

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Band: 65/66 (1915)
Heft: 17

Artikel: Die Entwicklung der amerikanischen Hochspannungs-Gleichstrombahnen und die Systemfrage der elektrischen Zugförderung
Autor: Kummer, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-32226>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 19.11.2024

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

der Mitte auf. Mittels stark dimensionierter Betonklötze ist die Leitung nach ihrem Austritt aus der Schieberkammer, beim Knickpunkt und vor der Vereinigung mit der Verteilung fixiert und die dadurch entstandenen zwei geraden Strecken durch Expansionsstücke beweglich gemacht. Die Wandstärke der Röhren steigt von 6 auf 14 mm; ihre Lagerung und die Fixierung beim Gefällsbruchpunkt ist aus den Abbildungen 11 und 13 ersichtlich. Die Leitung wurde an Ort und Stelle aus einzeln angelieferten Stößen zusammengenietet und hat nur dort Flanschenverbindungen, wo Expansionen eingebaut sind.

Die Röhren sind in Abständen von 6,5 m mittels eiserner, einbetonierter Gleitsättel auf Betonsockel gelagert. Bedeutende Erdarbeiten waren infolge des ziemlich gleichmässigen Gefälles des eine Schutthalde mit natürlicher Böschung bildenden Hanges nicht erforderlich. Ebenso wenig mussten besondere Schutz- und Sicherungsbauten gegen Rutschungen vorgenommen werden. Dagegen waren zur Konsolidierung der oberhalb des Wasserschlosses befindlichen Felswände erhebliche Sicherungsarbeiten in Form von Unterbetonierungen und Aufbetonierung von Felspalten, sowie zur Ableitung des Wassers wie auch Schutzmassregeln gegen das Herabstürzen von Eisblöcken notwendig. (Schluss folgt.)

Die Entwicklung der amerikanischen Hochspannungs-Gleichstrombahnen und die Systemfrage der elektrischen Zugförderung.

Von Prof. Dr. W. Kummer, Ingenieur, Zürich.

Für die Entwicklung der elektrischen Zugförderung mittels Gleichstrom in Amerika wird das Jahr 1914 von bleibender Bedeutung sein, einerseits durch die geglückte Anwendung der Stromversorgung mittels sog. dritter Schiene für eine Spannung von 2400 V auf der „New Michigan & Chicago Ry“¹⁾ und andererseits durch den Beginn der Elektrifizierungs-Arbeiten auf der „Chicago Milwaukee & St. Paul Ry“²⁾, bei einer Oberleitungsspannung von 3000 V und für Lokomotiv-Stundenleistungen von 3500 PS.

Man dürfte versucht sein, sich zu fragen, ob diese unzweifelhaft hervorragehenden Fortschritte allenfalls geeignet seien, die zur Zeit in Europa von der Mehrzahl der Fachleute vertretenen Ansichten in Bezug auf die sog. Systemfrage der elektrischen Zugförderung ernsthaft zu erschüttern; für die Schweiz hätte das die Folge, dass die auf Ende 1912 abgeschlossenen Arbeiten der „Schweiz. Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb“, die zum Teil die Druckerpresse heute noch nicht einmal verlassen haben, an Wert bedeutend einbüßen müssten. Es scheint uns daher die objektive Beantwortung einer so naheliegenden wichtigen Frage durchaus geboten.

Die erzielten Fortschritte in der Ausbildung von Hochspannungs-Gleichstrombahnen können auf das Deutlichste gekennzeichnet werden durch die Angabe der durch Erfahrung heute sichergestellten obern Spannungsgrenzen. Als solche sind nunmehr anzusehen:

a) 1750 V für die Kollektoren bzw. 3500 V für seriegeschaltete Motoren, zufolge Gelingens des einjährigen Probebetriebes 1913 bis 1914 auf der Strecke Bury-Holcombe der englischen „Lancashire & Yorkshire Ry“,

b) 3500 V für die einpolige Oberleitung, ebenfalls zufolge des Probebetriebes auf der Strecke Bury-Holcombe,

c) 2400 V für die dritte Schiene zufolge der Betriebserfahrungen von 1914 auf der „New Michigan & Chicago Ry“.

Demgegenüber hatte die Schweiz. Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb als zulässige obere Spannungsgrenzen erklärt³⁾:

a) 1500 V für die Kollektoren der Motoren, bzw. 3000 V für die Motoren,

¹⁾ Band LXIV, Seite 273 (19. Dez. 1914).

²⁾ Bd. LXIV, S. 273 (19. Dez. 1914) u. Bd. LXV, S. 66 (6. Febr. 1915).

³⁾ Nach der im Buchhandel erhältlichen «Mitteilung Nr. 4» der Studienkommission, aus der ein Auszug in Bd. LX, S. 235 bis 240 (2. Nov. 1912) der «Schweiz. Bauzeitung» zu finden ist.

b) 3000 V für die einpolige und 2×3000 V für zwei-polige Oberleitung (Dreileiteranlagen),

c) 800 V für die dritte Schiene.

Die Vergleichung der unter a, b, c aufgeführten Spannungsgrenzen mit denjenigen unter a', b', c' zeigt, dass die Angaben der Studienkommission eigentlich nur in Bezug auf die Anwendbarkeit der sog. dritten Schiene wesentlich überholt wurden. Gerade die dritte Schiene bildet aber auch heute noch ein beschränkendes Element für die Spannungssteigerung. Dagegen könnte die Spannung der Oberleitung mit Rücksicht auf diese allein sehr wohl viel höher sein. Es gilt diesbezüglich auch heute noch, was 1909 im ausführlichen und massgebenden Berichte der Studienkommission unter „Technische Gesichtspunkte für die Bemessung der Spannung und des Spannungsabfalls in den Kontaktleitungen der verschiedenen Bahnsysteme“ hinsichtlich der Spannungsgrenze in Gleichstrom-Oberleitungen — damals also 3000 bzw. 2×3000 V — gesagt wurde, dass nämlich „diese Spannung die obere Grenze ist, infolge der Unmöglichkeit, die Motoren und Apparate für höhere Spannungen dauernd betriebssicher zu isolieren.“¹⁾

Die von der „General Electric Co.“ in Arbeit genommene Elektrifizierung der „Chicago, Milwaukee & St. Paul Ry“ für 3000 V und für Lokomotiv-Stundenleistungen von 3500 PS ist somit eigentlich nur als die Ausführung dessen anzusehen, was unsere Studienkommission schon 1909 als technisch ausführbar bezeichnete und demgemäss dann auch beim Kostenvergleich der elektrischen Betriebssysteme für den Gleichstrom als grundlegende Annahme benutzt hat. Dieser Kostenvergleich ist indessen nicht ganz vollständig durchgeführt worden; vielmehr wurde das Gleichstromsystem, nachdem es bereits bei einer ersten Beurteilung der Anlage- und der Jahreskosten der Energiegestehung am Fahrdrabt-Speisepunkt besonders ungünstig abgeschnitten hatte, nicht weiter berücksichtigt, sondern der Vergleich nur noch auf die Systeme Einphasenstrom mit 15 Per und 15000 V Fahrspannung und Drehstrom mit 50 Per und 5000 V Fahrspannung erstreckt.²⁾ Hieraus könnte allenfalls für die Studienkommission insofern ein Vorwurf erwachsen, als es sich herausstellen sollte, dass heute die Kosten für Anlage und Unterhalt der Fahrdrabtanlage und der Triebfahrzeuge bei den andern Stromarten (Drehstrom und besonders Einphasenstrom) gegenüber den entsprechenden Kosten bei Gleichstrom so unverhältnismässig hohe seien, dass die Inferiorität des Gleichstroms in den Kosten der Energiegestehung am Fahrdrabt-Speisepunkt reichlich wettgemacht würde. Von den Technikern der amerikanischen „General Electric Co.“ wird nun auch tatsächlich behauptet, dass dem so sei, während andere amerikanische Fachleute an der auch von unserer Studienkommission vertretenen Ansicht festhalten, dass die Inferiorität des Gleichstroms hinsichtlich der Energiegestehungskosten fortfahre, absolut ausschlaggebend für die Ablehnung des Gleichstroms für Hauptbahnbetriebe zu sein; diese Stellungnahme gegen das von der „General Electric Co.“ als Universal-Betriebssystem für alle Bahngattungen angepriesene Gleichstromsystem kommt beispielsweise sehr scharf zum Ausdruck in der von der Pennsylvaniabahn gegebenen Begründung für die Wahl von Einphasenstrom von 11000 V und 25 Per auf den Vorortsstrecken von Philadelphia.³⁾

Es dürfte damit aus der gegenwärtigen Situation die Entscheidung der Studienkommission in der Systemfrage noch keineswegs erschüttert werden können. Hingegen ist in Betracht zu ziehen, dass den jüngsten technischen Fortschritten des Hochspannungs-Gleichstromsystems noch weitere folgen dürften und dass vielleicht in nächster Zeit doch eine allgemeine Rückkehr zum Gleichstrom, wie sie der „General Electric Co.“ vorschwebt, stattfinden könnte. Auch hierüber wollen wir eine Aussprache wagen. Offenbar

¹⁾ In den Wortlaut der «Mitteilung Nr. 4», die ja eine gekürzte Publikation der Studienkommission darstellt, wurde dieser Satz nicht aufgenommen.

²⁾ Vergl. Band LX, Seite 237 (2. Nov. 1912), Spalte 2.

³⁾ Vergl. die Notiz «Umformer-Lokomotiven mit Quecksilberdampf-Gleichrichter» auf Seite 41 dieses Bandes (23. Januar 1915).

werden mit jeder neuen Spannungserhöhung, die den Motoren und Apparaten der Fahrzeugausrüstungen zugemutet werden kann und die sich als Erhöhung der Fahrspannung geltend macht, einerseits die Energiegestehungskosten am Fahrdraht-Speisepunkt herabgesetzt, und andererseits die Anlage- und Unterhaltungskosten der Fahrzeugausrüstung verteuert, während sich die Kosten für die Kontakteleitungen gar nicht, oder nur sehr unbedeutend ändern. Dass die Verteuierung der Fahrzeugausrüstung bei höherer Spannung eine erhebliche ist, kann durch eigene Angaben der „General Electric Co.“ belegt werden. Als normalen Vorgelegemotor für 100 PS bei 600 V verwendet die genannte Firma den Typ G. E. 205 vom Einzelgewicht von 1800 kg, bzw. bei einem Gewicht von 9400 kg für eine normale Viermotorenausrüstung samt Apparaten; soll nun derselbe Motor für 1200 V Verwendung finden, dann wird er auf 75 PS statt auf 100 PS normiert. Als weiteres Beispiel soll der Motor G. E. 207 derselben Firma aufgeführt werden, der bei 2150 kg Einzelgewicht, bzw. bei 14300 kg Gewicht der Viermotorenausrüstung, für 600 V auf 160 PS, für 1200 V dagegen auf nur 125 PS normiert ist. Ähnlich verhält es sich mit den Motoren jeder andern Firma. Nun ist allerdings die Materialverteuierung zufolge höherer Spannung in hohem Masse abhängig von der Voltampère-Aufnahme der Maschine oder des Apparats und zwar in der Weise, dass die prozentuale Verteuierung für grössere Objekte geringer ist, als für kleinere Objekte. Demgemäss sollte man erwarten, dass die neuen amerikanischen Hochspannungs-Gleichstrombahnen Fahrzeugausrüstungen mit wenigen und dafür umso leistungsfähigeren Motoren aufweisen. Das ist nun gerade nicht der Fall; vielmehr finden wir auf diesen Bahnen stets verhältnismässig viele und zugleich kleinere Motoren; so erhalten z. B. die Lokomotiven von 3500 PS der „Chicago, Milwaukee & St. Paul Ry“ je acht Motoren. Der Leistungssteigerung der Hochspannungs-Gleichstrommotoren setzt nämlich der Kollektor rasch eine obere unüberschreitbare Grenze, einerseits und hauptsächlich hinsichtlich der zulässigen Spannung, andererseits aber in einem gewissen Masse auch hinsichtlich der zulässigen Stromstärke; für den Bau des Motors äussert sich die erste Grenze durch den Einfluss der Erfahrungszahl „Volt pro Kollektorlamelle“, die zweite Grenze durch den Einfluss der Erfahrungszahl der sog. „Funkenspannung“ oder eines ähnlich formulierten „Kommutations-Kriteriums“. Die für die Lokomotiven der „Chicago, Milwaukee & St. Paul Ry“ zu erbauenden Motoren für 1500 V und 240 A werden hinsichtlich der Spannung und der Kommutierung keine grösseren neuen Aufgaben stellen, als die im letzten Jahre in Betrieb genommenen, wohl gelungenen Oerlikon-Motoren der Berner Oberlandbahnen für dieselbe Spannung und Stromstärke; nur muss je die Hälfte der Motoren der amerikanischen Lokomotiven gegen Erde 3000 V aushalten, während die Motoren der Berner Oberlandbahnen höchstens mit 1500 V beansprucht werden.¹⁾ Die Anordnung vieler Gleichstrommotoren auf einer und derselben Lokomotive äussert sich auf die Oekonomie der Regelung mittels Serieparallelschaltung im Allgemeinen in günstigem Sinne und gleicht damit den Nachteil eines höhern Preises gegenüber einer kleinern Motorzahl, wo eine solche überhaupt möglich ist, einigermassen aus. Stets ist für jeden Fahrzeugsentwurf übrigens auch mit den besondern Verhältnissen der gestellten Aufgabe zu rechnen, sodass selten allgemein gültige Betrachtungen hinsichtlich der richtigsten Motorzahl angestellt werden können. Will man für das Hochspannungs-Gleichstromsystem Lokomotiven mit geringster Motorenzahl und doch hoher Wirtschaftlichkeit der Regelung bauen, dann erscheint das von *Amsler*²⁾ vorgeschlagene System der Spannungs-Umformung auf der Lokomotive, das gleichzeitig eine weitere Erhöhung der Fahrspannung ermöglicht, auf den ersten Blick bestechend.

¹⁾ Nähere Angaben über diese Motoren werden die Leser der «Schweiz. Bauzeitung» in dem in Bälde erscheinenden Berichte über die elektrischen Transportmittel der Schweiz. Landesausstellung von 1914 finden.

²⁾ Band LXIV, Seite 100 (22. August 1914).

Ist man aber einmal beim Gedanken der Spannungs-Umformung angelangt, so muss man doch gewiss an erste Stelle die Stromart des Einphasenstroms setzen, da diese dank höchstmöglicher Fahrspannung die höchste Verbilligung der Energie am Fahrdraht-Speisepunkt bewirkt und im bewegungslosen Transformator die idealste „Spannungs-Umformung“ zulässt; mit dem auf solche Weise erhältlichen niedriggespannten Lokomotiv-Einphasenstrom werden heute schon Bahnmotoren gespeist, wie sie für gleiche Leistung (1000 bis 1500 PS pro Motor) auch bei Gleichstrom nur für Niederspannung (500 bis 600 V) gebaut werden können.

Für eine massgebende Gesamtbeurteilung der Systemfrage in wirtschaftlicher Hinsicht scheint uns übrigens auch als ausserordentlich wichtig der in bisherigen Erörterungen stets ausser acht gelassene prozentuale Anteil, den die Energiekosten von den jährlichen Gesamtkosten des Fahrdienstes ausmachen. Und da zeigt uns ein Blick auf die seitens unserer Studienkommission durchgerechneten Projekte über die Elektrifizierung der S. B. B.-Kreise II und V, dass hier trotz gleicher Systemwahl¹⁾ in beiden Projekten sehr starke Differenzen vorhanden sind, wie nachstehende Uebersicht zeigt:

Jahreskosten des Fahrdienstes	Beim Kreis V (Gotthard) der S. B. B.	Beim Kreis II der S. B. B.
Direkte Jahreskosten . . .	Mill. Fr. 7,18 = 100 %	Mill. Fr. 15,08 = 100 %
Davon Kosten der elektrischen Energie . . .	Mill. Fr. 2,42 = 34 %	Mill. Fr. 4,15 = 27 %
Direkte und indirekte Jahreskosten . . .	Mill. Fr. 10,07 = 100 %	Mill. Fr. 21,57 = 100 %
Davon Kosten der elektrischen Energie . . .	Mill. Fr. 2,42 = 24 %	Mill. Fr. 4,15 = 19 %

Da somit die Kosten der elektrischen Energie je nach dem vorliegenden Bahnkreis bald einen grössern, bald einen kleinern Anteil der gesamten jährlichen Betriebskosten ausmachen, so müssen notwendigerweise auch die Massnahmen der Energieanfuhr an die Fahrdraht-Speisepunkte bald grössere, bald kleinere finanzielle Tragweite besitzen; damit wird aber auch die Systemfrage selbst gelegentlich ein sehr verschiedenes finanzielles Gesicht aufweisen müssen. Wenn daher die Amerikaner in der Systemfrage gelegentlich andere Ansichten vertreten als wir Europäer, so handelt es sich dabei möglicherweise gar nicht um Widersprüche in der technischen-wirtschaftlichen Auffassung überhaupt; vielmehr sind die etwa vorliegenden Differenzen oft umso schwerer erkennbar, als gerade in Eisenbahnangelegenheiten grösste, von Land zu Land bestehende Unterschiede im Rechnungswesen zu berücksichtigen sind.

Wir sind daher vollauf berechtigt, uns durch die heutige Entwicklung der amerikanischen Hochspannungs-Gleichstrombahnen in keiner Weise in unserer eigenen Stellungnahme zur Systemfrage beeinflussen zu lassen. Selbstverständlich haben wir jedoch die Pflicht, unsere Stellungnahme fortwährend mit der Entwicklung neu zu überprüfen. Die heutige technische Beurteilung zu erwartender Fortschritte beim Hochspannungs-Gleichstromsystem lässt indessen eine berechtigte Rückkehr zu diesem System für Hauptbahnen in absehbarer Zeit für uns so gut wie ausgeschlossen erscheinen. Andererseits empfiehlt sich aber das Hochspannungs-Gleichstromsystem auch uns mehr und mehr für Ueberlandbahnen niedrigerer Ordnung, die auf Strombezug aus Drehstromwerken mit Stromumformung in Unterwerken geradezu angewiesen sind.

¹⁾ Band LX, Seite 238 und 239. Es handelt sich bei beiden Bahnkreisen um Einphasenstrom von 15000 V Fahrspannung bei 15 Per. Wegen günstigerer Lage der Kraftwerke genügt beim Kreis V eine Uebertragungsspannung von 45000 V, wogegen beim Kreis II für annähernd gleiche Leitungskosten pro km 90000 V erforderlich sind; man sollte nun meinen, dass wegen der grossen Leitungslänge der Uebertragung beim Kreis II die Energiekosten in den Gesamtjahreskosten vielleicht prozentual mehr ins Gewicht fallen müssten, als beim Kreis V. Die obenstehende Uebersicht ergibt aber das gerade Gegenteil und zwar in sehr deutlich ausgesprochenem Masse.