

Studie über den Luftwiderstand von Eisenbahnzügen in Tunnelröhren

Autor(en): **Stix, O.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **47/48 (1906)**

Heft 4

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-26129>

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.

INHALT: Wettbewerb für eine evangel. Kirche zu Arosa. — Studie über den Luftwiderstand von Eisenbahnzügen in Tunnelröhren. — Elektromotorisches Handstellwerk für Weichen und Signale. — Die Kranken- und Diakonissen-Anstalt Neumünster in Zürich. — Schweiz. Verein von Dampfkesselbesitzern. — Bundesgesetz über Mass und Gewicht. — Miscellanea: Leuchtbrunnen auf dem Schwarzenbergplatze in Wien. Dampfturbine von

24.000 P. S. Grindelwald-Eismeerbahn. Hundertjahrfeier der k. k. deutschen technischen Hochschule in Prag. Erweiterungsbau der Universität in München. Drahtseilbahn auf die Hungerburg bei Innsbruck. — Literatur: Eingegangene literarische Neuigkeiten. — Konkurrenzen: Kantons- und Universitätsbibliothek in Freiburg. — Vereinsnachrichten: Gesellschaft ehemaliger Studierender: Stellenvermittlung.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur unter der Bedingung genauester Quellenangabe gestattet.

I. Preis. Motto: «Auf luftiger Höh». — Verf.: Arch. Alb. Gysler von Basel.

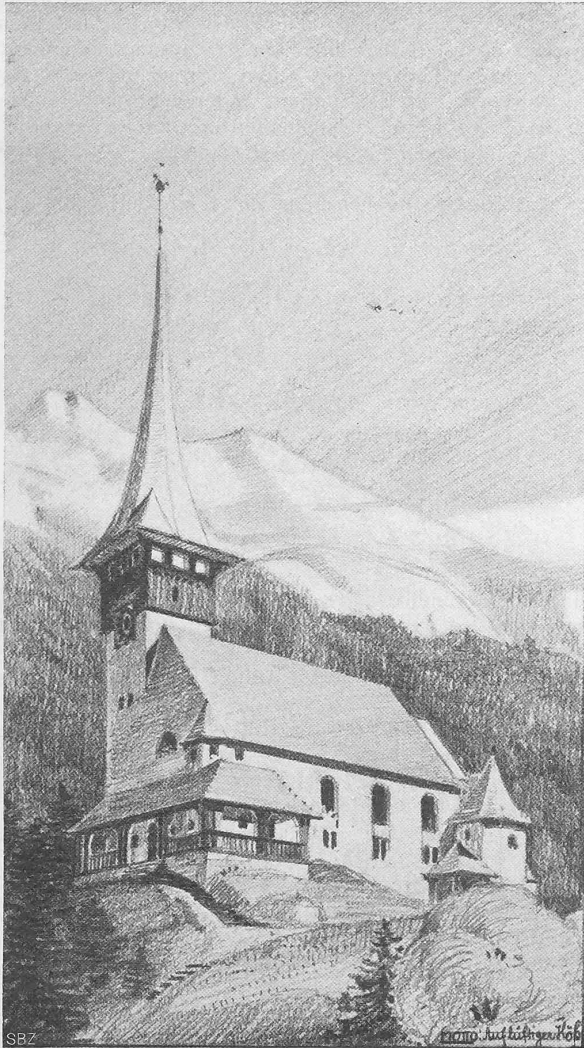
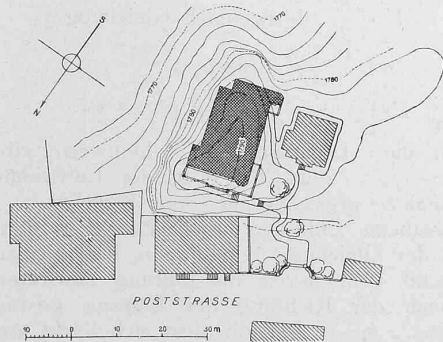


Schaubild der Kirche von Nord-Osten.

Wettbewerb für eine evangel. Kirche zu Arosa.

Die Veröffentlichung der prämierten Arbeiten dieses Wettbewerbs beginnen wir in gewohnter Weise mit der



I. Preis.
Motto:
«Auf luftiger Höh».
Lageplan.
Masstab 1 : 1500.

Darstellung der Projekte Nr. 64 („Auf luftiger Höh“) von Architekt *Albert Gysler* aus Basel in Hannover-Linden und Nr. 71 („Bärgchirchli“) von Architekt *Hermann Lüthi* in

St. Gallen, die einen I. und II. Preis erhielten (S. 42 bis 45). Das Gutachten des Preisgerichts haben wir auf den Seiten 7 bis 9 dieses Bandes wiedergegeben. (Schluss folgt.)

Studie über den Luftwiderstand von Eisenbahnzügen in Tunnelröhren.

Von Dr. ing. *O. Stix* in Zürich.

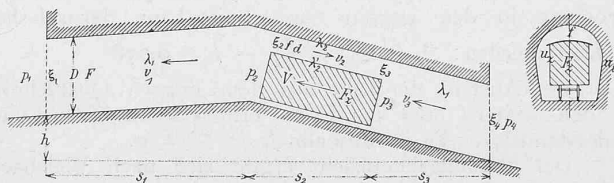
Die Einführung des elektrischen Betriebes auf den schweizerischen Eisenbahnen lässt es zeitgemäss erscheinen, sich über die Grösse des Luftwiderstandes von Eisenbahnzügen in Tunnelröhren Rechenschaft zu geben.

Die Rechnung begegnet mancherlei Schwierigkeiten, welche weniger in der theoretischen Auffassung des Vorganges liegen, als hauptsächlich in Umständen ihren Grund haben, die entweder fortwährendem Wechsel unterliegen, oder aus Mangel an Erfahrungen nicht genau beurteilt werden können. Hier seien besonders erwähnt der Einfluss der Witterung, der Gesteinstemperatur, der Luftfeuchtigkeit, der natürlichen oder künstlichen Lüftung, der Gestalt und Rauigkeit des Tunnelprofils und der Fahrzeugumgrenzung.

Es sei vorausgesetzt, dass die Temperatur längs der Röhre konstant und die Dichte der Luft von ihrer Pressung unabhängig sei, was bei den geringen Pressungen von höchstens 0,01 Atm. Ueberdruck berechtigt erscheint. Bahnzug und Tunnelröhre können aufgefasst werden als ein Kolben, der sich undicht in einem Zylinder bewegt. Der Bahnzug wird bei offenen Tunnelportalen die Luft vor sich herschieben, hinten ansaugen und vorne austossen, wobei ein Teil der Luft zwischen Zug und Lichtraum nach rückwärts entweicht.

In folgenden Ausführungen bedeutet: p die absoluten Pressungen, v die Strömungs-Geschwindigkeit der Luft, V die Fahrgeschwindigkeit des Zuges, γ das spezifische Gewicht der Luft, g die Beschleunigung der Erdschwere, ξ die Widerstandskoeffizienten für Ein- und Ausströmung der Luft an den Querschnittsänderungen, λ die Reibungskoeffizienten der Luft, s die Längen, F, F_z, f die Querschnitte des Tunnels, des Zuges beziehungsweise des Zwischenraumes $f = F - F_z$, D, d_t, d_z die dem F und f zugehörigen äquivalenten Durchmesser (und zwar ist nach Grashof (Hydraulik S. 479 und 592) $D = \frac{4F}{U}$, $d_t = \frac{4f}{u_t}$, $d_z = \frac{4f}{u_z}$), U den Umfang der ganzen Tunnelröhre, u_t den gleichen Umfang ohne die vom Bahnzug bedeckte Grundfläche, u_z den Umfang des Bahnzuges ohne Grundfläche, h den Höhenunterschied der Tunnelportale.

In folgender Abbildung sind die Bezeichnungen mit ihren Zeigern an den Stellen eingetragen, auf die sich letztere beziehen.



Nach dem Gesetze der Kontinuität ist bei konstanter Luftdichte

$$Fv_1 + fv_3 = F_zV = Fv_3 + fv_2 \dots (1)$$

und deshalb $v_1 = v_3$.

Ferner kann nach den Gesetzen des Ausflusses und des Leitungswiderstandes für die Bewegung der Luft in der Tunnelröhre geschrieben werden:

$$\begin{aligned}
 p_4 - p_3 + p_2 - p_1 &= \\
 &= \underbrace{\left[1 + \xi_1 + \xi_4 + \lambda_1 \frac{s_1 + s_3}{D} \right]}_{\psi} \gamma \frac{v_1^2}{2g} + \gamma h = \\
 &= \psi \gamma \frac{v_1^2}{2g} + \gamma h \dots \dots \dots (2)
 \end{aligned}$$

Bei Betrachtung der Bewegung der Luft in dem Zwischenraum f , welchen der Zug vom Tunnelprofil freilässt, ist zu berücksichtigen, dass für den Ein- und Austrittswiderstand die Summe $V + v_2$ der Geschwindigkeit massgebend ist. Dasselbe ist der Fall für die Luftreibung an der Umgrenzungsfläche (Umfang u_z) des Bahnzuges, während die lebendige Kraft und die Reibung an der Tunnelwand (Umfang u_t) von v_2 allein abhängig ist. Es ist daher das Druckgefälle:

$$\begin{aligned}
 p_2 - p_3 &= (V + v_2)^2 \frac{\gamma}{2g} \left[\xi_2 + \xi_3 + \lambda'_2 \frac{s_2 u_z}{4f} \right] + \\
 &+ v_2^2 \frac{\gamma}{2g} \left[1 + \lambda_2 \frac{s_2 u_t}{4f} \right]
 \end{aligned}$$

$$p_2 - p_3 = \frac{\gamma}{2g} \left[\eta V^2 + 2\eta V v_2 + (\eta + \chi) v_2^2 \right] \quad (3)$$

Die Einsetzung dieses Ausdruckes in Gleichung 2 ergibt:

$$\begin{aligned}
 p_4 - p_1 + \frac{\gamma}{2g} \left[\eta V^2 + 2\eta V v_2 + (\eta + \chi) v_2^2 \right] &= \\
 = \psi \frac{\gamma}{2g} v_1^2 + \gamma h
 \end{aligned}$$

und daraus:

$$v_1^2 = \frac{p_4 - p_1 - \gamma h}{\psi \frac{\gamma}{2g}} + \frac{\eta V^2 + 2\eta V v_2 + (\eta + \chi) v_2^2}{\psi} \quad (4)$$

Aus Gleichung 1 ist:

$$v_1^2 = \left(\frac{F_z}{F} V - \frac{f}{F} v_2 \right)^2 = \frac{F_z^2}{F^2} V^2 - 2 \frac{F_z f}{F^2} V v_2 + \frac{f^2}{F^2} v_2^2$$

und nach Elimination von v_1^2 aus diesen Gleichungen:

$$\begin{aligned}
 \underbrace{\left(\psi \frac{f^2}{F^2} - \eta - \chi \right)}_a v_2^2 - 2 \underbrace{\left(\psi \frac{F_z f}{F^2} + \eta \right)}_b V v_2 + \\
 + \underbrace{\left(\psi \frac{F_z^2}{F^2} - \eta \right)}_c V^2 - \underbrace{\frac{p_4 - p_1 - \gamma h}{\frac{\gamma}{2g}}}_d = 0,
 \end{aligned}$$

oder $av_2^2 - 2bVv_2 + cV^2 - d = 0$, somit

$$v_2 = \frac{bV}{a} \pm \sqrt{\frac{b^2}{a^2} V^2 - \frac{cV^2 - d}{a}} \quad (5)$$

und aus Gleichung 1)

$$v_1 = \frac{F_z}{F} V - \frac{f}{F} \left[\frac{b}{a} V \pm \sqrt{\frac{b^2}{a^2} V^2 - \frac{cV^2 - d}{a}} \right] \quad (6)$$

Das den Zug beeinflussende Druckgefälle ($p_2 - p_3$) kann aus Gleichung 2 oder 3 durch Einsetzen von v_1 bzw. v_2 berechnet werden. Der Luftwiderstand berechnet sich dann aus der Formel: $W_1 = (p_2 - p_3) F_z$.

Zu vorstehenden Sätzen lasse ich einige Beispiele folgen:

Nach Weisbach, Mechanik 1875, Bd. I, S. 1099 bis 1102, ist für kurze zylindrische Ansatzrohre bei geringen Druckhöhen $\mu = 0,75$ im Mittel. ξ_2 und ξ_4 für die Einströmung in den engern Querschnitt kann darnach berechnet werden: $\xi_2 = \xi_4 = \frac{1}{\mu^2} - 1 = 0,778$.

Der Austritt der Luft aus dem engern Querschnitt in den weitem oder ins Freie erfolgt kontraktions- und widerstandslos. Es ist deshalb $\xi_1 = \xi_3 = 0$.

Der Reibungskoeffizient ergibt sich nach Weisbach S. 1100 für Geschwindigkeiten bis 25 m mit $\lambda = 0,024$.

Diese Koeffizienten wurden aus Versuchen mit verhältnismässig kleinen Rohrquerschnitten erhalten, doch wendet Weisbach dieselben auch für Windleitungen von 100 mm Durchmesser an. Neuerdings hat Dr. K. Brabbée (siehe Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins 1906, S. 356) den Leitungswiderstand weiterer Rohre (500 bis 800 mm) mit $\lambda = 0,0195$ ermittelt. Es

soll aber hier wegen der grossen Rauigkeit der Tunnelwandung, bzw. der Unregelmässigkeit der Zugsumpfung in allen Fällen $\lambda = 0,024$ beibehalten werden.

Für den *Simplontunnel* ergeben sich beispielsweise:

$$\begin{aligned}
 F &= 24 \text{ m}^2, F_z = 10 \text{ m}^2, f = 14 \text{ m}^2, \\
 U &= 18 \text{ m}, u_t = 16,5 \text{ m}, u_z = 10,5 \text{ m}, \\
 D &= \frac{4F}{U} = 5,33 \text{ m}, d_t = \frac{4f}{u_t} = 3,39 \text{ m}, d_z = \frac{4f}{u_z} = 5,33 \text{ m}.
 \end{aligned}$$

(Die Berechnung des d_t und d_z ist allerdings anfechtbar, weil der Querschnitt f eine Hufeisenform darstellt und von einer Kreis- bzw. einer ähnlich zusammenhängenden Fläche, wie sie Grashof bei seiner Formel im Auge hatte, stark abweicht. In Ermanglung anderer Formeln muss jedoch an dieser Formel festgehalten werden.) Ferner:

$s_1 + s_3 = 19\,600 \text{ m}$, $s_2 = 130 \text{ m}$ (Zuglänge), $s = 19\,730 \text{ m}$ (Tunnellänge).

Aus diesen Angaben leitet sich folgende Rechnung ab:

$$\psi = 1 + \xi_1 + \xi_4 + \lambda_1 \frac{s_1 + s_3}{D} = 90,0,$$

$$\eta = \xi_2 + \xi_3 + \lambda'_2 \frac{s_2 u_z}{4f} = 1,363,$$

$$\chi = 1 + \lambda_2 \frac{s_2 u_t}{4f} = 1,918,$$

$$a = \psi \frac{f^2}{F^2} - \eta - \chi = 27,3,$$

$$b = \psi \frac{F_z f}{F^2} + \eta = 23,2,$$

$$c = \psi \frac{F_z^2}{F^2} - \eta = 14,26,$$

$$d = \frac{p_4 - p_1 - \gamma h}{\frac{\gamma}{2g}} = 0,$$

wenn man annimmt, dass die auf Meereshöhe reduzierten Barometerstände und die Luftdichte an den Tunnelportalen gleich sind.

Setzen wir diese Werte in die Gleichung 5) ein, so ergibt sich:

$$v_2 = V \left[\frac{b}{a} \pm \sqrt{\frac{b^2}{a^2} - \frac{c}{a}} \right] = V (0,85 \pm 0,448) = 1,3 V \text{ oder } 0,4 V.$$

Desgleichen aus der Gleichung 1) bzw. 6):

$$v_1 = \frac{F_z}{F} V - \frac{f}{F} v_2 = -0,342 V \text{ oder } +0,184 V.$$

Da v_1 unbedingt positiv sein muss, so gilt nur der zweite Ausdruck.

Wird für mittelfeuchte Luft $\gamma = 1$ gesetzt, so ist der Pressungsunterschied vor und hinter dem Bahnzuge:

$$p_2 - p_3 = \psi \gamma \frac{v_1^2}{2g} = 0,155 V^2, \text{ in kg auf } 1 \text{ m}^2.$$

(Die Fahrgeschwindigkeit V ist in m/Sek. einzusetzen.)

Demgegenüber wurde bei den Schnellbahnversuchen auf der Strecke Marienfelde-Zossen als Luftdruck gefunden: $p = 0,067 V^2$.

Der Luftwiderstand im Simplontunnel ist demnach mehr als zweimal grösser als auf freier Strecke.

Sind die Portale geschlossen und wird die künstliche Lüftung nicht berücksichtigt, so hat man:

$$v_1 = v_3 = 0, \quad v_2 = V \cdot \frac{F_z}{f}, \text{ bzw. nach Gleichung 3}$$

$$\begin{aligned}
 p_2 - p_3 &= \eta \gamma \frac{(V + v_2)^2}{2g} + \chi \cdot \gamma \frac{v_2^2}{2g} = \\
 &= \frac{\gamma}{2g} V^2 \left[\left(1 + \frac{F_z}{f} \right)^2 \eta + \left(\frac{F_z}{f} \right)^2 \chi \right].
 \end{aligned}$$

Setzt man in diese Gleichung die Zahlenwerte ein, so erhält man: $p_2 - p_3 = 0,254 V^2$, d. h. der Luftwiderstand ist fast viermal so gross als auf freier Strecke.

Soll die künstliche Lüftung berücksichtigt werden, so kann man sich der Gleichung 4) bedienen, indem man $p_4 - p_1$ entsprechend dem durch die Lüftung bewirkten Druckgefälle je nach der Richtung der Lüftung positiv oder negativ einsetzt. $p_4 - p_1$ kann man sich leicht aus der herrschenden Windgeschwindigkeit rechnen nach der Formel:

$$p_4 - p_1 = \psi \gamma \frac{v^2}{2g} + \gamma h = 90 \frac{1}{2 \cdot 9,81} v^2 + \gamma h = 4,6 v^2 + \gamma h.$$

Ist die Windgeschwindigkeit der Lüftung von Nord nach Süd bei leerem Tunnel beispielsweise 1 m/Sek. und bewegt sich der Bahnzug entgegengesetzt, so ist:

$$\begin{aligned} p_4 - p_1 - \gamma h &= -4,6 \text{ kg/m}^2, \\ d &= \frac{p_4 - p_1 - \gamma h}{\frac{\gamma}{2g}} = -4,6 \times 2 \times 9,81 = -90. \\ v_2 &= V \cdot \frac{b}{a} \pm \sqrt{V^2 \frac{b^2}{a^2} - \frac{cV^2 - d}{a}} = \\ &= 0,85 V \pm \sqrt{0,201 V^2 - 3,30}. \end{aligned}$$

Für $V = 18,9$ m/Sek. entsprechend 68 km/Std. Fahrgeschwindigkeit wird: $v_2 = 8,0$ m/Sek. (gegenüber 7,6 m/Sek. bei offenen Portalen ohne Lüftung) und

$$v_1 = \frac{F_z}{F} V - \frac{f}{F} v_2 = 3,2 \text{ m/Sek. (gegenüber 3,47 m/Sek.)}$$

v_1 ist hier positiv, d. h. die Luftströmung hat die Richtung der Bewegung des Bahnzuges und ist entgegengesetzt der Lüftungsrichtung. Der Lüftungsstrom wird durch den Wind, welchen der Bahnzug erzeugt, umgekehrt.

Das Druckgefälle wird dann:

$$p_2 - p_3 = \psi \gamma \frac{v_1^2}{2g} - (p_4 - p_1 - \gamma h) = 51,5 \text{ kg/m}^2$$

(gegenüber 55,2 kg/m²); d. h. der Einfluss der Lüftung auf den Luftwiderstand des Zuges ist unter den gemachten Annahmen gering.

Soll der Lüftungsstrom durch einen entgegenkommenden Zug nicht umgekehrt werden, so muss $v_1 \geq 0$ sein.

Für $v_1 = 0$ ist $v_2 = V \cdot \frac{F_z}{f}$, wie bei geschlossenen Portalen ohne Lüftung und das Druckgefälle:

$$p_2 - p_3 = 0,254 V^2 = - (p_4 - p_1 - \gamma h).$$

Die Lüftungsgeschwindigkeit bei leerem Tunnel ist hierbei:

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{2g}{\psi \gamma} (p_1 - p_4 + \gamma h)} = \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81}{90} \cdot 0,254 V^2} = 0,235 V. \end{aligned}$$

Ist $V = 18,9$ m/Sek., so muss $v \geq 4,45$ m/Sek. sein.

Ich habe in ähnlicher Weise auch den Luftwiderstand eines gleichen Zuges im *Gotthardtunnel* berechnet und für offene Portale ohne Lüftung gefunden $p_2 - p_3 = 0,068 V^2$ und bei ruhender Luft im Tunnel $p_2 - p_3 = 0,100 V^2$.

Es zeigt sich also, dass sich der Luftwiderstand in zweigeleisigen Tunneln nur sehr wenig von demjenigen auf freier Strecke unterscheidet.

Diese Beispiele beziehen sich auf den stationären Zustand, in welchem sich die Wirkung der Bewegung des Zuges auf die ganze Luftsäule des Tunnels übertragen hat. Bei der Einfahrt des Zuges in den Tunnel wird dieser Zustand noch nicht erreicht sein und es stösst der Zug, falls keine Lüftung vorhanden ist, auf ruhende Luft. Der Widerstand verhält sich dann ebenso wie in dem Beispiel mit geschlossenen Portalen. Ähnlich ist der Zustand bei Vorhandensein einer Lüftung. Der Widerstand des Zuges wird bei der Einfahrt immer grösser sein als im stationären Zustand, es sei denn, dass die Lüftungsgeschwindigkeit in der Richtung der Fahrt grösser als v_1 ist.

Ob die numerisch berechneten Verhältnisse tatsächlich zutreffen, müsste an Hand von Versuchen nachgewiesen werden. Der Mehr-Widerstand des Bahnzuges im Tunnel kann durch vergleichende Auslaufversuche im Tunnel und ausserhalb desselben ermittelt werden. Die Luftpressungen misst man am besten durch Wassermanometer sowohl an der Vorder- und an der Hinterfront des Zuges wie auch an den Tunnelportalen bei gleichzeitiger genauer Beobachtung der Barometerstände, Temperaturen und der Luftfeuchtigkeit. Die Luftgeschwindigkeiten kann man vermittelst Schalenkreuzanemometer bestimmen. Es wird sich bei diesen Messungen, deren Durchführung sehr zu empfehlen wäre, zeigen, inwieweit die angenommenen Koeffizienten zu berichtigen sind.

Welchen Einfluss der vermehrte Luftwiderstand im *Simplontunnel* auf die ganze Leistung des Bahnzuges ausüben kann, ergibt folgende Rechnung:

Bei ruhender Luft im Tunnel ist die Pressung $p_2 - p_3 = 0,254 V^2$. Beträgt die Fahrgeschwindigkeit 68 km/Std. (18,9 m/Sek.), so ist der Luftwiderstand:

$$W_1 = (p_2 - p_3) V^2 F_z = 0,254 \cdot 18,9^2 \cdot 10 = 907 \text{ kg.}$$

Auf freier Strecke ist derselbe entsprechend den Ergebnissen der Schnellbahnversuche nur

$$W_2 = 0,067 \cdot 18,9^2 \cdot 10 = 239 \text{ kg.}$$

Der Unterschied beträgt somit 668 kg.

Bei Verwendung der Widerstandsformel

$$W_{\text{kg/t}} = 2,5 + \frac{V^2 \text{ km/Std.}}{1000}$$

ist der Zugwiderstand für einen Zug von 300 t Anhängewicht auf 2 ‰ Steigung bei 68 km/Std., entsprechend den vertraglichen Vorschriften für die Simplon-Lokomotiven, auf freier Strecke 3300 kg (830 P. S.), im Tunnel aber 3968 kg (1000 P. S. an den Treibrädern). Die Erhöhung beträgt 20 ‰. Man sieht daraus, dass unter obigen Voraussetzungen mit 3½ t Zugkraft am Radumfang, wie sie im italienischen Lieferungsvertrage für diese Lokomotiven verlangt wurden, mit Rücksicht auf den erhöhten Luftwiderstand nicht auszukommen ist. Noch weniger wird das der Fall sein, wenn auch die Südrampe aufwärts mit 68 km/Std. befahren werden soll, was in Anbetracht der ohnedies langen und unangenehmen Tunnelfahrt dringend zu wünschen wäre. Die angegebene Zugkraft gestattet mit dieser Geschwindigkeit höchstens 140 Nettotonnen zu befördern. Es ist sehr zu bedauern, dass die durch die Verhältnisse bedingte zu geringe Leistungsfähigkeit der Lokomotiven es nicht ermöglicht, die unbestrittenen Vorteile des elektrischen Betriebes voll zur Geltung zu bringen.

Elektromotorisches Handstellwerk für Weichen und Signale.

Bekanntlich sind die Fälle keineswegs selten, dass infolge bedeutender Gefälle oder mangelhafter Aussicht oder wegen anderer örtlicher Aussergewöhnlichkeiten — man denke beispielsweise an jene Bahnhöfe, wo Stationsgebäude und Bahnsteig am äussersten Ende liegen oder wo hinter der Station Nebenstrecken abzweigen u. s. w. — Signale oder Weichen von einem weit entfernten Stellorte aus bedient werden sollen. Das Stellen solcher Signale oder Weichen lediglich mittels mechanischer Vorrichtungen bietet unter Umständen grosse und in Krümmungen bei Abständen über 1200 m in der Regel geradezu unüberwindliche Schwierigkeiten, oder die Anlage erheischt besondere wirtschaftliche Opfer, wie allenfalls die Zwischenschaltung eines Wärterpostens oder die Errichtung eines eigenen getrennten Stellwerkes, oder sie verlangt wohl auch eine besondere Sicherung durch Weichenschlösser oder ähnliche Massnahmen, welche mindestens eine Erschwerung und Verlangsamung der Dienstauführung bedeuten.

Unter den gedachten Voraussetzungen erschiene es sonach geboten, zur Leistung der Umstellarbeit eine Auxiliarkraft heranzuziehen, wie dies bei den verschiedenen neuern Kraftstellwerken geschieht; allein von all dem auf diesem Gebiete Vorhandenen lässt sich dem ins Auge gefassten Fall nichts anpassen, weil es eben schon aus wirtschaftlichen Gründen als ausgeschlossen gelten darf, für den Betrieb einzelner Signale oder Weichen oder auch für ganze Stellwerkanlagen kleiner Stationen erst noch kostspielige Sonderanlagen zur Gewinnung von Pressluft, Presswasser oder von elektrischer Energie u. s. w. zu errichten. Aber auch die ältern einschlägigen Anordnungen, wie die verschiedenen mit Schwachstrom gesteuerten und mit unterlegten Uhrwerken betriebenen Stellwerke oder etwa Einrichtungen wie die *Longschen*, die mittels Wechselströme aus *Siemensschen* Magnetinduktoren angetrieben werden, sind gegenüber den heutigen auf Vollbahnen für die Fernbedienung zu stellenden Anforderungen durchaus unzureichend, da sie mindestens zum Stellen von Weichen keine Eignung besitzen und sich also auch dem zentralisierten Dienst schwer oder gar nicht anpassen lassen.