Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 29 (1938)
Heft: 17

Artikel: Gewichtsbeziehungen der Zugsbildung im elektrischen und im nichtelektrischen Bahnbetrieb

Autor: Kummer, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058995

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: 22.08.2025

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

Gewichtsbeziehungen der Zugsbildung im elektrischen und im nichtelektrischen Bahnbetrieb.

Von *W. Kummer*, Zürich.

621.335.1

Eine Untersuchung der Gewichtsbeziehungen der Zugsbildung im elektrischen und im nichtelektrischen Bahnbetrieb zeigt, dass nach dem heutigen Stande der Technik eine zweifelsfreie Ueberlegenheit der elektrischen über die nichtelektrische Zugförderung im Schwerlastverkehr mit Lokomotiven besteht, und zwar um so ausgeprägter, je steiler die Bahnlinie ist. Anderseits lässt eine solche Untersuchung bei keiner Betriebsart eine allgemein zutreffende Ueberlegenheit mehr erkennen, wenn der Zugsbildung Motorwagen zugrunde gelegt werden. Diese Feststellung ändert jedoch nichts an der Tatsache, dass bei einmal elektrifiziertem Bahnnetz heute eine zweckmässige Auflockerung des Fahrplanes durch Motorwagen und Leichtzüge nötig ist.

L'étude des relations de poids dans la formation des trains en exploitation électrique et non électrique fait ressortir, dans l'état actuel de la technique, une supériorité indéniable de la traction électrique dans le trafic lourd avec locomotives, cette supériorité étant d'autant plus marquée que la rampe à surmonter est plus forte. D'autre part, cette étude ne dégage pour aucun mode d'exploitation une supériorité marquée générale, lorsque les trains sont composés de rames automotrices. Cette constatation ne peut cependant porter atteinte à la nécessité d'assouplir convenablement les horaires par l'introduction d'automotrices et de trains légers lorsqu'un réseau ferroviaire a été électrifié.

Der projektierende Bahningenieur muss die verschiedenen Möglichkeiten der Zugförderung, d. h. insbesondere den elektrischen Betrieb mittels Fahrleitung, den Dampfbetrieb und den Betrieb mittels Verbrennungsmotoren, unter einer ganzen Anzahl von Gesichtspunkten einander gegenüberstellen. Einer der wesentlichen Gesichtspunkte wird durch die Gewichtsbeziehungen der Zugsbildung dargeboten, über die im folgenden eine grundsätzliche Untersuchung gemäss dem heutigen Stande der Technik geliefert werden soll. Diese Untersuchung, die für Betrieb mit Lokomotiven und für Betrieb mit Motorwagen nicht gleichzeitig vorgenommen werden kann, geht entweder aus von einem bestimmten Lokomotivgewicht, bzw. von einem bestimmten motorischen Wagenausrüstungsgewicht und frägt nach dem Zahlenwert des möglichen Nutzgewichtes, oder sie geht aus von einer Lastwagen-Zugskomposition gegebener Länge und frägt nach dem Gewichte der benötigten Lokomotive, bzw. der in einzelne Wagen einzubauenden motorischen Ausrüstung.

In dieser, nur für Hauptbahnlinien verschiedener Steigung durchzuführenden Untersuchung wird die im praktischen Bahnbetrieb übliche Annahme einer fallenden Fahrgeschwindigkeit für zunehmende Steigung berücksichtigt, wobei die reine Widerstandszahl w, die mit der Fahrgeschwindigkeit v nach einer Beziehung:

$$w = a + b \cdot v^2,$$

in der a und b Konstante bedeuten, zusammenhängt, mit zunehmender Steigung ebenfalls fällt. Da wir in dieser Untersuchung als Zahlenbeispiele ausschliesslich solche der Personenbeförderung verwenden, darf man den einzelnen Steigungen s etwa folgende Gruppen von Zahlenwerten für v und w zugrunde legen:

s in $^0/_{00}$	0	5	10	15	20	25
v in km/h	105	95	84	71	55	32
w in kg/t	14	12	10	8	6	4

Wir beginnen die Untersuchung mit der Behandlung der *Zugförderung mittels Lokomotiven*. Die Lokomotivtraktion der Adhäsionsbahnen ist in ausschlaggebender Weise vom Reibungsgewicht und vom Zahlenwert der Haftreibung bestimmt. Gegenüber dem Lokomotivgewicht G_l, in t, ist das Lokomotiv-Reibungsgewicht G_r, in t, in der Regel kleiner, höchstens gleich gross, allgemein aber verknüpft nach einer Beziehung:

$$a = \frac{G_r}{G_l}$$

mit a als sog. Adhäsionsverhältnis. Nach Massgabe der Haftreibungszahl f, in kg/t, kann eine Lokomotive eine Zugkraft Z, in kg, am Radumfang entwickeln, vom maximalen Zahlenwerte:

$$Z = G_r \cdot f.$$

Bei der Dampftraktion muss das Gewicht eines allfälligen Schlepptenders mit den Vorräten (Kohle und Wasser, bzw. Oel und Wasser) in G_l einbezogen werden. Es sei i die Zahl der Lastwagen (Personenwagen oder Güterwagen), welche je das Nutzgewicht G_1, in t, aufnehmen und je das Eigengewicht (die Tara) T, in t, besitzen. Für die homogen gebildeten Züge ist dann:

$$i \cdot (T + G_1)$$

das sog. Anhängegewicht. Es gilt nun:

$$G_r \cdot f = [G_l + i \cdot (T + G_1)] \cdot (w + s)$$

und folgt:

$$G_l \cdot \left(\frac{a \cdot f}{w + s} - 1\right) = i \cdot (T + G_1) = i \cdot G_1 \cdot \left(\frac{T}{G_1} + 1\right)$$

Bei Einführung des gesamten, vom Zuge aufnehmbaren Nutzgewichtes:

$$G_n = i \cdot G_1$$

lässt sich dieses aus der Ausgangsgleichung nach der Beziehung:

$$G_n = G_l \cdot \frac{a \cdot f - (w + s)}{(w + s) \cdot \left(1 + \frac{T}{G_1}\right)} \qquad (1)$$

berechnen. Diese Beziehung gibt die allgemein gültige Beantwortung der Frage nach dem Nutzgewichte, das bei einem gegebenen Lokomotiv-

gewicht möglich ist. Bei Auflösung der Gleichung nach G_l folgt:

$$G_l = \frac{i \cdot (T + G_1) \cdot (w + s)}{a \cdot f - (w + s)} \qquad (2)$$

Damit ist die Beziehung ermittelt, die allgemein gültig die Frage nach dem Lokomotivgewicht beantwortet, das zur Beförderung eines gegebenen Anhängegewichts benötigt wird.

Sowohl nach der Beziehung (1), als auch nach (2) erscheint nun diejenige Betriebsart als günstigste, bei der die Differenz:

$$a \cdot f - (w + s)$$

den grössten Wert erlangt. Für die hauptsächlich rivalisierenden Betriebsarten erlangt das Produkt $a \cdot f$ beim heutigen Stande der Technik etwa folgende Zahlenwerte, je in kg/t:

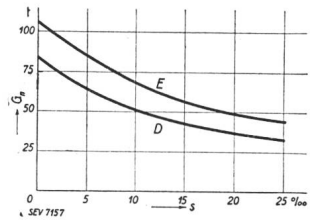

Fig. 1 (oben).
Nutzgewichte in Zügen bei Lokomotiven von gegebenem Gewicht.
E elektrischer Betrieb.
D Dampfbetrieb.

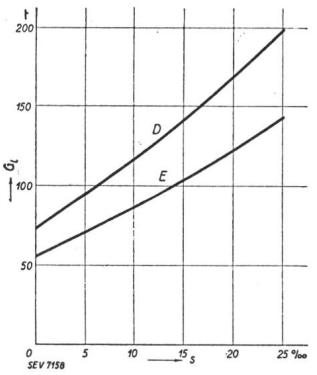

Fig. 2 (rechts)..
Lokomotivgewichte für Züge von angegebenem Anhängegewicht.
E elektrischer Betrieb.
D Dampfbetrieb.

Elektrischer Betrieb mit Fahrleitung: $a \cdot f = 100$ bis 150.
Betrieb mit Kolbendampfmaschinen: $a \cdot f = 75$ bis 100.
Betrieb mit Verbrennungskraftmaschinen: $a \cdot f = 50$ bis 120.

Die Ueberlegenheit des elektrischen Betriebes mit Fahrleitung beruht darauf, dass a lediglich nach Massgabe von Massnahmen für hohe Lauffähigkeit kleiner als 1 sein muss, und dass f deshalb höchste Werte erreichen kann, weil kein Vorrätegewicht und über das Adhäsions- und das Lauffähigkeits-Bedürfnis kein überschüssiges Konstruktionsgewicht benötigt werden. Demgegenüber ist $a \cdot f$ beim Betrieb mit Kolbendampfmaschinen sowohl durch Tender und Vorräte, als auch durch die mit der hin- und hergehenden Kolbenbewegung sich verschlechternde Adhäsion stark herabgesetzt. Beim Betrieb mit Verbrennungsmotoren, deren mechanische Kennlinie für den Traktionsdienst zunächst völlig ungeeignet ist, sind für den Wert von $a \cdot f$ die zugkraftregelnden Zwischengetriebe rein mechanischer, eventuell hydraulischer, pneumatischer oder elektrischer Wirkungsweise, einschliesslich der Anfahrvorrichtungen, bestimmend. Die vielen technischen Möglichkeiten ergeben den grossen Spielraum im Zahlenwert von $a \cdot f$, der indessen jenen des elektrischen Betriebes mit Fahrleitung allgemein nicht erreicht.

In Fig. 1 und 2 sind die aus den Formeln (1) und (2) resultierenden Grössen bei den Annahmen:

$a \cdot f = 100$ kg/t für elektrischen Betrieb,
$a \cdot f = 80$ kg/t für Dampfbetrieb

dargestellt, wobei ausserdem für Fig. 1 noch ausgegangen wurde von den Daten:

$$G_l = 120 \text{ t}; \quad T/G_1 = 6{,}0,$$

während für Fig. 2 die weitere Bestimmung:

$$i \cdot (T + G_1) = 350 \text{ t}$$

noch zugrunde gelegt wurde. Die beiden Figuren weisen die Ueberlegenheit des elektrischen Betriebes zahlenmässig nach und lassen auch die Zunahme dieser Ueberlegenheit mit wachsender Steigung erkennen; in Fig. 2 ist beides unmittelbar erkenntlich, während man bei Fig. 1 für letzteres den virtuellen Koeffizienten, also das Verhältnis der Tariflänge zur effektiven Steigungslänge, zu Hilfe nehmen muss, wobei sich beim elektrischen Betrieb ein Zahlenwert:

$$\frac{(6 + 1) \cdot 105}{(6 + 1) \cdot 42} = 2{,}5,$$

beim Dampfbetrieb ein solcher von:

$$\frac{(6 + 1) \cdot 81}{(6 + 1) \cdot 30} = 2{,}7$$

ergibt.

Indem wir nun an die Behandlung der *Zugförderung mittels Motorwagen* schreiten, ist in erster Linie festzustellen, dass eine Rücksicht auf die Adhäsion ausser Betracht bleiben kann, weil im allgemeinen von vornherein mit überschüssigem Adhäsionsgewicht gerechnet werden darf. Neben das normale Gesamtgewicht

$$i \cdot (T + G_1)$$

von Nutzlast und Tara tritt hinzu das motorische Ausrüstungsgewicht G_m, in t, in das die wagenbaulichen Verstärkungskonstruktionen einbezogen sein sollen und das in einen oder in mehr als einen Wagen zu legen ist. Im Bereiche der normalen Zugkräfte am Radumfang Z, in kg, die für die Traktion mit Motorwagen in Betracht fallen, sind Z und G_m einander proportional, gemäss:

$$Z = C \cdot G_m$$

mit C als Konstante. Man erhält nun die Zugkraftgleichung:

$$C \cdot G_m = [i \cdot (T + G_1) + G_m] \cdot (w + s).$$

Indem wiederum:

$$G_n = i \cdot G_1$$

als gesamtes, vom Zuge aufgenommenes Nutzgewicht eingeführt wird, folgt:

$$G_n = G_m \cdot \frac{C - (w + s)}{(w + s) \cdot \left(1 + \frac{T}{G_1}\right)} \qquad (3)$$

Diese Beziehung gibt die allgemein gültige Beantwortung der Frage nach dem Nutzgewicht, das bei einem gegebenen motorischen Ausrüstungsgewicht

möglich ist. Bei Auflösung der Ausgangsgleichung nach G_m folgt:

$$G_m = \frac{i \cdot (T + G_1) \cdot (w + s)}{C - (w + s)} \qquad (4)$$

Diese Beziehung beantwortet allgemein gültig die Frage nach dem Gewicht der motorischen Ausrüstung, die bei einer gegebenen Lastwagen-Komposition vom Gewichte $i \cdot (T + G_1)$ erforderlich ist.

Sowohl nach der Beziehung (3), als auch nach (4) erscheint nun diejenige Betriebsart als günstigste, bei der die Differenz:

$$C - (w + s)$$

den grössten Wert erlangt. Diesbezüglich haben sich die Verhältnisse seit dem ersten Auftreten der elektrischen Traktion wesentlich verändert. Zunächst war nämlich die Möglichkeit einer technisch günstigen Motorwagentraktion gerade einer der Hauptvorzüge der elektrischen Traktion. Die bezügliche Systemkonstante vom Zahlenwerte:

$$C = 350 \text{ bis } 450 \text{ kg/t}$$

war dem damaligen Dampfbetrieb unerreichbar. Heute ist der Dampfbetrieb in der Lage, für Motorwagen eine etwa ebenso hohe Ausnutzungsziffer zu erreichen. Die Einrichtung, nach System Doble-Henschel, verwendet einen aus einer einzigen Rohrschlange bestehenden, ölgefeuerten Kessel, dessen Dampferzeugung automatisch in weiten Druckgrenzen (0 bis 100 kg/cm²) dem jeweiligen Verbrauch angepasst wird; auch die verwendete Kolbendampfmaschine ist durch weitgehenden Arbeitsbereich entsprechend stark veränderlicher Drehzahl (0 bis 1500 U/min) neuartig. Der in den letzten Jahrzehnten ausserordentlich vervollkommnete Verbrennungsmotor kann für den Bereich der Zugkräfte, die im Motorwagendienst normal sind, mit verhältnismässig einfachen und leichten, zugkraftregelnden Vorrichtungen ausgestattet werden; so entsteht auch für diese Betriebsart eine Ausnutzungsziffer C, wie wir sie für den elektrischen Betrieb angaben, oder sogar eine etwa auch noch höhere Ziffer.

In Fig. 3 und 4 sind für $C = 400$ kg/t die aus den Formeln (3) und (4) resultierenden Grössen dargestellt, wobei für Fig. 3 noch von den weitern Annahmen:

$$G_m = 35{,}0 \text{ t}; \; T/G_1 = 6{,}0;$$

für Fig. 4 noch von der einzigen weitern Annahme

$$i \cdot (T + G_1) = 350 \text{ t}$$

ausgegangen wurde. Diese Figuren können also mittlere Verhältnisse sowohl beim neuartigen Dampfbetrieb und beim Betrieb mit Verbrennungsmotoren, als auch beim elektrischen Betrieb mit Fahrleitung zum Ausdruck bringen. Man muss demnach mit der Sachlage rechnen, dass im Laufe der Jahre für den Motorwagendienst die anfängliche, unbedingte Ueberlegenheit der elektrischen Zugförderung über jede andere Art der Zugförderung, auf Grund der Gewichtsbeziehungen der Zugsbildung, verschwunden ist; bei grosser Dichtigkeit des Verkehrs und bei erheblicher fahrplanmässiger Bedeutung der beim elektrischen Betrieb besonders leicht herstellbaren hohen Anfahrbeschleunigung bleibt die Ueberlegenheit dieser Betriebsart aber weiterhin bestehen.

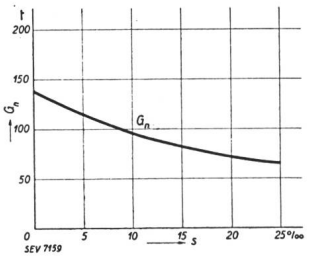

Fig. 3.
Nutzgewichte in Motorwagen-Zügen bei gegebenem Gewicht der motorischen Ausrüstung.

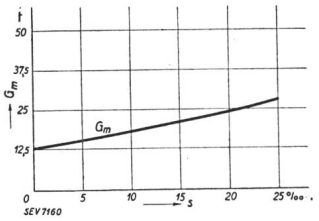

Fig. 4.
Motorische Ausrüstungsgewichte für Motorwagen-Züge mit gegebener Zugskomposition.

Es drängt sich nun die Frage auf, ob etwa auch für den Zugförderungsdienst mit Lokomotiven grosser Leistung eine ähnliche Entwicklung zu erwarten sei. Auf diese Frage kann geantwortet werden, dass man es beim Dampfbetrieb mit Lokomotiven grosser Leistung unter allen Umständen mit einem hohen Gewicht der Vorräte an Kohle, bzw. Oel, und Wasser samt Tender zu tun hat, und dass beim Betrieb von Lokomotiven mit Verbrennungsmotoren grosser Leistung diese eine hohe, wesentlich platzerscheischende Zylinderzahl und schwere Vorrichtungen zum Anfahren und Regeln benötigen.

Es erscheint deshalb wenig wahrscheinlich, dass für die Zugförderung mittels Lokomotiven grosser Leistung die elektrische Zugförderung auf Grund der Gewichtsbeziehungen der Zugsbildung ihre Ueberlegenheit über andere Arten der Zugförderung jemals verlieren sollte, und dies am allerwenigsten für Linien mit starker Steigung.

Die Elektrizitätswirtschaft Deutschlands.

Von *A. G. Arnold*, Berlin.

621.311(43)

Im Lichte der Statistik wird die jetzige Lage der deutschen Elektrizitätswirtschaft sowie ihre Entwicklung im Laufe der letzten Jahre dargestellt.

L'auteur expose, à l'aide des statistiques, la situation actuelle de l'économie électrique allemande, ainsi que son évolution au cours des dernières années.

I. Allgemeines.

Die öffentliche und private deutsche Elektrizitätswirtschaft litt an Interessengegensätzen, die sich in den drei Organisationen:

1. Vereinigung der Elektrizitätswerke e. V. (V. d. E. W.),
2. Bund der Elektrizitätsversorgungs-Unternehmungen Deutschlands (Elektrobund, Werke des Privatkapitals),
3. Interessengemeinschaft Staatlicher und Kommunaler Elektrizitätswerke (ISKE)

widerspiegelte. Im Jahre 1933 bereits beschlossen der Elektrobund und die ISKE ihre Auflösung. Damit war Anfang 1934