Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 71 (1980)

Heft: 21

Artikel: Zusammenarbeit zwischen der ETH Zürich, dem SEV und den Schweizer Bahnen auf dem Gebiet der elektrischen Traktion, gestern, heute und morgen

Autor: Weber, H. H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905299

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: 10.12.2025

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

Zusammenarbeit zwischen der ETH Zürich, dem SEV und den Schweizer Bahnen auf dem Gebiet der elektrischen Traktion, gestern, heute und morgen

Von H. H. Weber

621.33;

Der Beitrag zeigt einige der Öffentlichkeit weniger bekannte Aspekte der Zusammenarbeit zwischen den im Titel erwähnten Gremien. Er soll aber auch zeigen, wie wichtig eine solche Zusammenarbeit und Koordination der Aufgaben ist und dass diese erhalten bleiben soll.

Cet article montre quelques aspects, peu connus du grand public, de la coopération entre l'EPFZ, l'ASE et les Chemins de fer suisses, et sa grande importance pour une coordination des tâches à accomplir, coopération qui doit se poursuivre.

1. Elektrifikation der Schweizer Bahnen

Ein Fachgebiet, welches ohne die Unterstützung von Lehre und Forschung durch die Hochschule auskommen muss, ist für die weitere Entwicklung stark behindert und läuft Gefahr zu stagnieren. So waren die schon für die Elektrifikation der Schweizer Bahnen verantwortlichen Gremien und Männer gut beraten, diese Zusammenarbeit in die Wege zu leiten und zu fördern.

Eine Persönlichkeit, die die Verbindung und Zusammenarbeit zwischen der ETH, dem SEV und den Schweizer Bahnen, vor allem der Bern–Lötschberg–Simplon-Bahn (BLS) und den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) für die Elektrifikation dieser Bahnen einleitete und massgebend förderte, war Professor *W. Wyssling* (Fig. 1). Bereits im Alter von 29 Jahren erhielt er 1891 vom Schweizerischen Schulrat einen Lehrauftrag für «Angewandte Elektrizität» und übernahm 1895 den neugeschaffenen Lehrstuhl für «Angewandte Elektrotechnik». So war es naheliegend, dass *Wyssling* als einer der ersten mit voller Überzeugung für die Elektrifikation auch der Vollbahnen eintrat, nachdem bereits vor 1900 mit dem elektrischen Betrieb von Berg- und Strassenbahnen der Beweis erbracht worden war, dass die elektrische Traktion ebenso betriebstüchtig und wirtschaftlicher ist als die bekannte Dampftraktion.

Im Jahr 1900 erstattete *Wyssling* einen Bericht an das damalige eidg. Handelsdepartement (Volkswirtschaftsdepartement), worin er die Anregung machte, über die elektrische Traktion Versuche in grossem Maßstab durchzuführen «angesichts der kläglichen Abhängigkeit von durchwegs ausländischen Kohleminen». Im selben Jahr beschloss der SEV auf Antrag seines Präsidenten Dr. *E. Tissot,* Direktor der Eisenbahnbank in Basel, ein Studienkomitee zur Prüfung dieser Frage ins Leben zu rufen. So wurde die «Schweizerische Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb» gegründet, die ihre Tätigkeit am 28. März 1903 aufnahm. *Tissot* wurde ihr Präsident, während *Wyssling* als ihr Generalsekretär amtete. Dieser hielt während dieser bedeutenden Pionierzeit der elektrischen Bahnen bereits eine Vorlesung an der ETH über den «Elektrischen Bahnbetrieb».

Das Ergebnis der fruchtbaren Tätigkeit dieser Studienkommission ist bekannt: Umfangreiche Untersuchungen und Versuche auf der Strecke Seebach–Wettingen durch die Maschinenfabrik Oerlikon mit hochgespanntem einphasigem Wechselstrom von ca. 15 Hz (16⅔ Hz) sowie Versuche mit Drehstrom-Traktion mit Asynchronfahrmotoren im Simplontunnel durch Brown, Boveri & Cie., Baden; sie brachten die Gewissheit, dass das Einphasen-Wechselstrom-System mit niedriger Frequenz das betriebstauglichste und wirtschaftlichste System sei. Dabei traten bedeutende Ingenieure dieser Firmen – um nur einige zu nennen – als massgebliche Förderer und Erfinder dieses Systems hervor: Dr. h.c. *Huber-Stockar,* Direktor der Maschinenfabrik Oerlikon, sein engster Mitarbeiter und Erfinder des Einphasen-Seriekollektormotors, Dr. h.c. *Behn-Eschenburg* – nur mit diesem Fahrmotor war diese Traktionsart zu jener Zeit überhaupt möglich geworden – sowie der unlängst hochbetagt verstorbene Professor Dr. *K. Sachs,* welcher damals als Mitarbeiter von BBC an vorderster Front die Inbetriebsetzung der ersten Vollbahnlokomotiven 15 kV, 16⅔ Hz leitete und an deren Weiterentwicklung massgebend beteiligt war.

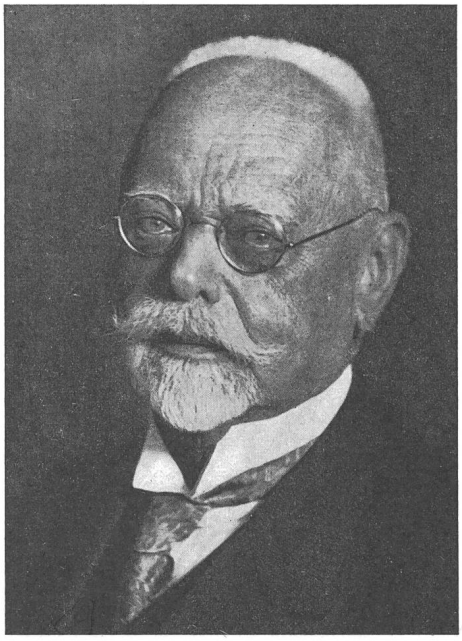

Fig. 1 Prof. Dr. h. c. Walter Wyssling, 1862–1945

Huber-Stockar, welcher hauptsächlich die Untersuchungen über die elektrische Fahrzeugausrüstung leitete, stellte damals die Forderung auf, dass die Leistung der elektrischen Lokomotiven mindestens derjenigen der Dampflokomotiven entsprechen müsse. Um dies zu erreichen, käme sogar die Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom auf der Lokomotive in Frage. Wenn man diese Zielsetzung mit dem heutigen Stand des Triebfahrzeugbaus vergleicht, so wird einem einerseits bewusst, wie entwicklungsfähig das gewählte System war; anderseits ist der Gedanke der Umformung auf dem Triebfahrzeug mit der modernen Stromrichtertechnik wieder sehr aktuell geworden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen waren derart überzeugend, dass die BLS praktisch nie mit Dampf, sondern von Anfang an (1913) mit dem hochgespannten Einphasen-Wechselstrom-System niedriger Frequenz betrieben wurde. Im Jahre 1913 wurde der elektrische Betrieb auch im Engadin bei der Rhätischen Bahn mit 11 kV Fahrdrahtspannung und 16⅔ Hz aufgenommen. Die SBB beriefen *Huber-Stockar* als Oberingenieur für elektrische Zugförderung in ihre Dienste, um das Werk der Elektrifikation in die Wege zu leiten. Am 25. November 1913 bewilligte der Verwaltungsrat der SBB den ersten Elektrifikationskredit im Betrage von 38,5 Mio. Franken. Damit war knapp vor Beginn des ersten Weltkrieges der Weg zur Gesamt-Elektrifikation der Schweizer Bahnen freigemacht – eine erste Etappe fruchtbarer Zusammenarbeit zwischen der ETH Zürich, dem SEV, den Schweizer Bahnen und natürlich der Traktionsindustrie hatte damit einen überaus positiven und wegweisenden Abschluss gefunden.

2. Marksteine der Weiterentwicklung

Die Jahrzehnte, welche dieser intensiven institutionalisierten Zusammenarbeit zur Festlegung eines wirtschaftlichen Bahnstromsystems folgten, waren gekennzeichnet durch eine zielstrebige Elektrifikation der Schweizer Bahnen (die Bahnen Deutschlands, Österreichs, Schwedens und Norwegens wurden mit dem gleichen System elektrifiziert) und durch die Weiterentwicklung auf den verschiedensten Gebieten des nunmehr etappenweise einsetzenden elektrischen Bahnbetriebs.

Mit dem ständig wachsenden Verkehrsaufkommen mussten immer grössere Anhängelasten mit höheren Geschwindigkeiten auf der nach wie vor nicht einfachen Linienführung der schweizerischen Bahnen gefördert werden. Die gesamte Infrastruktur der ortsfesten Anlagen wie Kraftwerke, Unterwerke, Fahrleitungen, Sicherungswesen und Fernmeldeanlagen, Oberbau, Brückenbau, aber auch die Triebfahrzeuge, das Wagenmaterial und der eigentliche Betrieb wurden durch diese Entwicklung geprägt. Stellvertretend für alle diese aufeinander abgestimmten Entwicklungen seien einige wenige Marksteine der elektrischen Traktion bis zum heutigen Zeitpunkt erwähnt, welche die erwähnte Zusammenarbeit belegen.

Nachdem wie bei der Dampftraktion zunächst noch typische Güterzugs- und Schnellzugslokomotiven gebaut wurden, brachte die elektrische Traktion die Möglichkeit, sog. *Universallokomotiven* herzustellen, d.h. Triebfahrzeuge, die ebenso für den schweren Berg- wie den Flachlandbetrieb, sowie für den Güterzugs- wie für den Schnellzugsdienst einsetzbar sind. Ihr Arbeitsbereich (Geschwindigkeits-Zugkraftbereich) konnte derart erweitert werden, dass sie bis zu hoher Geschwindigkeit eine grosse Zugkraft auszuüben vermögen. Spezifisch immer höhere Ausnutzung der einzelnen Materialien (Stahl, Kupfer, Isolationen usw.) und die Anwendung neuer Technologien kennzeichnen diese Zeit emsiger Entwicklung, die in Figur 2 zum Ausdruck kommt. Man erkennt darin deutlich, dass im Zeitalter der ersten elektrischen Lokomotive «Seebach 1» die erwähnte, von *Huber-Stockar* aufgestellte Minimalforderung für die in eine elektrische Lokomotive einzubauende Leistung durchaus gerechtfertigt war. Inzwischen haben sich die Verhältnisse jedoch radikal zugunsten der elektrischen Traktion gewandelt.

Ein weiterer Markstein in der triebfahrzeugtechnischen Entwicklung, die *erste laufachslose Drehgestell-Lokomotive hoher Leistung*, wurde von der ETH Zürich anlässlich ihres 100. Geburtstages gewürdigt durch die Verleihung des Ehrendoktors der technischen Wissenschaften an den Promotor dieser Fahrzeugbauart, *Franz Gerber*, den Maschineningenieur der Bern–Lötschberg–Simplon-Bahn und nachmaligen Obermaschineningenieur der Schweizerischen Bundesbahnen. Damit wurde gleichsam eine Renaissance im Triebfahrzeugbau eingeleitet, indem die bis anhin für den Kurvenlauf unvermeidlich scheinenden Laufachsen mit ihrem toten Gewicht entfielen. Das spezifische Leistungsgewicht konnte wiederum gesenkt werden, und vor allem wurde es in der darauffolgenden Zeit möglich, durch systematische Anwendung der Spurführungstheorie zusammen mit modernen Messmethoden zur Messung der Fahrbahnbeanspruchungen die Kurven- und Maximalgeschwindigkeiten solcher laufachsloser Drehgestell-Lokomotiven systematisch zu steigern. Man lernte, auch mit schweren Triebfahrzeugen mit entsprechend hoher Leistung ohne Laufachsen immer schneller zu fahren. Dies geht ebenfalls aus Figur 2 hervor, indem nach der Lokomotive Ae 6/6 (Geschwindigkeitsreihe A) nur noch sog. R-Lokomotiven (Geschwindigkeitsreihe R) gebaut wurden. Diese dürfen trotz hoher Achslast von 20 t die Kurven gegenüber den A-Lokomotiven mit 5 km/h höherer Geschwindigkeit befahren. Dies führte mit der Zeit zu namhaften Reisezeitreduktionen auf dem ganzen schweizerischen Schienennetz. Eine weitere Etappe der Geschwindigkeitserhöhung steht für 1982 noch bevor, indem auf der Ost-West-Transversale St.Gallen–Zürich–Olten–Bern–Lausanne–Genf die Geschwindigkeit nochmals um 5 km/h erhöht wird (Geschwindigkeitsreihe RS). Die Reisezeit zwischen Bern und Zürich wird dann 1 h 13 min betragen gegenüber heute 1 h 23 min. Dies wird durch verschiedene Massnahmen an den ortsfesten Anlagen, unter anderem durch die neue Linie Olten–Rothrist, und mit der erwähnten Geschwindigkeitserhöhung erreicht. Moderne wissenschaftliche Berechnungs- und Messmethoden haben es also ermöglicht, weiter in das Gebiet der Spurführung einzudringen. Sie gestatten, die damalige geniale Erfindung des Spurkranzes und seine Wirkung besser zu verstehen und die gegenseitigen Beziehungen zwischen Rad und Schiene zu quantifizieren und erarbeiteten Grenzwerten gegenüberzustellen. Hier war es wieder die ETH in Zürich, die diesen wissenschaftlichen Bemühungen zu Gevatter stand [4].

Mit den immer höheren Geschwindigkeiten musste auch das Problem der *Zugsbegegnungen* bei den gegebenen Gleisabständen untersucht werden. Zusammen mit dem Institut für Aerodynamik wurden die Bedingungen für eine möglichst günstige Kopfform von Triebfahrzeugen erarbeitet, die die Gefahr der Druckwellen bei Zugsbegegnungen reduziert. In allgemeiner Form wurde dieses Problem daraufhin in einer Dissertation an der ETH behandelt [6].

Bedeutete also die laufachslose Drehgestell-Lokomotive eine Wende auf dem Gebiet des mechanischen Teils, so ist dies heute nicht minder der Fall mit der Einführung der *Halbleiter-Stromrichter* für die Traktion, welche die bisherige Direktmotortechnik verdrängen. Bei aller Ehrfurcht den Schöpfern der 16⅔-Hz-Technik gegenüber, bei aller Dankbarkeit für die Dienste, die diese Technik unserem Lande geleistet hat, muss doch erkannt werden, dass auch auf dem Gebiet der elektrischen Bahnen das Bessere der Feind des Guten ist. Mannigfache Vorteile zeichnen die neue Technik aus, sei es in Anschnitt- oder Umrichtertechnik: verbesserter Komfort bei der Anfahrt, bessere Adhäsionsausnutzung zwischen Rad und

Schiene, kleinere Fahrmotoren, damit kleinere Fahrbahnbeanspruchung bei grösserer Anhängelast und geringerem Unterhalt, kurzum eine Palette von Entwicklungsstufen, welche eine weitere Renaissance im Triebfahrzeugbau erwarten lassen. Die Gründe, warum diese Entwicklung aber nur relativ langsam vorangetrieben werden kann, sind bekannt: Beeinflussungen der ortsfesten Anlagen (Sicherungs- und Fernmeldeanlagen, Kraftwerke), besonders solcher, die bereits vor längerer Zeit, also noch nicht «thyristorfest», gebaut wurden, höherer Blindleistungsbedarf usw.; dies sind Probleme, die Änderungen an den ortsfesten Anlagen bedingen. Seit Jahren laufen entsprechende Untersuchungen in enger Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Industrielle Elektronik und Messtechnik der ETH, dem SEV (Studienkommission für niederfrequente Störeinflüsse, Unterausschuss Verkehr) und den SBB (Abteilung Kraftwerke, Bauabteilung der Generaldirektion und Abteilung Zugförderung und Werkstätten). Erst vor kurzer Zeit konnte eine Kosten-Nutzenanalyse betreffend die allgemeine Einführung der Stromrichtertraktion bei den SBB mit einem positiven Ergebnis abgeschlossen werden.

Dies sind einige Marksteine der Entwicklung der elektrischen Traktion, die eine fruchtbare Zusammenarbeit zwischen der Hochschule, dem SEV und den Schweizer Bahnen aufzeigen. Periodisch veranstaltet der SEV ferner zusammen mit der ETH Zürich Symposien, welche Neuerungen auf dem Gebiet der elektrischen Traktion einer breiteren Fachwelt vermitteln sollen. Als Beispiele hiezu seien erwähnt: Diskussionstagung des SEV über «Leistungs-Thyristoren auf elektrischen Triebfahrzeugen» vom 3./4. November 1970 in Zürich sowie die kürzliche Informations- und Diskussionstagung «Thyristortraktion» vom 2. Oktober 1980 in Luzern.

3. Lehre und Forschung

Neben der Forschung ist aber auch nicht zu vergessen, dass die Ausbildung tüchtiger Elektro- und Maschineningenieure eine der vornehmsten Aufgaben der ETH bedeutet. Die Vorbereitung der Absolventen auf eine Tätigkeit im Bereich der elektrischen Traktion in der Industrie oder einer Bahnunternehmung ist heute, in einer Zeit verstärkter Bemühungen auf dem Gebiet des öffentlichen Verkehrs ebenso nötig, wie dies an der ETH seit Beginn der Elektrifikation mit verschiedenen Lehrveranstaltungen gepflegt wurde:

Bereits 1908 hielt *Wyssling* als erster Dozent an der ETH in Zürich eine Freifachvorlesung über «Elektrische Bahnen», die 1911 obligatorisch erklärt wurde. Über verschiedene Teilgebiete der elektrischen Traktion lasen die Professoren *W. Kummer, H. Studer* und *K. Wiesinger*. Im Jahre 1926 trat Professor *Wyssling* zurück; entsprechend dem Bedürfnis nach einer tieferen und breiteren Behandlung des Stoffes «Elektrische Traktion» erhielt 1928 *M. Weiss,* Obermaschinen-

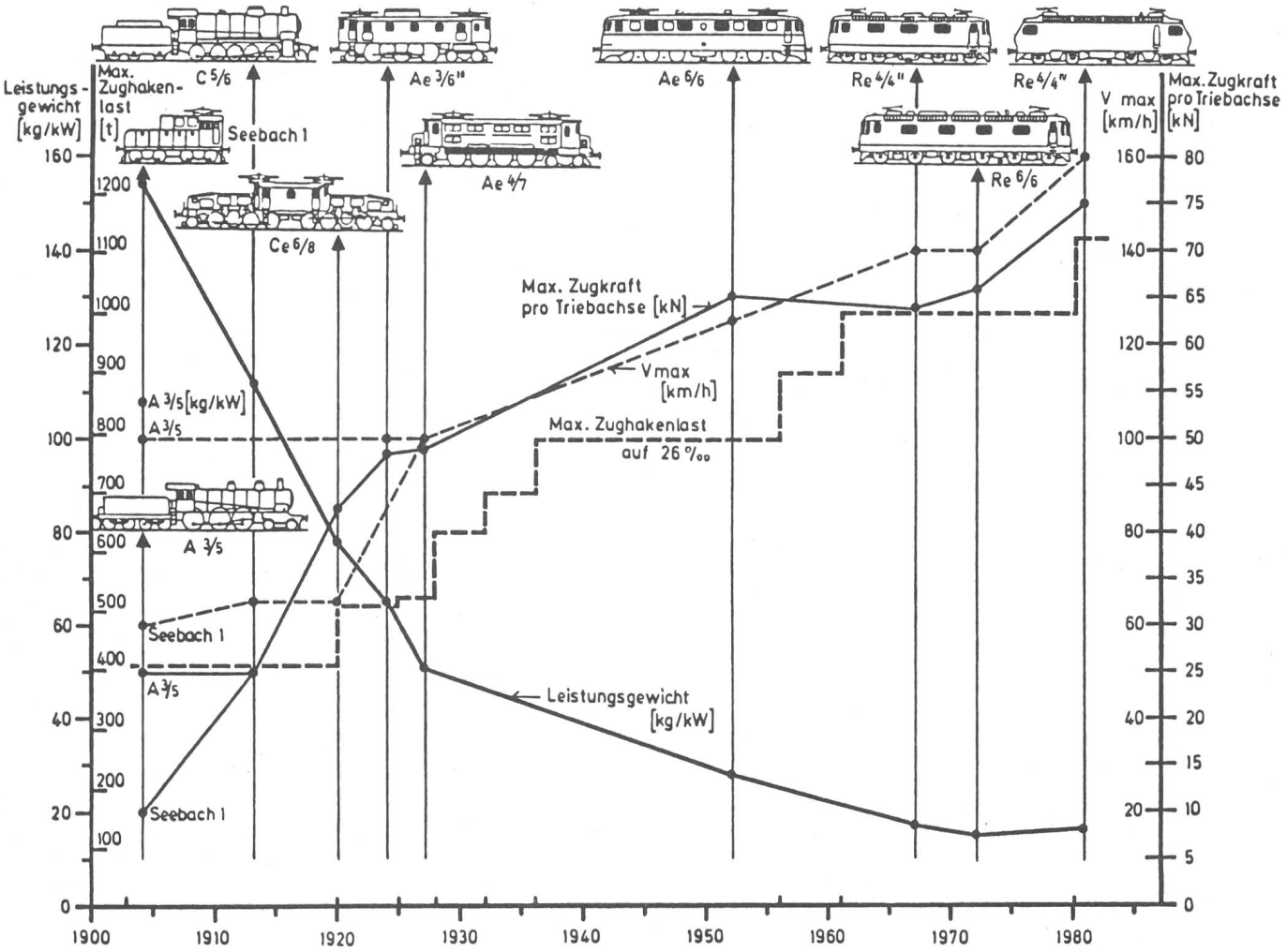

Fig. 2 Spezifisches Leistungsgewicht, maximale Geschwindigkeit, maximale Zugkraft und maximale Zughakenlast am Gotthard (26 ‰) vom Beginn der Elektrifikation bis heute

ingenieur der SBB, einen Lehrauftrag für elektrische Zugförderung. Nach dessen Tod wurde dieser Lehrauftrag *K. Sachs* erteilt. Die Stundenzahl der Vorlesung über elektrische Zugförderung wurde erhöht und mit fakultativen Übungen im 8. Semester ergänzt. Auf Ansuchen hin konnten ebenfalls Diplomarbeiten ausgeführt werden. Ab 1944 umfasste die Vorlesung je drei Stunden im 7. und 8. Semester. 1952 wurde sie neu gegliedert, indem alle mechanischen Probleme in der Vorlesung «Grundlagen des Eisenbahnmaschinenbaus» für beide Abteilungen IIIA (Maschineningenieurwesen) und IIIB (Elektrotechnik) gemeinsam im 6. Semester vorausbehandelt wurden. Damit konnten die Vorlesungen in «Elektrischer Zugförderung» im 7. und 8. Semester wieder zweistündig gehalten werden. *K. Sachs,* ab 1941 ausserordentlicher Professor der ETH, verstand es, seine Studenten für die Eisenbahntechnik als Synthese der verschiedenen Technologien, die in einem Triebfahrzeug zusammenwirken müssen, zu faszinieren. Er hatte ein ausgezeichnetes Echo bei seinen Studenten wie auch bei seiner Leserschaft in der Fachwelt der Zugförderung mit seinen Lehrbüchern «Elektrische Vollbahnlokomotiven» [11], «Die ortsfesten Anlagen der elektrischen Bahnen» [12] und «Elektrische Triebfahrzeuge» [13], die in den Jahren 1928, 1938, 1953 bzw. 1973 erschienen. Von 1957 bis 1975 wurde das Gebiet der elektrischen Traktion praktisch unverändert von Professor Dr. *E. Meyer,* Obermaschineningenieur der Generaldirektion der SBB, betreut. In diese Zeit fällt bereits der Beginn von Anwendungen der Stromrichtertechnik mit tastenden Versuchen innerhalb des Triebfahrzeugbaus.

Als Folge der stürmischen Entwicklung der einzelnen Technologien und der Verlagerung verschiedener Akzente anlässlich einer allgemeinen Studienplanrevision an der Abteilung IIIB wird seit 1975 die Zugförderung innerhalb des Fachbereichs Energietechnik angeboten, und zwar als je vierstündige Vorlesung mit Übungen im 7. und 8. Semester. Je zweistündige Vorlesungen im 7. und 8. Semester werden gemeinsam an der Abteilung IIIA und IIIB gelesen. Der entsprechende Lehrauftrag wurde dem Schreibenden anvertraut. Die Technik der Zugförderung beinhaltet derart viele Teilgebiete, dass die Lehrveranstaltung «Zugförderung» für die Studierenden in den beiden obersten Semestern einerseits ein ideales Anwenden und Vertiefen der Grundlagenfächer anbietet, andererseits das Studium der eisenbahnspezifischen Disziplinen vermittelt. Die praxisbezogene Anwendung und Vertiefung der Grundlagenfächer wird mit eisenbahnspezifischen Berechnungs- und Messmethoden ergänzt, die beim elektrischen und mechanischen Teil von Eisenbahnfahrzeugen angewendet werden, dies in eisenbahntechnischen Forschungs- und Entwicklungsgebieten, wie z.B. in der elektrischen und mechanischen Beeinflussung der Adhäsionsausnutzung zwischen Rad und Schiene, in der Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit, in der Spurführungstechnik, Laufstabilität, Anwendung der Stromrichter und Verminderung ihrer Beeinflussung der ortsfesten Anlagen sowie im eisenbahngerechten Aufbau von Maschinen und Apparaten mit ihrer Schaltungstechnik. Auch die Ergonomie des Arbeitsplatzes auf dem Triebfahrzeug findet Beachtung, und am Rande werden ortsfeste Anlagen, wie Kraftwerke, Unterwerke, Signal- und Fernmeldeanlagen, der Oberbau, die Fahrleitung, die Automation des Eisenbahnbetriebes behandelt. Die Verarbeitung dieses Stoffes kann mit Übungen, Studien- und Diplomarbeiten vertieft werden. Damit werden die stofflichen Unterlagen für die Weiterentwicklung der elektrischen Traktion innerhalb der Lehrveranstaltung «Zugförderung» angeboten, die den angehenden Maschinen- und Elektroingenieuren die notwendige Vorbereitung auf eine spätere Tätigkeit bei Industrie und Bahnunternehmung geben.

Nicht wenige der jungen Elektro- und Maschineningenieure, denen die Eisenbahn nach wie vor eine Faszination bedeutet, finden den Weg zu schweizerischen Firmen, welche den mechanischen und elektrischen Teil von Triebfahrzeugen und Wagen herstellen. Anderseits sind die SBB und die grösseren Privatbahnen ebenfalls auf gut ausgebildete Hochschulingenieure angewiesen, die zusammen mit den Partnern der Industrie Schienenfahrzeuge entwickeln, welche für unsere nicht einfachen schweizerischen Verhältnisse einen technisch optimalen und wirtschaftlichen Betrieb ermöglichen.

Dass das Gebiet der Eisenbahntechnik in verschiedenen Instituten der ETH durch Forschungsarbeiten, z.B. der Abteilungen IIIA und IIIB, unterstützt wird, zeigt die Liste diesbezüglicher Promotionsarbeiten der letzten Zeit [1...10].

4. Ausblick

Die Schweizer Bahnen, die Schweizer Industrie für Eisenbahntechnik, der Schweizerische Elektrotechnische Verein gedenken anlässlich des 125jährigen Geburtstages der ETH Zürich dankbar der allgemeinen grossen Verdienste ihrer Alma Mater und speziell der Weiterentwicklung der elektrischen Traktion, ihrer Lehre und Forschung und ihrer interessierten und tatkräftigen Zusammenarbeit mit allen entsprechenden Stellen, die für den öffentlichen Verkehr bemüht sind. Sie zählen weiterhin auf eine fruchtbare Zusammenarbeit auf den Gebieten Zugförderung, Transport- und Fahrzeugtechnik und der allgemeinen Verkehrsplanung.

Literatur

[1] *G. Borgeaud:* Le passage en courbes de véhicules de chemin de fer, dont les essieux fournissent une effort de traction continu. Dissertation der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich Nr. 903, 1937.

[2] *H.P. Eggenberger:* Stromspannungstheorie eines gesteuerten m-Phasen-Stromrichters bei Belastung auf konstante Gegenspannung und mit endlicher Glättungsdrosselspule. Dissertation der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich Nr. 2405, 1957.

[3] *H. Loosli:* Stationäre und instationäre Strömungen in den Leitungen von Eisenbahn-Druckluftbremsen. Dissertation der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich Nr. 3174, 1961

[4] *H.H. Weber:* Zur Ermittlung der Kräfte zwischen Rad und Schiene. Dissertation der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich Nr. 4117, 1968.

[5] *P. Winter:* Einfluss der Glättungs- und Kommutierungsreaktanzen auf das Netzverhalten von mehrfach-folgegesteuerten Stromrichtern in einphasiger halbsteuerbarer Schaltung. Dissertation der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich Nr. 4945, 1973.

[6] *M.A. Gaillard:* Zur Aerodynamik der Zugsbegegnung im Tunnel und auf offener Strecke. Dissertation der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich Nr. 4874, 1973.

[7] *H. Schlunegger:* Untersuchung eines netzrückwirkungsarmen zwangskommutierten Triebfahrzeug-Stromrichters zur Einspeisung eines Gleichspannungszwischenkreises aus dem Einphasennetz. Dissertation der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich Nr. 5867, 1977.

[8] *R. Gutzwiller:* Untersuchung von ausgangsseitig einphasigen Steuerumrichtern sowie Verfahren zur Reduktion der eingangsseitigen Wirk- und Blindleistungs-Pulsationen. Dissertation der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich Nr. 6389, 1979.

[9] *H.K. Burtscher:* Beitrag zur Untersuchung der Ausbreitung und statistischen Überlagerung von Stromrichter-Oberschwingungen im 16⅔-Hz-Bahnnetz. Dissertation der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich Nr. 6369, 1979.

[10] *G. Lekkas:* Entstehung, Ausbreitung und optimale Bekämpfung von Stromrichter-Oberschwingungen im 16⅔-Hz-Bahnnetz. Dissertation der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich Nr. 6614, 1980.

[11] *K. Sachs:* Elektrische Vollbahnlokomotiven. Ein Handbuch für die Praxis sowie für Studierende. Berlin, Verlag Julius Springer, 1928.

[12] *K. Sachs:* Die ortsfesten Anlagen der elektrischen Bahnen. Ein Handbuch für die Praxis sowie für Studierende. Zürich, Orell Füssli Verlag, 1938.

[13] *K. Sachs:* Elektrische Triebfahrzeuge. Ein Handbuch für die Praxis sowie für Studierende in drei Bänden. Herausgegeben vom SEV. 2. Auflage. Wien/New York, Springer Verlag, 1973.

Adresse des Autors

Dr. *Hans Heinrich Weber,* Stv. Direktor, Abt. ZFW, Genaraldirektion SBB, Hochschulstrasse 6, 3000 Bern.