

Will man den Zug auf eine Weglänge von l^m auf die Geschwindigkeit V bringen, so braucht man hierfür eine zusätzliche Zugkraft von $Z_p^{kg} = 1000 \text{ Gt} \cdot \left(\frac{4 V^2}{l^m}\right)$. Für die Weglängen $l = 500$ (I), 1000 (II), 1500 (III) und 2000 m (IV) sind die hiernach errechneten Werte für w_p in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit V aus den in Abb. 18 eingetragenen Schaulinien I bis IV abzulesen.

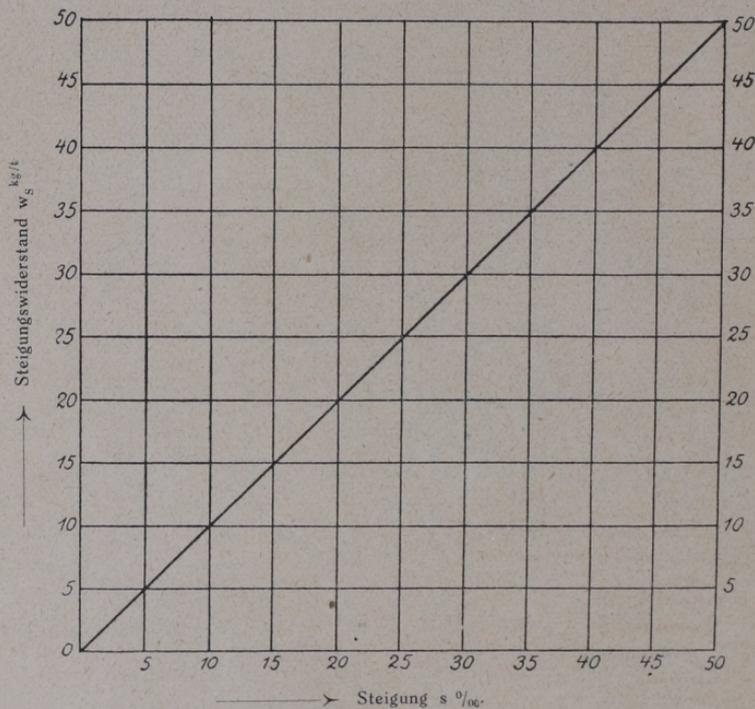


Abb. 17. Steigungswiderstand $w_s^{kg/t}$ für verschiedene Steigungen.

3. Widerstandsformeln in der geraden wagerechten Strecke.

I. Clark, älteste Widerstandsformel:

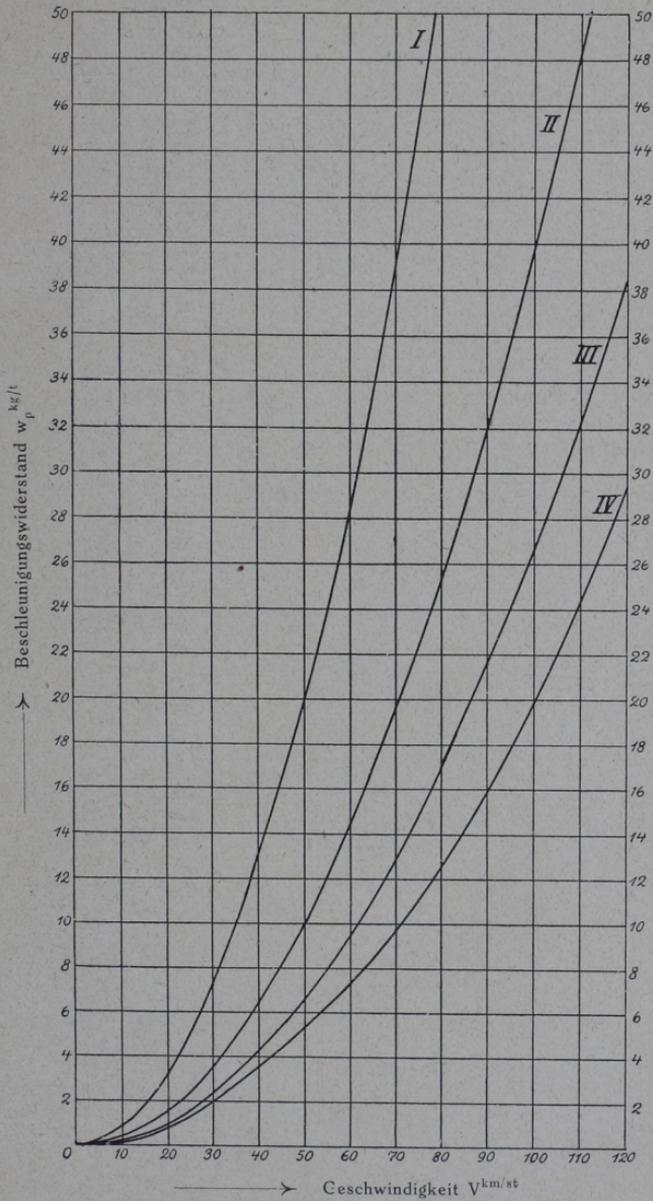
$$W^{kg} = (G_L + G_w)t \cdot \left(2,4 + \frac{V^2}{1000}\right). \text{ Hierin ist}$$

G_L = Gewicht von Lokomotive nebst Tender in t

G_w = " der Wagen in t

V = Fahrgeschwindigkeit in km/st

$$\text{oder } w^{kg/t} = 2,4 + \frac{V^2}{1000}$$



Schaulinie I . . . $l = 500$ m Schaulinie III . . . $l = 1500$ m
 " II . . . $l = 1000$ m " IV . . . $l = 2000$ m

Abb. 18. Beschleunigungswiderstand w_p $\frac{\text{kg}}{\text{t}}$ für verschiedene V nach 500, 1000, 1500 und 2000 m Anfahrweg l .

Die Clark'sche Formel gab ziemlich richtige Werte, solange die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge noch klein waren. Als sie größer wurden, erkannte man, daß das zweite Glied mit V^2 zu große Werte ergab. Daher stellte aus Versuchen heraus die E. D. Erfurt die sogenannte „Erfurter Formel“ auf.

II. Erfurter Formel:

$$w_{\text{kg/t}} = 2,4 + \frac{V^2}{1300}$$

In Formel I und II ist der Reibungswiderstand bei Lokomotiven und Wagen derselbe, was tatsächlich nicht zutrifft. Später erkannte man richtiger, daß der Zugwiderstand auf $1 : \infty$ in einer Geraden nicht eine Funktion des Gewichtes allein sein kann, sondern eine Funktion des Gewichtes und der dem Wind entgegenstehenden Flächen (Windäquivalentflächen), daß also der Luftwiderstand von der Zusammensetzung des Zuges abhängt. Am vordersten Fahrzeug ist er am stärksten, geringer bei den über das vorhergehende Fahrzeug hervorragenden Querschnittsflächen der Wagen, und am kleinsten an den nicht vorstehenden Endflächen jedes Wagens. Man kann den Luftwiderstand herabmindern durch schneidenförmige Ausbildung der Flächen am vorderen und hinteren Zugende; ferner durch Verkleinerung der Abstände zwischen den einzelnen Fahrzeugen. Bei langen Wagen ist der Einfluß des Windes am kleinsten, und er läßt sich bedeutend verkleinern durch Verbindung der Wagen mittels Faltenbälgen.

III. Frank.

Er hat zur Berücksichtigung der vorerwähnten Einflüsse und der verschiedenen Zugzusammensetzungen an Stelle der wirklichen Lokomotivquerflächen und Wagenquerflächen, zwecks Feststellung des Luftwiderstandes, Rechnungsflächen eingeführt und nach angestellten Ablaufversuchen mit einzelnen Lokomotiven und ganzen Zügen die folgenden Formeln aufgestellt:

$$\text{für Lokomotiven } w_1^{\text{kg/t}} = 2,5 + 0,0142 \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2 + 0,54 \cdot 1,1 \cdot \frac{FL}{GL} \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2$$

$$\text{für Wagen } \dots w_w^{\text{kg/t}} = 2,5 + 0,0142 \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2 + 0,54 \cdot \frac{2 + n \cdot f_w}{n \cdot q} \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2$$

Hierin bedeuten:

- FL die Größe der Lokomotiv-Querprojektion in Quadratmeter, FL = 10 qm bei großen, regelspurigen Lokomotiven;
- 1,1 einen Beiwert, um die verschiedenen, hintereinanderliegenden Flächen zu berücksichtigen, die zur Vergrößerung des Windwiderstandes beitragen;
- 1,1 FL die Rechnungsfläche (Windäquivalentfläche) zur Berechnung des Luftwiderstandes der Lokomotive in qm;
- f_w die mittlere Windäquivalentfläche eines Wagens; sie ist 0,56 für jeden Personen- und bedeckten Güterwagen, 1,62 für jeden offenen leeren Güterwagen, 0,32 für jeden offenen beladenen Güterwagen.

0,76 ein Mittelwert für jeden Güterwagenzug, bestehend
 aus $n/2$ gedeckten Wagen,
 „ $n/4$ offenen leeren Wagen,
 „ $n/4$ offenen beladenen Wagen;

n die Wagenzahl;

2 die Querfläche des ersten der Lokomotive folgenden Wagens in q_m ;

q das mittlere Gewicht eines Wagens in t .

Für den ganzen Zug wird

$$W_{gz} = W_L + W_w \text{ oder } W_{gz}^{kg} = (G_L + G_w) t \cdot \left[2,5 + 0,0142 \cdot \left(\frac{V}{10} \right)^2 \right] \\ + 0,54 \cdot 1,1 \cdot F_L^{qm} \cdot \left(\frac{V}{10} \right)^2 + 0,54 \cdot (2 + n \cdot f_w) q_m \cdot \left(\frac{V}{10} \right)^2$$

Die Formel gilt für alle Züge, ausgenommen für D-Züge (Wagen mit Faltenbälgen) und für Züge mit Kurzkuppelungen, weil Frank mit solchen Zügen keine Versuche gemacht hat. Beispiele für einen Abteilwagenzug, bestehend aus 10 Abteilwagen und für einen „mittleren“ Güterwagenzug sind in den Zusammenstellungen 4 und 5 durchgerechnet.

Im Aufbau muß man die Frank'sche Formel als richtig ansehen; höchstens könnten Änderungen in folgender Weise notwendig werden. Da bei Frank der Reibungswiderstand für Lokomotiven und Wagen jedesmal der gleiche, nämlich $2,5 \text{ kg/t}$, er aber bei Lokomotiven höher sein muß als bei Wagen, empfiehlt es sich, den nach Frank errechneten Lokomotivwiderstand nachträglich nach einem der beiden folgenden Grundsätze zu vergrößern:

- a) Man denke sich, W_L gelte für zweigekuppelte Lokomotiven; für dreigekuppelte Lokomotiven mache man einen Zuschlag von $0,5 \text{ kg/t}$ Lokomotivgewicht, entsprechend für mehr Kuppelachsen. Wenn also für Zweikuppler der Reibungswiderstand $2,5 \text{ kg/t}$ war, so ist er

für Dreikuppler	3,0 kg/t,
„ Vierkuppler	3,5 „
„ Fünfkuppler	4,0 „

- b) $Z_i = \frac{Z_e}{\eta}$. Man kann Z_e belassen, wie es sich aus der Widerstandsformel ergeben hatte und erhält daraus Z_i , indem zu setzen ist

$\eta = 0,93$	bei 1 Kuppelachse,
$\eta = 0,90$	„ 2 Kuppelachsen,
$\eta = 0,87$	„ 3 „
$\eta = 0,85$	„ 4 „
$\eta = 0,82$	„ 5 „

IV. Schnellbahn-Studiengesellschaft.

Berücksichtigt — im Gegensatz zu Frank — verschieden große Reibungswiderstände bei Lokomotiven und Wagen. Die „Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen“ stellte in den Jahren 1902 bis

Zusammenstellung 4.

Widerstandsberechnung nach „Frank“ für „Abteil-Wagenzug“.

$$W_L + W_w = GL \cdot \left[2,5 + 0,0142 \cdot \left(\frac{V_1}{10} \right)^2 \right] + 0,54 \cdot 1,1 \cdot FL \cdot \left(\frac{V}{10} \right)^2$$

$$+ G_w \cdot \left[2,5 + 0,0142 \cdot \left(\frac{V}{10} \right)^2 \right] + 0,54 \cdot (2 + n \cdot f_w) \cdot \left(\frac{V}{10} \right)^2$$

$$= 520 \left[2,5 + 0,0142 \cdot \left(\frac{V}{10} \right)^2 \right] + 0,54 \cdot 18,6 \cdot \left(\frac{V}{10} \right)^2$$

Zugzusammensetzung:

10 Abteilwagen zu je $q = 40$ t Gewicht¹⁾Wagengewicht $G_w = 40 \times 10 = 400$ tLok.- und Tendergewicht $GL = 120$ tGesamt-Zuggewicht $G_{gz} = 520$ t $f_w = 0,56$ qm; $FL = 10$ qm.

$$W_{gz} = 1300 + 17,428 \cdot \left(\frac{V}{10} \right)^2 = 1300 + 5,73 V^2$$

Steigungen	Widerstände W in kg bei V in km/st bzw. v in m/sek											
	$V = 10$ $v = 2,77$	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1 : ∞	1 320	1 370	1 460	1 580	1 735	1 930	2 155	2 420	2 720	3 045	3 420	3 830
1 : 500	2 360	2 410	2 500	2 620	2 775	2 970	3 195	3 460	3 760	4 085	4 460	4 870
1 : 400	2 620	2 670	2 760	2 880	3 035	3 230	3 455	3 720	4 020	4 345	4 720	5 130
1 : 300	3 055	3 105	3 195	3 315	3 470	3 665	3 890	4 155	4 455	4 780	5 155	5 565
1 : 250	3 400	3 450	3 540	3 660	3 855	4 010	4 235	4 500	4 800	5 125	5 500	5 910
1 : 200	3 920	3 970	4 060	4 180	4 385	4 630	4 755	5 020	5 320	5 645	6 020	6 430
1 : 150	4 785	4 835	4 925	5 045	5 200	5 395	5 620	5 885	6 185	6 510	6 885	7 295
1 : 125	5 480	5 530	5 620	5 740	5 835	6 090	6 315	6 580	6 880	7 205	7 580	7 990
1 : 100	6 520	6 570	6 660	6 780	6 935	7 130	7 355	7 620	7 920	8 245	8 620	9 030
1 : 60	10 020	10 070	10 160	10 280	10 435	10 630	10 855	11 120	11 420	11 745	12 120	12 530
1 : 40	14 320	14 370	14 460	14 580	14 735	14 930	15 155	15 420	15 720	16 045	16 420	16 830

1) Das eigentliche Gewicht ist etwas niedriger, aber auf 40 t abgerundet der leichteren Rechnung wegen.

Zusammenstellung 5.

Widerstandsberechnung nach „Frank“ für „Güterzug“.

Zugzusammensetzung:

30 Wagen gedeckt
 15 „ offen leer
15 „ offen beladen

60 = Wagenanzahl

$f_w = 0,76 \text{ qm}$; $FL = 10 \text{ qm}$

Mittleres Gewicht eines Wagens $q = 20 \text{ t}$

Wagengewicht $G_w = 60 \times 20 = 1200 \text{ t}$
 Lok.- und Tendergewicht $GL = 120 \text{ t}$
 Gesamt-Zuggewicht $G_{gz} = 1320 \text{ t}$

$$\begin{aligned}
 W_L + W_w &= GL \cdot \left[2,5 + 0,0142 \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2 \right] + 0,54 \cdot 1,1 \cdot FL \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2 \\
 &+ G_w \cdot \left[2,5 + 0,0142 \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2 \right] + 0,54 \cdot (2 + n \cdot f_w) \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2 \\
 &= 1320 \cdot \left[2,5 + 0,0142 \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2 \right] + 0,54 \cdot (11 + 2 + 60 \cdot 0,76) \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2 \\
 W_{gz} &= 3300 + 50,388 \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2 = 3300 + \frac{V^2}{1,98}
 \end{aligned}$$

Steigungen		Widerstände W in kg bei V in km/st bzw. v in m/sek					
		V = 10 v = 2,77	20 5,55	30 8,33	40 11,11	50 13,85	60 16,66
1 : ∞		3 351	3 502	3 754	4 108	4 562	5 118
1 : 500	2 ‰	5 991	6 142	6 394	6 748	7 202	7 758
1 : 400	2,5 ‰	6 651	6 802	7 054	7 408	7 862	8 418
1 : 300	3,33 ‰	7 747	7 898	8 150	8 504	8 958	9 514
1 : 250	4 ‰	8 631	8 782	9 034	9 388	9 842	10 398
1 : 200	5 ‰	9 951	10 102	10 354	10 708	11 162	11 718
1 : 150	6,66 ‰	12 142	12 293	12 545	12 899	13 353	13 909
1 : 125	8 ‰	13 911	14 062	14 314	14 668	15 122	15 678
1 : 100	10 ‰	16 551	16 702	16 954	17 308	17 762	18 318
1 : 60	16,66 ‰	25 342	29 902	30 154	30 508	30 962	31 518
1 : 40	25 ‰	36 351	36 502	36 754	37 108	37 562	38 118

1906 Schnellbahnversuche auf der Strecke Berlin-Zossen an, woraus die folgende Widerstandsformel entstand. Sie ist besonders geeignet für D-Züge, weil Versuche mit solchen zugrunde liegen.

$$W_{gz}^{kg} = W_L^{kg} + W_w^{kg} = G_L^t \cdot (4 + 0,027 \cdot V) + 0,0052 V^2 \cdot F_L^{qm} + G_w^t \cdot (1,3 + 0,0067 \cdot V) + 0,0052 V^2 \cdot \Sigma f_w^{qm}$$

Hierin bedeuten: $F_L \cong 10$ qm bei großen, regelspurigen Lokomotiven
 die Größe der Lokomotiv-Querprojektion,
 „ $\cong 7,5$ qm bei zugeschärfter Rauchkammertür,
 $f_w = 1$ qm für jeden D-Wagen,
 „ $= 2$ qm für jeden Abteilwagen.

In den Zusammenstellungen 6 und 7 sind Beispiele für einen Abteilwagen- und einen D-Zug durchgerechnet.

Für „Schnellbahn-Motorwagen“ gilt die Formel:

$$W^{kg} = G^t \cdot (1,8 + 0,0067 \cdot V) + 0,0052 \cdot V^2 \cdot F^{qm}, \text{ worin } F = 7,5 \text{ qm.}$$

V. Vereinfachte Widerstandsformeln.

Widerstand nur als Funktion des Gewichtes, nicht auch als Funktion der dem Wind entgegenstehenden Flächen.

$$\begin{aligned} w_{gz}^{kg/t} &\cong 2,5 + \frac{V^2}{4000} \left. \begin{array}{l} \text{D-Wagen,} \\ \text{vollbeladene offene Güterwagen,} \end{array} \right\} \\ \text{„} &\cong 2,5 + \frac{V^2}{3500} \quad \text{vierachsige Abteilwagen,} \\ \text{„} &\cong 2,5 + \frac{V^2}{2500} \left. \begin{array}{l} \text{zwei- oder dreiachsige Abteilwagen,} \\ \text{bedeckte Güterwagen,} \end{array} \right\} \\ \text{„} &\cong 2,5 + \frac{V^2}{2000} \quad \text{Güterzug, bestehend aus:} \\ &\quad \frac{1}{2} \text{ gedeckte Wagen, wenigstens halb beladen,} \\ &\quad \frac{1}{4} \text{ offene leere Wagen,} \\ &\quad \frac{1}{4} \text{ offene beladene Wagen,} \\ \text{„} &\cong 2,5 + \frac{V^2}{1000} \quad \text{offene leere Wagen,} \\ w_l^{kg/t} &\cong 2,5 + \frac{V^2}{1500} \quad \text{Lokomotive (nebst Tender) ohne Widerstand} \\ &\quad \text{des Triebwerkes, also wenn dieselbe „kalt ge-} \\ &\quad \text{zogen“ mit ausgehängtem Triebwerk.} \end{aligned}$$

Als Hilfstabelle zum Ausrechnen der Widerstände nach den „vereinfachten Widerstandsformeln“ dient die Zusammenstellung 8. Die Widerstände sind dort für ein Gesamtzuggewicht von 1000 t errechnet. Für leichtere bzw. schwerere Zuggewichte lassen sich die Fahrwiderstände hieraus leicht ermitteln.

VI. Sanzin¹⁾.

Gibt den Lokomotiv- und Tenderwiderstand nur für Lokomotiven unter Dampf. Sanzin trennt das Gewicht L_1 auf den Lokomotiv- und Tenderlaufachsen von dem Gewicht L_2 auf den Lokomotivkuppelachsen.

$$W_i^{kg} = 0,006 \cdot F \cdot V^2 + L_1^t \cdot (1,8 + 0,015 \cdot V) + L_2^t \cdot \left(a + \frac{0,1075}{D_m} \cdot V \right)$$

¹⁾ Z. V. D. I. 1907, S. 1699; Organ 1907, S. 69.

Zusammenstellung 6.

Widerstandsberechnung nach „Studiengesellschaft“ für „Abteil-Wagenzug“.

Zugzusammensetzung:

10 Abteilwagen zu je $q = 40$ t Gewicht¹⁾

Wagengewicht $G_w = 40 \times 10 = 400$ t

Lok- und Tendergewicht $GL = \frac{120}{520}$ t

Gesamt-Zuggewicht $G_{gz} = \frac{520}{520}$ t

$f = 2$ qm; $\Sigma(f) = 20$

$F = 10$ qm

$$W_L + W_w = GL \cdot (4 + 0,025 \cdot V) + 0,0052 \cdot V^2 \cdot F$$

$$+ G_w \cdot (1,3 + 0,0067 \cdot V) + 0,0052 \cdot V^2 \cdot \Sigma(f)$$

$$= 120 \cdot (4 + 0,027 \cdot V) + 0,052 \cdot V^2 + 400 \cdot (1,3 + 0,0067 \cdot V)$$

$$+ 0,104 \cdot V^2$$

$$W_{gz} = 1000 + 5,92 \cdot V + 0,156 \cdot V^2$$

Steigungen	Widerstände W in kg bei V in km/st bzw. v in m/sek											
	V = 10 v = 2,77	20 5,55	30 8,33	40 11,11	50 13,85	60 16,66	70 19,44	80 22,22	90 25,0	100 27,77	110 30,55	120 33,33
1:∞	1 075	1 185	1 320	1 490	1 685	1 920	2 175	2 475	2 780	3 152	3 540	3 960
1:500	2 115	2 225	2 360	1 530	2 725	2 960	3 215	3 515	3 820	4 192	4 580	5 000
1:400	2 375	1 485	2 620	2 790	2 985	3 220	3 475	3 775	4 080	4 452	4 840	5 260
1:300	2 810	2 920	3 055	3 225	3 420	3 655	3 910	4 210	4 515	4 887	5 275	5 695
1:250	3 155	3 265	3 400	3 570	3 765	4 000	4 255	4 555	4 860	5 232	5 620	6 040
1:200	3 675	3 785	3 920	4 090	4 285	4 520	4 775	5 075	5 380	5 752	6 140	6 560
1:150	4 535	4 650	4 785	4 955	5 150	5 385	5 640	5 940	6 245	6 617	7 005	7 425
1:125	5 235	5 345	5 480	5 650	5 845	6 080	6 335	6 635	6 940	7 312	7 700	8 120
1:100	6 275	6 385	6 520	6 690	6 885	7 120	7 375	7 675	7 980	8 352	8 740	9 160
1:80	9 775	9 885	10 020	10 190	10 385	10 620	10 875	11 175	11 480	11 852	12 240	12 660
1:40	14 075	14 185	14 320	14 490	14 685	14 920	15 175	15 475	15 780	16 152	16 540	16 960

¹⁾ Das eigentliche Gewicht ist etwas niedriger, aber auf 40 t abgerundet der leichteren Rechnung wegen.

Zusammenstellung 7.

Widerstandsberechnung nach „Studiengesellschaft“ für „D-Wagenzug“.

Zugzusammensetzung:

7 vierachsige D-Wagen zu je $q = 40$ t Gewicht4 sechssachsige „ „ „ $q = 50$ tWagengewicht $G_w = (7 \cdot 40) + (4 \cdot 50) = 480$ tLok.- u. Tendergewicht $G_L = 130$ tGesamt-Zuggewicht $G_{gz} = 610$ t $f = 1$ qm; $\Sigma(f) = 11$ $F = 10$ qm

$$\begin{aligned}
 W_L + W_w &= G_L \cdot (4 + 0,027 \cdot V) + 0,0052 \cdot V^2 F \\
 &+ G_w \cdot (1,3 + 0,0067 \cdot V) + 0,0052 \cdot V^2 \Sigma(f) \\
 &= 130 \cdot (4 + 0,027 \cdot V) + 0,052 \cdot V^2 + 450 \cdot (1,3 + 0,0067 \cdot V) \\
 &\quad + 0,0572 \cdot V^2
 \end{aligned}$$

$$W_{gz} = 1144 + 6,726 \cdot V + 0,1092 \cdot V^2$$

Steigungen	Widerstände W in kg bei V in km/st bzw. v in m/sek											
	$V = 10$ $v = 2,77$	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1:∞	1 220	1 320	1 445	1 590	1 755	1 940	2 150	2 380	2 635	2 910	3 205	3 535
1:500	2 500	2 600	2 725	2 870	3 035	3 220	3 430	3 660	3 915	4 190	4 485	4 815
1:400	2 745	2 845	2 970	3 115	3 280	3 465	3 675	3 905	4 155	4 435	4 830	5 060
1:300	3 250	3 350	3 475	3 620	3 785	3 970	4 180	4 410	4 665	4 940	5 235	5 565
1:250	3 660	3 760	3 885	4 030	4 195	4 380	4 590	4 820	5 075	5 350	5 645	5 975
1:200	4 270	4 370	4 495	4 640	4 805	4 990	5 200	5 430	5 685	5 960	6 255	6 584
1:150	5 290	5 390	5 515	5 660	5 825	6 010	6 220	6 450	6 705	6 980	7 275	7 600
1:125	6 100	6 200	6 325	6 470	6 635	6 820	7 030	7 260	7 515	7 790	8 085	8 415
1:100	7 320	7 420	7 545	7 690	7 855	8 040	8 250	8 480	8 735	9 010	9 305	9 635
1:60	11 385	11 485	11 610	11 755	11 920	12 105	12 315	12 545	12 800	13 075	13 370	13 700
1:40	16 470	16 550	16 695	16 840	17 005	17 190	17 400	17 630	17 885	18 160	18 455	18 785

Hierin bedeuten:

- L_1 das Gewicht auf den Lokomotiv- und Tenderlaufachsen in t,
 L_2 das Gewicht auf den gekuppelten Achsen in t,
 D den Kuppelraddurchmesser in m,
 F die Windäquivalentfläche \cong 8 bis 9 qm,
 $a = 5,5$ für Zweikuppler,
 $a = 7,0$ „ Dreikuppler,
 $a = 8,0$ „ Vierkuppler,
 $a = 8,8$ „ Fünfkuppler.

VII. Strahl¹⁾.

Nur für Lokomotiven unter Dampf und für Dauerleistungen, also bei Anstrengung bis zur Grenze der Verdampfungsfähigkeit.

$$w_i^{\text{kg/t}} = 2,5 + 0,067 \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2 + \left[a + 0,116 \cdot \frac{V}{D_m} \right] \cdot \left(\frac{G_r}{G_{L+T}}\right)^t$$

Hierin bedeuten:

- D den Kuppelraddurchmesser in m,
 G_r das Lokomotivgewicht auf den gekuppelten Achsen in t,
 G_{L+T} das betriebsfähige Gesamtgewicht von Lokomotive
 nebst Tender in t,
 $a = 2,5$ für Zweikuppler,
 $a = 4,0$ „ Dreikuppler,
 $a = 5,5$ „ Vierkuppler,
 $a = 7,0$ „ Fünfkuppler.

Tafel I²⁾ zeigt eine Übersicht älterer und neuerer Widerstandsformeln, ihre Formen und Benutzungsarten nebst Literaturangaben. In Abb. 19 sind die für einen bestimmten D-Zug nach verschiedenen Widerstandsformeln errechneten Gesamtwiderstände vergleichsweise aufgetragen.

4. Widerstände für Schmalspurlokomotiven.

$$w_{gz}^{\text{kg/t}} = w_l^{\text{kg/t}} + w_s^{\text{kg/t}} + w_k^{\text{kg/t}} = \text{Lauf-, Steigungs- und Krümmungswiderstand.}$$

Der Luftwiderstand (sonst ein Bestandteil von w_l) wird bei den vorkommenden geringen Geschwindigkeiten vernachlässigt.

$$w_l = 2,4 + \frac{V^2}{1000} \quad (\text{nach „Clark“}); \quad w_s = s \text{ ‰};$$

$$w_k = \frac{400}{R_m - 20} \quad \text{für 1000mm Spur,}$$

$$w_k = \frac{300}{R_m - 10} \quad \text{für 750mm Spur,}$$

$$w_k = \frac{200}{R_m - 5} \quad \text{für 600mm Spur und weniger.}$$

¹⁾ Anstrengung der Dampflokomotiven, Strahl, S. 30.

²⁾ Vgl. Anhang.