Die elektrischen Motorwagen der Schweiz. Südostbahn

Autor(en): **Wyss, F.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **117/118 (1941)**

Heft 10

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-83398

Nutzungsbedingungen

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

Haftungsausschluss

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

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

http://www.e-periodica.ch

INHALT: Die elektrischen Motorwagen der Schweiz. Südostbahn. — Lawinenkurs für Forstleute in Davos. — Arbeitsbeschaffung für Ingenieure und Architekten. — Mitteilungen: Rhone-Rhein und schweizerische Binnenschiffahrt. Die SBB im Jahre 1940. Verdunkelungsmassnahmen. Die «Technischen Kommando» des Deutschen Heeres. Presstoffhelme. «Le Génie Civil». Versuchsfahrten mit Ersatztreibstoffen. Gütertransport durch die städtische Strassenbahn. Vom Bau der transiranischen Bahn. Deutscher Betonverein. — Nekrologe: Jos. Melan. — Wettbewerbe: Schulhaus Ebikon, Kt. Luzern. Bezirksgebäude in Hinwil. — Literatur.
Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 117 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet
Nr. 10

Die elektrischen Motorwagen der Schweiz. Südostbahn

Von Obering. F. WYSS, Zürich

Die Elektrifikation der Schweiz. Südostbahn (SOB) wurde im Juli 1938 beschlossen, und schon Mitte Mai 1939 konnte der elektrische Betrieb aufgenommen werden. Allerdings mussten dazu noch fremde Triebfahrzeuge verwendet werden, da die Herstellungszeit für neue, besonderen Verhältnissen anzupassende Motorwagen viel länger war. Zufolge der Ueberlastung der Maschinenfabriken auf die Landesausstellung hin und später wegen der Kriegsmobilmachung wurde die Ablieferung der neuen Wagen wesentlich verzögert. Die acht Wagen konnten erst im Zeitraum vom November 1939 bis Mitte 1940 dem Betrieb übergeben werden.

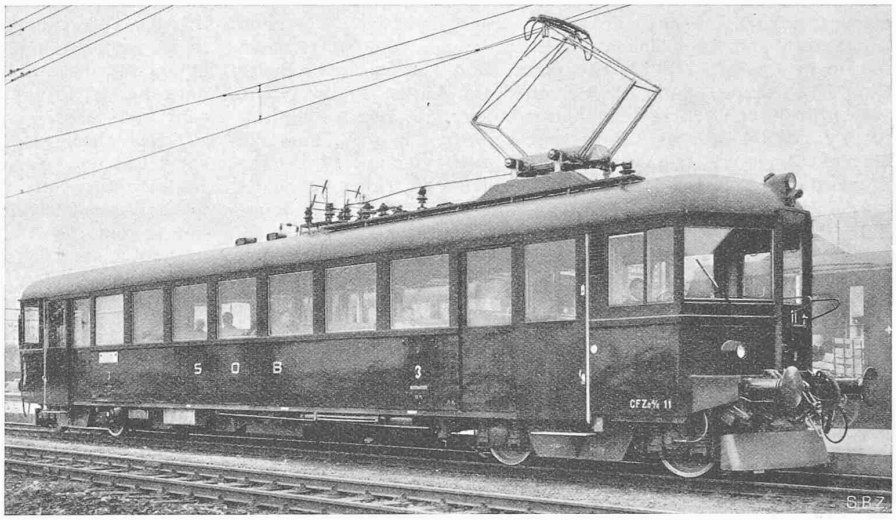


Abb. 2. Elektrischer Motortriebwagen CFZe 4/4 der normalspurigen Schweiz. Süd-Ost-Bahn

Die Bahngesellschaft bedient einerseits die 38,7 km lange Linie von Rapperswil am Zürichsee nach Arth-Goldau mit einem maximalen Höhenunterschied von 525 m, als direkte Normalspur-Verbindung zwischen Ost- und Zentralschweiz, und anderseits die Strecke von Wädenswil nach dem bekannten Wallfahrtsort Einsiedeln mit einer Länge von 16,6 km und einem Höhenunterschied von 474 m, wobei die Teilstrecke zwischen den Stationen Samstagern und Biberbrücke gemeinsam benützt wird. Beide Linien weisen ziemlich lange Strecken mit Steigungen von 50 ‰ auf (Abb. 1); die Bahn ist (abgesehen von der Uetlibergbahn mit max. 70 ‰) die steilste Normalspurbahn der Schweiz und die Motorwagen mussten diesen besonderen Bedingungen angepasst werden.

Aber auch die Betriebsbedingungen sind für die Wagen keine normalen. Das Einzugsgebiet der Bahn weist keine industriereichen Ortschaften auf. Der gewöhnliche Werktagsverkehr ist verhältnismässig bescheiden; dagegen bringen der Sport- und Pilgerverkehr und die grossen Viehmärkte aussergewöhnliche Spitzenleistungen, denen die Wagen anzupassen waren. Die Wagen werden überdies benützt für den direkten Verkehr von Goldau durch den Rickentunnel nach St. Gallen und Romanshorn. Dadurch und durch die vier Gemeinschaftsbahnhöfe, die die SOB mit den SBB teilt, war das Stromsystem (15 kV Einphasenwechselstrom, 16 2/3 Hz) von vornherein gegeben. Das erlaubt auch die Zuziehung schwerer SBB-Lokomotiven für die Bewältigung grosser Spitzenleistungen, was die Anschaffung eigener Lokomotiven unnötig machte. Aus betrieblichen Gründen wurden vier Wagen mit nur Drittklass-Abteilen ausgerüstet (C), die andern vier erhielten auch je ein Zweitklass-Abteil (BC).

Die Wagen (Abb. 2) sind nach eingehenden Studien der Betriebsbedingungen vom verstorbenen Obering. W. Dürler, dem Experten für die Elektrifikation der Bahn, entworfen worden. Sie sind nach folgenden Haupt-Konstruktionsdaten gebaut:

Wagentyp	CFZe 4/4	BCFZe 4/4
Länge über Puffer	mm 19 600	
Kastenlänge	mm 18 600	
Kastenbreite	mm 2 970	
Abstand der Drehzapfen	mm 14 000	
Radstand der Drehgestelle	mm 2 800	
Totaler Radstand	mm 16 800	
Raddurchmesser	mm 900	
Uebersetzung der Antriebzahnräder	1 : 4,93	
Höhe des Wagenbodens über SOK	mm 1 050	
Sitzplätze im Innern 2. Kl.	—	9
Sitzplätze im Innern 3. Kl.	64	44
Plattform-Klappsitze	14 (je 7)	14
Ladefläche bei aufgeklappten Sitzen	m² 2×6,2	
Gewicht des mechanischen Teils	t 28,3	
Gewicht des elektrischen Teils	t 14,7	
Dienstgewicht leer	t 43,0	
Dienstgewicht besetzt, normal 50 t, maximal	t 52,5	

Leistung der vier Triebmotoren nach den Regeln des IEV:

	dauernd	1 h	maximal
	640 kW	720 kW	960 kW
bei einer Geschwindigkeit von	57,6 km/h	54 km/h	40 km/h
Zugkraft am Triebrad	4000 kg	4800 kg	8800 kg
Höchstgeschwindigkeit			80 km/h

Beim Entwurf der Wagen wurde auf möglichst niedere Bauart mit bequemen Einsteigverhältnissen, und auf ein geringes Gewicht besondere Rücksicht genommen, was an die Konstrukteure, die für solide und gut zugängliche Ausführung zu sorgen hatten, hohe Anforderungen stellte, denen sie aber durchaus gerecht geworden sind.

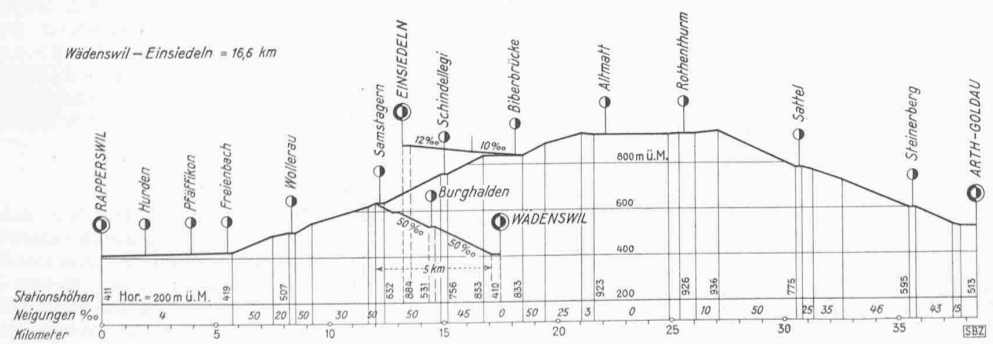


Abb. 1. Längenprofil des gesamten Netzes der SOB: Rapperswil - Arth-Goldau, Wädenswil - Samstagern und Biberbrücke - Einsiedeln. Längen 1 : 300 000, Höhen 1 : 30 000

Die Abb. 3 zeigt die *Einteilung* eines 3. Klasswagens. Das Raucherabteil weist 34, das Nichtraucherabteil 30 Sitzplätze auf. Um beim bescheidenen, normalen Werktagsverkehr nicht unnötiges Gewicht mitschleppen zu müssen, können die beiden geräumigen Plattformen zur Mitführung des Gepäcks oder der Post dienen; die Posteinrichtung ist wegnehmbar (Abb. 6). Bei Postbetrieb auf Seite des Aborts kann eine Hilfstüre geschlossen werden, sodass den Fahrgästen zwar der Abort,

nicht aber die von der Post belegte Plattform zugänglich ist. Dank dieser Einrichtungen genügt der Wagen allein für die im Fahrplan vorgesehenen Züge ohne Nebenaufgaben (die besondern Verhältnisse, die der Krieg durch die Einschränkung des Autoverkehrs geschaffen hat, liessen allerdings bis heute nur selten die Führung von Zügen mit dem Motorwagen allein zu). Wenn ein Gepäckwagen mitgenommen wird, was für den Milch- und Kleinvieh-Transport immer geschieht, so dienen die Vorräume der Aufnahme von Personen, die sich der je sieben Klappsitzplätze bedienen können. Beim Sportverkehr soll der Wagen zur Bemeisterung unvorhergesehenen Andranges möglichst viele Personen mit Skiern und Rucksäcken befördern können; die Plattformen dienen in diesem Falle als Stehplätze und zur Aufstellung der Skier. Es können dann 120 Personen im Wagen Platz finden, wobei für deren 68 Sitzgelegenheit geboten wird. Damit die Skier auch im Wageninnern untergebracht werden können, sind die Gepäckträger, wie früher allgemein üblich, quer zur Wagenaxe angeordnet (Abb. 4 u. 5). Um den Reisenden die Fahrt durch die aussichtreiche Gegend genussbringend zu machen, sind möglichst breite Fenster vorgesehen; auch die durch Glaswände erreichte Durchsicht durch den Wagen dient diesem Zweck und gleichzeitig der Ermöglichung einer allfällig einmännigen Bedienung. Die vier Einsteigtüren haben mit Rücksicht auf den Gepäckverlad eine maximale lichte Weite von 1000 mm, die jedoch für den normalen Personenverkehr auf 700 mm begrenzt wird. Die drei Auftritte sind fest, dank des niederen Wagenbodens aber trotzdem recht bequem.

Mechanische Ausrüstung

Untergestell und Wagenkasten sind von der Schweiz. Industrie-Gesellschaft in Neuhausen entworfen und je zur Hälfte von ihr und der Schweiz. Wagons- und Aufzügefabrik in Schlieren gebaut worden. Sie bilden mit dem Blechdach eine untrennbare, selbsttragende Stahlkonstruktion, die aus Profileisen und Blechen vollständig elektrisch geschweisst ist. Die Doppelwandungen des Kastens sind zur Minderung der Schallwirkung und zur Wärme-Isolation mit Spritzasbest ausgefüllt. Die Zughacken sind durch «Pirelli»-Gummiringe gefedert, die Puffer in normaler Ausführung durch Federn.

Die beiden *Drehgestelle* (Abb. 7) des Triebwagens sind von der Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur gebaut worden. Sie sind gleich und auswechselbar. Jede Triebachse wird durch je einen Elektromotor über ein einfaches Zahnradpaar angetrieben. Die Abstützung der Motoren erfolgt durch je zwei Tatzenlager auf die Triebachse und über gummigefederte Nasenaufhängung auf die Mitteltraverse des Drehgestelles. Man zog diese einfache, leichtere und billigere Lösung in Anbetracht der verhältnismässig kleinen Geschwindigkeiten dem Federantrieb vor; sie bedingt allerdings einen gut regulierten Oberbau. Die Motoren können sowohl nach oben, als auch nach unten ausgebaut werden. Es ist deshalb möglich, sie einzeln auszuwechseln, ohne dass das betreffende Drehgestell ausgefahren werden muss. Ferner kann jede Triebachse mit dem dazugehörigen Motor einzeln nach unten ausgebaut werden. Eine Grube im Depot ist für diesen Zweck besonders eingerichtet.

Die gefederten Antriebzahnräder sind auf die Nabenverlängerung des einen Rades jeden Radsatzes aufgepresst. Als Achslager dienen SKF-Pendelrollenlager, die in gut dichtenden Stahlgussgehäusen eingebaut sind. Diese besitzen Tragarme zur Abstützung der Achsbüchstragfedern, in die die mit Oel gefüllten Führungen konzentrisch eingebaut sind. Die Schmierung von Lager und Führung beschränkt sich damit auf die normalen Revisionen. Die Schraubenfedern können einzeln nach unten ausgebaut werden, sodass ihr Ersatz leicht möglich ist.

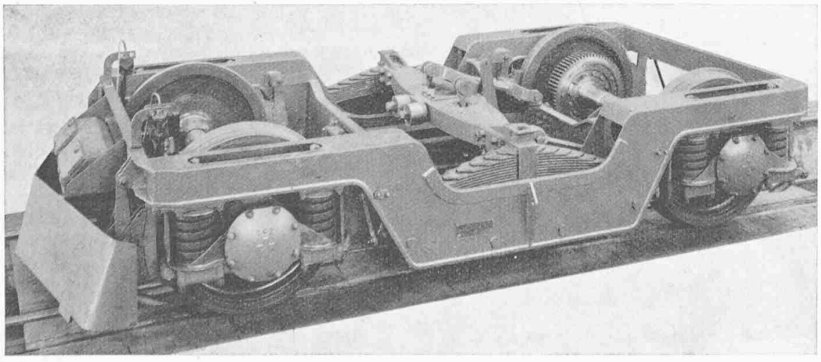


Abb. 7. Drehgestell des SOB-Motorwagens, gebaut von der SLM Winterthur

Die Drehzapfen dienen nur zur Führung und Uebertragung der in horizontaler Richtung auftretenden Kräfte. Das gesamte Kastengewicht stützt sich auf Pfannen, die direkt oberhalb der seitlich angeordneten Kasten-Blatt-Tragfedern liegen; diese sind im Drehgestellrahmen pendelnd aufgehängt und durch einen Wiegenbalken miteinander verbunden. Das Drehzapfenlager in der Mitte dieses Balkens ist in der Längsrichtung des Wagens gefedert. Zur Uebertragung der Zugkräfte vom Drehgestell auf die Wiege dienen zwei Lenker, während die Querzentrierung durch entsprechende Neigung der Aufhängependel erreicht wird. Zwecks Vermeidung zu grosser Querneigung des Wagenkastens ist zwischen Wiege und Drehgestellrahmen eine Torsionswelle eingebaut, die stabilisierend wirkt. Die Drehgestelle und besonders die tief in ihnen angeordnete Kastenaufhängung ergeben sehr gute Laufeigenschaften.

Der Drehgestellrahmen ist aus Stahlblech elektrisch geschweisst und deshalb bei geringem Gewicht sehr kräftig. Alle Räder werden mit zwei Klötzen gebremst; in das Gestänge jeden Drehgestelles ist eine Nachstellvorrichtung «Stopex» eingebaut, um sowohl das Klotzspiel und den Bremszylinderhub konstant zu halten, als auch eine Nachregulierung während des Betriebes zu vermeiden. Von den vier Paar nach Patent «Hess» gebauten Luftsanderventilen des Wagens wirkt je ein Paar in Fahrrichtung auf das vordere und das hintere Drehgestell. Der Hebel zur Sanderbetätigung hat jedoch zwei Stellungen; normalerweise werden nur die Sander des vorderen Drehgestelles geöffnet und nur im Notfalle auch noch die des hintern. Die Spurkranzschmierung erfolgt durch «Friedmann»-Apparate. Jedes Drehgestell ist mit einem schmiedeisernen Schneeräumer ausgerüstet.

Angesichts der grossen Gefälle war die Ausbildung der *Bremsen* besonders wichtig. Die Wagen sind ausgerüstet mit:

1) einer automatischen Westinghouse-Druckluftbremse,
2) einer nicht automatischen Druckluftbremse (Regulier-Bremse),
3) einer Handbremse und
4) einer elektrischen Rekuperationsbremse.

Die automatische und die Regulierbremse sind in üblicher Weise kombiniert. Sie wirken mit getrennten Steuerventilen über zwei 10″ Bremszylinder, deren Gestänge getrennt mit den acht Bremsklötzen eines Drehgestelles verbunden sind. Die Anordnung der vielen mechanischen und elektrischen Ausrüstungs-Bestandteile unter dem Wagenboden beeinflusst natürlich die Freiheit in der Anordnung des Bremsgestänges, das aus diesem Grunde keinen guten Wirkungsgrad aufweist, aber immerhin den gestellten Ansprüchen durch vergrössertes Uebersetzungsverhältnis voll gerecht wird.

Die Handbremse wirkt von jedem Führerstand aus auf beide Drehgestelle gleichzeitig. Um bei Gestängebruch in einem Drehgestell das andere trotzdem noch bremsen zu können, sind bei den Ausgleichhebeln des Untergestelles Anschläge vorgesehen, die das Gestänge des defekten Drehgestelles nach einem gewissen Wege festhalten, sodass die Wirkung auf das andere Drehgestell voll gewahrt bleibt. — Auf die Rekuperationsbremse kommen wir bei der Beschreibung des elektrischen Teiles zurück.

Zur Erzeugung des nötigen Luftdrucks ist jeder Wagen mit einem zweistufigen *Rotations-Bremskompressor* der Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur, Typ KLL 8n ausgerüstet, der im wesentlichen in deren «Technischen Blättern», Heft No. 2, 1925 beschrieben und in Abb. 11 dort auch im Schnitt dargestellt wurde. Die Hauptdaten sind:

Drehzahl	1800 U/min
Druck	8 kg/cm²
Effektive Fördermenge	80 m³/h
Aufgenommene Leistung	16,5 PS

Der Kompressor wird automatisch oder von Hand ein- und ausgeschaltet und ist mit den erforderlichen Einrichtungen zur Kühlung und Oelabscheidung usw. ausgerüstet. Haupt- und Zusatz-Behälter, die über einen Luftentnahmeregler mit Rückschlag-Ventil miteinander verbunden sind, besitzen einen gesamten Rauminhalt von 700 l.

Elektrische Ausrüstung

Für die Lieferung der elektrischen Ausrüstung der Wagen amtete die Maschinenfabrik Oerlikon als Generalunternehmerin. Als Unterlieferanten wirkten noch mit: Brown, Boveri & Cie. für Stromabnehmer, Dachausrüstungen, Stufentransformatoren und Nutzbremseinrichtungen und die Ateliers de Sécheron für Hüpferbatterien, Wendeschalter und Steuerkontroller.

Die elektrischen Motorwagen der Schweizerischen Südostbahn

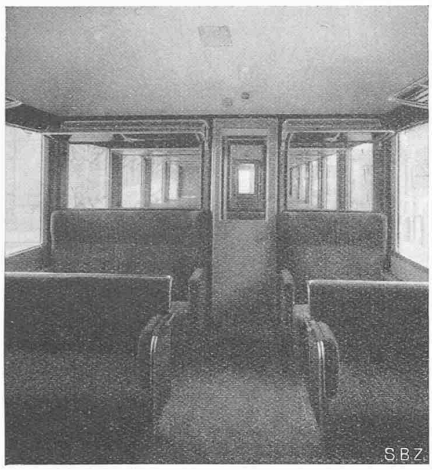


Abb. 4. Zweitklass-Abteil

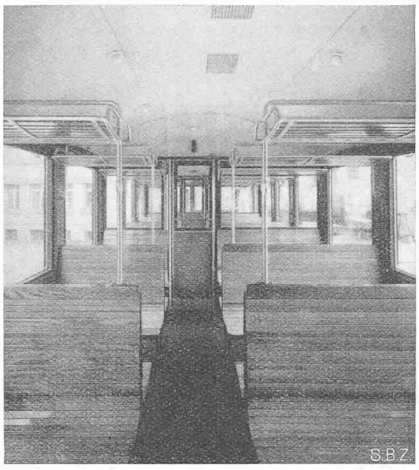


Abb. 5. Drittklass-Abteil

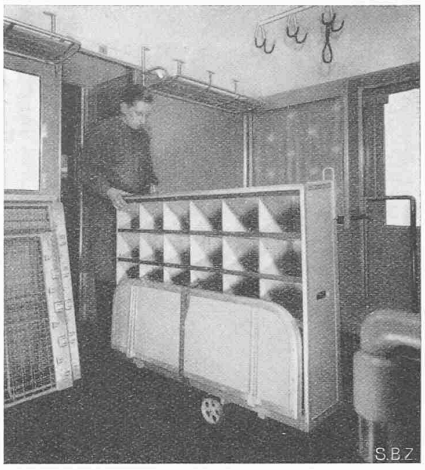


Abb. 6. Bewegliches Post-Regal

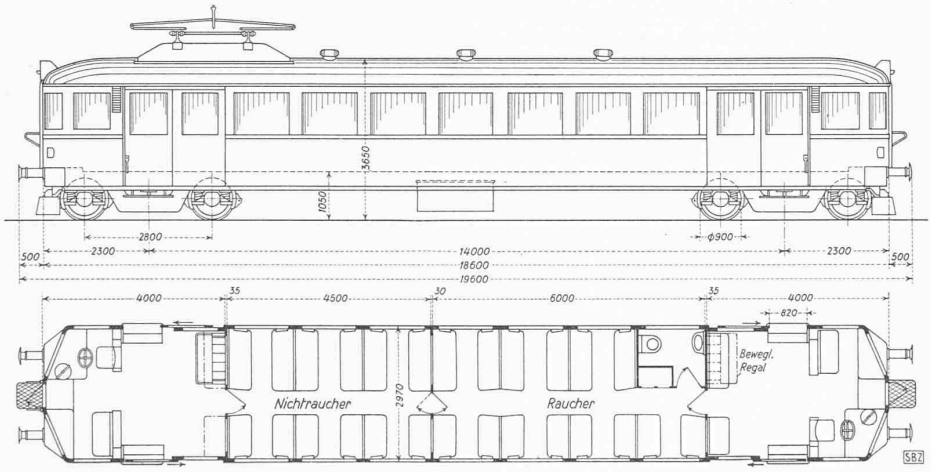


Abb. 3. Einteilung des Drittklasswagens. Typenskizze 1 : 150

Im Interesse der Einfachheit und der Gewichtersparnis wurden zunächst nur ein statt zwei Stromabnehmer, zwei Dachsicherungen statt Hochspannungsschalter, Einfach- statt Vielfachsteuerung, gewöhnliche Hüpfersteuerung statt Vielstufensteuerung, eigen- statt fremdgekühlte Triebmotoren und Transformator, gefederte Zahnräder mit Tatzenlagerantrieb statt allseitig gefederte Motoren, elektrische Türverriegelung statt elektropneumatische Türbetätigung gewählt. In nachfolgender Beschreibung wird das, was an ähnlichen Wagen üblicherweise vorhanden ist und als allgemein bekannt gilt, nicht oder nur generell erwähnt.

Um den kostbaren Platz im Wageninnern möglichst auszunützen, erfolgte die *Anordnung der elektrischen Ausrüstung* in der Hauptsache unter dem Wagenboden. Es befinden sich dort ausser den Triebmotoren der Transformer mit Selbstkühlung, die Kondensatorenbatterie der Nutzbremse, die Hüpfer und der grösste Teil der übrigen Ausrüstung. Nur ein als Schalttafel ausgebildeter Schrank mit Relais, Reglern, Schaltern und andern Kleinapparaten verbreitert die Abortlängswand, und der eine Führertisch enthält neben den zugehörigen Apparaten noch den Trockengleichrichter. Auf dem Dach befindet sich neben dem Stromabnehmer und den Dachsicherungen noch der Stabilisierungs-Widerstand der Nutzbremse.

Im *Hochspannungsstromkreis* leitet ein Stromabnehmer — die Möglichkeit des späteren Einbaues eines zweiten besteht — den Fahrstrom über eine der zwei Dachsicherungen durch die Hochspannungseinführung unauffällig durch den Wagen zum Transformer. Uebliche Verriegelungen verhindern die irrtümliche Drehung des Sicherungsumschalters oder des Erdschalters.

Im *Triebmotorenstromkreis* sind als Besonderheit die für halbe Stromstärke bemessenen Feldwicklungen der Triebmotoren zu erwähnen. Damit der volle Feldstrom beim Bremsen nur die Hälfte des Ankerstromes beträgt, sind die Feldwicklungen aller vier Motoren beim motorischen Fahren parallel, beim Bremsen dagegen in Reihe geschaltet (Abb. 9 und 10). Die Triebmotoren besitzen trotz blosser Eigenventilation eine hohe spezifische Leistung. Die Wendepolwicklungen sind mit dem für Fahren und Bremsen beste Kommutation gewährleistenden Ohm'schen bzw. induktiven Wendepol-Shunt und Ohm'schen Seriewiderstand versehen.

Die Reihenparallelschaltung der Triebmotoren bot hier dank der reichlichen Adhäsion von 0,17 bei maximaler Anfahrzugkraft keine Nachteile, dagegen die bekannten Vorteile: einfachere Schaltung, Apparatur und Leitungen nur für zwei, statt vier einfache Hüpfer, zwei statt vier Wendeschalter-Walzen, keine Umgruppierung. Die Triebmotoren können einzeln mittels kleinern Dosenschaltern ausser Betrieb gesetzt werden durch Unterbrechung des Elektroventilstromes des zugehörigen Motortrennhüpfers, wodurch die Einschaltung der Nutzbremse verunmöglicht wird.

Die *Steuerung* arbeitet mit 36 V Gleichstrom aus einer Bleiakkumulatoren-Batterie, die von einem Trockengleichrichter gespeist wird.

Der *Stromabnehmer* wird über den zugehörigen Steuerschalter im Führertisch elektropneumatisch gehoben. Oeffnen dieses Steuerschalters bewirkt Oeffnen der Stufen- und Motortrennhüpfer. Der Fahrrichtungs-Steuerschalter bestimmt die Vor- und Rückwärtsstellung des Wendeschalters, wogegen dessen Bremsstellungen mit dem Uebergang des Steuerkontrollers auf Bremsstufen gesteuert werden.

Der *Steuerkontroller* hat 13 Fahr- und 21 Bremsstufen. Unterbrechung der Nutzbremsung ist jederzeit durch einen Griff möglich, der selbsttätig in die Nullage zurückgedrückt wird. Motortrennhüpfer und Stufenhüpfer unterbrechen den Hauptstromkreis bei Störungen: bei Fahrspannungsausfall, bei Triebmotorhöchststrom, bei Schnellbremsung sobald der Druck in der Hauptbremsleitung unter 2 atü sinkt, bei Senkung des Stromabnehmers, bei Ansprechen des Sicherheitsteuerungsapparates und endlich bei Ueberspannung in Nutzbremsschaltung. — Sämtliche betriebsmässig zu betätigenden Griffe und Anzeigeinstrumente sind auf dem Führertisch (Abb. 8) übersichtlich vereinigt.

Zu *Heizzwecken* werden drei verschiedene Spannungen benützt. Eine liegt an einer besonderen 1000 V-Klemme des Transformers; an diese ist die Innenraumheizung des Triebwagens, sowie die Zugheizung angeschlossen. Mit 230 V sind Fusswärmeplatte des Führers, Heizung der Kondensatoren und Wasserbehälter gespeist; die Fensterheizung liegt an 55 V. — Kompressoranlage, Sicherheitsapparatur gegen Ohnmacht des Führers, Lichtanlage usw. entsprechen den bei den SBB üblichen Einrichtungen.

Der *Stufentransformator* ist ein Kerntransformator mit Scheibenwicklung, der in einem Oelkasten unter dem Wagen-

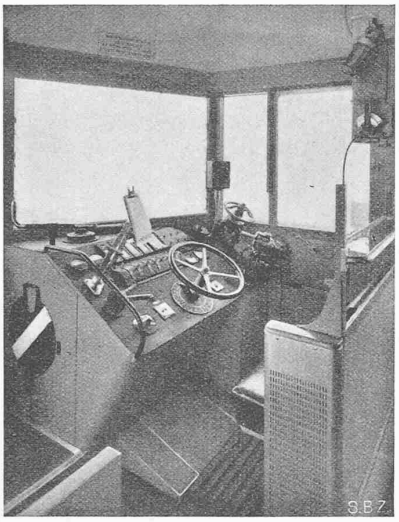


Abb. 8. Der Führertisch

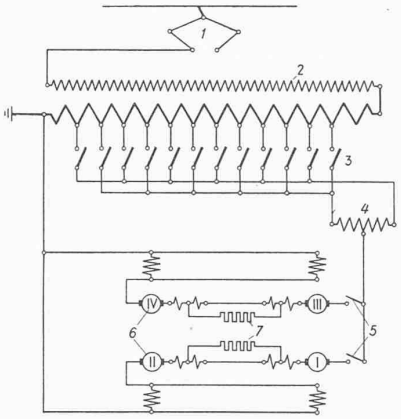


Abb. 9. Fahrschaltung (MFO)

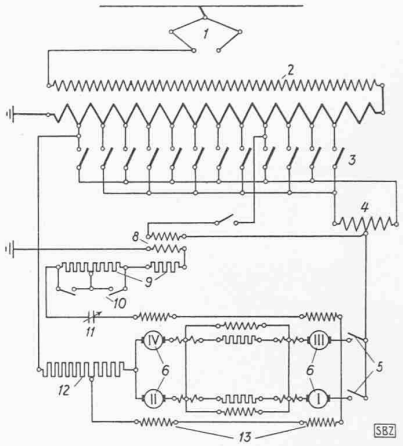


Abb. 10. Bremsschaltung (BBC)

Legende: 1 Stromabnehmer, 2 Stufentransformator, 3 Stufenschützen, 4 Stromteiler-Drosselspule, 5 Trennschützen, 6 Triebmotoren I bis IV, 7 Ohm'scher Wendepolshunt, 8 Zusatztransformator, 9 Zusatzwiderstände mit Schützen 10, 11 Kondensator, 12 Stabilisierungs-Widerstand, 13 Triebmotoren-Feldwicklung

boden aufgehängt ist. Die Abführung seiner Verlustwärme geschieht in der Hauptsache durch vom Fahrwind bestrichene Kühltaschen. Seine Dauerleistung beträgt 450 kVA bei einem Uebersetzungsverhältnis von 15 000/560 V und 16 $^2/_3$ Hz. Auf der Unterspannungsseite ist er mit zwölf Anzapfungen versehen, die im Bereich von 129 bis 789 V liegen und zur Speisung der Triebmotoren dienen. Eine im Oelkasten des Transformers eingebaute Stromteilerdrosselspule ermöglicht es, den Triebmotorstrom jeweils von zwei Anzapfungen abzunehmen, sodass diese Anzapfungen und die zugehörigen Schützen nur für den halben Triebmotorstrom zu bemessen waren. Ausser der Leistung für die Triebmotoren kann der Transformer noch 20 kVA für Nebenbetriebe und 100 kW für Heizung abgeben.

Besonders ist die *Einrichtung für Nutzbremsung*[1]) zu erwähnen, die in dieser Form hier erstmals zur Anwendung gelangte.

Angesichts der Gefällsverhältnisse der Bahn wurde auf die Anwendung der Nutzbremsung Gewicht gelegt. Die Bahn konnte aber eine solche nur dann mit Vorteil anwenden, wenn es ihr ermöglicht wurde, die zurückgewonnene Energie dem Stromlieferanten wieder abzugeben; denn sie hatte bei ihrem wenig dichten Fahrplan nur ungenügende Gelegenheit zu eigener Verwendung. Im Jahre 1934 nahmen die diesbezüglich angefragten SBB den Standpunkt ein, die Rückgewinnung durch eine Nutzbremse würde, nach ihren damaligen Erfahrungen, bei einem cos φ von höchstens 0,25 erfolgen. Dabei werde die induktive Blindenergie (BkWh) nicht zurückgeliefert, sondern bezogen, sodass für die Rücklieferung von einer kWh Wirkenergie rd. 3,9 BkWh bezogen werden müssten. Bei diesem Verhältnis konnten die SBB in der Rücklieferung höchstens einen Ausgleich für den entsprechenden Bezug von Blindenergie sehen. Die SOB hätte also aus der Anwendung der Nutzbremse nicht nur keinen Nutzen gezogen, sondern neben dem Verzicht auf eine fahrdrahtunabhängige elektrische Bremse noch Mehraufwendungen infolge höherer Einrichtungskosten, Unterhalt und Transport des Mehrgewichtes auf sich nehmen müssen.

Man musste deshalb anfänglich die Idee der Anwendung einer Nutzbremse fallen lassen und konnte erst wieder darauf zurückkommen, als die AG. Brown, Boveri & Cie. im Febr. 1937 den Vorschlag einer neuartigen Lösung unterbreitete, die neben dem Vorteil eines günstigsten Leistungsfaktors auch den des geringen Gewichtes und Preises bot[2]). Dank dieses technischen Fortschrittes waren die SBB dann bereit, die rückgewonnene Energie abzunehmen. Sie verlangten lediglich die Bezahlung desjenigen Teiles der verbrauchten Blindenergie, der 75 % des Betrages der bezogenen Wirkenergie überschreitet. Diese Nutzbremseinrichtung soll im Folgenden nach Mitteilung von BBC näher beschrieben werden.

Als wegleitend für ihre Ausführung waren die Grundsätze, dass die Bremsung auf allen Stufen stabil sein soll, d. h. dass die Bremskraft mit wachsender Fahrgeschwindigkeit zunehmen und mit sinkender Geschwindigkeit abnehmen muss, ferner dass die Energie an die Fahrleitung unter Schonung der Triebmotoren und bei gutem Leistungsfaktor zurückgegeben werden muss.

Zur Schonung der Triebmotoren beim Bremsen sind Massnahmen anzuwenden, die es gestatten, einerseits grosse Bremswirkung bei geringster Motorerwärmung und anderseits günstige Kommutierungs-Verhältnisse zu erreichen. Im Motorbetriebe, wo der Ankerstrom zugleich Erregerstrom ist, sind diese Forderungen weitgehend erfüllt. Es muss daher angestrebt werden, bei der Bremsung, wo man mit Fremderregung der Triebmotoren arbeitet, ähnliche Verhältnisse zu schaffen und daher den Erregerstrom (und damit den Erregerfluss) mit dem Ankerstrom in Phase zu halten. Die Motoren werden dann in Bezug auf Drehmoment gut ausgenützt und zudem wird dafür gesorgt, dass die von der Querkomponente des Wendefeldes erzeugte Rotations-EMK stets in Gegenphase zu der Transformator-EMK steht, die in den von den Bürsten kurzgeschlossenen Ankerwindungen induziert wird. Es wird also keine Spannungs-Komponente hervorgebracht, die in Richtung der Reaktanz-Spannung liegt und die Kommutierung ungünstig beeinflussen würde. Die grundsätzliche Wirkungsweise der obige Forderungen erfüllenden Schaltung geht aus folgender Erklärung hervor.

Die Triebmotoren werden beim Bremsen für sich vom Haupt-Transformator aus erregt. Wie bereits erwähnt, muss angestrebt werden, den Erregerstrom in Phase mit dem Ankerstrom zu halten. Dabei wird der Erregerstrom der Transformatorspannung (auf der Unterspannungsseite), die zugleich die Klemmenspannung der Triebmotoren ist, um einen kleinen Winkel voreilen, der durch den Ohm'schen- und durch den induktiven Spannungsabfall in den Triebmotoren gegeben ist. Dieser Winkel ändert sich mit der Belastung und der Spannung im Ankerstromkreise der Triebmotoren in dem Sinne, dass er mit zunehmender Spannung kleiner wird, während er mit zunehmender Belastung wächst. Es muss also der Winkel zwischen Erregerstrom und Klemmenspannung den jeweiligen Belastungs- und Spannungs-Verhältnissen angepasst werden, wenn man eine unnötige zusätzliche Erwärmung und ungünstige Kommutierungswirkungen der Triebmotoren vermeiden will. Die nötigen Aenderungen dieses Winkels werden dadurch herbeigeführt, dass eine veränderliche Kapazität in den Erregerstromkreis geschaltet wird. Durch Regelung der Kapazität und damit der auf sie entfallenden Spannung kann man den Winkel zwischen der Transformator-Unterspannung und dem Erregerstrom kleiner oder grösser machen und so den Erregerstrom mit dem Ankerstrom der Triebmotoren in Phase bringen. — Damit ist zunächst erläutert worden, auf welche Weise für geringe Erwärmung und gute Kommutierung der Triebmotoren während des Bremsens gesorgt wird. Der für den Betrieb wichtige Zusammenhang zwischen Bremskraft und Bremsgeschwindigkeit wird in Form von Bremskurven bei gleichbleibender Spannung (entsprechend einer bestimmten Stufenspannung des Haupttransformators) dargestellt (Abb. 11). Würden diese Kurven reinen Nebenschluss-Charakter erhalten, wobei die Felderregung unabhängig vom Ankerstrom wäre, so würden sich starke Aenderungen dieses Stromes und damit der Bremskraft bei ganz geringer Zu- oder Abnahme der Geschwindigkeit des Fahrzeuges ergeben.

[1]) Ueber Einph.-Wechselstrom-Rekuperation vgl. u. a. Behn-Eschenburg in Bd. 74, S. 84* (1919); W. Kummer in Bd. 94, S. 75* (1929) der «SBZ»; ferner A. Laternser im «Bulletin S. E. V.» vom 12. Mai und 7. Juli 1937 (speziell im Hinblick auf die Elektrifizierung der SOB). Red.

[2]) Sie wurde vorgeschlagen von Prof. Dr. Buchhold der T. H. Darmstadt, der die grundsätzliche Wirkungsweise der Schaltung in je einem Aufsatz in der «Elektrotechnischen Zeitschrift», 1938, Heft 4 und in der Zeitschrift «Elektrische Bahnen», 1938, Heft 1, beschrieben hat.

Die elektrischen Motorwagen der SOB

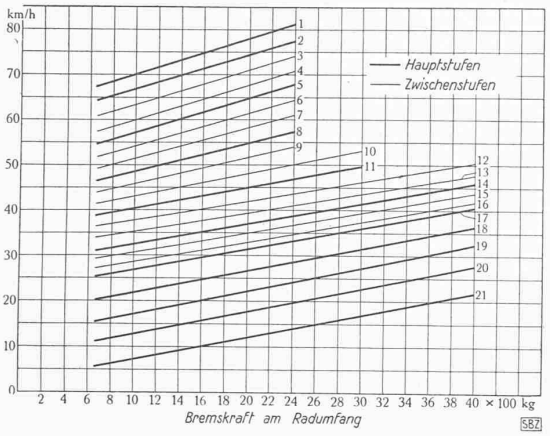


Abb. 11. Nutzbrems-Kurven

Dieser Nachteil wird dadurch behoben, dass ein Widerstand in den Ankerstromkreis eingeschaltet wird, dessen grösster Teil sowohl vom Feldstrom als auch vom Ankerstrom durchflossen wird. Nimmt nun der Ankerstrom zu, so wächst der Spannungsabfall im Widerstand, d. h. im eigentlichen Erregerkreis steht jetzt eine kleinere Spannung für das Hindurchtreiben des Stroms zur Verfügung, sodass der Erregerstrom abnimmt. Im gleichen Sinne wirkt der Widerstand im Ankerstromkreis, mit zunehmendem Spannungsabfall im Widerstand müssen die Triebmotoren eine grössere EMK entwickeln, als wenn nur die Wicklungswiderstände vorhanden wären, und daher schneller laufen. Der fragliche Widerstand wirkt im Sinne einer Stabilisierung der Bremsverhältnisse und wird daher als Stabilisierungswiderstand bezeichnet.

Im Bremsbetrieb wird, ebenso wie im Fahrbetrieb, die Fahrgeschwindigkeit durch Anschliessen der Triebmotoren an die verschiedenen Anzapfungen des Stufentransformators verändert. Aus konstruktiven Gründen lassen sich, bei den meistens beschränkten Raumverhältnissen, nicht beliebig viele Anzapfungen an den Stufentransformator anbringen; man beschränkt ihre Anzahl auf das für den motorischen Betrieb unbedingt Nötige und kann dann für den Bremsbetrieb, bei fester Einstellung der Erregung, höchstens gleich viele Stellungen wie im Fahrbetrieb erreichen. Dabei darf man mit der Steilheit der Kurven, mit Rücksicht auf die Verluste im Stabilisierungswiderstand, nicht zu weit gehen. Auch muss es aus Sicherheitsgründen möglich sein, die Geschwindigkeit des Triebwagens mit der elektrischen Bremse weit genug zu senken. Es muss deshalb die Erregung der Triebmotoren auf den untersten Stufen verstärkt werden, während anderseits auf den obersten Stufen eine gewisse Schwächung erwünscht sein kann, um die elektrische Bremsung bis ungefähr zur höchsten Fahrgeschwindigkeit benützen zu können. Die sich hieraus ergebende Aufgabe wird von einem Zusatz-Transformator erfüllt, dessen Primärwicklung einerseits an eine der oberen Anzapfungen des Stufentransformators, anderseits an den Mittelpunkt der Stromteiler-Drosselspule angeschlossen ist.

Vom betrieblichen Standpunkt aus musste besonderer Wert auf möglichst genaue Einhaltung bestimmter Geschwindigkeiten auf den verschiedenen Gefällen gelegt werden, daher mussten zusätzliche Bremsstellungen im hauptsächlichsten Verwendungsbereich der Bremsung geschaffen werden. Dies wäre auf verschiedene Arten möglich gewesen, z. B. durch Ausbildung des Zusatztransformators als Stufentransformator mit Stufenschalter oder Schützen oder auch als Spiral-Transformator, gegebenenfalls auch durch Veränderung des Stabilisierungswiderstandes. Im vorliegenden Falle ergab sich als einfachste Lösung die Einschaltung eines Zusatzwiderstandes in den Erregerstromkreis; durch Einschaltung dieses Widerstandes in zwei Stufen durch Schützen tritt eine so weitgehende Feldschwächung ein, dass der Abstand zwischen den hauptsächlich benützten Hauptstufen zwischen 2 und 17 in je drei ungefähr gleich grosse Abschnitte unterteilt wird; dadurch erhielt man 21 Bremsstellungen. Damit während dem Ein- und Ausschalten der Nutzbremse die zwei Zwischenschützen nicht fortwährend schliessen und öffnen, werden die Spulen dieser Schützen über die geschlossenen Kontakte der offenen Trennhüpfer gespeist. Sobald diese schliessen, fällt diese Speisung weg und die Zwischenschützen werden entsprechend dem Steuerbelag betätigt.

Die Spannung für die Grunderregung der Triebmotoren beim Bremsen wird von der niedrigsten Spannungsstufe des Stufen-Transformators geliefert. Der betr. Stromkreis umfasst die Feldwicklungen der Triebmotoren, einen regulierbaren Kondensator, zwei Zusatzwiderstände, wovon der eine regulierbar ist, und die Sekundärwicklung des Zusatztransformators.

Je zwei Triebmotoranker sind dauernd hintereinander geschaltet und zwar sowohl in der Bremsschaltung, als auch in der Fahrschaltung. Die Feldwicklungen dagegen sind so ausgebildet, dass in der Fahrschaltung die beiden Feldwicklungen jeder Motorgruppe parallel geschaltet sind, somit nur vom halben Ankerstrom durchflossen werden. Im Bremsbetrieb werden diese beiden Feldwicklungen unter sich und mit denen der andern Triebmotorgruppe in Reihe geschaltet, wobei man den Erregerstrom auf einen, im vorliegenden Falle für die Bemessung des Kondensators günstigen, geringen Wert herabsetzen kann.

Der Kondensator besteht aus zwei Kasten mit einer Gesamt-Kapazität von 100 kVAr, wovon ein Teil feinstufig regulierbar ist. Diese von der Micafil AG. in Zürich-Altstetten stammenden Kondensatoren sind mit einer «Nepolin» genannten dielektrischen Flüssigkeit gefüllt, deren Verwendung die Raum-Inanspruchnahme der Kondensatoren gegenüber jenen von Kondensatoren mit Oelfüllung ganz bedeutend herabsetzt und so ihren Einbau unter dem Wagenboden ermöglicht. Kondensatoren mit Oelfüllung hätten bei $16\,^2/_3$ Hz in dem zur Verfügung stehenden Raum nicht untergebracht werden können.

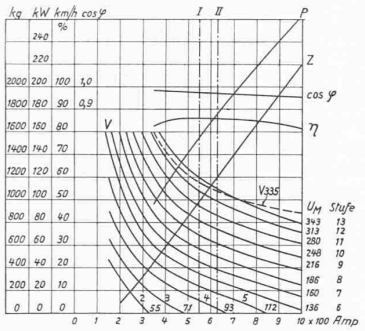
Die Verstellung der Kapazität, die erforderlich ist, um den Erregerstrom der Triebmotoren in Phasen-Uebereinstimmung mit dem Ankerstrom zu bringen, wird durch einen Regulierapparat hervorgebracht, dessen Antriebmotor unter Einwirkung eines Steuerrelais steht. Dieses Relais ist nach dem Ferraris-Prinzip gebaut; sein Drehsystem wird von zwei Wicklungen beeinflusst, wovon die eine einen Strom führt, der dem Ankerstrom der Triebmotoren proportional ist, und die andere von einem dem Erregerstrom proportionalen Strom durchflossen wird. Diese Ströme bewirken, dass das Steuerrelais solange ein Drehmoment ausübt, als sie nicht in Phase sind, wodurch Kontakte geschlossen werden, die ein Eingreifen des Kondensator-Regulierapparates im erforderlichen Sinne zur Folge haben. Dadurch wird die weiter oben erwähnte Anpassung an die Spannungs- und Belastungsverhältnisse der Triebmotoren erreicht.

Will der Führer von «Fahrt» auf «Bremsung» übergehen, so hat er dazu lediglich das Handrad seines Steuerkontrollers von der jeweiligen Fahrstellung über die Stellung 0, wo die Triebmotoren durch Stufen- und Trennschütze abgeschaltet werden, auf die erste Bremsstellung zu drehen. Während des Ueberganges von 0 auf die erste Bremsstellung werden durch die beiden Wende- und Bremsschalter die Triebmotoren-Feldwicklungen von den Ankern abgetrennt, der getrennte Erregerstromkreis gebildet und an den Stufentransformator angeschlossen. Die nun erregten Triebmotoren erzeugen, bei zunächst offenem Ankerstromkreis, eine der Fahrgeschwindigkeit entsprechende Spannung, die durch den einen Zeiger eines auf dem Führertisch befindlichen Doppel-Voltmeters angezeigt wird. Der Mittelwert der Spannungen der jeweils eingeschalteten beiden Anzapfungen des Stufentransformators wird vom zweiten Zeiger dieses Voltmeters angegeben; der Führer muss dann das Handrad seines Steuerkontrollers weiter drehen, bis Triebmotor- und Transformatorspannung ungefähr übereinstimmen, dann veranlasst ein Parallelschaltrelais das Schliessen des Ankerstromkreises durch die Triebmotoren-Trennschütze, wonach die Bremswirkung sofort einsetzt. Wenn die Bremsung eingeleitet werden soll, müssen die Phasenlagen der Triebmotoren- und der Transformatorenspannung möglichst übereinstimmen, um Stromstösse beim Einschalten zu vermeiden. Dazu muss vorher die Kondensator-Kapazität, durch Rückführung des Kondensator-Regulier-Apparates, so eingestellt werden, dass der Erregerstrom und damit die Triebmotorenspannung in der Phase ungefähr mit der Transformatorspannung zusammenfällt. Diese Rückführung geht selbsttätig vor sich, sodass sie den Bremsbetrieb nicht stört.

Das Parallelschaltrelais ist mit einem Rückwatt-Relais verbunden, das die Unterbrechung des Ankerstromkreises herbeiführt, wenn in der Bremsschaltung motorischer Strom auftritt. Die Einstellung der Wendepol-Shuntung der Triebmotoren muss für den Uebergang auf Bremsung geändert werden; sie passt dann nicht mehr für motorischen Betrieb und würde bei starkem motorischem Strom zu unangenehmer Funkenbildung am Kommutator führen, die vermieden werden muss, wozu das eben erwähnte Rückwatt-Relais dient.

Versuchsergebnisse

Die Prüffeldversuche, die mit den Triebmotoren, Transformatoren, Kondensatoren und den übrigen Apparaten durchge-



P = Leistung in kW am Triebrad bei 335 Volt am Motor
Z = Zugkraft in kg am Triebradumfang
V = Geschwindigkeit in km/h bei 15000 Volt am Fahrdraht (n = 29 x V)
V = Geschwindigkeit in km/h bei 335 Volt am Motor
cos φ = Leistungsfaktor bei 335 Volt am Motor
η = Wirkungsgrad in % bei 335 Volt am Motor (Getriebeverluste nach AIEE)
U_M = Spannung am Motor bei 550 Amp (Stufen 1+3 im Stillstand)
I = Dauerstrom II = Stundenstrom SBZ

Abb. 12. Motor-Kurven

führt wurden, ergaben gute Uebereinstimmung mit den garantierten Werten. Die Triebmotorencharakteristik zeigt Abb. 12. Die Erwärmungen der Motoren blieben bei Stundenleistung auf 83 %, bei Dauerleistung auf 70 % der nach Tabelle I der IEV-Vorschriften zulässigen Werte. Für die Kondensatoren wurde durch Versuche festgestellt, dass sie ohne Gefahr, selbst bei Temperaturen von — 30° bis — 40° C eingeschaltet werden können, ohne dass eine Verschlechterung des Dielektrikums eintritt oder die Sicherheit vermindert wird.

Durch vertraglich vereinbarte Dauerversuche wurde geprüft, ob die Fahrzeuge den gestellten Fahrbedingungen genügen. Zur Feststellung der Erwärmung von Motoren und Transformatoren wurden mit je 10 Minuten Umschlagzeit drei Fahrten Pfäffikon-Arth/Goldau-Pfäffikon und anschliessend drei Fahrten Wädenswil-Einsiedeln-Wädenswil ausgeführt, mit einem Zuge von insgesamt 99,5 t Zuggewicht (belasteter Triebwagen mit 50 t Anhängelast), je 2 Minuten Halt in Biberbrücke und je ½ Minute auf den übrigen Stationen. Solche Versuche wurden sowohl im Winter mit Zugheizung, als im Sommer ohne diese durchgeführt. Zur Messung wurden primär eingebaute registrierende Volt-, Ampère- und Wattmeter der SBB verwendet und deren aufgezeichnete Messergebnisse nachher mittels Planimetrierung ausgewertet. Gleichzeitig wurden Bezug und Rücklieferung der Energie durch einen besonderen kWh-Zähler der Firma Landis & Gyr, Zug, gemessen, dessen Stromkreis primär, die Spannung aber sekundär an der 232 V-Anzapfung angeschlossen war. Ein Vergleich der auf beide Wege gemessenen Resultate ergab wegen dem ungleichen Anschluss die für den Zähler einzusetzende Korrektur (für Bezug + 4 %, für Lieferung + 6 %).

Die Fahrten zur Messung der Erwärmungen wurden möglichst nach den vertraglichen Leistungen und Geschwindigkeiten durchgeführt. Dank der reichlich bemessenen Ausrüstung und des geringen Spannungsabfalles können die Fahrzeiten jedoch erheblich unterschritten werden, denn die erreichte Beharrungs-Fahrgeschwindigkeit auf 50 ‰ Steigung beträgt bei 15 kV Fahrdrahtspannung für den Wagen allein (50 t): 65 km/h (vertraglich 50 km/h), für den Zug von 100 t: 48 km/h (vertraglich 40 km/h). Bei späteren Versuchen wurde mit diesen erreichbaren Geschwindigkeiten gefahren. Die Fahrzeiten betrugen, einschliesslich der Halte:

Strecke	mit vertraglichen Geschwindigkeiten	mit erreichbaren Geschwindigkeiten	
Zugsgewicht:	99,5 t	50 t	89 t
Pfäffikon-Goldau	64 min	48,5 min	50 min
Goldau-Pfäffikon	60 min	48 min	50 min
Wädenswil-Einsiedeln	30 min	23 min	24,5 min
Einsiedeln-Wädenswil	33 min	26,5 min	27 min

Für die Nutzbremse wurde bei der Bestellung vereinbart, dass sie für die Abbremsung des vollbesetzten Triebwagens auf der Talfahrt zu bemessen sei. In der Folge zeigte sich, dass die Kommutierungsverhältnisse der Triebmotoren so günstig waren, dass man versuchsweise das gesamte Zuggewicht von 100 t auf der Talfahrt abbremste. Nachdem dies gelang, wurden die nötigen Aenderungen getroffen, um regelmässig bis zu 85 t Zugsgewicht elektrisch abzubremsen, welche Begrenzung mit Rücksicht auf die Transformer-Erwärmung gegeben war. Tabelle 1 enthält die wichtigsten Ergebnisse der Energiemessung *vor* dieser Aenderung. Der Versuchszug hatte ein Gesamtgewicht von 99,5 t, von denen nur rd. 50 t elektrisch, der Rest aber mit Luft gebremst wurde. Die Fahrzeit entsprach der vertraglichen.

Tabelle 1

Strecke	kWh Bezug	kWh Rücklieferung	kWh Netto	Wh/tkm Bezug	Wh/tkm Rücklieferung	Wh/tkm Netto	Rücklieferung in % des Bezuges
Pfäffikon-Goldau [1])	267,8	27,7	240,1	77,5	8,0	69,5	10,3
Goldau-Pfäffikon [2])	229,4	33,4	196,0	66,4	9,7	56,7	14,5
Pfäff.-Goldau-Pfäff.	497,2	61,1	436,1	71,9	8,8	63,1	12,4
Wädenswil-Einsiedeln	208,9	—	208,9	126,1	—	126,1	—
Einsiedeln-Wädenswil	23,5	24,4	— 0,9	14,2	14,8	— 0,6	104,0
W'wil-Einsiedeln-W'wil	232,4	24,4	208,0	70,2	7,4	62,8	10,5

[1]) Mittelwert aus drei Fahrten. [2]) Mittelwert aus zwei Fahrten

Tabelle 2

Strecke	kWh Bezug	kWh Rücklieferung	kWh Netto	Wh/tkm Bezug	Wh/tkm Rücklieferung	Wh/tkm Netto	Rücklieferung in % des Bezuges
a) Wagen allein, 50 t							
Pfäffikon-Goldau	136,6	29,7	106,9	79,0	17,1	61,9	22,0
Goldau-Pfäffikon	116,9	34,8	82,1	67,5	20,1	47,4	33,6
Pfäff.-Goldau-Pfäff.	253,5	64,5	189,0	73,2	18,6	54,6	25,4
Wädenswil-Einsiedeln	112,0	0,3	111,7	135,0	0,3	134,7	0,22
Einsiedeln-Wädenswil	13,1	29,3	—16,2	15,7	35,3	—19,5	224,0
W'wil-Einsiedeln-W'wil	125,1	29,6	95,5	75,3	17,8	57,5	23,6
b) Zug mit total 89 t							
Pfäffikon-Goldau	239,9	49,2	190,7	77,5	15,9	61,6	20,5
Goldau-Pfäffikon	205,4	55,5	150,0	61,5	18,0	48,5	27,0
Pfäff.-Goldau-Pfäff.	445,4	104,7	340,7	72,1	16,9	55,2	23,4
Wädenswil-Einsiedeln	195,5	0,5	195,0	132,0	0,3	131,7	0,25
Einsiedeln-Wädenswil	22,8	46,2	—23,4	15,4	31,4	—15,8	202,0
W'wil-Einsiedeln-W'wil	218,3	46,7	171,6	72,8	15,7	58,0	21,4

Die Fahrten *nach* der Aenderung wurden im Winter ausgeführt. Es wurden nur die beiden Plattformen geheizt, deren Heizstromverbrauch konstant ist, sodass der kW-Verbrauch pro Minute gemessen und die den Fahrzeiten entsprechenden Werte beim Bezug abgezogen und bei der Rücklieferung zugezählt werden konnten. Da nur der kWh-Zähler zur Verfügung stand, wurden die gefundenen Werte wie oben angegeben korrigiert. Es wurden Versuche sowohl mit dem belasteten Wagen allein, als auch mit einem Zuge von 89 t Gesamtgewicht durchgeführt und dabei ausschliesslich elektrisch gebremst.

Dank ihrer besseren Ausnützung liefert die Nutzbremse statt 10 bis 12 % nun 20 bis 25 % der bezogenen Energie zurück. Dabei wird die Energie mit gutem Leistungsfaktor an das Netz zurückgegeben, was ohne weiteres verständlich ist, weil der Erregerstromkreis fast den Charakter eines Ohm'schen Widerstandes annimmt, da sich induktive und kapazitive Spannungen entgegenwirken. Die Werte des Leistungsfaktors auf der Unterspannungsseite des Transformators müssen also im Bremsbetriebe besser sein, als im Fahrbetriebe unter sonst gleichen Verhältnissen. Es wurden Werte von etwa 0,95 bis 1,0 bei Fahrt mit 40 km/h auf 50 ‰ Gefälle (auf der Unterspannungsseite des Transformators) gemessen. Auf der Oberspannungsseite kommen, wie auch beim Fahrbetriebe, die Einwirkungen des induktiven Abfalls des Transformators und der Lieferung des Magnetisierungsstromes für den Transformator hinzu, wodurch der Leistungsfaktor, unter gleichen Verhältnissen, wie oben, auf etwa 0,9 herabgedrückt wird.

Das Gewicht der Nutzbremseinrichtung beträgt nur ungefähr 1,6 t, also nicht mehr, als eine Widerstandsbremse auch gewogen hätte. Ein Mehraufwand an Energie zur Beförderung des Gewichtes der Nutzbremse kommt deshalb nicht in Frage. Die Bedienung der Nutzbremseinrichtung hat sich als ebenso einfach wie die einer anderen elektrischen Bremse erwiesen und die Führer haben sich rasch daran gewöhnt. Die Bremsung ist elastisch, dank der grossen Stellungszahl sind die Stösse beim Einsetzen des Bremsens oder bei Stufenübergängen kaum merkbar. Die monatlichen Ablesungen der Wirk- und Blindenergie im Speisepunkt bestätigen, dass der Zweck erreicht wurde, indem trotz Rekuperation die bezogene Blindenergie nicht zunahm.

Die anfänglich aushilfsweise benützten Triebfahrzeuge waren für die besonderen Verhältnisse der Bahn ungeeignet:

zwei Lokomotiven der BT hatten keine elektrische Bremse und mussten deshalb 45 t Anhängelast als Bremsgewicht mitnehmen, ob sie gebraucht wurde oder nicht,

drei Motorwagen der BT mit nur zwei angetriebenen Achsen hatten zu schlechte Adhäsion und konnten fast keine Anhängelast mitnehmen; sie waren mit 59 t auch zu schwer,

drei Gepäcktriebwagen der SBB hatten Rekuperationsbremse und eigneten sich relativ am besten, obwohl auch sie zu schwer waren.

Die zweckmässige Bemessung der neuen Wagen ersieht man aus folgenden Vergleichszahlen:

In den Monaten Juni, Juli und August wurden im eigenen Netz (ohne Gemeinschaftsbahnhöfe) gebraucht:

	Wirkenergie kWh	Blindenergie BkWh	Blindenergie in % der Wirkenergie
1939 mit geliehenen Fahrzeugen	656 610	526 270	80 %
1940 mit eigenen Fahrzeugen	436 495	343 350	78,8 %

Mit den eigenen Fahrzeugen wurde also nur noch 66,5 % der Energie verbraucht, die die geliehenen erforderten, wobei trotz Rekuperation von rd. 10 % der prozentuale Verbrauch an BkWh noch abgenommen hat. Dabei waren die Einnahmen im 2. und 3. Quartal 1940 um etwa 37 % höher als im Vorjahr.

Wichtig ist auch die *Anfahrzugkraft* des Wagens, da Halte vor Signalen in Steigungen von 50 ‰ immer vorkommen können und die Bahnhöfe sehr kurz sind, sodass es selten möglich ist, mit der gewünschten Geschwindigkeit in die Steigung einzufahren. Die Versuche ergaben für den

100 t-Zug auf 50 ‰: 46 km/h in 75 sec (lt. Vertrag 40 km/h)
50 t-Wagen auf 50 ‰: 50 km/h in 20 sec

Da die Wagen auch beim Publikum guten Anklang gefunden haben, kann man sagen, dass sie sowohl in betrieblicher, als auch in technischer Hinsicht vollauf befriedigen.

Lawinenkurs für Forstleute in Davos

Seit der im Jahre 1931 erfolgten Gründung der «Schweizerischen Kommission für Schnee- und Lawinenforschung» wurden für die Zeit vom 15. bis 21. Dezember 1940 zum ersten Mal Forstleute aus der ganzen Schweiz zu einem Kurs nach Davos eingeladen. Die Begrüssung der rd. 30 Teilnehmer erfolgte durch Oberforstinspektor M. Petitmermet. Einleitend wies er auf die Verdienste von Forstinspektor Dr. E. Hess hin, der sich seit jeher ganz besonders mit den Problemen von Schnee und Lawine beschäftigt hatte. Ebenso wurde kurz auf die bisherigen Erfolge der Forschung hingewiesen, die ihren Hauptniederschlag in der Schrift: «Der Schnee und seine Metamorphose»[1]) fanden. Die eigentliche Organisation des Kurses lag in den Händen von Forstinspektor Dr. E. Hess. Als Referenten und Klassenlehrer für die in vier Gruppen aufgeteilten Teilnehmer amteten Ing. Dr. R. Haefeli, Dr. Winterhalter, Ing. Bucher, Ing. Roch, Chr. Thams und Jost. Im normalen Tagesprogramm waren die Vormittage für Vorträge und Theorie, die etwas wärmeren Nachmittage für die Arbeiten im Gelände und die Abende für Filmvorträge reserviert[2]). Im Verlaufe von mehr als zehn Vorträgen, illustriert mit zum Teil prachtvollen Diapositiven und mehreren Filmen, wurden sowohl die bisherige vielseitige Arbeit und ihre Ergebnisse, als auch die neuen Forschungsziele klar umrissen.

Dieser Kurs für Forstleute war umsomehr zu begrüssen, als ja die Erstellung von Lawinenverbauungen seit jeher in den Händen der Forstbeamten liegt. Ohne genügende, theoretische Grundlagen, seien es Kenntnisse über die physikalische Beschaffenheit des Schnees, wie über das Spiel der Kräfte in der Schneedecke als Ganzem, wurden jährlich Bauten von zum Teil sehr grossem Ausmass erstellt, die beträchtliche Summen öffentlicher Gelder erforderten. Die Intensivierung des Verkehrs (Bahnen, Ausbau der Alpenstrassen, Wintersport) rückte einerseits das Erfordernis von Lawinenverbauungen immer stärker in den Vordergrund, anderseits wurde die Forschung angeregt, sich den rein theoretischen und wissenschaftlichen Fragen zuzuwenden.

Nach einer eigentlichen Frühperiode im Lawinenverbau wurden in der Neuzeit die Probleme von Schnee und Lawine mit aller Tatkraft, namentlich durch Forstinspektor Dr. E. Hess, wieder aufgenommen und gefördert. Andere Länder waren uns mit ihren Forschungen bereits vorausgeeilt, und es ist eigentlich unverständlich, dass im klassischen Land der Berge, der Schweiz, die Keimruhe solange dauern musste, bis man sich endlich in gründlicher Weise an die Probleme heranmachte. Die Entwicklung, die die Schneeforschung seit der Gründung der Kommission nahm, wurde während des Kurses oft mit dem Anwachsen einer Lawine verglichen. Anfänglich wurden die Methoden zur Erforschung der Schneemechanik der Erdbauforschung entnommen. Vergleiche zwischen den zwei Materien, Schnee und Erde, sind ja auch naheliegend. Bald aber wurden für die physikalische Schneeforschung eigene Apparate entwickelt und konstruiert[3]). Dank der besonderen Eigenschaften des Schnees, insbesondere seiner hohen Plastizität, gelang es diesem Forschungszweig verhältnismässig rasch, Erscheinungen zu erklären, die zum Teil auch aus der Erdbauforschung bekannt waren, deren Zusammenhänge dort aber nicht erfasst werden konnten. So kommt es, dass heute Methoden und Ergebnisse aus der Schneeforschung, sinngemäss übertragen, im Erdbau verwertet werden können. Besondere Erwähnung verdient die Erforschung der Kriechvorgänge in der Schneedecke.

Mit dem jährlichen Ereignis des Schneefalls und damit der Bildung der Schneedecke wiederholen sich, grob verglichen, Epochen der geologischen Bildung der Erdoberfläche. Der Schnee fällt, wird entweder verweht oder abgelagert, durch den Wind gepackt usw., und bildet zuletzt eine zusammenhängende Schneedecke. Dieser Vorgang wiederholt sich, Schicht lagert auf Schicht, und in den anscheinend ruhenden, stabilen Decken finden weitere Umwandlungen statt. Dabei spielen folgende, teilweise in Wechselwirkung zueinander stehende Faktoren mit: Meteorologische Verhältnisse - Schneefall - Schneedecke - Metamorphose - Spannungsverhältnisse in der Schneedecke - mechanische Veränderungen. Mit der Erkenntnis dieser Zusammenhänge war auch der Arbeitsgang der Forschung festgelegt: Die Zusammenarbeit von Meteorologe, Kristallograph, Ingenieur (Mechaniker) und Geologe wurde zur Notwendigkeit. Die auf dieser Grundlage erfolgten Forschungsarbeiten führten bis jetzt, kurz zusammengefasst, zu folgenden Ergebnissen.

Wir kennen die Schnee bringenden Wetterverhältnisse; die Gesetze, nach denen der Schnee an festen Hindernissen zurückgehalten bzw. verweht wird, sind dagegen noch ungenügend bekannt. Mit der systematischen Erforschung dieser Fragen muss erst begonnen werden. Ihre Abklärung wird für die praktische Lawinenverbauung von sehr grosser Wichtigkeit sein (Gwächtenbildung, Freiwehung von Verbauungen u. a. m.). Die Untersuchungen über den Aufbau des Schnees zeigten, dass der frische Schneekristall als hexagonaler Schneestern, Prismenplättchen, Prisma oder als Kombination all dieser Formen fällt. Die Neuschneekristalle sind jedoch nicht formstabil, da ihre Masse im Vergleich zur Kristalloberfläche sehr klein ist. Schon bei tiefen Temperaturen beginnt der Kristall sich umzubilden, die Masse sublimiert und lagert sich enger um den Kristallkern ab. Das Schlussglied dieser Entwicklung kann ein Schneekörnchen sein. Diese, am frei gelagerten Schneesternchen zu beobachtenden Umwandlungen vollziehen sich in der Schneedecke, wo gewisse Drücke und relativ hohe Temperaturen vorhanden sind, naturgemäss rascher. Da sich die Kristalloberfläche verkleinert, ist die direkte Folge der Metamorphose das Setzen der horizontalen Schneedecke. Dieser Vorgang entspricht, mechanisch betrachtet, einer Zusammendrückung. Auf der schiefen Ebene (am Hang) kommt dazu eine Schiebung, die je nach der Oberflächenbeschaffenheit in Bodennähe mehr oder weniger abgebremst ist. Hervorgerufen durch diese verschiedenen Bewegungskomponenten treten in der Schneedecke Spannungen auf. Gefährliche Spannungszonen des Lawinenhanges sind besonders konkave Gefällsbrüche und Stellen mit zunehmender Schneehöhe hangabwärts[4]). — Die durch die Metamorphose bedingte Fähigkeit des Schnees, sich plastisch zu verformen, ist als Hauptursache für die Entstehung von sehr hohen *Zugspannungen* in der Schneedecke zu betrachten (Abb. 1). Die Erforschung der Plastizitätsverhältnisse war in diesem Zusammenhang von grosser Wichtigkeit.

Gestützt auf diese knapp umrissenen Erkenntnisse ist die Forschung dazu übergegangen, die praktischen Verbauungsfragen zu studieren. Die theoretisch errechneten Schneedrücke werden an verschiedenen Verbauungselementen (Weissfluhjoch, Alp Grüm

[1]) *Bader H., Haefeli R., Bucher E., Neher J., Niggli P., Eckel O., Thams Chr.:* «Der Schnee und seine Metamorphose». Beiträge zur Geologie der Schweiz — Geotechnische Serie — Hydrologie, Lief. 3. Kümmerly & Frey, Bern 1939.

[2]) Das Kursprogramm umfasste folgende Hauptvorträge: *Winterhalter:* Die Metamorphose des Schnees. *Haefeli:* Die Mechanik der Schneedecke (1. und 2. Teil). *Thams:* Einführung in die Windverfrachtung des Schnees *Jost:* Künstliche Loslösung von Lawinen. *Haefeli:* Neues über Verbauungen (1. und 2. Teil).

[3]) *R. Haefeli:* Tätigkeitsbericht 1934/37 in «SBZ» Bd. 110, S. 87* (1937).

[4]) *R. Haefeli:* Schneemechanik. Sonderdruck aus «Der Schnee und seine Metamorphose». Buchhandlung z. Elsässer, Zürich 1939; ferner in «SBZ» Bd. 113, S. 312* (1939).