

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 94 (1976)
Heft: 22

Artikel: Elektrische Zugförderung im Spiegel eines Ingenieurslebens
Autor: Isler, Ernst
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73103>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

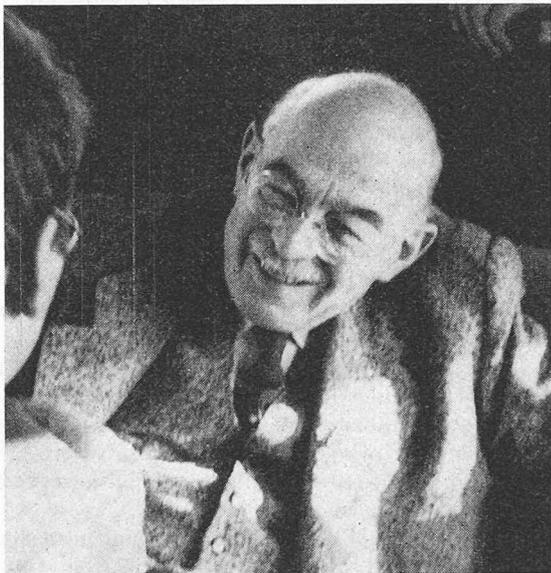
Download PDF: 14.07.2025

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

Karl Sachs zum 90. Geburtstag

DK 92:621.33

Am 30. Mai vollendet Prof. Dr. Karl Sachs sein 90. Lebensjahr. Er kann bei guter Gesundheit und geistiger Frische auf ein ausserordentlich erfülltes Leben zurückblicken.



Im Jahre 1911 trat der junge Ingenieur in den Dienst der AG Brown, Boveri & Cie., in Baden. Er hatte vorher über den Wechselstromkollektormotor doktoriert und vertiefte sich nun in die Berechnung und Konstruktion der Triebmotoren der eben erstellten elektrischen Lokomotiven der Lötschbergbahn und der Rhätischen Bahn. Viele Wochen lang überwachte er den Betrieb der Lokomotiven im Engadin und am Lötschberg. Kollektorrundfeuer und Isolations-

durchbrüche und andere Mängel vermochten die Begeisterung in die elektrische Traktion der damaligen Elektrifikationspioniere nicht zu erschüttern. Sachs ist der letzte Vertreter aus jener Sturmzeit, die zu seinen schönsten Erinnerungen zählt.

42 Jahre lang diente Sachs seiner Firma, zumeist als starke Stütze der wissenschaftlichen Lokomotiv-Bautechnik. 1928 bzw. 1938 erschienen die von ihm verfassten Standardwerke «Elektrische Vollbahnlokomotiven» und «Die ortsfesten Anlagen der elektrischen Bahnen». Beide waren nach kurzer Zeit vergriffen. Ebenso rasch war auch sein 1953 erschienenes zweibändiges Werk «Elektrische Triebfahrzeuge» ausverkauft. Von vielen Seiten dazu gedrängt, begann der bald 70jährige mit der Neubearbeitung. Sie erschien 1973 und umfasst drei Bände mit 2117 Seiten, 2486 Textabbildungen und 46 Falttabellen und -tafeln. Gute Gesundheit und geistige Frische, eine enorme Wissenskapazität, gepaart mit unerhörter Schaffenskraft, einem phänomenalen Gedächtnis und einer grenzenlosen Liebe zum Fachgebiet haben diese einmalige Altersleistung ermöglicht.

Der Jubilar ist Ehrendoktor der Technischen Hochschulen von München und Wien sowie Inhaber der Grashof-Denkmedaille, der höchsten und seltenen Ehrung des Vereins Deutscher Ingenieure, die in der Schweiz vorher nur H. Sulzer-Steiner und Aurel Stodola zuerkannt worden war.

25 Jahre lang war Prof. Sachs ein begeisterter und begnadeter Lehrer an der ETH. Er verstand es auch hervorragend – wie ein ehemaliger Schüler sich ausdrückte –, die Achtung vor der Geschichte und die Liebe zu den Künsten zu wecken und nicht nur Fachdozent, sondern väterlicher Freund zu sein. Seine grosse berufsethische und humane Ausstrahlung waren und sind ein Erlebnis und ein nachhaltiger Gewinn.

Franz Gerber

Elektrische Zugförderung im Spiegel eines Ingenieurlebens

Von Ernst Isler, Baden (Schweiz)

DK 621.33

Der Kreis der auf dem Gebiet der *elektrischen Zugförderung* tätigen Ingenieure freut sich aufrichtig, dass Prof. Dr. K. Sachs das höchst selten vorkommende Glück zuteil geworden ist, das hohe Alter von 90 Jahren in bester Gesundheit und in einer geistigen Frische zu erreichen, die vom Alter in keiner Weise berührt worden sind und von den jüngeren Zeitgenossen echte Bewunderung und Anerkennung erheischen. Eine Würdigung der einzigartigen Tätigkeit des jung gebliebenen Jubilars, den man mit Fug und Recht als *Nestor der elektrischen Traktion* bezeichnen darf, erfolgt an anderer Stelle. Im Rahmen der Glückwünsche, die ihm von nah und fern zu seinem Geburtstag entgegengebracht werden, soll kurz in Erinnerung gerufen werden, welcher grossen Entwicklungsweg die elektrische Zugförderung während seiner beruflichen Tätigkeit bis heute zurückgelegt hat.

Als im Jahre 1911 der 25jährige Doktor der technischen Wissenschaften nach einer umfassenden Ausbildung in die Dienste des schweizerischen Unternehmens Brown, Boveri & Cie. trat, steckte die elektrische Vollbahn-Zugförderung in einer ersten aktiven Entwicklungsphase, die durch das Suchen nach betriebstüchtigen Lösungen gekennzeichnet war. Dem

damaligen Stande der Elektrotechnik entsprechend, hatte sich bald nach der Jahrhundertwende die Erkenntnis durchgesetzt, dass die Elektrifizierung von Eisenbahnen des allgemeinen Verkehrs sich am besten mit *hochgespanntem Einphasen-Wechselstrom niedriger Frequenz* verwirklichen lasse. Das bei Strassen-, Lokal-, Vororts- und Untergrundbahnbetrieben erfolgreich eingeführte Gleichstromsystem war für die Fernbahnen noch nicht anwendbar, weil der Bau von betriebssicheren Fahrmotoren und Schaltapparaturen für eine Fahrdrahtspannung von 1500 oder gar 3000 V noch nicht beherrscht wurde. Die namentlich in Italien von den dortigen Staatsbahnen (FS) betriebene Elektrifizierung mit Drehstrom von 3300 V und $16\frac{2}{3}$ Hz stellte eine Lösung dar, die wegen der doppelpoligen Fahrleitungsanlagen und des Nebenschlussverhaltens der Traktionsmotoren auch nicht frei von schwerwiegenden Nachteilen war.

Der Bau von Wechselstrom-Lokomotiven stellte damals noch ein Wagnis dar, indem die Konstrukteure praktisch ohne vorliegende Erfahrungen neue Wege für den mechanischen und elektrischen Teil suchen mussten. Allein schon die Übertragung der von den Traktionsmotoren abgegebenen Leistung

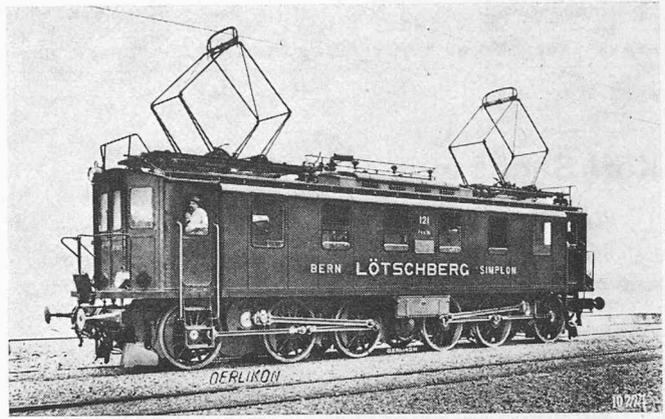
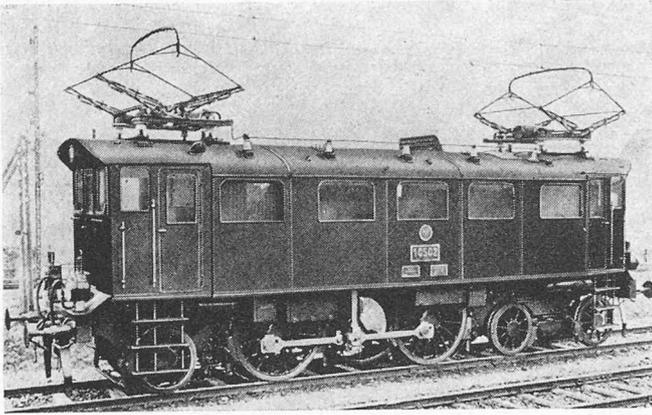


Bild 1 (links). 2'B1'-Lokomotive Nr. ES 2 der KPEV für die Strecke Dessau-Bitterfeld (1910, 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz bzw. anfänglich 10 kV/15 Hz, 660 kW Stundenleistung bei 79 km/h, 110 km/h Höchstgeschwindigkeit, 73 t Dienstmasse). – Bild 2 (rechts). C'C'-Lokomotive Ce 6/6 Nr. 121 der BLS (1910, 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz bzw. anfänglich 15 Hz, rd. 1500 kW Stundenleistung bei 42 km/h, 60 km/h Höchstgeschwindigkeit, 90 t Dienstmasse)

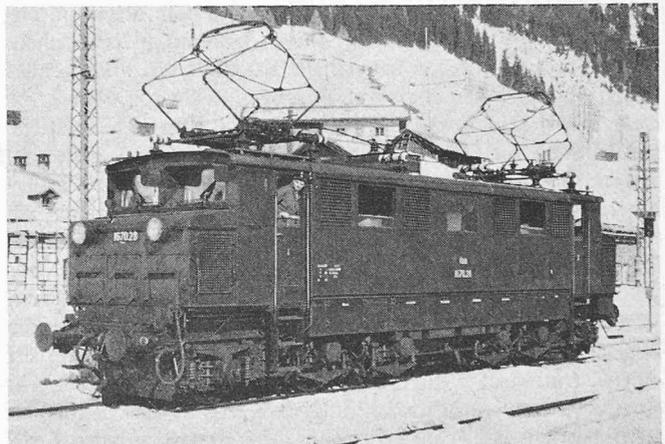
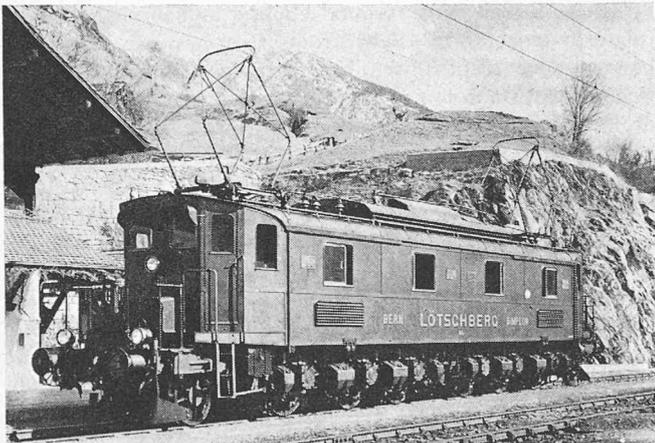
auf die Triebachsen bot unzählige Schwierigkeiten und Probleme, da die Motoren für die verlangten Leistungsgrößen noch derartige Abmessungen aufwiesen, für die der Einzelachs Antrieb nicht in Frage kommen konnte. Die Verwendung von relativ raschlaufenden Motoren schied anfänglich aus, da man noch nicht in der Lage war, *Zahnradübersetzungen* für die entsprechenden Leistungen herzustellen. Es blieb somit keine andere Lösung als die Anordnung von grossen und langsamlaufenden Fahrmotoren, die über Kurbeln und Stangenantriebe direkt auf die Triebachsen arbeiteten.

Vielfältig waren auch die *Bauformen* der Traktionsmotoren selbst und der elektrischen Ausrüstungen. In diesem Zusammenhang sei nur erwähnt, dass man bis zum eigentlichen Aufkommen des von *H. Behn-Eschenburg* entwickelten Reihenschlussmotors mit Kompensations- und ohmisch geschunteten Wendepolwicklungen auch reine oder kompenzierte Repulsionsmotoren in den Bauarten von *Déri*, *Winter-Eichberg* und *Latour* mit wechselnden Erfolgen verwendete. Dasselbe war auch für die verschiedenen Arten der Steuerungen der Fall. Hier versuchte man zum Teil mit Induktionsreglern – häufig auch in Verbindung mit Stufenschützen oder -schaltwerken und Bürstenverschiebung – stetige Steuerungen, die aber wegen ihrer Gewichtsaufwendigkeit und der Wirkungsgradverluste sich auf die Dauer nicht durchsetzen konnten. Der eigentliche

Repulsionsmotor nach *Déri* bot den Vorteil, dass er mit konstanter Spannung betrieben werden konnte und sich für beide Drehrichtungen durch Bürstenverschiebung steuern liess. Die daraus sich ergebende Einfachheit der elektrischen Ausrüstung musste allerdings durch Kommutationsschwierigkeiten sowie durch schlechte Wirkungsgrade und niedrige Leistungsfaktoren bei kleinen Geschwindigkeiten teuer erkauft werden. Dies war denn auch der Grund, weshalb dem Repulsionsmotor ein echter Erfolg versagt blieb.

Bild 1 zeigt als typisches Beispiel des damaligen Standes der Technik die 2'B1'-Lokomotive Nr. ES 2, die von den Preussisch-hessischen Staatsbahnen im Jahre 1911 auf der Strecke Dessau-Bitterfeld in Betrieb gesetzt wurde. Ihrer Zeit eilte die im Jahre 1910 an die Berner Alpenbahn-Gesellschaft Bern-Lötschberg-Simplon (BLS) gelieferte C'C'-Probelokomotive Ce 6/6 Nr. 121 (Bild 2) weit voraus. Hier arbeiteten die Traktionsmotoren in der von *H. Behn-Eschenburg* geschaffenen Bauart über Zahnradübersetzungen auf Blindwellen, die über Schräg- und Kuppelstangen die drei Achsen jedes Drehgestelles antrieben. Als Besonderheit sei noch erwähnt, dass die Zahnradgetriebe von der Firma *A. Citroën* in Paris hergestellt wurden. Die mit diesem Versuchstriebfahrzeug gemachten Erfahrungen bewogen die BLS, für die Betriebsaufnahme auf der eigentlichen Bergstrecke Frutigen-Brig die be-

Bild 3 (links). (1'Co) (Col')-Lokomotive der BLS, damalige Serie Be 6/8 (Nr. 201–204, 1926 und 1931, 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz, rd. 3400 kW Stundenleistung bei 50 km/h, 75 km/h Höchstgeschwindigkeit, 142 t Dienstmasse). Später mehrmals erneuert und leistungsfähiger gestaltet, stehen die vier Triebfahrzeuge unter der Seriebezeichnung Ae 6/8 heute noch im Dienst. – Bild 4 (rechts). (1A) Bo (A1)-Lokomotive der ÖBB, Reihe 1670, mit zwei Vertikalmotoren pro Triebachse (1928–1929, 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz, 2440 kW Stundenleistung bei 63 km/h, 100 km/h Höchstgeschwindigkeit, 105 t Dienstmasse). Auch diese Triebfahrzeugreihe konnte sich bis heute erhalten



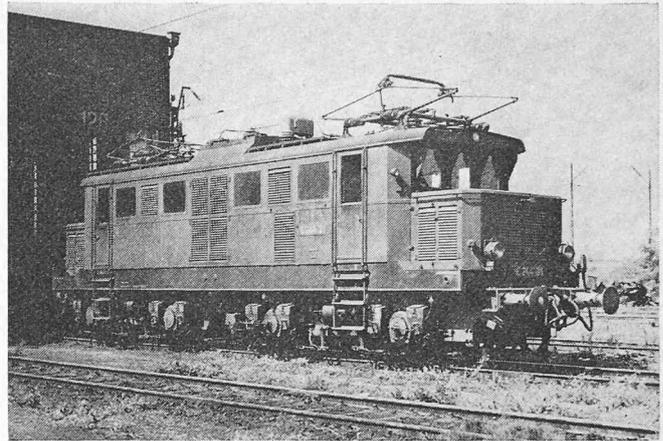
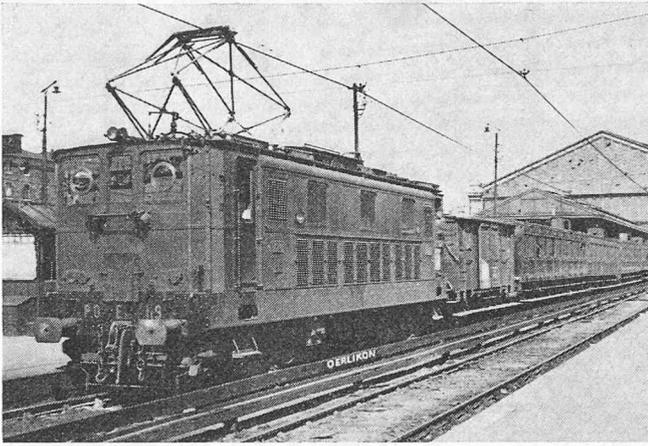


Bild 5 (links). Bo'Bo'-Lokomotiven der früheren PO, Serie E 101-180 (1925-1927, 1500 V =, 1300 kW Stundenleistung bei 47 km/h, 90 km/h Höchstgeschwindigkeit, 77 t Dienstmasse). – Bild 6 (rechts). Bo'Bo'-Lokomotive Nr. E 244.31 der nachmaligen DB (1936, 20 kV/50 Hz, 1840, 2120 oder 2020 kW Stundenleistung bei 33,2, 57,0 oder 80,0 km/h, 85 km/h Höchstgeschwindigkeit, 83 t Dienstmasse)

kannten 1'El'-Lokomotiven Be 5/7 Nr. 151-163 zu bestellen, die zwar in der mechanischen Ausführung wesentlich abwichen und noch leistungsfähiger waren, sich im elektrischen Teil aber weitgehend an den Prototyp anlehnten.

Im Jahre 1928 gab K. Sachs sein aufsehenerregendes Werk über *elektrische Vollbahnlokomotiven* heraus. Die Fachwelt nahm dieses durch seine textliche Klarheit und seine homogene Gestaltung gekennzeichnete Buch mit grosser Begeisterung auf, da zu erkennen war, dass sich der Autor die ausserordentliche Fähigkeit angeeignet hatte, seine gründlichen theoretischen und praktischen Kenntnisse in einem sehr weitläufigen Sachgebiet leicht fasslich in einer prägnanten und wohlgeformten Sprache zu vermitteln. So war es auch nicht erstaunlich, dass Karl Sachs wenige Jahre später von der *Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich* einen *Lehrauftrag für das Gebiet der elektrischen Zugförderung* erhielt.

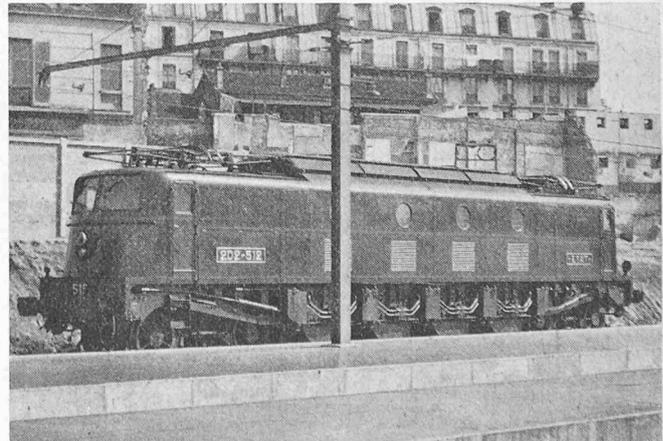
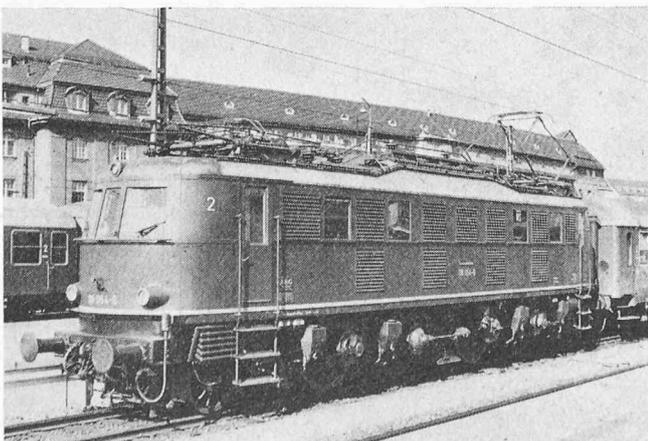
Allen, die Gelegenheit hatten, seine hervorragenden Vorlesungen zu besuchen, blieb die geistige Universalität unvergesslich, mit der er das Gebiet der elektrischen Zugförderung im allgemeinen und den Bau von elektrischen Triebfahrzeugen im besonderen behandelte. Sachs, dessen erfolgreiche Lehrtätigkeit in den Jahren 1941 und 1947 durch seine Ernennungen zum Titularprofessor und dann zum ausserordentlichen Professor gebührend gewürdigt wurden, verstand es wie keiner, auf die *Wechselbeziehungen zwischen Maschinenbau und Elektrotechnik* hinzuweisen.

In den Jahren 1911 bis 1928 hatte sich die elektrische Zugförderung namentlich in Europa erfolgreich durchgesetzt und als lebensfähig erwiesen. Dank den inzwischen erzielten Fortschritten der Elektrotechnik war auch der Betrieb von stark belasteten Hauptbahnstrecken mit Gleichstrom von 1500 V Fahrdrathspannung möglich geworden. In diesem Zusammenhang sind die bedeutenden Elektrifizierungen der damaligen Eisenbahngesellschaften «Midi» und «Paris-Oléans» in Frankreich zu erwähnen. In Italien hatten die FS ihren Drehstrombetrieb auf zahlreiche Strecken im Raume Genua-Ventimiglia-Turin ausgedehnt, doch in den Jahren 1925 bis 1927 im Rahmen eines gründlichen Erprobungsversuches ihre Strecke Benevento-Foggia mit Gleichstrom von 3000 V elektrifiziert und damit die erste Etappe der allgemeinen Einführung dieses Stromsystems verwirklicht.

Was den Bau von elektrischen Lokomotiven in den Jahren nach 1925 anbetrifft, waren folgende Hauptmerkmale zu erkennen:

Die *Einzelachsantriebe* setzten sich im allgemeinen durch und verdrängten zunehmend die Stangenantriebe, die nunmehr ebenfalls *Zahnradübersetzungen* und *raschlaufende Motoren* aufwiesen. Die (1'Co) (Co1')-Lokomotiven der damaligen BLS-Serie Be 6/8 (Bild 3) bewiesen, dass sich der Einzelachsantrieb auch für Triebfahrzeuge eignet, die auf krümmungsreichen Gebirgsstrecken schwere Züge zu befördern haben. Unter den zahlreichen Antriebsarten mit fest im Fahrzeugrahmen gela-

Bild 7 (links). 1'Do1'-Lokomotive der DB, Baureihe 118 (1934-1940) und 1955, 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz, 2920 kW Stundenleistung bei 103 km/h, 150 km/h Höchstgeschwindigkeit, 108 t Dienstmasse). – Bild 8 (rechts). 2'Do2'-Lokomotive der SNCF, Serie 202/5401-5423, vormals Serie 202/501-523 der ehem. «Etat» (1937, 1500 V =, 2750 kW Stundenleistung bei 76 km/h Höchstgeschwindigkeit, 129 t Dienstmasse)



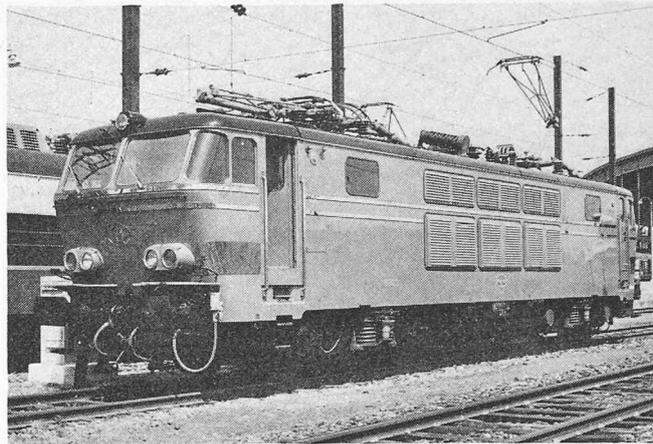
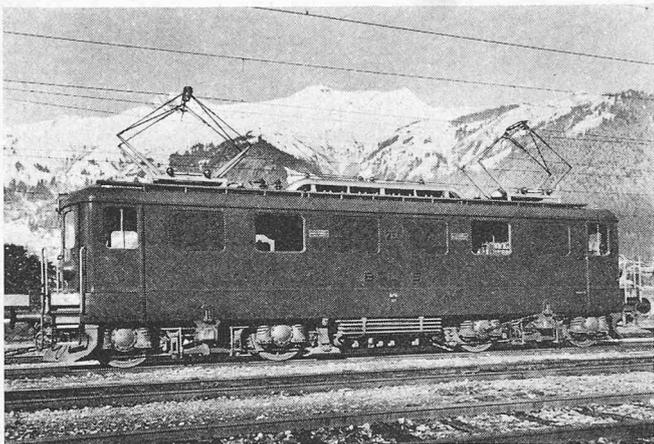


Bild 9 (links). Bo'Bo'-Lokomotive der BLS, Serie Ae 4/4 (1944–1955, 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz, 2944 kW Stundenleistung bei 76 km/h, 120 km/h Höchstgeschwindigkeit, 80 t Dienstmasse). – Bild 11 (rechts). Bo'Bo'-Viersystem-Lokomotive der SNCB, Reihe 16 (1966, 3000 V =, 1500 V =, 25 kV/50 Hz und 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz, 2800 kW Stundenleistung bei 89 km/h, 160 km/h Höchstgeschwindigkeit, 83 t Dienstmasse)

gerten Traktionsmotoren sei auch jene Ausführung mit zwei Vertikalmotoren, Kegelradgetriebe, Hohlwelle und Gelenkkupplung in Erinnerung gerufen, wie sie auf den heute noch im Betrieb befindlichen (1A)Bo(A1)-Lokomotiven der ÖBB-Reihe 1670 (Bild 4) zur Verwendung kam.

Für kleinere Leistungen und mässige Höchstgeschwindigkeiten bewährte sich namentlich für Gleichstrom-Lokomotiven die einfachste Art des Einzelachsantriebes mit *Tatzlagermotoren*. Solche Triebfahrzeuge konnten schon damals laufachslos als Bo'Bo'-Typen ausgeführt werden. Die damaligen Bahnverwaltungen «Midi» und PO (Paris-Orléans) setzten für die Beförderung ihrer Güter- und Personenzüge solche Lokomotiven ein, die von Anfang an für *Vielfachsteuerung* eingerichtet waren (Bild 5). Von jenen Serien, deren Stundenleistung mit ca. 1300 kW bei 45 km/h nach heutigen Begriffen gering erscheint, damals aber doch eine beachtliche Grösse hatte, wurden im Lauf der nächsten Jahrzehnte konsequent weitere und leistungsfähigere Baureihen abgeleitet. Die nach dem Zweiten Weltkrieg von der nunmehrigen SNCF beschafften Bo'Bo'-Lokomotiven weisen bei praktisch gleicher Dienstmasse eine stündliche Leistung von rund 2300 kW bei ca. 45 km/h auf; die betrieblich mögliche Höchstgeschwindigkeit erhöhte sich von 90 auf 105 km/h.

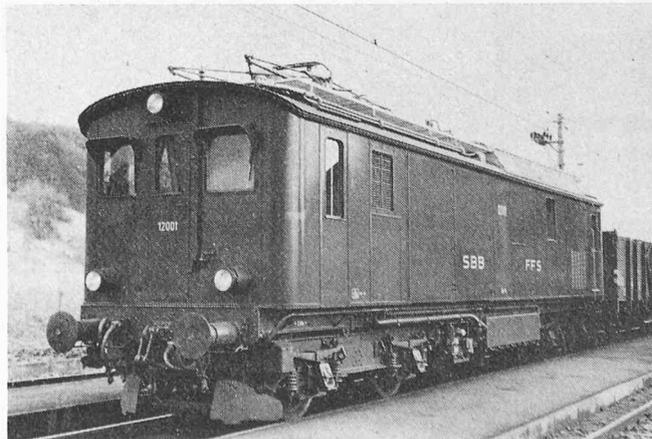
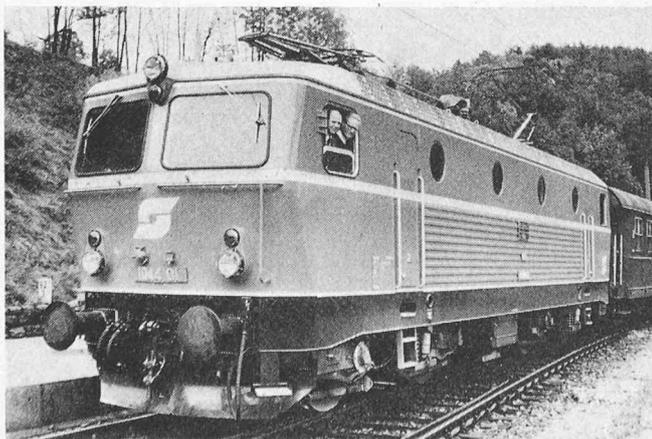
Im elektrischen Teil bestimmte das *Stromsystem* die massgebenden Unterschiede, die sich nicht nur auf die Traktionsmotoren erstreckten. Bei den Wechselstrom-Lokomotiven

setzte sich der *Öltransformator* allgemein durch, wobei für grössere Leistungen die forcierte Ölumlaufkühlung mit künstlich belüfteten Ölkühlern zur Regel wurde. Sowohl für Wechselstrom- als auch für Gleichstrom-Triebfahrzeuge wurde die eigentliche Leistungssteuerung mit Schaltwerken (Schlittenstufenschalter mit separaten Lastschaltelementen, Nockenschaltwerke usw.) oder aber mit Stufenschützen und bisweilen auch mit Kombinationen dieser Apparatetypen verwirklicht. Die Handbetätigung von Schaltwerken machte bald der für die Bedienung weit bequemer indirekten *Steuerung über elektrische oder elektropneumatische Servomotorantriebe* Platz. Bei den Stufenschützen wurde schliesslich die elektropneumatische Betätigung wegen des wesentlich geringeren Steuerstromverbrauches allgemein bevorzugt.

Das zweite grosse literarische Werk von K. Sachs erschien 1938 und hatte die *ortsfesten Anlagen elektrischer Bahnen* zum Gegenstand. Mit der ihm eigenen Gründlichkeit und Konsequenz beschrieb der Autor die der *Bahnstromversorgung* dienenden Einrichtungen, wobei er die Eigenarten der verwendeten Stromsysteme wie früher bei den elektrischen Lokomotiven entsprechend hervorhob. Auch dieses Werk, dessen inhaltliche Schwerpunkte bei den *Unterwerken* und den *Fahrleitungen* mit ihren zahlreichen Ausführungsvarianten lagen, fand bei allen an der elektrischen Zugförderung interessierten Kreisen grössten Anklang.

Inzwischen hatten die elektrischen Bahnbetriebe an Um-

Bild 13 (links). Bo'Bo'-Lokomotive der ÖBB, Reihe 1044 (1974–1975, 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz, 5400 kW Stundenleistung bei 90 km/h, 160 km/h Höchstgeschwindigkeit, 83 t Dienstmasse). – Bild 14 (rechts). Bo'Bo'-Lokomotive Be 4/4 Nr. 12001 der SBB mit Umrichter und Drehstrom-Fahrmotoren (1972, 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz, rd. 1000 kW Stundenleistung im Bereich von 28 bis 75 km/h, 75 km/h Höchstgeschwindigkeit, 64 t Dienstmasse)



fang und Bedeutung weiter zugenommen, wobei die technischen Fortschritte der letzten Jahre die Verwirklichung des alten Wunsches nach der *Elektrifizierung mit Einphasen-Wechselstrom von 50 Hz*, also der Frequenz der Landesstromversorgungsnetze, in den Bereich des Möglichen gerückt hatte. Bereits in den Jahren 1932 bis 1936 hatten die MAV auf ihrer Strecke Budapest-Hegyeshalom den elektrischen Betrieb mit Einphasen-Wechselstrom von 16 kV und 50 Hz abschnittsweise aufgenommen, nachdem früher vorgenommene Versuche unter der Leitung von *K. Kandó* mit einer Einphasen-Drehstrom-Umformer-Lokomotive die Durchführbarkeit eines solchen Betriebes ergeben hatte. Dabei mussten die traktionstechnischen Nachteile des Drehstrombetriebes noch bewusst in Kauf genommen werden.

Bedeutungsvoller war die von der seinerzeitigen Deutschen Reichsbahn in den Jahren 1935 bis 1937 durchgeführte Elektrifizierung der Höllental- und Dreiseisenstrecke mit Einphasen-Wechselstrom von 20 kV und 50 Hz. Von den vier Bo'Bo'-Lokomotiven der damaligen Baureihe E 244 wies nur eine die beim $16\frac{2}{3}$ -Hz-Betrieb üblichen Direktmotoren auf, wobei aus konstruktiven Gründen die Achsen von je zwei Tatzlagermotoren angetrieben wurden. Zwei Maschinen wiesen Quecksilberdampf-Gleichrichter und Mischstrom-Traktionsmotoren auf; in einem Falle wurde die Anschmittsteuerung verwendet, im anderen dagegen eine hochspannungsseitige Amplitudensteuerung. Die traktionstechnischen Vorzüge dieser beiden Fahrzeuge kamen wegen der naturbedingten Empfindlichkeit der wassergekühlten Mehranodengleichrichter mit ihren Vakuumpumpenanlagen nicht voll zur Geltung. Technisch sehr interessant, aber im Aufbau und in der Wartung aufwendig, war die vierte Lokomotive mit der Nr. E 244.31 (Bild 6). Von den acht Fahrmotoren (je zwei pro Achse) waren vier als vierpolige Drehstrom-Schleifringläufermaschinen ausgebildet, während die restlichen vier als kompensierte Einphasen-Induktionsmotoren mit Zwischenläufern ausgeführt waren und sowohl als Phasenumformer als auch als sechspolige Schleifringankermotoren arbeiteten, so dass durch Kaskadenschaltung sowie durch ausschliessliche Benützung der sechs- und vierpoligen Motoren drei wirtschaftliche Hauptstufen mit stetigen Übergängen erzielt werden konnten.

In jenen Jahren zeichneten sich die klassischen Wechsel- und Gleichstrom-Lokomotiven für den Schnellzugdienst durch zunehmend grössere Leistungen und Höchstgeschwindigkeiten aus. Wegen der zulässigen Massen und vor allem auch wegen der Laufeigenschaften war die *Anordnung von Laufachsen* noch unvermeidlich. Charakteristisch für jenen Zeitabschnitt sind die heute noch im Einsatz stehenden 1'Do1'-Lokomotiven der heutigen DB-Baureihe 118 (Bild 7) und die verschiedenen Serien von 2'Do2'-Lokomotiven der SNCF (Bild 8).

Hatte sich Karl Sachs schon vor dem Zweiten Weltkrieg ernsthaft mit dem Gedanken beschäftigt, sein Werk über elektrische Vollbahnlokomotiven auf den nunmehrigen Stand zu bringen und neu herauszugeben, so führte die nach Rückkehr normaler Verhältnisse stürmisch einsetzende Weiterelektrifizierung der Eisenbahnen in Europa und auch auf andern Kontinenten mit der parallel dazu verlaufenden technischen Entwicklung sehr bald zum Entschluss, den Rahmen weiter zu spannen und allgemein das ganze Gebiet der elektrischen Triebfahrzeuge umfassend zu behandeln. Dabei schloss er nicht nur die elektrischen Vollbahn-Triebwagen in den Themenkreis ein, sondern auch die elektrisch betriebenen Schienen- und Strassenfahrzeuge für alle Arten von Nahverkehrsbetrieben sowie die thermoelektrischen Triebfahrzeuge.

Das zweibändige Werk «Elektrische Triebfahrzeuge» erschien im Jahre 1953. Es erfüllte die von den Fachkreisen seit Jahren gehegten Erwartungen, fand überall wärmste Aufnahme und war innert kürzester Zeit vergriffen. Wie bei allen seinen Publikationen hatte es der Autor auf eine unübertreff-

liche Weise verstanden, das gegenüber früher um ein Mehrfaches erweiterte und durch die Entwicklung ebenso noch weitaus vierteiliger gewordene Gebiet übersichtlich und folgerichtig zu behandeln. Ein überaus wertvolles Handbuch für die Praxis und für Studierende stand somit zur Verfügung. Zum grossen Erfolg trug nicht nur der Ruf des Autors als äusserst erfahrener Fachmann bei, sondern ebenso sehr jener als warmherziger Mensch und Berater. Ihm war es weitgehend zu danken, dass die während der Kriegsjahre zwangsläufig zum Erliegen gekommenen persönlichen Beziehungen zwischen den Traktionsspezialisten der europäischen Eisenbahnen wieder aufgebaut wurden und damit auch der dem Fortschritt dienende gegenseitige Gedanken- und Erfahrungsaustausch erneut einsetzen konnte.

Es würde hier zu weit führen, den beim Erscheinen dieses Werkes erreichten Stand der elektrischen Triebfahrzeuge auch nur allgemein zu beschreiben. Bild 9 soll nur die bereits ab Winter 1944/45 in Betrieb gesetzten BLS-Lokomotiven der Serie Ae 4/4 in Erinnerung rufen, welche die erste Realisierung von laufachslosen Schnellzuglokomotiven mit einer Leistung von 736 kW (1000 PS) pro Achse darstellen. Die heute bei den europäischen und auch überseeischen Eisenbahnverwaltungen dominierenden Bo'Bo'-, Co'Co'- und Bo'Bo'Bo'-Lokomotiven lassen sich alle mehr oder weniger direkt auf jene erfolgreiche Erstausrüstung zurückführen, obwohl sich für den mechanischen und besonders für den elektrischen Teil schon allein wegen der unterschiedlichen Stromsysteme und der inzwischen erfolgten technischen Entwicklung zahlreiche Änderungen ergeben haben.

Beim Betrachten des Zeitraumes nach 1950 verdient auch das Aufkommen der elektrischen Zugförderung mit *Einphasen-Wechselstrom von 50 Hz* eine besondere Erwähnung. Die Ergebnisse des auf Initiative von *L. Armand* im Herbst 1950 aufgenommenen Versuchsbetriebes auf der Strecke Aix-les-Bains-Annecy-La Roche-sur-Foron erbrachten den Beweis für die Lebensfähigkeit und Wirtschaftlichkeit dieses Stromsystems und bewogen die SNCF, die im Norden und Osten sowie auch im Westen von Frankreich gelegenen Hauptstrecken mit Einphasen-Wechselstrom von 25 kV und 50 Hz zu elektrifizieren.

Die beiden folgenden und das in die Gegenwart führende Jahrzehnt brachten der elektrischen Zugförderung hinsichtlich Ausdehnung und technischer Entwicklung einen intensiven Aufschwung, der einen echten Strukturwandel im Bahnbetrieb zur Folge hatte. Das Aufkommen der Leistungs- und Steuer-elektronik bot dem Bau von elektrischen Triebfahrzeugen bisher ungeahnte Möglichkeiten, die zuerst vor allem der *Zugförderung mit Einphasen-Wechselstrom von 25 kV und 50 Hz in Verbindung mit der Verwendung von Mischstrom-Fahrmotoren* zum grossen Durchbruch verhelfen, dann aber auch der klassischen $16\frac{2}{3}$ -Hz- und Gleichstrom-Traktion neue und bessere Lösungen eröffneten. Die technischen Fortschritte ermöglichten auch die Realisierung von *Mehrsystem-Triebfahrzeugen*, für die sich infolge des Zusammenwachsens der mit unterschiedlichen Stromsystemen elektrifizierten Streckennetze ein steigendes Bedürfnis ergab. Hatten die ersten Fahrzeuge dieser Art wie z.B. die ab 1961 in den Betrieb gesetzten TEE-Triebwagenzüge Serie RAe der SBB (Bild 10) und die im Jahre 1966 gelieferten Viersystem-Lokomotiven Reihe 16 der SNCF (Bild 11) elektrische Ausrüstungen mit Diodengleichrichtern und konventionellen Schützen- bzw. Schaltwerksteuerungen, so werden heute Lösungen mit Leistungselektronik (z.B. mit Gleichstromstellern) verwendet.

Allgemein erhöhte sich die pro Achse einbaubare Stundenleistung weiter; sie beträgt nunmehr rund 1350 kW. Typische Beispiele von derartigen Grenzleistungs-Triebfahrzeugen für den Dienst auf stark befahrenen Gebirgsstrecken sind die für Einphasen-Wechselstrom von 15 kV und $16\frac{2}{3}$ Hz ge-

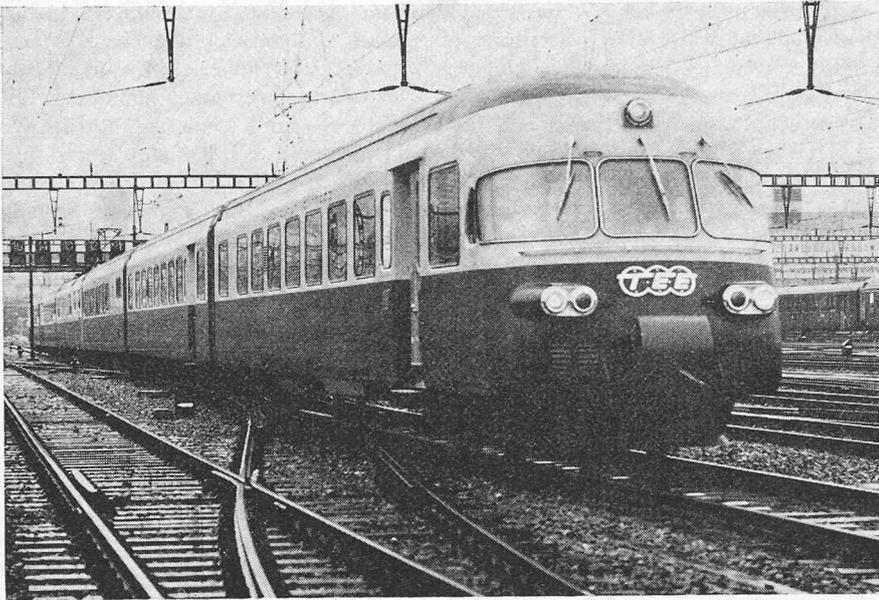


Bild 10. TEE-Viersystem-Triebwagenzug der SBB, Serie RAe (1961 und 1967, 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz, 25 kV/50 Hz, 1500 V = und 3000 V =, 2376 kW Stundenleistung bei 88 km/h, 160 km/h Höchstgeschwindigkeit, 296 t Dienstmasse)

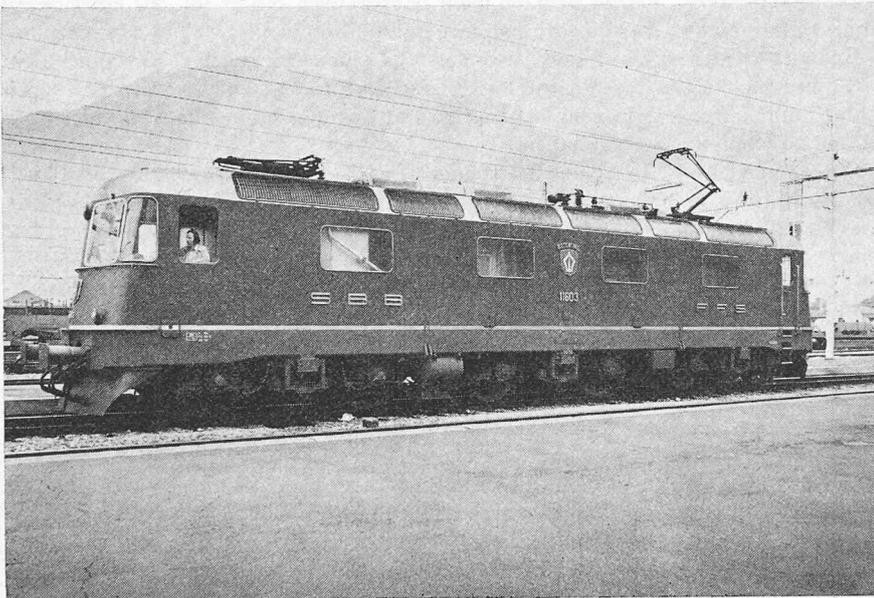


Bild 12. Bo'Bo'Bo'-Lokomotive der SBB, Serie Re 6/6 (1972 und ab 1975, 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz, 8028 kW Stundenleistung bei 106 km/h, 140 km/h Höchstgeschwindigkeit, 120 t Dienstmasse)

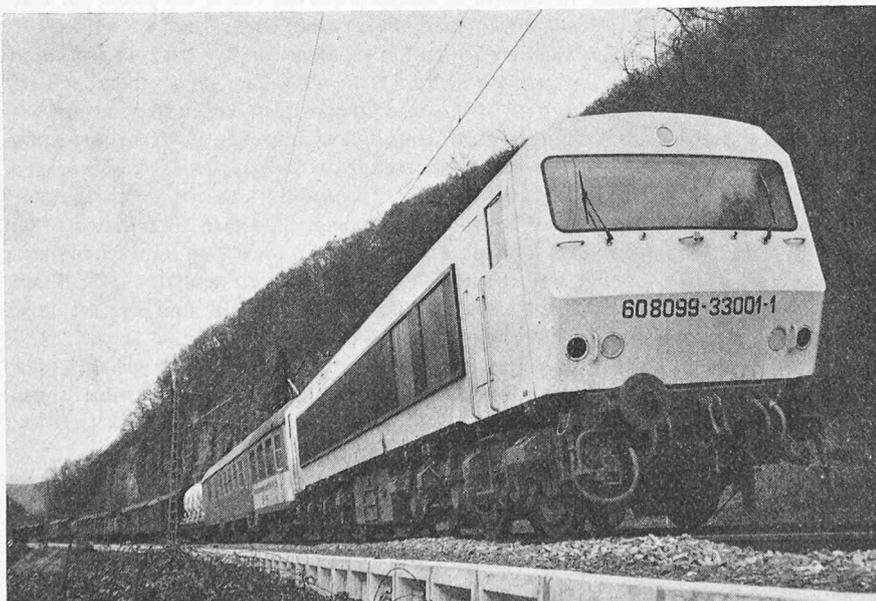


Bild 15. Das 2'2'+Co'Co'-Versuchsfahrzeug «Steuerwagen + DE 2500» (DB + BBC Mannheim) mit Umrichter und Drehstrom-Fahrmotoren (1974, 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz, rd. 1300 kW Stundenleistung im Bereich von 25 bis 140 km/h, 140 km/h Höchstgeschwindigkeit, 54 und 80 t Dienstmasse)

bauten Bo'Bo'Bo'-Lokomotiven Serie Re 6/6 der SBB mit Hochspannungstufenschaltersteuerung und Direktmotoren (Bild 12) sowie die mit der gleichen Stromart betriebenen Bo'Bo'-Lokomotiven Reihe 1044 der ÖBB mit Anschnittsteuerung und Mischstrommotoren (Bild 13).

Wer Prof. Sachs kennt, weiss, dass seine Emeritierung an der ETH in Zürich im Jahre 1956 niemals der Anlass zum Eintritt in ein gemütliches «Otium cum dignitate» sein konnte. Schon 1954 berief ihn die *Technische Hochschule in Wien*, die ihn im gleichen Jahre zum Ehrendoktor der technischen Wissenschaften ernannt hatte, als Honorarprofessor, so dass er seine überaus erfolgreiche Vorlesungstätigkeit bis 1961 fortsetzen konnte.

In Anbetracht der geschichtlichen Weiterentwicklung seines Fachgebietes entschloss sich der körperlich und geistig jung gebliebene Jubilar, die Bearbeitung eines *Ergänzungsbandes* in Angriff zu nehmen, um sein im Jahre 1953 herausgegebenes Werk auf den nunmehrigen technischen Stand zu bringen. Er musste dabei sehr bald erkennen, dass der eingeschlagene Weg zu einer zwangsläufig mit Kompromissen behafteten Lösung führen würde. Sein starker Wille, das ihm seit Jahrzehnten vertraute und an sein Herz gewachsene Gebiet der elektrischen Triebfahrzeuge der Gegenwart entsprechend umfassend darzustellen, befähigte ihn, die unermesslich grosse Arbeitsleistung mit einer unglaublichen Energie erfolgreich zu bewältigen; im Jahre 1973 kam die zweite, neu bearbeitete und erweiterte Auflage seines einzigartigen Werkes «Elektrische Triebfahrzeuge» heraus. Die Urteile über dieses schon in seiner Entstehung einmalige Werk zeugen einhellig von echter Begeisterung, Bewunderung und Anerkennung.

Nachdem unser Jubilar während seiner langjährigen Tätigkeit wiederholte Male mit der Frage konfrontiert worden war, welches Stromsystem wohl das geeignetste für die elektrische Zugförderung sei und er von der Praxis her wusste, dass sowohl der Betrieb mit Gleichstrom von 1500 oder 3000 V als auch jener mit Einphasen-Wechselstrom von 15 kV und 16²/₃ Hz sowie auch der Betrieb mit 25 kV und 50 Hz tech-

nisch und wirtschaftlich einwandfreie Lösungen darstellen, wird er wohl auch Überlegungen anstellen, wie die Entwicklung in nächster Zukunft weiter verlaufen wird.

Schon heute steht fest, dass sich mit Thyristoren nicht nur steuerbare Gleich- und Wechselrichter oder auch eigentliche Gleichstromsteller zusammenstellen lassen, sondern mit entsprechendem Mehraufwand an Halbleiterelementen ganz allgemein auch *Umrichter* zur Verwandlung von Stromarten, Phasenzahlen und Frequenzen. Damit besteht der nächste Schritt in der von allen Eisenbahnen als Ideallösung bezeichneten Entwicklung von Triebfahrzeugen mit *kommutatorlosen und mit variabler Frequenz gespeisten Fahrmotoren* in Form der unempfindlichen, leichten und in der Wartung anspruchslosen Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren. Die Erprobungserfahrungen mit der Lokomotive Be 4/4 Nr. 12001 der SBB (Bild 14) und dem von der DB und BBC Mannheim gemeinsam entwickelten Versuchsfahrzeug «Steuerwagen + DE 2500» (Bild 15) für Betrieb mit Einphasen-Wechselstrom von 15 kV und 16²/₃ Hz sind in jeder Beziehung ermutigend und zeigen, dass die Verwirklichung von gleis- und netzfreundlichen Mehrzwecklokomotiven mit Leistungen von rund 1300 kW pro Achse in Angriff genommen werden darf. Dabei werden sich die künftigen Gleichstrom-Triebfahrzeuge im wesentlichen nur noch durch den *Wegfall des Transformators* und durch ihre *Eingangs-Leistungselektronik* von jenen für Wechselstrombetrieb unterscheiden, da in allen Fällen gleiche Wechselrichter und Traktionsmotoren zur Anwendung gelangen können.

Mit diesem Ausblick erlaubt sich der Schreibende, die an Karl Sachs zur Vollendung seines 90. Lebensjahres zu richtenden Glückwünsche mit dem Ausdruck «dem wahren Freund und Förderer von den Eisenbahnen Europas und ihren Triebfahrzeug-Herstellern ausgesprochen» zu wiederholen.

Adresse des Verfassers: E. Isler, dipl. Elektro-Ingenieur ETH, AG Brown, Boveri & Cie., Teilbereich KLM-32, 5401 Baden.

Sanierung bestehender Geleiseanlagen mit Vliesmatten

DK 625.122

Bei Geleiseanlagen, wie sie in unseren Gegenden bekannt sind, bildet das Planum die Unterlage für den Schotter, das ihr die dynamischen und statischen Beanspruchungen des Bahnverkehrs weitergibt. Die dabei am häufigsten auftretenden Schäden sind in feinen bzw. bindigen Böden festzustellen. Die Erklärung dafür ist folgende:

Die feinen, meist mit Wasser angereicherten Bodenpartikel werden unter der dynamischen Beanspruchung im Schotter «hochgepumpt». Dieses physikalische Phänomen bewirkt die *Verschmutzung des Tragkörpers* und beeinträchtigt die für die Sicherheit, den Fahrkomfort und eine lange Lebensdauer der Anlage notwendige Elastizität des Bahnkörpers. Dies führt unvermeidlich zur verfrühten Erneuerung des Geleiseoberbaues.

Konventionelle Methode

Bis vor kurzem wurde *zwischen Infrastruktur und Oberbau* eine aus *abgestufter Körnung bestehende Sandschicht* eingebaut. Die Kornzusammensetzung wurde dabei entsprechend der Untergrundbeschaffenheit gewählt. Diese Bauweise erforderte eine Sandlage, die oft eine Dicke von

40 cm und mehr erreichen konnte. Die Schicht sollte eine *Trenn-, Filter- und Drainagefunktion* erfüllen.

Trotz grosser Bemühungen seitens der Eisenbahnbauer konnte diese nur teilweise befriedigende Lösung nie zur vollen Approbation der verantwortlichen Stellen verbessert werden.

Lösung

Im *polypropylen AS-Zusatzvlies* wurde das Substitutionsprodukt gefunden, das die Nachteile der herkömmlichen Methode ausschliesst. Bild 3 zeigt das Querprofil eines Geleises, das mit Hilfe dieses von der EMPA geprüften Materials aufgebaut ist.

Trenn- und Filterwirkung

Dank der *Struktur* dieses Gewebes erreicht man eine ausgezeichnete Trenn- und Filterwirkung. Je nach Bodenbeschaffenheit kann die Vliesmatte so gewählt werden, dass der Rückhalt der Bodenanteile von 5 bis 20 μ Korngrösse über 95 % (1) liegt. Da dieses Vlies aus *Endlosfasern* besteht, entfällt das obengenannte Risiko einer Verschmutzung des Ballastes durch das Filtermaterial.