Elektrische Traktion auf normalen Eisenbahnen: Ausführung eines Vortrages

Autor(en): **Huber, E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **39/40 (1902)**

Heft 11

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-23334

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

gestrichen oder abgeändert werden müsste, welcher lautet: „Eine ausgeschriebene Konkurrenz darf *nie* rückgängig gemacht werden; die ausgesetzte Summe muss unbedingt an die relativ besten Entwürfe verteilt werden." *W.*

Elektrische Traktion auf normalen Eisenbahnen.

Ausführung eines Vortrages, gehalten am 27. Februar 1902 im Zürcher Ingenieur- und Architektenverein

von Ingenieur *E. Huber*, Direktor der Maschinenfabrik Oerlikon.

II.

Es ist nicht der Zweck dieses Aufsatzes, an andern Systemen Kritik zu üben, denn es gibt immer Fälle, welche die Wahl besonderer Systeme rechtfertigen oder vorschreiben. Wir wollen vielmehr hier dem von der Maschinen-Fabrik Oerlikon an die Hand genommenen praktischen Versuch in grossem Masstab durch einige Darlegungen vorgreifen und zeigen, dass das in der Einleitung zunächst flüchtig skizzierte System eine vorteilhafte konstruktive Ausführung in allen Teilen gestattet, dass es ohne wesentliche Eingriffe in die bestehende Betriebsorganisation der Normalbahnen die wichtigsten mit dem elektrischen Betrieb verknüpften Vorteile verwirklichen lässt und dass es schliesslich eine ganze Reihe von Vorzügen vor den bisher bekannt gewordenen Systemen aufweist.

Die Verwendung des mobilen Umformers gewinnt unseres Erachtens seine Bedeutung durchaus erst in Verbindung mit einer hohen Kontaktleitungsspannung. Diese Erkenntnis tritt uns in dem im ersten Teil unserer Arbeit bereits erwähnten Aufsatz Ward Leonards, sowie in seinem Patent aus dem Jahre 1891 nicht entgegen, abgesehen davon, dass zu jener Zeit nur an Strassenbahnfahrzeuge gedacht wurde. Das Hauptmotiv bei Leonard war die Regulierung des Drehmomentes durch Regulierung der Klemmenspannung.

Die Unterbringung einer Umformeranlage auf dem Fahrzeug scheint von der Anwendung der Idee abgeschreckt zu haben, weil die damit verbundenen Schwierigkeiten überschätzt, die damit erreichbaren Vorteile aber unterschätzt wurden und weil die Verwendung einphasigen Wechselstroms überhaupt für Zwecke der Traktion durch Gewöhnung an den Gleichstrom und Drehstrom etwas aus dem Gesichtskreis gerückt war.

In Verbindung mit Gleichstrom oder Drehstrom in der Kontaktleitung ist der mobile Umformer an sich ebenso leicht anwendbar und die für die Drehmomentsregulierung wertvollen Verhältnisse können ebenso ausgenützt werden. Diese Letzteren sind es aber unserer Ansicht nach nicht, die den Ausschlag geben, sondern das geschieht erst durch die Möglichkeit, den Umformer mit Einphasenstrom zu betreiben, also eine einpolige Leitung und damit eine sehr hohe Spannung in der Kontaktleitung zu verwenden.

Wir haben schon mitgeteilt, dass die bei der Maschinen-Fabrik Oerlikon in Ausführung begriffene Lokomotive für eine Kontaktleitungsspannung von 15,000 Volt eingerichtet sein wird. Setzen wir einen Zug von 250 *t* voraus, ferner eine Geschwindigkeit von 40 *km* und eine Steigung von 10 %o, so haben wir es mit einer erforderlichen Leistung von 575 *P.S.*, an den Schienen gemessen, zu thun. Nehmen wir für die Umformerlokomotive einen Gesamtnutzeffekt von 75 % an, so müssen wir

$$\frac{575 \cdot 736}{0{,}75} = 565 \text{ Kilowatt}$$

oder wenn wir 10 % Verschiebung der Phasen und eine Spannung von 14,000 Volt an der Abnahmestelle voraussetzen,

$$\frac{565000}{0{,}9 \cdot 14000} = 45 \text{ Ampères}$$

der Kontaktleitung entnehmen.

Die gewählte Leistung ist nicht eine maximale, wie sie eventuell bei der Gotthardbahn in Betracht käme, sie liegt aber über dem Mittel. Jedenfalls sehen wir, dass die Stromstärken auch bei schwereren Zügen durchaus nicht über den Bereich des bei Strassenbahnen und Kleinbahnen gewohnten hinausgehen und dass eine gute Stromabnahme auch mit leichteren Konstruktionen und bei grösseren Geschwindigkeiten zu erwarten sein wird.

Dieser Umstand erleichtert ungemein die Konstruktion einer für normale Bahnen passenden Kontaktleitung. Bevor wir aber auf die Konstruktionen eintreten, wollen wir uns überzeugen, dass eine Spannung von 15000 Volt die Versorgung langer und mit zahlreichen Zügen belasteter Strecken erlaubt. Wir wählen dazu einen Fall, wo auf der gleichen Seite eines Speisepunktes in einer Entfernung von 40 *km* zwei Züge von der oben angegebenen Grösse und Leistung in Bewegung sind. Diese beiden Züge entnehmen der Kontaktleitung 90 Ampères. Nehmen wir zwei Drähte zu 8 *mm* Durchmesser, so verlieren wir in der Zuleitung an Energie auf diese 40 Kilometer

$$\frac{400 \cdot 0{,}03328 \cdot 90 \cdot 90}{2} = 600 \text{ Volt} \times 90 \text{ Amp.} = 54000 \text{ Watt}$$

oder etwa 4,5 % der am Speisepunkt an die Leitung abgegebenen Energie und an Spannung etwa 4,1 % der am Speisepunkt vorhandenen Spannung.

Zwei Drähte von 8 *mm* Durchmesser haben ein Gewicht von rund 900 *kg* pro *km*. Gewiss rückt die Einpoligkeit der Kontaktleitung die Anwendung einer isolierten Rückleitung wieder näher; wir denken uns aber die Rückleitung durch die Schienen gebildet. Hier tritt nun die einzige ernstliche Schattenseite des Wechselstromes auf, nämlich die Induktionswirkung in den Schienen, welche sich in einer starken Vergrösserung des scheinbaren Widerstandes und des wirklichen Spannungsverlustes zeigt. Diese Wirkung wächst mit der Periodenzahl des Wechselstromes. Bei 42 Perioden (Burgdorf-Thun-Bahn) wird der scheinbare Widerstand gleich dem achtfachen der ohmischen angegeben.[1]) Dies bewirkt auf grosse Entfernungen selbst bei kleineren Stromdichten, wie sie bei hohen Kontaktdrahtspannungen vorherrschen, Spannungsverluste, deren Beseitigung in mehrfacher Hinsicht wünschbar ist. Es wird daher die Wahl sehr niedriger Periodenzahlen nicht umgangen werden können und man wird die damit verbundene Vermehrung des Gewichtes und der Erstellungskosten der Einphasenwechselstrom-Motoren, Einphasenwechselstrom-Generatoren und hauptsächlich der Einphasenwechselstrom-Spannungstransformatoren in den Kauf nehmen müssen. Bei einer Periodenzahl von etwa 16 rückt, nach den in der Maschinenfarik Oerlikon gemachten Versuchsreihen mit Periodenzahlen von 0 bis über 60, die Vergrösserung des Widerstandes der Eisenbahnschienen auf das Dreifache oder, auf Kupferdraht von gleichem Querschnitt bezogen, auf das $3 \times 9 = 27$ fache. In einem Geleise von beispielsweise 70 *kg* Gewicht pro *m* entspricht dies einem Voltverlust auf 40 *km* von etwa

$$400 \cdot \frac{0{,}0166 \cdot 100}{\left(\frac{700 \cdot 100}{7{,}6}\right)} \cdot 3 \cdot 9 \cdot 90 = \text{rund } 180 \text{ Volt}$$

und, wenn wir in der Schiene die Phasenverschiebung ausser Acht lassen 1,6400 Watt = 1,4 %.

Nun befinden sich natürlich im allgemeinen nicht nur zwei Züge auf 40 *km* Entfernung vom Speisepunkt, sondern mehr. Wir glauben aber, die Annahme von je zwei solchen Zügen bei Km. 20, 40 und 60 stellen eine ziemlich ungünstige Belastung dar, die in Wirklichkeit unter Berücksichtigung von geringeren Zugsgewichten und von Gegengefällen vielleicht einer doppelten Zahl von gleichzeitig fahrenden Zügen entsprechen würde. Die auftretenden Verluste sind alsdann, wenn wir, der Einfachheit der Rechnung halber für je 20 *km* Strecke zwei Drähte von 8 *mm* Durchmesser ziehen:

[1]) Wiedergabe der Mitteilungen der Erbauer der Burgdorf-Thun-Bahn im Vortrag W. M. Madey vor der Institution of civil Engineers, London.

	Verlust in den Drähten				Schienen, einspurig		Schienen, zweispurig	
	Drähte	Verlust			Verlust		Verlust	
Strecke	zu 8 *mm*	*kw.*	Volt	Amp.	*kw.*	Volt	*kw.*	Volt
Km. 0—20	6	81	300	270	73	270	37	135
» 20—40	4	54	300	180	32	180	16	90
» 40—60	2	27	300	90	8	90	4	45
Total	—	162	900	—	113	540	57	270

d. h. im ganzen 219 (rund 220) *kw* auf $6 \times 565 + 220$, oder rund 7,5 % der am Speisepunkt an die Kontaktleitung abgegebenen Energie.

Nehmen wir in der Kontaktleitung bei Km. 40 die Spannung von 14 000 Volt an, so muss die Anfangsspannung bei Doppelspur $14000 + 600 + 225 = 14825$ Volt betragen. Die Spannung bei Km. 60 ist alsdann:

$$14825 - 900 - 270 = 13655 \text{ Volt}$$

und die ganze Spannungsänderung auf 60 *km* bei der supponierten Stromabnahme beträgt 1170 Volt auf 14 825 oder 7,85 %, d. h. in runden Zahlen und wenn wir für anderweitige Spannungsverluste noch einen Zuschlag machen, 10 %. Dies ist aber eine Zahl, die erheblich unter dem liegt, was bisher bei Zuleitung durch dritte Schiene mit Gleichstrom und bei Drehstrom von weniger als 1000 Volt den Rechnungen zu Grunde gelegt bezw. erreicht werden konnte und zwar bei Kilometerzahlen die weniger als den dritten Teil unserer Annahme betragen. Nehmen ja doch die Verluste mit dem Quadrat der angewendeten Spannung ab.

Das sich aus der Rechnung ergebende Kupferquantum betrüge: $(20 + 40 + 60) \cdot 2 \cdot 450\ kg = 108\ t$ für die Kontaktleitung und bei 12 *m* langen Schienen: $\frac{60000}{12} \cdot 4 \cdot 1\ kg = 20\ t$ für Schienenverbindungen. Zählen wir für Stationsgeleise 20 % hinzu, so erhalten wir für 60 *km* zweispuriger Bahnlinie bei den oben berechneten geringen Verlusten im ganzen rund 150 *t* Kupfer oder 2500 *kg* pro *km*.

Damit ist gezeigt, dass die Versorgung langer Strecken durch die Anwendung hoher Spannungen mit geringen Verlusten möglich ist. Die Speisepunkte kämen unter den gemachten Annahmen in Entfernungen von $2 \times 60\ km = 120\ km$ zu liegen. Man erkennt, dass die Ausgleichung der Belastung der Kraftstationen sehr vollkommen ausfällt und dass keine zeitweilig unthätigen, ganz oder teilweise leerlaufenden Maschinenumformerstationen vorhanden wären.

Man könnte in Versuchung kommen, die Spannung niedriger zu wählen. Wir halten aber eine wesentlich niedrigere Spannung für unzureichend, während die Wahl einer erheblich höheren uns nicht wünschbar oder notwendig erscheint. Geringe Stromstärken für Abnahme von der Kontaktleitung und geringe Schienenverluste scheinen uns hier massgebend zu sein im Verein mit der Rücksicht auf die Sicherheit der Leitungs- und der Maschinenisolation. Wir glauben dass 15 000 Volt bis auf weiteres die höchste Spannung sein dürfte, die man noch mit Sicherheit und ohne besondere Umständlichkeiten in Maschinen direkt erzeugen, in Transformatoren umformen und durch mechanisch-konstruktiv verwertbare Isolatoren isolieren kann.

Die Aufgabe wird daher darin bestehen, eine Kontaktleitung und einen Stromabnehmer zu konstruieren, welche den Betrieb mit Spannungen von den Grössenordnung 15 000 Volt gestatten.

Wir heben aber jetzt schon hervor, dass gerade die Einpoligkeit der Kontaktleitung die Anwendung niedriger Spannung z. B. auf grösseren Stationen gestattet. So kann man sich eine Stationsanlage mit dritter Schiene unter 700 Volt Spannung ausgestattet denken, während die offenen Strecken mit sogenannter Luftleitung unter 15 000 Volt arbeiten. Mit zwei Stromabnehmern, also z. B. mit Kontaktschleifschuhen und mit dem sogenannten Bügel kann man sowohl die Hochspannungs- als auch die Niederspannungsleitung benützen, wenn nur die entsprechenden Stromkreise der Fahrzeuge, der Geleise und der Kontaktleitung mit passenden Spannungstransformatoren verbunden sind.

Es liegt nahe, die Hochspannungs-Kontaktleitungen an Spanndrähten zwischen beidseitig der Fahrbahn stehenden Masten aufzuhängen, wobei die Spanndrähte an Hochspannungsisolatoren angebunden sind. Eine solche Leitung kann ohne Zweifel für hohe Spannungen ausreichend isoliert werden. Wenn der bekannte Kontaktbügel, dessen isolierte Aufstellung auf dem Fahrzeug keine unüberwindlichen Schwierigkeiten bereitet, benutzt wird, so sieht man, dass die bei Drehstrombahnen so bedenkliche Frage der sogenannten Luftweichen gar nicht existiert, dass sie vielmehr ganz und gar auf die für Gleichstrombahnen längst gelöste Aufgabe zurückgeführt ist. Auf den Konflikt, in den wir mit den bestehenden Sicherheitsvorschriften geraten, werden wir später zu sprechen kommen.

Im übrigen gestattet nun die Einpoligkeit der Kontaktleitung eine ganz eigenartige Konstruktion derselben, welche hinsichtlich Sicherheit in mehreren Beziehungen sich von den gewöhnlichen aufgehängten Leitungen auszeichnen dürfte. (Schluss folgt.)

Wettbewerb für eine Chauderon-Montbenon-Brücke in Lausanne.

II. (Schluss.)

Der zweite Preis wurde dem Entwurfe *„Ecusson de Lausanne“* von der Firma *A.-G. Bosshard & Cie.* in Näfels in Verbindung mit Architekt *Bezencenet* in Lausanne zu teil. Der Entwurf nimmt eine Eisenkonstruktion in Aussicht und hält sich genau an die von der Stadt im Programm angegebene Einteilung für die sechs Hauptöffnungen; es haben die zwei Endöffnungen je 24,70 *m* und die mittleren Oeffnungen je 36,75 *m* Stützweite. Ausserdem ist in jedem Widerlager eine gewölbte Unterführung für Fahrstrassen vorgesehen. Die Verfasser haben die Eisenkonstruktion in folgender Weise entworfen: Die 18 *m* breite Brücken-Fahrbahn ruht auf zwei Hauptträgern, die in 13 *m* Abstand von Achse zu Achse angeordnet sind. Diese Hauptträger sind als kontinuierliche Balken mit geradem Obergurt und in jeder Oeffnung nach oben gekrümmtem Untergurt ausgebildet. Die Trägerhöhe beträgt in der Mitte der Oeffnung 1,50 *m*, an den Auflagern 3,75 *m*; die Träger sind als sogenannte Zwillingsträger gebaut; das Fachwerk besteht aus Doppeldiagonalen mit vertikalen Pfosten von zwei zu zwei Knotenpunkten, d. h. bei jedem Querträger. Die Dimensionierung dieser Hauptträger ist unter Berücksichtigung des variabeln Querschnittes erfolgt. Für die Fahrbahn ist ein Zorèsbelag vorgesehen; die Zorèseisen ruhen auf 4,59 *m* langen Längsträgern, welche von fachwerkartig ausgebildeten Querträgern aufgenommen werden. Eine Eigentümlichkeit dieser Querträger besteht darin, dass sie auf der ganzen Länge der Oeffnungen gleich hoch entworfen sind, sodass die untere Gurtung derselben in eine Ebene fällt, in welcher der kräftige Windverband angeordnet worden ist. Dadurch erhält die Eisenkonstruktion von unten ein sehr ruhiges Aussehen. Durch Hinzufügen einer unteren fachwerkartigen Querverbindung werden die Querträger der Auflager doppelt so hoch wie die anderen.

Die Trottoirs haben einen Zorèsbelag und werden von in 4,59 *m* Abstand angeordneten Konsolen getragen.

Die Pfeiler, aus Mauerwerk, bestehen aus zwei getrennten Körpern, die zur bessern Verteilung der Last und zur Sicherung gegen ein mögliches Ausweichen nach innen durch kleine Gewölbe in der Höhe der zukünftigen Anschüttung des Flonthales mit einander verbunden sind. Um eine Ersparnis zu erzielen, haben die Verfasser diese Pfeiler durch Schächte ausgehöhlt. Die Unterführungen in den Widerlagern aus Halbkreisgewölben von 10 *m* Lichtweite bieten mit dem rückwärtigen Teil des Widerlagers und dem Endpfeiler ein günstiges Motiv zur Dekoration der Brückenenden. Bei kontinuierlichen Brücken ist es immer von grossem Werte für das gute Aussehen des Bauwerkes, die Pfeiler bis über die Trottoirs hinauf zu führen; die Abbildungen zeigen, dass auch bei dieser Brücke die Dekoration einfach aber gefällig aussieht.