

auf 1 :  $\infty$ :

$Z = 1000 (2,5 + 40^2 : 2000) = 3300 \text{ kg}$  und  $N = (3300 \cdot 40) : 270 = 490 \text{ PS}$   
für den Güterzug,

$Z = 350 (2,5 + 75^2 : 2000) = 1860 \text{ kg}$  und  $N = (1860 \cdot 75) : 270 = 516 \text{ PS}$   
für den Personenzug;

auf 5<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Steigung:

$Z = 1000 (5 + 2,5 + 25^2 : 2000) = 7810 \text{ kg}$  und  $N = (7810 \cdot 25) : 270 =$   
798 PS für den Güterzug,

$Z = 350 (5 + 2,5 + 50^2 : 2000) = 3063 \text{ kg}$  und  $N = (3063 \cdot 50) : 270 =$   
567 PS für den Personenzug.

Der Unterschied der Leistungen ist also für die G-Lokomotive viel größer (308 PS) als für P-Lokomotive (51 PS).

Die feuerberührte Heizfläche kann man nach dem für bestimmte Bauarten annähernd unveränderlichen Verhältnis  $H : R$ , oder nach dem davon abhängigen Verhältnisse  $\mathfrak{D} : H$  und  $N_{igr} : H$  bestimmen. Bei der Annahme von  $\varrho \text{ kg/qm-st} = 400$  bis 500 wählt man für deutsche Steinkohle  $H : R = 50$  bis 70 für P- und S-Lokomotiven und Satttdampf,  $H_w : R_w = 50$  bis 60 für P- und S-Lokomotiven und Heißdampf; für G-Lokomotiven bei  $\varrho = 300$  bis 400  $\text{kg/qm stündlich}$   $H : R = 60$  bis 70 bei Satttdampf und  $H_w : R_w = 60$  bis 70 bei Heißdampf.

Ist z. B. für eine Satttdampf-P-Lokomotive  $R = 3,0 \text{ qm}$ , so ist die Heizfläche  $H = (50 \text{ bis } 60) \cdot 3,0 = 150 \text{ bis } 180 \text{ qm}$ ; gilt dieselbe Rostfläche für eine G-Lokomotive, so ist  $H = (60 \text{ bis } 70) \cdot 3,0 = 180 \text{ bis } 210 \text{ qm}$ . Bei einer Heißdampf-P-Lokomotive mit  $R_{gz} = 3,0 \text{ qm}$  ist  $R_w = 0,9 \cdot 3,0 = 2,7 \text{ qm}$ , also, da  $H_w : R_w = 50$  bis 60,  $H_w = (50 \text{ bis } 60) \cdot 2,7 = 135 \text{ bis } 162 \text{ qm}$ . Die Überhitzer-Heizfläche  $H_u$  ist in der Regel<sup>1)</sup> etwa 30<sup>0</sup>/<sub>100</sub> von  $H_w$ , daher  $H_u = (135 \text{ bis } 162) \cdot 0,33 = 44,55 \text{ bis } 53,46 \text{ qm}$ .

Gewöhnlich soll bei Lokomotiven durch 1 qm Heizfläche 60 bis 65 kg Dampf erzeugt werden.  $\mathfrak{D} : H$  ist  $= (\varrho \cdot z) : (H : R)$  und  $N : H = (\varrho \cdot z) : (\delta_1 \cdot H : R)$ . Die in den beiden Gleichungen vorkommenden Werte sind nach früheren Erklärungen zu wählen, also  $\mathfrak{D} : H$  und  $N : H$  zu berechnen. Aus  $N : H$  ergibt sich die Heizfläche  $H$  nach  $N_{igr} : (N : H)$ . Wäre z. B. für eine Satttdampf-P-Lokomotive einfacher Dehnung mit  $p_k = 13 \text{ at}$  und 900 PS Höchstleistung bei  $\varrho = 450$ ,  $z = 7,0$  und  $H : R = 50$ ,  $\delta_1 = 11,2 \text{ kg}$ , so würde  $N : H = (450 \cdot 7) : (11,2 \cdot 50) = 5,62$  sein und  $H = 900 : 5,62 = 160 \text{ qm}$ .

## 6. Berechnungsbeispiel.

Aufgabe: Eine Lokomotive, die mit Tender 110 t wiegt, soll einen Wagenzug aus zehn vierachsigen D-Wagen von je 40 t, also  $G_w = 400 \text{ t}$ ,  $G_{gz} = 510 \text{ t}$  auf 1 :  $\infty$  mit  $V = 90 \text{ km/st}$  bei bester Ausnutzung des Dampfes an der Grenze der Leistung des Kessels befördern. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit sei  $V_{gr} = 110 \text{ km/st}$ . Die Lokomotive soll nach vier Arten der Ausnutzung des Dampfes, nämlich als Satttdampfmaschine mit ein- und zweistufiger Dehnung, sowie als Heißdampfmaschine mit ein- und zweistufiger Dehnung, jedesmal mit zwei Zylindern ausgeführt, durchgerechnet werden. Die bei 90 km/st zu leistende Zugkraft am Triebade beträgt nach der „Studiengesellschaft“  $Z_e = 2310 \text{ kg}^2$ ).

<sup>1)</sup> Bei Schmidt'schem Großrohrüberhitzer.

<sup>2)</sup> Vgl. Zusammenstellung 15, Reihe 1, Spalte 11, auf S. 74.

$Z_i = Z_e + Z_1$ ,<sup>1)</sup> worin  $Z_1$  der Kraftverbrauch für das Triebwerk  $\cong 250$  kg, also  $Z_i \cong 2310 + 250 \cong 2560$  kg.  $N_e = 2310 \cdot 90 : 270 = 770$  PS und  $N_i = 2560 \cdot 90 : 270 = 853$  PS.

### I. Reibungsgewicht $G_r$ und Zahl der Kuppelachsen.

Der zulässige Raddruck der Kuppelachsen sei 8,0 t; die Lokomotive allein wiegt für  $N_e = 770$  PS, je nach Art und Ausnutzung des Dampfes 50 bis 60 t. Hierfür sind vier Achsen erforderlich; um genügend Zugkraft für das Anfahren auf Steigungen zu haben, werden zwei Kuppelachsen gewählt. Demnach ist das Reibungsgewicht  $G_r = 32$  t und die Reibungszugkraft  $Z_r = \mu \cdot 32000$  kg = 6400, 5330 und 4560 kg bei  $\mu = 200, 167$  und  $143$  kg/t. Bei  $\mu_m = 167$  wird  $p_a = (5330 - 2,5 \cdot 510) \cdot g : (1000 \cdot 510) = 0,0795$  m/sek<sup>2</sup>. Daß  $Z_r$  wirklich erreicht wird, setzt genügend große Werte des ersten Zugkraftkennzeichens  $C_1$  und des größten mittleren Dampfdruckes  $p_{mi-gr}$  voraus; dann muß  $Z_{gr} \leq C_1 \cdot p_{mi-gr}$  sein.

### II. Triebraddurchmesser D.

Als die zulässige Umdrehungszahl beeinflussende Bauart wird die mit vorderem Drehgestell, zwei äußeren Zylindern ohne überhängende Feuerkiste gewählt, bei der  $n = 320$  zulässig ist; dies ergibt  $D = 1,989$  m für  $V = 120$  und  $D = 1,824$  m für  $V = 110$ .

Nach Erfahrungswerten ist  $D = 0,8 + 0,011 \cdot V_{gr}$  für  $n = 240$  bis 320 oder  $D = 0,21 \sqrt{V_{mg}}$ . Die beiden Angaben liefern  $D = 2,01$  für  $V_{gr} = 110$  und  $D = 1,992$  für  $V_{mg} = 90$ ; gewählt ist  $D = 1,980$ . Die Stärke der Reifen ist 75 mm, also der Durchmesser der Felgen 1,83 m.

### III. Dampfzylinder.

Anwendung von zwei Zylindern bei den vier (a bis d) Dampf- und Dehnungsarten.

### IV. Dampf-

#### a) Satttdampf, einstufige Dehnung.

Kesseldruck $p_k = 13$ at abs	
Meist vorkommende Höchstleistung . . . . .	853 PSi
6% Zuschlag für höhere Leistungen . . . . .	+ 51 "
	$\cong 904$ PSi

$D/N_i$	Dampfverbrauch für die Leistungseinheit
	1 PSI/st kostet an Dampf bei günstiger Füllung 11,2 kg
904	kosten " " " " 10125 " (Arbeitsdampf)
5%	Zuschlag für Heizung " und Luftpumpe + 506 " (Heizdampf)
	<b>Gesamtdampfverbrauch <math>D = 10631</math> kg/st</b>

$D/B$	Verdampfungsziiffer
	1 kg Kohle erzeugt 7,0 kg Satttdampf
	<b>Gesamtkohlenverbrauch <math>B = \frac{10631}{7,0} = 1519</math> kg/st</b>

<sup>1)</sup> Vgl. S. 98.

Der Kolbenhub sei  $s = 0,6\text{m}$ , die Zugkraft  $Z_{emg} = 2310$  bzw.  $Z_{img} = 2560\text{ kg}^1$ ).

## a) Sattdampf, einstufige Dehnung.

Annahme:  $p_{mi} = 4,0$  bis  $4,2\text{ at}$

$Z_{img} \cdot D = d^2 \cdot p_{mi} \cdot s$ , also  $d = 46$  bis  $44,8\text{ cm}$ .

$$J = 46^2 \cdot \pi \cdot 0,6 : 20 = 199 \quad \text{bis} \quad J = 44,8^2 \cdot \pi \cdot 0,6 : 20 = 188$$

$$C_1 = (20 \cdot 199) : (\pi \cdot 1,98) = 641 \quad \text{bis} \quad C_1 = (20 \cdot 188) : (\pi \cdot 1,98) = 608$$

$$C_2 = 641 : 32 = 20,0 \quad \text{bis} \quad C_2 = 608 : 32 = 19,0$$

b) Sattdampf, zweistufige Dehnung<sup>2)</sup>

Annahme:  $p_{mi} = 3,8$  bis  $4,0\text{ at}$

$Z_{img} \cdot D = d_n^2 \cdot p_{mi} \cdot 0,5 \cdot s$ , also  $d_n = 66,7$  bis  $65\text{ cm}$ .

$$J = 66,7^2 \cdot \pi \cdot 0,6 : 20 = 419 \quad \text{bis} \quad J = 65^2 \cdot \pi \cdot 0,6 : 20 = 398$$

$$C_1 = 0,5 \cdot (20 \cdot 419) : (\pi \cdot 1,98) = 678 \quad \text{bis} \quad C_1 = 0,5 \cdot (20 \cdot 398) : (\pi \cdot 1,98) = 640$$

$$C_2 = 678 : 32 = 21,1 \quad \text{bis} \quad C_2 = 640 : 32 = 20,0$$

## c) Heißdampf, einstufige Dehnung.

Annahme:  $p_{mi} = 3,6$  bis  $3,8\text{ at}$

$Z_{img} \cdot D = d^2 \cdot p_{mi} \cdot s$ , also  $d = 48,5$  bis  $47,1\text{ cm}$ .

$$J = 48,5^2 \cdot \pi \cdot 0,6 : 20 = 221 \quad \text{bis} \quad J = 47,1^2 \cdot \pi \cdot 0,6 : 20 = 209$$

$$C_1 = (20 \cdot 221) : (\pi \cdot 1,98) = 710 \quad \text{bis} \quad C_1 = (20 \cdot 209) : (\pi \cdot 1,98) = 671$$

$$C_2 = 710 : 32 = 22,2 \quad \text{bis} \quad C_2 = 671 : 32 = 21,0$$

d) Heißdampf, zweistufige Dehnung<sup>2)</sup>.

Annahme:  $p_{mi} = 3,4$  bis  $3,6\text{ at}$

$Z_{img} \cdot D = d_n^2 \cdot p_{mi} \cdot 0,5 \cdot s$ , also  $d_n = 70,5$  bis  $68,5\text{ cm}$ .

$$J = 70,5^2 \cdot \pi \cdot 0,6 : 20 = 468 \quad \text{bis} \quad J = 68,5^2 \cdot \pi \cdot 0,6 : 20 = 442$$

$$C_1 = 0,5 \cdot (20 \cdot 468) : (\pi \cdot 1,98) = 753 \quad \text{bis} \quad C_1 = 0,5 \cdot (20 \cdot 442) : (\pi \cdot 1,98) = 711$$

$$C_2 = 753 : 32 = 23,5 \quad \text{bis} \quad C_2 = 711 : 32 = 22,2$$

kessel.

## b) Sattdampf, zweistufige Dehnung.

Kesseldruck  $p_k = 15\text{ at abs}$

Meist vorkommende Höchstleistung . . . . . 853 PSi

6% Zuschlag für höhere Leistungen . . . . . + 51 "

≅ 904 PSi

$\mathfrak{D}/N_i$

Dampfverbrauch für die Leistungseinheit

1 PSi/st kostet an Dampf bei günstigster Füllung 9,2 kg

904 " kosten " " " " 8317 " (Arbeitsdampf)

Zuschlag für "Heizung" und Luftpumpe " 506 " (Heizdampf)

**Gesamtdampfverbrauch  $\mathfrak{D} = 8823\text{ kg/st}$**

$\mathfrak{D}/B$

Verdampfungsziffer

1 kg Kohle erzeugt 7,0 kg Sattdampf

**Gesamtkohlenverbrauch  $B = \frac{8823}{7,0} = 1260\text{ kg/st}$**

<sup>1)</sup> Wie S. 80 berechnet. <sup>2)</sup>  $d_h = (0,73\text{ bis }0,67) \cdot d_n$ , vgl. S. 70.

B/R Rostanstrengung (Brenngeschwindigkeit) •  
 $B/R = 500; R = \frac{1519}{500} = 3,04 \text{ m}^2 \text{ Rostfläche}$

H R Bei H/R = 50 ist die Heizfläche  $H = 50 \cdot 3,04 = 152 \text{ m}^2$   
 " H/R = 60 " " "  $H = 60 \cdot 3,04 = 183 \text{ m}^2$

c) Heißdampf, einstufige Dehnung.

Kesseldruck  $p_k = 13 \text{ at abs}$   
 Meist vorkommende Höchstleistung . . . . . 853 PSi  
 6% Zuschlag für höhere Leistungen . . . . . + 51 "  
 $\cong 904 \text{ PSi}$

$\mathfrak{D}/N_i$  Dampferverbrauch für die Leistungseinheit  
 1 PSi/st kostet an Dampf bei günstigster Füllung 7,0 kg ( $t_u = 325^\circ \text{ C}$ )  
 904 " kosten " " " " 6328 " (Arbeitsdampf)  
 Zuschlag für Heizung und Luftpumpe + 506 " (Heizdampf)  
**Gesamtdampferverbrauch  $\mathfrak{D} = 6834 \text{ kg st}$**

$\mathfrak{D}/B$  Verdampfungsziffer  
 1 kg Kohle erzeugt 6,32 kg Heißdampf von  $t_u = 325^\circ \text{ C}$   
 1 " " " 7,0 " Sattedampf (Heizdampf)  
 Für den Arbeitsdampf (Heißdampf)  $= \frac{6328}{6,32} = 1002 \text{ kg/st Kohle}$   
 " " Heizdampf (Sattedampf)  $= \frac{506}{7,0} = 72 \text{ " "}$   
**Gesamtkohlenverbrauch  $B = 1074 \text{ kg/st}$**

B R Rostanstrengung (Brenngeschwindigkeit)  
 $B/R = 500; R = \frac{1074}{500} = 2,15 \text{ m}^2 \text{ Rostfläche}$  (für die gesamte Dampfmenge)  
 etwa  $\frac{1}{10}$  dient zur Überhitzung:  $R_{\ddot{u}} = 0,215 \text{ m}^2$   
 "  $\frac{9}{10}$  " " Wasserverdampfung:  $R_w = 1,935 \text{ m}^2$

H/R	bei $H_w/R_w = 50$	bei $H_w/R_w = 60$
Wasserverdampfende Heizfläche $H_w =$	$50 \cdot 1,935 = 97 \text{ m}^2$	$60 \cdot 1,935 = 116 \text{ m}^2$
Überhitzerheizfläche $H_{\ddot{u}} \cong 30\% H_w =$	29 "	35 "
<b>Gesamtheizfläche <math>H_{gz} = H_w + H_{\ddot{u}} =</math></b>	<b>126 m<sup>2</sup></b>	<b>151 m<sup>2</sup></b>

## D. Berechnung schmalspuriger Dampflokomotiven.

Beziehung zwischen Triebachslast und Zugkraft hängt vor allem von den Witterungsverhältnissen ab.

Reibung zwischen Triebad und Schiene  $\mu$ :

1. auf Flachlandstrecken mit schwachen Krümmungen

$\mu = \frac{1}{5} \div \frac{1}{6}$ , d. h. etwa  $200 \div 165 \text{ kg/t}$  für P-Lokomotiven  
 $\mu = \frac{1}{6} \div \frac{1}{7}$ , d. h. etwa  $165 \div 140 \text{ kg/t}$  für gemischte Lokomotiven;