

Zur Kritik der Widerstandsformeln, insbesondere für Schmalspur

Autor(en): **Gruenewaldt, v.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **85/86 (1925)**

Heft 8

PDF erstellt am: **19.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-40175>

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: Zur Kritik der Widerstandsformeln, insbesondere für Schmalspur. — Künstliche Verlandung als Anfangstadium von Flussregulierungen. — Aus dem Bürgerhaus-Band, I. Teil. — Von der Tätigkeit der Deutschen Studien-Gesellschaft für Automobil-Strassen-Bau. — Der Umbau und die Verbreiterung der Rheinbrücke bei Düsseldorf. — Schutz von Schwachstrom-Anlagen gegen Einwirkung von Strömen elektrischer

Bahnen. — Zur Frage eines Zürcher „Zoo“. — Miscellanea: Betonstrassen in Nordamerika. „Durchbruch“ beim Zeitglockenturm in Bern. Der III. Internationale Kongress für Luftschifffahrt. Neues Wasserkraftwerk in Ulm. Aargauische Gewerbe-Ausstellung in Baden. Die Hundwilertobel-Brücke. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. S. T. S.

Band 86.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 8

Zur Kritik der Widerstandsformeln, insbesondere für Schmalspur.

Von Dr. Ing. v. GRUENEWALDT, Karlsruhe.

Untersuchungen über Betriebskosten bei verschiedenen Spurweiten haben den Verfasser dieser Zeilen veranlasst, sich eingehender mit den Widerstandsformeln zu befassen, wobei es sich erwies, dass es wirklich brauchbare Formeln von einigermaßen allgemeiner Gültigkeit, insbesondere für Schmalspur, eigentlich nicht gibt. Die Formeln in der „Hütte“ und im „Taschenbuch für Bauingenieure“, die den heutigen Verhältnissen immerhin besser entsprechen als die älteren Formeln von „Haarmann“¹⁾, sind in ihren zahlenmässigen Beiwerten z. T. jedenfalls unrichtig²⁾. Neue Formeln lassen sich aber nur auf Grund von Versuchen aufstellen, an denen es für Schmalspur noch fast ganz fehlt.

Im folgenden soll versucht werden, auf Grund von logischen Erwägungen, deren Unterlagen aber ungenau sind, Formeln zu entwickeln, denen immerhin eine grössere *Wahrscheinlichkeit* innewohnen dürfte, als den Formeln der „Hütte“. Einwandfreie Formeln können *nur* Versuche ergeben, die unter Berücksichtigung der verschiedenen auf den Widerstand wirkenden Faktoren durchgeführt werden.

Widerstandsformeln für Wagen.

Frank wie Strahl geben den Widerstand der Wagen für einen Güterzug aus teils offenen, teils geschlossenen, zum Teil beladenen und zum Teil leeren Wagen zu

$$W_w = 2,5 + 0,0005 V^2 \text{ kg/t}$$

an. Diese Formel gilt für Vollspur, und V ist als tatsächliche Geschwindigkeit vermehrt um 12 km/h zur Berücksichtigung von Seitenwind anzusehen. In Buchstaben lautet die Formel

$$W_w = a + bV^2$$

Der Wert $b = 0,0005$ ist durch viele Versuche bestätigt und kann beibehalten werden. Der Wert a dagegen ist für Vollspur entschieden zu hoch.

Nach der Formel im „Taschenbuch für Bauingenieure“ (S. 1324) ist (nach Vornahme der erforderlichen Korrekturen, siehe Anmerkung 2)

$$a = \frac{2000}{d} (f_1 q + f_2) \text{ kg/t}$$

oder nach Einstellen der Zahlenwerte für $f_1 = 0,01$ und für $f_2 = 0,05 \text{ cm}$

$$a = \frac{20}{d} (q + 5)$$

Werden als für Güterwagen übliche Masse (in cm) angenommen

	Raddurchmesser d	Achsschenkeldurchmesser $2q$
Vollspur . . .	100	11
Meterspur . . .	80	10
75 cm Spur . . .	70	9

so ergibt sich für a bei

Vollspur	$a = 2,1$
Meterspur	$a = 2,5$
75 cm Spur	$a = 2,7$

¹⁾ „Die Kleinbahnen“, Berlin 1897.

²⁾ Es mag bei dieser Gelegenheit darauf hingewiesen werden, dass in den Handbüchern bei Erörterung des Zugwiderstands in der Regel grosse Ungenauigkeit herrscht. So werden öfters Kolbenzugkraft und Zugkraft am Triebbradumfang verwechselt. Im Taschenbuch für Bauingenieure z. B. (III. Auflage, S. 1324) sind in der Formel und den Erläuterungen dazu nicht weniger als vier Fehler: in der Formel selbst muss es heissen: $\frac{\lambda F}{nq}$ nicht $\frac{\lambda F}{q}$; der Beiwert der rollenden Reibung f_2 ist nicht gleich 0,005 (absolute Zahl), sondern 0,0005 m; q ist der *Halbmesser*, nicht der Durchmesser des Achsschenkels!

Der Beiwert b ist gleich

$$b = \beta + \frac{\lambda F}{nq};$$

wird von β , das von der Beschaffenheit der Geleise, Zahl der Schienenstösse u. dergl. abhängt und analytisch kaum zu erfassen ist, abgesehen, so muss sich b bei den verschiedenen Spurweiten verhalten wie

$$\frac{F_1}{q_1} : \frac{F_2}{q_2} : \frac{F_3}{q_3} \text{ (nicht wie } F_1 : F_2 : F_3)$$

Das Verhältnis: $F_1 : F_2 : F_3$ ist etwa 5 : 3 : 2; das Verhältnis $q_1 : q_2 : q_3$ bei im Durchschnitt zur Hälfte beladenen Wagen von 15 t, 12 t und 10 t Tragfähigkeit bei 9 t, 6 t und 5 t Eigengewicht, was mittlern Verhältnissen entsprechen dürfte, 16,5 : 12 : 10.

Wird b bei Vollspur gleich 0,0005 angenommen, so ergibt sich für

$$\text{Meterspur } b = 0,000412 \text{ bzw. rd. } 0,0004$$

$$75 \text{ cm Spur } b = 0,00033 \text{ bzw. rd. } 0,0003$$

Wir erhalten also folgende Formeln für den Wagenwiderstand:

		Hütte und Taschenbuch
Vollspur	$W_w = 2,1 + 0,0005 V^2$	$2,5 + 0,0005 V^2$
Meterspur	$W_w = 2,5 + 0,0004 V^2$	$2,6 + 0,0003 V^2$
75 cm Spur	$W_w = 2,7 + 0,0003 V^2$	$2,7 + 0,0002 V^2$

Widerstandsformeln für (Dampf)-Lokomotiven.

Hier liegen die Verhältnisse wegen der Triebwerkswiderstände, wegen der gleitenden Reibung der rollenden Räder, des Luftwiderstandes der Zylinder, der durch die hin- und hergehende Bewegung der Maschinenteile verursachten Unregelmässigkeiten des Laufs usw. wesentlich komplizierter, doch soll auch hier versucht werden, durch einige vereinfachende Annahmen zu *wahrscheinlicheren* Formeln zu gelangen, als die in den Taschenbüchern empfohlenen es sind.

Für Vollspur gibt die Hütte

$$W_c = 2,6 c + 0,00075 \cdot c V^2 \quad ^3)$$

wo c die Zahl der gekuppelten Achsen ist — Strahl schlägt vor (Z. d. V. D. I. 1913)

$$W_c = \frac{2,5 L_1 + a L_r + 0,006 F_1 V^2}{L + T}$$

worin L das gesamte Lokomotivgewicht, T das Gewicht des Tenders, L_1 das auf den Laufachsen von Lokomotive und Tender ruhende Gewicht, L_r das Gewicht auf den Triebachsen.

Für Zwillingslokomotiven ist nach den Zahlenangaben von Strahl a recht genau

$$a = 4,2 \sqrt{c};$$

0,006 $F_1 V^2$ stellt nur den Luftwiderstand der fahrenden Lokomotive dar. Für eine Tenderlokomotive ohne Laufachsen (alle Achsen gekuppelt) nimmt die Strahl'sche Formel den Wert

$$W_1 = 4,2 c + \frac{0,006 F_1}{L} V^2 \text{ an.}$$

Für Nebenbahnlokomotiven kann $\frac{0,006 F_1}{L}$ zu rund 0,0015 gerechnet werden; es wird also

$$W_1 = 4,2 \sqrt{c} + 0,00150 V^2$$

³⁾ Die Veränderung des von der Geschwindigkeit unabhängigen Teiles der Widerstandsformel nach der Quadratwurzel der Zahl der Kuppelachsen ist nach Versuchen berechnet; eine physikalische Begründung ist nicht ersichtlich.



Abb. 3 und 4. Wolfsche Wand an der Tessinmündung in den Langensee, zur Verlandung des links abbiegenden Flussarms (vergl. Abb. 1 und 2).

Die Formel der Hütte berücksichtigt auch im Koeffizienten von V^2 die Zahl der gekuppelten Achsen, wenn auch die Art, in der es geschieht, augenscheinlich falsch ist: der grösste Teil des Beiwertes von V^2 stellt den Luftwiderstand gegen die Stirnfläche der Lokomotive dar und dieser Widerstand ist natürlich unabhängig von der Zahl der Kuppelachsen; abhängig von ihr sind dagegen die Widerstände infolge der Stosswirkungen im Triebwerk.

Den Versuchen, auf die die Formel der Hütte gegründet ist, haben wohl dreifach gekuppelte Achsen zugrunde gelegen: es wird also $0,00075 \cdot c = 0,00225$; nun könnte man für C-Lokomotiven den Koeffizienten von V^2 schreiben $0,00025 c + 0,00150$ (Frank gibt als Koeffizienten von V^2 wegen der Unebenheiten des Geleises usw. für Wagen $0,000142^4$) an (in dem Koeffizienten $0,0005$ enthalten), es kann also mit einiger Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass der Koeffizient $0,00025 c$ einigermaßen den Verhältnissen bei Lokomotiven entspricht und auch für eine andere Zahl von Kuppelachsen Gültigkeit hat.

Es soll weiter von den Werten für dreifach gekuppelte Lokomotiven ohne Laufachsen ausgegangen werden. Die Formeln nehmen dann die Werte an:

$$\begin{aligned} \text{Hütte: } W_1 &= 4,5 + 0,00225 V^2 \\ \text{Strahl: } W_1 &= 7,3 + 0,0015 V^2 \end{aligned}$$

Für V (Fahrgeschwindigkeit + 12 km/h Seitenwind) = 61 km werden diese Ausdrücke gleich; diese Geschwindigkeit ist aber grösser als die auf Nebenbahnen übliche, sodass hier die Formel der Hütte zu kleine Werte ergibt; für $V = 40$ km ergibt in der Formel der Hütte ein Koeffizient von 3,5 statt 2,6 $\sqrt{c}$ bei unverändertem Beiwert von V^2 Gleichheit der Ausdrücke. Es könnte also für Vollspur folgende Formel angenommen werden:

$$W_1 = 3,5 \sqrt{c} + (0,00025 c + 0,00150) V^2$$

Wird nun weiter angenommen, dass sich die Beiwerte von $\sqrt{c}$ und c bei den verschiedenen Spurweiten ebenso verhalten wie die Werte a der Wagenformeln, d. i. wie 2,1 : 2,5 : 2,7 und dass das zweite Glied des Beiwertes von V^2 proportional dem Gewicht der Lokomotive ist, so ergibt sich bei einem Verhältnis der Lokomotivgewichte von 6 : 4,5 : 3,75 für Meterspur

$$W_1 = 4,16 \sqrt{c} + (0,0003 c + 0,00120) V^2$$

und für 75 cm Spur

$$W_1 = 4,5 \sqrt{c} + (0,00032 c + 0,00096) V^2$$

und wir erhalten für C-Tenderlokomotiven folgende Gleichungen

		Hütte
Vollspur	$W_1 = 6 + 0,00225 V^2$	$4,5 + 0,00225 V^2$
Meterspur	$W_1 = 7,2 + 0,00210 V^2$	$4,68 + 0,00150 V^2$
75 cm Spur	$W_1 = 7,8 + 0,00200 V^2$	$4,85 + 0,00100 V^2$

⁴ Es ist allerdings anzunehmen, dass die Geleiseunebenheiten und die Stosswirkungen der Maschine sich nach einer höheren Potenz von V als der zweiten ändern.



Abb. 1. Tessinmündung April 1914. — Masstab 1:9000, Meterkurven.

Auf die gleiche Art liessen sich Widerstandsformeln auch für andere Lokomotivformen konstruieren⁵⁾.

Es wird keineswegs angenommen, dass die hier entwickelten Formeln tatsächlich richtig sind; richtige Werte können, wie bereits betont, nur aus systematisch durchgeführten Versuchen gewonnen werden.

Wohl aber wird angenommen, dass die hier entwickelten Formeln den tatsächlichen Werten wesentlich näher kommen, als die jetzt schon ein Viertel Jahrhundert alten Formeln der Hütte und des Taschenbuchs für Bauingenieure, und dass sie fürs erste den Bedürfnissen des Bauingenieurs beim Entwerfen und Vergleichen von Eisenbahnlinien eher genügen dürften.

Künstliche Verlandung als Anfangstadium von Flussregulierungen.

Von Ing. A. von STEIGER, Bern.

Die Korrektur von geschiebeführenden Flüssen erheischt in ihrem ersten Stadium öfters den Abbau von Flussarmen und die Einschränkung des für den Abfluss gewählten Gerinnes. Die Erstellung von unüberströmbaren Dämmen führt hierbei am schnellsten zum Ziele, erfordert

⁵⁾ Man könnte die Formel für Vollspurlokomotiven in allgemeiner Form vielleicht so schreiben:

$$W_1 = \frac{2,5 L_1 + 3,5 \sqrt{c} L_r + (0,00025 c + 0,006 F) V^2}{L + T}$$

oder vielleicht besser:

$$W_1 = \frac{2,5 L_1 + 3,5 \sqrt{c} L_r + \left(\frac{0,025 c}{d} + 0,006 F \right) V^2}{L + T}$$

wo d der Durchmesser des Triebbrades in cm ist.