

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 123/124 (1944)
Heft: 13

Artikel: Fortschritte im Bau elektrischer Lokomotiven
Autor: Meyer, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-53912>

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: 02.07.2025

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

Betrachtung auch für das Feld Δx_{m+1} durch mit dem Ergebnis

$$\frac{1}{\Delta x_{m+1}} \cdot \Delta y_{m+1} + 1 \cdot y'_m = K''_m \quad \dots (3b)$$

wobei

$$K''_m = \frac{\Delta x_{m+1}}{6 B_{m+1}} (2 M_m + 2 \Delta M_{m+1} + M_{m+1}) \quad \dots (2b)$$

Durch Addition der Gleichungen 3a und 3b ergibt sich

$$\frac{1}{\Delta x_m} \cdot \Delta y_m + \frac{1}{\Delta x_{m+1}} \cdot \Delta y_{m+1} = K'_m + K''_m = K_m \quad \dots (4)$$

d. h. die normale Seilpolygongleichung.

Setzen wir hierin Δy_m aus Gleichung 1

$$\Delta y_m = \frac{1}{Q x_m} (M_m - M_{m-1} - \Delta M_m - Q y_m \cdot \Delta x_m)$$

und analog Δy_{m+1} sowie die Knotenlasten K_m nach Gleichung 2 ein, so erhalten wir nach Ordnen die gesuchte Lösung des Problems:

$$\begin{aligned} & -M_{m-1} \left(\frac{1}{Q x_m \cdot \Delta x_m} + \frac{\Delta x_m}{6 B_m} \right) \\ & + M_m \left(\frac{1}{Q x_m \cdot \Delta x_m} + \frac{1}{Q x_{m+1} \cdot \Delta x_{m+1}} - \frac{2 \Delta x_m}{6 B_m} - \frac{2 \Delta x_{m+1}}{6 B_{m+1}} \right) \\ & - M_{m+1} \left(\frac{1}{Q x_{m+1} \cdot \Delta x_{m+1}} + \frac{\Delta x_{m+1}}{6 B_{m+1}} \right) = \frac{Q y_m}{Q x_m} - \frac{Q y_{m+1}}{Q x_{m+1}} \\ & + \Delta M_m \left(\frac{1}{Q x_m \cdot \Delta x_m} + \frac{\Delta x_m}{6 B_m} \right) \\ & - \Delta M_{m+1} \left(\frac{1}{Q x_{m+1} \cdot \Delta x_{m+1}} - \frac{2 \Delta x_{m+1}}{6 B_{m+1}} \right) \quad \dots (5) \end{aligned}$$

Die gesuchten Momente M sind also durch Auflösung eines dreigliedrigen Gleichungssystems von der Form

$$-\alpha_m \cdot M_{m-1} + \beta_m \cdot M_m - \gamma_m \cdot M_{m+1} = D_m \quad \dots (5a)$$

unter Beachtung der Randbedingungen zu finden. Für einen frei drehbaren Stabende A (Abb. 1) ist $M_A = 0$; die Gleichung 5 für diesen Punkt fällt einfach aus. Der Punkt B sei elastisch eingespannt; die Stabneigung beträgt dann

$$y'_B = \frac{M_B}{C} \quad \dots (6)$$

wobei C den elastischen Verdrehungswiderstand des Fundamentes bedeutet. Die Randbedingung für B ist durch Gleichung 3a gegeben; setzen wir Gleichungen 1 (Δy_m), 2a und 6 ein, so erhalten wir für den Punkt $B = m$:

$$\begin{aligned} & -M_{m-1} \left(\frac{1}{Q x_m \cdot \Delta x_m} + \frac{\Delta x_m}{6 B_m} \right) + M_m \left(\frac{1}{Q x_m \cdot \Delta x_m} - \frac{2 \Delta x_m}{6 B_m} - \frac{1}{C} \right) \\ & = \frac{Q y_m}{Q x_m} + \Delta M_m \left(\frac{1}{Q x_m \cdot \Delta x_m} + \frac{\Delta x_m}{6 B_m} \right) \quad \dots (5b) \end{aligned}$$

Für starre Einspannung, $C = \infty$, kann Gleichung 5b auch als Symmetriebedingung zu Gleichung 5 gedeutet werden. Greifen zwischen den Stabenden keine Kräfte P_x und keine Momente ΔM an und sind ferner B und $\Delta x = \text{Konst.}$, so lässt sich mit $Q_x = \text{Konst.} = N$ und mit der Abkürzung

$$U = \frac{6 B}{\Delta x^2}$$

die Bestimmungsgleichung 5 vereinfachen zu

$$\begin{aligned} & -M_{m-1} \left(1 + \frac{N}{U} \right) + M_m \left(2 - \frac{4N}{U} \right) - M_{m+1} \left(1 + \frac{N}{U} \right) \\ & = \Delta x (Q y_m - Q y_{m+1}) = P_m \cdot \Delta x \quad \dots (5c) \end{aligned}$$

in Übereinstimmung mit der früher¹⁾ angegebenen Umsetzung der Differentialgleichung.

Statt der direkten Auflösung des dreigliedrigen Gleichungssystems, etwa mit dem abgekürzten Gauss'schen Algorithmus, können wir die Lösung auch in Form eines «verallgemeinerten Seilpolygons»²⁾ durchführen. Schreiben wir Gleichung 5a in Form einer Rekursionsformel

$$M_{m+1} = \frac{1}{\gamma_m} (\beta_m \cdot M_m - \alpha_m \cdot M_{m-1} - D_m),$$

so können wir nach Annahme des ersten Seilstrahles durch A ($M_A = 0$ aus Randbedingung, M_1 willkürlich angenommen) alle folgenden Werte von M berechnen, wobei allerdings die Randbedingung bei B im Allgemeinen nicht erfüllt sein wird. Wir müssen deshalb noch die Schlusslinie M' einlegen, die wir zunächst in willkürlichem Massstab nach Annahme des ersten Seilstrahles ($M'_A = 0$ und z. B. $M'_1 = 1,0$) bestimmen können. Nachdem M'_B so bestimmt ist, ergibt sich der Massstab der hier nicht mehr geraden Schlusslinie aus der Randbedingung bei B .

²⁾ Ein solches «verallgemeinertes Seilpolygon» wird dargestellt durch ein gespanntes Seil, das nicht nur durch lotrechte, sondern durch beliebig gerichtete Kräfte belastet ist. Siehe F. Stüssi, Statik der Seile, Abhandlungen I. V. B. H., Band 6.

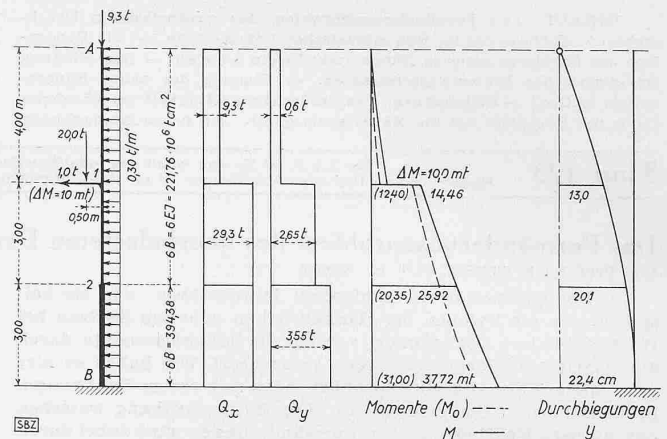


Abb. 5. Berechnungsbeispiel

3. Die Anwendung dieses Verfahrens soll nun noch an dem von E. Amstutz gewählten Beispiel einer Halleinstütze (Abb. 5) gezeigt werden. Die zur Aufstellung der Bestimmungsgleichungen 5 erforderlichen Zahlenwerte sind in der Tabelle berechnet, wobei wir, um den Spannungsnachweis in normaler Form führen zu können, die 1,7-fachen Querkkräfte Q_x einführen. Um eine einfachere Zahlenrechnung zu erhalten, werden dabei die 10⁶-fachen Werte eingesetzt.

TABELLE

	$\frac{10^6}{1,7 Q_x \cdot \Delta x}$	$\frac{10^6 \cdot \Delta x}{6 B}$	$\frac{10^6 \cdot Q_y}{1,7 Q_x}$	$10^6 \cdot D_m$
A	cm-1 · t-1	cm-1 · t-1		
1	158,126	1,804	37 951	- 79 466
2	66,921	1,353	53 202	+ 50 205
B	66,921	0,761	71 271	+ 71 271

Somit gelten (mit $M_A = 0$) die Gleichungen

$$\begin{aligned} M_1 \cdot 218,733 - M_2 \cdot 68,274 &= -79 466 \\ -M_1 \cdot 68,274 + M_2 \cdot 129,614 - M_3 \cdot 67,682 &= +50 205 \\ -M_2 \cdot 67,682 + M_3 \cdot 65,399 &= +71 271 \end{aligned}$$

die nach Auflösung die Werte

$$\begin{aligned} M_A &= 0 \\ M_1 &= 446 \text{ cmt} (\Delta M_2 = 1000 \text{ cmt}) \\ M_2 &= 2592 \text{ cmt} \\ M_3 &= 3772 \text{ cmt} \text{ ergeben.} \end{aligned}$$

Die Momentenfläche ist in Abb. 5 den Momenten M_0 , die sich ohne Berücksichtigung der Systemverformungen ergeben, gegenübergestellt. Trotz Verwendung der «Trapezformel» in Gleichung 2 und der geringen Zahl von Teilen Δx ist, wie Vergleichsrechnungen zeigen, die Genauigkeit mehr als ausreichend. Bei Unterschieden gegenüber der Rechnung von E. Amstutz beanspruchen wir die grössere Genauigkeit für uns. Aus Gleichung 1 können wir nun auch die Werte Δy bestimmen; die sich daraus durch summieren ergebenden Durchbiegungswerte y sind in Abb. 5 ebenfalls eingetragen; sie besitzen für den Stützenkopf A den respektablen Wert von über 22 cm bei 10 m Stützhöhe. Auch wenn wir, um die unter Gebrauchslast auftretenden Ausbiegungen zu erhalten, nur mit dem Werte Q_x und nicht mit $1,7 \cdot Q_x$ rechnen, ist y_{max} immer noch etwa 1:50; die Stütze ist gegenüber den Anforderungen einer gesunden Konstruktionspraxis zu weich. Bei einer genügend steif ausgebildeten Stütze wäre auch der Formänderungseinfluss erheblich kleiner.

Fortschritte im Bau elektrischer Lokomotiven

Mit dem Einsetzen der Konkurrenz des Automobils und des Flugzeuges sind die an die Eisenbahnen gestellten Ansprüche bezüglich Reisegeschwindigkeit, Reisebequemlichkeit und Sicherheit erheblich gestiegen. Dies führte mit der Zeit zu einer starken Erhöhung der Personenwagen- und Lokomotivgewichte und damit der pro Reisenden zu befördernden toten Last. So stieg das pro Sitzplatz zu führende Gewicht bei Berücksichtigung des Triebfahrzeuggewichtes bei gewöhnlichen Schnellzügen auf

nahezu 1000 kg und bei internationalen und Luxuszügen erheblich darüber hinaus. Diese Entwicklung musste aber zu einer weiteren ernsthaften Bedrohung der Konkurrenzfähigkeit der Eisenbahnen führen. Es fehlte denn auch nicht an Vorschlägen, durch die Anwendung der im Automobil- und Flugzeugbau entwickelten Bauprinzipien im Bau der Eisenbahnfahrzeuge eine radikale Verminderung der toten Gewichte herbeizuführen. Erst kürzlich wurde vor schweizerischen Verkehrsfachleuten wiederum die Ansicht vertreten, dass die Anwendung einer «Ultraleichtbauweise» eine Herabsetzung des Sitzplatzgewichtes auf etwa 170 kg ermöglichen würde. Ernsthafte Detailstudien, die schon vor mehr als zehn Jahren begonnen wurden, und viele seither gebaute Probeausführungen haben jedoch bewiesen, dass die Erreichung so geringer Gewichte bei Eisenbahnfahrzeugen unmöglich ist, wenn man den heute erreichten Grad der Reisebequemlichkeit und Sicherheit nicht wieder preisgeben will. Ueberdies hat die im Automobil- und Flugzeugbau ohne weiteres anwendbare extreme Leichtbauart bei den Eisenbahnfahrzeugen überall da zu einem eindeutigen Misserfolg geführt, wo man nicht gleichzeitig zur luftgefederten Gummibereifung¹⁾ übergegangen ist. Einer allgemeinen Einführung der Pneubereifung der Eisenbahnfahrzeuge steht aber das schmale Schienenprofil der bestehenden Eisenbahnen, das nur einen Raddruck der Pneubereifung von höchstens 1500 kg zulässt, im Wege. Es wird daher in absehbarer Zeit nicht mit einer Umwälzung im Bau des Eisenbahnrollmaterials zu rechnen sein.

Die Eisenbahnen und die sie beliefernde Industrie haben aber trotzdem, oder gerade deshalb, keine Mühe gescheut, um im Rahmen des wirklich Realisierbaren zu einer namhaften Verminderung des toten Gewichtes der Eisenbahnfahrzeuge zu gelangen, ohne damit die dem Reisenden gebotene Sicherheit und Bequemlichkeit zu verringern und die Unterhaltskosten in einem für die Bahnverwaltungen untragbaren Masse steigen zu lassen. Als erster der schweizerischen Öffentlichkeit sichtbar gewordener Erfolg dieser Bestrebungen können die in den letzten sechs Jahren in Betrieb gesetzten Leichtstahl-Personenwagen der SBB²⁾ und einiger Privatbahnen gelten, deren Gewicht gegenüber den früheren Ausführungen um etwa 30 % geringer ist und für die 3. Klasse noch etwa 380 kg pro Sitzplatz beträgt. Damit ist die Entwicklung im Leichtbau der Personenwagen natürlich noch nicht abgeschlossen. Die nachstehenden Ausführungen mögen nun zeigen, dass auch im Lokomotivbau in der gleichen Richtung intensiv gearbeitet wird und dass auch bereits schöne Erfolge erzielt worden sind.

Es ist heute möglich, eine elektrische Lokomotive bestimmter Leistungsfähigkeit mit einem gegenüber früheren Ausführungen um 30 bis 40 % geringeren Gewicht zu bauen. Die Gewichtersparnis gestattet u. a., die Laufachsen zu unterdrücken. Solche Lokomotiven weisen daher kein totes Gewicht mehr auf; das ganze Gewicht dient als Reibungsgewicht für die Zugförderung. Daraus ergibt sich im besondern eine Ersparnis an Traktionsenergie. Beträgt z. B. das auf den drei Laufachsen ruhende Gewicht der Lokomotive einer bei uns stark verbreiteten älteren Bauart 40 t und legt sie pro Jahr 120 000 km zurück, so müssen zur Fortbewegung dieser toten Last 4 800 000 t/km geleistet werden, wofür allein die Energiekosten etwa 3600 Fr. pro Jahr betragen.

Die erzielte Gewichtsverminderung ist das Ergebnis einer grossen und langen Arbeit, die von den Lokomotivbaufirmen in engem Zusammenwirken mit den Bahnverwaltungen geleistet worden ist. Für jeden Einzelteil mussten der Baustoff und die Bauform gefunden werden, die die grösstmögliche Gewichtseinsparung gestatten und dennoch den sehr schweren Anforderungen, die der rauhe Bahnbetrieb an die Widerstandsfähigkeit und Dauerhaftigkeit des Rollmaterials stellt, genügen können. Neue Erkenntnisse der technischen Forschung, neue Werkstoffe und Konstruktionsprinzipien und neuzeitliche Herstellungsverfahren halfen mit, dieses Ziel zu erreichen. So kann beispielsweise das schwere Eisen vielerorts durch ein gleichwertiges oder bezüglich Festigkeit sogar überlegenes Leichtmetall ersetzt werden. An Stelle von schweren Gussteilen oder Nietkonstruktionen tritt die leichtere Schweisskonstruktion. Schraubenverbindungen werden nur noch da verwendet, wo mit Rücksicht auf den normalen Unterhalt eine leichte Trennbarkeit erforderlich ist. Einige Beispiele mögen die in den letzten Jahren erzielten Fortschritte veranschaulichen.

Die beim Bau der Leichtstahlwagen erstmals angewendete selbsttragende Bauart des Wagenkastens kommt nun auch im Lokomotivbau zur Anwendung. Im Verein mit anderen Mass-

nahmen gelang es dadurch, das Gewicht des mechanischen Teils einer Lokomotive bestimmter Leistung von bisher 47 auf rund 30 t herabzusetzen.

Bei der elektrischen Ausrüstung hat fast jeder Bestandteil im Lauf der Jahre eine beinahe vollständige Umbildung erfahren. Neukonstruktion der Stromabnehmer brachte dabei eine Gewichtsverminderung von bisher 480 auf 230 kg. Als Hauptschalter werden an Stelle der früheren Oelschalter, die mit ihrem Antrieb gut 700 kg wogen, nur noch Druckschalter verwendet, deren Gewicht noch etwa 200 kg beträgt. Die im Bau von Transformatoren im Verlauf der letzten 20 Jahre gemachten Fortschritte erlaubten bereits eine erhebliche Gewichtsverminderung. So sank das Gewicht des Transformators der elektrischen Rangierlokomotive der SBB von 6300 auf 3800 kg, als man, unter Beibehaltung der ursprünglichen Leistung, auf eine neuzeitliche Bauart überging. Von dem in allerneuester Zeit entwickelten Lokomotivtransformator mit radial geblechtem Kern erwartet man eine weitere Gewichtseinsparung von 20 bis 30 %. Beim Bau der Triebmotoren haben die Verwendung von geschweissten statt gegossenen Gehäusen und Lagerschildern, die Verbesserung der Isolationen, eine auf möglichste Verminderung der Energieverluste hinzielende Bauweise und die raffinierte Ausbildung der Kühlung zu einer bedeutenden Material- und Gewichtseinsparung geführt. So gelang es z. B. beim Umbau von im Jahre 1920 gebauten Motoren einer Güterzuglokomotive der SBB³⁾, nicht nur deren Leistung um 30 % zu steigern, sondern gleichzeitig das Gewicht der aus Kupfer bestehenden Wicklungen von 1000 auf 465 kg herabzusetzen. Auch der Mechanismus für die Kraftübertragung zwischen den Triebmotoren und den Triebrädern ist im Lauf der Zeit wesentlich leichter und eleganter geworden. Brachte schon der Uebergang von dem vom Dampflokomotivbau übernommenen Stangenantrieb zum Einzelachsenantrieb eine erhebliche Gewichtsverminderung, so hat die seitherige Entwicklung zu neuen und auch bezüglich Gewicht sehr interessanten Bauformen geführt. Betrug beispielsweise das Gewicht des bei den älteren Lokomotiven der SBB meistverbreiteten Antriebes 2150 kg pro Achse, so stellt es sich bei einer neuzeitlichen Bauart bei noch etwas grösseren Zugkräften nur noch auf 1255 kg. Auch bei allen anderen Einrichtungen und Apparaten sind durch die konsequente Anwendung der neuesten und auf grösstmögliche Gewichtsverminderung hinzielenden Baugrundsätze Gewichtseinsparungen erreicht worden, die im einzelnen gesehen vielleicht unbedeutend erscheinen mögen, zusammen genommen aber doch einen namhaften Beitrag zur Herabsetzung des Lokomotivgewichtes und damit zur Beseitigung toter Last geleistet haben.

Die letzten Lokomotivbestellungen der SBB und der Lötschbergbahn (BLS) geben unserer Industrie Gelegenheit, die in der allerletzten Zeit gemachten Fortschritte in die Tat umzusetzen. Die SBB haben kürzlich sechs Leichtlokomotiven in Auftrag gegeben, die in erster Linie für die noch schnellere Führung der beliebten Städtesschnellzüge bestimmt sind, während die BLS schon vor einiger Zeit zwei Berglokomotiven von je 4000 PS bestellt hat, mit denen die Fahrzeiten der über den Lötschberg geführten Schnellzüge ganz erheblich gekürzt werden können. Die unbedingte Einhaltung der sehr niedrig angesetzten Höchstgewichte ist für den Erfolg der beiden Neuschöpfungen entscheidend, wenn auch aus ganz verschiedenen Gründen. Bei den SBB handelt es sich nämlich darum, das Gewicht pro Achse der aus laufftechnischen Gründen vierachsrig zu bauenden Lokomotive nicht über 14 t steigen zu lassen, damit die Kurven mit höheren Geschwindigkeiten als bisher befahren werden können, ohne dass die dabei auftretenden Kräfte und der Verschleiss der Schienen das zulässige Mass überschreiten. Für die BLS ist es dagegen von grösster Wichtigkeit, für ihre Bergstrecke eine Lokomotive zu erhalten, die keine Laufräder und damit kein totes Gewicht besitzt, ohne dass dabei der auf jede der vier Triebachsen entfallende Gewichtanteil die mit Rücksicht auf das Gleis noch zulässige Grenze von 20 t übersteigt.

Die beiden Bahnen und die am Bau dieser Lokomotiven beteiligten Fabriken sind allen zeitbedingten Schwierigkeiten zum Trotz daran, diese beiden Projekte einer baldigen Verwirklichung entgegenzuführen, und es ist zu erwarten, dass diese von freundschaftlichem und fortschrittlichem Geist getragene Zusammenarbeit zu einem vollen Erfolg führen wird. Dann wird die Schweiz die weitaus leichtesten elektrischen Lokomotiven dieser Gattung und Leistung besitzen und damit im Kampf gegen das tote Gewicht im Eisenbahnbetrieb einen grossen Fortschritt erzielt haben.

Ing. Dr. E. Meyer

¹⁾ Vgl. z. B.: Micheline in Bd. 98, S. 109* und Bd. 102, S. 98*.

²⁾ Eingehende Beschreibung siehe SBZ Bd. 110, 116*.

Red.
Red.

³⁾ Vgl. auch: Umbau einer 5/7 Lokomotive der BLS, in Bd. 118, S. 198* (25. Okt. 1941).

Red.