

7. Gegengewichte und Massenausgleich.

a) Allgemeine Grundsätze und Arten der Benennung.

Zur Erzielung eines ruhigen Ganges der Lokomotiven müssen die durch die umlaufenden und hin- und hergehenden Triebwerksteile bedingten „störenden Bewegungen“ beseitigt werden. Durch Anbringung von Gegengewichten in den Trieb- und Kuppelrädern können die Drehmassen ganz, die hin- und hergehenden Massen teilweise ausgeglichen werden. Dieses auf jeder Seite der Lokomotive auszugleichende Gewicht setzt sich zusammen: aus dem Gewicht der an jedem Rad sich drehenden Triebwerksteile (Drehmassen) und aus dem Gewicht eines Teiles der hin- und hergehenden Massen.

Drehmassen sind: Kurbelarme und Kurbelzapfen, der am Kurbelzapfen angreifende Gewichtsanteil der Trieb- und Kuppelstangen; hin- und hergehende Massen sind: der restliche Anteil der Triebstange, Kreuzköpfe, Kolbenstangen, Kolben, Teile der Steuerung (welche die Bewegung des Kreuzkopfes mitmachen).

Nach den „Technischen Vereinbarungen“ § 102, 2 müssen die umlaufenden Massen an den Trieb- und Kuppelrädern der Lokomotiven möglichst vollständig ausgeglichen werden. Von den hin- und hergehenden Massen werden zweckmäßig 15 bis 60% ausgeglichen, und zwar um so mehr, je kleiner der Achsstand im Verhältnis zur Länge der Lokomotive ist. Bei S-Lokomotiven findet man rund 25 bis 35%, bei G-Lokomotiven rund 40 bis 60% ausgeglichen, und zwar darf die durch die Ausgleichgewichte an jedem Rade auftretende freie Fliehkraft (T.V., § 102, 3) 15% des Raddruckes der Ruhe nicht überschreiten. Bei Vierzylinderlokomotiven mit zwangsläufig gekuppelten, gegenläufigen Triebwerken kann von dem Ausgleich der hin- und hergehenden Massen abgesehen werden.

Die in Frage kommenden Größen (Abb. 220 bis 235) erhalten die Fußzeichen u für umdrehend, h für hin- und hergehend, $v = h + u$ für vereinigt, r für Mittelwirkung, a für äußeres Triebwerk, i für inneres Triebwerk.

Eingeführte Ebenen sind:

- $x - x$ senkrechte Ebenen durch die Schwerpunkte der Gegengewichte mit dem Abstand $2b$ für beide Seiten; sie können zunächst als mit den Laufkreisen zusammenfallend angenommen werden.
- $y - y$ Angriffsebenen der vereinigten Gewichte G_u mit dem Abstand $2c$ für beide Seiten.
- $m - m$ lotrechte Ebenen durch die Mitten der Zylinder mit dem Abstand $2c'$ für beide Seiten; sie sind genügend genaue Angriffsebenen für G_h .

An Längenmaßen kommen vor:

- $a = c - b =$ Abstand der Ebene $y - y$ von der $x - x$ -Ebene.
- $a' = c' - b =$ Abstand der Ebene $m - m$ von der $x - x$ -Ebene.
- $\rho_1 =$ Halbmesser der Kurbeln.
- $\rho' =$ Halbmesser des Schwerpunktes des Gegengewichtes am Radumfang.
- $r =$ Halbmesser der Räder.

An Gewichten treten auf:

g_1, g_2, g_3, \dots die ausgleichenden Gewichte, so daß $G = \sum g$.
 Q = ausgleichendes Gegengewicht in demselben Rade.
 q = Ausgleichgewicht im Gegenrad.

b) Berechnung der Gegengewichte von Zwillingslokomotiven mit Außenzylindern (Abb. 220 bis 224).

a) Die Untersuchung für das Triebrad werde auf den Kurbelhalbmesser $\varrho_1 = 300$ mm einer 2B-Zweizylinder-Schnellzuglokomotive bezogen. (Zusammenstellung 31.)

Zusammenstellung 31.

Berechnung des am Triebrad angreifenden umlaufenden Gewichtes $G_u = \sum g_u = g_u$, bis g_{u_6} und seiner Hebelarme a von der $x-x$ -Ebene.

Lfd. Nr.	Am Triebrad angreifende Drehmassen	angreifendes Gewicht g_u	Abstand d. Schwerpunktes g_u von Radmitte	auf $\varrho_1 = 300$ mm bezogene Einzelgewichte g_u	Abstand a von Ebene $x-x$	Momente $g_u \times a$
		kg	mm	kg	mm	kg mm
1	Kurbelarm ohne Speichenstücke	61	290	$61 \cdot \frac{290}{300} = 59$	20	1 180
2	Zapfenstück im Kurbelarm ohne die darin steckenden Speichen	8	311	$8 \cdot \frac{311}{300} = 8$	20	160
3	Triebzapfen	29	300	$29 \cdot \frac{300}{300} = 29$	270	7 850
4	Kuppelzapfen	17	300	$17 \cdot \frac{300}{300} = 17$	165	2 810
5	$\frac{3}{5}$ Triebstange ¹⁾	90	300	$90 \cdot \frac{300}{300} = 90$	270	24 300
6	Anteil der Kuppelstange ²⁾	72	300	$72 \cdot \frac{300}{300} = 72$	165	11 900
$G_u = 275$						48 200

Danach ist $a = 48\,200 : 275 = 175$ mm der Abstand des ganzen angreifenden Gewichtes G_u von der Ebene $x-x$. Ferner ist $2c = 1850$ mm, $2b = 1500$ mm, $2c' = 2040$, $a' = c' - b = 270$ mm

a) Ermittlung von Q_u und q_u (Abb. 220/221).

$$Q_u \times 2b = G_u (2c - a)$$

$$Q_u = 275 (1850 - 175) : 1500 = 307 \text{ kg}$$

$$Q_u = Q_u + q_u$$

$$q_u = Q_u - G_u = 307 - 275 = 32 \text{ kg}$$

¹⁾ Ganzes Gewicht 150 kg

²⁾ Ganzes Gewicht 120 kg

a 2) Ermittlung von Q_h und q_h (Abb. 222/223).

Versuchsweise sollen 25% der hin- und hergehenden Massen im Trieb- und Kuppelrad ausgeglichen werden; diese wiegen 390 kg.

$$G_h = 390 \times 0,25 : 2 = 48,7 \text{ kg}$$

$$Q_h \times 2b = G_h (2c' - a'); \quad Q_h = 48,7 (2040 - 270) : 1500 = 57,5 \text{ kg}$$

$$Q_h = G_h + q_h$$

$$q_h = Q_h - G_h = 57,5 - 48,7 = 8,8 \text{ kg}$$

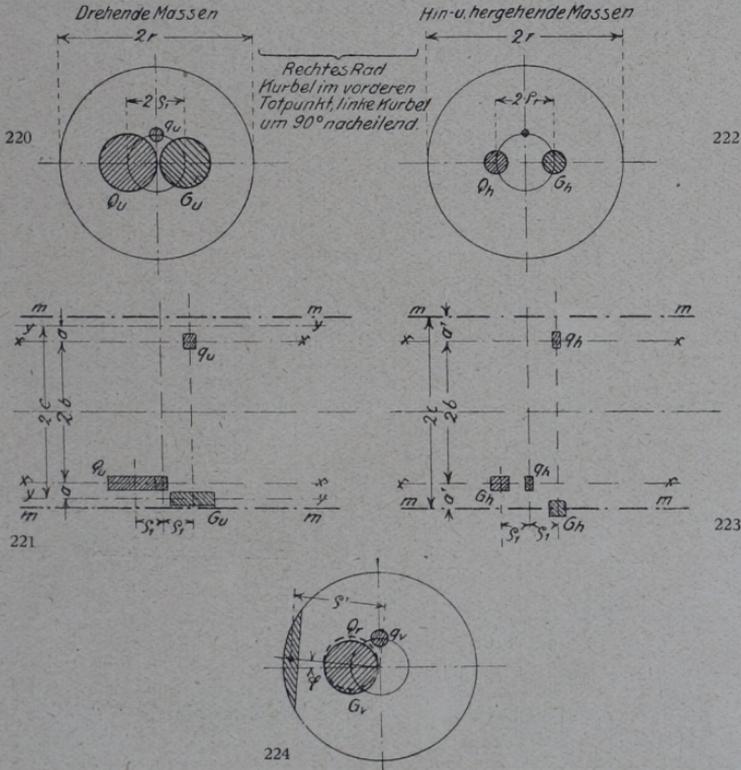


Abb. 220/224. Berechnung der Gegengewichte von Zwillinglokomotiven mit Außenzylindern.

β) Zusammenfassung von $Q_u + Q_h = Q_v$ zu einem Gegengewicht Q_r und Verlegung seines Schwerpunktes im Abstand q_1 auf den Halbmesser $q' = 810$ mm.

Ermitteltes Gegengewicht:

$$Q_v = Q_u + Q_h = 307 + 57,5 = 364,5 \text{ kg}$$

$$q_v = q_u + q_h = 32 + 8,8 = 40,8 \text{ kg}$$

$$Q_r = \sqrt{Q_v^2 + q_v^2} = \sqrt{364,5^2 + 40,8^2} = 367 \text{ kg (vgl. Abb. 224).}$$

$$Q_r' = Q_r \times q_1 : q' = 367 \times 300 : 810 = 136 \text{ kg}$$

Das Gegengewicht Q_r ist gegen die Wagerechte durch die Radmitte um den Winkel φ versetzt anzubringen, der aus $\operatorname{tg} \varphi = q_v : Q_v = 40,8 : 364,5$ mit $\varphi = 6^\circ 25'$ folgt.

γ) Es bleibt nun zu prüfen, ob die Fliehkraft des resultierenden Ausgleichgewichts der hin- und hergehenden Massen $\sqrt{Q_h^2 + q_h^2} = \sqrt{57,5^2 + 8,8^2} = 58 \text{ kg } 15\%$ des ruhenden Raddruckes bei größter Geschwindigkeit der Lokomotive nicht überschreitet.

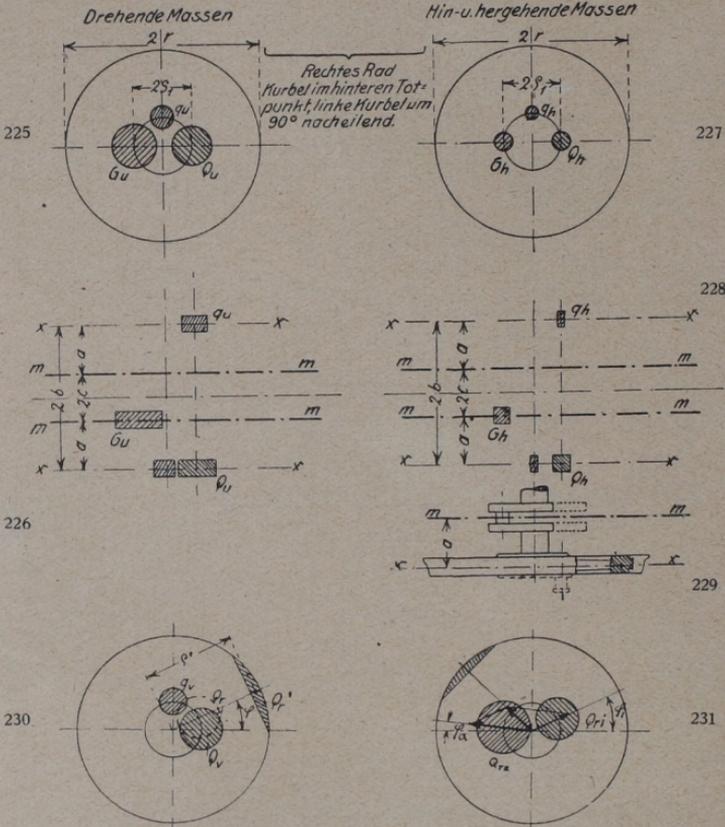


Abb. 225/231. Berechnung der Gegengewichte von Vierzylinderlokomotiven.

In 810 mm Abstand von der Radachse ergibt sich die Größe des Ausgleichgewichtes im Triebrad zu $58 \times 300 : 810 = 21,5 \text{ kg}$ und bei $n = 4,25$ Radumdrehungen in der Sekunde die Fliehkraft $C = M r \omega^2 = 21,5 \times 0,81 (2\pi \cdot 4,25)^2 = 1260 \text{ kg}$, die bei 8,4 t ruhendem Raddruck 15% desselben nicht übersteigt. 25% Gewichtsausgleich, davon die Hälfte bei den Rädern einer Seite, sind demnach richtig gewählt.

c) Berechnung der Gegengewichte von Vierzylinderlokomotiven (Abb. 225 bis 231).

Die Anteile der äußeren Triebwerkteile sind zu berechnen wie in Abschnitt b, die des inneren Triebwerkes sinngemäß nach demselben Vorgange. Die hier also allein berücksichtigten inneren umlaufenden und hin- und hergehenden Gewichte G liegen in der Ebene $m-m$. Zwecks günstigerer Beanspruchung der Kropfachsen würden die Gegengewichte bei diesen am richtigsten auf den verlängerten Kurbelarmen (Abb. 229, gestrichelt) statt in den Rändern anzubringen sein.

Im folgenden Beispiel sind die Gewichte G_u und G_h für das Innentriebwerk ebenso groß angenommen, wie unter b.

a) Für das Innentriebwerk einer 2B-Vierzylinderlokomotive werden die Betrachtungen zunächst auf das Triebrad mit dem Kurbelhalbmesser $\varrho_1 = 300$ mm bezogen.

G_u wird Zusammenstellung 31 mit 275 kg entnommen. Ferner sei $a = 500$ mm, $2c = 500$ mm, $2b = 1500$ mm.

α 1) Ermittlung von Q_u und q_u (Abb. 225/226).

$$\begin{aligned} Q_u \times 2b &= G_u (2c + a) \\ Q_u &= 275 (500 + 500) : 1500 = 183 \text{ kg} \\ q_u &= G_u - Q_u = 275 - 183 = 92 \text{ kg} \end{aligned}$$

α 2) Ermittlung von Q_h und q_h (Abb. 227/228).

Ausgleich der $G_h = 390 \times 0,25 : 2 = 48,7$ (wie in Abschnitt b).

$$\begin{aligned} Q_h \times 2b &= G_h (2c + a) \\ Q_h &= 48,7 (500 + 500) : 1500 = 32,5 \text{ kg} \\ q_h &= G_h - Q_h = 48,7 - 32,5 = 16,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

β) Zusammenfassung von $Q_u + Q_h = Q_v$ und q_v zu einem einzigen Gegengewicht Q_r und Verlegung seines Schwerpunktes im Abstand ϱ_1 auf den Halbmesser $\varrho' = 810$ mm (Abb. 230).

$$\begin{aligned} Q_v &= Q_u + Q_h = 183 + 32,5 = 215,5 \text{ kg} \\ q_v &= q_u + q_h = 92 + 16,2 = 108,2 \text{ kg} \\ Q_r &= \sqrt{Q_v^2 + q_v^2} = \sqrt{215,5^2 + 108,2^2} = 242 \text{ kg} \\ Q_r' &= Q_r \cdot \varrho_1 : \varrho' = 242 \times 300 : 810 = 90 \text{ kg} \\ \text{tg } \varphi &= q_v : Q_v = 108,2 : 215,5; \quad \varphi = 26^\circ 40' \end{aligned}$$

γ) Die Größe und Lage des für die Vierzylinderlokomotive erforderlichen Gegengewichtes erhält man durch bildliche Aufreihung der errechneten Werte für Außenzylinder nach Abschnitt b und für Innenzylinder nach Abschnitt c. Die beiden Abbildungen 224 und 230 können gedeckt verzeichnet werden, um daraus die Gegengewichte im Triebrad einer Vierzylinderlokomotive (Abb. 231) zu erhalten.

d) Berechnung der Gegengewichte von Drillinglokomotiven¹⁾ (Abb. 232 bis 235).

Bei Dreizylinderlokomotiven mit um 120° versetzten Kurbeln und gleichen Triebwerken sind Massenkräfte, die ein Zucken der Lokomotive bedingen nicht vorhanden. Dagegen verursachen die Massen der äußeren Triebwerke größere Schlingerbewegungen als bei Zweizylinderlokomotiven, die man durch Anordnung von

¹⁾ N a j o r k, Glasers Annalen 1915, Bd. 77, S. 149.

Gegengewichten zu verringern sucht. Der Einbau der Gegengewichte hat seinerseits ein geringes Zucken der Drillinglokomotiven zur Folge, wodurch jedoch ihr Gang nicht beeinflusst wird.

Die Berechnung ist im wesentlichen die gleiche, wie die der Zweizylinderlokomotiven in Abschnitt b. Ist in Abb. 232 Q_{va} das ermittelte Gegengewicht der rechten Kurbelseite, q_{va} das für den Ausgleich des Momentes aus der Verschiedenheit der Ebenen der Gestängeteile und des Gegengewichtes der linken Kurbelseite, so kommt hier noch ein drittes Gegengewicht Q_{ui} hinzu, das die Hälfte der drehenden Massen des Innentriebwerkes ausgleicht. Q_{va} , q_{va} , Q_{ui} werden nach Abb. 233 zu einem einzigen Gegengewicht Q_{r1} vereinigt. Dabei wird Q_{r1} zu einem Kleinstwert, wenn Q_{r1} senkrecht auf Q_{ui} steht, was einem größeren Werte für den Ausgleich der inneren Massen $Q_{vi} = Q_{ui} + Q_{hi}$ entspricht, d. h. außer den umlaufenden wird noch ein Teil der hin- und hergehenden Triebwerksmassen aus-

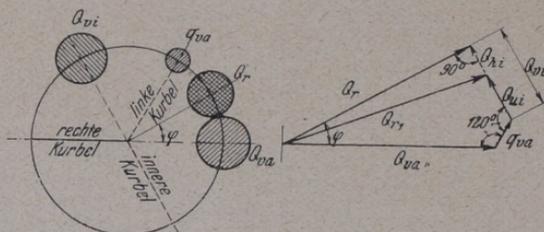


Abb. 232/233. Berechnung der Gegengewichte von Drillinglokomotiven.

Zusammenstellung 32.

Berechnung des am Triebrad angreifenden umlaufenden Gewichtes für die Teile des äußeren Triebwerkes $G_u = \sum g_u = g_{u1}$ bis g_{u6} und seiner Hebelarme a von der $x-x$ Ebene.

Lfd. Nr.	Am Triebrad angreifende Drehmassen	angreifendes Gewicht g_u kg	Abstand d. Schwerpunktes g_u von Radmitte mm	auf $\rho_i = 315$ mm bezogene Einzelgewichte g_u kg	Abstand a von Ebene $x-x$ mm	Momente $g_u \times a$ kg mm
1	Kurbelarm ohne Speichenstücke	65	305	63	20	1 260
2	Kuppel- u. Triebzapfen	40	315	40	180	7 200
3	Gegenkurbel	14	180	8	380	3 040
4	Anteil der Schwingstange	25	315	25	455	11 350
5	$\frac{3}{5}$ Triebstange	106	315	105	265	27 800
6	Anteil d. Kuppelstange	85	315	85	150	12 750
				$G_{ua} = 326$		63 400

geglichen. Somit wird bei Verminderung des Gegengewichtes Q_r und dessen schädlicher Fliehkraftwirkung eine Abnahme der Zuckkräfte erzielt.

a) Die Untersuchungen (Zusammenstellung 32) werden auf den Kurbelhalbmesser $\varrho_1 = 315$ mm des Triebrades einer 2C-Drilling-Schnellzuglokomotive bezogen.

Danach ist $a = 63\,400 : 326 = 194$ mm der Abstand des vereinigten angreifenden Gewichtes G_{ua} von der Ebene $x-x$. Ferner ist für das äußere Triebwerk (Abb. 234) $2c = 1890$ mm, $2b = 1500$ mm, $2c' = 2060$ mm und $a' = c' - b = 280$ mm; für das innere Triebwerk (Abb. 226) $c = 0$, $2b = 1500$ mm = $2a$.

a) 1) Ermittlung von Q_u und q_u .

Anteil des äußeren Triebwerkes:

$$\begin{aligned} Q_{ua} \times 2b &= G_{ua} (2c - a) \\ Q_{ua} &= 326 (1890 - 194) : 1500 = 368 \text{ kg} \\ q_{ua} &= Q_{ua} - G_{ua} = 368 - 326 = 42 \text{ kg} \end{aligned}$$

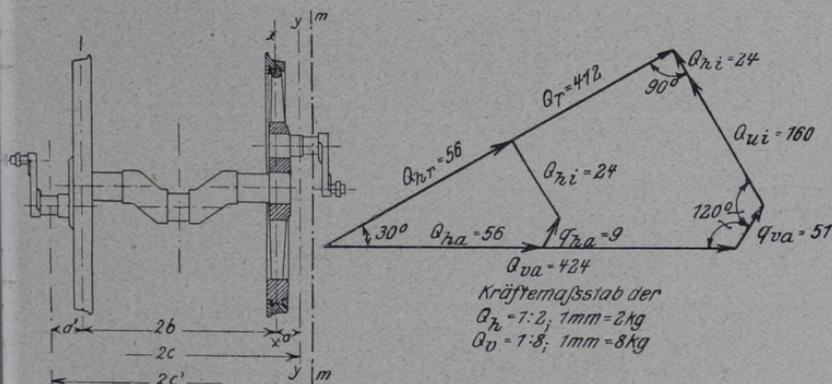


Abb. 234, 235. Berechnung der Gegengewichte von Drillinglokomotiven

Anteil des inneren Triebwerkes:

Mit $c = 0$, $a = b$ und $G_{ui} = 320$ kg, dem Gewichte des umlaufenden Teiles der Kröpfung in Abb. 229 wird $Q_{ui} = G_{ui} : 2 = 320 : 2 = 160$ kg.

a) 2) Ermittlung von Q_h und q_h .

Etwa ein Drittel der hin- und hergehenden Massen von 425 kg sollen versuchsweise im Triebrad und in beiden Kuppelrädern ausgeglichen werden.

Anteil des äußeren Triebwerkes:

$$\begin{aligned} G_{ha} &= 425 : (3 \times 3) = 47 \text{ kg} \\ Q_{ha} \times 2b &= G_{ha} (2c' - a') \\ Q_{ha} &= 47 (2060 - 280) : 1500 = 56 \text{ kg} \\ q_{ha} &= Q_{ha} - G_{ha} = 56 - 47 = 9 \text{ kg} \end{aligned}$$

β) Zusammenfassung von $Q_u + Q_h = Q_v$ außen und Q_{ui} bzw. Q_v innen zu einem Gegengewicht Q_r und Verlegung seines Schwerpunktes vom Halbmesser ϱ_1 auf $\varrho' = 810$ mm.

Anteil des äußeren Triebwerkes:

$$Q_{va} = Q_{ua} + Q_{ha} = 368 + 56 = 424 \text{ kg}$$

$$q_{va} = q_{ua} + q_{ha} = 42 + 9 = 51 \text{ kg}$$

Anteil des inneren Triebwerkes:

$$Q_{vi} = Q_{ui} + Q_{hi} \text{ zeigt Abb. 235.}$$

Das Krafteck der hin- und hergehenden Massen ergibt als Ausgleichgewicht $Q_{hr} = 56 \text{ kg}$, das auf 810 mm Abstand von der Radachse bezogen $56 \times 315 : 810 = 21,8 \text{ kg}$ und bei $n = 4,25$ Umdrehungen in der Sekunde

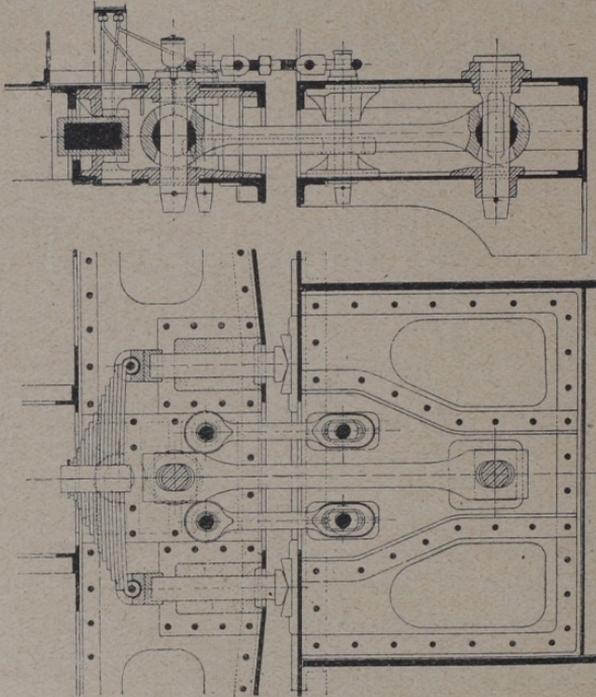


Abb. 236. Kupplung der preußischen Staatsbahn

eine freie Fliehkraft im Triebrad von $\frac{21,8}{9,81} \times 0,81 (2\pi \cdot 425)^2 = 1280 \text{ kg}$ ergibt, was bei 8,5 t ruhendem Raddruck $8,5 \times \frac{15}{100} = 1,28 \text{ t} = 1280 \text{ kg}$ d. h. 15% entspricht.

Somit wäre der Ausgleich von $\frac{1}{3}$ der hin- und hergehenden äußeren Triebwerksmassen richtig gewählt. Dabei sind die äußeren und inneren umlaufenden Massen ganz ausgeglichen. Der zusätzliche Ausgleich der inneren hin- und hergehenden Triebwerksmassen von $320 \times \frac{7,5}{100} = 24 \text{ kg}$, d. h. 7,5% ermöglicht die Anbringung des kleinsten

Ausgleichsgewichts von $Q_r = 412$ kg im Kurbelkreis. Im Abstand von 810 mm ist das Ausgleichsgewicht $412 \times 315 : 810 = 160$ kg, das unter $120 + 30 = 150^\circ$ der rechten Kurbel vorseilt.

8. Kupplung zwischen Lokomotive und Tender.

In T. V. § 106 heißt es: Zur Verbindung der Lokomotive mit dem Tender ist eine Haupt- und eine Notkupplung anzuordnen, von denen die letztere erst dann in Wirksamkeit tritt, wenn sich die Hauptkupplung gelöst hat. Die Anordnung darf jedoch dem sicheren Durchfahren der Krümmungen nicht hinderlich sein.

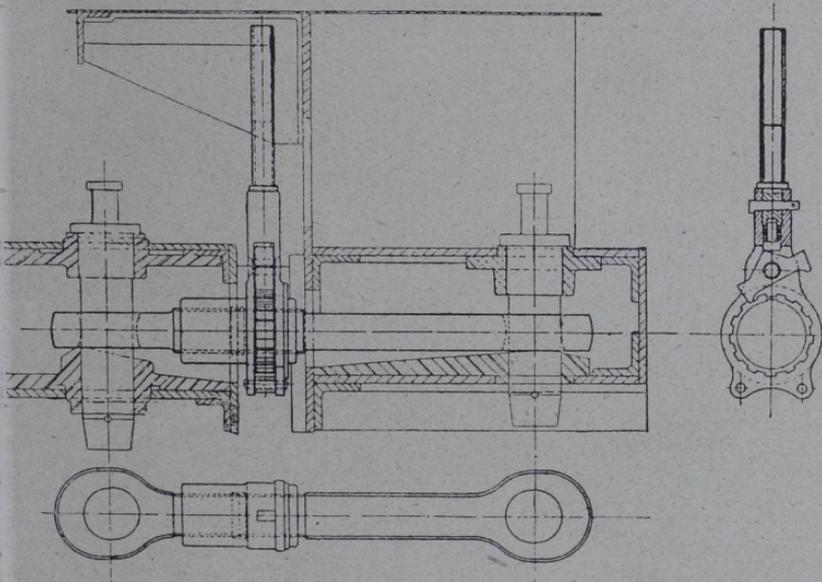


Abb. 237. Lösbare Tenderkupplung.

Durch die straffe Kupplung zwischen Lokomotive und Tender werden die durch die Dampf- und Massenkräfte hervorgerufenen Zuckbewegungen gleichzeitig auf Lokomotive und Tender übertragen und so ihre Wirkung infolge der Trägheit der größeren Masse abgeschwächt.

Abb. 236 zeigt eine Kupplung der preuß. Staatseisenbahn. Die Verbindung zwischen Lokomotive und Tender bilden ein Haupt- und zwei Notkuppelleisen, die beim Zerreißen des ersteren in Wirksamkeit treten. Die als Kardangelenke ausgebildeten Augen des Hauptkuppelleisens gewähren eine starre Verbindung zwischen Lokomotive und Tender und ermöglichen eine Bewegung nach allen Richtungen. Die Straffheit der Kupplung wird durch die Vorspannung der Stoßfeder bestimmt, die durch zwei Zapfen am Federbund mit dem