

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	73 (1955)
<b>Heft:</b>	44
<b>Artikel:</b>	Die schweizerische Entwicklung im Bau elektrischer Lokomotiven für Adhäsionsbetrieb
<b>Autor:</b>	Sachs, Karl
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-62013">https://doi.org/10.5169/seals-62013</a>

### Nutzungsbedingungen

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

### Conditions d'utilisation

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

### Terms of use

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

**Download PDF:** 25.01.2026

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

- [18] P. Kasser: Sur le bilan hydrologique des bassins glaciaires avec applications au Grand glacier d'Aletsch; Procès-Verbaux UGGI 1954, Rome (im Druck).
- [19] M. Bider: Vom Basler Klima. «Wirtschaft und Verwaltung» 1948, H. 4.
- [20] R. Billwiler: Temperatur und Niederschlag im Schweiz. Alpengebiete während des letzten Gletschervorstoßes und einige Rückschlüsse auf die eiszeitlichen Verhältnisse. «Annalen der Met. Zentralanstalt» 1930, 67. Jahrg.
- [21] Th. Zingg: Gletscherbewegungen der letzten 50 Jahre in Graubünden. «Wasser- und Energiewirtschaft» 1952, S. 132.
- [22] R. Haefeli: Fundationsprobleme des Lawinenverbaus. «Strasse und Verkehr» Bd. 40, Nr. 9, 1954 (Mitt. VAWE Nr. 32).
- [23] R. Staub: Der Pass von Maloja. Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubündens 1950/51 und 51/52.
- [24] J. Jegerlehner: Die Schneegrenze in den Gletschergebieten der Schweiz. Bern 1901, Gerlands Beiträge zur Geophysik, Band V, H. 3.
- [25] W. Kuhn: Statistische Ergebnisse der Firnuwachsmessungen. Verhandlungen der S. N. G., 1953.
- [26] G. Wasmuth: Die Entwicklung der Erde, 1950.

## Die schweizerische Entwicklung im Bau elektrischer Lokomotiven für Adhäsionsbetrieb

Von Prof. Dr. Karl Sachs, ETH, Zürich

DK 621.335

Schluss von Seite 643

Die drei RFe 4/4-Lokomotiven der Serie 601 haben die Aera einer Reihe fruchtbare Neukonstruktionen eingeleitet. Die Antriebsbauart war allerdings schon bei den RCe 2/4-Schnelltriebwagen der Serie 601 der Bundesbahnen angewendet worden. Es handelt sich um einen von BBC modifizierten Antrieb mittels Federtöpfen, die in den Körper des grossen Zahnrades eingebaut sind. Dieses rotiert auf einem kurzen, in das Motorgehäuse eingepressten Hohlwellenstummel. Zwischen die Federtöpfen ragen die Arme eines Mitnehmers, der auf die Triebachse aufgezogen ist. Die reibenden Flächen der Mitnehmerarme, Federteller und Federtopfgehäuse werden gemeinsam mit den Zahnrädern geschmiert. Die Hauptmerkmale der Drehgestellkonstruktion bestehen in der tiefliegenden, querpendelnden Wiege und in der seitlichen Abstützung des Kastens auf dem Wiegebalken (Vierpunktstützung).

Die kleine Leistung von 1240 PS reichte jedoch bald nicht mehr aus, weil die Frequenz der Städteschnellzüge rasch anstieg, namentlich als nach Kriegsausbruch der Automobilverkehr und damit dessen Konkurrenz bald ganz verschwand. Die Bundesbahnen verkauften später die RFe 4/4-Lokomotiven an die Bodensee-Toggenburgbahn und an die Schweizerische Südostbahn. Der mit ihrer konstruktiven Konzeption eingeschlagene Weg aber war richtig und sollte wenige Jahre später mit grösserem Erfolg wieder beschritten werden.

Der Bedarf an leistungsfähigen Schnellzuglokomotiven speziell für den Dienst am Gotthard, der in den Jahren vor dem zweiten Weltkrieg dringend geworden war, wurde durch die 105 t schweren Ae 4/6-Lokomotiven der Serie 10 801 für 4200 kW Stundenleistung bei 85 km/h und 125 km/h Höchstgeschwindigkeit befriedigt.<sup>31)</sup> Trotz dieser Leistungssteigerung war es dank den inzwischen erzielten konstruktiven Fortschritten möglich, ausser den vier Triebachsen mit nur

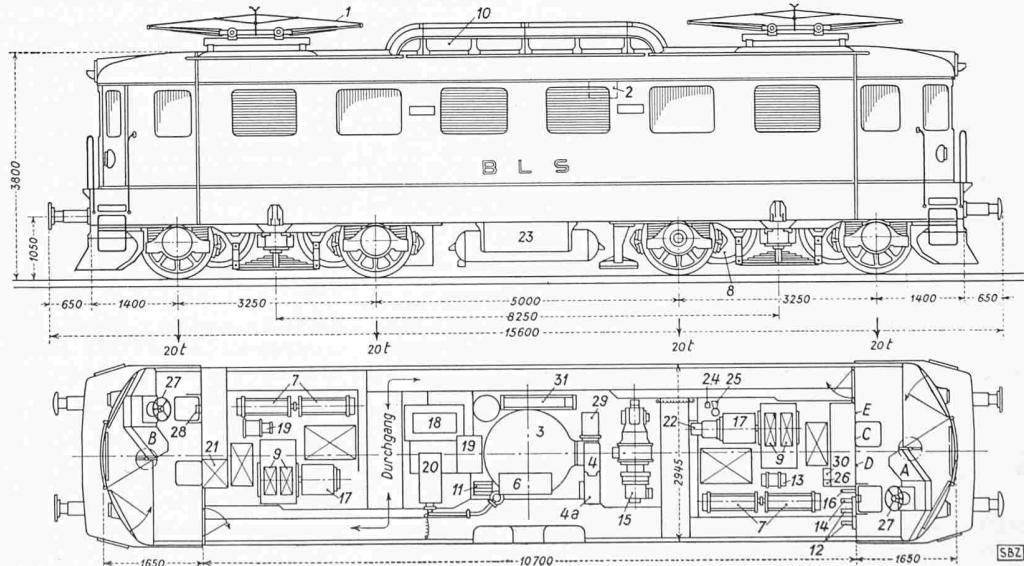
mehr zwei Laufachsen auszukommen, die mit den benachbarten Triebachsen wieder zu kombinierten Laufachs-Triebachs-Drehgestellen vereinigt wurden. Beim Triebwerk ist wieder der «Universalantrieb Winterthur» das kennzeichnende Merkmal wie bei den Ae 8/14-Lokomotiven Nr. 11 851 und 11 852.

Aehnlich, wenn auch nicht ganz gleich, lagen die Verhältnisse bei der Lötschbergbahn. Hier hat es sich darum gehandelt, die stark überalterten aus dem Jahre 1913 stammenden Be 5/7-Lokomotiven durch einen Typ zu ersetzen, der aber ein Anhängegewicht von 400 t statt von nur 300 t mit einer Geschwindigkeit von 25 % sollte befördern können. Es war das Verdens des damaligen Maschineningenieurs der BLS, F. Gerber, für diese Verhältnisse die Entwicklung der Ae 4/4-Lokomotiven der Serie 251 mit vier mit je 20 t vollausgelasteten Triebachsen bei den beteiligten Konstruktionsfirmen verlassen und durchgesetzt zu haben, die mit 80 t Totalgewicht und 4000 PS Stundenleistung zu einem Markstein in der Geschichte des Elektrolokomotivbaues wurden<sup>32)</sup>, Bild 5. Die ersten beiden Lokomotiven dieses Typs kamen 1944 und 1945 in Betrieb, bis 1956 werden insgesamt acht Lokomotiven dieser Reihe vorhanden sein. Neuartig waren hier ausser dem weitgehend geschweissten Oberkasten der ein selbsttragendes Rohr bildet, die Drehgestelle mit Führungsrehzapfen und unter den Drehgestellrahmen angeordneten Wiegebalken, die die Zugkraft über Stützfüsse des Oberkastens nach diesem fortleiten und schliesslich mit Verbindungstraversen, die horizontale, vom Gleis her ausgehende Impulse (Spurkranzdruck) vom Oberkasten fernhalten und zu den Drehgestellrahmen stark gedämpft zurückleiten und zwar über pendelnd an diesen aufgehängte Kastentragfedern. Eine weitere Neuerung bestand in der Anwendung von Pendelrollen-

<sup>31)</sup> SBZ Bd. 117, S. 225 (1941, I); Bd. 119, S. 104 (1942, I)

<sup>32)</sup> SBZ Bd. 127, S. 218 (1946, I); 1951, Nr. 2, S. 13

Bild 5. Ae 4/4-Lokomotive Serie 251 der Berner Alpenbahn-Gesellschaft Bern—Lötschberg—Simplon gebaut von der Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur und der AG. Brown Boveri & Cie., Baden. Typenbild 1:120



A/B Beleuchtungsschalttafel,  
C Wechselstromschalttafel,  
D Gleichstromschalttafel, E Relaisplatte,  
1 Stromabnehmer, 2 Druckluft-Hauptschalter,  
3 Stufentransformator, 4 Stufenschalter,  
4a Funkenlöschschalter, 6 Ueberschaltwiderstand, 7 Wendeschalter,  
8 Triebmotor, 9 Ohmischer Shunt, 10 Bremswiderstand,  
11 4poliger Trennhüpfer, 12 Heizhüpfer,  
13 Transformator-Hilfsmotoren,  
14 Hüpfer für den Kompressormotor, 15 Kompressor,  
16 Hüpfer für die Ventilatormotoren,  
17 Ventilatormotoren für Triebmotor-Belüftung, 18 Vorschaltwiderstand für Hilfsmotoren Pos.  
17, 19 Beleuchtungsgenerator, 20 Ventilator und Oelpumpe für den  
Transformator, 21 Oelwärme-

platte, 22 Bremsgenerator, 23 Akkumulatoren-Batterie (36 V, 90 bis 100 Ah), 24 el. pneum. Ventil für Stromabnehmer, 25 Handluft-

pumpe, 26 Einschaltrelais für Hauptschalter, 27 Steuerkontroller, 28 Stufenschalterhandantrieb, 29 Stufenschaltermotor,

30 Verzögerungsrelais, Bremsrelais, Hilfsrelais (für die Sicherheitssteuerung), 31 Pneumatische Apparate

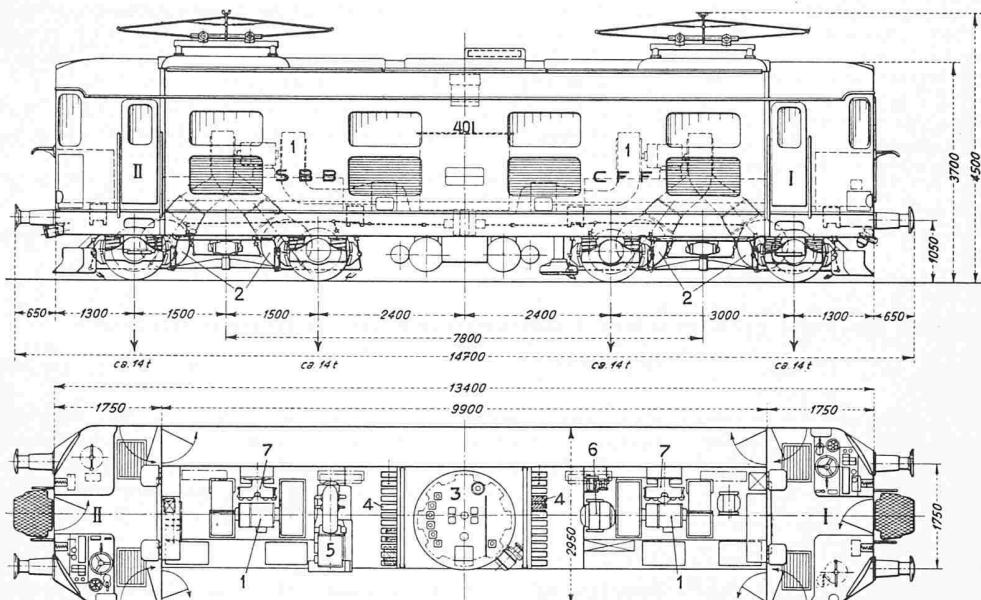


Bild 6. Re 4/4-Lokomotive Serie 401 der Schweizerischen Bundesbahnen, gebaut von der Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur, der Maschinenfabrik Oerlikon, der AG Brown Boveri & Cie, Baden, und der S. A. des Ateliers de Sécheron, Genf. Typenbild 1:120. 1 Ventilatorgruppen, 2 Triebmotoren, 3 Transformator, 4 Schützen, 5 Kompressorgruppe, 6 Bremsdrosselspule, 7 Wendschalter

lagern mit seitlichen Trägerarmen und hohlen Führungszapfen und Bronzehülsen mit darübergepressten Silentblocks (Gummihülsen mit äusserer und innerer Rohrarmierung). Die spielfreien zylindrischen Führungsflächen liegen in einem nach aussen abgeschlossenen Oelbad. Die dritte wesentliche Neuerung besteht beim Antrieb in der erstmaligen Verwendung zweier federnder Scheiben als ritzelseitig angeordnete Kardangelenke für 1000 PS Uebertragungsleistung.

Bei den *Bundesbahnen* ermöglichte nach dem Krieg der vermehrte Einsatz von Leichtstahlwagen das Gewicht der Städteschnellzüge trotz der notwendig gewordenen Erhöhung des Platzangebotes in beherrschbaren Grenzen zu halten und damit die Idee der Verwendung von Lokomotiven leichter Bauart und entsprechend kleinerer Leistung wieder aufleben zu lassen. So entstanden unter Anwendung von erstmals bei den Ae 4/4-Lokomotiven der Serie 251 der BLS verwendeten Bauelementen die Re 4/4-Lokomotiven der Serie 401 der SBB<sup>33)</sup> mit einem Gewicht von 56 bzw. 58 t, 1884 bzw. 1920 kW Stundenleistung bei 85 km/h und 125 km/h Höchstgeschwindigkeit, Bild 6. Die Drehgestelle dieser Lokomotiven sind von gleicher Bauart wie bei den BLS-Lokomotiven, nur der kleineren Leistung entsprechend schwächer gehalten. Als Antrieb wurde der BBC-Federantrieb von den ehemaligen RFe 4/4-Triebwagen der Serie 601 übernommen.

Um auf den Steilrampen der Gotthardstrecke die unpraktikablen und kostspieligen Fahrten mit Vorspann auf ein Minimum zu reduzieren, die bei den Ae 4/6-Lokomotiven der Serie 10 801 notwendig sind, sobald das Zugsgewicht 400 t überschreitet, wurden im Jahre 1950 zunächst zwei Lokomotiven mit sechs vollausgelasteten Triebachsen vom Typ Ae 6/6 in Auftrag gegeben, die mit einer eingebauten Motorstundenleistung von 6000 PS ein Anhängegewicht von 600 t über die Steilrampen sollten befördern können und die Ende 1952 bzw. Anfang 1953 in Betrieb kamen<sup>34)</sup>, Bild 7. Bemerkenswert sind bei diesen Lokomotiven die dreiachsigen Drehgestelle, bei denen die bei den Ae 4/4-Lokomotiven der Serie 251 angewandten konstruktiven Gedanken sinngemäß Anwendung gefunden haben. Die Rolle des zentralen Führungs-drehzapfens, der wegen des Motors der Mitteltriebachse nicht unterzubringen war, wird von zwei kreissegmentförmigen Gleitbahnen mit der Drehgestellmitte als Zentrum übernommen, die auf den Bunden zweier seitlich angeordneter Kastenträgfedern angeordnet sind und auf die sich der Oberkasten mittels Gleitschuhe abstützt. Beidseits der Mittelachse sind zwei je in den beiden mittleren Querträgern des Drehgestellrahmens eingepresste Mitnehmerzapfen mit ihrem Unterteil

in Querbalken des Oberkastens gelagert und zwar mit einem derartig aufgeteilten Spiel, dass immer nur einer der Zapfen die Kräfte zwischen Drehgestell und Kasten überträgt und zwar beim Ziehen der in der Fahrrichtung hintere und beim Bremsen der vordere. Jeder der sechs Motoren arbeitet unter Zwischenschaltung des BBC-Federantriebes auf seine zugehörige Triebachse; dieser Antrieb ist hier erstmalig für eine Leistung von 1000 PS angewendet worden.

Auch bei der *Rätischen Bahn* hat sich trotz Schmalspur und noch betofterem Gebirgsbahnencharakter eine parallele Entwicklung der Lokomotivbeschaffung vollzogen. Bei den Ge 4/4-Lokomotiven der Serie 601<sup>35)</sup>, die im wesentlichen als die schmalspurige Ausgabe der Ae 4/4-Lokomotiven der BLS angesehen werden können, wurde das Schwerpunkt auf die bedeutende Erhöhung der Geschwindigkeit bei

Bergfahrt um 50 % und in der Ebene um 67 % gelegt, da die daraus resultierende Zugkraftverminderung durch vermehrten Einsatz von Leichtstahlwagen wieder ausgeglichen werden konnte. Mit 47,6 t Gewicht, 1600 PS Stundenleistung bei 45,7 km/h und 75 km/h Höchstgeschwindigkeit handelt es sich bei diesen Lokomotiven mit BBC-Federantrieb um die leistungsfähigsten und spezifisch leichtesten Lokomotiven für Schmalspur.

An Detailkonstruktionen sind die modernen *Pendelrollenlager* bereits erwähnt worden. Sie haben die Gleitlager mit Dichtschmierung der älteren Fahrzeuge trotz deren Bewährung ersetzt, im Verein allerdings mit den Gleitlagern mit Schleuderschmierung der Bauart Isothermos und Friedmann.

Die *Zahnräder*, die in der Zeit vor dem ersten Weltkrieg noch manche Sorgen bereiteten, sind dank den damals aufgekommenen, mathematisch genauen Herstellungsverfahren der Zahnflanken nach der Evolente zu Gebilden von praktisch unbegrenzter Lebensdauer geworden, besonders wenn die Räder oberflächengehärtet und nachher nach dem Verfahren der Maag-Zahnradefabrik AG. in Zürich wieder auf das genaue Evolventenprofil geschliffen werden. Gefederte Zahnräder, d. h. vornehmlich gefederte Ritzel mit dem Zweck, resonanzfähige Schwingungen zu dämpfen und um das «Tragen» der Zahnräder auf der ganzen Breite zu gewährleisten, sind bei den älteren Lokomotiven häufiger verwendet worden. Sie haben ihre Bedeutung auch heute noch nicht verloren.

Bei Drehgestell-Lokomotiven hat sich eine *Querkupplung* zwischen den Drehgestellen sehr bewährt. Sie bewirkt die tangentiale Einstellung der Drehgestelle in den Kurven und damit eine wesentliche Verminderung der seitlichen Führungskräfte. Bei Lokomotiven mit weit auseinanderliegenden, also nicht kurzgekuppelten Drehgestellen, bei denen also die Zug- und Bremskräfte über die Drehzapfen auf den Lokomotivkasten übertragen werden<sup>36)</sup>, ist diese Querkupplung mit einer einstellbaren Federung versehen. Bei den Ae 6/6-Lokomotiven der Serie 11 401 ist diese Querkupplung auch als gefederte Vertikalkupplung ausgebildet, die einen teilweisen Ausgleich der durch die Zugkraft hervorgerufenen, am Rahmen zusätzlich ent- und belastend wirkenden Momente erlaubt.

Bei der *elektrischen Ausrüstung* unserer elektrischen Lokomotiven für Adhäsionsbetrieb handelt es sich so gut wie ausschliesslich um solche für Einphasen-Wechselstrom von 15 000 V bzw. 11 000 V Fahdrahtspannung und 16⅔ Hz.

<sup>33)</sup> SBZ 1949, Nr. 19, S. 270  
<sup>34)</sup> SBZ 1953, Nr. 6, S. 73

<sup>35)</sup> Brown Boveri Mitt. 1945, S. 409; 1947, S. 222; «Bulletin Oerlikon» Nr. 260, S. 1711  
<sup>36)</sup> z. B. bei den Ae 4/4-Lokomotiven Serie 251 der BLS oder bei den Re 4/4-Lokomotiven Serie 401 der SBB u. a.

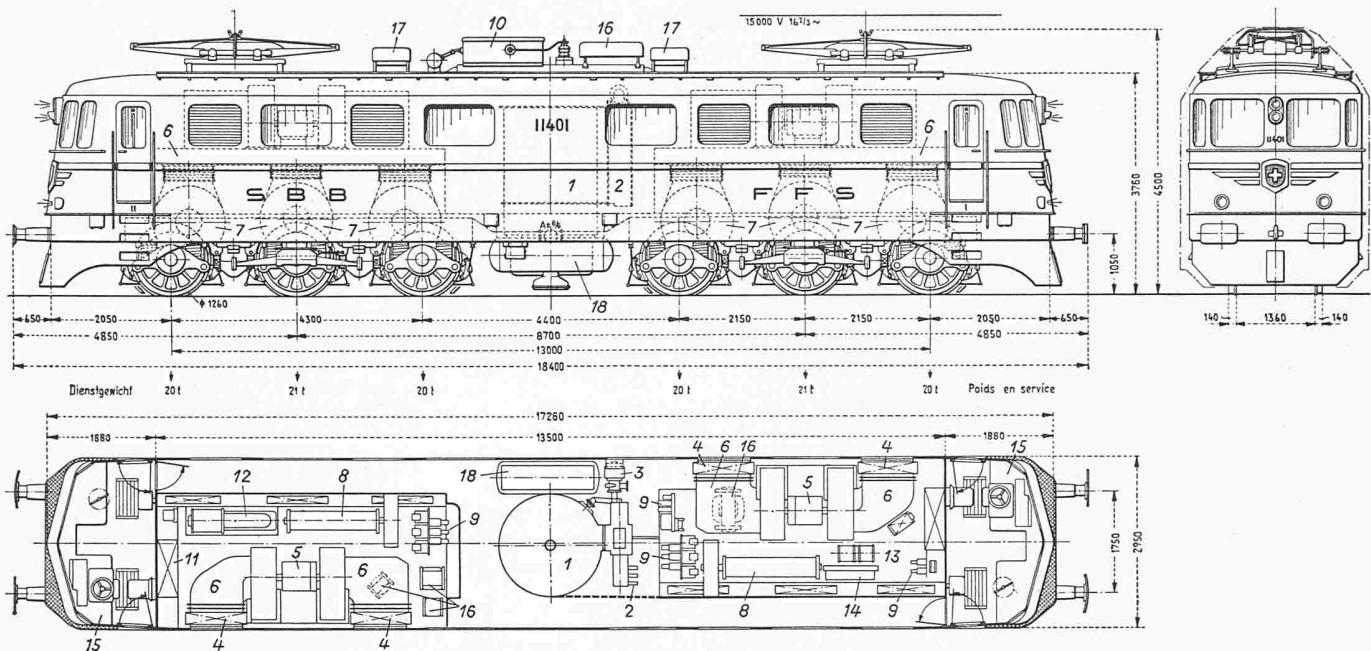


Bild 7. Ae 6/6-Lokomotive Serie 11 401 der Schweizerischen Bundesbahnen, gebaut 1950/52 von der Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur und der AG. Brown Boveri & Cie, Baden. Typenbild 1:125

1 Transformator	6 Luftkanal
2 Stufenschalter	7 Triebmotor
3 Oelpumpengruppe	8 Wende- und Bremsumschalter
4 Oelkühler	9 Hüpfen für Triebmotoren, Heizung und Hilfsbetriebe
5 Ventilatorgruppe	

10 Hauptschalter	14 Gerüst für pneumatische Apparate
11 Schalttafeln	15 Führertisch
12 Kompressorgruppe	16 Aparate für elektrische Bremse
13 Motorgenerator	17 Shuntwiderstände
	18 Hauptluftbehälter

Lokomotiven für Gleichstrom sind nur wenige vorhanden und Adhäsionsbahnen für Drehstrom existieren in der Schweiz nicht mehr. Bereits die erste Lokomotive dieser Art für den Versuchsbetrieb *Seebach—Wettingen*, die als Nr. 2 im Jahre 1905 in Betrieb kam, wies alle Bestandteile der elektrischen Ausrüstung eines modernen Triebfahrzeugs für Einphasen-Wechselstrom auf: Pantographenstromabnehmer, Hauptschalter, zwei luftgekühlte, parallelgeschaltete Transformatoren mit Anzapfungen auf der Unterspannungsseite, die mittels handbetätigtem Stufenschalter auf die beiden Triebmotoren von je 250 PS geschaltet wurden. Diese waren als Schöpfung von Dr. Behn-Eschenburg (1864 bis 1938)<sup>37)</sup> als Seriemotoren mit phasenverschobenem Hilfsfeld<sup>38)</sup> ausgeführt, eine Motorart, auf die sich in der Folge die gesamte Einphasen-Traktion diesseits wie jenseits des Ozeans aufbauen sollte. Der rechnerische Entwurf der Motoren wurde von Behn-Eschenburg selbst, die Konstruktion von A. Schirlin (1865 bis 1943) durchgeführt, der damit der erste Bahnmotorenkonstrukteur unseres Landes gewesen ist.

Bei der Lokomotive für die *Valle Maggia-Bahn* wurden Motoren gleicher Leistung verwendet; bei der Ce 6/6-Lokomotive Nr. 121 der *Lötschbergbahn* aus dem Jahre 1911 erreichte aber die Motorleistung bereits 1000 PS. Als Steuerorgan dienten bei diesen Lokomotiven erstmalig Schaltwalzen, betätigt von einem durchlaufenden Elektroservomotor in Verbindung mit einem elektromagnetisch stufenweise kuppelnden Klinkenmechanismus<sup>39)</sup>, eine vom Apparatekonstrukteur der MFO, B. Gagliardi (1884 bis 1921), geschaffene Steuerung, die bald darauf auch bei den Be 5/7-Lokomotiven der Serie 151 der BLS und den Ge 4/6-Lokomotiven der Serien 351 und 353 der *Rhätischen Bahn* angewendet wurde. Die Ge 4/6-Lokomotiven Serie 301 und die Ge 2/4-Lokomotiven der Serie 201<sup>40)</sup> der gleichen Bahnverwaltung erhielten, wie bereits erwähnt, durch Bürstenverschiebung stufenlos regelbare und in

gleicher Art umsteuerbare Repulsionsmotoren, so dass die ganze Steuerapparatur entfiel. Die Ge 4/6-Lokomotive Nr. 191 der gleichen Bahnverwaltung erhielt sog. doppeltgespeiste, für den Anlauf als Repulsionsmotoren und bei Lauf als Seriemotoren geschaltete Motoren Bauart AEG.

Bei den beiden von der MFO elektrisch ausgerüsteten Probelokomotiven für die *Gotthardstrecke* der SBB wurde grundsätzlich die gleiche Schaltwalzensteuerung verwendet, wie bei den Lokomotiven der BLS und Rh. B., von Gagliardi aber soweit modifiziert, dass der Elektroservomotor nicht mehr dauernd lief, sondern für die Ausführung jeder Schaltoperation ein- und ausgeschaltet wurde. Die Lokomotiven mit elektrischer Ausrüstung von BBC erhielten Seriemotoren mit Widerstandsverbindern, die nach einer von L. Modrow (1874 bis 1951) geschaffenen Bauart, zu einem besonderen Körper vereinigt, nicht nur elektrisch, sondern auch räumlich zwischen Ankerwicklung und Kollektor geschaltet wurde. Als Steuerorgan schuf BBC einen nach Art der Zellschalter für Akkumulatorenbatterie ausgebildeten, elektroservomatisch gesteuerten Stufenschalter.

Bei den Probelokomotiven der Bundesbahnen hat sich eindeutig der Übergang zum Oeltransformator vollzogen, abgesehen von der Be 3/5-Lokomotive 12 201, wo von der MFO noch ein letztes Mal — bei 15 000 V Oberspannung — Trockentransformatoren vorgesehen wurden. Bei den Probelokomotiven Be 4/6 12 302 und Ce 6/8<sup>1</sup> Nr. 14 201 baute BBC die Transformatoren mit glatten Kästen und führte die künstliche Kühlung des Transformatorensöls mittels Pumpe und Kühler ein, der in einer zu beiden Seiten der Lokomotive angeordneten Rohrschlange besteht, an dem noch bei den Ae 3/6<sup>1</sup>- und Ae 4/7-Lokomotiven der Serien 10 601 und 10 901 wenigstens im Prinzip festgehalten wurde.

Mit dem Eintritt der S. A. des Ateliers de Sécheron als dritte Lieferfirma für die elektrische Ausrüstung von Lokomotiven begann man verschiedene Ausrüstungsteile zu vereinheitlichen und zu vereinfachen. So wurde bei den Stromabnehmern die Federung vereinfacht und das ganze Gestell leichter gebaut. Die Ueberspannungs-Schutzapparate verschwanden und die Dachausrüstung wurde auf zwei Trennmesser und einen Erdungsschalter beschränkt. Der Hauptschalter in der Bauart BBC mit zylindrischem druckfestem Kübel und Vielfachunterbrechung, eingebaut ins Lokomotivdach wurde Einheitsölschalter.

Bei den Ae 3/5-, Ae 3/6<sup>III</sup>- und Be 4/7-Lokomotiven der Serien 10 201, 10 261 und 12 501 baute die Firma Sécheron in

<sup>37)</sup> SBZ Bd. 112, S. 327 (1938, II)

<sup>38)</sup> Schweiz. Pat. 30 388 der MFO vom 29. Febr. 1904

<sup>39)</sup> Gelegentlich eines späteren Ersatzes der beiden Trockentransformatoren der Lokomotive durch einen Oeltransformator auf Steuerung durch elektropneumatische Schütze umgebaut.

<sup>40)</sup> Von diesen sieben Lokomotiven sind heute nur zwei noch unverändert belassen worden. Fünf haben raschlaufende Seriemotoren erhalten, und zwar drei Lokomotiven (Serie 211) solche von 312 PS und zwei (Serie 221) solche von rund doppelter Leistung. In beiden Fällen arbeiten die Motoren über eine doppelte Zahnradübersetzung auf die bestehende mit ihren Kurbeln in das Horizontalkuppelgestänge eingeschaltete Blindwelle.

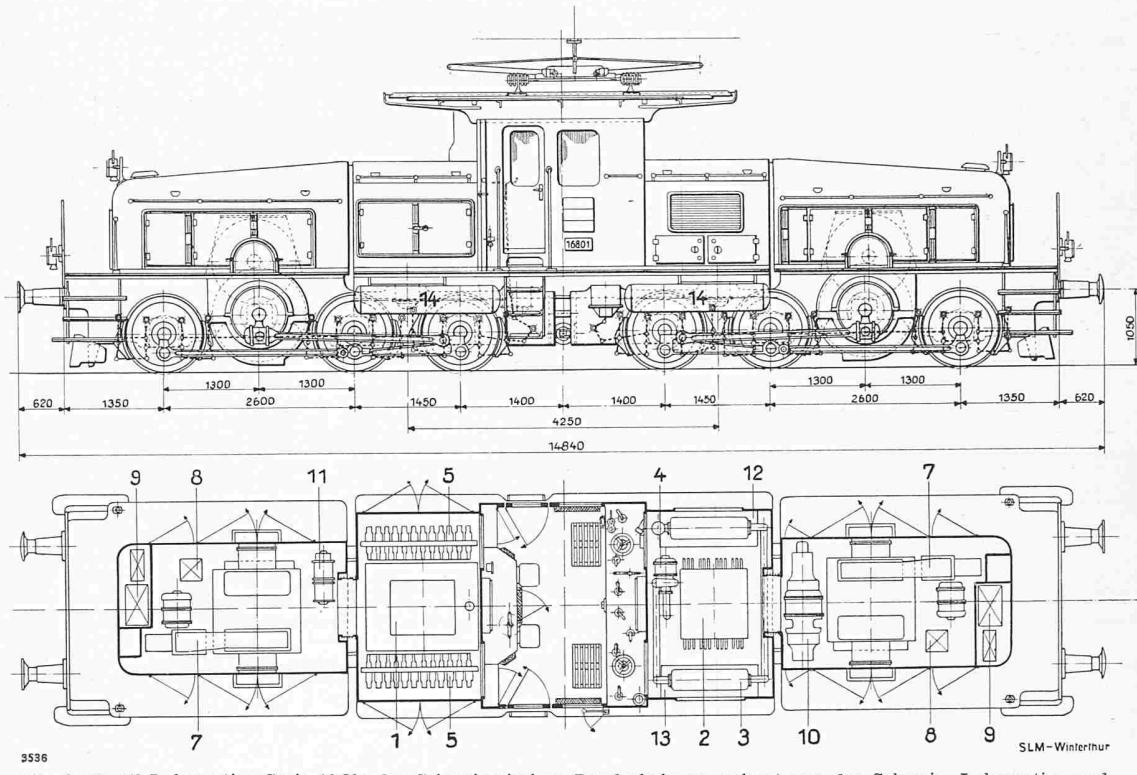


Bild 8. Ee 6/6-Lokomotive Serie 16 801 der Schweizerischen Bundesbahnen, gebaut von der Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur, der S. A. des Ateliers de Sécheron, Genf, und der AG. Brown Boveri & Cie., Baden.

Typenbild 1:100

1 Transformatoren	4 Oelpumpe	7 Ventilatorgruppe	10 Bremskompressor	13 Werkzeugkasten
2 Spannungsteiler	5 Stufenhüpfer	8 Wendeschalter	11 Umformergruppe	14 Luftbehälter
3 Oelkühler	6 Triebmotor	9 Shunts	12 Batterie	

die Transformatoren ein von Kühlluft durchströmtes Röhrenbündel ein. Im elektrischen Aufbau des Transformators wendete Sécheron von Anfang an den Manteltyp und Scheibensspulen an, während die andern Firmen die Kernbauart mit zwei bewickelten, horizontalen Säulen und Röhren- oder Scheibenspulen bevorzugten. Viele Jahre erfreute sich die Sparschaltung einer gewissen Beliebtheit, obwohl bei der grossen Differenz zwischen Ober- und Unterspannung die Ersparnis an Wicklungskupfer bescheiden war. Die MFO wendete während längerer Zeit das System der Mittelpunktserdung der Unterspannungswicklung an. Die niedrige Frequenz führte anfangs dazu, rechteckige Säulen- und Jochquerschnitte anzuwenden. Man musste in diesem Fall die Spulen an ihren Längsseiten mittels starker Pressgitter gegen Deformationen als Folge elektrodynamischer Beanspruchungen bei Kurzschlüssen sichern.

Für die Stufensteuerung baute die MFO bei den Ce 6/8<sup>II</sup>-, den Ae 3/6<sup>II</sup>- und den Ce 6/8<sup>III</sup>-Lokomotiven der Serien 14 251, 10 401 und 14 301 Hammerschaltwerke mit Betätigung durch Nockenscheiben. Die jeder Spannungsstufe zugeordneten Schaltelemente unterbrechen stromlos; besondere robust gebaute Funkenschalter mit starker magnetischer Blasung besorgen die Funkenlöschung. Zwischen Transformator und Triebmotoren ist eine dämpfende Ueberschaltdrosselspule eingeschaltet. Das Steuerschaltwerk besteht aus zwei getrennten, symmetrischen, gegenseitig isolierten Hälften. Die Firma Sécheron entwickelte die elektropneumatische Hüpfsteuerung in einer den amerikanischen Ausgangskonstruktionen überlegenen Bauart. Bei den Ae 3/5- und Ae 3/6<sup>III</sup>-Lokomotiven der Serien 10 201 und 10 261 sind drei Drosselsspulen, 18 Hüpfen entsprechend 18 Fahrstufen bei nur neun Transformatoranzapfungen vorhanden. Durch die Anwendung von drei Drosselsspulen war es möglich, die Zahl der Transformatoranzapfungen auf die Hälfte bis ein Drittel der Zahl der Spannungsstufen zu reduzieren, im Gegensatz zur normalen Stufenschaltersteuerung, bei der die Zahl der Anzapfungen an der Sekundärwicklung des Transformators auch der Zahl der Fahrstufen der Triebmotoren entspricht.

Bei den beiden Ae 8/14-Lokomotiven Nr. 11 801 und 11 851 wurde erstmalig, um eine Stufenzahl von 28 zu erreichen, die sich unterspannungsseitig nicht mehr hätten ausführen

lassen, die Steuerung auf die Oberspannungsseite des Transformators verlegt. Dieser besteht dann in der bei diesen Lokomotiven ausgeführten, von BBC herkömmlichen Form der Oberspannungssteuerung aus dem Regulier- und dem Leistungstransformator, die beide zu einem dreisäuligen Gestell mit horizontalen Kernsäulen zusammengebaut sind. Die oberste Kernsäule trägt die Regulierwicklung, deren Anzapfungen durch einen unter Öl liegenden Stufenschalter mit runder Kontaktbahn mit der Primärwicklung des durch die mittlere Säule gebildeten Leistungstransformators verbunden werden, dessen Sekundärwicklung auf die vier Triebmotoren geschlossen ist. Die unterste, unbewickelte Säule dient als magnetischer Rückschluß für die Kraftflussdifferenz beider Transformatoren. Zwei Funkenschalter mit magnetischer Blasung ausser Öl übernehmen das Schaltfeuer. Neuartig war bei diesen Lokomotiven der im Innern des Fahrzeugs aufgestellte Transformatorkühler mit Fremdventilation.

Die Lokomotiven der *Dekretsbahnen* wiesen korrespondierend die gleiche elektrische Ausrüstung auf wie die SBB-Lokomotiven. Später wurde die Schaltwalzensteuerung der Ce 4/6-Lokomotiven Serie 301 und die Stufenschaltersteuerung der Ce 4/6- und Be 4/6-Lokomotiven Serie 308 durch elektropneumatische Hüpfsteuerung Bauart Sécheron ersetzt.

Die Ge 6/6-Lokomotiven der Serie 401 der *Rhätischen Bahn* wurden in Anbetracht der kleineren Fahrradspannung von nur 11 000 V mit Trockentransformatoren ausgerüstet, deren Anzapfungen durch handbediente Stufenschalter Bauart BBC mit den Motoren verbunden werden. Für Talfahrt wird Widerstandsbremse mit Gleichstromerregung der Triebmotoren angewendet.

Bei den Ae 6/8-Lokomotiven der Serie 201 der *Lötschbergbahn* hat die Firma Sécheron die Motoren wieder als Zwillingssmotoren gebaut und die Transformatoren mit eingebautem luftdurchströmten Kühlrohrbündel ausgerüstet. Die bei diesen Lokomotiven erstmalig angewendete, von Hand betätigten mechano-pneumatische Steuerung wurde später durch eine elektropneumatische Hüpfsteuerung ersetzt, ebenso die Widerstandsbremse mit Wechselstromerregung vom Netz auf die feinstufig regelbare Gleichstromerregung von einer besonderen Erregermaschine aus umgebaut. Auch

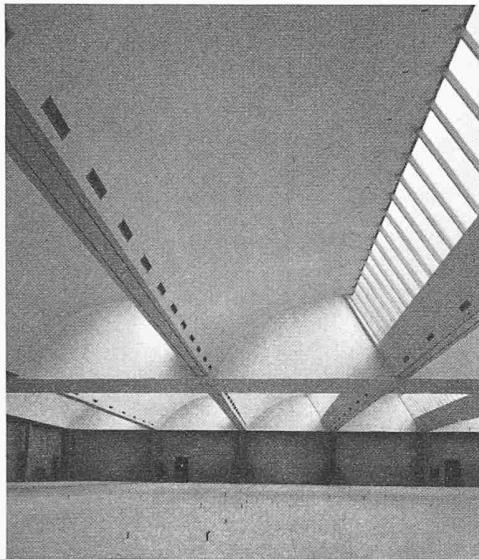


Bild 17. Wolldeckenfabrik Zoepritz in Mergelstetten (Deutschland), 1953. Länge 96 m, Breite 48 m. Zwölf einseitig eingespannte und vorgespannte zylindrische Shedschalen: Spannweite 21 m, Breite 7,50 m. Vorspannung der oberen und unteren Ränder durch gekrümmte Leoba-Spannglieder des Systems Baur-Leonhardt, 4 Kabel im oberen Rand, Spannkraft 100 t, 8 Kabel im unteren Rand als Rinnenträger, Spannkraft 200 t. Schalen in einem mittleren vorgespannten Kastenträger 350/380 cm von 36,20 m Spannweite mit 9,90 m Auskragung eingespannt. Die einzigen Stützen in dieser Halle sind die 2 Liftschächte in der Mitte. Entwurf der Tragkonstruktion: Bureau Dr. Leonhardt, und Mitarbeiter Ing. W. Pieckert, Stuttgart. Ausführung: Bauunternehmung Karl Kübler, Stuttgart

die Be 4/4-Lokomotiven der *Bodensee-Toggenburgbahn*, der *Solothurn-Münster-Bahn* und der *Emmental-Burgdorf-Thun-Bahn* weisen die analoge Sécheron-Ausrüstung auf.

Die ehemaligen RFe 4/4-Lokomotiven (Gepäcktriebwagen) der Serie 601 der *Bundesbahnen* zeigten in elektrischer Hinsicht zunächst noch wenig Neuerungen. Als primärer Ueberstromschutz wurde statt des Hauptschalters eine Dachsicherung vorgesehen, bestehend aus einer in einem gerdeten Stahlrahmen ausgespannten Kupferlitze. Vollständig geschweißte Stahlblechgehäuse ermöglichen eine wesentliche Gewichtsverminderung bei den Motoren.

Bei der Ae 8/14-Lokomotive Nr. 11 852 bildete die MFO die Hochspannungssteuerung mit getrenntem Regulier- und Leistungstransformator aus. Ersterer ist als Manteltransformator mit einer, letzterer als solcher mit zwei bewickelten Mittelsäulen ausgeführt. Elektrische Nutzbremsung in der Schaltung der MFO ist ein weiteres Kennzeichen der elektrischen Ausrüstung.

Die Ae 4/6-Lokomotiven der Serie 10 801 sind im elektrischen Teil prinzipiell gleich ausgerüstet wie eine Hälfte der Ae 8/14-Lokomotive Nr. 11 851. Als primärer Ueberstromschutz wird hier erstmalig ein Druckluftschalter (Bau-

art BBC) verwendet. Die MFO-Nutzbremschaltung erscheint in der Weise modifiziert, dass einer der Triebmotoren für die Erregung von insgesamt sechs rückarbeitenden Motoren verwendet wird (Erregermotorschaltung der MFO). Eine erhebliche Verbesserung des Leistungsfaktors bei Nutzbremsung war die Folge, ebenso Unveränderlichkeit der elektrischen Bremsung fast bis zum Stillstand.

Wesentliche Neuerungen in der elektrischen Ausrüstung wurden einige Jahre später bei den Ae 4/4-Lokomotiven der Serie 251 der *Lötschbergbahn* verwirklicht. Der Druckluft-Hauptschalter ist von BBC vereinfacht, verbessert und bedeutend leichter gebaut worden. Beim Transformator finden wir erstmalig die von BBC eingeführte Bauart mit radial geblechter Mittelsäule und einer ganzen Anzahl kreisförmig um die Mittelsäule herum angeordneter Rückschlussjoch. Durch diese neue Konstruktion wurde wesentlich an Bauhöhe, aktivem Eisen und Oel gespart. Besonders zwanglos gestaltete sich dabei die Ausbildung der Hochspannungssteuerung, weil die Wicklungen von Regulier- und Leistungstransformator übereinander, also gemeinsam auf der Mittelsäule angeordnet werden konnten, getrennt durch eine hier kreisrunde Zwischenjochplatte zur Führung des Differenz-

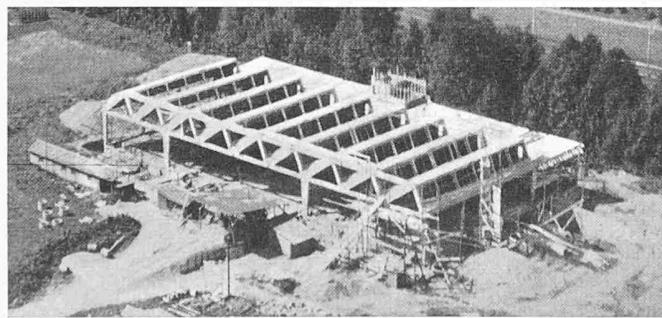


Bild 16. Webereihalle der Schweizerische Leinenindustrie AG., Niederenz (Aargau), Neubau Engelmatte, 1952. Länge 63 m, Breite 22,50 m. 9 zylindrische Shedschalen mit vorgespannten Rinnenträgern, Spannweite 22,50 m, Dicke 10 cm, Krümmungsradius 5,08 m, Breite 7,8 m. Vorspannung der Rinnenträger mit 2 Kabeln zu 42 Ø 5 des Systems BBRV, total 160 t. Schalen auf kontinuierlichen Fachwerkträgern mit Spannweiten  $l = 14 + 28 + 21$  m durch 80 t-Kabel zu 42 Ø 5 des Systems BBRV vorgespannt. Entwurf der Tragkonstruktion: Bureau Hartenbach & Wenger, Bern. Ausführung: Bauunternehmung Schäfer & Co., Aarau

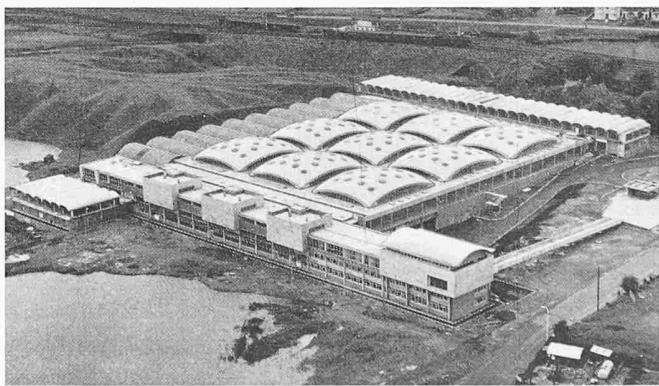
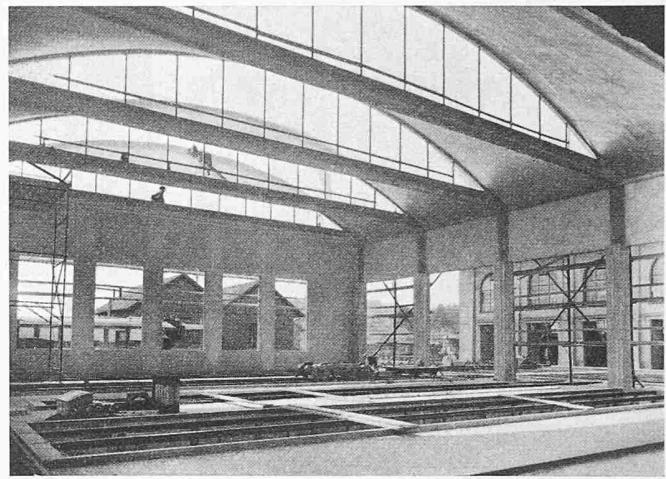


Bild 19. Fabrikationshalle der Brynmawr Rubber Ltd., in Brynmawr, Southwales (England), 1949. Innenbild und Abmessungen siehe oben



Bilder 20 und 21. Lokomotiv-Reparaturwerkstatt der Schweizerischen Bundesbahnen in Zürich, 1952. Länge 35 m, Breite 30 m. Fünf Kegelschalen mit 7,0 m Breite, 7 cm Dicke, Spannweite 28,80 m und Pfeilhöhe 4,20 m. Die Zugbänder sind durch 2 Kabel zu 80 t, Totalspannkraft 160 t, des Systems BBRV vorgespannt. Entwurf der Tragkonstruktion: Bureau Hartenbach & Wenger, Bern. Ausführung: Bauunternehmung Theodor Bertschinger AG., Zürich.

flusses. Ein elektroservomotorisch betätigter Stufenschalter mit gestreckter Kontaktbahn unter Öl steuert unterbrechunglos die 28 Stufenanzapfungen der Regulierwicklung. Zwei Lastschalter ausserhalb des Transformators übernehmen das Schaltfeuer. Widerstandsbremseung mit Gleichstromerregung der Triebmotoren von einer besonderen Erregermaschine mit feinstufiger Regulierung in deren von einer Batterie gespeistem Erregerkreis gehören weiter zur elektrischen Ausrüstung. Bei den Lokomotiven 251 bis 256 kann auf diese Art das Lokomotivgewicht von 80 t und rund 100 t Zugsgewicht bei 27 % Gefälle abgebremst werden. Bei den Lokomotiven Nr. 257 und 258 konnte durch Mehreinbau an Bremswiderstand, den der Verzicht auf den zweiten Stromabnehmer ermöglicht hat, das ausser der Lokomotive abbremsbare Zugsgewicht auf 200 t erhöht werden.

Die Re 4/4-Lokomotiven der Serie 401 der *Bundesbahnen* weisen in der Disposition der elektrischen Installation eine gewisse Ähnlichkeit mit den Ae 4/4-Lokomotiven der Serie 251 der BLS auf. Druckluft-Hauptschalter Bauart BBC in hängender Anordnung am Lokomotivdach, Transformator mit radial geblechter Mittelsäule und Vielfachsteuerung durch elektropneumatische Hüpfen Bauart Sécheron sind die Hauptmerkmale der elektrischen Ausrüstung.

Die Ge 4/4-Lokomotiven Serie 601 der *Rhätischen Bahn* haben in der elektrischen Ausrüstung von den BLS-Lokomotiven der Serie 251 den Druckluft-Hauptschalter, den Transformator mit radialgeblechter Mittelsäule und die Hochspannungssteuerung mit Elektroservomotor und von den Ae 4/6-

Lokomotiven der Serie 10 801 der SBB die rein elektrische Vielfachsteuerung für zwei Lokomotiven in Doppeltraktion und die Nutzbremseschaltung mit Erregermotor übernommen, die bei diesen Lokomotiven von der MFO in der Art verfeinert wurde, dass sie nicht nur als Gefällebremse (ausser der Lokomotive noch 100 t Anhängegewicht auf 35 % Gefälle oder 60 t auf 45 % Gefälle), sondern auch als Haltebremse sozusagen bis zum Stillstand verwendet werden kann.

In diesem Zusammenhang ist schliesslich noch ein während der Jahre 1942 bis 1946 durchgeföhrter Umbau der Motoren von elf Ce 6/8<sup>II</sup>-Lokomotiven der Serie 14 251 der *Bundesbahnen* durch die MFO zu erwähnen. Durch Umblechen und Umwickeln konnte dank den inzwischen erzielten Fortschritten in der Dimensionierungstechnik eine Leistungssteigerung um 56 % und eine Drehzahlsteigerung um 24 %, d. h. eine Zugkraftsteigerung von 26 % erzielt werden. Die umgebauten Lokomotiven können nun mit 75 km/h Höchstgeschwindigkeit fahren. Ihre Bezeichnung ist Be 6/8 Nr. 13 251—61.

Die sechs Motoren der im Jahre 1949 als Probekomotiven für den schweren Schnellzugsdienst am Gotthard bestellten zwei Ae 6/6-Lokomotiven der Serie 11 401 für total 6000 PS Stundenleistung sind von gleicher Leistung und Bauart wie jene der Ae 4/4-Lokomotiven der Serie 251 der BLS. Der Transformator ist ebenfalls von gleicher Bauart, das heisst in der Hauptsache eine Vergrösserung um rd. 50 % gegenüber dem Transformator der BLS-Lokomotive. Statt Widerstandsbremseung wird aber Nutzbremsung ange-

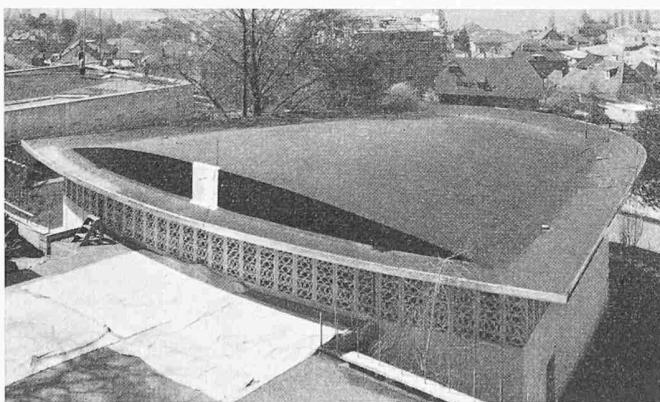


Bild 22. Aula der Höheren Töchterschule in Lausanne, 1954. Flache Schalenkuppel über einem trapezförmigen Grundriss, wobei die zwei gegenüberliegenden Seiten kreisförmig mit 7,30 m, bzw. 37,80 m Halbmesser begrenzt sind. Längsaxe 20,80 m Spannweite, grösste Spannweite in der Querrichtung 22,80 m, Dicke 15 cm. Vorspannung des Schalenrandes durch 4 Kabel zu 12 Ø 5 des Systems Freyssinet, Spannkraft 100 t. Modelluntersuchung im Laboratorium für Baustatik der Ecole Polytechnique der Universität Lausanne, Leitung Prof. Fr. Panchaud. Entwurf der Tragkonstruktion: Bureau A. Villard, Lausanne. Ausführung: Bauunternehmung Riva S. A., Lausanne

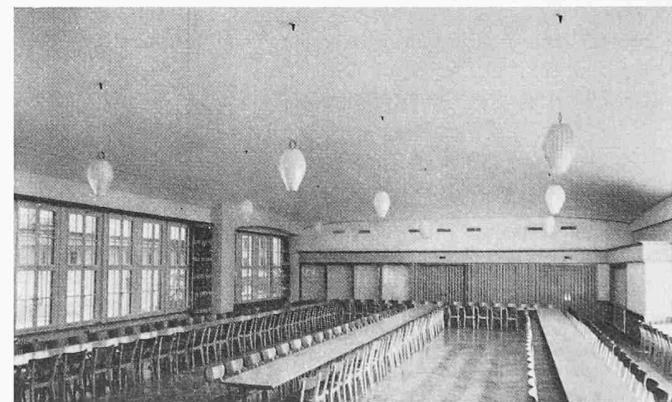
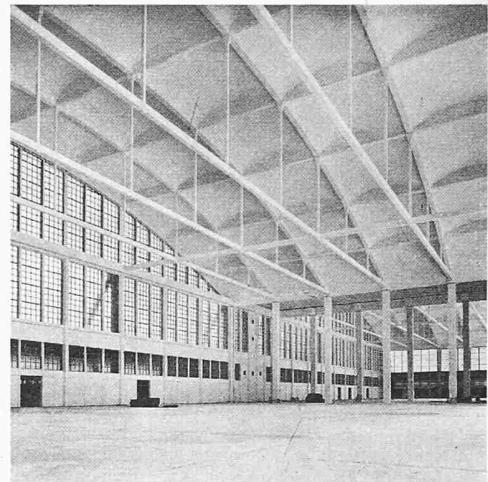
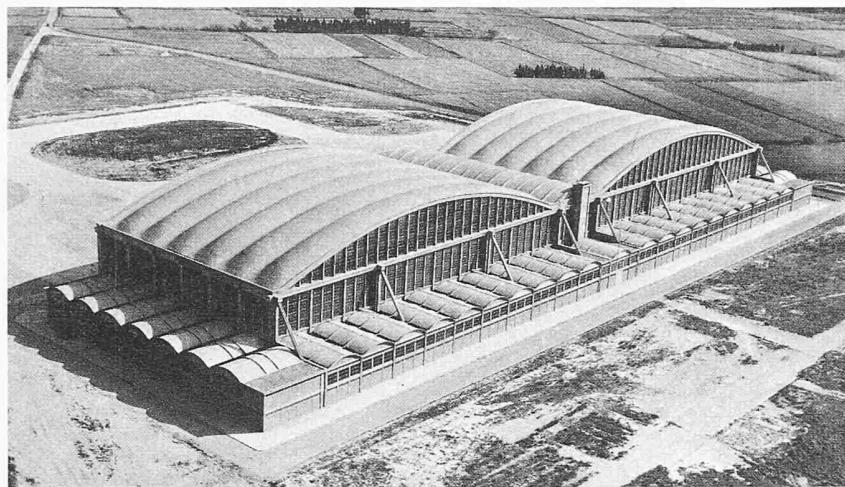


Bild 23. Konzertsaal des Hotels Kreuz in Langenthal (Bern), 1954. Länge 24,50 m, Breite 14,50 m. Doppelt gekrümmte Schale über rechteckigem Grundriss, sogenannte «Buckelschale». Spannweite 14,50 m, Stichhöhe 1,60 m, Dicke der Schale 10 cm, Randglieder 40/40 durch zwei 80 t-Kabel des Systems BBRV vorgespannt, Spannkraft 160 t. Entwurf der Tragkonstruktion: Bureau Weder & Prim, und Mitarbeiter Ing. H. Isler, Burgdorf. Ausführung: Bauunternehmung Witschi & Hornung, Langenthal. — Aussenansicht und Einzelheiten siehe SBZ 1955, S. 346



Bilder 24 und 25. Flugzeughallen in Marignane (Frankreich), 1952. Länge 253,10 m, Breite 74,35 m. Zwei Hallen durch doppelt gekrümmte Schalengewölbe von 101,50 m Spannweite, 12,10 m Pfeilhöhe und 60,0 m Tiefe überdeckt, bestehend aus 6 Wellen von 9,80 m Breite, Stichhöhe 2,20 m und Schalendicke 6 cm, mit vorgespannten Zugbändern aus 208 Drähten  $\varnothing$  6 mm. Die Hallen von 6400 m<sup>2</sup> und 4200 t Gewicht wurden am Boden betoniert und als Einheit um 19 m in ihre endgültige Lage gehoben. Entwurf der Tragkonstruktion: Studienbureau Société des Entreprises Boussiron, Paris (Dir. N. Esquillan). Ausführung: Société des Entreprises Boussiron, Paris

wendet in der Erregermotorschaltung der MFO. Im Jahre 1954 wurden von den SBB weitere 12 Lokomotiven dieses Typs in Auftrag gegeben.

Die erwähnten 89 t schweren Ee 6/6-Rangierlokomotiven Serie 16 801 der SBB, die im Frühjahr 1952 in Betrieb kamen, sind praktisch als Verdopplung der dreiachsigen Ee 3/3-Rangierlokomotiven der Serie 16 381 anzusehen. Die Stundeneistung am Radumfang ist 1370 PS, die Stundenzugkraft 14 000 kg bei rund 27 km/h, die maximale Anfahrzugkraft ist 25 000 kg, die Höchstgeschwindigkeit 45 km/h. Diese Lokomotiven dienen dem schweren Verschiebedienst auf grossen Rangierbahnhöfen, insbesondere zum Abdrücken schwerer Güterzüge über den Ablaufberg. Um für diesen Dienst bei Geschwindigkeiten von nur 5—10 km/h eine feinstufige Stosskraftregulierung zu erhalten, kann der Lokomotivführer mittels eines Umschalters die beiden Triebmotoren von Parallel- auf Seriengruppierung umschalten. Dabei wird den Motoren zusätzlich ein Einspulen-Transformator vorgeschaltet, der die Spannung für die Motoren noch einmal auf rd. die Hälfte herabsetzt. Bild 8 zeigt den allgemeinen Aufbau dieser Lokomotiven.

\*

Man hat namentlich unter dem Eindruck des an unseren beiden Landesausstellungen in Bern (1914) und Zürich (1939) zur Schau Gestellten bei uns wie im Ausland immer wieder die Frage aufgeworfen, durch welche Erzeugnisse die schweizerische Maschinen- und Elektroindustrie in ihrer Gesamtheit in so kurzer Zeit Weltgeltung erlangen konnte. Eine eindeutige Beantwortung der Frage ist nie möglich gewesen, angesichts der Tatsache, dass beide Industriegruppen jede für sich auf den von ihnen gepflegten Gebieten immer wieder Spitzenleistungen hervorbrachten. Immerhin aber waren es u. a. die schweizerischen Dampflokomotiven aller Art, die zunächst im Ausland und dort früher als bei uns ganz besondere Beachtung fanden und den Ruhm schweizerischer Konstruktionspraxis im wahrsten Sinne des Wortes in die Welt hinausgetragen haben. Als aber dann gewissermassen in unserer Zeit die elektrischen Triebfahrzeuge, insbesondere die Lokomotiven, entstanden und in engster Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Maschinenfabriken und den Elektrofirmen unseres Landes in grösstem Ausmass und in allen nur möglichen Arten gebaut wurden, bildeten sie in sinnfälligster Weise eine Synthese der gesamten schweizerischen maschinen- und elektrotechnischen Praxis und es ist wahrscheinlich, dass es diese Fahrzeuge sind, die wenigstens in unserer Zeit den stärksten Anteil an dem Ansehen der schweizerischen Maschinen- und Elektroindustrie haben. Bei uns ist heute sowohl bei der Konstruktionspraxis wie bei den Betriebsfachleuten der Bahnverwaltungen ein solches Mass an Wissen und Erfahrung um Eisenbahn-Triebfahrzeuge aller Art vorhanden, dass wir in bezug auf die Weiterentwicklung auch dieses Fachgebietes mit einer berechtigten Zuversicht in die Zukunft blicken können.

## Hallenbauten aus Stahlbeton und Spannbeton

Von Georges A. Steinmann, dipl. Ing. ETH, Genf

DK 624.92:72.012.351

Schluss von Seite 626

Bei den zylindrischen Shedschalen wurden mit Vorspannung der Ränder Spannweiten von 30,0 m erreicht: in der Schweiz bei einer Webereihalle in Turbenthal (Bureau A. Sabathy, Winterthur), wo der Rinnenträger durch BBRV-Kabel vorgespannt wurde, und in England bei der Papierfabrik von Mersey, wo der Rinnenträger und der obere Schalenrand durch gekrümmte Spannkabel vorgespannt wurden<sup>1)</sup>. Die in der SBZ 1955, S. 533 gezeigten Sheds in Solothurn und Liestal sind interessante Ausführungen. Die Schalen mit 22,50 m Spannweite des Gebäudes Bild 16 sind nur im Rinnenträger vorgespannt und sind auf einem vorgespannten durchlaufenden Fachwerkträger bis 28 m Spannweite abgestützt. Das Fachwerk ist durch Kabel vorgespannt, im Gegensatz zu früheren Ausführungen, wobei das System Finsterwalder der selbsttätigen Vorspannung unter Eigengewicht mit Stangen verwendet wurde, z. B. in der Schweiz die Shedhalle der Schweiz.

<sup>1)</sup> Gegenwärtig im Bau in Holland: durchlaufende vorgespannte Shed-Schalen mit 40 m Spannweite (beide Ränder vorgespannt; Entwurf Prof. Dr. Ing. Haas)

Bindfadenfabrik in Schaffhausen, Schalenspannweite 16,0 m, Fachwerkträger  $l = 27$  m, oder in Deutschland der Fachwerkträger von 81,6 m Spannweite einer Flugzeughalle in München. Es ist hier zu erwähnen, dass Prof. K. Billig (seinerzeit in London) im Jahre 1949 eine zylindrische Schale entwarf, die mit geradlinigen Einzeldrähten über die ganze Fläche vorgespannt war. Die Shedschalen von 21 m Spannweite im Bild 17, die durch gekrümmte Kabel in beiden Rändern vorgespannt sind, sind in einem vorgespannten Kastenträger eingespannt, so dass der Raum von 48 m Breite ohne Säule überdeckt ist. Erwähnenswert sind die Shedschalen von 24 m Spannweite der Fabrikationshalle der AG. der Von Moos'schen Eisenwerke in Emmen (Schweiz), wobei pro Säule eine Grundfläche von 504 m<sup>2</sup> (Fachwerkträger  $l = 21$  m) entfällt (Entwurf Bureau H. Scherer in Luzern).

Die doppeltgekrümmten Schalen bieten viele Möglichkeiten, um einen Raum zu überdecken. Die Bilder 18 und 19 zeigen eine Reihe von Kuppelschalen über einem rechteckigen