglichst weitgehend noch federnd übertragen wird. Zwischen Zahnrad und Hohlwellenstummel sind zwei mit Fettdauerschmierung versehene Timken-Kegelrollenlager eingebaut. Der einwandfreie Abdichtung und Gestaltung des auf kleinstem Raum unterzubringenden Radkastens wurde besondere Beachtung geschenkt.

Die Radsätze mit Speichenrädern sind in je zwei Zylinderrollenlagern pro Achsschenkel gelagert, die eine Seitenverschiebung von ± 10 mm gestatten, Bild 12. Der Übertragung der Seitenkräfte bzw. der Zentrierung des Radsatzes dient ein Kugellager, auf das eine Schraubenfeder abgestützt ist. Die Federkonstante pro Radsatz beträgt vorläufig wie bei der Re4/4^{II} 2 t/cm, die Vorspannung 2 t. Die optimalen Werte müssen durch Messung der Kräfte zwischen Rad und Schiene noch ermittelt werden.

Die Achsbüchsführungen im Ölbad, mit Silentbloc, Schraubenfedern und dazu parallelen Reibungsdämpfern entsprechen der klassischen, bewährten SLM-Bauart.

Der Drehgestellrahmen besteht im wesentlichen aus den beiden seitlichen, je vier Zapfen für die Achsbüchsführungen aufnehmenden Längsträgern – beim mittleren Drehgestell mussten sie zur Gewinnung von Platz für das Kastengelenk nach innen gekröpft ausgeführt werden – und den zwei Kopftraversen, auf die sich die beiden über kurze Zwischenstücke miteinander verschraubten, einen Block bildenden Fahrmotoren abstützen. Es handelt sich um eine Schweisskonstruktion aus Stahlgussteilen und vorgeformten konstruktiv einfachen Teilen aus Eisenblechen. 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. Bild 13 zeigt die drei Drehgestelle mit eingebauten Fahrmotoren.

Pro Drehgestell sind zwei Bremszylinder vorhanden, die je auf das Bremsgestänge der benachbarten Achse wirken. Dieses Gestänge ist im Interesse geringen Gewichts und eines möglichst konstant bleibenden Wirkungsgrades sehr einfach

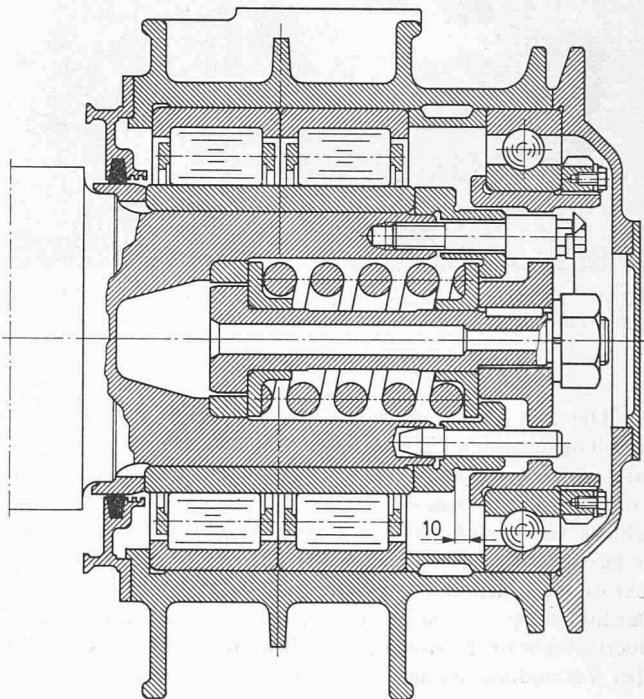


Bild 12. Achslager mit Seitenfederung

gestaltet. Jedes Rad wird durch sechs Gusssohlen (je drei pro Seite) gebremst; der Bremszylinderhub verändert sich dank der vorhandenen automatischen Bremsgestängeregler nur in engen Grenzen. Die berechneten und gemessenen Bremswege entsprechen einem Bremsverhältnis von 125%.

Die Spurkränze aller Räder werden zur Verminderung der Abnutzung mit der Spurkränzschnierung Typ SBB geschmiert. Bei diesem System wird durch eine Düse in regelmässigen Abständen (etwa 300 m) eine gewisse Ölmenge mittels Druckluft zerstäubt. Das im bitumisierten Öl enthaltene Lösungsmittel verdunstet, sobald das Gemisch am Spurkranz haftet; dadurch wird dem Weiterfliessen des Öls auf die Lauffläche wirksam begegnet.

Vor die vorlaufenden Räder des vorderen und mittleren Drehgestells kann Sand gestreut werden. Die Sanderrohre sind an den Achsbüchsen befestigt und somit relativ zur Schiene immer in gleich günstiger optimaler Lage.

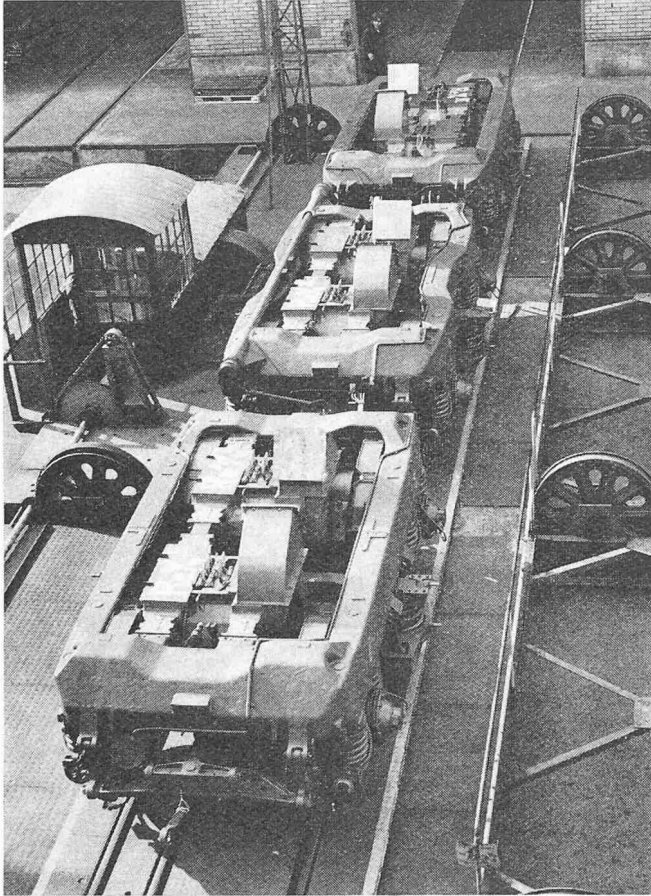


Bild 13. Blick auf die drei einbaubereiten Drehgestelle der Lokomotiven 11601 und 11602

Die drei Drehgestelle sind durch eine elastische Querkupplung miteinander verbunden, Bilder 7 und 13. Dies bewirkt einen geringen Anlaufwinkel der führenden Achsen in Kurven, was die quasistatischen Kräfte zwischen Rad und Schiene verkleinert. An den inneren Kopftraversen der Enddrehgestelle ist je eine in vertikaler Richtung bewegliche, dreieckförmige Deichsel angelenkt. Die gegeneinander gerichteten Deichselenden, die sich über Kunststoffrollen auf je eine Quertraverse im Kastenuntergestell abstützen, sind beweglich über Verbindungsstangen – diejenige beim Drehgestell 1 enthält einen Federtopf und ist somit in ihrer Länge kräfteabhängig – an die Hebelarme einer Welle angelenkt, die in Längsrichtung auf dem linken Längsträger des mittleren Drehgestells drehbar gelagert ist. Die bei Kurven Einfahrten und Weichen notwendige Elastizität in der Kupplung der äusseren Drehgestelle wird somit sowohl durch die mittlere Welle wie durch den dazu in Serie geschalteten, bereits erwähnten Federtopf hergestellt. Dieser besitzt eine gewisse Vorspannung und beginnt erst nach Überschreiten einer genau bestimmten Kraft zu wirken.

Die Verbindungsstellen der einzelnen Querkupplungselemente, die Lagerung der Welle und der Federtopf weisen praktisch keine dem Verschleiss unterworfenen Teile auf. Gleitende Flächen im Federtopf sind gegen aussen abgedichtet und mit Fett geschmiert; bei den beweglichen Verbindungsstellen der übrigen Elemente gelangten Kunststofflager zur Anwendung.

2.4 Die Drehgestelle der Lokomotiven 11603 und 11604

Die wichtigste Abweichung dieser Drehgestelle gegenüber denjenigen der beiden ersten Lokomotiven besteht im Radstand, der auf 2,9 m erhöht wurde. Dadurch ergeben sich in

der Mittelpartie etwas günstigere Platzverhältnisse, so dass sich als Sekundärfedern wahlweise Schrauben- oder Luftfedern einbauen lassen (siehe die Abschnitte 2.5 und 2.7). Der vergrösserte Radstand bewirkt, da ausser den Radsätzen auch die Fahrmotoren um 0,1 m auseinandergerückt sind, einerseits ein etwas grösseres Trägheitsmoment um den Drehgestellsschwerpunkt. Andererseits ist der Drehgestellrahmen fast ausschliesslich aus Stahlblechen unter Verwendung von nur wenigen Gussteilen gefertigt. Auch die Kopftraversen sind leichter gestaltet, wodurch sich die vorerwähnte Zunahme des Trägheitsmomentes beinahe kompensieren liess. Das Drehgestell besitzt eine Mitteltraverse, auf die sich beidseitig je ein Fahrmotor abstützt. Die Motoren sind also nicht mehr als frei tragender Block miteinander verschraubt, sondern einzeln je an der Mittel- und einer Kopftraverse befestigt. Diese Einbauart erleichtert den Austausch eines einzelnen Fahrmotors, indem sich eine provisorische Abstützung des benachbarten, vorübergehend nur einseitig mit der Kopftraverse verbundenen Fahrmotors erübrigt. Die Breite der Mitteltraverse ist um 0,1 m grösser als diejenige der Mittelstücke zwischen den miteinander verschraubten Fahrmotoren der ersten Drehgestellvariante. Die Fahrmotoren konnten daher unverändert übernommen werden und sind wie die Radsätze, die Antriebe und die hauptsächlichsten Bestandteile der Bremse gegenseitig austauschbar. Eine weitere grundsätzliche Änderung ergab sich bei der Querkupplung. Infolge des geringeren Abstandes zwischen den Kopftraversen zweier benachbarter Drehgestelle reichte der Platz nicht mehr aus, um die dreieckförmige Deichsel kopfseitig in einer Kastentraverse über Rollen abzustützen. Die Aufgabe der Führungstraverse übernimmt ein Pendel, das im Untergestell aufgehängt ist und unten das Deichselende trägt.

2.5 Die Kastenabstützung und die Sekundärfederung

In Analogie zur Re4/4^{II} erfolgt die Kastenabstützung auf die Drehgestelle über je vier Pendel, die eine getrennte, quer unter dem Drehgestell hindurchführende Wiege tragen, Bild 14. Die durch Lenker längs und quer geführte Wiege kann sich nur in einer zur Kastenlängsachse quer stehenden Ebene auf und ab bewegen. Die Schrauben- oder Luftfedern zwischen Kasten und Wiege werden somit praktisch nur auf Druck beansprucht. Der Einbau von Wankstabilisatoren ist vorgesehen; die Versuchsfahrten werden zeigen, ob diese notwendig sind. Durch diese Stabilisatoren wird den beidseitigen Sekundärfedern jedes Drehgestells bei der Ausführung von Wankbewegungen des Kastens eine zusätzliche Federung parallelgeschaltet, was zu einer Erhöhung der Wankfederkonstante führt.

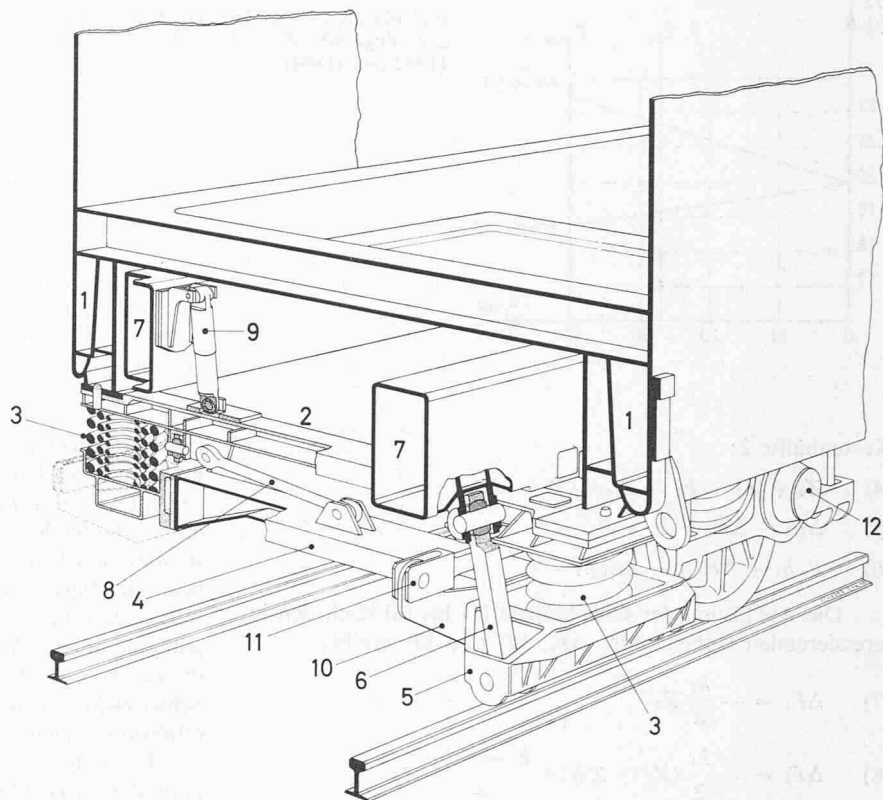
Die Seiten- und Verdrehbewegungen des Drehgestells, das keine Drehzapfen aufweist, werden ausschliesslich durch die Wiegenpendel aufgenommen. Diese sind an beiden Enden in Gummi gelagert und daher allseitig beweglich. Die Pendellängen und der Pendelneigungswinkel sind beim mittleren Drehgestell verschieden von denen der äusseren Drehgestelle und so gewählt, dass sie in der Geraden den Kasten einwandfrei zentrieren und in Kurven die notwendige Seitenverschiebung des mittleren Drehgestells ermöglichen. Dabei soll die Aufteilung der Kastenzentrifugalkraft auf die drei Drehgestelle möglichst gleichmässig erfolgen.

Zur Dämpfung der Kastenbewegung dienen horizontal und vertikal angeordnete Flüssigkeitsdämpfer. Die Vertikaldämpfer sind parallel zu den Kastenfedern, die Horizontaldämpfer je zwischen Drehgestellkopftraverse und Kastenuntergestell eingebaut. Bei den einzelnen Lokomotiven werden verschiedene Fabrikate erprobt.

Als Kastenfedern dienen bei den Lokomotiven 11601 und 11602 pro Drehgestellseite drei zentrisch ineinander angeordnete Schraubenfedern. Die Lokomotive 11603 mit einteiligem

Bild 14. Prinzip der Kastenaufhängung

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



Kasten erhält bei Ablieferung ebenfalls Schraubenfedern. Pro Drehgestellseite befinden sich nebeneinander zwei gleiche Federgruppen; die Federkonstante pro Paket ist bei den äusseren Drehgestellen bedeutend grösser als beim mittleren Drehgestell. Bei der Lokomotive 11604 sind Luftfedern eingebaut. Der normale Betriebsdruck der Federbälge erreicht etwa 5,2 atü, die mittlere Federkonstante im Betriebspunkt variiert je nach Grösse des Zusatzvolumens.

2.6 Die Zugkraftübertragung, Zug- und Stossvorrichtungen

Wie bereits erwähnt, besitzen die Drehgestelle keinen Drehzapfen. Die Übertragung der Zug- und Bremskräfte vom Drehgestell auf den Kasten geschieht über tiefhängende, ausschliesslich auf Zug beanspruchte Stangen. Diese sind unterhalb der Fahrmotoren derart angelenkt, dass die Zugkraft theoretisch genau auf Schienenoberkante angreift und somit keine Achsentlastung innerhalb des Drehgestells hervorruft. Die Achslasten der beiden Radsätze eines Drehgestells sind also dauernd gleich gross, was eine gute Adhäsionsausnutzung gewährleistet.

Am Kasten wird die Zugkraft jedes Drehgestells über eine vorgespannte Gummifeder mit progressiver Charakteristik von der entsprechenden Tiefzugstange übernommen. Die Gummifedern bewirken eine Federung in Längsrichtung und erzwingen die genannte Beanspruchung der Stangen auf Zug.

Die Zughaken weisen eine Bruchlast von 85 t auf. Die Ringfeder in der zentralen Federpatrone besitzt ein Arbeits-

vermögen von 8000 mkp, die Federendkraft beträgt 140 t. Sie wird erst nach der Einführung der AZDK ausgenützt werden können.

Die Puffer mit viereckigen Tellern sind für eine Endkraft von 59 t bemessen. Das nachgeschaltete Zerstörungselement beginnt sich bei etwa 80 t Druck zu deformieren.

2.7 Die Achslasten und die Adhäsionsausnutzung

2.7.1 Die Lokomotiven mit zweiteiligem Kasten

Bei den beiden Lokomotiven mit zweiteiligem Kasten ist bei fehlender Zugkraft eine gleichmässige statische Achslast auch in Gefällsbrüchen gewährleistet, da sich der Kasten der allfälligen unterschiedlichen Höhe der drei Drehgestelle anpassen kann. Sobald jedoch Zug- oder Bremskraft ausgeübt wird, tritt ein Kastenmoment auf, durch welches die einzelnen Drehgestelle zusätzlich be- oder entlastet werden.

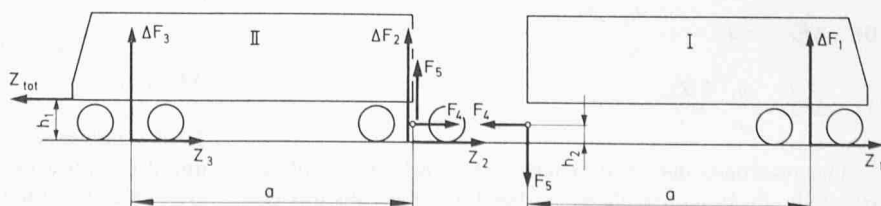
Die Achslasten in Abhängigkeit der Zugkräfte Z_1, Z_2, Z_3 jedes Drehgestells berechnen sich für eine Lokomotive mit zweiteiligem Kasten aus den Gleichgewichtsbedingungen für Kasten und Drehgestell in erster Annäherung wie folgt (Bild 15):

Kastenhälfte 1:

- (1) $Z_1 - F_4 = 0$
- (2) $\Delta F_1 - F_5 = 0$
- (3) $\Delta F_1 a + F_4 h_2 = 0$

Bild 15. Lokomotiven Re6/6 11601 und 11602: An den Kastenhälften und Drehgestellen angreifende Kräfte

- $\Delta F_1, \Delta F_2, \Delta F_3$ Drehgestellzusatzbelastungen
- Z_1, Z_2, Z_3 Zugkraft pro Drehgestell (am Radumfang)
- Z_{tot} totale Zugkraft (am Zughaken)
- F_4, F_5 Kräfte im Kastengelenk



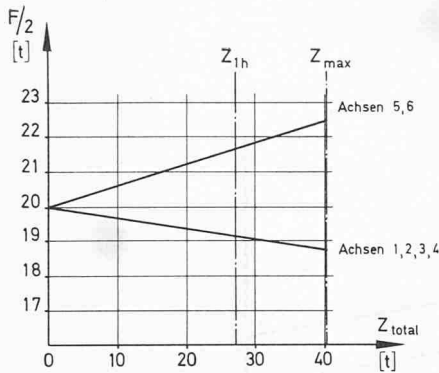


Bild 16 (links). Achslasten $F/2$ in Funktion der Zugkraft Z_{tot} (Lokomotiven 11601, 11602 und 11604)

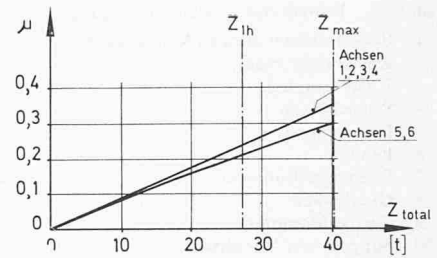


Bild 17. Geforderter Adhäsionskoeffizient μ jeder Achse in Funktion der Zugkraft Z_{tot} (Lokomotiven 11601, 11602 und 11604)

Kastenhälfte 2:

- (4) $Z_2 + Z_3 + F_4 - Z_{tot} = 0$
- (5) $\Delta F_2 + \Delta F_3 + F_5 = 0$
- (6) $F_4 h_2 + \Delta F_3 a - Z_{tot} h_1 = 0$

Die Auflösung der Gleichungen (1) bis (6) nach den interessierenden Unbekannten ΔF_1 , ΔF_2 und ΔF_3 ergibt:

- (7) $\Delta F_1 = -\frac{h_2}{a} Z_1$
- (8) $\Delta F_2 = -\frac{h_1}{2} (Z_2 + Z_3) - \frac{h_1 - 2h_2}{a} Z_1$
- (9) $\Delta F_3 = \frac{h_1}{a} (Z_2 + Z_3) + \frac{h_1 - h_2}{a} Z_1$

Gleichung (7) zeigt, dass ΔF_1 dauernd verschwindet, wenn $h_2 = 0$ gewählt bzw. das Kastengelenk auf Schienenoberkante angeordnet wird. In diesem Fall nehmen aber ΔF_2 und ΔF_3 extreme Werte an:

- (8') $\Delta F_2 = -\frac{h_1}{a} (Z_1 + Z_2 + Z_3)$
- (9') $\Delta F_3 = \frac{h_1}{a} (Z_1 + Z_2 + Z_3)$

Man wird daher einen Wert für h_2 suchen, bei dem im Normalfall, also wenn $Z_1 = Z_2 = Z_3$, $\Delta F_1 = \Delta F_2$ wird:

Gleichung (7) und (8): für $Z_1 = Z_2 = Z_3$

$$\Delta F_1 = \Delta F_2 \rightarrow h_2 = h_1$$

d.h. das Gelenk ist in Pufferhöhe anzuordnen. Für diesen Fall verändern sich die Gleichungen (7) bis (9) wie folgt:

- (7'') $\Delta F_1 = -\frac{h_1}{a} Z_1$
- (8'') $\Delta F_2 = -\frac{h_1}{a} (Z_2 + Z_3 - Z_1)$
- (9'') $\Delta F_3 = \frac{h_1}{a} (Z_2 + Z_3)$

Im Normalbetrieb, d.h. wenn $Z_1 = Z_2 = Z_3$, ergeben sich folgende Drehgestell-Mehrbelastungen in Funktion der Gesamtzugkraft Z_{tot} :

- (10) $\Delta F_1 = \Delta F_2 = -\frac{h_1}{a} \frac{Z_{tot}}{3}$
- (11) $\Delta F_3 = \frac{h_1}{a} \frac{2Z_{tot}}{3}$

Die resultierenden Achslasten sind in Bild 16 graphisch dargestellt. Zu beachten bleibt — dies folgt ebenfalls aus den

Gleichungen (7''), (8'') und (9'') — dass jeder Rückgang der Zugkraft Z_1 des vorlaufenden Drehgestells eine Zunahme der Achsentlastung im mittleren Drehgestell zur Folge hat. Wenn also das vorlaufende Drehgestell infolge schlechten Schienenzustandes zu schleudern beginnt, so überträgt sich der dadurch bedingte Zugkraftverlust sofort in Form einer zunehmenden Achsentlastung auf das mittlere Drehgestell, wodurch bei diesem eine höhere Adhäsionsbeanspruchung gefordert wird. Ob dieses theoretisch ungünstige Verhalten in der Praxis zu Schwierigkeiten führen wird, kann erst eine längere Betriebserfahrung zeigen.

Die sich in Funktion der Zugkraft Z_{tot} unter Berücksichtigung der Achsentlastungen für die einzelnen Achsen ergebenden Adhäsionskoeffizienten μ sind aus Bild 17 ersichtlich.

2.7.2 Die Lokomotiven mit einteiligem Kasten

Bei den Lokomotiven mit einteiligem Kasten ist, bei individueller Abfederung der Drehgestelle, die Achslastverteilung grundsätzlich statisch unbestimmt. Dies geht auch aus nachfolgenden Berechnungen hervor, die wiederum als erste Näherung anzusehen sind.

Aus Bild 18 folgen die Gleichgewichtsbedingungen für das Drehgestell:

- (12) $\Delta F_i - \Delta P_i + S_i \sin \alpha = 0$
- (13) $Z_i - S_i \cos \alpha = 0$

Daraus folgt:

- (14) $\Delta P_i = \Delta F_i + Z_i \operatorname{tg} \alpha$

Bild 19 zeigt die am Kasten angreifenden Kräfte:

- (15) $\Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 - S_1 \sin \alpha - S_2 \sin \alpha - S_3 \sin \alpha = 0$
- (16) $S_1 \cos \alpha + S_2 \cos \alpha + S_3 \cos \alpha - Z_{tot} = 0$
- (17) $S_1 \sin \alpha b + S_2 \sin \alpha (b + a) + S_3 \sin \alpha (b + 2a) - \Delta P_2 a - \Delta P_3 2a = 0$

Aus den Gleichungen (12) bis (17) folgt unter Berücksichtigung, dass $\operatorname{tg} \alpha = h_1/b$ ist:

- (18) $\Delta F_1 + \Delta F_2 + \Delta F_3 = 0$
- (19) $Z_1 + Z_2 + Z_3 - Z_{tot} = 0$
- (20) $\Delta F_2 + 2 \Delta F_3 - (Z_1 + Z_2 + Z_3) \frac{h_1}{a} = 0$

Es ergeben sich somit für die 4 Unbekannten ΔF_1 , ΔF_2 , ΔF_3 und Z_{tot} drei Gleichungen.

2.7.2.1 Lokomotive mit Luftfederung, Bälge der Drehgestelle 1 und 2 miteinander verbunden (pneumatischer Balancier)
Neue Randbedingung: $\Delta P_1 = \Delta P_2$

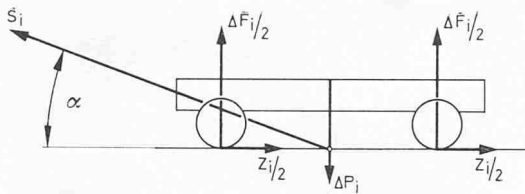


Bild 18. Am Drehgestell angreifende äussere Kräfte
 $\Delta F_i/2$ Achslaständerung jedes Radsatzes
 $Z_i/2$ Zugkraft am Radumfang jedes Radsatzes
 ΔP_i Kraftänderung in der Sekundärfeder (Kastenabstützung)
 S_i Kraft in der Tiefzugstange
 α Neigungswinkel der Tiefzugstange

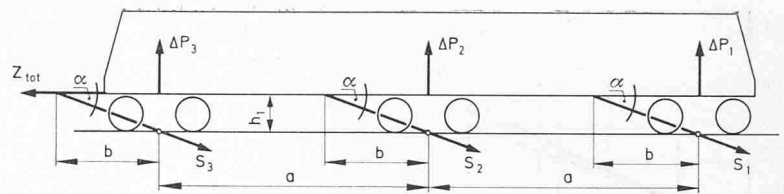


Bild 19. Am einteiligen Kasten angreifende äussere Kräfte
 $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$ Zusatzkräfte in den Sekundärfedern jedes Drehgestells
 S_1, S_2, S_3 Kräfte in den Tiefzugstangen
 α Neigungswinkel der Tiefzugstangen
 Z_{tot} totale Zugkraft (am Zughaken)

Aus dieser Randbedingung und der Gleichung (14) folgt

$$(21) \quad \Delta F_1 + Z_1 \operatorname{tg} \alpha = \Delta F_2 + Z_2 \operatorname{tg} \alpha$$

Aus (21) und (18):

$$(22) \quad \Delta F_3 = -2 \Delta F_2 + (Z_1 - Z_2) \operatorname{tg} \alpha$$

Eingesetzt in (20):

$$(Z_1 + Z_2 + Z_3) \frac{h_1}{a} = \Delta F_2 - 4 \Delta F_2 + 2 \operatorname{tg} \alpha (Z_1 - Z_2)$$

$$(23) \quad \rightarrow \Delta F_2 = -\frac{1}{3} \frac{h_1}{a} (Z_1 + Z_2 + Z_3) + \frac{2}{3} \operatorname{tg} \alpha (Z_1 - Z_2)$$

Aus Gleichung (22):

$$(24) \quad \Delta F_3 = \frac{2}{3} \frac{h_1}{a} (Z_1 + Z_2 + Z_3) - \frac{1}{3} \operatorname{tg} \alpha (Z_1 - Z_2)$$

Aus Gleichung (18), (22), (23):

$$(25) \quad \Delta F_1 = -\frac{1}{3} \frac{h_1}{a} (Z_1 + Z_2 + Z_3) - \frac{1}{3} \operatorname{tg} \alpha (Z_1 - Z_2)$$

Für den Fall $Z_1 = Z_2 = Z_3$ ergeben sich folgende Drehgestellentlastungen:

$$(25') \quad \Delta F_1 = -\frac{1}{3} \frac{h_1}{a} Z_{tot}$$

$$(23') \quad \Delta F_2 = -\frac{1}{3} \frac{h_1}{a} Z_{tot}$$

$$(24') \quad \Delta F_3 = \frac{2}{3} \frac{h_1}{a} Z_{tot}$$

Diese Gleichungen entsprechen den Gleichungen (10) und (11) für den zweiteiligen Kasten; d.h. die für diesen berechneten Achsentlastungen (Bild 16) und Adhäsionsbeanspruchungen

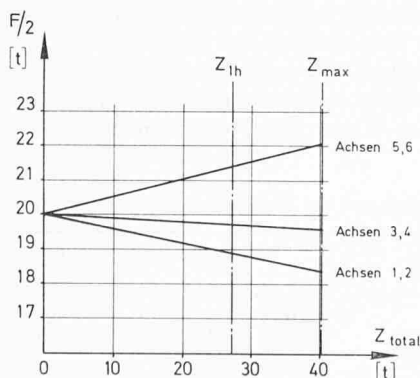


Bild 20. Achslasten $F/2$ in Funktion der Zugkraft Z_{tot} (Lokomotive 11 603)

(Bild 17) sind auch für den einteiligen Kasten mit Luftfederung und «Balancier» gültig.

Aus den Gleichungen (14) und (25) folgt noch:

$$\Delta P_1 = -\frac{1}{3} \frac{h_1}{a} (Z_1 + Z_2 + Z_3) + \frac{1}{3} \operatorname{tg} \alpha (Z_2 + 2Z_1)$$

Für $Z_1 = Z_2 = Z_3$:

$$\Delta P_1 = -\frac{1}{3} \frac{h_1}{a} Z_{tot} + \frac{1}{3} \operatorname{tg} \alpha Z_{tot}$$

ΔP_1 — und somit auch ΔP_2 — wird zu Null, wenn, wie dies bei der Re 6/6 der Fall ist, $\operatorname{tg} \alpha = h_1/a$ oder $a = b$ gewählt wird. In diesem Fall tritt in den Luftfedern 1 und 2 kein zugkraftabhängiger Luftverbrauch ein.

2.7.2.2 Lokomotive mit Schraubenfederung (Federkonstante der beiden äusseren Drehgestelle gleich)

Als Ausgang dienen wiederum die Gleichungen (14), (18), (19) und (20). Dazu kommt:

$$(26) \quad \Delta P_i = c_i \Delta y_i$$

wobei c_i die kombinierte Federkonstante der Primär- und Sekundärfederung jedes Drehgestells und y_i den Federweg des Federsystems i bedeuten. Im weitem gilt:

$$(27) \quad \Delta y_1 - \Delta y_2 = \Delta y_2 - \Delta y_3$$

Unter Berücksichtigung, dass $c_1 = c_3$ ist, folgt:

$$\Delta F_1 = \Delta P_1 - Z_1 \operatorname{tg} \alpha = c_1 2 \Delta y_2 - c_1 \Delta y_3 - Z_1 \operatorname{tg} \alpha$$

$$\Delta F_2 = \quad \quad \quad = c_2 \Delta y_2 - Z_2 \operatorname{tg} \alpha$$

$$\Delta F_3 = \quad \quad \quad = c_1 \Delta y_3 - Z_3 \operatorname{tg} \alpha$$

Daraus:

$$\Delta y_2 = (Z_1 + Z_2 + Z_3) \frac{h_1}{a} \frac{1}{2c_1 + c_2} \left(\text{für } \operatorname{tg} \alpha = \frac{h_1}{a} \right)$$

$$(28) \quad \Delta F_2 = -\frac{1}{2} \frac{h_1}{a} Z_{tot} \left(\frac{2}{3} - \frac{2c_2}{2c_1 + c_2} \right) \quad \text{für}$$

$$(29) \quad \Delta F_3 = \frac{1}{2} \frac{h_1}{a} Z_{tot} \left(\frac{4}{3} - \frac{c_2}{2c_1 + c_2} \right) \quad \left. \begin{array}{l} Z_1 = Z_2 = Z_3 \\ \\ \end{array} \right\} = \frac{1}{3} Z_{tot}$$

$$(30) \quad \Delta F_1 = -\frac{1}{2} \frac{h_1}{a} Z_{tot} \left(\frac{c_2}{2c_1 + c_3} + \frac{2}{3} \right)$$

Für die Re 6/6 11603 ergeben sich daraus die Achslasten gemäss Bild 20 und die geforderten Adhäsionskoeffizienten gemäss Bild 21. Diese liegen nur wenig ungünstiger als bei den Lokomotiven 11 601/02/04 (Bild 17).

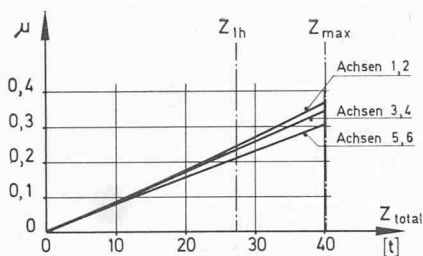


Bild 21. Geforderter Adhäsionskoeffizient μ jeder Achse in Funktion der Zugkraft Z_{tot} (Lokomotive 11 603)

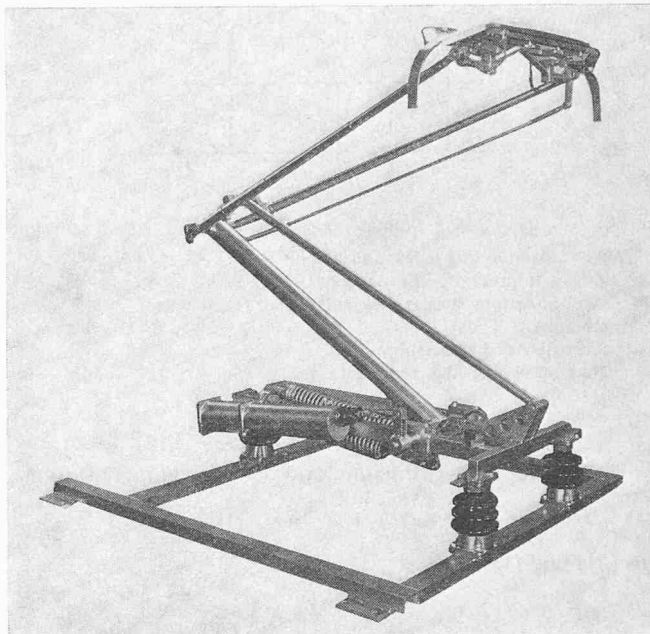


Bild 23. Stromabnehmer Bauart BBC, Typ ESa 06-2500

2.7.2.3 Lokomotive mit gemischter Federung

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Drehgestelle 1 und 3 mit Schraubenfedern auszurüsten und in Drehgestell 2 eine Luftfeder einzubauen, die mit konstantem Druck betrieben wird. In diesem Fall gilt:

$$\Delta P_2 = 0 = \Delta F_2 + Z_2 \operatorname{tg} \alpha \quad [\text{d.h. } c_2 = 0 \text{ gemäss Gl. (26)}]$$

$$\rightarrow \Delta F_2 = -Z_2 \frac{h_1}{b} = -Z_2 \frac{h_1}{a} \quad (\text{im Falle der Re 6/6), \text{ein-}}$$

gesetzt in Gl. (20) bzw. (18):

$$\Delta F_3 = \frac{1}{2} (Z_1 + Z_2 + Z_3) \frac{h_1}{a} + \frac{1}{2} Z_2 \frac{h_1}{a}$$

$$\Delta F_1 = -\frac{1}{2} (Z_1 + Z_2 + Z_3) \frac{h_1}{a} + \frac{1}{2} Z_2 \frac{h_1}{a}$$

Bild 22. Stirnansicht der Lokomotive Re 6/6. Von links nach rechts befinden sich am Stossbalken: Kupplungsdose für Zugheizung 1000 V, Kupplungsdose für Zugheizung 3000 V, Schläuche für Rangierbremse, Speiseleitung und automatische Bremse, Kupplungsdose für Vielfachsteuerung, Schläuche für automatische Bremse, Speiseleitung und Rangierbremse



Im Spezialfall $Z_1 = Z_2 = Z_3 = 1/3 Z_{\text{tot}}$ folgt:

$$\Delta F_1 = \Delta F_2 = -\frac{1}{3} Z_{\text{tot}} \frac{h_1}{a} \quad \Delta F_3 = \frac{2}{3} Z_{\text{tot}} \frac{h_1}{a}$$

d.h. es ergeben sich wieder genau die gleichen Verhältnisse wie beim zweiteiligen Kasten [siehe Gleichungen (10) und (11)]. Diese Resultate sind unabhängig von den Federkonstanten c_1 und c_3 , d.h. die Federn 1 und 3 können beliebig gewählt werden.

Bei den Lokomotiven mit einteiligem Kasten sind die mittleren Kastenquerträger als Zusatzreservoir ausgebildet, das bei einer Lösung mit Luftfedern nur am mittleren Drehgestell parallel zu den Federbälgen geschaltet werden kann. Beim Einfedern des mittleren Drehgestells ergeben sich dann nur geringe Druckunterschiede, wodurch der Luftverbrauch sehr gering wird.

2.7.2.4 Das Befahren von Gefällsbrüchen mit Lokomotiven mit einteiligem Kasten

Beim Befahren von Gefällsbrüchen ergibt sich bei der Lokomotive 11 604 mit integraler Luftfederung und «Balancier» keine Achslaständerung. Dagegen tritt eine solche auf, wenn die drei Sekundärfederungen unabhängig voneinander sind.

Für die Lokomotive 11 603 resultieren beim Befahren von Gefällsbrüchen mit den Radien R für die Achslasten die Änderungen gemäss Tabelle 2. Diese sind gering. Sie werden bei der Variante mit Luftfedern im mittleren Drehgestell noch kleiner.

2.8 Die pneumatischen Einrichtungen

Ein zweistufiger Kolbenkompressor Typ 2A 320, Fabrikat BBC, verdichtet 42 l/s Luft auf maximal 10 atü Enddruck. Diese wird in vier in Serie geschalteten Luftbehältern mit Total 900 l Inhalt gespeichert. Die beiden vorerst durchströmten Behälter sind unter dem Lokomotivkasten, die beiden weiteren aus Platzgründen im Kasten angeordnet. Die rasche Ab-

Tabelle 2. Achslaständerungen bei Gefällsbrüchen (Lok 11603)

Radius des Gefällsbruchs	Achslaständerung Achsen	
	1, 2, 5, 6	3, 4
2000 m (Hauptgleise)	$\pm 0,11$ t	$\mp 0,21$ t
1000 m (Nebengleise)	$\pm 0,21$ t	$\mp 0,42$ t
500 m (Rangiergleise)	$\pm 0,43$ t	$\mp 0,86$ t

kühlung der Luft nach dem Austritt aus dem Kompressor gewährleistet eine gute Wasserabscheidung.

Die Lokomotiven sind mit drei pneumatischen Bremsen ausgerüstet, nämlich:

- eine zweistufige, geschwindigkeitsabhängige, automatisch wirkende Bremse, Bauart Oerlikon, mit Führerbremseventil FV4a und zwei Steuerventilen LSt 1
- eine direkte, nur auf die bediente und – sofern vorhanden – die benachbarte, ferngesteuerte Lokomotive wirkende Rangierbremse, ebenfalls Bauart Oerlikon
- 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 usw.) sind auf zwei zentralen Gerüsten (Bauart TUBO) im Maschinenraum übersichtlich aufgeschraubt, wobei O-Ringe als Dichtungen dienen. Diese Bauart ermöglicht einen raschen Austausch der normalisierten Hahnen und Ventile. Die Anordnung der Kupplungsschläuche für die Bremsleitungen am Stossbalken geht aus Bild 22 hervor.

2.9 Die Luftfederung der Lokomotive 11604

Diese Lokomotive erhält bei allen drei Drehgestellen Luft-Sekundärfedern. Die notwendige Druckluft wird in einem besonderen Hochdruckkompressor für 40 atü Enddruck erzeugt.

Die Steuerung des Luften- und -auslasses in die einzelnen Federbälge geschieht grundsätzlich durch ein Regelsystem, das seine Informationen von Höhenlagemessern bezieht, die parallel zu jedem Federbalg angeordnet sind. Die notwendigen elektrischen und pneumatischen Steuer- und Überwachungsorgane sind zentral auf dem Aufbau über dem Drehgestell 2 angeordnet.

Bei gestörter Versorgung der Federbälge mit Druckluft sitzt der Lokomotivkasten auf Notlauf-Gummiklötzen auf, die sich im Innern der Luftbälge befinden. Eine Weiterfahrt mit stark reduzierter Geschwindigkeit ist in diesem Falle möglich.

3. Die elektrische Ausrüstung

3.1 Die Dachausrüstung und die Hochspannungsstromkreise

An den beiden Dachenden ist je ein einholmiger, normalisierter Stromabnehmer der Bauart BBC, ESa 06-2500, angeordnet (Bild 23). Vorversuche mit zwei Re4/4^{II}-Lokomotiven in Vielfachsteuerung zeigten, dass ein einziger Stromabnehmer den bei der Re6/6 auftretenden maximalen Primärstrom von etwa 950 A (bei ungefähr 95 km/h) übertragen kann (s. auch Bild 24). Beide Stromabnehmer sind über eine Dachleitung, die auch die Verbindung zum Hauptschalter herstellt, dauernd miteinander verbunden. Auf den Einbau besonderer Trennmesser wurde aus Platz- und Gewichtsgründen verzichtet. Dennoch lassen sich die Stromabnehmer durch Lösen einer Verbindungslitze notfalls elektrisch abtrennen.

Der ebenfalls normalisierte Druckluft-Hauptschalter BBC, Typ DBTF 20k200, im vorliegenden Fall mit verstärktem Kontaktsystem für 650 A Nennstrom, ist halbversenkt im mittleren Dachteil eingelassen. Über dem Dach befinden sich die Hochspannungsteile, im Maschinenraum der Steuerblock. Der unmittelbar daran angebaute zweipolige Erdungsschalter wird vom Lokomotivinnern betätigt. Er steht in gegenseitiger Verriegelung zum Absperrhahn für die Luftzufuhr zu den Stromabnehmern.

Von der Sekundärseite des Hauptschalters führt eine Dachleitung zur Hochspannungseinführung, die ihrerseits über eine kurze Verbindungslitze mit dem Regulatortransformator verbunden ist. Erdseitig wird der Primärstrom über total sechs Erdungsbürsten auf die Radsätze geleitet (Bild 25).

Ausser den erwähnten Apparaten sind auf dem Dach die sechs ohmschen Wendepolshunts der Fahrmotoren und ein Zusatzwiderstand der Bremsregung aufgebaut.

Die Sekundärspannung des Regulatortransformators variiert je nach Stellung des Stufenschalters zwischen 0 und 25 kV. Der entsprechende Strom wird dem Leistungstransformator im Lokomotivinnern durch eine isolierte Hochspannungsleitung zugeführt. Diese ist bei den Lokomotiven 11601 und 11602 beim Kastengelenk unterbrochen und durch eine Litzenverbindung überbrückt.

Bei der Projektierung der Lokomotive wurde untersucht, ob ein einziger Transformator oder ob – wie ausgeführt – eine Aufteilung auf zwei Einheiten vorzusehen sei. Zur Diskussion standen die in Tabelle 3 angegebenen Varianten.

Tabelle 3. Mögliche Aufteilung der Transformatoren

Variante	Transformator 1	Transformator 2
1	Regulierteil für 6 Fahrmotoren Leistungsteil für 6 Fahrmotoren	
2	Regulierteil für 3 Fahrmotoren Leistungsteil für 3 Fahrmotoren	Regulierteil für 3 Fahrmotoren Leistungsteil für 3 Fahrmotoren
3	Regulierteil für 6 Fahrmotoren	Leistungsteil für 6 Fahrmotoren
4	Regulierteil für 6 Fahrmotoren in einem Kessel Leistungsteil für 3 Fahrmotoren in einem zweiten Kessel	Leistungsteil für 3 Fahrmotoren
5	Regulierteil für 6 Fahrmotoren Leistungsteil für 3 Fahrmotoren	Leistungsteil für 3 Fahrmotoren
6	Regulierteil für 6 Fahrmotoren Leistungsteil für 2 Fahrmotoren	Leistungsteil für 4 Fahrmotoren

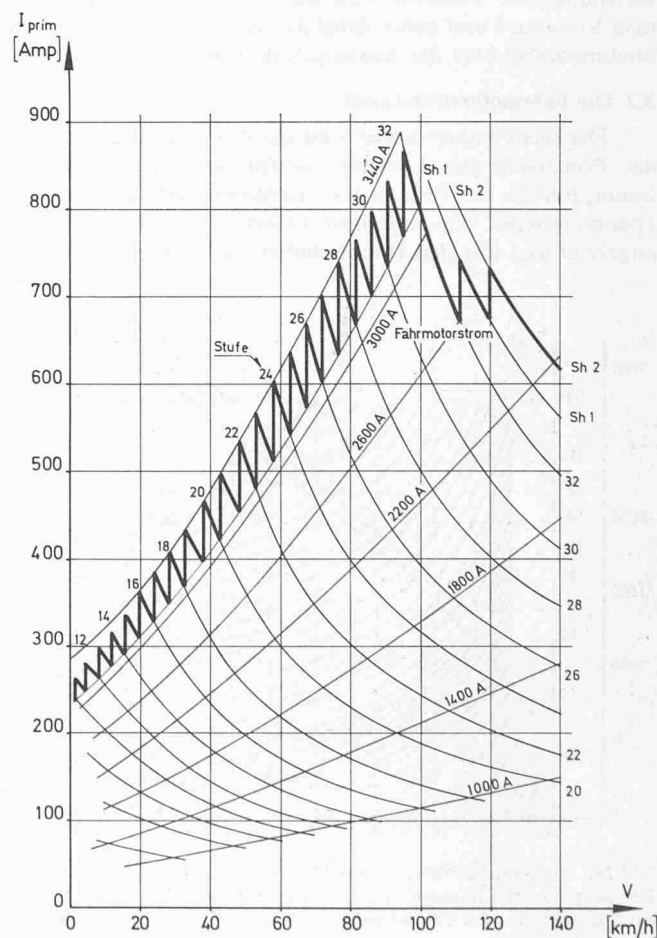


Bild 24. Verlauf des Primärstromes I_{prim} in Funktion der Geschwindigkeit V (für Zugheizstrom $I_z = 0$) bei 15 kV Fahrleitungsspannung. Der ausgezogene Linienzug zeigt den Verlauf des Primärstroms bei einer Anfahrtschaltung auf Stellung ++ des Fahrschalters

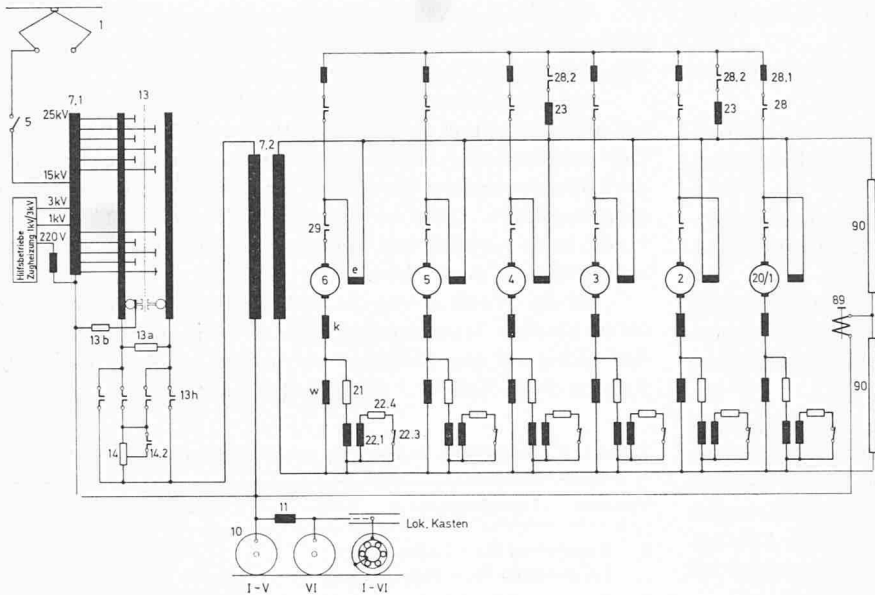


Bild 25. Prinzipschema für Fahren

- 1 Stromabnehmer
- 5 Hauptschalter
- 7.1 Reguliertransformator
- 7.2 Leistungstransformator
- 10 Erdungsbürsten
- 11 Drosselspule für Schutzterdung
- 13 Stufenschalter
- 13 a Schutzwiderstand
- 13 b Zusatzwiderstand
- 13 h Lastschalter
- 14 Überschaltwiderstand
- 14.2 Hüpfen für Überschaltwiderstand
- 20 Fahrmotor
- 20 e Erregerwicklung
- 20 k Kompensationswicklung
- 20 w Wendepolwicklung
- 21 Ohmscher Wendepolshunt
- 22.1 Induktiver Wendepolshunt für Fahren
- 22.3 Schütz für Zusatzwicklung
- 22.4 Widerstand für Zusatzwicklung
- 23 Feldschwächshunt (Bremsdrosselspule)
- 28 Parallelschaltheüpfen
- 28.1 Drosselspulen
- 28.2 Hüpfen für Feldschwächung
- 29 Trennhüpfen
- 89 Erdschlussrelais
- 90 Spannungsteilerwiderstand

Beim Vergleich ergab sich folgende Reihenfolge der 6 Varianten:

Preis: 1-3-5-6-2-4
 Gewicht: 1-3-6-5-2-4
 Verbindungen beim Kastengelenk: 2/4/5/6-1-3

Variante 1 schied aus Gründen der Disposition und Gewichtsverteilung aus. Hauptsächlich aus Gewichtsgründen wählte man Variante 3 und nahm dabei die recht umfangreichen Verbindungskabel über das Kastengelenk in Kauf.

3.2 Die Fahrmotorstromkreise

Die sechs Fahrmotoren sind parallel geschaltet und von der Primärseite des Leistungstransformators galvanisch getrennt, Bild 25. Die Erdung des Stromkreises erfolgt über einen Spannungsteiler. Ein allfälliger Erdschluss wird somit wohl angezeigt und löst den Hauptschalter aus, richtet jedoch kei-

nen Schaden an. Nach dem Abtrennen des Spannungsteilers kann die Fahrt trotz des weiterbestehenden Erdschlusses fortgesetzt werden.

Im Fahrbetrieb sind die sechs Erregerwicklungen der Fahrmotoren dauernd über kleine Drosselspulen parallelgeschaltet. Diese Querverbindungen werden durch sechs kleine Hüpfen geschlossen, sobald die Fahrmotortrennhüpfen 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, d. h. einen in bezug auf das Adhäsionsverhalten günstigen Wert dv/dZ . Die Parallelschaltung der Fahrmotorfelder verhindert auch, dass ein aus irgendeinem Grunde zu schnell drehender Fahrmotor eine zu hohe Drehzahl erreicht und Schaden nimmt. Zu beachten bleibt jedoch, dass die gesamte Wirkung dahinfällt, wenn alle sechs Achsen der Lokomotive gleichzeitig infolge Überschreitens der Adhäsionsgrenze durchdrehen.

Die in Serie zu den Parallelschaltheüpfen geschalteten kleinen Drosseln dienen der Begrenzung der wegen ungleicher Fahrmotor-Charakteristiken (bedingt durch die Fabrikationsstreuung, durch den ungleichen Drehsinn der 6 Fahrmotoren sowie durch Durchmesserunterschiede der Radsätze) auftretenden Ausgleichströme. 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 selbsterreger Strom auftreten kann. Die Berechnung und Wirkung dieser Querverbindungen ist in [5] eingehend beschrieben worden.

Beim Betrieb mit Feldschwächung werden in zwei Stufen total vier Zweige der Bremsdrosselspulen parallel zu den sechs Fahrmotorfeldern geschaltet. Da die Bremsdrosselspulen ohnehin vorhanden und auch die Fahrmotorfelder bereits parallelgeschaltet sind, benötigt die Feldschwächung an zusätzlichen Schaltapparaten im Fahrmotorstromkreis ausser der Wendepolshuntumschaltung nur vier Hüpfen, die die Drosselzweige zuschalten. Im Feldschwächbetrieb ist der Stundenstrom der Fahrmotoren (2600 A) während rund 30 Minuten, d. h. während der Durchfahrt durch einen zukünftigen Basistunnel, zulässig.

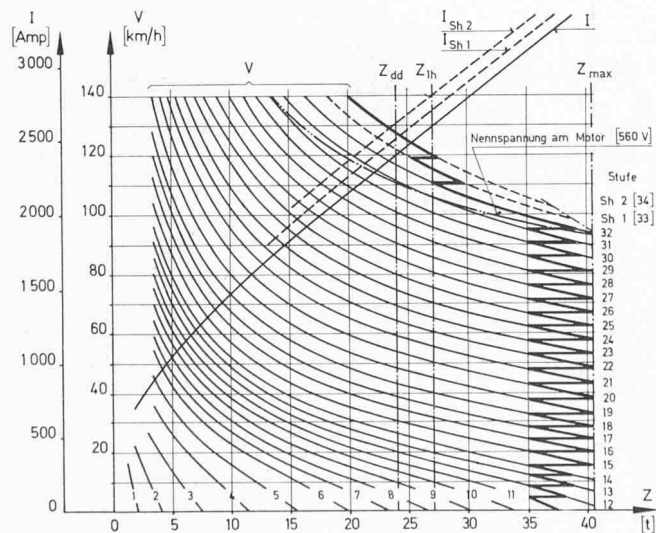
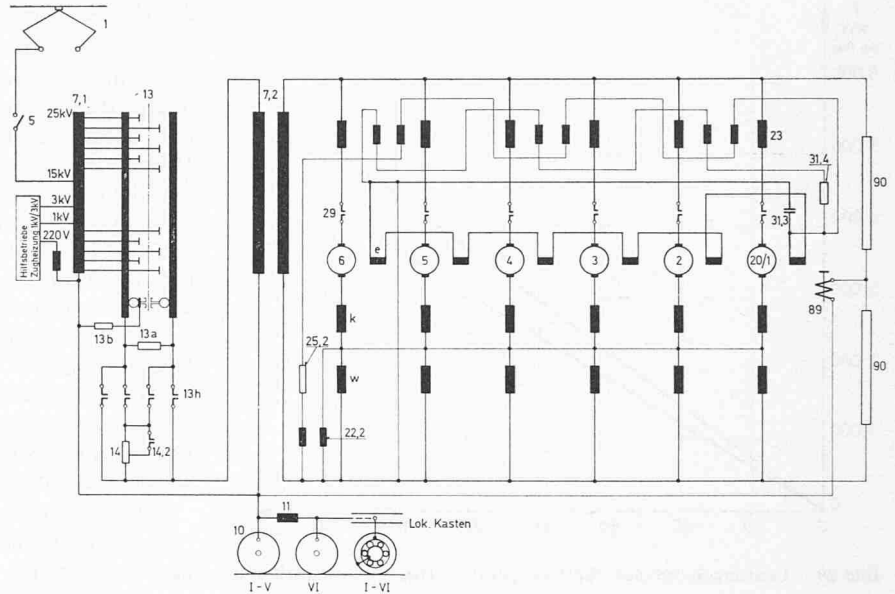


Bild 26. Zugkraftkennlinien der Re6/6 bei 15 kV Fahrdrachspannung. Der ausgezogene Linienzug zeigt den Zugkraftverlauf bei einer Anfahrt auf Stellung ++ des Fahr Schalters

- I Fahrmotorstrom bei vollem Motorfeld
- I_{Sh1} Fahrmotorstrom bei 1. Feldschwächstufe
- I_{Sh2} Fahrmotorstrom bei 2. Feldschwächstufe
- V Fahrzeuggeschwindigkeit
- Z totale Zugkraft am Radumfang

Bild 27. Prinzipschema für Bremsen

- 1 Stromabnehmer
- 5 Hauptschalter
- 7.1 Reguliertransformator
- 7.2 Leistungstransformator
- 10 Erdungsbürsten
- 11 Drosselspule für Schutzerdung
- 13 Stufenschalter
- 13 a Schutzwiderstand
- 13 b Zusatzwiderstand
- 13 h Lastschalter
- 14 Überschaltwiderstand
- 14.2 Hüpfen für Überschaltwiderstand
- 20 Fahrmotor
- 20 e Erregerwicklung
- 20 k Kompensationswicklung
- 20 w Wendepolwicklung
- 22.2 Induktiver Wendepolshunt für Bremsen
- 23 Bremsdrosselspule
- 25.2 Widerstand für Kommutation
- 29 Trennhüpfen
- 31.3 Kondensator für Bremsregung
- 31.4 Widerstand für Bremsregung
- 89 Erdschlussrelais
- 90 Spannungsteilerwiderstand



Zur Anpassung des Wendefeldes der Fahrmotoren an hohe Geschwindigkeiten und an die Feldschwächung dient ein umschaltbarer Wendepolshunt. Bei Geschwindigkeiten unter 115 km/h und ausgeschalteter Feldschwächung sind die in Serie zum ohmschen Wendepolshunt Pos. 21 geschalteten Drosseln sekundär über einen kleinen Widerstand kurzgeschlossen und dadurch die Wendefelder vorwiegend ohmsch geschuntet. Sobald die Geschwindigkeit von 115 km/h erreicht wird oder die Feldschwächstufen angesteuert sind, öffnet der kleine Hüpfen Pos. 22.3 den Sekundärkreis der Drosseln, wodurch eine ohmsch/induktive Shuntung entsteht. – Bild 26 zeigt die Zugkraftkennlinien der Re6/6.

3.3 Die Rekuperationsbremse

Die Anforderungen, die an die elektrische Bremse der Re6/6 gestellt wurden, sind bereits in Abschnitt 1.3 erwähnt. Betrieblich soll eine Anhängelast von 400 t am Gotthard elektrisch in der Beharrung bei 80 km/h gebremst werden können. Dies verlangt eine Bremskraft am Rad von rund 11 t während 40 Minuten.

Bild 27 zeigt den prinzipiellen Aufbau der als Resonanzschaltung bezeichneten Bremse. Gegenüber den in den letzten Jahren angewandten Erregermotorschaltungen weist sie folgende Vorteile auf:

- Die Überströme nach Stromabnehmerabsprüngen sind bedeutend geringer
- Die Stromstöße beim Schalten des Stufenschalters sind kleiner
- Die Bremskraftsprünge beim Schalten des Stufenschalters sind kaum merkbar, wodurch eine fast stufenlos scheinende Bremskraftregulierung erreicht wird
- Alle Motoren erreichen dieselbe Bremskraft. Deshalb bleibt die Adhäsionsbeanspruchung im Bremsbetrieb minimal.

Im verwirklichten Schema sind die sechs Felder der Bremsmotoren in Serie geschaltet und an einen grossen Kondensator Pos. 31.3 (Bild 31) angeschlossen. Felder und Kondensator bilden einen Resonanz-Schwingkreis, dessen Verlustenergie aus einer Hilfswicklung auf den Bremsdrosselspulen bezogen wird. Durch diese transformatorische Ankoppelung des Erregerkreises an die Bremsdrosseln fliesst in diesem ein Strom der gewünschten Frequenz und Phasenlage.

In Serie zu jedem Bremsmotor-Rotor ist eine Hauptwicklung der Bremsdrosseln angeschlossen; die so gebildeten sechs Zweige sind parallel geschaltet und mit der Sekundärwicklung des Leistungstransformators verbunden.

Die gewählte Schaltung ergibt eine Bremscharakteristik gemäss Bild 28. Die Bremskraft und der Bremsstrom (Ankerstrom der Bremsmotoren) sind für jede Bremsstufe stark von der Geschwindigkeit abhängig. Bei ändernder Geschwindigkeit muss somit zur Konstanthaltung der Bremskraft mit dem Stufenschalter nachreguliert werden. Diese Regulierung geschieht im vorliegenden Fall automatisch (siehe Abschnitt 3.10). Die 21 vorhandenen Bremsstufen erlauben die Einhaltung eines maximalen Bremsstromes von 2200 A (entsprechend einer Bremskraft von 13 600 kp) bis zur Höchstgeschwindigkeit. Die zugehörige Bremsleistung am Rad folgt aus Bild 29, während Bild 30 den internen und den externen Leistungsfaktor der Rekuperationsbremse in Funktion der Geschwindigkeit darstellt.

Die Rekuperationsapparate (Bremsdrosseln, Kondensator, Umschalter Fahren/Bremsen, Widerstand im Erregerkreis,

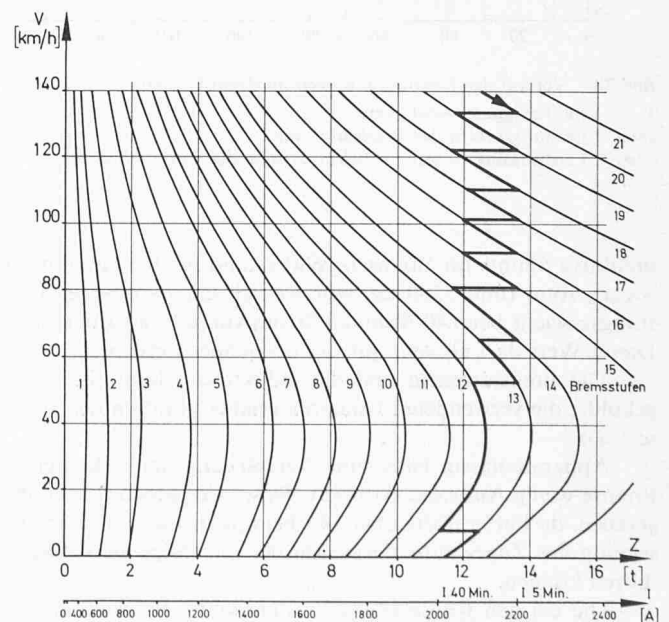


Bild 28. Bremskraftkennlinien der Re6/6 bei 15 kV am Fahrdracht. Der ausgezogene Linienzug zeigt den Bremskraftverlauf bei einer Bremsung mit maximalem Bremsstrom (Fahrer auf Stellung Bremsen +)

- I Fahrmotorstrom im Bremsbetrieb (Ankerstrom)
- V Fahrzeuggeschwindigkeit

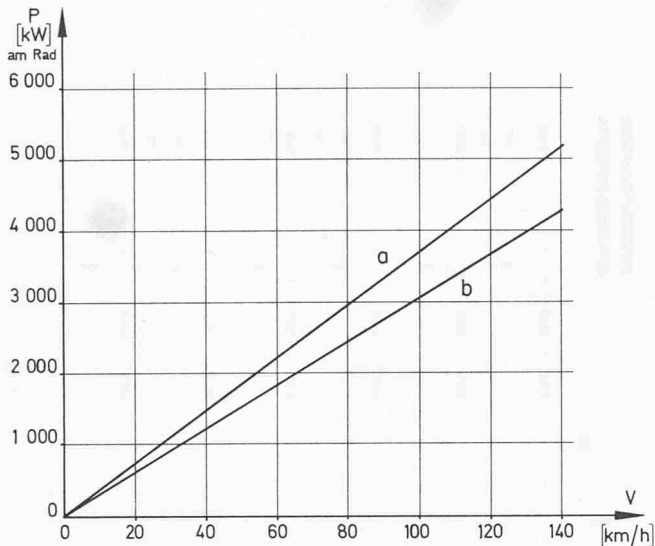


Bild 29. Leistungskennlinien für Rekuperation (bei 15 kV Fahrdrachtspannung)

v Fahrzeuggeschwindigkeit
 P Bremsleistung am Rad
 a für Höchstleistung (bei maximalem Bremsstrom $I = 2200$ A)
 b für 40-Minuten-Leistung (bei 40-Minuten-Strom $I = 2020$ A)

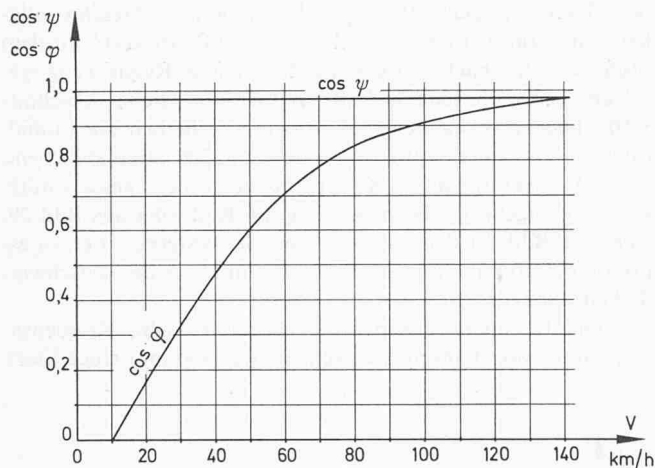


Bild 30. Verlauf der Leistungsfaktoren im Bremsbetrieb

v Fahrzeuggeschwindigkeit
 $\cos \psi$ Leistungsfaktor der Bremsmotoren
 $\cos \varphi$ Leistungsfaktor auf der Sekundärseite des Transformators

induktive Shunts für Bremsen, Widerstand für Kommutation) wiegen total rund 3580 kg, woraus sich ein spezifisches Leistungsgewicht beim 40-Minuten-Strom von 0,85 kg/kW ergibt. Dieser Wert darf als sehr günstig bezeichnet werden.

Die Bremsdrosseln und die induktiven Shunt sind luftgekühlt; die verwendeten Isoliermaterialien gehören der Klasse F an.

Apparatemässig hätte eine Verstärkung der elektrischen Bremse wenig Aufwand erfordert. Es wurde jedoch davon abgesehen, da Pufferkräfte über 14 t bei ungünstiger Zusammensetzung des Zuges zum Entgleisen der nachfolgenden Wagen führen können.

Die bei den Re6/6 erstmals angewandte Bremsschaltung war in ihrer Grundidee schon seit Jahren bekannt. Offenbar wurde von deren Anwendung bisher abgesehen, weil die Herstellung des grossen Kondensators (im Fall der Re6/6 wird eine Kapazität von 42 mF benötigt) Schwierigkeiten bereitet oder nicht wirtschaftlich war.

3.4 Der Reguliertransformator mit angebaute Stufenschalter

Der Reguliertransformator entspricht der bekannten BBC-Ausführung mit radialgeblechtem Kern und sechs [-förmigen Rückschlussjochen. Er enthält die Regulierwicklung mit Spannungsanzapfungen von 0 bis 25 kV, die bei 15 kV ab Fahrleitung eingespeist wird. Daneben ist noch eine besondere Wicklung für die Hilfsbetriebe vorhanden; deren Leerlaufspannung beträgt 252 V bei 15 kV primär. Die Heizspannungen von 1 kV und 3 kV (letztere zur Heizung von geschlossenen, aus FS-Inlandwagen gebildeten Kompositionen) werden an der Regulierwicklung abgegriffen.

Die Trafo-Nennleistung beträgt 6600 kVA primär, die Heizleistung 400 kVA im Sommer bzw. 800 kVA im Winter und die Hilfsbetriebeleistung 120 kVA (180 kVA intermittierend).

Die einzelnen Wicklungsabteilungen sind miteinander verklebt und sehr sorgfältig gegen die Joche abgestützt. Dadurch wurde eine hohe Kurzschlussfestigkeit erreicht.

Eine stopfbüchsenlose BBC-Ölpumpe mit Kondensatormotor wälzt das Transformatoröl durch den Rohr-Ölkühler über dem Drehgestell 3, wo ihm die Verlustwärme entzogen wird.

Direkt am Transformator-kessel angebaut ist der Hochspannungs-Stufenschalter Bauart BBC, Typ NO 32/4. Der Stufenwähler erlaubt 32 verschiedene Stufenspannungen; diese werden durch einen schwenkbaren Hebelarm mittels Kontaktrollen 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 bewegt werden können und dass dabei die Speisung des Leistungstrafos (und somit der Fahrmotoren) nicht unterbrochen wird. Die Einzelheiten des Schaltvorganges sind aus Bild 32 ersichtlich.

Der Stufenschalter ist für eine grösste Spannung von 25 kV und einen Stundenstrom von 400 A bemessen. Um diesen Strom zu respektieren, musste die maximale Primärspannung des Leistungstransformators auf 25 kV angehoben werden. Der Stufenschalter wird im vorliegenden Fall sowohl spannungs- wie strommässig voll ausgenutzt. Bei einer weiteren Leistungssteigerung der Lokomotive würden zwei Stufenschalter notwendig.

Um beim Überschalten von einer Stufe zur nächsthöheren einen Zugkräfteinbruch zu vermeiden, darf der Ohmwert des Überschaltwiderstandes Pos. 14 (Bild 25) einen gewissen Wert nicht überschreiten. Im vorliegenden Fall hätte dieser Grenzwert jedoch im Bereich der unteren und obersten Stufen, die einen relativ grossen Spannungssprung aufweisen, einen in bezug auf den Kontaktabbrand der Schaltelemente zu grossen Kurzschlussstrom verursacht. Um beiden Anforderungen (Zugkräfteinbruch und Kurzschlussstrom) im gesamten Schaltbereich gerecht zu werden, musste der Überschaltwiderstand zweistufig ausgeführt werden. Im Bereich der Stufen 6 bis 18 wird ein Teil des Widerstandes durch einen Hüpferschalterschloss. Dieser Hüpferschalterschloss normaler Bauart ist isoliert aufgestellt; das zugehörige Elektroventil befindet sich in genügender Entfernung auf Erdpotential. Die Luftzuführung zum Hüpferschalterschloss erfolgt über einen Teflonschlauch, der einer maximalen Spannung von mehr als 25 kV standhalten muss.

Einer weiteren strommässigen Überbeanspruchung des Überschaltwiderstandes (bzw. der Lastschalter) musste beim

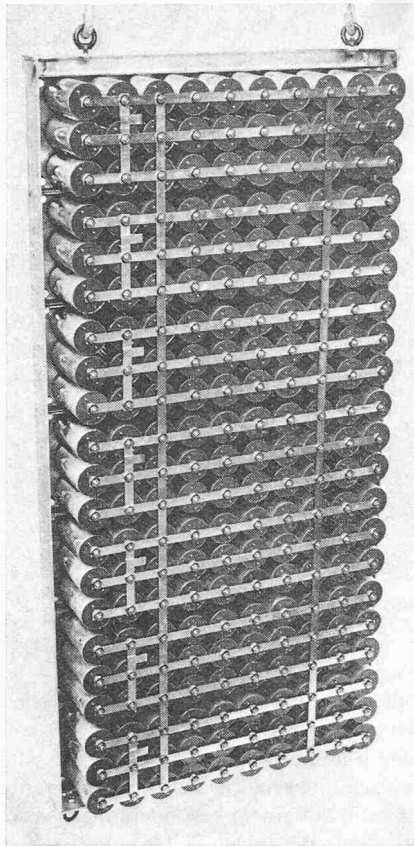


Bild 31. Partie des Kondensators für Brems-
erregung (Schema Pos. 31.3), bestehend aus
365 Einheiten zu $115 \mu F$, Fabrikat ITT

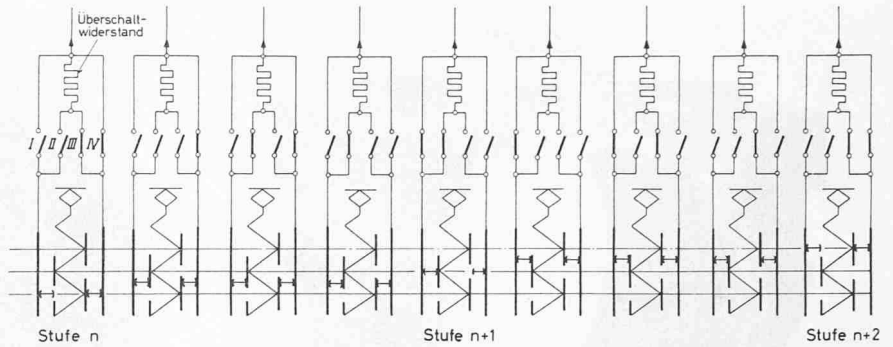


Bild 32. Schaltfolge der Lastschalter und der Wählerkontakte beim Stufenschalter Typ NO 32/4

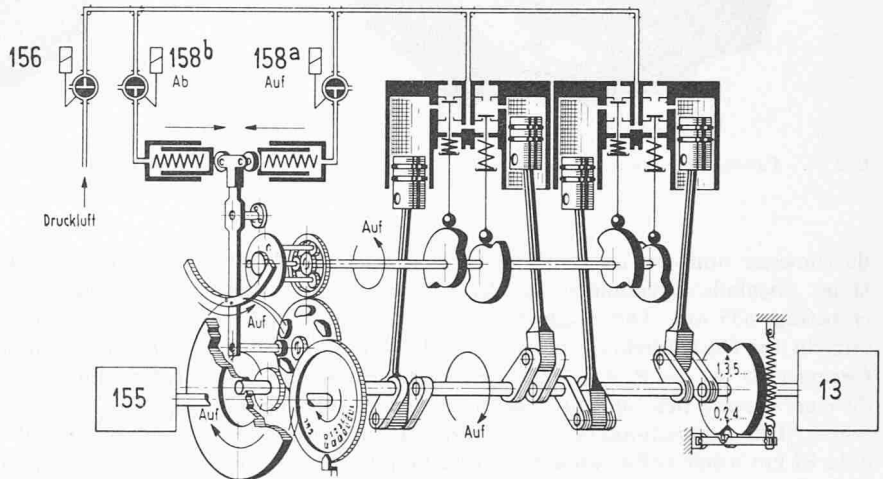


Bild 33. Prinzipschema des Luftmotors Typ MG 2. 13 Stufenschalter, 155 Walze mit Steuer-
und Verriegelungskontakten, 156 Elektroventil zum Stufenschalterantrieb, 158a Elektroventil
«Auf», 158b Elektroventil «Ab»

Schalten von Stufe 0 auf 1 oder 1 auf 0 entgegengewirkt werden. Hier beträgt der Spannungssprung etwa 1,9 kV oder fast doppelt so viel wie bei den weiteren Stufen. Zur Begrenzung des Kurzschlussstromes auf einen zulässigen Wert wurde zwischen der Unterspannungsklemme des Reguliertransformators und der Anzapfung 0 des Stufenwählers ein Zusatzwiderstand Pos. 13b (Bild 25) eingefügt. Grundsätzlich hätte auch der Spannungssprung auf Stufe 1 tiefer angesetzt werden können, dann wäre aber das betrieblich erwünschte Anfahren der Lokomotive auf Stufe 1 nicht mehr gewährleistet gewesen.

Der Stufenschalter wird im Normalfall von einem vierzylindrigen, mit Druckluft gespeisten Kolbenmotor, Bauart BBC MG 2, mit mechanischer Ventilbetätigung, angetrieben. Bild 33. Die für die beiden Drehrichtungen getrennte Luftzufuhr zu diesem Motor wird durch je ein Elektroventil gesteuert. Im Störfall kann der Stufenschalter von Hand mittels einer Kurbel vom Seitengang der Lokomotive aus betätigt werden. – Der Reguliertransformator samt angebauntem Stufenschalter, Lastschalter und Zusatzwiderstand, wiegt – einschliesslich Ölfüllung – rund 8060 kg.

3.5 Der Leistungstransformator

Der Leistungstransformator ist nach gleichen Grundsätzen wie der Reguliertransformator, d. h. mit radialgeblechtem Kern und ebenfalls sechs [-förmigen Rückschlussjochen aufgebaut. Auch hier sind die kornorientierten Bleche des Eisenstells miteinander verklebt; ebenso sind die einzelnen Wicklungsabteilungen miteinander verleimt.

Der Leistungstransformator enthält nebst der primären Hochspannungswicklung für 25 kV Nennspannung eine gal-

vanisch getrennte, sekundäre Niederspannungswicklung. Diese führt den gesamten Fahrmotorstrom (maximal 20640 A) und ist daher aus Kupferblechen gefertigt. Das feste Übersetzungsverhältnis zwischen den beiden Wicklungen beträgt $\ddot{u} = 39,7$, die Nennleistung 7200 kVA. Die grösste sekundäre Leerlaufspannung bei 15 kV an der Fahrleitung erreicht somit einen Wert von 630 Volt.

Eine Ölumwälzpumpe gleicher Bauart wie beim Reguliertransformator befördert das erwärmte Öl durch die beiden parallelgeschalteten Ölkühler über den Drehgestellen 1 und 2. Der Leistungstransformator wiegt samt Ölfüllung 11630 kg.

3.6 Der Fahrmotor

Aus Bild 5 berechnet sich die maximale Leistung am Rad pro Triebachse zu 1717 kW oder zu 1760 kW an der Motorwelle. Dieser Wert liegt noch etwa 8% höher als bei der Re4/4^{II}/Re4/4^{III}, deren Fahrmotor bereits sehr stark ausgenutzt ist. Dazu kommt die geforderte Leistung am Rad von 1275 kW bei Höchstdrehzahl, die diejenige der Re4/4^{II}/Re4/4^{III} um etwa 40% übersteigt. Tabelle 4 zeigt die Hauptdaten des Fahrmotors.

Es bedurfte bedeutender Anstrengungen, um den sehr hohen Ansprüchen an den Fahrmotor gerecht zu werden. Grundsätzlich wurden viele Konstruktionsprinzipien und elektrische Auslegungsgrössen vom Re4/4^{II}-Fahrmotor übernommen. Der grösseren Leistung angepasst ist die von 10 auf 12 erhöhte Polzahl. Bei Beibehaltung der Drehzahl war es daher möglich, den Strombelag, die transformatorische Spannung und die Bürstenstromdichte gegenüber der Re4/4^{II} etwas zu senken. Andererseits ergab sich ein auf 860 mm erhöhter Anker-

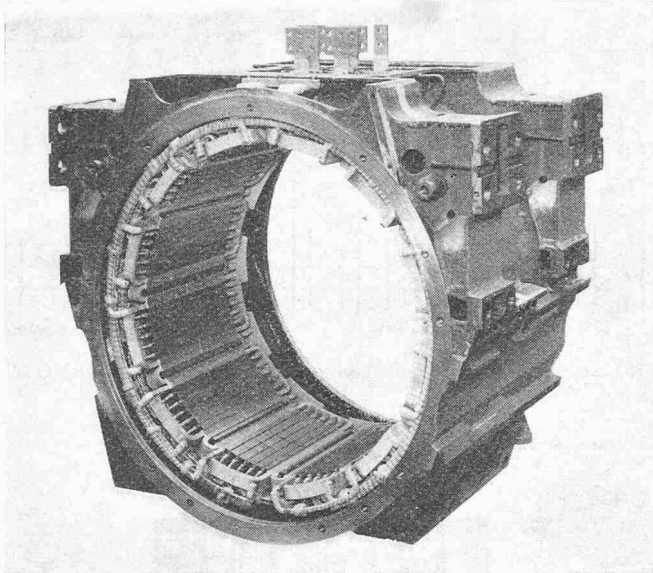


Bild 34. Fahrmotor – Stator

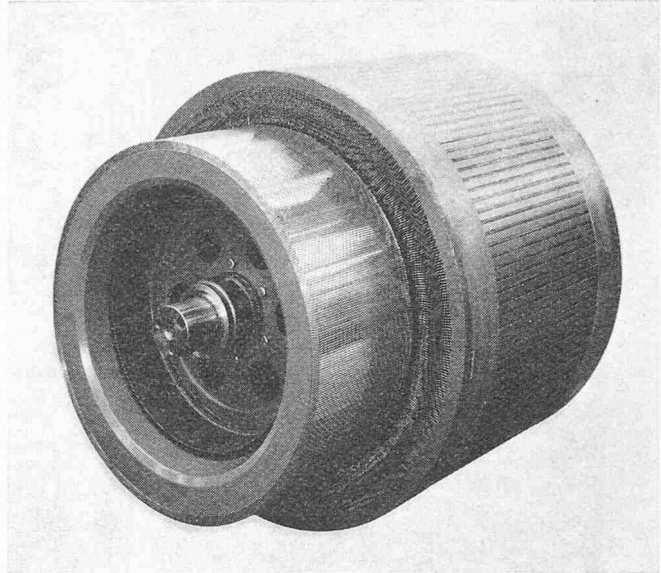


Bild 35. Fahrmotor – Rotor

durchmesser und eine auf 390 mm leicht vergrößerte Eisenlänge. Ebenfalls zugenommen hat der Kollektordurchmesser; er beträgt 655 mm. Die zugehörige Umfangsgeschwindigkeit erreicht bei Höchstdrehzahl (entsprechend 140 km/h) 55 m/s. Geringer als bei der Re4/4^{II} fällt die Reaktanzspannung aus, da eine weniger tiefe und breitere Nute zur Ausführung gelangte. Der ohmisch-induktive Wendepolshunt bewirkt bei etwa 87 km/h eine vollständige Kompensation der transformatorischen Spannung. Bei gleichbleibender Shuntung würde dabei bei Höchstgeschwindigkeit sich eine nicht kompensierte transformatorische Restspannung von etwa 2 V ergeben, die zum grösseren Teil vom Drehzahlüberschuss und zum kleineren Teil von der Feldschwächung herrührt. Um diesen Restwert auf etwa einen Viertel zu verringern, wurde bei Geschwindigkeiten über 115 km/h oder bei Feldschwächung eine Umschaltung im Shuntstromkreis des Wendepols vorgesehen, die den induktiven Anteil des Shunts vergrößert.

Die zweifache Parallelwicklung ist in offene, achsparallele Nuten eingelegt. Jede Nute weist acht Leiter auf (Bild 37), was bei dieser Wicklung eine Symmetrierung der Reaktanzspannung bezüglich der Drehrichtung erlaubt. Die Ausgleichsleiter 1. Ordnung sind antriebsseitig auf einem besonderen, auswechselbaren Tragring angeordnet; diejenigen 2. Ordnung sind in total 16 Bündel zusammengefasst und so unter dem aktiven Eisen hindurch auf die Gegenseite geführt.

Für die Isolation der Ankerwicklung gelangen zwei verschiedene Systeme der Klasse H für je die Hälfte der Prototypmotoren zur Anwendung. Beide Systeme weisen die gleiche Kapton-Isolation der Ankerleiter auf (Bild 37), die auf das nackte Kupfer aufgesintert ist. Der übrige Isolationsaufbau sei kurz skizziert:

Elastomer-Isolation (ohne Imprägnierung)

Die Leiterbündel werden mit Glas-Glimmervlies-Silikon-Elastomerbändern umbandelt, vulkanisiert und anschliessend in die Nuten gelegt. Eine Imprägnierung der fertigen Wicklung erfolgt nicht, da die Isolation aus Film bzw. vorimprägniertem Material besteht. Hingegen wird das unbewickelte Blechpaket mit einem Epoxidharz «versiegelt», um der Aufnahme von Feuchtigkeit vorzubeugen. Hohlräume in den Wicklungsköpfen werden mit Silikonharzkitt und Silikon-Elastomermasse ausgefüllt. Das arbeitsmässig recht aufwendige Isolationsprinzip kam, mit Ausnahme der Kapton-Leiterisolation, bei der ganzen Serie der Re4/4^{II}- und Re4/4^{III}-Motoren zur Anwendung. Die guten Betriebs Erfahrungen beziehen sich damit auf eine breite Grundlage.

«Kompakt»-Isolation (mit Imprägnierung)

Die Leiterbündel sind mit einer Nomex-M-Folie umwickelt, gepresst und anschliessend in die Nuten eingelegt. Die fertige Ankerwicklung wird in einem Vakuum-Druckverfahren mit lösungsmittelarmem Silikonharz der Klasse H imprägniert, wobei die saugfähige Nomex-M-Folie ihre endgültigen elektrischen und mechanischen Eigenschaften erhält. Hohlräume im Wickelkopf werden vor der Imprägnierung mit saugfähigem Material ausgefüllt.

Die Ausgleichsleiter 1. und 2. Ordnung sind ebenfalls mit Kapton isoliert und – bei allen Motoren – zusätzlich mit Elastomer-Band eingebunden.

Die durch Glasfaserbandagen festgehaltenen Wicklungsköpfe werden mit Silikon-Elastomermasse gegen aussen ab-

Tabelle 4. Hauptdaten des Fahrmotors der Re6/6

Typ		12 FHW 7659
Spannung	dauernd	560 V
	einstündig	560 V
	maximal zulässig	620 V
Strom	dauernd	2400 A
	einstündig	2600 A
	maximal	3440 A
Leistung	an der Welle	
	dauernd einstündig	1239 kW 1338 kW
Drehzahl	bei Dauerleistung	1265 U/min *)
	bei Stundenleistung	1205 U/min
	bei Höchstgeschwindigkeit	1600 U/min
Schleuderdrehzahl		2000 U/min
Drehmoment an der Welle	dauernd	955 mkp
	einstündig	1080 mkp
	maximal	1610 mkp
Statorisolation		Klasse H
Rotorisolation		Klasse H
Gewicht, ohne Ritzel		3880 kg
Kühlluftmenge bei 190 mm WS		200 m ³ /min
transformatorische Spannung e_{tr}	bei Stundenstrom	2,60 V
	bei Maximalstrom	2,92 V
Feldschwächung $\left(\frac{I_{Feld}}{I_{Anker}}\right)$ bei I_{1h}		78 %

*) 1600 U/min bei Feldschwächung

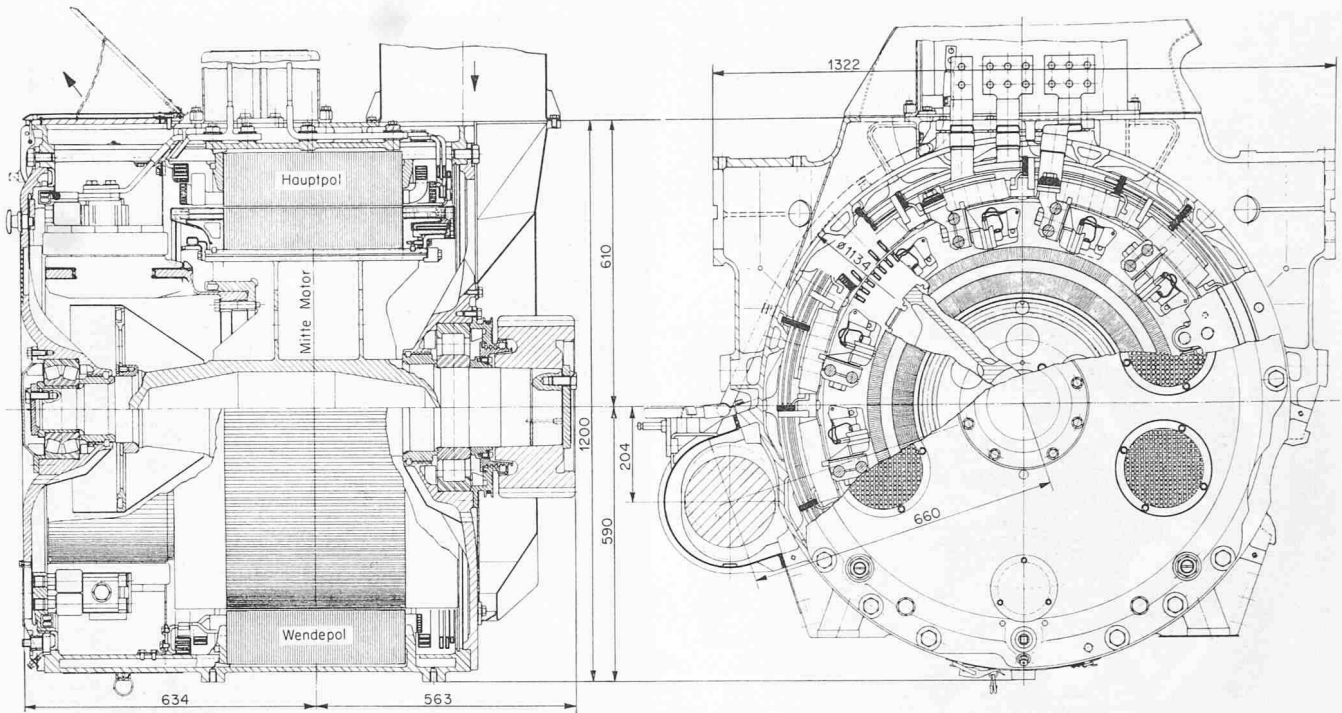


Bild 36. Längs- und Querschnitt durch den Fahrmotor

geschlossen. Die dauernd elastisch bleibende Vergussmasse schützt die Wicklungsköpfe gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und Schmutz und erlaubt der Wicklung die erwärmungsbedingten Relativbewegungen, ohne dabei eine mechanische Abnutzung zu erleiden. Die Kollektorfasen sind S-förmig ausgebildet und bestehen aus Beryllium-Bronze. Dieses Material weist eine grosse Dauerwechselfestigkeit auf und garantiert die angestrebte Lebensdauer der Fasen.

Beim Bau des Kollektors gelangten neue Konstruktionen, die sich bei stationären Maschinen bereits bewährt haben, zur Ausführung. Die einzelnen Lamellen sind durch zwei Schrumpfringe, die in stark erwärmtem Zustand eingesetzt werden, zusammengehalten. Der eine Schrumpfring dient gleichzeitig als Träger des Kollektors (Bild 36). Zwischen den Schrumpfringen und den Kollektorlamellen befindet sich eine Kapton-Isolierschicht; sämtliche Zwischenräume sind mit Vergussmassen ausgefüllt. Deren Oberfläche ist – wie die Innenseite des Lamellenkörpers – mit einem Schutzlack gestrichen.

Dieser Kollektor in einseitig fliegender Bauart weist bei einfachem Aufbau bedeutende erwärmungsmässige Vorteile auf. Die Kühlluft kann praktisch die ganze Innenfläche des Lamellenkörpers bestreichen und dadurch eine sehr wirkungsvolle Kühlung erzielen.

Der Bürstenapparat, Bild 39, besteht aus zwölf Bürstenhaltern der von den SBB entwickelten, bewährten Bauart Giambonini, die auf einem drehbaren Bürstenring montiert sind. Jeder Bürstenhalter enthält fünf armaturlose Zwillingskohlen von $(2 \times 5,5) \times 50$ mm Querschnitt und 65 mm Länge.

Die Isolationen der Statorwicklungen entsprechen ebenfalls der Klasse H. Bild 38 zeigt als Beispiel einen Schnitt durch eine Hauptpolspule. Die einzelnen Leiter sind durch Zwischenlagen aus Glas-Silikon distanziert; die ganze Spule wird mit saugfähigem Glimmervlies-Glasgewebeband isoliert und im Vakuum-Druckverfahren mit lösungsmittelfreiem Silikonharz (Klasse H) imprägniert, wodurch eine kompakte Isolation mit guter Wärmeleitfähigkeit entsteht. Nach dem Ein-

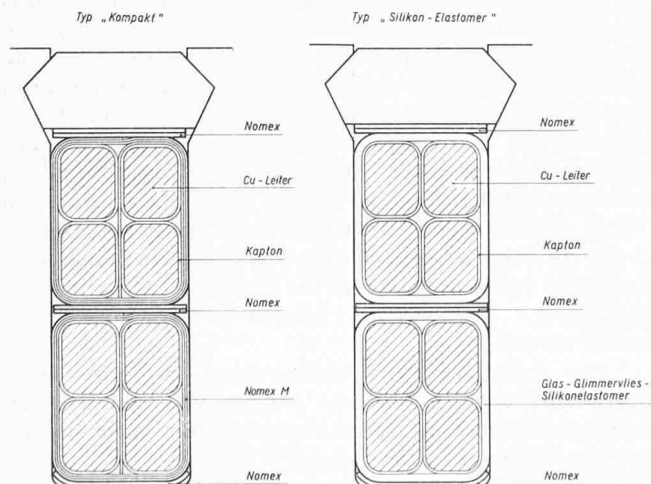


Bild 37. Schnitt durch eine Ankernute des Fahrmotors

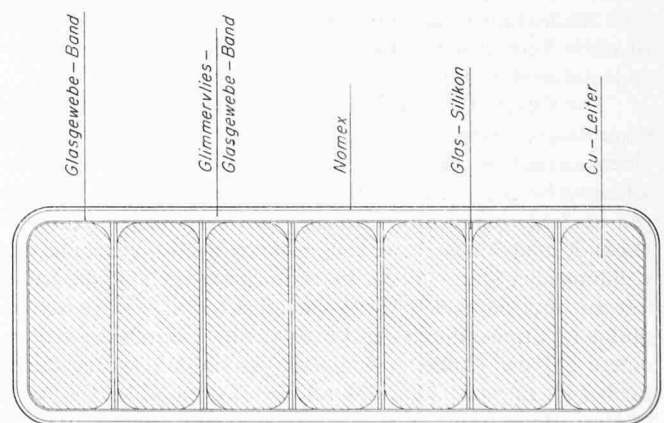


Bild 38. Schnitt durch eine Hauptpolspule (Erregerwicklung) des Fahrmotors

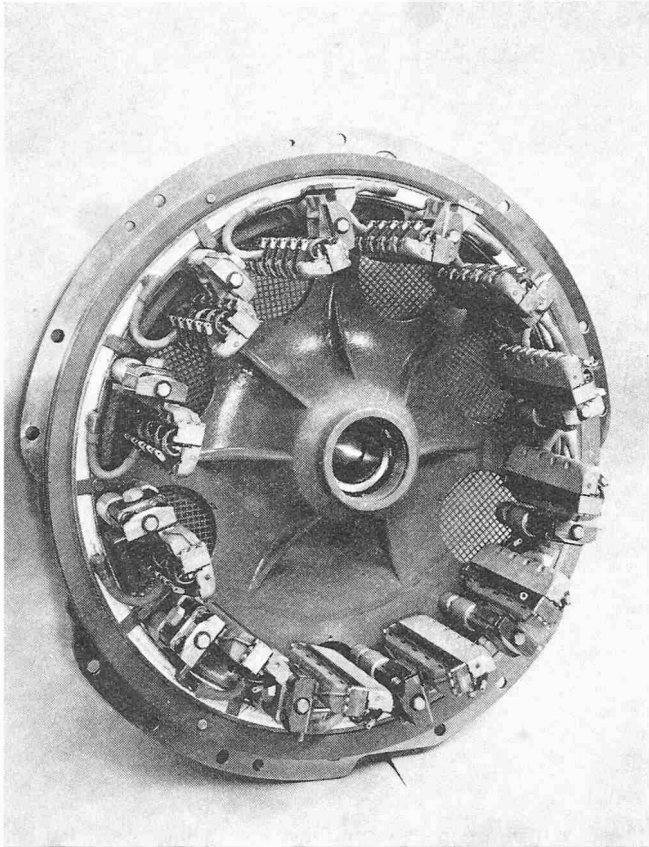


Bild 39. Bürstenring mit Bürstenhaltern des Fahrmotors, eingebaut in das zugehörige Lagerschild

bau der Kompensationswicklung und der Schaltverbindungen wird der ganze Stator nochmals mit Silikonharz imprägniert.

Stator und Rotor stellen Schweisskonstruktionen üblicher Bauart dar, wie aus den Bildern 34 und 36 hervorgeht. Beim Rotor wurde eine Hohlwelle verwendet, deren zwei Wellenteile vorgängig ausgedorn und dann zusammengeschweisst werden. Der das aktive Eisen samt Wicklung tragende Rotorstern, mit dem auch der Kollektorring verschraubt ist, wurde direkt an die Hohlwelle aufgeschweisst. Die Lagerschilder sind aus Stahlguss gefertigt; auf der Kollektorseite gelangte ein Pendelrollenlager Typ 22316 M/C3 mit zylindrischer Abziehhülse, auf der Ritzelseite ein Zylinderrollenlager Typ NU334 M/C4 zum Einbau. Beide Lager sind mit Fettdauerschmierung versehen. Auf Grund der bisherigen Erfahrungen mit ähnlichen Fahrmotoren konnte auf die ohnehin problematische Nachschmierung im Betrieb verzichtet werden. Das Ritzel ist ohne Verdrehsicherung auf dem leicht konischen Wellenende aufgeschraubt.

Die Kühlluft wird auf der Antriebsseite in den Fahrmotor eingeblasen. Dabei wird ein Teil dieser Luft vorerst durch einen ausserhalb des Lagerschildes, neben der Zahnradverschaltung befestigten Hilfsluftkanal geleitet und durch Öffnungen im Lagerschild direkt an die Statorwicklungen geblasen. Diese Massnahmen bewirken eine möglichst gleichmässige Kühlung aller Statorspulen. Im Motorinnern gelangt die Kühlluft auf drei parallelen Wegen, nämlich durch die Zwischenräume im Stator, durch den Luftspalt sowie durch das Rotorinnere auf die Kollektorseite, von wo sie den Motor durch Löcher im Lagerschild und durch den oberen Kollektordeckel verlässt. Der durch das Rotorinnere geblasene Luftanteil strömt dabei teilweise durch die Fahnenwand, teilweise durch das Kollektorinnere auf die Kollektorseite.

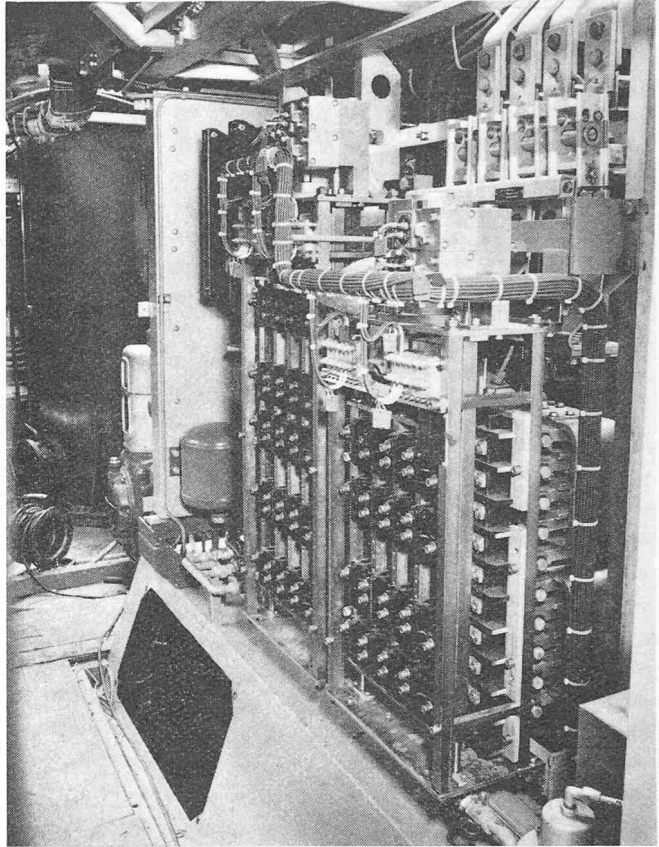


Bild 40. Umschalter Fahren/Bremsen (links) und Wendeschalter (rechts). Über dem Wendeschalter sind die Trenner Schema Pos. 29.1 sichtbar.

3.7 Die Schaltapparate in den Fahrmotorstromkreisen

Je ein Wendeschalter und ein Umschalter Fahren/Bremsen dienen zur Herstellung der notwendigen Verbindungen in den Stromkreisen der zwei Fahrmotoren jedes Drehgestells. Sie sind nebeneinander in einem Hauptapparaterüst, das über jedem Drehgestell angeordnet ist, eingebaut. Die Schalter der neuen Baureihe BWU 15.08 für zwei Betriebsstellungen (Bild 40) sind nach dem Baukastensystem aufgebaut und können daher aus normalisierten Einzelteilen für jedes beliebige Schaltprogramm zusammengestellt werden. Sie stellen eine Symbiose und Weiterentwicklung der älteren Schalter der Typen BBC BW (für 2 Betriebsstellungen) und MFO WBP (für 4 Betriebsstellungen) dar.

Vom BBC-Schalter wurde der sehr einfache, doppelt wirkende Druckluftantrieb übernommen, der den beweglichen Schalterteil unmittelbar in der Vertikalebene verstellt. Vom MFO-Schalter stammt das verbesserte Hauptkontaktsystem, im vorliegenden Falle in einer Ebene angeordnet. Die Hauptkontakte sind als Messerkontakte ausgebildet; die «Messer» befinden sich am festen, die Gegenstücke am beweglichen Schalterteil. Jeder Kontakt vermag einen Dauerstrom von 750 A zu führen und erträgt momentan einen Kurzschlussstrom von etwa 80 kA, ohne dass dadurch seine Funktionstüchtigkeit beeinträchtigt wird. Die Kontakte sind vom Seitengang her gut zugänglich und können im Bedarfsfall einzeln ersetzt werden.

Die Aufteilung der Umschaltungen «Vorwärts/Rückwärts» und «Fahren/Bremsen» auf zwei verschiedene Schalter verspricht einen geringeren Verschleiss. Bei einem Schalter mit vier Stellungen (zum Beispiel Re4/4^{II}/Re4/4^{III}) werden bei jeder Umschaltung «Vorwärts-Rückwärts» die beiden Bremsstellungen ebenfalls überschaltet und deren Kontakte

abgenützt; bei der Re6/6 bleibt in diesem Fall der Umschalter «Fahren/Bremsen» unberührt. Dafür steigt bei Verwendung getrennter Schalter der steuerstromseitige Aufwand für Verriegelungen.

Neben den zwei Umschaltern pro Drehgestell sind in jedem Hauptapparaterüst je zwei Trennhüfner für die Fahrmotoren, je zwei Parallelschalhüfner für die Fahrmotorfelder, je zwei Trennmesser zum Abschalten defekter Umschalter oder Fahrmotoren und – bei den Gerüsten 2 und 3 – je zwei Feldschwächhüfner eingebaut.

Die elektropneumatischen Trennhüfner, Typ PH10.25, [6], entsprechen der bewährten, bereits bei den Re4/4^{II}- und Re4/4^{III} verwendeten 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 Hüfners 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 aus Kunstharz gefertigten Kaminwände eingesetzt. Der Hüfner erweist sich als sehr betriebssicher und verlangt nur einen geringen Unterhalt.

Aus der gleichen Hüfner-Baureihe stammen die Feldschwächhüfner Typ PH15.14. Dieser Hüfner wird auch als 1000-V-Heizhüfner verwendet. Analog, jedoch mit grösseren Isolierdistanzen, ist der 3000-V-Heizhüfner Typ PH30.14 gebaut.

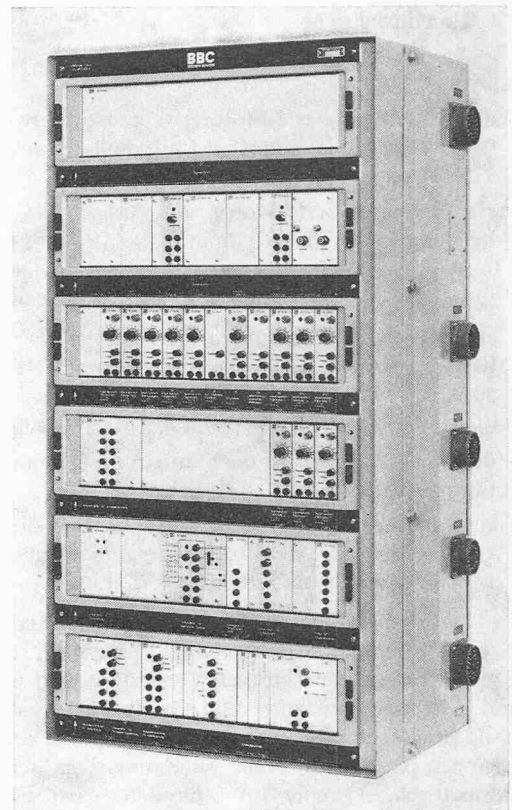


Bild 41. Elektronikschrank BBC

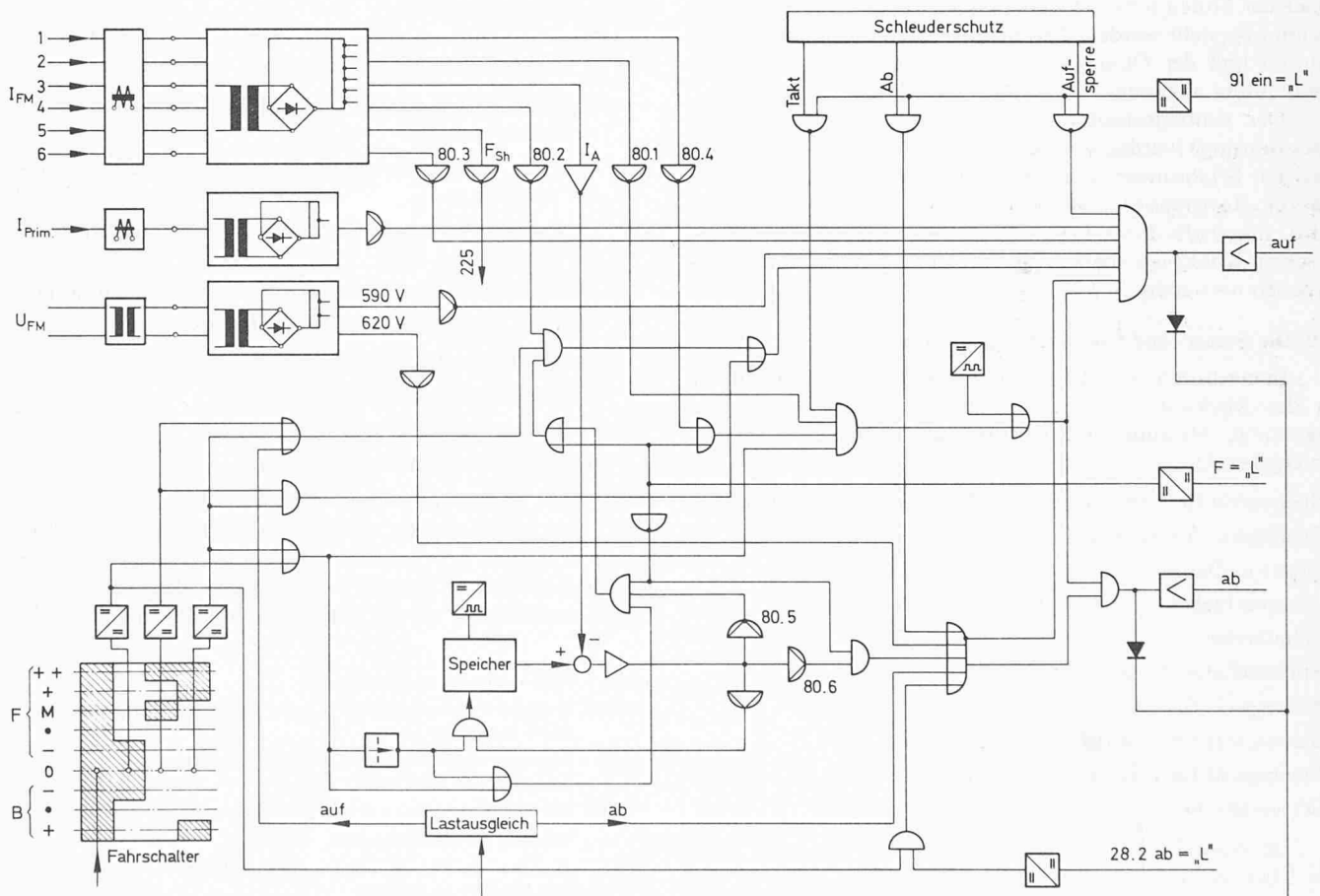


Bild 42. Prinzipschema der Stufenschaltersteuerung

F Fahren
B Bremsen

I_{FM} Fahrmotorstrom
 I_{prim} Primärstrom

U_{FM} Fahrmotorspannung
91 Schleuderschutzgerät

225 Steuergerät für Shuntstufen
28.2 Hüfner für Feldschwächung

3.8 Die Hilfsbetriebe

An die Hilfsbetriebeversorgung von rund 240 V sind angeschlossen:

- drei Einphasen-Serie-Motoren zum Antrieb der drei Ventilatoren (Radialbauart). Motorenhauptdaten: 22 kW, 2750 U/min
- ein Einphasen-Serie-Motor zum Antrieb des Kompressors, Leistung 19 kW, 2300 U/min
- zwei kollektorlose Kondensatormotoren zum Antrieb der beiden Ölpumpen, Leistung je 2,8 kW bei 930 U/min
- ein statischer Umformer zur Ladung der 36-V-Steuerstrombatterie, Bauart Leclanché «Transicomm III», Ladestrom 50 A
- die Führerstandheizung (total 4,5 kW pro Führerstand)
- der Messwertgeber für die Fahrleitungsspannungsanzeige im Führerstand
- ein Einphasen-Serie-Motor, zum Antrieb des Hochdruckkompressors für die Luftfederung (vorläufig Lokomotive 11 604). Motorhauptdaten: 6,8 kW, 1300 U/min.

Die drei Ventilatorgruppen werden entweder mit halber (Schwach-Ventilation) oder voller Spannung (Stark-Ventilation) betrieben. Bei Schwach-Ventilation sind die Gruppen 2 und 3 in Serie geschaltet und Gruppe 1 an einen Vorwiderstand angeschlossen; bei Stark-Ventilation arbeiten alle 3 Gruppen parallel mit voller Spannung. Die Steuerung erfolgt automatisch, entweder auf «schwach» beim Einschalten des Hauptschalters, solange die Geschwindigkeit 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 Ölpumpe wird überwacht und dem Lokomotivführer angezeigt.

Der Ventilatormotor samt Ventilatorrad und die Kompressorgruppe wurden von der Re4/4^{II} übernommen. Die bisherigen Erfahrungen mit diesen Kollektormotoren zeigen, dass ein Revisionsintervall von mindestens 1,2 Mio km erreicht wird. Innerhalb dieser Frist sind im Normalfall ausser periodischem Kohlebürstenersatz und Reinigung keine Unterhaltsarbeiten notwendig.

3.9 Die Steuer- und Überwachungselektronik

In einem zentralen Elektronikblock Bauart BBC (Bild 41) in der Rückwand des Führerstandes 1 sind folgende der Steuerung, Messung und Überwachung dienende Elemente untergebracht:

- Speisegerät für Überwachungsrelais (liefert ± 15 V stabilisiert)
- Speisegerät für Steuerteil (liefert ± 15 V stabilisiert)
- Messwandlerblock
- Messwertgeber für Strom- und Spannungsanzeige
- Schutzrelais
- Stufenschalter-Steuergerät
- Steuergerät für Lastausgleich
- Steuergerät für elektrische Bremse
- Steuergerät für Primärstrombegrenzung
- Schleuderschutz

Im Notfall kann das Speisegerät für den Steuerteil auch die Überwachungsrelais mit Strom versorgen.

Die weitgehend in Digitaltechnik, unter Verwendung integrierter Schaltungen verwirklichte Elektronik arbeitet mit einer Spannung von 15 V. Die einzelnen Teile sind steckbar (Prints oder Parts) und – soweit identisch – gegenseitig vertauschbar.

Durch einen sinnvollen Steckercode werden Verwechslungen verhindert.

3.10 Die Stufenschaltersteuerung

Die erstmals 1959 bei den Prototyp-Triebwagen RBe4/4 1401–1406 verwirklichte halbautomatische Steuerung mit Strombegrenzungsrelais, die in erweiterter und verbesserter Form ab 1963 für die Serie-Triebwagen und die Re4/4^{II}- und Re4/4^{III}-Lokomotiven verwendet wurde, gelangte auch bei den vier Re6/6-Lokomotiven zum Einbau. Die als Befehlsgebersteuerung bezeichnete Schaltung wird vom Lokomotivpersonal sehr geschätzt und zeichnet sich durch grosse Zuverlässigkeit aus. Folgende Triebfahrzeuge sind mit dieser Steuerung ausgerüstet:

			PS
82 Triebwagen	RBe4/4 1401–82	der SBB ¹⁾	(2800)
1 Triebwagen	ABDe4/4 171	der GFM ¹⁾	(1460)
3 Triebwagen	ABDe4/4 6–8	der MO ¹⁾	(1460)
5 Triebwagen	ABDe4/4 11–15	der MThB ¹⁾	(1460)
2 Triebwagen	BDe4/4 1, 2	der WM ¹⁾	(1460)
1 Triebwagen	ABDe4/4 103	der RVT ¹⁾	(1460)
2 Triebwagen	ABDe2/4 101, 102	der RVT	(560)
204 Lokomotiven	Re4/4 ^{II} 11 101–11 304	der SBB	(6500)
1 Lokomotive	Re4/4 ^{II} 21	der MThB	(6500)
20 Lokomotiven	Re4/4 ^{III} 11 351–370	der SBB	(6500)
2 Lokomotiven	Re4/4 ^{III} 111, 112	der EBT ¹⁾	(6500)
1 Lokomotive	Re4/4 ^{III} 41	der SOB ¹⁾	(6500)
4 Lokomotiven	Re6/6 11 601–604	der SBB	(10920)

Alle diese total 328 Triebfahrzeuge können miteinander in Vielfachsteuerung verkehren. Deren weitgehend einheitliche Bedienung erleichtert den betrieblichen Einsatz (auch auf Strecken von Privatbahnen) und ermöglicht Einsparungen an Personal und Leerfahrten.

Die Steuerung beruht auf dem «Auf-Ab»-Prinzip, Bild 42. Der Fahrshalter weist folgende Stellungen auf:

- ++ Rasches Umschalten mit maximalem Zuschaltstrom bis zur obersten Stufe
- + Rasches Umschalten mit verringertem Zuschaltstrom bis zur obersten Stufe
- M Langsames Umschalten mit verringertem Zuschaltstrom bis zur obersten Stufe
- Festhalten des Stufenschalters auf der erreichten Stufe
- Rasches Abschalten des Stufenschalters
- 0 Trennhüpfen aus, Verriegelungsstellung
- Abschalten der Rekuperationsbremse
- Festhalten des erreichten Bremsstroms
- + Rekuperationsbremse aufschalten

In der Nullstellung steht der Fahrshalterhebel waagrecht; zum Beschleunigen verstellt ihn der Führer nach vorn, für die Bremsung bewegt er ihn gegen sich. Vom Fahrshalter werden die einzelnen Befehle in einer minimalen Anzahl Leitungen verschlüsselt an die Stufenschalterelektronik übermittelt.

¹⁾ SBB	Schweizerische Bundesbahnen
GFM	Gruyère–Fribourg–Morât (Linien Fribourg–Morât–Anet und Bulle–Romont)
MO	Martigny–Orsières (Linien Martigny–Orsières und Sembrancher–Le Châble)
MThB	Mittel-Thurgau-Bahn (Linie Kreuzlingen–Weinfelden–Wil)
WM	Wohlen–Meisterschwanden
RVT	Régional du Val de Travers (Linien Travers–Fleurier–Buttes und Fleurier–St-Sulpice)
EBT	Emmental–Burgdorf–Thun (Linien Solothurn–Burgdorf–Konolfingen–Thun und Hasle–Rüegsau–Langnau)
SOB	Schweizerische Südostbahn (Linien Arth–Goldau–Rapperswil und Wädenswil–Einsiedeln)

telt, 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 Re6/6: 2150 A), dann langsames Weiterschalten, bis das Relais 80.3 sperrt (bei der Re6/6: 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 Re6/6: 2400 A = Rückfallwert des Relais 80.2)

Aufschalten M Langsames Aufschalten, bis das Relais 80.2 sperrt

Stellung · Stufenschalter bleibt stehen

Abschalten – Langsames Abschalten, solange das Relais 80.1 angesprochen hat, dann schnelles Abschalten

Abschalten 0 Trennhüpfen öffnen, ohne Einwirkung der Steuerelektronik, Stufenschalter schaltet schnell ab

Bremsen:

Aufschalten + Schnelles Aufschalten bis zum Ansprechen des Relais 80.4 (bei der Re6/6: 1750 A), dann langsames Weiterschalten, bis das Relais 80.5 sperrt (Re6/6: 2020 A = Rückfallwert des Relais 80.5)

Stellung · Der erreichte Bremsstrom wird gespeichert. Sobald er infolge fallender oder steigender Geschwindigkeit vom Sollwert wesentlich abweicht ($I_{soll} \pm$ rund 100 A), wird der Fehler durch Schaltbefehle an den Stufenschalter korrigiert

Abschalten – Langsames Abschalten bis zum Abfallen des Relais 80.4, dann schnelles Abschalten

Auf den Stellungen Bremsen + und · schaltet der Stufenschalter eine Stufe ab, sobald der Bremsstrom den Maximalwert von 2200 A erreicht (Ansprechwert des Relais 80.6).

Das Aufschalten des Stufenschalters wird zudem unterbrochen, wenn:

- die Fahrmotorspannung 590 V erreicht
- der Primärstrom auf einen einstellbaren Wert ansteigt (dieser beträgt bei den vier Prototyplokomotiven 1000 A und wird im Normalfall nicht erreicht)
- der Schleuderschutz, Stufe 1, anspricht.

Das Zurückschalten des Stufenschalters erfolgt, wenn:

- die Fahrmotorspannung 620 V erreicht ist
- der Schleuderschutz, Stufe 2, anspricht
- der Lastausgleich eine Lastreduktion verlangt.

Wenn der Lastausgleich eine Entlastung der übrigen in Vielfachsteuerung verbundenen Triebfahrzeuge verlangt, bewirkt er ein Aufschalten des Stufenschalters.

Im Falle einer Störung an der Steuerelektronik für den Stufenschalter kann diese umgangen werden. Nach Umstellen eines Steuerschalters lassen sich das «Auf»- und «Ab»-Ventil des Luftmotors vom Fahrschalter her direkt ansteuern. 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 Handantrieb die Stellung des Fahrschalters an und übermittelt so die vom Führer gewünschten Schaltungen.

3.11 Die Steuerung der Feldschwächstufen

Die beiden Feldschwächstufen 33 und 34 werden wie der Stufenschalter vom Fahrschalter aus angesteuert. Steht dieser

auf der Stellung Fahren ++, + oder M, so werden die Feldschwächstufen freigegeben, sobald der Stufenschalter auf Stufe 32 steht (oder Stufe 28 bis 31 und die Fahrmotorspannung 590 V überschreitet) und der Fahrmotorstrom auf 2600 A absinkt.

Bei 15 kV Fahrdrachtspannung sind obige Bedingungen (Stufenschalter auf Stufe 32 und Fahrmotorstrom 2600 A) für die erste Feldschwächstufe bei 110,6 km/h, für die zweite Feldschwächstufe bei 119 km/h erfüllt. Bei Fahrdrachtspannungen unter 15 kV liegen diese Geschwindigkeiten entsprechend tiefer. Das Aufschalten bis zu den obersten Stufen auf Stellung ++ ist aus den Bildern 24 und 26 ersichtlich.

Beim Abschalten aus der zweiten Feldschwächstufe (Fahrschalterstellung –) schaltet diese sofort, die erste Feldschwächstufe leicht und der Stufenschalter etwas stärker verzögert ab.

3.12 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 genügt für die Übermittlung aller Stufensteuerungsbefehle sechs Leitungen, nämlich je eine für Trennhüpfen «Fahren», Trennhüpfen «Bremsen», Stufenschalter «Abschalten», «Lastausgleich» und zwei für Stufenschalter «Aufschalten». Es standen somit bei Verwendung der bewährten BBC-Steuernstrom-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 Re6/6-Führerstand sind so entworfen, dass von einem Führerstand aus zwei Triebfahrzeuge gesteuert werden können. Dabei sind auch zwei Fahrzeuge unterschiedlicher Charakteristik (zum Beispiel eine Re6/6 und ein RBe4/4-Triebwagen) zulässig.

Die Bedienung erfährt (abgesehen von der Begrenzung der totalen Bremskraft aller Triebfahrzeuge zur Vermeidung zu hoher Pufferkräfte) 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 Fahrzeuges 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 Fahrzeuges. Dabei wird durch eine sinnvolle Wahl des Wandler-Übersetzungsverhältnisses bei jedem Fahrzeug das Vergleichssignal so gebildet, dass es bei allen Fahrzeugtypen bei deren Fahrmotornennstrom 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 ge-

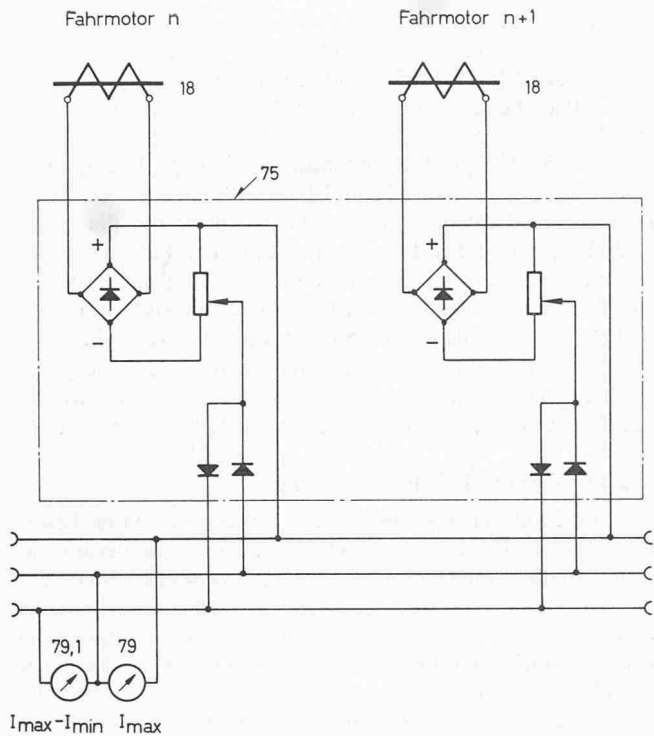


Bild 43. Prinzipschema der Fahrmotorstrommessung. 18 Stromwandler für Fahrmotorstrom, 75 Messwertgeber, 79, 79.1 Instrumente im Führerstand

wählt, dass bei genügend guter Wirkung möglichst kein Pendeln der Stufenschalter auftritt.

3.13 Die Messstromkreise und die Schutzrelais

Da die Lokomotiven, wie erwähnt, mit bereits bestehenden Fahrzeugen in Vielfachsteuerung verkehren müssen, war die grundsätzliche Ausführung der Messstromkreise bereits gegeben.

Die seinerzeit von den SBB entwickelte Schaltung erfordert wenig Adern in der Vielfachsteuerleitung und keinerlei Umschaltungen in den Sekundärkreisen der Stromwandler. Sie 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 Amperemeter geeigneten 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 43). Die Elemente der Strommessung sind mit denjenigen der grundsätzlich gleich aufgebauten Fahrleitungsspannungsmessung (die Hilfsbetriebsspannung wird dazu benützt) im Messwertgeber des Elektronikblocks zusammengefasst.

Der erwähnte Messblock speist ab weiteren Sekundärwicklungen die elektronischen Schutz- und Überwachungsrelais. Diese Relais einer neuen Baureihe überwachen

- den Primärstrom des Reguliertransformators
- den Strom in der Hochspannungszuleitung zum Leistungstransformator
- den Zugheizstrom
- den Hilfsbetriebstrom
- die Ströme der sechs Fahrmotoren
- den Erregerstrom der elektrischen Bremse

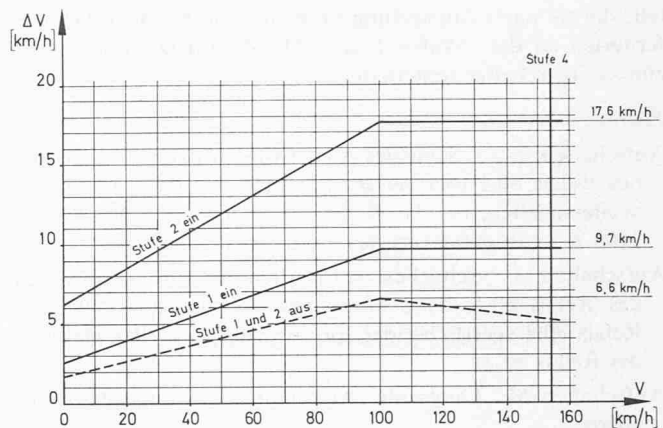


Bild 44. Charakteristik der Schleuderschutzvorrichtung, V Fahrzeuggeschwindigkeit, ΔV Relativgeschwindigkeit zwischen Rad und Schiene

- den Strom im Übersaltwiderstand
- den Erdschlussstrom
- die minimale Fahrleitungsspannung (bzw. die Hilfsbetriebsspannung).

Werden die zulässigen Werte der überwachten Ströme oder Spannungen überschritten, so lösen diese Relais den Hauptschalter aus. Jede Auslösung wird am Relais durch Aufleuchten einer Meldelampe angezeigt und festgehalten (einzig das Minimalspannungsrelais besitzt keine solche Lampe). Diese Lampe kann nur durch Betätigen einer daneben angebrachten Rückstelltaste gelöscht werden. Je eine Prüftaste pro Relais dient der Meldelampenprüfung und der Funktionsprüfung des Relais samt Auslösestromkreisen.

3.14 Die Schleuderschutzvorrichtung

Obwohl dank besonderer Massnahmen (Tiefanlenkung, günstige Zugkraftcharakteristik mit kleinem Wert dy/dz , geringe Stufensprünge ohne Zugkrafteinbrüche, Parallelschaltung der Fahrmotorfelder, Sandstreuvorrichtung) ein gutes Adhäsionsverhalten der Re6/6 zu erwarten ist, durfte auf den Einbau einer wirksamen Schleuderschutzvorrichtung nicht verzichtet werden. Deren Aufgabe besteht darin, den Schlupf der einzelnen Radsätze zu überwachen und einzugreifen, wenn eine Achse den dem grössten Adhäsionskoeffizienten zugehörigen Wert überschreitet oder zu überschreiten droht. Die Vorrichtung hilft dadurch mit, die verfügbare Adhäsion, besonders bei mittelmässigem oder schlechtem Schienenzustand, besser auszunützen.

Der Re6/6-Schleuderschutz stellt eine Weiterentwicklung desjenigen der Re4/4^{II} dar. Dieser wies gegenüber älteren Einrichtungen bedeutende Vorteile auf, insbesondere in bezug auf die Wirksamkeit. Er war aber noch nicht in jeder Beziehung optimiert und auch nicht vollständig betriebssicher. Die inzwischen bei den Re4/4^{II} durchgeführten Verbesserungen haben die Konzeption des Re6/6-Schleuderschutzes mitbeeinflusst.

Die Bedingungen, denen der Re6/6-Schleuderschutz gerecht werden musste, wurden anhand eingehender Versuche [7] und der Betriebserfahrungen mit der Re4/4^{II} und der Re4/4^{III} ermittelt; es sind dies:

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

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

Die bei den Re6/6 eingebaute Einrichtung erfüllt diese Forderungen. Sie beruht auf dem Drehzahlvergleich der einzelnen Achsen und wirkt nach folgendem Programm (siehe auch Bild 44):

- 1. Stufe:** Bei einem Drehzahlunterschied entsprechend $\Delta V = 2,6 + 0,071 V \text{ km/h}$ (für $V = 0$ bis 100 km/h) bzw. $\Delta V = 9,7 \text{ km/h}$ (für $V = 100$ bis 140 km/h) tritt die Schleuderbremse der schneller drehenden Achse in Funktion (rund $0,8 \text{ atü}$ Bremszylinderdruck); das Aufschalten des Stufenschalters wird gestoppt; eine Meldelampe im Führerstand macht den Führer auf das Ansprechen des Schleuderschutzes aufmerksam.
- 2. Stufe:** Steigt die Differenz-Drehzahl trotz des Abbremsens der schneller drehenden Achse weiter an, so wird bei einem Drehzahlunterschied entsprechend $\Delta V = 6,2 + 0,114 V \text{ km/h}$ (für $V = 0$ bis 100 km/h) bzw. $\Delta V = 17,6 \text{ km/h}$ (für $V = 100$ bis 140 km/h) zusätzlich der Stufenschalter abgeschaltet und die Schleuderbremse an allen Achsen angelegt.
- 3. Stufe:** Überschreitet die Drehbeschleunigung der am langsamsten drehenden Achse $1,5 \text{ m/s}^2$, so werden, wie bei Stufe 2, der Stufenschalter abgeschaltet, die Schleuderbremse aller Achsen angelegt und die blinkende Meldelampe im Führerstand eingeschaltet. Diese Wirkung bleibt bestehen, bis die Drehbeschleunigung unter 1 m/s^2 sinkt.
- 4. Stufe:** Erreicht eine Achse eine Drehzahl entsprechend 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 (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 «Schleudern» im Führerstand intermittierend auf und warnt den Führer, der nun seinerseits eingreifen muss, um den abnormalen Zustand zu beheben. Gerät beim Rekuperieren ausnahmsweise eine Achse ins Gleiten, wird die Bremskraft durch automatisches Abschalten des Stufenschalters verringert; die Schleuderbremse bleibt selbstverständlich gesperrt.

Die mehrfache Funktion des Schleuderschutzes konnte nur durch eine elektronische Auswertung und Verarbeitung der Eingangssignale betriebssicher verwirklicht werden. Jede Achse treibt einen auf dem Achsbüchdeckel montierten Hasler-Impulsgeber an; dessen drehzahlabhängige Impulsfolge wird an den Schleuderschutz weitergegeben und dort mit derjenigen der weiteren Achsen verglichen. Die Ausgangssignale der Elektronik steuern Relais, die die genannten Wirkungen hervorrufen. – Prüftasten dienen zur Funktionskontrolle der Schleuderschutzeinrichtung und der durch sie beeinflussten Apparate.

3.15 Die Geschwindigkeitsmessanlage

Erstmals bei einem SBB-Triebfahrzeug wird eine von Hasler AG, Bern, neu entwickelte Weg- und Geschwindigkeitsmessanlage verwendet. Diese besteht im wesentlichen aus einem Zentralgerät (Bild 45), das sich in der Rückwand des Führerstandes 2 befindet, sowie aus den beiden Anzeigeräten im Führertisch und aus den elektronischen Impulsgebern auf jeder Achse, die auch der Drehzahlmessung für den Schleuderschutz dienen. Im Zentralgerät erfolgt ein dauernder Vergleich der drehzahlproportionalen Impulsfrequenz der Geber auf den Achsen 2 und 5.

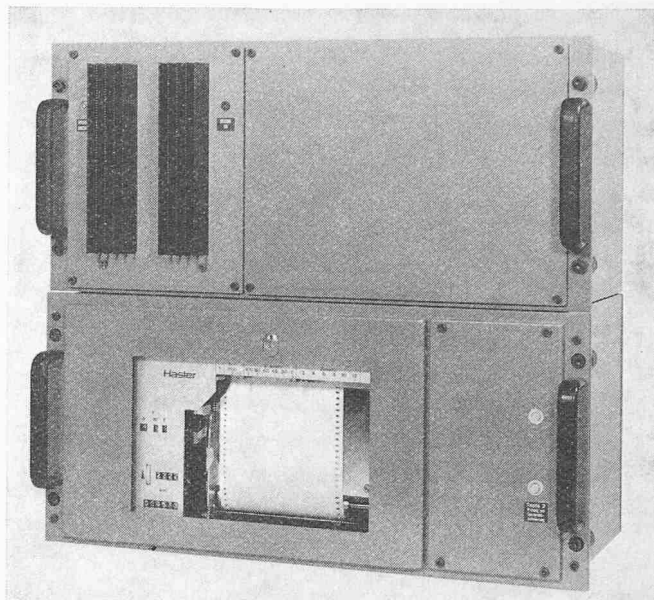


Bild 45. Zentralgerät der Weg- und Geschwindigkeitsmessanlage Hasler

Beim Fahren werden die Impulse des langsameren Gebers ausgewertet, beim Bremsen dagegen diejenigen des schnelleren. Abweichungen des Raddurchmessers vom Nennwert sind durch ein Korrekturglied berücksichtigt. Die gemessene Geschwindigkeit wird im Zentralgerät auf einer Farbscheibe und auf einem Papierstreifen registriert. Ebenfalls festgehalten sind die Marken der Zugsicherung und beim Papierstreifen die Zeit.

Zusätzlich befinden sich im Zentralgerät das Speisegerät für die ganze Anlage, der Kilometerzähler, der Sicherheitsapparat, der Impulsgeber für die Spurkranzschmierung und ein Satz Relais, die bei verschiedenen Geschwindigkeitsschwellen ansprechen und andere Apparate steuern (Ventilation schwach/stark, R-Bremse, Wendepolshunts der Fahrmotoren usw.).

Vom Zentralgerät wird die festgestellte Geschwindigkeit auf digitaler Basis auf das Anzeigergerät im besetzten Führerstand übertragen. Die Anzeigergeräte mit einer Rundskala für 0 bis 160 km/h enthalten zudem Meldelampen, von denen u. a. die eine den Führer warnt, wenn in der Geschwindigkeitsmessanlage ein Fehler auftritt.

Die richtige Funktion der ganzen Anlage kann im Stillstand des Fahrzeugs mittels einer Prüftaste im Zentralgerät weitgehend überprüft werden.

3.16 Die Sicherheitseinrichtungen

Die Lokomotiven sind mit einer wegabhängigen elektronischen Sicherheitssteuerung Hasler und der zweibegriffigen induktiven Zugsicherung Integra ausgerüstet. Der Sicherheitsapparat bildet einen Bestandteil des Hasler-Zentralgerätes; die Zugsicherung befindet sich in einem getrennten steckbaren Apparatkasten normaler SBB-Bauart.

Die Sicherheitssteuerung überwacht die Funktionen des Lokomotivführers. Unterlässt es dieser, während etwa 50 m Fahrweg das Sicherheitspedal niederzudrücken, so ertönt ein Summer. Betätigt der Führer das Sicherheitspedal 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 (Fahrschalter, Schleuderbremse oder automatische Bremse betätigen, Sicherheitspedal kurzzeitig loslassen) ausführt. Rea-

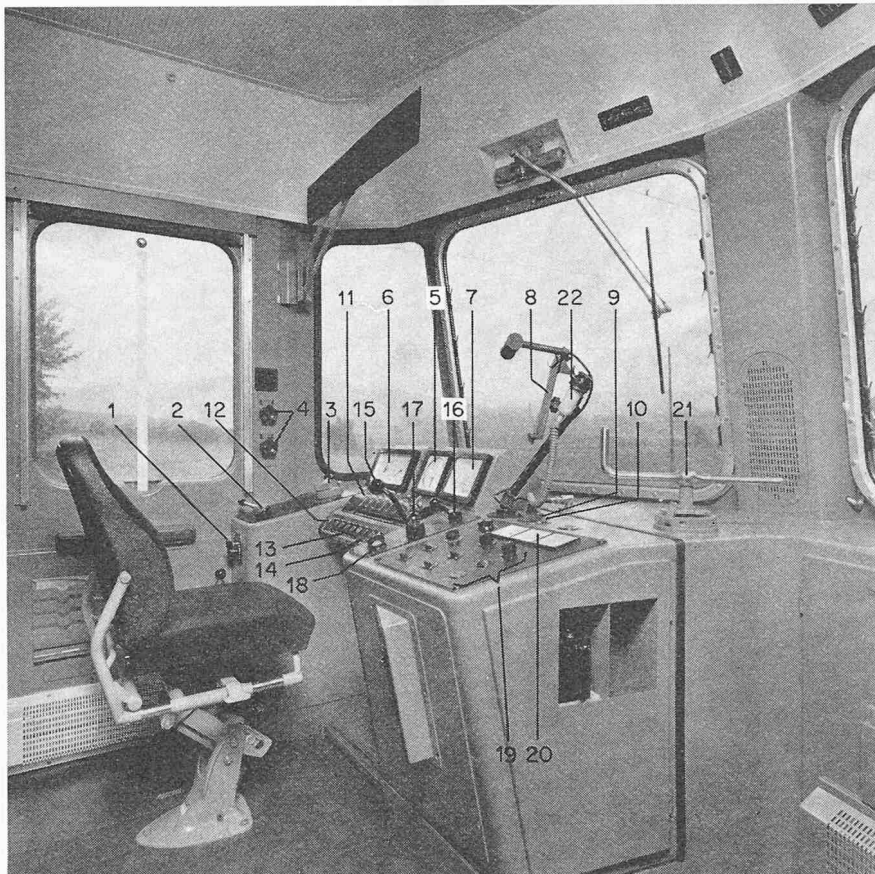


Bild 46. Führerstand

- 1 Sanderschalter
- 2 Bremsventil FD 1 für direkt wirkende Bremse
- 3 Führerbremsventil FV4a der automatischen Bremse
- 4 Hahnen für Fensterwischer
- 5 Anzeigegerät für Geschwindigkeit
- 6 Manometer-Block (Hauptleitungsdruck, Hauptluftbehälterdruck, Bremszylinderdruck)
- 7 Elektrische Messinstrumente (Fahrleitungsspannung, Fahrmotorstrom, Fahrmotordifferenzstrom)
- 8 Fahrplanhalter
- 9 Schalter zum Abstellen der Ventilatoren
- 10 Aschenbecher
- 11 Steuerschaltkasten
- 12 Schalter für Schleuderbremse (Handbetätigung)
- 13 Meldelampen
- 14 Schalter für Türschliessung, Schalter für Instrumentenabblendung und für Fahrplanbeleuchtung, Schalter für Zugsicherung (Fahrt - Manöver)
- 15 Fahrshalter
- 16 Fahrrichtungsschalter
- 17 Pfeifenschalter
- 18 Quittierschalter für Zugsicherung
- 19 Schalter für Beleuchtung und Führerstandsheizung
- 20 Messinstrumente (Batteriestrom, Batteriespannung, Zugheizung)
- 21 Handbremse
- 22 Sprechmikrofon der Zugfunkanlage

giert er auf diese Warnung nicht, so wird nach weiteren 200 m Weg der Zug wiederum durch eine Hauptschalterauslösung und Schnellbremsung angehalten.

Die induktive Zugsicherung spricht beim Überfahren eines geschlossenen Signals an. Handelt es sich um ein Vorsignal, so ertönt augenblicklich ein Summer, und der Sicherheitsapparat beginnt abzulaufen. Um eine Hauptschalterauslösung und Schnellbremsung nach 100 m Weg zu verhindern, muss der Führer einen gelb aufleuchtenden Quittierschalter bewegen und dadurch seine Aufmerksamkeit bestätigen. Nach diesem Vorgang erinnert während einiger Sekunden ein Nachblinken und Nachsummen den Führer an das vorherige Ansprechen der Zugsicherung.

Beim Überfahren eines geschlossenen Hauptsignals wird der Hauptschalter unmittelbar ausgelöst und eine Schnellbremsung eingeleitet. Dieser Vorgang wird ebenfalls durch einen Summer und eine rote Meldelampe im Quittierschalter angezeigt. Er kann nur durch Drücken einer Taste im Schaltschrank des Führerstandes 1 unterbrochen werden. Hiezu muss der Führer seinen normalen Standort verlassen. Jedes Ansprechen der Zugsicherung wird auf dem Geschwindigkeitsmesserstreifen und auf der Farbscheibe registriert.

Um im Rangierbetrieb oder in Störungsfällen geschlossene Hauptsignale überfahren zu können, ohne dass eine Schnellbremsung eintritt, muss der Führer eine Taste «M» (Manöver) niederdrücken. Vergisst er es irrtümlich, diese nach Beendigung der Rangierfahrt in die Normallage zurückzustellen, so ertönt beim Überschreiten einer Geschwindigkeit von 40 km/h ein Summer. Gleichzeitig leuchtet die gelbe Meldelampe im Quittierschalter auf, und der Sicherheitsapparat beginnt abzulaufen. Um eine Hauptschalterauslösung und eine Schnellbremsung nach 100 m Weg zu verhindern, muss der Führer die Geschwindigkeit wieder reduzieren oder die Taste «M» (Manöver) in die Normallage bringen.

3.17 Die Führerstandausrüstung

Die Anordnung der Bedienungs- und Anzeigeelemente ist weitgehend gleich wie bei den Re4/4^{II}- und Re4/4^{III}-Lokomotiven. Gegenüber diesen wurden lediglich der Manometerblock und das Anzeigegerät für die Geschwindigkeit gegenseitig vertauscht. Dadurch rückte die sehr wichtige Geschwindigkeitsanzeige noch mehr in das zentrale Blickfeld des Führers.

Auf der linken Seite sind, wie auf Bild 46 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 Manometer-Block mit je einem Manometer für den Hauptleitungs-, Hauptluftbehälter- und Bremszylinderdruck, das Anzeigegerät für die Geschwindigkeit, der Block mit den elektrischen Messinstrumenten (Fahrleitungsspannung, Fahrmotorstrom und Fahrmotordifferenzstrom) und daran anschliessend der Fahrplanhalter, der Druckknopfschalter zum Abstellen der Ventilatoren und der Aschenbecher.

Vor dem Geschwindigkeits-Anzeigegerät sind die bei der Inbetriebnahme der Lokomotive zu betätigenden Schalter in einem gemeinsamen Schaltkasten in der zu bedienenden Reihenfolge platziert, von rechts nach links: Batterie, Stromabnehmer, Hauptschalter, Kompressor, Zugheizung, Zugbeleuchtung, Stirnbeleuchtung. Vor dem Steuerschaltkasten haben (von rechts nach links) die Schalter für Zugsicherung (Manöver oder Zugfahrt), Fahrplanbeleuchtung, Instrumentenabblendung und Türschliessung Platz gefunden, weiter je eine Meldelampe für Türschliessung, Abfahrbefehl, Stufenschalterrückmeldung, Ventilationsüberwachung, Vorwahl der Zugheizung 3 kV, Zugheizung, Schleuderscheibe und der Druck-

knopfschalter zur Handbetätigung der Schleuderbremse aller sechs Achsen.

Im rechten Teil des Führertisches sind der Fahrshalter mit Pfeifenschalter, der Fahrrichtungsschalter, der Quittierschalter für die Zugsicherung und daneben die Schalttafel mit den Schaltern für Beleuchtung, Führerstandheizung und -lüftung sowie drei Messinstrumente (Batteriespannung, Batteriestrom, Zugheizstrom) untergebracht. Im Führertisch rechts vom Führer befindet sich die Zugfunkanlage; das zugehörige Sprechmikrophon ist am Fahrplanhalter aufgehängt. Die Handbremse wirkt auf die jedem Führerstand benachbarte Endachse.

Als Führersitz ist ein längs- und höhenverschiebbarer 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 Glasfasermatten 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 Führerstandrückwand gewährleisten dank besonderer Gummilippen eine gute Abdichtung gegenüber dem Maschinenraum.

Wie bereits erwähnt, ist die spätere Ergänzung der Führerstände mit einer Lüftungsanlage (Frischluftzufuhr) oder gegebenenfalls einer Klimaanlage vorbereitet.

3.18 Die Kabel- und Stromschienenverlegung

Soweit mit vernünftigem Aufwand realisierbar, sind die Stark- und die Steuerstromleitungen dispositionsmässig voneinander getrennt, um zu Störungen führende Beeinflussungen der elektronischen Apparate nach Möglichkeit zu vermeiden.

Grundsätzlich sind die Schwachstromleitungen möglichst weitgehend in Vielfachkabeln zusammengefasst und im Kastenunterteil verlegt. Jeweils unter den Schalttafel-schränken in den Führerstandrückwänden befindet sich ein zentrales Klemmbrett. Bei den Lokomotiven mit zweiteiligen Kasten sind die durchgehenden Vielfachkabel im Seitengang über dem Gelenk durch VEAM-Steckkupplungen verbunden.

Die Fahrmotorströme werden ab Leistungstransformator in der Dachpartie geführt. Die entsprechenden Stromschienen sind in den Luftansaugkanälen isoliert aufgestellt und konnten dank der guten Kühlung für eine relativ hohe Strombelastung bemessen werden. Die Verbindung zwischen den beiden Kastenhälften der Lokomotiven 11601 und 11602 geschieht mittels isolierter Kabel, ebenso die Zuführung zu jedem Hauptapparateblock im Maschinenraum.

3.19 Montage der Lokomotiven

Wie schon bei der Re4/4^{II}, wurde auch bei der Re6/6 weitgehend von der Blockbauweise Gebrauch gemacht. Ausserhalb der Lokomotive werden montiert, verdrahtet und geprüft:

- die Führertische
- die Schalttafeln
- die Hauptapparateblöcke
- die Heizhüpfelblöcke
- die pneumatischen Gerüste
- die Elektronikblöcke

Die Steuerstromanschlüsse der Führertische, der Elektronikblöcke und des Stufenschalters sind mittels VEAM-Steckkupplungen verwirklicht. Trotz der weitgehenden Anwendung von Montageblöcken wurde der guten Auswechselbarkeit aller Einzelapparate grosse Beachtung geschenkt.

4. Ausblick

Die Versuchsfahrten der Lokomotiven 11601 und 11602 begannen am 15. Mai bzw. 5. Juni; Lokomotive 11603 folgte am 19. August. Die Ablieferung der vierten Lokomotive ist Mitte Oktober erfolgt. Inzwischen wurde bereits eine grosse Menge Messungen am elektrischen und vor allem am mechanischen Teil vorgenommen.

Soweit bisher übersehbar, dürften die Pflichtenheftbedingungen von allen Lokomotiven erfüllt werden. Einige Nacharbeiten werden erforderlich sein, bevor die Lokomotiven dem Betrieb übergeben werden können.

Parallel zu den umfangreichen Auswertungen der Messresultate sind die Vorbereitungen für die Bestellung einer ersten Serie Re6/6 (geplant sind total rund 100 Lokomotiven dieses Typs) angelaufen. Ein Hauptentscheid wird schon bald in bezug auf die Ausführung des Kastens und die Kastenabstützung gefällt werden müssen. Grundsätzlich weist der durchgehende Kasten bedeutende Vorteile auf:

- Einfachere Verkabelung und Luftleitungen, einfachere Ventilationskanäle infolge Wegfalls der beweglichen Verbindungen zwischen den zwei Kastenhälften
- Problemloseres Abheben des Kastens in den Hauptwerkstätten
- Weniger Schwierigkeiten beim Aufgleisen

Nachteilig sind die etwas kleinere Bauhöhe des Ganges im Maschinenraum und die noch offene Frage der günstigsten Ausführung der Sekundärfederung. Der Vergleich der Lokomotiven 11603 (Schraubenfedern) und 11604 (Luftfedern) wird zeigen müssen, ob sich der Mehraufwand für die integrale Luftfederung lohnt oder ob die optimale Lösung darin besteht, die Enddrehgestelle mit Schrauben- und das mittlere Drehgestell mit Luftfedern auszurüsten. Diese gemischte Variante verhält sich theoretisch fast gleichwertig wie die Lokomotive mit integraler Luftfederung, benötigt aber nur wenige, im Bahnbetrieb bereits bewährte Zusatzelemente.

Es ist zu hoffen, dass auch im Falle der Re6/6 die enge Zusammenarbeit der beiden Baufirmen SLM und BBC mit dem Besteller zum gewünschten Erfolg führen wird, so dass die dringend benötigten weiteren Re6/6-Lokomotiven auf Grund guter Erfahrungen mit den Prototypen bald bestellt werden können.

Literaturverzeichnis

- [1] Dr. F. Gerber: Über das traktionstechnische Konzept der SBB. «Schweizerische Bauzeitung» 82 (1964), H. 29, S. 505-512
- [2] K. Meyer: Die Lokomotiven Serie Re4/4^{II} und Re4/4^{III} der SBB. «Schweizerische Bauzeitung» 88 (1970), H. 14, S. 311-333
- [3] Dr. H. Weber: Zur Ermittlung der Kräfte zwischen Rad und Schiene. Diss. Nr. 4117 der ETH Zürich, 1968
- [4] P. Winter: Gedanken zu einem neuen 10-Jahres-Plan für die Fahrzeugbeschaffung. SBB-Nachrichtenblatt 3/72, S. 43-49
- [5] H. Sie, R. Moser, E. Dünner: Der Einsatz von Querverbindern zwischen den Fahrmotor-Feldern bei Triebfahrzeugen mit Einphasen-Wechselstrom-Seriemotoren. «Bulletin Oerlikon» 368/369, September 1966, S. 36
- [6] H. Kloter: Neuzeitliche Schaltapparate der elektrischen Traktion. «Bulletin Oerlikon», 368/369, September 1966, S. 26
- [7] Dr. H. Weber: Untersuchungen und Erkenntnisse über das Adhäsionsverhalten elektrischer Lokomotiven. «Schweizerische Bauzeitung» 83 (1965), H. 48, S. 877-888

Bildernachweis

Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik, Winterthur: Bild 7
AG Brown Boveri & Cie., Baden: Bilder 13, 23, 31, 34, 35, 36, 39, 40, 41
Hasler AG, Bern: Bild 45
Verfasser: Bilder 1, 2, 10, 22
Schweiz. Bundesbahnen: alle übrigen Bilder

Adresse des Verfassers: Karl Meyer, dipl. Elektro-Ing., Schweizerische Bundesbahnen, Abteilung Zugförderung und Werkstätten, 3000 Bern, Hochschulstrasse 6.