

Diese Leistung ist zu erhöhen, da sie auch bei z. B. 20 km/st Geschwindigkeit dauernd ausgeübt werden soll, auf

$$N_e = \frac{4300 \cdot 20}{270} \cong 320 \text{ PS}_e$$

$$N_i = \frac{N_e}{\eta} = \frac{N_e}{0,9} \cong 355 \text{ PS}_i$$

Heizfläche:

$$\text{Gewählt } \frac{N_i}{H} \cong 4,2 \text{ PS/qm, so daß } H = \frac{355}{4,2} = 84 \text{ qm.}$$

$$\text{Rostfläche: } \frac{H}{R} = 50, \quad R = \frac{84}{50} = 1,7 \text{ qm.}$$

Da die Lokomotive als Tenderlokomotive entworfen wird, so ist für Unterbringung von Wasser- und Kohlenvorräten auf der Maschine Sorge zu tragen. Hierfür werden zugrunde gelegt:

Wasserverbrauch 35 kg/tkm } bei guter westfälischer Steinkohle
 Kohlenverbrauch 4,3 kg/tkm } von etwa $7\frac{1}{2}$ facher Verdampfung.
 Wasserstationsentfernung 20 km voneinander; Kohle wird an den
 Endpunkten der Bahnlinie eingenommen.

Folglich müssen mitgeführt werden:

$$\text{an Wasser } \frac{Z_{\text{kg}}}{1000} \cdot 20 \cdot 35 = 3010 \text{ kg mindestens}$$

$$\text{an Kohlen } \frac{Z_{\text{kg}}}{1000} \cdot 60 \cdot 4,3 = 1110 \text{ kg mindestens.}$$

Da am Ende der Fahrt nicht der ganze Wasser- und Kohlenvorrat erschöpft sein darf, so wird ausgeführt:

$$\begin{array}{l} \text{Inhalt der Wasserkästen} \quad \dots \quad 3,5 \text{ cbm} \\ \text{Fassungsraum der Kohlenkästen} \quad 1,2 \text{ t}^1). \end{array}$$

E. Arbeitslagen von Dampflokomotiven.²⁾

Bei jeder Veränderung — z. B. bzgl. der Verbrennung im Kessel, der Füllung in den Zylindern oder der Geschwindigkeit während der Fahrt — ändert sich die Arbeitsentwicklung, oder verschiebt sich die sogen. „Arbeitslage“ der Lokomotive.

Zur Festsetzung der Arbeitslagen einer bestimmten Lokomotive muß man kennen: I) die Werte der Leistungen N_i , II) die Werte der Zylinderdrücke p_{mi} und der Zugkräfte Z_i , III) die Werte des Dampfverbrauchs δ_i für die PS_i -st.

$$\text{I. Werte der Leistungen } N_i^{\text{PS}} = (Z_i \cdot V) : 270 = (p_{mi} \cdot C_i) \cdot (V : 270).$$

Zunächst soll $N_{i\text{-gr}}$ einer vorhandenen Lokomotive bei V' und ϵ_{g} bestimmt werden, sodann die N_i -Schaulinie für alle etwa vorkommenden Fahrgeschwindigkeiten. V' ist die „wirtschaftlich beste“ Fahrgeschwindigkeit,³⁾ d. h. die Fahrgeschwindigkeit, bei der mit einem

¹⁾ 1 t Kohlen erfordern einen Raum von etwa 1,25 cbm.

²⁾ Gl. Ann. 1918, Bd. 82, S. 123. ³⁾ Organ 1915, S. 116.

Diagramm günstigster Dampfausnutzung die Kesselleistungsgrenze erreicht wird, bei der also die größte erzeugte Dampfmenge durch die Maschine bei bestem Wirkungsgrad verzehrt wird. Ist ε die Skalfüllung in % des Kolbenhubes, so ist ε_g die wirtschaftlich beste (günstigste) Füllung, bei der der Dampfverbrauch für die Leistungseinheit den Kleinstwert hat. Das erste¹⁾ Zugkraftkennzeichen C_1 für eine vorhandene Maschine ergibt sich aus der Arbeitsgleichung und läßt sich allgemein schreiben: $C_1 = (200 \cdot J) : (\tau \cdot D^{dm})$, worin J der Hubinhalt in Litern sämtlicher vorhandener Auspuffzylinder; C_1 geht über in die Werte auf Seite 70. Es ist also für irgend eine bestimmte Dampflokomotive stets das gleiche, da Zylinderdurchmesser d, Hub s, und Triebraddurchmesser D als bekannt gegeben sind.

Der mittlere Dampfdruck im Zylinder p_{mi} ist, wenn $\varepsilon = \varepsilon_g$, d. h. wenn die Füllung die des kleinsten Dampfverbrauches ist, $p_{mi} = p_{mig}$; er hat bei den üblichen Kesseldrücken die auf Seite 68 angegebene Größe.

Bei mittelguter deutscher Kohle vom Heizwert $h = 7000$ bis 7500, einem Kesseldruck von $p_k^{at abs}$ und mittelgutem Zustand des Kessels so daß die Verdampfungsziffer z für Satttdampf und z' für überhitzten Dampf die in Zusammenstellung 17 Spalte 4 angegebenen Zahlengrößen haben, können für β_{ig} — den günstigsten Kohlenverbrauch für $1PS_i$ — die Werte in Spalte 5²⁾ der Zusammenstellung 17 genommen werden. Hieraus wird bei einer Rostanstrengung (Brenngeschwindigkeit) von $B/R = 500$ (als Grundzahl):

$Ni_{-gr} = B/R : \beta = 312$ PS/qm	b. Sattd. einst. Deh.	$p_k = 13$ at abs
= 365	„ „ „ zweist. „ „	= 13 „
= 379	„ „ „ „ „ „	= 15 „
= 450	„ „ „ übh. D. einst. „ „	= 13 „ $t_{\bar{u}} = 325^\circ C$
= 472	„ „ „ „ „ zweist. „ „	= 15 „ „ = 325 „

Zusammenstellung 17.

Laufende Nr.	1	2	3	4	5
	Art und Ausnutzung des Dampfes	Abso-luter Kessel-druck p_k kg/qcm	Wärme-grade ³⁾ t_s bzw. $t_{\bar{u}}$ °C	Verdamp-fungs-ziffer z bzw. z'	Kohlen-ver-brauch $\beta_{ig} = B/Ni$ kg/PS _i
1	Satttdampf, einstufig. Deh.	13	$t_s = 190,6$	$z = 7,00$	1,60
2	„ „ zweistufig. „	13	„ = 190,6	„ = 7,00	1,37
3	„ „ „ „ „	15	„ = 197,2	„ = 6,98	1,32
4	Übh. Dampf, einstufig. „	13	$t_{\bar{u}} = 325$	$z' = 6,32$	1,11
5	„ „ „ zweistufig. „	15	„ = 325	„ = 6,32	1,06

1) Vgl. S. 70.

2) Für Zusammenstellung 16 errechnet und hier übernommen.

3) Hütte 1915, I, S. 417.

4) Vgl. auch Zusammenstellung 16.

Es wird z. B. N_{i-gr} für verschiedene S-Lokomotiven der preuß. Staatsbahnen bei einer Rostanstrengung von 500

S_6 -Lok. bei $R = 2,29 \text{ m}^2$ u. $\beta = 1,11 \text{ kg/PS}_i$	
d. h. $450 \text{ PS}_i/\text{m}^2$	1030 PS
S_7 -Lok. bei $R = 2,71 \text{ m}^2$ u. $\beta = 1,32 \text{ kg/PS}_i$	
d. h. $379 \text{ PS}_i/\text{m}^2$	1025 ..
S_9 -Lok. bei $R = 4,0 \text{ m}^2$ u. $\beta = 1,32 \text{ kg/PS}_i$	
d. h. $379 \text{ PS}_i/\text{m}^2$	1515 ..
S_{10} Vierling-Lok. bei $R = 2,82 \text{ m}^2$ und $\beta =$ $1,11 \text{ kg/PS}_i$ d. h. $450 \text{ PS}_i/\text{m}^2$	1270 ..
S_{10} Verb.-Lok. bei $R = 3,12 \text{ m}^2$ u. $\beta = 1,06 \text{ kg/PS}_i$	
d. h. $472 \text{ PS}_i/\text{m}^2$	1471 ..
S_{10} Drill.-Lok. bei $R = 2,82 \text{ m}^2$ u. $\beta = 1,11 \text{ kg/PS}_i$	
d. h. $450 \text{ PS}_i/\text{m}^2$	1269 ..

Zwecks Bestimmung der N_i -Schaulinie für alle Fahrgeschwindigkeiten gilt folgendes: Die Verhältniszahlen der Abb. 27 sind berechnet¹⁾ und mit den Ergebnissen vieler Leistungsversuchsfahrten mit Lokomotiven in Einklang gebracht. Sie setzen ungefähr gleich große Dampferzeugung i. d. St. für alle Geschwindigkeiten voraus. Bei V' wurde die Verhältniszahl für N_i gleich 1,000 gesetzt. Von V' abwärts fällt der Wert von N_i mangels genügender Dehnung des Dampfes, von V' aufwärts wegen Drosselung des Dampfes beim Ein- und Austritt in und aus den Zylindern und wegen relativ größerer innerer Wärmeverluste in den Zylindern, zufolge der notwendigen kleinen Füllungen.

Die ausgezogene Linie def in Abb. 26 stellt die mittlere Höchstleistung des Kessels dar; bei größerer oder geringerer Dampferzeugung verschiebt sie sich nach oben oder unten, etwa bis zu den punktierten Linien. Kesselleistungsgrenze def liegt also bei einer Lokomotive nicht unabänderlich fest, sondern ist sehr von der Güte des Brennstoffes und dem Wirkungsgrad des Kessels abhängig. In den Mitten der einzelnen, die jeweilige Arbeitslage darstellenden Vierecke in Abb. 26 seien Senkrechte errichtet gedacht, auf denen die durch Versuch gefundenen Werte von N_i aus Abb. 27 aufgetragen sind. Es seien somit die für die N_i -Schaulinie angegebenen Größen (Abb. 27) z. B. die Höhen der Ordinaten auf Linie def . Ein Verfolg der Linie def unterhalb $V = 0,4 V'$ ist nicht erforderlich, da hierbei die Zugkraft am Triebrod Z_e gewöhnlich schon die Reibungsgrenze, d. h. den Wert Z_r erreicht hat.

Die Reihen absoluter Fahrgeschwindigkeiten sind — je nach Vorkommen eines bestimmten V' — für einige etwa zutreffende Größen von V' errechnet und in der Zusammenstellung 18 unterhalb Abb. 27 eingetragen. Hat z. B. eine Lokomotive ein $V' = 80 \text{ km/st}$, so wird, wenn $N_{i-gr} = 1000 \text{ PS}$, $N_{i-gr} = 0,860 \cdot 1000 = 860 \text{ PS}$ bei $V = 48 \text{ km/st}$. V' läßt sich bestimmen aus $N_{i-gr} = (Z' \cdot V')$: 270 durch Einsetzen von $Z' = C_1 \cdot p_{mig}$. Ist z. B. für die S_{10} -Vierling das erste Zugkraftkennzeichen $C_1 = 1177$ und $p_{mig} = 3,7$, so wird $z' = 1177 \cdot 3,7 = 4355 \text{ kg}$ und $V' = (270 \cdot 1270) : 4355 = 78,8 \text{ km/st}$, da $N_{i-gr} = 1270 \text{ PS}^2$) war. Für

1) Organ 1915, S. 118.

2) Vgl. oben.

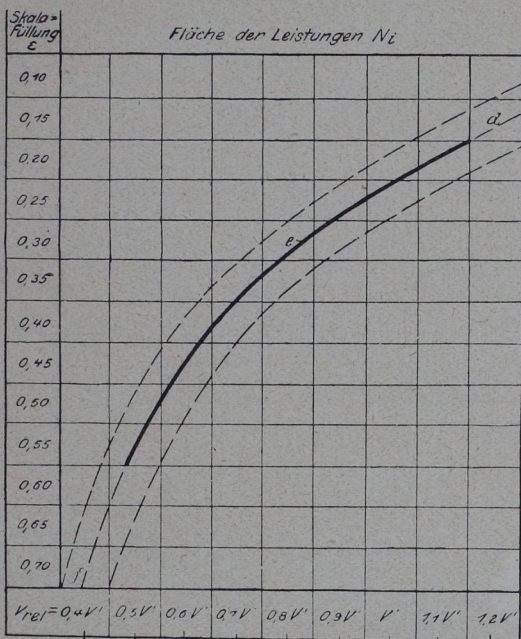


Abb. 26

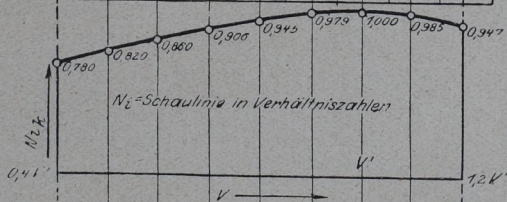


Abb. 27

	$V_{rel} = 0,4V'$	$0,5V'$	$0,6V'$	$0,7V'$	$0,8V'$	$0,9V'$	V'	$1,1V'$	$1,2V'$
V_{abs}	14	17,5	21	24,5	28	31,5	35	38,5	42
	16	20	24	28	32	36	40	44	48
	18	22,5	27	31,5	36	40,5	45	49,5	54
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	24	30	36	42	48	54	60	66	72
	28	35	42	49	56	63	70	77	84
	32	40	48	56	64	72	80	88	96
	36	45	54	63	72	81	90	99	108
	40	50	60	70	80	90	100	110	120
	44	55	66	77	88	99	110	121	132
48	60	72	84	96	108	120	132	144	

Zus. 18.

verschiedene S-Lokomotiven der preuß. Staatsbahnen sind die wirtschaftlich besten Fahrgeschwindigkeiten V' in der vorher angegebenen Weise berechnet und aus Zusammenstellung 19 Spalte 6 ersichtlich.

Zusammenstellung 19.

Laufende Nr.	1	2	3	4	5	6
	Bauart der Lokomotive	Höchstleistung N_{i-gr}	Zugkraft-Kennzeichen C_1	Zylinderdruck p_{mig} kg/qcm	Zugkraft Z' $= C_1 \cdot p_{mig}$ kg	Fahrgeschwindigkeit V' $= 270 \cdot \frac{N_{i-gr}}{Z'}$ km/st
1	S ₃	829	701	3,9	2734	81,9
2	S ₆	1030	908	3,7	3504	79,3
3	S ₇	1025	950	3,9	3705	74,6
4	S ₉	1515	1019	3,9	3975	84,2
5	S ₁₀ -Vierling	1270	1177	3,7	4355	78,8
6	S ₁₀ -Verbund	1471	1240	3,5	4341	91,5
7	S ₁₀ -Drilling	1269	1193	3,7	4414	77,6

II. Werte von p_{mi} und $Z_i = p_{mi} \cdot C_1$

Wird zunächst davon abgesehen, dass ε_g in geringem Maße auch abhängig ist von V , so liegt bei einstufiger Dehnung ε_g zwischen 0,2 und 0,25; bei zweistufiger Dehnung zwischen 0,15 und 0,2 bezogen auf den Niederdruckzyl. (bei 0,3 bis 0,4 bezogen auf den Hochdruckzyl.). Die Werte der mittleren Dampfdrücke p_{mi} seien im Zylinder durch Versuche ermittelt gedacht und als Senkrechte in der Mitte eines jeden Vierecks der Abb. 28 aufgetragen, so daß die Fläche der p_{mi} bzw. Z_i entsteht; denn da $Z = p \cdot C_1$ und C_1 eine Konstante bei einer bestimmten Lokomotive, so ist Z unmittelbar proportional p , also die Verhältniswerte von Z auch diejenigen von p . Sie seien bei V' gleich 1,000 gesetzt. Die Zugkräfte an der Kesselleitungsgrenze werden die größten Kesselzugkräfte Z_{ik} genannt, im Gegensatz zu irgend einer anderen Maschinenzugkraft $Z_i = p_{mi} \cdot C_1$ oder zur Reibungszugkraft Z_r .

Die Werte von p_{mi} an der Kesselleistungsgrenze bei der betreffenden Geschwindigkeit V in Abb. 29 liegen auf der Schaulinie *def*, die in Abb. 28 nur andeutungsweise verzeichnet ist. Die Art des Verlaufes dieser Linie bei dem gewählten Maßstab für V und ε geht aus einer einfachen Überlegung hervor. Die erzeugte größte Dampfmenge i. d. St. im Beharrungszustand kann wieder bei jeder Geschwindigkeit zwischen $V = 0,4 V'$ und $V = 1,2 V'$ als gleichbleibend angesehen werden. Für $\varepsilon_g = 0,2$ gilt etwa die Abb. 30. Es wächst p_{mi} bei $0,4 V'$ auf 1,2 bis 1,3 p_{mi} . Diese Größen von p_{mi} sind auf der Geraden *hg* aufgetragen.

Zugkraft Z_{ik} bei V' , also die zu N_{i-gr} gehörige Zugkraft, kann man einfach aus $Z_{ik} = p_{mig} \cdot C_1$ berechnen, weil Größen für p_{mig} bekannt sind. Da auch bei anderen Geschwindigkeiten Werte für p_{mi} in der Zusammenstellung 20 (unterhalb Abb. 29) gegeben, so kennt man, immer aus $Z_i = p_{mi} \cdot C_1$, auch Zugkräfte bei anderen Fahr-

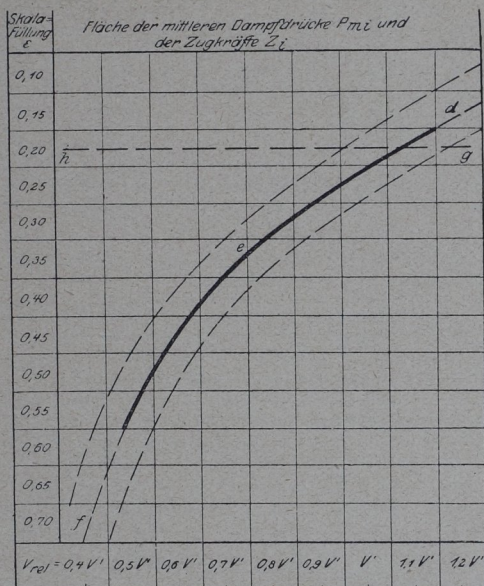


Abb. 28.

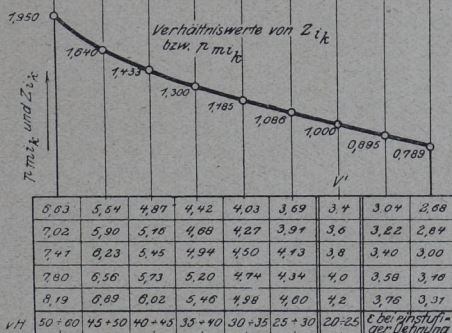


Abb. 29.

Zus. 20.

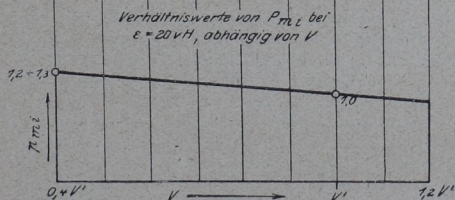


Abb. 30.

geschwindigkeiten. Oder man bestimmt die Z_i -Schaulinie für alle Geschwindigkeiten mit Hilfe der Verhältniszahlen für Z_i in Abb. 29, wenn Z_{ik} bei V' bekannt ist. Hat z. B. Z_{ik} bei V' eine Größe von 4000 kg, worin $V = 90$ km/st, so wird bei $0,7 V'$, also bei 63 km/st, $Z_i = 1,300 \cdot 4000 = 5200$ kg.

III. Werte des Dampfverbrauches $\delta_i = \mathfrak{D}_{\text{kg/st}} : N_{i\text{-st}}^{\text{PS}}$ in Abhängigkeit von ε und V (Umdrehungszahl).

Wovon der Dampfverbrauch $\delta_i^{\text{kg/PS}}$ einer Lokomotive abhängig ist, wurde bereits auf S. 73 erwähnt.

Bei den üblichen Kesseldrücken $p_k = 13$ bis 15 at liegt je nach Dehnungsart der günstigste Füllungsgrad ε_g zwischen 0,15 und 0,25. Mit wachsendem V steigt ε_g etwas an. Um die Fläche des Dampfverbrauchs δ_i einer gegebenen Lokomotive durch Versuch zu ermitteln, werden für alle Geschwindigkeitslagen die Füllungen ε stufenweise gesteigert bis zur Kesselleistungsgrenze def , und die für alle ε sich ergebenden Werte δ_i als Senkrechte in der Mitte der betreffenden Vierecke der Abb. 31 aufgetragen. Diejenige Füllung ε , wo bei dem betr. V ein Kleinstwert δ_{ig} entsteht, wird als günstigster Füllungsgrad ε_g besonders vermerkt und im Grundriß der Fläche mit g bezeichnet.

Es ist angenommen, daß die Verbindung der Punkte g die gerade Linie ac ergebe, und daß in M das Minimum aller Kleinstwerte δ_{ig} liege. Bei welcher Geschwindigkeit M liegt, hängt in erster Linie ab von den Drosselverlusten des Dampfes beim Eintritt und Austritt in und aus dem Zylinder. Je größer diese, um so mehr rückt M nach links. Der Schnittpunkt von ac mit def sei b genannt; die Geschwindigkeit hier ist V' , die tunlichst gleich sein soll der im Betrieb meistgebrauchten Fahrgeschwindigkeit. Zu beachten ist aber, daß b sich verschieben kann, nämlich bei größerer oder geringerer Dampferzeugung i. d. St. als normal, indem dann die Linie der Kesselleistungsgrenze def sich nach unten oder oben verschiebt, bis etwa in die punktierten Lagen. V' ist also kein genauer Festwert einer Lokomotive, sondern hängt von der stündlich erzeugten Dampfmenge ab.

Angenäherte absolute Werte von δ_{ik} bei V' und an der Kesselleistungsgrenze (also im Punkt b , wo $\delta_{ik} = \delta_{ig}$) sind in Zusammenstellung 16 Spalte 11 angegeben. In Abb. 32a sind die Verhältniszahlen von δ_i an der Kesselleistungsgrenze (δ_{ik}) verzeichnet; $\delta_{ik} = 1,000$ bei V' . Sie ergeben sich aus $\delta_i = \mathfrak{D} : N_i$, worin \mathfrak{D} der Dampfverbrauch immer der gleiche; also δ_i ist umgekehrt proportional N_i .

Da die N_{ik} -Schaulinie bekannt, so ist $\delta_{ik} = 1 : N_{ik}$. Man denke sich diese Größen für δ_{ik} in den Mitten der Vierecke von Abb. 31 als Höhen der Ordinaten räumlich auf Linie def aufgetragen. In Abb. 32b sind für alle V zum Vergleich mit δ_{ik} auch die angenäherten Werte δ_{ig} für ε_g verzeichnet. δ_{ig} wächst unterhalb M wegen der kleineren Umdrehungszahlen und größeren Lässigkeiten- und inneren Wärmeverluste; es wächst oberhalb M wegen grösserer Drosselverluste. δ_{ig} sind auf der Fläche des Dampfverbrauchs in Abb. 31 die Ordinaten auf der Linie ac . Es ist hier z. B. angenommen, daß M bei $0,8 V'$ liege.

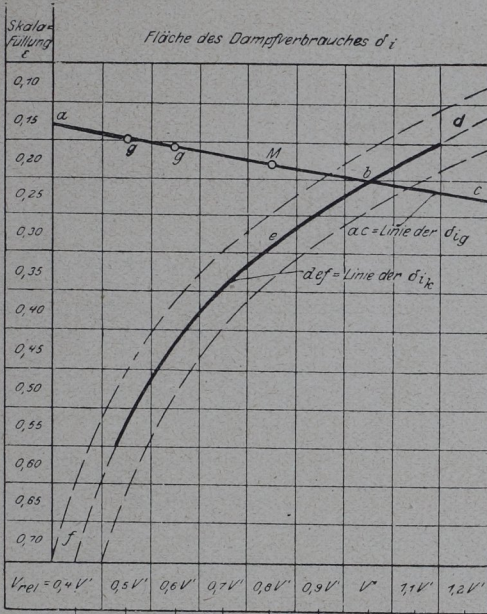


Abb. 31.

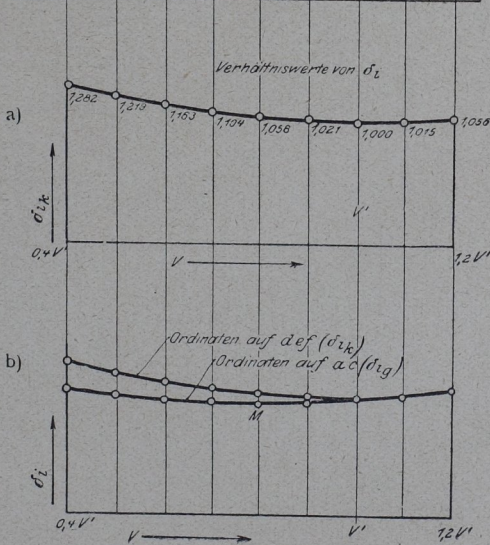


Abb. 32.

Um die Punkte b und M herum ist der Unterschied in den Werten δ_i nur gering. Die Werte δ_{ig} auf ac und die Lage von ac im Grundriß sind unabhängig von der stündlich erzeugten Dampfmenge, ac hat bei ein und derselben Lokomotive eine feste Lage.

F. Schlepplasten von Dampflokomotiven.

„Schleppleistungen“, „Schlepplasten“ oder „Belastungstafeln“ einer Lokomotive bei einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit auf einer nach ihren Steigungsverhältnissen festgelegten Strecke sind diejenigen angehängten Wagenlasten, welche die betreffende Maschine auf dieser Strecke mit der bestimmten Geschwindigkeit zu schleppen vermag.

Die Belastungstafeln¹⁾ einiger S-, P-, G- und Tender-Lokomotiven der preußischen Staatsbahn sind in Zusammenstellung 21 wiedergegeben. Beim Einbau eines Vorwärmers, soweit dies nicht (wie bei der S_{10}^2 , G_s^1 und G_{12}) berücksichtigt ist, können die hier angegebenen Schlepplasten um rund 10% erhöht werden.

Berechnung der Schleppleistungen der preußischen G_8^1 -Lokomotive (ohne Vorwärmer).

Gegeben: $G_L = 67,9 \text{ t}$ $R = 2,63 \text{ qm}$
 $G_T = 44,5 \text{ t}$ $d = 600 \text{ mm}$
 $G_{L+T} = 112,4 \text{ t}$ $s = 660 \text{ mm}$
 $G_r = 67,9 \text{ t}$ $D = 1350 \text{ mm}$

Angenommen: $B/R = 450 \text{ kg/st}$, $\beta_{ig} = 1,1 \text{ kg}$ [$t\ddot{u} = 300^0$].

Folglich wird: $C_1 = \frac{d^2 \cdot s}{D} = 1760$

$$B = (B/R) \cdot R \cong 1190 \text{ kg}$$

$$N_i = \frac{1190}{1,1} \cong 1085 \text{ PS}$$

$$Z_i = C_1 \cdot p_{mi} \cong 1760 \cdot 3,6 \cong 6300 \text{ kg}$$

$$N_i = \frac{Z_i \cdot V'}{270}; \quad V' = \frac{270 \cdot 1085}{6300} = 46,5 \text{ km/st.}$$

Gewählt sei $V' = 46 \text{ km/st}$, woraus sich ergibt $Z_i = \frac{270 \cdot 1085}{46}$
 oder $Z_{i-mg} = 6370 \text{ kg}$.

Die „Verhältniszahlen“ für die Zugkräfte in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (bei Fahrt an der Kesselleistungsgrenze und demselben Dampfverbrauch bei allen Geschwindigkeiten) sind²⁾:

¹⁾ Zusammengestellt nach „Merkbuch für die Fahrzeuge der preußisch-hessischen Staatseisenbahnverwaltung“; Ausgabe 1915, Neudruck 1919.

²⁾ Vgl. Abb. 29.