

Die schweizerische Entwicklung im Bau elektrischer Lokomotiven für Adhäsionsbetrieb

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

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **73 (1955)**

Heft 42: **100 Jahre Eidg. Technische Hochschule**

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-62004>

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.

schalten des Magnetfeldes, eine Temperaturerniedrigung ein. Führt man eine solche «adiabatische Entmagnetisierung» an gewissen paramagnetischen Salzen bei tiefen Temperaturen durch, so können damit sehr merkliche Temperaturerniedrigungen erzielt werden. Tatsächlich war es mit diesem von Debye und Giauque 1926 vorgeschlagenen und 1933 erstmals von Giauque verwirklichten Verfahren 1950 möglich, die bisher tiefste Temperatur von $0,0014^\circ \text{K}$ zu erreichen *).

Eine Wärmekraftmaschine, z. B. eine Dampfmaschine, wird häufig mit einem Wasserkraftwerk verglichen, wobei die Wärme, die im thermischen Kraftwerk von der Temperatur des Kessels auf die Temperatur des Kondensators «herunterfällt», ebensogut zur Arbeitsleistung herangezogen werden kann, wie eine Wassermenge, die zu Tal stürzt. In dieser Form hinkt der Vergleich, denn während beim Wasserwerk

unten im Tal gerade soviel Wasser an die «Umgebung» abgegeben wird, wie oben im Wasserschloss zufließt, ist nach dem ersten Hauptsatz die im Kondensator an die Umgebung abgegebene Wärmemenge gleich der im Kessel aufgenommenen Wärmemenge *minus* der als Arbeit gewonnenen Energie. Für den *reversiblen* Prozess gibt es jedoch nach dem eben dargelegten eine Quantität, die mit der Wassermenge in Analogie gesetzt werden kann: die Entropie. Der reversibel thermischen Maschine wird nämlich unter stationären Verhältnissen gerade soviel Entropie zugeführt, wie sie wieder an die Umgebung abgibt. Setzt man also Wassermenge = Entropiemenge = Q/T und setzt man ferner Meereshöhe h mit Temperaturhöhe in Analogie, so entspricht jede Formel für eine verlustlose hydraulische Anlage einer Formel für eine verlustlose thermische Maschine (vergl. Bild 2).

Die schweizerische Entwicklung im Bau elektrischer Lokomotiven für Adhäsionsbetrieb

Von Prof. Dr. Karl Sachs, ETH, Zürich

Die Entwicklung unserer Bahnen und jene unserer Eidgenössischen Technischen Hochschule hat sich über den gleichen Zeitraum erstreckt mit einer gewissen Parallelität und mit gewissen Wechselbeziehungen zueinander, die mit der Zusammenfassung der ursprünglich vier führenden privaten Bahngesellschaften zu den Schweizerischen Bundesbahnen als Regiebetrieb des Bundes mit Beginn des Jahres 1902 naturgemäß um so intensiver wurden. Um die gleiche Zeit — es war damals rund ein halbes Jahrhundert seit der Bahneröffnung Zürich—Baden und der Gründung der Eidgenössischen Polytechnischen Schule vergangen — begann man aber in Fachkreisen unter dem Eindruck der mit elektrischen Strassenbahnen erzielten Erfolge über die Möglichkeiten und Aussichten des elektrischen Betriebes der Vollbahnen zu diskutieren. Nachdem die ersten grosszügigen Versuche in dieser Richtung bei uns auf Grund privater Initiative durchgeführt worden waren, konnte auch unsere Staatsbahn nach ihrer in zehnjährigem Bestehen erfolgten Konsolidierung dem Gedanken des elektrischen Betriebes näherzutreten, namentlich seit im Jahre 1909 auch die Strecke der ehemaligen Gotthardbahn mit ihren grossen Steigungen und langen Tunneln, aber auch mit ihrer schon damals bedeutenden Verkehrsbelastung zu ihrem Netz hinzugekommen war. Wie dann nachher die Verhältnisse, die sich aus den beiden Weltkriegen ergaben, die Elektrifizierung des gesamten Bundesbahnnetzes erzwungen haben, wie die Privatbahnen z. T. bereits gleichzeitig dem Beispiel der Bundesbahnen folgten und wie damit die Schweiz sich zur Sonderstellung eines Landes mit praktisch ausschliesslich elektrischem Bahnbetrieb entwickelt hat, das wird immer einen der interessantesten Abschnitte unserer Verkehrs-, ja Kulturgeschichte überhaupt bilden ¹⁾.

Die Schweizerische Bauzeitung hat es sich angelegen sein lassen, über diese Entwicklung laufend zu berichten. Namentlich sind über die elektrischen Triebfahrzeuge, d. h. über die Lokomotiven und Triebwagen sowohl der Bundes- wie der Privatbahnen in den Spalten dieser Zeitschrift stets zum Teil sogar sehr ausführliche Beschreibungen erschienen, so dass der auf diesem Gebiete interessierte Leser nahezu in allen Einzelheiten als ausreichend orientiert gelten kann ²⁾. Wenn hier noch einmal von dieser Entwicklung die Rede ist, so ge-

schieht es, um gewisse Grundlinien und Gesetzmässigkeiten hervorzuheben, die sich im Ablauf dieses konstruktiven Geschehens feststellen lassen. Die Entwicklung ist sowohl durch die verschiedenen Anforderungen, die als Folge der sich ändernden Bedürfnisse an die Triebfahrzeuge gestellt werden, als auch durch die Persönlichkeit der Konstrukteure und die Art ihrer Einstellung zu diesen Anforderungen bedingt. Die bedeutende schöpferische Leistung der massgebenden Männer und ihrer Mitarbeiter berechtigt, von einer spezifisch schweizerischen Entwicklung auf dem Gebiete der elektrischen Triebfahrzeuge zu sprechen, obwohl natürlich auch hier wie auf allen Gebieten der Technik stets eine sehr intensive wechselseitige Befruchtung über alle Grenzen hinweg bestanden hat.

Was zunächst den *mechanischen Teil* der elektrischen Lokomotiven anbelangt, so umfasst die konstruktive Problematik die befriedigende Lösung der beiden Aufgaben: der Konstruktion des Laufwerks und der des Antriebs. Während bei Dampflokotiven Laufwerk und Triebwerk konstruktiv zu einem untrennbaren Gebilde vereinigt sind, stellen sie bei elektrischen Lokomotiven immer zwei wohl miteinander verbundene, aber doch selbständige Teile dar, ein Umstand, der die Lösung der konstruktiven Probleme teils erleichtert, teils erschwert. Während das Laufwerk im allgemeinen keine Aufgaben stellt, die nicht schon vom Dampflokotivbau her bekannt gewesen wären, ist beim Antrieb elektrischer Lokomotiven die Problematik eine doppelte bis dreifache. Denn hier muss der Antrieb zur Aufnahme der Relativbewegungen zwischen den fest im gefederten Haupt- oder Dreh-

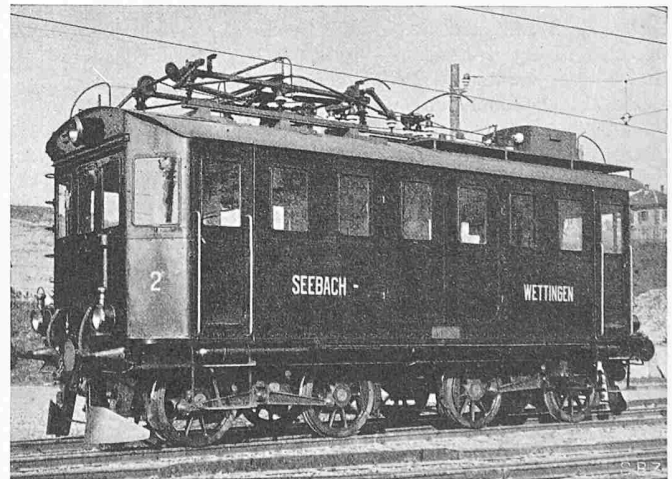


Bild 1. Die erste Einphasen-Wechselstromlokomotive gebaut 1905 für die Strecke Seebach—Wettingen von der Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur und der Maschinenfabrik Oerlikon

*) Nähere Angaben zum Verfahren der adiabatischen Entmagnetisierung, vgl. Van Lammeren, J. A.; Technik der Tiefen Temperaturen. Berlin 1941, J. Springer. Squire, Ch. F.; Low Temperature Physics. New York 1953, McGraw-Hill Book Company. Garrett, C. G. B.; Magnetic Cooling «Harvard Monographs in Applied Science» Nr. 4, Harvard University Press, Cambridge 1954. John Wiley and Sons, Inc. New York. P. Grassmann: «Kältetechnik» 3 (1951) S. 16/18.

¹⁾ SBZ Bd. 122, S. 149 (18. Sept. 1943); Bulletin SEV 1943, S. 587; «Ein Jahrhundert Schweizer Bahnen» Bd. I, S. 209

²⁾ Wir verweisen insbesondere auch auf die zusammenfassende Darstellung des Verfassers über die Entwicklung elektrischer Lokomotiven und Triebwagen in der Schweiz in SBZ 1947, Nr. 26. Die Red.

gestellrahmen sitzenden Motoren und den ungefederten, anzutreibenden Radsätzen eine allseitige Beweglichkeit aufweisen; weiter ist wegen einer mehr oder weniger überhöhten Lagerung der treibenden Motoren eine gewisse Höhendifferenz konstruktiv zu überbrücken und schliesslich müssen, von Sonderbauarten abgesehen, die eine Zeit lang eine gewisse Rolle spielten, zwischen den raschlaufenden Motoren und den anzutreibenden Radsätzen Zahnradgetriebe eingeschaltet werden, die man, je nachdem man deren Wirkungsweise auf die Drehzahlen oder die Drehmomente bezieht, als Unter- oder Uebersetzung bezeichnen mag.

Wenn man von den Lokomotiven für die Bahn von Sisach nach Gelterkinden (1891) und für die Burgdorf-Thun-Bahn (1899) als historisch gewordene Baudenkmäler absieht, so hat der Bau elektrischer Lokomotiven für Adhäsionsbetrieb im heutigen Sinne erst mit den Lokomotiven für den Versuchsbetrieb *Seebach—Wettingen*³⁾ eingesetzt, von denen die erste 1902, die zweite 1904 in Betrieb kam. Das aus zwei Drehgestellen bestehende Laufwerk dieser Lokomotiven entbehrt jeder Problematik und das Triebwerkproblem löste *O. Kjelsberg*⁴⁾ (1857 bis 1924), der damals führende Konstrukteur der Lokomotivfabrik Winterthur, durch Brownsche Schlitzkuppelstangen, deren Gleitsteine die Kurbelzapfen der Vorgelegewelle umfassten. Die kinematische Ungenauigkeit der Bewegungsübertragung dieses Antriebsorgans war bei den kleinen Geschwindigkeiten, für die diese Fahrzeuge bestimmt waren, belanglos. Den gleichen Antrieb hat Kjelsberg in der Zeit vor dem ersten Weltkrieg noch bei einer Lokomotive der ehemaligen Burgdorf-Thun-Bahn (1909) und bei einer Lokomotive der Valle Maggia-Bahn⁵⁾ (1911) mit Erfolg zur Anwendung gebracht. Bild 1 zeigt die zweite Lokomotive für die Strecke Seebach—Wettingen.

Bei den ursprünglich für Italien bestimmt gewesenen Ae 3/5-Lokomotiven der Serie 364 für den Betrieb des *Simplon-Tunnels* der SBB verwendete Kjelsberg in Umkehrung der Brownschen Schlitzkuppelstange den flachen dreieckigen Kuppelrahmen als ein zwischen die Kurbeln der beiden Motoren und das horizontale Kuppelgestänge geschaltetes Antriebsorgan, dessen Kulissengleitstein den Kurbelzapfen des mittleren der drei Triebräder umfasste. Krauss-Helmholtz-Drehgestelle in der unter dem Namen «carrello italiano» bekannt gewordenen Sonderbauart mit Rückstellung durch eine kombinierte Wirkung von Pendeln und Evolutfedern waren kennzeichnendes Merkmal des Laufwerkes jener Lokomotiven aus dem Jahre 1906⁶⁾. Bei den beiden Ae 4/4-Lokomotiven der Serie 366⁶⁾, die in den Jahren 1907 und 1908 in Betrieb kamen, verwendete Kjelsberg statt dem dreieckigen flachen Kuppelrahmen, der bei vier Triebachsen ein unsymmetrisches Triebwerk ergeben hätte, einen rechteckigen fachwerkartigen Kuppelrahmen ohne Kulissee, an den nach rechts und links je ein Kuppelgestänge zum Antrieb von je zwei Triebrädern anschloss. Die Notwendigkeit, die erforderliche Zugkraft von vier Triebachsen ausüben lassen zu müssen, verbunden mit dem durch den Verzicht auf Laufachsen bedingten Bedürfnis nach ausreichendem Seitenspiel und Radialeinstellung der Endtriebachsen veranlasste Kjelsberg, diese als Klien-Lindner-Achsen auszuführen zu lassen, bei denen eine in der Mitte kugelig verdickte, in den Kurbeln endigende Kernwelle unter Zwischenschaltung von axial angeordneten Schraubenfedern in eine in der Mitte geteilte, die Radscheiben tragende Hohlachse eingeschoben ist.

Bald darauf gaben die Lokomotiven der *Lötschbergbahn* (BLS) Anlass zu Neuentwicklungen. Bei der Ce 6/6-Drehgestell-Lokomotive Nr. 121⁷⁾ wurde die Entfernung von den Kurbeln der immer noch etwas überhöht gelagerten, über Zahnradgetriebe angetriebenen Vorgelegewellen durch lange, am Horizontalkuppelgestänge gelenkig angreifende Schrägstangen überbrückt, eine gleichfalls von Kjelsberg herührende Originalkonstruktion der Lokomotivfabrik Winterthur, die, Gemeingut geworden, bei Rangierlokomotiven in ganz Europa grösste Verbreitung gefunden hat. Bei den zwei

Jahre später (1913) in Betrieb gesetzten Be 5/7-Lokomotiven der Serie 151⁸⁾, mit 2500 PS damals die stärksten elektrischen Lokomotiven der Welt, wurde beim Triebwerk wieder der flache, dreieckförmige Kuppelrahmen vorgesehen, während beim Laufwerk Kjelsberg für die Krauss-Helmholtz-Drehgestelle die besondere Winterthurer Bauart anwendete, wobei der Drehzapfen des Drehgestells von einem Gleitstein umfasst wird, der in einer deichselseitig angeordneten Kulissee geführt wird. Zwischen dieser und dem Gleitstein ist die Rückstellvorrichtung geschaltet, bestehend aus einem durch Spannbolzen verbundenen Blattfederpaar. Die bei diesen Lokomotiven bei bestimmten Geschwindigkeiten aufgetretenen Schüttelschwingungen, die schwere Zerstörungen des Triebwerks verursacht hatten, wurden auf Grund scharfsinniger analytischer Untersuchungen, an denen u. a. die Professoren Kummer⁹⁾, Meissner¹⁰⁾ und Stodola von der ETH massgebend beteiligt waren, als Folge von Resonanzschwingungen der grossen Antriebsmassen erkannt, die sich innerhalb der bei jeder Kurbelumdrehung zu durchlaufenden Lagerspiele und Stichmassfehler ausbilden konnten. Bild 2 zeigt eine der Be 5/7-Lokomotiven aus dem Jahre 1913.

Bei den Ge 4/6-Lokomotiven der Serie 351 und der Nr. 391 für den Engadinerbetrieb der *Rhätischen Bahn* (Rh. B.) und später der Serie 353 liess Kjelsberg von den Kurbeln der Vorgelegewelle, die von zwei raschlaufenden Motoren gemeinsam angetrieben wird, zwei Schrägstangen nach einer Blindwelle ausgehen, an die das horizontale Kuppelgestänge anschloss. Die Laufachsen wurden als Bisselachsen ausgeführt. Die übrigen Lokomotiven, die die Rh. B. damals beschaffte, waren neben einer im Jahre 1914 für den Simplonbetrieb gelieferten Lokomotive die einzigen unseres Landes mit hochliegenden, langsamlaufenden Motoren und direktem Stangenantrieb, eine Antriebsform, die dem Wunsche der AG, Brown Boveri & Cie. entgegenkam, hochpolige und darum langsamlaufende Repulsionsmotoren verwenden zu können, die die Firma eine Zeit lang für eine aussichtsreiche Motorbauart hielt. Besonders bemerkenswert waren die Ge 4/6-Lokomotiven Nr. 301 und 302 mit Drei- und Zweistangenantrieb mit und ohne Blindwelle, erstere mit Krauss-Helmholtzschen Drehgestellen Winterthurer Bauart, letztere mit Bisselachsen. Die Antriebe rührten von *J. Buchli* (1876 bis 1945)¹¹⁾, einem Schüler Kjelsbergs her, der sich von 1897 bis 1901 am Eidg. Polytechnikum zum Maschineningenieur ausgebildet hatte. Sonst hat diese Antriebsform in grossem Ausmass aber mit wenig Erfolg im Ausland, speziell in Deutschland, Eingang gefunden. Die schweizerische Praxis hat hier eine ausgesprochene Fehlentwicklung nur am Rande mitgemacht.

Bei den vier Probelokomotiven für die zu elektrifizierende Gotthardstrecke der *Schweizerischen Bundesbahnen* (SBB), die man gerade vor Beginn des ersten Weltkrieges zu projektieren begonnen hatte, konnten wesentliche Neuerungen gegenüber dem bis 1914 erreichten Entwicklungsstand noch nicht verwirklicht werden, so dass sich keine grundsätzlich neuen Probleme stellten. Kjelsberg verwendete bei einer der vier, der 107 t schweren Be 4/6-Drehgestell-Lokomotive Nr. 12 301¹²⁾ für 1920 kW Stundenleistung bei 50 km/h und 75 km/h Höchstgeschwindigkeit wieder Brownsche Schlitzkuppelstangen als Antriebsorgan, bei einer anderen, der 91 t schweren, einrahmigen Be 3/5-Lokomotive Nr. 12 201¹³⁾ für 1250 kW Stundenleistung bei 50 km/h und 75 km/h Höchstgeschwindigkeit, sah er, der vorangegangenen Entwicklung konsequent Rechnung tragend, als Antriebsorgan seinen flachen Kuppelrahmen vor. Die dritte Probelokomotive, die 118 t schwere Ce 6/8¹⁴⁾-Drehgestell-Lokomotive Nr. 14 201 erhielt als ausgesprochene Güterzugslokomotive für 1960 kW Stundenleistung bei 41 km/h und 65 km/h Höchstgeschwindigkeit den flachen Schrägstangenantrieb der früher erwähnten Ce 6/6-Lokomotive Nr. 121 der Lötschbergbahn¹⁴⁾, jedoch in der günstigeren Anordnung der Motoren mehr gegen die Lokomotivmitte hin, so dass die Schrägstangen nunmehr mit den Kurbelzapfen der Aussenriebräder verbunden sind¹⁵⁾. Bei der vierten Probe-

³⁾ SBZ Bd. 43, S. 79 (1904, I); Bd. 45, S. 40 (1905, I); Bd. 48, S. 159 (1906, II); Bd. 51, S. 185, 215, 243, 251 (1908, I); Bd. 54, S. 54, 59, 79, 95 (1909, II)

⁴⁾ SBZ Bd. 83, S. 272 (1924, I)

⁵⁾ SBZ Bd. 58, S. 29 (1911, II)

⁶⁾ SBZ Bd. 54, S. 233 (1909, II)

⁷⁾ SBZ Bd. 53, S. 13 (1909, I); Bd. 55, S. 202 (1910, I); Bd. 56, S. 144 (1910, II); Bd. 57, S. 75, 89 (1911, I); Bd. 58, S. 83 (1911, II)

⁸⁾ SBZ Bd. 63, S. 19 (1914, I); Bd. 68, S. 9 (1916, II)

⁹⁾ SBZ Bd. 64, S. 129 (1914, I); Bulletin SEV 1920, S. 237; 1921,

¹⁰⁾ SBZ Bd. 72, S. 95 (1918, II) S. 74 und 191

¹¹⁾ SBZ Bd. 125, S. 246 (1945, I)

¹²⁾ SBZ Bd. 71, S. 213 (1918, I)

¹³⁾ SBZ Bd. 71, S. 213; Bd. 73, S. 110 (1919, I)

¹⁴⁾ Heute der Bern-Neuenburg-Bahn zugeteilt

¹⁵⁾ «Brown Boveri-Mitt.» 1919, S. 79

lokomotive, einer 107 t schweren Drehgestell-Lokomotive gleichfalls vom Typ Be 4/6¹⁶⁾ für 1560 kW Stundenleistung bei 51 km/h und 75 km/h Höchstgeschwindigkeit, wurden die Triebmotoren so tief gelagert, dass die von je zwei Motoren angetriebenen Vorgelegewellen praktisch auf Achshöhe der Triebachsen angeordnet werden konnten. Das Gestänge, das die Kurbelzapfen je zweier Triebachsen miteinander verbindet, konnte daher nur noch mit einer geringen Pfeilhöhe ausgeführt werden, die bei Fortsetzung dieser Maschine zur Serie 12 302 für den Schnell- und Personenzugsdienst auf der Gotthardstrecke ganz unterdrückt wurde. Kjelsberg entwickelte als seine letzte Schöpfung eine neue Ce 6/8-Lokomotive von 128 t Gewicht der damaligen Serie 14 251 für 1640 kW Stundenleistung bei 36 km/h und 65 km/h Höchstgeschwindigkeit, mit flachem Kuppelrahmen als Antriebsorgan, wobei er jedoch nur ein Ende dieses Rahmens an die Kurbeln der Vorgelegewellen anschloss, während er das andere Ende mit den Kurbeln einer pendelnd aufgehängten Hilfswelle verband¹⁷⁾. Dadurch sollte seiner Idee nach ein Antrieb geschaffen werden, bei dem im Gegensatz zum Schrägstangenantrieb nur Horizontalkräfte von der Vorgelegewelle auf die Räder übertragen werden.

Abgesehen davon, dass um jene Zeit einige schmalspurige Neben- und Ueberlandbahnen eine Anzahl entsprechend kleinerer Lokomotiven mit Antrieb der Achsen durch Tatzenlagermotoren erhielten, dominierten damals die genannten Antriebe mit Zahnradübersetzungen aber noch mit Kupplung der Triebachsen durch verschiedene Gestängeformen. Das wurde aber sofort anders, als der Verwaltungsrat der Bundesbahnen am 30. August 1918 die Ausdehnung der Elektrifikation auf alle «lebenswichtigen» Strecken des Gesamtnetzes beschloss und damit die Beschaffung von Lokomotiven für das Alpenvorland notwendig wurde, die Höchstgeschwindigkeiten von zunächst 90 bis 100 km/h ermöglichen sollten. Wohl schien für diese Geschwindigkeiten bei den für unsere Verhältnisse in Frage kommenden Triebraddurchmessern die Verwendung von Stangen als Uebertragungs- und Kuppelorgane allenfalls noch zulässig. Deshalb wurden auch in Anlehnung an die Probelokomotive Be 3/5 12 201 60 98 t schwere Lokomotiven vom Typ Ae 3/6^I für 1550 kW Stundenleistung bei 64 km/h und 100 km/h Höchstgeschwindigkeit mit dem gleichen Antrieb als Serie 10 401 beschafft¹⁸⁾. Der individuelle Antrieb der Triebachsen (Einzelachsenantrieb) mit unmittelbarer Uebertragung der rotierenden Bewegung der Triebmotoren auf die Triebachsen musste sich aber als zweckmässiger Lösung aufdrängen, namentlich wenn eine Steige-

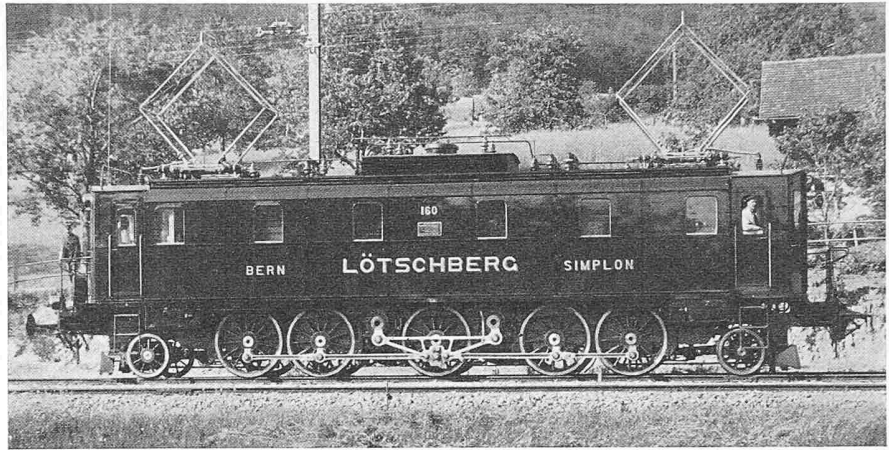


Bild 2. Ae 5/7-Lokomotive Serie 151 der Berner Alpenbahngesellschaft Bern—Lötschberg—Simplon, gebaut von der Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur und der Maschinenfabrik Oerlikon

rung der Höchstgeschwindigkeit bis auf 125 km/h für später in Aussicht genommen werden sollte.

Es war natürlich begründet, dass es die Elektrofirmer waren, die sich der konstruktiven Entwicklung dieser Einzelachsenantriebe annahmen. So schuf J. Buchli bei der AG. Brown Boveri & Cie. im Jahre 1916 seinen bekannten Einzelachsenantrieb in Form eines allseitig beweglichen Gelenkmechanismus, der in der Folge zunächst bei einem Drehgestell der Ae 4/8-Lokomotive Nr. 11 300, dann aber bei den 114 92 bis 95 t schweren Ae 3/6^I-Lokomotiven¹⁹⁾ der Serie 10 601 für 1470 bis 1630 kW Stundenleistung bei 62 bis 65 km/h und bei den 118 bis 123 t schweren 127 Ae 4/7-Lokomotiven²⁰⁾ der Serie 10 901 für 2160 bis 2450 kW Stundenleistung bei 65 km/h angewendet wurde (Bild 3). Der gleichzeitig von O. Tschanz (1869 bis 1919), von 1918 bis 1919 Obermaschineningenieur der SBB²¹⁾, entwickelte Einzelachsenantrieb unter Verwendung zweier Zahnradübersetzungen und zweier Kardangelenke, der beim andern Drehgestell der Ae 4/8-Lokomotive Nr. 11 300 angewendet wurde, konnte sich wegen seiner Vielgliedrigkeit nicht weiter durchsetzen. Dagegen wurde der Einzelachsenantrieb Westinghouse, für den die S. A. des Ateliers de Sécheron eingetreten war, in der Folge bei 26 81 bis 85 t schweren Ae 3/5-Lokomotiven der Serie 10 201²²⁾ für 1370 kW Stundenleistung bei 62,5 km/h und 90 km/h Höchstgeschwindigkeit, bei 11 89 t schweren Ae 3/6^{III}-Lokomotiven der Serie 10 261 für die gleichen Verhältnisse und bei sechs 110 t schweren Be 4/7-Lokomotiven der Serie 12 501²³⁾ für 1820 kW Stundenleistung bei 55 km/h und 80 km/h Höchstgeschwindigkeit mit Erfolg ausgeführt. Hohlwelle und Aussenrahmen, an die dieser Antrieb gebunden ist, wurden diesem gelegentlich als Nachteil angelastet, doch sind die Wartungskosten bei diesem Antrieb klein, namentlich seit man gelernt hat, gebrochene Antriebsfedern durch Zusammenschweissen wieder verwendbar zu machen. Die Laufachsen bilden bei diesen Lokomotiven mit unsymmetrischer Achsanordnung am transformersseitigen Ende ein zweiachsiges Laufdrehgestell,

am anderen Ende sind sie mehrheitlich als Bisselachsen, teilweise auch als Adamsachsen ausgeführt worden. Bei einem Teil der Ae 4/7-Lokomotiven der Serie 10 901 ist die Laufachse an einem Ende mit der Nachbartriebachse zu einem Drehgestell vereinigt, eine Bauart, die unter dem Namen «Java-Drehgestell» in die Literatur eingegangen ist²⁴⁾. Damit ist Radialeinstellung der Triebachse in Richtung des Kurvenradius erreicht worden und damit eine Verkleinerung ihres Anlaufwinkels. Bei

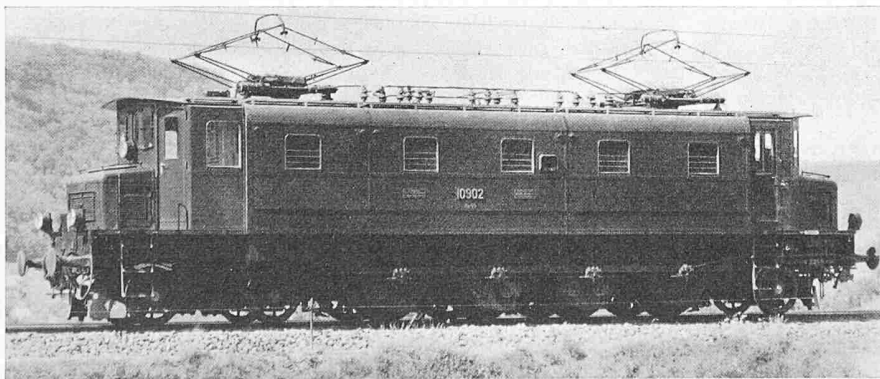


Bild 3. Ae 4/7-Lokomotive Serie 10901 der Schweizerischen Bundesbahnen, gebaut von der Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik, der AG. Brown Boveri & Cie., Baden, und der Maschinenfabrik Oerlikon

¹⁹⁾ «Brown Boveri-Mitt.» 1922, S. 91

²⁰⁾ «Brown Boveri-Mitt.» 1928, S. 63; SBZ Bd. 89, S. 341 (1927, I)

²¹⁾ SBZ Bd. 73, S. 98 (1919, I)

²²⁾ SBZ Bd. 81, S. 270 (1923, I)

²³⁾ SBZ Bd. 80, S. 97 (1922, II)

²⁴⁾ SBZ Bd. 89, S. 174 (1927, I)

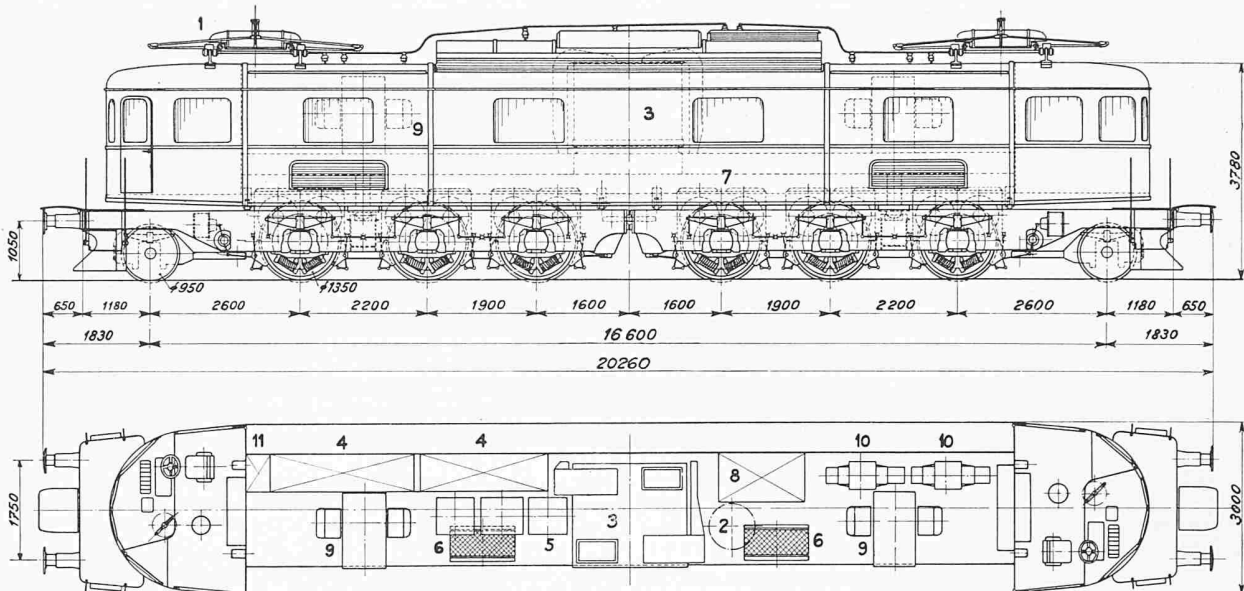


Bild 4. Ae 6/8-Lokomotive Serie 205 der Berner Alpenbahn Gesellschaft Bern—Lötschberg—Simplon, gebaut von der Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur und der S. A. des Ateliers de Sécheron, Genf

- | | | |
|---------------------|-------------------------------|--------------------|
| 1 Stromabnehmer | 5 Ueberschaltrosselspule | 9 Motorventilator |
| 2 Hauptschalter | 6 Wendeschalter | 10 Motorkompressor |
| 3 Stufentransformer | 7 Doppeltriebmotor | 11 Heizschütz |
| 4 Stufenhüpfer | 8 Shunt- und Bremswiderstände | |

einem Teil dieser Art von Drehgestellen wird nach einem Vorschlag von *M. Weiss*, von 1919 bis 1928 Obermaschineningenieur der SBB, durch Ausführung der Laufachse als Adamsachse eine noch bessere Einstellung in der Kurve erreicht.

Um die sog. Reparationskohlenzüge, die in der zweiten Hälfte der zwanziger Jahre die damalige Deutsche Reichsbahn mit einem Gewicht von 1200 t nach Basel brachte, weitgehend unverändert und beschleunigt an die Südgrenze befördern zu können, beschafften unsere Bundesbahnen zunächst zwei Lokomotiven mit acht zu je 20 t belasteten Triebachsen. Es handelt sich um die beiden Doppellokomotiven vom Typ Ae 8/14, die aus zwei kurzgekuppelten, praktisch kongruenten Hälften bestehen. Eine dieser Lokomotiven²⁵⁾, Nr. 11 801, von 246 t Dienstgewicht, 4900 kW Stundenleistung bei 65 km/h erhielt den BBC-Einzelachsenantrieb. Da der Transformator in der Mitte jeder Halblokomotive eingebaut ist, war es nötig, dort eine dritte, mittlere Laufachse anzuordnen, die zum Zwecke der Adhäsionsvermehrung bei schweren Anfahrten durch einen an ihrem Federbund über Winkelhebel angreifenden Druckluftkolben leicht angehoben werden kann. Die zweite Ae 8/14-Lokomotive²⁶⁾, Nr. 11 851, von 244 t Dienstgewicht, 6500 kW Stundenleistung bei 70 km/h, ist mit dem «Universalantrieb Winterthur» ausgerüstet, den J. Buchli nach seiner Rückkehr zur Lokomotivfabrik Winterthur als Nachfolger des im Jahre 1924 verstorbenen Direktors O. Kjelsberg entwickelt hatte. Jede Triebachse wird dabei von zwei axial einander gegenüberliegenden Motoren unter Zwischenschaltung einer Doppelübersetzung angetrieben. Das Grossrad der zweiten Uebersetzung arbeitet über eine Kreuzgelenkkupplung zentral auf die Radachse. Die symmetrische Anordnung des Laufwerks ermöglichte es, an jedem Ende einer Lokomotivhälfte ein kombiniertes Lauf- und Triebgestell der erwähnten Java-Bauart anzuwenden.

Bei den Güterzuglokomotiven der damaligen Serie 14 251 bewährte sich der Antrieb mit flachem, einendig motorseitig angeschlossenem Kuppelrahmen nicht ganz. Bei den zweiten, während der Jahre 1926 bis 1927 beschafften Ce 6/8^{III}-Güterzuglokomotiven der Serie 14 301 gleicher Achsfolge von 131 t Dienstgewicht, 2940 kW Stundenleistung bei 40 km/h und 65 km/h Höchstgeschwindigkeit wurde daher wieder der bewährte, flach geneigte Schrägstangenantrieb angewendet, wie vorher bei den De 6/6-Lokomotiven der Serie 15 301, bestimmt für den Dienst auf der 1922 verstaatlichten Seetalinie. Auch

sämtliche Rangierlokomotiven der SBB, angefangen von den im Jahre 1923 abgelieferten Ee 3/4-Lokomotiven der Serie 16 301 bis zu den modernen Typen der Ee 3/3-Lokomotiven der Serie 16 381 und den beiden 1952 dem Betrieb übergebenen Ee 6/6-Gross-Rangierlokomotiven der Serie 16 801.

Die Ausdehnung des elektrischen Betriebes bei den schweizerischen Privatbahnen blieb nicht ohne Einfluss auf den Elektrolokomotivbau. So wurden für die *Bernischen Dekretsbahnen* insgesamt 17 Lokomotiven, zunächst vom Typ Be und Ce 4/6 beschafft, wobei man als Antriebsorgan Schlitzkuppelstangen vorsah. Im Jahre 1954 setzte der Umbau dieser Lokomotiven auf Be 4/4-Lokomotiven, also unter Beseitigung der Laufachsen, ein. Ferner gab die Elektrifizierung des Gesamtnetzes der *Rhätischen Bahn*, die im Jahre 1920 vollendet war, die Möglichkeit zur Entwicklung der damals leistungsfähigsten Schmalspurlokomotiven für Einphasen-Wechselstrom in Gestalt der Ge 6/6-Lokomotiven der Serie 401²⁷⁾. Die Schmalspur sowie die Beschränkung des Achsdruckes auf 11 t und die Forderung, eine Anhängelast von 200 t auf 35% Steigung mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h ziehen zu müssen, führte zu einer sechsachsigen Lokomotive mit Aussenrahmen. Je drei Triebachsen sind zu einem Drehgestell vereinigt und werden von einem Motor über ein Zahnradvorgelege und über Schrägstangen angetrieben. Bis 1929 beschaffte die Rhätische Bahn 15 solcher Lokomotiven. Sie sind, abgesehen von Schmalspur und Aussenrahmen, in ihrem äusseren Aufbau den De 6/6-Lokomotiven der Serie 15 301 der Bundesbahnen gleich.

Die Verkehrszunahme in der Konjunkturperiode der zweiten Hälfte der zwanziger Jahre stellte die *Lötschbergbahn* für ihre Bergstrecke vor ähnliche traktionstechnische Probleme wie die Bundesbahnen. Um die Führung der schweren Güterzüge in Doppeltraktion mittels Be 5/7-Lokomotiven der Serie 151 zu vermeiden, wurden für diesen Dienst zunächst zwei 142 t schwere Be 6/8-Lokomotiven (später Ae 6/8) der Serie 201 beschafft²⁸⁾, die für die Förderung eines Anhängewichtes von 550 t (später auf 600 t erhöht) auf 27%, entsprechend 3900 kW Stundenleistung, vorgesehen waren. Jede der drei Triebachsen der beiden Drehgestelle wird durch je einen Zwillingmotor über einen von der Firma Sécheron modifizierten Westinghouse-Federantrieb angetrieben, wobei statt sechs Einzelfedern dreimal zwei Doppelfederelemente vorhanden sind. Bis zum Jahre 1943 wurde der Park dieser Lokomotiven auf 8 Stück vergrössert (Bild 4).

²⁵⁾ «Schweiz. Techn. Zeitschr.» 1933, S. 77

²⁶⁾ SBZ Bd. 99, S. 145 (1932, I)

²⁷⁾ «Brown Boveri-Mitt.» 1922, S. 106; «Schweiz. Techn. Zeitschr.» 1922, S. 514

²⁸⁾ SBZ Bd. 89, S. 221 f. (1927, I)

Die Firma Sécheron hatte 1928 Gelegenheit, den gleichen Antrieb bei der meterspurigen Ge 4/4-Lokomotive Serie 82 der ehemaligen *Bernina-Bahn* auszuführen, besonders aber dann bei den Be 4/4-Lokomotiven der Serie 11 der *Bodensee-Toggenburgbahn*, sowie bei den Lokomotiven gleicher Achsfolge der Serie 101 der *Emmental-Burgdorf-Thun-Bahn* und der *Solothurn-Münster-Bahn*. Es handelte sich dabei um insgesamt 15 während der Jahre 1931 bis 1944 gelieferte lauffachlose, normalspurige Drehgestell-Lokomotiven mit vier Triebachsen, 64,7 t Dienstgewicht, 1180 kW Stundenleistung bei 50 km/h.

Der Abschluss des ersten Elektrifikationsprogrammes der SBB im Jahre 1928 hat zusammen mit der wenige Jahre später einsetzenden Wirtschaftskrise in der Weiterentwicklung des Lokomotivbaues eine mehrjährige Pause eintreten lassen. Diese hatte aber insofern ihr Gutes, als das Erreichte in Ruhe überblickt und die Betriebserfahrungen gesichtet und richtig ausgewertet werden konnten. Dazu kam, dass bei den Bundesbahnen mit den Ae 4/7-Lokomotiven der Serie 10 901 auf dem Sektor der Schnellzuglokomotiven und mit den Ce 6/8^{III}-Lokomotiven der Serie 14 301 auf jenem der Güterzuglokomotiven ein gewisser Abschluss in der Konstruktion grösserer Lokomotiven erreicht war. Bei diesen Typen handelt es sich um Triebfahrzeuge immer noch der ausgesprochen schweren Bauart. Auch die beiden Ae 8/14-Doppellokomotiven Nr. 11 801 und 11 851 gehören noch zu den spezifisch schweren Lokomotiven, obwohl die Massierung grosser Leistungen naturgemäss eine Verminderung des spezifischen Leistungsgewichtes mit sich bringen musste. Auch diese Lokomotiven stellten einen gewissen konstruktiven Entwicklungsabschluss dar, trotz der später gebauten dritten Lokomotive gleicher Achsfolge, die an der Schweizerischen Landesausstellung in Zürich 1939 zu sehen war und bei 236 t Dienstgewicht 8400 kW bei 83 km/h leistet.²⁹⁾ Denn es hat sich bereits damals gezeigt, dass der Einsatz derartiger Grosslokomotiven nur dann wirtschaftlich ist, wenn die grossen Leistungen regelmässig ausgenutzt werden können. Das ist aber bei unseren Verhältnissen praktisch nicht der Fall.

Bei den beiden führenden Privatbahnen, der Lötschbergbahn und der Rhätischen Bahn, lagen die Dinge ähnlich. Die 66 t schweren Ge 6/6-Schmalspurlokomotiven der Serie

401 der *Rhätischen Bahn* zählen ebenso zur schweren Bauart wie die 142 t schweren Lokomotiven der Serie 201 der *Lötschbergbahn*. Zu den vier Stück dieses Typs kamen in den Jahren 1939 bis 1943 vier weitere und zwar von modernisierter Bauart des mechanischen Teils als Ae 6/8-Lokomotiven dazu³⁰⁾. Dank der reichlichen Dimensionierung der elektrischen Ausrüstung weisen diese Lokomotiven die gleiche Zugkraft, Geschwindigkeit und Charakteristik auf wie die Be 6/8-Lokomotiven. Diese wurden 1938/39 ebenfalls in Ae 6/8-Lokomotiven umgebaut und zwar nur durch Angleichung des Getriebe-Uebersetzungsverhältnisses an die nachgebauten Lokomotiven. Im Jahre 1954 begann man mit dem Umbau der Lokomotiven 201 bis 204, so dass sie auch äusserlich den Lokomotiven 205 bis 208 fast gleich werden. Die Belastungsnormen konnten beibehalten werden.

Wenn auch die Transportleistungen der Bahnen während der Konjunkturperiode der zweiten Hälfte der zwanziger Jahre mengenmässig zunächst stark anstiegen, so verstärkte sich andererseits die Automobilkonkurrenz rasch und für die Bahnen in besorgniserregendem Ausmass. Die Bahnen suchten ihr durch Steigerung der Geschwindigkeit und Vermehrung des Komforts zu begegnen. So unternahmen es die *Bundesbahnen*, die Reisezeit auf der Strecke Zürich—Bern—Lausanne—Genf durch Einsatz leichter «Städteschnellzüge» erheblich zu kürzen. Zur Führung dieser Züge beschafften sie drei RFe 4/4-Lokomotiven mit Gepäckabteil der ehemaligen Serie 601, die unter der Bezeichnung «Gepäcktriebwagen» im Jahre 1940 in Betrieb kamen^{*)}. Ihre betriebsmässige Höchstgeschwindigkeit betrug 125 km/h. Praktisch trug die Steigerung von 100 auf 125 km/h allerdings nicht viel zur Erhöhung der Reisegeschwindigkeit bei, weil nur wenige und nur kurze Teilstrecken diese hohe Geschwindigkeit gestatten. Wesentlich war, dass die leichten Triebfahrzeuge nur 47 t, d. h. knapp 12 t pro Achse wogen. Dank diesem Umstand durften die Kurven durchschnittlich mit einer um 10 km/h höheren Geschwindigkeit befahren werden, als dies bei schweren Lokomotiven mit 20 t Triebachsdruk der Fall war, und zwar ohne dass die durch Ueberhöhung des Gleises nicht kompensierte Fliehkraft (Spurkranzdruck der Räder) höher geworden wäre. Allerdings musste die Triebmotorleistung für diese starke Gewichtsreduktion auf 1240 PS beschränkt werden.

Schluss folgt

Über die Entwicklung von Stellwerken und das Betriebsmodell der ETH

Von Ernst Kuhn, Dipl. El.-Ing. ETH, Integra AG., Wallisellen

Die schweizerische Industrie für Eisenbahnsicherungswesen hat erstmals im Jahre 1939 ein vollständiges elektrisches Stellwerk für die Einfahrt in den Bahnhof Luzern (Fluhmühle-Luzern) erstellt¹⁾. In der Folge gewann das elektrische Schalterwerk schweizerischer Bauart weite Verbreitung²⁾. Veranlassung zum Verlassen dieser Apparaturen gaben die ständig steigenden Anforderungen des heutigen Eisenbahnbetriebes: Auf der einen Seite muss man die Leistungsfähigkeit bestehender Gleisanlagen ohne nennenswerte Erweiterungen wesentlich erhöhen. Auf der anderen Seite steht das Bestreben nach weiterer Erhöhung der Sicherheit. So sieht sich der Sicherungsingenieur vor Aufgaben gestellt, die nicht immer leicht unter einen Hut zu bringen sind. Mit der Entwicklung des Dominostellwerkes, Bauart «Integra» 1953, das nachfolgend beschrieben werden soll, gelang es der landeseigenen Industrie, allen Wünschen zu entsprechen. Tatsächlich ist man auf diesem Gebiet in eine neue, erfolgversprechende Phase eingetreten. In Fachkreisen ist man denn auch der Auffassung, dass der Bau von neuen Stellwerken bisheriger Bauart in ein bis zwei Jahren seinen Abschluss finden wird. Abgesehen von den Bestrebungen, jede Möglichkeit zur Eliminierung von Zufälligkeiten

wahrzunehmen, galt es in erster Linie, dem Betriebsbeamten ein Instrument in die Hand zu geben, das ihm erlaubt, den Betrieb so rationell als nur möglich zu gestalten.

Ein erstes Gleisbildstellwerk schweizerischer Bauart mit fahrstrassenmässiger Steuerung der Weichen wurde im Jahre 1952 in Genf in Betrieb genommen, nachdem bereits seit 1942 Gleisbildstellwerke als Freigabewerke im Betrieb standen. Bereits dieses Stellwerk weist weitgehend die folgenden, heute notwendigen Eigenschaften auf:

1. Durch die Vereinigung der Bedienungs- und der Meldeeinrichtungen in einem Apparat, dem Stelltisch, wird eine optimale Uebersichtlichkeit erreicht. Dadurch ist Gewähr geboten, dass der bedienende Beamte jederzeit über die Verhältnisse in seinem Stellwerkbezirk orientiert ist und sofort die notwendigen Massnahmen treffen kann.

2. Die Einstellung einer Fahrstrasse und das Öffnen der betreffenden Signale erfolgt im normalen Betrieb durch die Betätigung lediglich zweier Tasten, die in einem auf dem erwähnten Stelltisch vorhandenen Gleisbild eingebaut sind. Der dafür notwendige Zeitaufwand ist im Vergleich zur Operationszeit an Apparaten bisheriger Bauart sehr klein.

3. Während bei den bisherigen Anlagen die Fahrstrasse im allgemeinen erst dann aufgelöst werden kann, wenn der Zug den ganzen Fahrweg zurückgelegt, d. h. bei einer Ein-

²⁹⁾ «Schweiz. Techn. Zeitschr.» 1939, S. 375; «Bulletin Oerlikon» Nr. 217/218, S. 1333 f.; SBZ Bd. 114, S. 35 (1939, II)

¹⁾ SBZ Bd. 114, S. 284, 9. Dez. 1939

²⁾ SBZ 1947, Nr. 26

³⁰⁾ «Sécheron Mitt.» Nr. 11, S. 7

^{*)} Beschreibung s. SBZ Bd. 114, S. 308 (23. Dez. 1939)