

5. Achsen und Achsanordnungen.

a) Radsätze.

Radsätze (Triebachsen, Kuppelachsen, Laufachsen) bestehen aus Achswelle und Rädern, die mit stetig steigendem Wasserdruck auf erstere aufgepreßt werden. Der Wasserdruck soll am Ende etwa 400 bis 700 kg für jedes mm Durchmesser des Naben- und Zapfensitzes betragen. Die Speichen beider Räder müssen in einer Ebene liegen. Um beim Wiederaufpressen der Räder die richtige Kurbelstellung zu gewährleisten, wird ein Keil mit rechteckigem Querschnitt eingelegt. Zur Vermeidung von Anrissen sind Kanten des Keils und das Ende der Keilnut abgerundet. Achswellen erhalten an den Stirnflächen einen Kontrollriß von 100 mm Durchmesser.

I. Räder.

Der Radkörper, bei Speichenrädern auch Radstern genannt, ist aus Flußeisenformguß von 37 bis 44 kg/qmm Festigkeit und 20 %

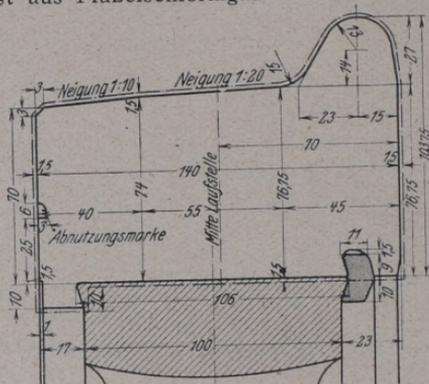


Abb. 188. Radreifenquerschnitt.

Dehnung in Deutschland. Vielfach wählt man Anzahl der Speichen gleich Raddurchmesser in dm oder gleich Raddurchmesser in dm + 1. Der Nabendurchmesser ist gleich dem 1,6 bis 2fachen der Achswellenbohrung. In den Radkörpern der Trieb- und Kuppelachsen werden die Gegengewichte segment- oder sichelförmig (wenn erforderlich mit Bleiausguß) und ihnen gegenüber die Kurbelarme eingegossen. Bei Vorwärtsfahrt eilt die rechte Kurbel gegen die linke um 90° voran; Drey-

zylinderanordnung bedingt 120° Kurbelversetzung. Um bei großen Innenzylindern Platz für die Achslager zu gewinnen, werden die Radsterne bis zu 60 mm nach außen gesprengt. Radreifen¹⁾ werden in Deutschland aus Tiegelflußstahl von mindestens 70 kg/qmm Festigkeit, in Amerika auch aus Vanadiumstahl hergestellt und mit einem Schrumpfmaß von 1 mm auf 1 m innerem Durchmesser auf die Radkörper von vorn warm aufgezogen. Außer dieser, für Kleinbahnen hinreichenden Befestigungsart, wird bei Rädern regelspuriger Lokomotiven die Einlage eines schwalbenschwanzförmigen Sprengringes erforderlich oder, wie in Amerika, die Aufnietung von Segmentstücken, die in eine Nut des Reifens eingreifen, um bei Reifenbruch Lösen des Reifens oder Abfliegen einzelner Reifenstücke zu verhindern. Die Befestigung des Sprengringes erfolgt bei den harten Lokomotiv- und Tenderreifen zweckmäßig durch Niederhämmern und nicht durch Niederwalzen der Reifennase. Abb. 188 zeigt den Querschnitt eines Radreifens der

¹⁾ Vgl. Zusammenstellung 28.

Regelbauart. Die Umgrenzung des rohen Radreifens ist strichpunktirt. Die dreieckige Nut heißt „Abnutzungsmarke“; ihr Halbmesser ist um $(25 + 1,5)$ mm größer als der der inneren Reifenbohrung. Die Stärke des neuen Radreifens in der Laufreisebene gemessen beträgt 75 mm; nach T. V. § 70 soll sie beim letzten Abdrehen ≥ 30 mm sein.

Zusammenstellung 28.

Maßangaben über Radreifen von Lokomotiven für verschiedene Spurweiten.

Art der Bahnen	Spurweite	Radreifenbreite	Entfernung zwischen den Radreifen	Spiel im Gleis	Geringste zulässige Stärke der Radreifen
	mm	mm	mm	mm	mm
Hauptbahnen	1676	134 ÷ 140	1588	5 + 5	25
	1435	135 ÷ 140	1360	5 + 5	25
Lokalbahnen	1435	120	1360	5 + 5	20
	1000	110	925	4 + 4	12
Kleinbahnen	785	110	710	4 + 4	—
	750	100	685	4 + 4	—
Feldbahnen	700	90	640	3 + 3	—
	600	90	540	3 + 3	—

Räder eines Satzes, sowie die Räder miteinander gekuppelter Radsätze müssen gleiche Laufkreisdurchmesser erhalten. Kleinste bei Laufrädern ausgeführte Durchmesser: in Deutschland 850 mm (gebräuchlich 1000 mm), in Amerika 743 mm.

Nach B. O. § 31 und T. V. § 71 müssen sämtliche Räder innenliegende Spurkränze haben. Ihre Höhe über den 750 mm von Mitte Achse entfernt anzunehmenden Laufkreisen der Räder soll nicht weniger als 25 mm und nicht mehr als 36 mm betragen (Norm der P. St. E. V. 28 mm). Spielraum der Spurkränze im Gleis bei 1435 mm Spur nicht unter $5 + 5 = 10$ mm, nicht über 25 mm bei höchstzulässiger Abnutzung. Besserer Krümmungsläufigkeit wegen ist bei drei und mehr in einem Rahmen gelagerten Achsen bis 40 mm Spiel der Mittelachse zulässig, was eine Schwächung des Spurkränzes von 15 mm erforderlich macht. Manchmal läßt man die Spurkränze in diesem Fall auch fort.

II. Achswellen.

Sie werden bei Lokomotiven aus Flußstahl von mindestens 50 kg/qmm Festigkeit, 20 % Dehnung und 0,25 bis 0,3 % C-Gehalt mit den etwa vorgesehenen Bunden aus einem Stück geschmiedet. Der Durchmesser der Nabe wird wegen der am meisten hieran vorkommenden Anbrüche 10 mm größer ausgeführt als der des Schenkels. Kropfachsen häufig aus Chromnickelstahl mit 5% Nickelgehalt. Achswellen von Kleinbahnlokomotiven werden meist ohne Bunde und mit gleichem Naben- und Lagerdurchmesser ausgeführt.

Schenkeldurchmesser für stählerne Achswellen

bei Trieb- und Kuppelachsen $d_k = 6 \sqrt[3]{P \cdot (D + 500)}$ in mm

bei Laufachsen $d_L = 65 \sqrt[3]{P}$ in mm

worin P = gesamte ruhende Achsbelastung in t und D = Raddurchmesser in mm.

Beispiel: Bestimmung der Abmessung für Trieb- und Lauf-radwelle, sowie der Achslagerschenkel einer Lokomotive mit 1750 mm Triebraddurchmesser, 17 t Triebachs- und 14 t Laufachsdruck.

a) Trieb- und Kuppelachse:

Achswellendurchmesser $d_k = 6 \sqrt[3]{17 (1750 + 500)} \cong 200$ mm.
Zur Erhaltung genauer Walzenform und völlig glatter Oberfläche ist damit zu rechnen, daß die Lagerfläche abgedreht oder nachgeschliffen

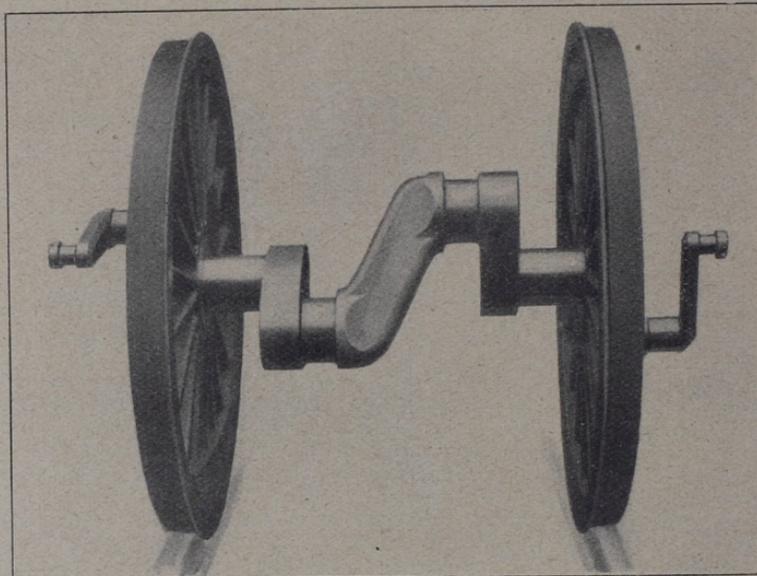


Abb. 189. Kropfachse für Vierzylinder-Verbundlokomotive.

werden muß. Damit zur Bearbeitung noch ausreichende Stärke vorhanden ist, wird der

Lagerschenkeldurchmesser d'_k um 10 mm größer ausgeführt, also hier $d'_k = 200 + 10 = 210$ mm.

Lagerschenkellänge $l_k = 1,2$ bis $1,25 d'_k$ bietet ausreichende Größenbemessung der Lauffläche gegen Heißlaufen, also hier $l_k = 1,25 \cdot 210 \cong 260$ mm.

β) Laufachsen:

Achswellendurchmesser $d_L = 65 \sqrt[3]{14} \cong 160$ mm

Lagerschenkeldurchmesser $d'_L = 160 + 10 = 170$ mm

Lagerschenkellänge $l_L = 1,4$ bis $1,45 d'_L$, also hier $l_L = 1,4 \cdot 170 \cong 240$ mm.

Kropfachsen lassen sich nicht genau berechnen, da die Größe der während des Betriebes auftretenden Kräftebeanspruchungen nicht zu ermitteln ist. Aus baulichen Gründen erfordern große Innenzylinder eine geringe Länge der Lagerschenkel und beschränkte Kurbelwangenabmessungen; z. B. beträgt die Schenkellänge der Kropfachsen der Vierzylinder-Verbundlokomotiven der vorm. preuß. Staatsbahnen nur 226 mm. Die Achsen dieser Maschinengattung sind mit Schrägarmen ausgeführt; sie lassen sich besser herstellen als die mit geraden Wangen und neigen weniger zu Anrissen auf der der Achse zugekehrten Seite der Zapfen und im Übergang zwischen Zapfen und Kurbelwange. Den Radsatz solch einer Kropfachse mit Schrägarmen,

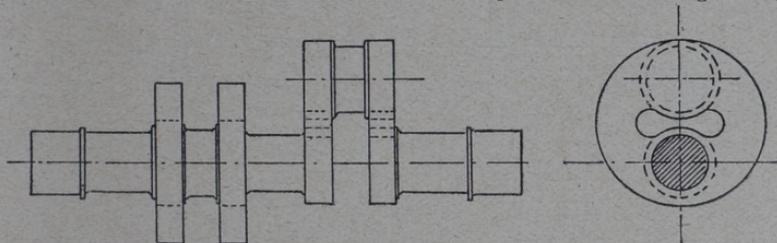


Abb. 190. Frémont-Achse.

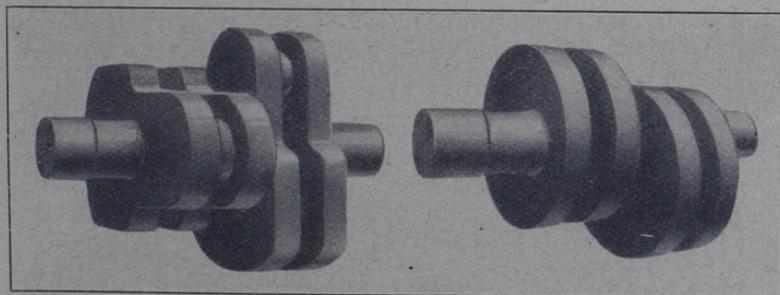


Abb. 191. Doppeltgekröpfte Achse.

und zwar den mittleren von drei gekuppelten Achsen einer von Maffei gebauten 2C1-Vierzylinder-Verbundlokomotive, wo alle vier Zylinder von dieser Achse aus angetrieben werden, zeigt Abb. 189.

Um das Auftreten von Rissen zu verhüten, werden in Frankreich nach Frémont die Kurbelwangen an den Rißstellen ausgeschnitten (Abb. 190). Die Art der Beanspruchung bei der Frémont-Achse ist günstiger als bei der Achse mit vollen Kurbelarmen. Die gefährliche Stelle am Übergang des Zapfens in die Wagerechte ist nicht mehr vorhanden und infolgedessen die Betriebssicherheit der Achse wesentlich erhöht. Doppelgekröpfte Achsen ermöglichen die Anbringung der Ausgleichgewichte in den Ebenen der Kurbelwangen, wovon Abb. 191 ein in England zur Ausführung gelangtes Beispiel bringt.

Lokomotiven mit drei Triebwerken erfordern einfach gekröpfte Achsen. Die Kropfachse der Drilling-Güterzuglokomotive, Gattung G₁₂

in Abb. 192 zeigt eine günstigere Form für die Herstellung als die Achsen mit zwei Kröpfungen. Der infolge des Mangels an Nickel verwendete Siemens-Martin-Stahl ist, nachdem er durch ein besonderes Verfahren „vergütet“ wurde, als Baustoff der Kropfachsen von Drillinglokomotiven geeignet.

III. Trieb- und Kuppelzapfen.

Um ein Warmlaufen der Trieb- und Kuppelzapfen, besonders bei den hohen Kolbendrücken der Heißdampflokomotiven zu vermeiden und die Abnutzung der betreffenden Lager zu vermindern, ist neben der Wahl des Baustoffes und der sorgfältigen Herstellung die genügende Größenbemessung der Lauffläche von besonderer Wichtigkeit.

Baustoff: Tiegelflußstahl oder Chromnickelstahl. Aus Festigkeitsrücksichten sind selbst die Abmessungen der Zapfen aus Flußstahl schon ziemlich groß. So würde beispielsweise die Nachrechnung

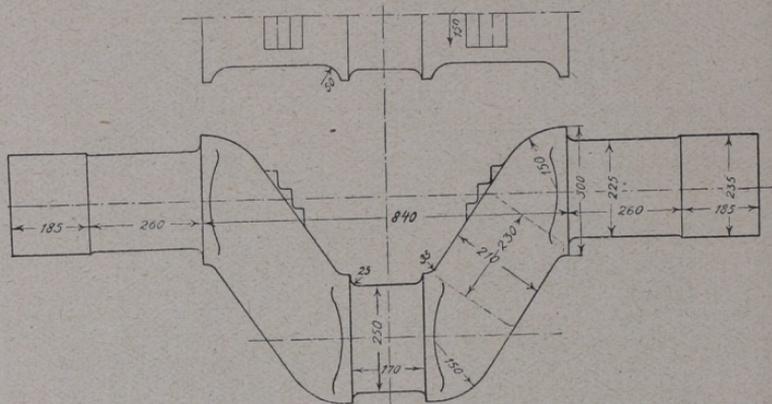


Abb 192. Kropfachse für Drillinglokomotive.

des Triebzapfens der preuß. 2C-H. P. L. auf Biegung mit 575 mm Zylinderdurchmesser, 12 at Kesseldruck, 190 mm Nabendurchmesser, (98 + 150) mm Schenkellänge, nur ein

$$k_b = \frac{57,5^2 \pi \cdot 12 \left(\frac{15}{2} + 9,8 \right)}{0,1 \cdot 19^3} = 785 \text{ kg ergeben,}$$

während 1000 kg/qcm in diesem Falle zulässig sind.

Maßgebend für die Abmessungen der Zapfen ist:

a) die Aufnahme der hohen spezifischen Flächendrücke

$$p_{kg} : F_{qcm} = p_{kg} q_{cm},$$

die bei zu großer Reibung ein Fressen der Gleitflächen verursachen können,

β) die Sicherheit gegen Heißlaufen des Zapfens und Lagers, die bei Einhaltung der zulässigen Reibungsleistung vorhanden ist. Ihr entspricht das Produkt $p \cdot v_{mkg/sek} =$ spezifischer Flächendruck \times Zapfenumfangsgeschwindigkeit (vgl. Zus. 29).

Zusammenstellung 29.

Lokomotivgattung	Spezifischer Flächendruck p kg/qcm		$p \cdot v$ mk g/sek			Zapfenlänge: Zapfen- durchmesser 1 : d
	S	G; T	S;	G; T	S; G; T	
Innerer Triebzapfen	75	90	50 bis 75		0,6 bis 0,7	
Äußerer Triebzapfen . . .	125	150	75 bis 95		0,9	
Kuppelzapfen der Triebachse	110	135	—		1) 0,65 bis 0,75	
Kuppelzapfen der Kuppelachse	100	100	—		0,85	

Hierbei sind harte, genau rund geschliffene und hochpolierte Zapfen, sowie Weißmetallager mit vorzüglicher Schmierung zur Bedingung gemacht. Die zur Bestimmung der Zapfenumfangsgeschwindigkeit v erforderliche sekundliche Umdrehungszahl n ergibt sich aus

$$n = 88,5 \cdot \frac{V \text{ km/st}}{D \text{ mm}}$$

worin V die Höchstgeschwindigkeit der Lokomotive in km/st, D der Triebraddurchmesser in mm. Zusammenstellung 30 gibt bei S-, G- und T-Lokomotiven ausgeführte Zapfenabmessungen an.

Beispiel: Bestimmung der Größenabmessungen von Trieb- und Kuppelzapfen der preußischen 2C-H.P-Lok., Gattung Ps. Triebraddurchmesser 1750 mm, Zylinderdurchmesser 575 mm, größte Dampfspannung im Zylinder 12 at, mittlerer Dampfdruck im Zylinder bei 90 km/st Fahrgeschwindigkeit 3,8 kg/qcm.

a) Triebzapfen.

Berechnung auf Pressung

Aus der größten Kolbenkraft $P = \frac{57,5^2 \pi}{4} \cdot 12 = 31\,160$ kg und der

Annahme des zulässigen Flächendrucks von 125 kg/qcm bei S-Lokomotiven nach Zusammenstellung 29 ist die Triebzapfenfläche

$$d_T \cdot l_T = \frac{31\,160}{125} = 249 \text{ qcm.}$$

Wird $l_T = 0,9 d_T$ gesetzt, so ist $0,9 d_T^2 = 249$ und

Triebzapfendurchmesser $d_T = \sqrt{\frac{249}{0,9}} \cong 16,5 = 165$ mm.

Triebzapfenlänge $l_T = 165 \cdot 0,9 = 148,5 \cong 150$ mm.

Prüfung auf Heißlaufen

Bei der mittleren Kolbenkraft $P_m = \frac{57,5^2 \pi}{4} \cdot 3,8 = 9860$ kg, dem spezifischen Flächendruck $p = \frac{9860}{249} = 39,6$ kg/qcm und der sich bei 90 km/st Geschwindigkeit ($n = 88,5 \cdot \frac{90}{1750} = 4,55$) ergebenden Zapfenumfangsgeschwindigkeit $v_m/\text{sek} = 0,165 \pi \cdot 4,55 = 2,35$ m/sek ist $p \cdot v = 39,6 \times 2,35 = 93,0$ mgk/sek noch zulässig.

1) Schenkellänge hängt von der Lage der Zylinder ab.

Zusammenstellung 30.

Zapfen-

Bahn- verwaltung	Gattung	Bauart	Triebwerk	Lauf- achse	Kessel- druck	Schenkel der Laufachse		
				Durchm. mm		Durchm. mm	Länge mm	
Schnellzug- und								
Preußische Staats- eisenbahn	S ₈	2 B	550/630/2100	1000	12	160	220	
	P ₈	2 C	575 630/1750	1000	12	170	240	
	P ₁₀	1 D 1	3 ×		1000	14	175	255
			520/660/1750	1100				
	S ₁₀	2 C	4 × 430/630/1980	1000	14	170	240	
	S ₁₀ ¹	2 C	400 610/660/1980	1000	15	175	255	
S ₁₀ ²	2 C	3 × 500/630/1980	1000	14	170	240		
Holländische Staatsbahn . .		2 B	530/660/2100	990	12,4	170	260	
Ägyptische St.-B.		2 B 1	508/660/1980	1067 1435	12,6	190	285	
Dänische St.-B. .		2 C	570/670/1866	1054	12	160	250	
Portugiesische Staatsbahn .	Spur 1676	2 C	520/650/1546	850	12	150	200	
Badische St.-B. .		2 C 1	425 610/1800 650/670	990 1200	16			
Serbische St.-B.		1 C 1	4 × 410/650/1850	1050	12	170	210	
Sächsische St.-B.		1 D 1	480 720/630/1905	1065 1261	15			
Madrid-Zaragossa- Kicank - Eisenb.	Spur 1676	2 D	580/660/1400	830	12			
Güterzug-								
Preußische Staats- eisenbahn	G ₈	D	600/660/1350	—	12	—	—	
	G ₈ ¹	D	600/660/1350	—	14	—	—	
	G ₈ ²	1 D	620/660/1400	1000	14	175	255	
	G ₈ ³	1 D	3 ×		1000	14	175	255
			520/660/1400					
	G ₁₀	E	630/660/1400	—	12	—	—	
	G ₁₂	1 E	3 × 570/660/1400	1000	14	175	255	
	G ₁₂ ¹	1 E	3 × 560/660/1400	1 00	14	175	255	

abmessungen.

Zusammenstellung 30.

Schenkel der Trieb- und Kuppelachse		Triebzapfen		Kuppelzapfen der Trieb- achse				Druck auf die Lauf- achse	
Durchm. mm	Länge mm	Durchm. mm	Länge mm	Durchm. mm	Länge mm	Durchm. mm	Länge mm	t	Trieb- achse t
Personenzuglokomotiven.									
T 210	260	160	150	180	90	100	90	13	17,2
210	260	165	150	190	98	100	85	12,5	16,9
225	260	a 190 i 250	175 170	165	160	110	90	15	17
T 220	260	a 145 i 230	110 116	160	103	110	90	13,9	17,2
K 210	260	a 125 i 230	120 116	145	100	100	90	16	17,3
T 220	260	a 165 i 230	130 170	175	103	120	95	14,3	17,1
K 210	260	a 165 i 230	130 170	175	103	120	95	14,3	17,1
225	250	i 225	135			125	115	12,5	17,1
220	275	140	180	160	110	102	102	13	17,8
210	260	165	120	190	120	100	100	10,5	16
T 220	240	a 125 i 240	120 140			100	100	9	15
K 200	240	a 125 i 240	120 140			100	100	9	15
220	240	a 140 i 242	130 140	180	105	95	85	13,3	16,5
200	220	a 110 i 210	110 110	145	100	110	80	12	14,6
T 230	230	a 150 i 260	140 140	190	140	105	85	16	17,2
K 200	250	a 150 i 260	140 140	190	140	105	85	16	17,2
190	240	165	150	165	100	100	100	10	14,5
lokomotiven.									
190	220	165	120	165	100	100	85	—	14,3
210	220	175	130	175	100	100	85	—	17
T 225	260	170	180	195	130	110	90	13,4	17
K 215	260	170	180	195	130	110	90	13,4	17
T 225	260	a 155 i 250	160 170	190	150	110	90	16,3	17
K 215	260	a 155 i 250	160 170	190	150	110	90	16,3	17
T 210	260	165	150	165	100	100	80	—	14,3
K 190	210	165	150	165	100	100	80	—	14,3
T 225	260	a 165 i 250	160 170	150	190	110	90	13,1	16
K 215	260	a 165 i 250	160 170	150	190	110	90	13,1	16
T 225	260	a 165 i 240	160 150	140	180	110	90	13,9	17
K 215	260	a 165 i 240	160 150	140	180	110	90	13,9	17

Zusammenstellung 30 (Fortsetzung).

Zapfen-

Bahn- verwaltung	Gattung	Bauart	Triebwerk	Lauf- achse	Kessel- druck	Schenkel der Laufachse	
				Durchm. mm		at	Durchm. mm

Güterzug-

Prinz-Heinrich- Bahn		E	630/650/1325	—	12	—	—
Schwedische St.-B.		E	700/640/1300	—	12	—	—
Siamesische St.-B.		E	530/600/1200	—	12	—	—
Nord-Brabant E. G.		1 D	520/660/1400	940	12	160	330
Portugiesische Staatsbahn	Spur 1676	1 D	560/630/1330	850	12	140	200
Spanische Nord-B.	1676	2 D	400/640/1500	860	16	150	250
Antofagasta- Bolivia-Eisenb.	1000	1 D	420/610/980	710	12,66	152	229

Tender-

Preußische Staats- eisenbahn	T ₈	C	500/600/1350	—	12	—	—
	T ₁₀	2 C	575/630/1750	1000	12	160	220
	T ₁₂	1 C	540/630/1500	1000	12	190	300
	T ₁₄	1 D 1	600/660/1350	1000	12	190	300
	T ₁₆	E	610/660/1350	—	12	—	—
	T ₁₈	2 C 2	560/630/1650	1000	12	170	240
	T ₂₃	1 E 1	700/660/1400	850	14	—	—
Halberstadt- Blankenburg Holländische St.-B.		1 E 1	700/550/1100	850	14	150	300
		1 D 1	520/660/1400	915	12	160	305

Schmalspur-

Holländische St.-B. Java	Spur 1067	1 F 1	540/510/1102	774	12	140	280
Argentinische Staatsbahn	1000	1 D 2	520/600/1200	720	12	130	220
Breskens-Maldeg- hem	1000	C	340/400/970	—	12	—	—

abmessungen.

Zusammenstellung 30 (Fortsetzung).

Schenkel der Trieb- und Kuppelachse		Triebzapfen		Kuppelzapfen				Druck auf die	
Durchm. mm	Länge mm	Durchm. mm	Länge mm	der Trieb- achse		der Kuppel- achse		Lauf- achse	Trieb- achse
		Durchm. mm	Länge mm	Durchm. mm	Länge mm	Durchm. mm	Länge mm	t	t
lokomotiven.									
200	220	165	130	180	100	110	80	—	14,7
T 212	270	160	152	190	114	112		—	17
K 200	250								
155	240	165	100	165	100	100	80	—	10,1
203,2	240	150	140	170	150	100	80	10,2	14,2
190	220	140	130	170	100	100	85	9	14
200	230	a 120 i 210	140 140	140	120	100	90	10	15
190	229	140	140	165	152	114	86	10,5	14,5
lokomotiven.									
180	180	140	110	140	90	90	70	—	15,2
210	260	160	120	165	100	100	85	13,7	16,2
T 210	260	160	120	160	100	Kugel 130	85	15,5	17
K 190	200								
200	240	165	120	170	100	110	80	15,6	15,8
190	210	165	150	165	100	100	80	—	16,2
210	200	165	130	165	100	110	85	14,9	15,5
220	260	200	200	200	190	110	100	15	16
220	300	185	200	195	140	110	90	12,5	15
200	230	130	130	170	160	100	80	13,5	15
lokomotiven.									
155	240	165	100	165	100	100	80	9	9,5
200	250	165	135	190	135	100	100	8,7	13,5
120	150	90	80	105	60	70	64	—	6,7

β) Kuppelzapfen.

Für die Triebachse:

Bei dem Druck von $\frac{2}{3} P = \frac{2}{3} \cdot 31\,160 = 20\,770$ kg wird die Lagerfläche $d_k \times l_k = \frac{20\,770}{110} \cong 190$ qcm. Die Zylinderlage, deren Achsen man dem Rahmen so nahe wie möglich legt, gestattet eine Länge der Zapfen l_k von 98 mm. Hiernach ist $d_k = \frac{190}{9,8} = 19,2 \cong 190$ mm.

Für die Kuppelachse:

Sie wird mit $\frac{P}{3} = \frac{31\,160}{3} = 10\,390$ kg beansprucht. Bei einem zulässigen spezifischen Flächendruck von 100 kg/qcm folgt die Zapfenfläche zu $l_k \times d_k = \frac{10\,390}{100} = 103,9$ qcm. Wird $l_k = 0,85 d_k$ gesetzt, so ist

$$d_k = \sqrt{\frac{103,9}{0,85}} = 11 = 110 \text{ mm und } l_k = 0,85 \times 110 \cong 90 \text{ mm.}$$

Kurbelzapfen werden vielfach hohl ausgeführt. Die Gegenkurbeln der Triebzapfen zum Antrieb der Steuerung werden in die Stirnfläche des Zapfens eingelassen und mit Schrauben befestigt. Auch kann die Gegenkurbel den Bund am Zapfende bilden, oder nach amerikanischer Ausführung auf einen Zapfenansatz an der Stirnfläche aufgeklemmt werden. Zapfen mit angeschmiedeter Gegenkurbel sind teurer in der Herstellung und erschweren im Betrieb das Abnehmen der Trieb- und Kuppelstangen.

b) Radstand.

Den Lokomotiven ist ein um so größerer Radstand zu geben, je größer die beabsichtigte Fahrgeschwindigkeit ist.

Für Bahnen, bei denen auf freier Strecke vielfach die nachbezeichneten Krümmungen vom Halbmesser R vorkommen, wird nach T. V. § 87 empfohlen, um diese Krümmungen ohne Klemmen (d. h. ohne Überschneiden der inneren Fahrkante) durchfahren zu können, den festen Radstand r der Lokomotiven nicht größer zu wählen als

$r^m =$	3,2	3,5	3,8	4,1	4,8	5,4
bei Rm =	180	210	250	300	450	500

Beweglichkeit der Achsen (nach T. V. § 88).

- I. Bei Lokomotiven mit größeren als den in § 87 angegebenen Radständen (Abstand der Endachsen) ist die Anwendung von Drehgestellen oder einstellbaren Achsen erforderlich.
- II. Zweiachsige Drehgestelle, deren Drehpunkt zwischen den Drehgestellachsen liegt, sowie Verbindungen beweglicher Achsen von ähnlicher Wirkung werden für Lokomotiven der Schnell- und Personenzüge an erster Stelle empfohlen.
- III. Ein- oder zweiachsige Deichselgestelle und nach der Bahnkrümmung einstellbare führende Laufachsen sind für Lokomotiven geeignet, die für Fahrgeschwindigkeiten bis zu 80 km/st bestimmt

sind. Die seitliche Verschiebbarkeit ist so groß zu machen, daß auch in den schärfsten Krümmungen der freien Strecke die Spurkränze des folgenden festgelagerten Räderpaares an der äußeren Schiene anlaufen können.

- IV. Zur Verminderung des Spurkranzdruckes an der führenden Achse drei- und mehrachsiger Lokomotiven ist den einzelnen Kuppelachsen — insbesondere derjenigen der festgelagerten, führenden Achse folgenden — eine so große seitliche Verschiebbarkeit zu geben, daß in den schärfsten Krümmungen der freien Strecke die Achsbünde der verschiebbaren Kuppelachsen keinen Seitendruck auf ihre Lager ausüben.

Schmierung der Spurkränze (vgl. auch T. V. § 89).

In krümmungsreichen Strecken wird das Schmieren der Spurkränze an den vorderen Rädern, bei Tenderlokomotiven an den vorderen und rückwärtigen Rädern während der Fahrt zur Herabminderung des Fahrwiderstandes empfohlen (Radnässer). Hierzu dient Öl (Ölkissen), Kesselwasser oder Niederschlagwasser aus der Abdampfleitung der Luftpumpe; bei Tenderlokomotiven auch Frischwasser aus dem Wasserbehälter.

c) Laufachsen.

Sie dienen zur Führung der Lokomotive in Krümmungen und müssen für $V = 60$ km/st bei Güterzug- und $V = 80$ km/st bei Personenzuglokomotiven geeignet sein. Zur Erreichung guter Krümmungseinstellung der Laufachse kann sich letztere seitlich verschieben und um einen wirklichen oder gedachten Drehpunkt ausschlagen. Rückstellung bewirken meist starke, mit 500 bis 1000 kg Anfangskraft eingesetzte Federn oder schräge Flächen oben auf den Achslagern.

Das Seitenspiel soll so groß sein, daß auch in den kleinsten Krümmungen die Spurkränze des nachfolgenden festen Radsatzes anliegen. Zu geringes Seitenspiel bewirkt in starken Krümmungen zu großen Seitendruck und führt zu Scharflaufen der Spurkränze. Größe der Seitenverschiebung 30 bis 50 (80) mm nach beiden Seiten.

Allgemein errechnet sich der seitliche Ausschlag aus $s = \frac{(r + c)^2 - r^2}{2R}$

worin r der feste Achsstand, c der Achsstand von der verschiebbaren bis zur ersten festen Achse, R der Krümmungshalbmesser. Bezeichnet d die Entfernung zwischen Laufachse und der sich radial stellenden festen Achse der Lokomotive, d_1 die Entfernung zwischen der ersten festen und der radial stehenden festen Lokomotivachse, l die Länge des Dreharmes der Laufachse, so muß sein $l = \frac{d^2 - d_1^2}{2d}$, um

Radialstellung der außen anlaufenden Laufachse zu ermöglichen. Gebräuchlich sind folgende Laufachsen.

Bauart „A d a m s“ (Abb. 193).

Die Achse ist in schräggestellten Achsbuchsführungen im Hauptrahmen gelagert. Achsgehäuse sind mittels Blechverbindung oder Stahlgußgehäuse verbunden. Die Rückstellung geschieht durch Wickel- oder Blattfedern von etwa 1000 kg Spannung; auch kann die Rückstellung durch Keilflächen erfolgen. Um eine radiale Einstellung der Adamsachse zu ermöglichen, müssen Achsbuchsgehäuse und Achslager-

backen kreisförmig gekrümmt sein. Der Krümmungshalbmesser soll betragen $l = \frac{(r + c)^2 - r^2}{2(r + c)}$, worin r und c die vorstehenden Bedeutungen haben.

Bauart „Bissel“ (Abb. 194).

Die Achse ist in einem besonderen Rahmen gelagert, der sich unter dem Hauptrahmen hinweg bewegen kann. Am hinteren Teil des Rahmens sitzt die Deichsel (Dreharm von der Länge l), die dreh-

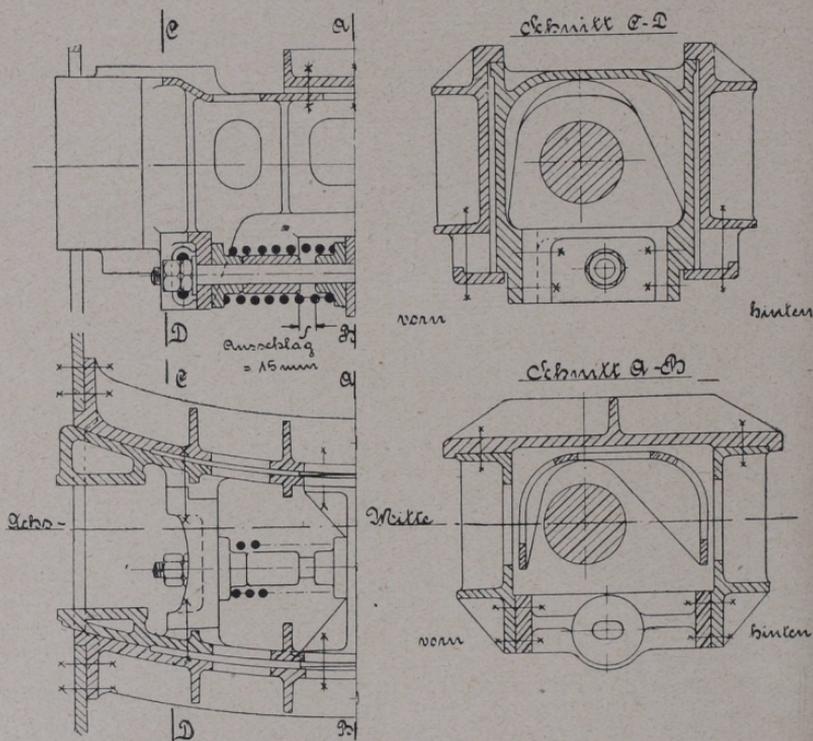


Abb. 193. Adams-Achse.

bar mit dem Hauptrahmen in Verbindung steht. Die Rückstellvorrichtung liegt über dem Laufachsgehäuse. Geeignet ist die Bisselachse für G-Lokomotiven und für P. T-Lokomotiven mit nicht zu hoher Geschwindigkeit (bis 80 km/st).

Bei der deutschen G₁₂-Bauart ist die Laufachse in einem Bissel-Gestell mit Drehzapfen, vorderen Zugstangen und Wiege gelagert. Sie wird abgedeutert durch zwei Tragfedern über den Achsbüchsen, sowie durch vier Wickelfedern an den Federspannschrauben. Durch Längs- und Quer-Ausgleichsheel ist der Stützapfen verbunden mit den Federspannschrauben der Tragfedern der ersten Kuppelachse.

Bauart „Webb“ (Abb. 196).

Bei der 2C1-Vierzylinder-Heißdampf-Verbund-S-Lokomotive der Ungarischen Staatsbahn schwingt der radial einstellbare Schleppradsatz um 2,65 m ideellen Halbmesser 75 mm nach jeder Seite. Die Rückstellung erfolgt durch eine oberhalb angeordnete Wickelfeder mit Kugelfpannenstützung.

Bauart „Klien-Lindner“ (Abb. 195).

Findet hauptsächlich bei Schmalspurlokomotiven Verwendung. Es ist eine innerhalb der Räder gelagerte, abgefederte Kernachse mit kugelförmiger Verstärkung in der Mitte, in die ein Zapfen eingepreßt ist, dessen vorstehende Enden mittels Gleitstücken in den Führungen der die Kernachse umgebenden zweiteiligen Hohlachse gleiten. Die Zapfenden freilassend, umfassen zwei außen halbzyllindrische Kugelschalen die Verstärkung der Kernachse. Auf diesen Kugelschalen

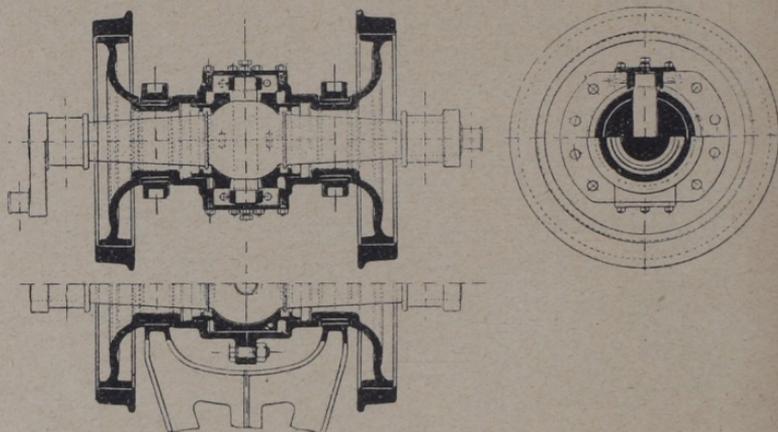


Abb. 195. Klien-Lindner-Achse.

kann sich die Hohlachse gegen die Kernachse aus der Mittellage verschieben, in die sie durch die Wirkung einer der beiden in der Hohlachse angeordneten Federn zurückgebracht wird.

d) Drehgestelle.

Sie bilden für sich ein besonderes Maschinengestell, dessen beide Achsen im Rahmen dieses Gestelles sitzen. Um einen zwischen den Achsen gelagerten Zapfen sind sie drehbar mit dem Hauptrahmen verbunden. Zweiachsige Drehgestelle bewirken die Erhöhung der Laufsicherheit der Maschine in der Geraden und in Krümmungen; sie bezwecken ferner eine Lastverteilung auf eine größere Achszahl und ermöglichen die Unterbringung eines großen Kessels.

Drehgestelle sollen möglichst großen Achsstand haben; gewöhnlich 2,0 bis 2,2 m bei Regelspur (Größtwert 2,7 m, Kleinstwert 1,5 m). Sie besitzen meist ein Seitenspiel s von 2×40 mm (bis 2×70 mm). Wenn die hintere Achse gerade innen anlaufen und dabei radial

stehen soll, so muß $s = \frac{a^2}{2R} - 2e$ werden, worin a die geführten

Länge (von Zapfen des Drehgestelles bis zur hinteren Achse), R der Krümmungshalbmesser und e die Spurerweiterung. Der Ausschlag des Drehgestelles wird begrenzt durch Anschläge am Hauptrahmen. Drehgestellräder > 840 mm Durchmesser; in Europa gewöhnlich 1,0 bis 1,2 m Durchmesser. Als Drehgestellrahmen dienen Blechrahmen von 18 bis 25 mm oder Barrenrahmen von 60 bis 75 mm Stärke.

Die mannigfachen Drehgestellbauarten unterscheiden sich hauptsächlich in folgendem: in der Anordnung des Mittelzapfens (tragend oder führend, mit oder ohne Seitenbeweglichkeit), in der der Tragfedern, in der Art der Lokomotivunterstützung durch das Drehgestell und in der Rückstellereinrichtung in die Mittellage (durch Federn, Pendel, Keilflächen).

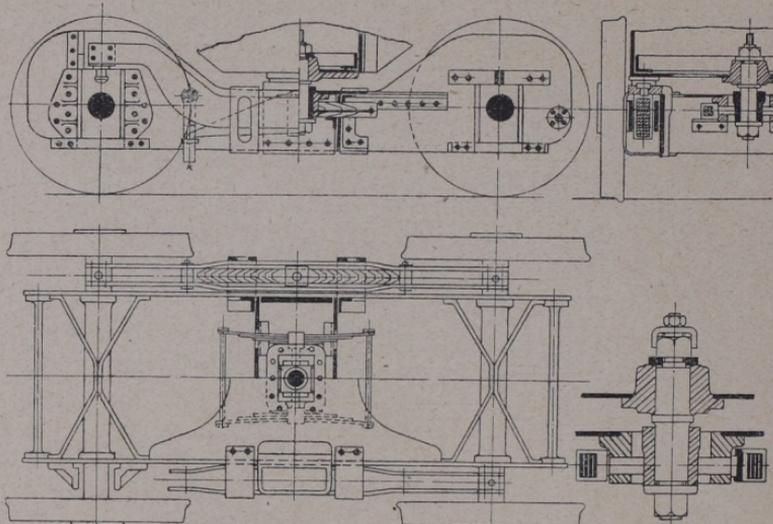


Abb. 197. Preußisches zweiachsiges Drehgestell.

Preußisches zweiachsiges Drehgestell (Abb. 197).

Der Drehzapfen, um den die Drehbewegung und der Seitenausschlag erfolgt, ist am Hauptrahmen fest gelagert, ist im Drehgestellrahmen mit einem Gleitklotz seitlich verschiebbar und liegt in der Mitte des Drehgestelles. Rückstellung erfolgt durch zwei mittels Spannstangen zu gemeinsamer Wirkung verbundene lange Blattfedern, die sich auf den Achsbüchsen abstützen. Der Hauptrahmen ruht auf seitlich angeordneten Stützlagern.

Drehgestell der 2D-Heißd.-S-Lok. der spanischen M. Z. A. - Bahn (Abb. 198).

Die Seitenbeweglichkeit wird ermöglicht durch Aufhängung nach Art einer Wiege. Die Darstellung ¹⁾ zeigt die Krafterückwirkung auf

¹⁾ Hanomag-Nachrichten, 1915, Heft 1, S. 17.

die einzelnen Aufhängebolzen und die Einstellung der Wiege selbst einmal für Mittelstellung, dann auch für einen seitlichen Höchstauschlag von 60 mm. Nach Abzug der toten Lasten erhält man für den ersteren Zustand wagerechte Kräfte von 2400 kg, die sich gegenseitig aufheben und wie die Vorspannung einer Rückstellfeder wirken. Im Augenblick des größten Ausschlages ergibt sich eine wagerechte wirksame Rückstellkraft von 3100 kg.

Krauß-Helmholtz-Drehgestell (Abb. 199 bis 203).

Stellt die zwangsläufige Verbindung dar zwischen einer seitlich verschiebbaren Kuppelachse und einer radial einstellbaren, in einem

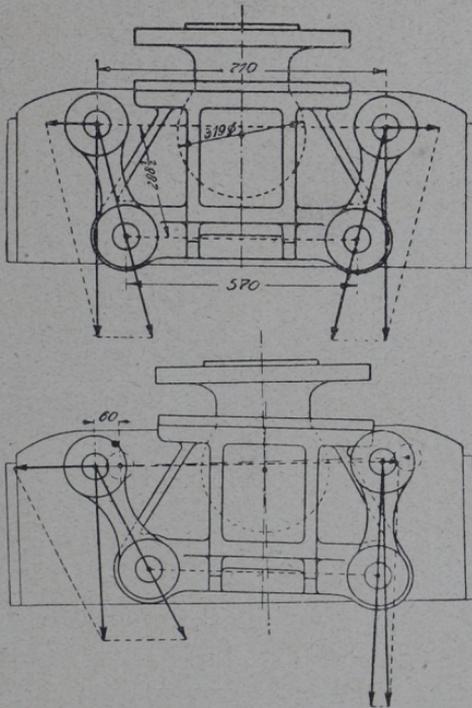


Abb. 198. Wiege für das zweiachsige Drehgestell einer spanischen Lokomotive.

Deichselgestell gelagerten Laufachse. Die Anordnung ist also kein selbständiges Drehgestell, sondern die zwangsläufige Verbindung eines einachsigen Deichselgestelles mit einer zweiten, seitlich verschiebbaren Achse. Seitlicher Ausschlag $s = \frac{r \cdot c_1^2}{R}$, worin r der feste

Radstand und c_1 die Entfernung des Drehzapfens von der Kuppelachse. Der Drehpunkt darf nicht zu weich gefedert und nicht zu weit rückwärts (nicht hinter Drehgestellmitte) gelagert sein. Letzteres ist notwendig, um große geführte Länge der Lokomotive und gute radiale Einstellung der Laufachse zu erhalten.

Die allgemeine Wirkungsweise ist folgende: Bei annähernder Radialstellung und gleichzeitiger Einwärtsbewegung der vor- oder nachlaufenden Endachse wird die benachbarte Kuppelachse nach auswärts bis zum Anlaufen an die Schiene verschoben, so daß beide Achsen mit den Spurkränzen der diesbezüglichen Räder die Außenschiene berühren.

Verschiedene Ausführungsformen zeigen die Abb. 199 bis 203. Sie bezwecken die völlige Beseitigung des Einseitiglaufens (einseitige Abnutzung der Laufräder bei Vorwärtsfahrt in der Geraden). Die Mittel hierzu sind: Unabhängigkeit der Winkelstellung der Laufachse von derjenigen der Deichsel innerhalb der Spielräume s (vgl. Abb. 199), sowie Sicherung der zur Fahrzeug-Längsachse genau rechtwinkligen Grundstellung der Laufachse durch die am Hauptrahmen fest angebrachten Widerlager M , gegen die der Achslagerkörper G durch die Feder N angedrückt wird (in Abb. 200 und 202 Blattfeder, in Abb. 199 und 201 Wickelfeder).

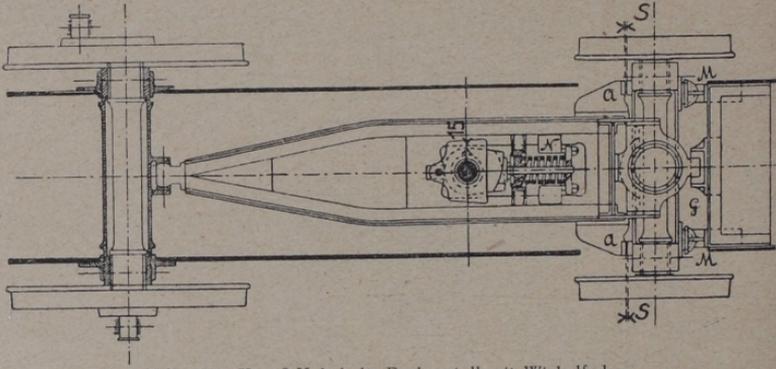


Abb. 199. Krauß-Helmholtz-Drehgestell mit Wickelfeder.

In Abb. 200 ist das Lagergehäuse G der Laufachse nicht starr (wie bei früheren Ausführungsarten des K. H. D.) mit der Deichsel verbunden, sondern durch einen Zapfen D über der Achsmittte, oder, falls für dessen körperliche Durchbildung nicht genügend Raum vorhanden ist, durch einen ideellen Drehpunkt. So kann zwar die gegenseitige Abhängigkeit in der Seitenverschiebung der Achsen gewahrt bleiben; der Laufachse sind jedoch innerhalb eines Spielraumes von 3 mm geringe wagerechte Verdrehungen gegenüber der Deichsel gestattet, und ein zwangsläufiges Mitnehmen der Achse durch die Deichsel in radialer Richtung tritt erst ein, nachdem einer der Anschläge A zum Anliegen gekommen ist. In der Mittellage des Gestells und den unmittelbar benachbarten Stellungen, in denen beide Anschläge A noch frei sind, wird die zur Mittellinie des Fahrzeuges genau rechtwinklige Stellung der Laufachse durch zwei an dem Hauptrahmen H befestigte Widerlager M gesichert, gegen die das Lagergehäuse G nach vorn anliegt. Ein Andrücken gegen diese Widerlager, welches allzufreie Pendelbewegungen der Achse innerhalb der Spielräume verhindern soll, erfolgt durch die Feder N , die sich mit ihrer Mitte gegen den Dreh-

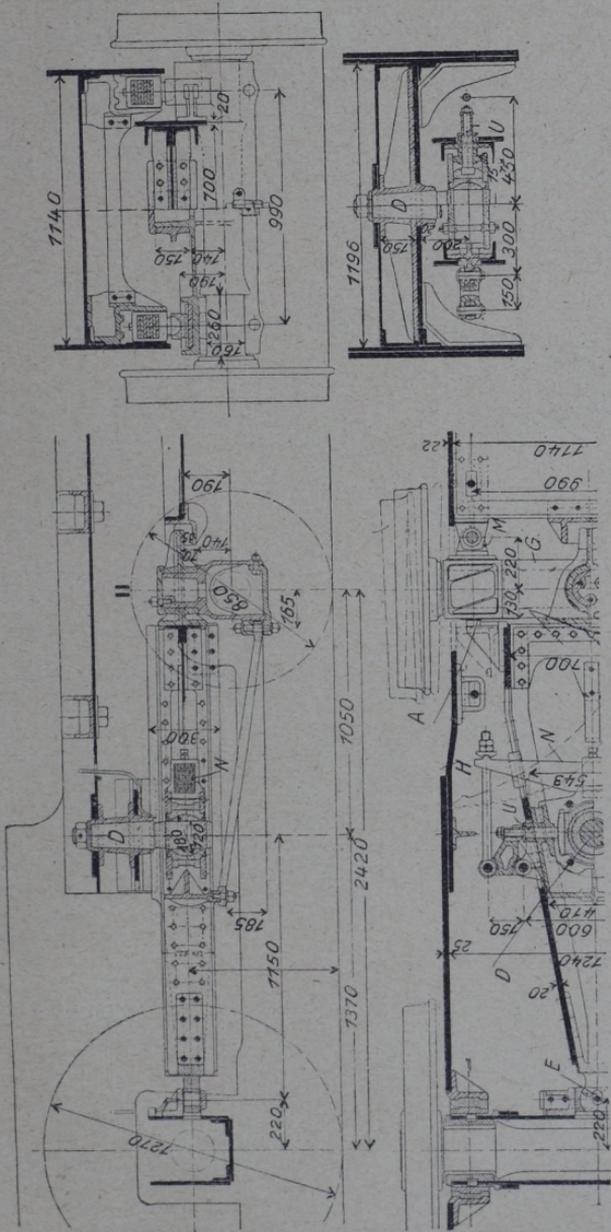


Abb. 200. Krauß-Helmholtz-Drehgestell mit Blattfeder.

zapfen D, also einen mit dem Haupttrahmen H fest verbundenen Punkt stützt und mit ihren Enden das ganze Deichselgestell einschließlich der Laufachse nach vorn zu ziehen sucht. Um diesem Zug nachgeben zu können, wird die Deichsel an den Lagern der Zapfen D und E in Schlitzn geführt, die eine Längsverschiebung gestatten. Bei größeren Verstellungen der Deichsel, wie sie nur beim Befahren von Krümmungen vorkommen, sollen die Anschläge A in Wirksamkeit treten und zwangsläufiges Einstellen der Achse in radialer Richtung bewirken.

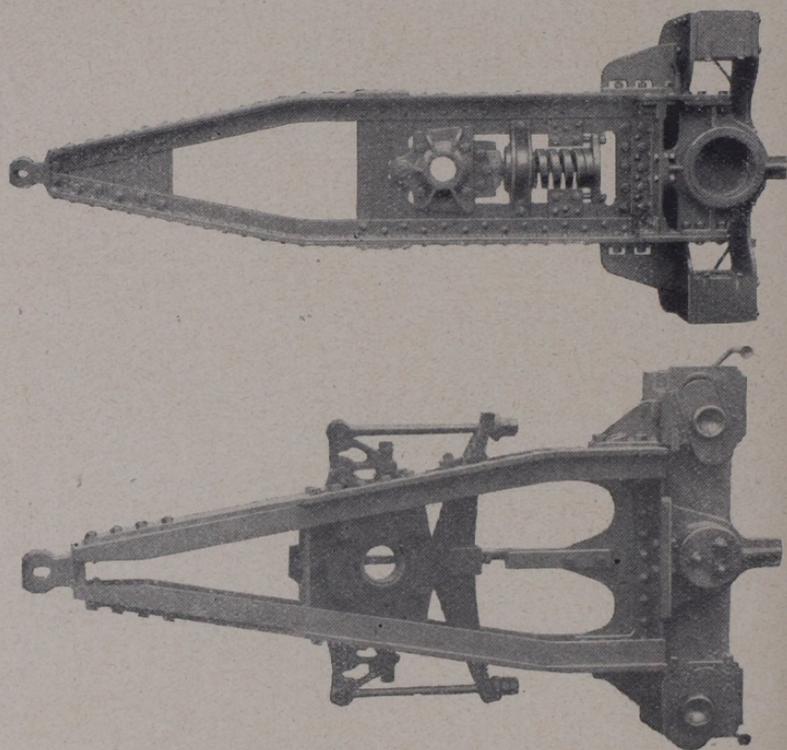


Abb. 201/202. Ausführungsformen des Krauß-Helmholtz-Drehgestells.

Das Lagergehäuse G bleibt alsdann nur mit einem der Widerlager, und zwar mit demjenigen auf der äußeren Seite der Krümmung in Berührung, während es sich von dem andern nach hinten abheben muß. Die Kraft der Feder N, die jetzt noch etwas weiter angespannt wird, sucht dabei das Gestell um das äußere Widerlager zurückzudrehen, wirkt also im Sinne einer die Wiederherstellung der Mittellage anstrebenden Rückstellvorrichtung. Um die Seitenstöße bei der Einfahrt in Krümmungen zu mildern, wird dem ganzen Gestell eine geringe Seitenverschiebung gegen den Hauptdrehzapfen D gestattet. Zu diesem

Zweck ist das Lager des Zapfens D an den Stiften U quer geführt, jedoch derart, daß der oben erwähnten Längsverschiebung der Deichsel nichts im Wege steht. Die Feder N wirkt daher auf Andrücken gegen das Widerlager M, das entsprechend der Einstellung der Laufachse drehbar angeordnet ist, sowie auf Rückstellung bezüglich der radialen Verstellung der Laufachse und des seitlichen Ausweichens des Drehzapfens.

Bei dem Krauß-Drehgestell Bauart der Maschinenfabrik Kolomna (Rußland) in Abb. 203 sind besondere Vorrichtungen an den Lagerschalen der Laufachsen vorhanden, zum genauen parallelen Einstellen zu den übrigen Achsen, weil andernfalls die Spurkränze

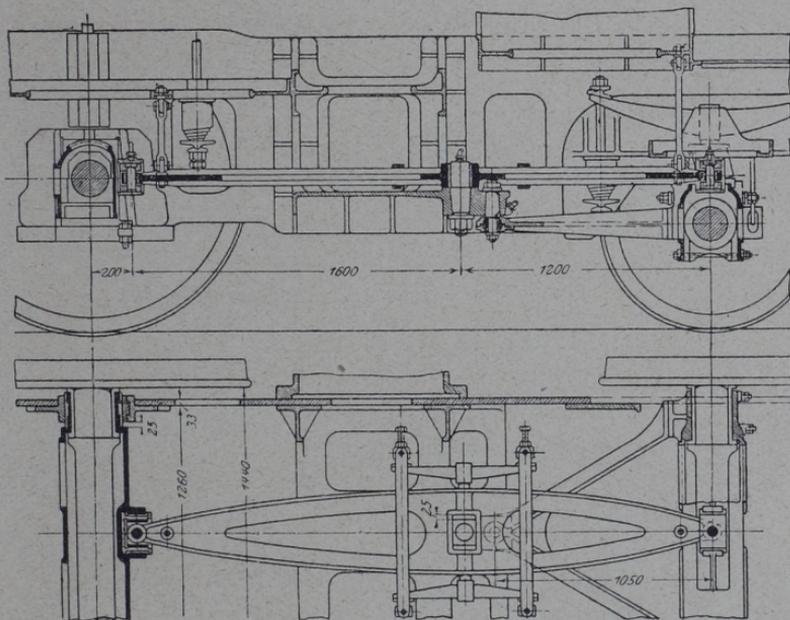


Abb. 203 Kolomna-Drehgestell.

durch einseitiges Anlaufen eines Rades bald scharf laufen würden. Am oberen Teil der Laufachsbüchse sind entsprechende Einstellschrauben. Die Bauart ermöglicht einmal die für die radiale Einstellung notwendige Deichsellänge; ferner können, unabhängig davon, durch den oberen im Rahmen aufgehängten Hebel die Seitenkräfte im besten Verhältnis verteilt werden. Der Hebel trägt an seinen Endpunkten Gleitschuhe, die in Führungen des Gehäuses gehen, das die Achslagerbüchsen miteinander verbindet.¹⁾

Namentlich bei Tenderlokomotiven, die in beiden Richtungen laufen, gelangt die sogen. „Schweizer Kombination“ des K. H. D. zur

¹⁾ Nach Meineke, Z. V. D. I. 1921, S. 218.

Ausführung, d. h. das alte, mit der Laufachse fest verbundene Dreieck wird nur im mittleren Drehpunkt, unter Rückstellung in gewöhnlicher Art durch zwei gegeneinander wirkende Blattfedern seitlich verschiebbar gemacht.

Zara-Drehgestell (Abb. 204).

Meist in Italien gebräuchlich; Abart des Krauß-Helmholtz-Drehgestells. Durch ein besonderes Rahmenwerk, dessen Drehpunkt vermöge seiner Pendelaufhängung seitlich verschiebbar und mit Rück-

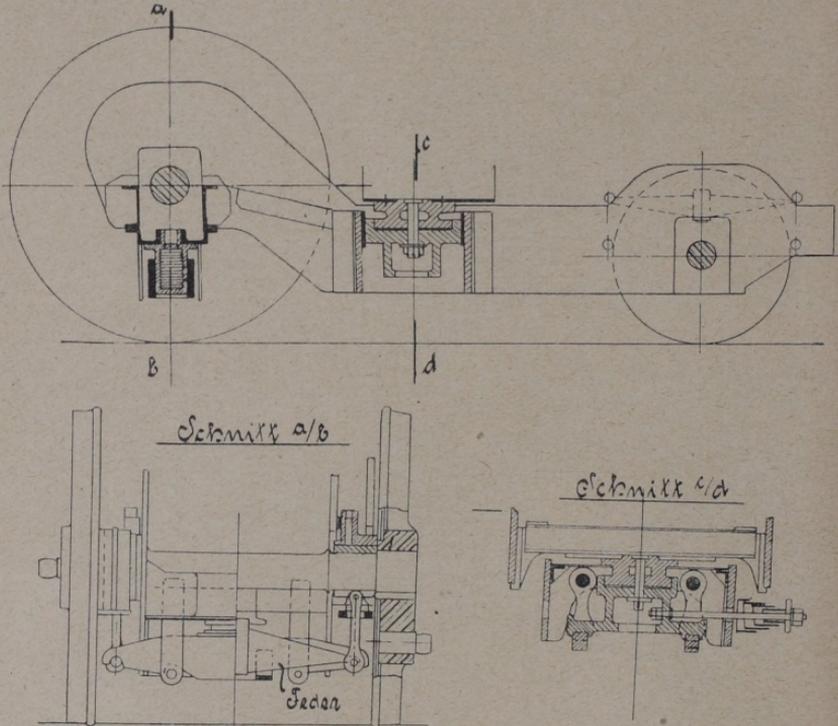


Abb. 204. Zara-Drehgestell.

stellfedern ausgestattet ist, sind die beiden im Gestell vereinigten Achsen (Lauf- und Kuppelachse) gehalten.

Flamme-Drehgestell (Abb. 205).

Umschließt die Laufachse und erste Kuppelachse, unterscheidet sich von Krauß-Helmholtz jedoch dadurch, daß der Mittelzapfen belastet und infolge der Pendelaufhängung seitlich verschiebbar ist (wie bei Zara). Durch die Verschiebbarkeit des Mittelzapfens wird der notwendige große Ausschlag der Laufachse von 2×136 mm ermöglicht. Während Zara den Mittelzapfen mit ebener Druckfläche ausbildet, hat Flamme die kuglige Form angewendet; der Abstand

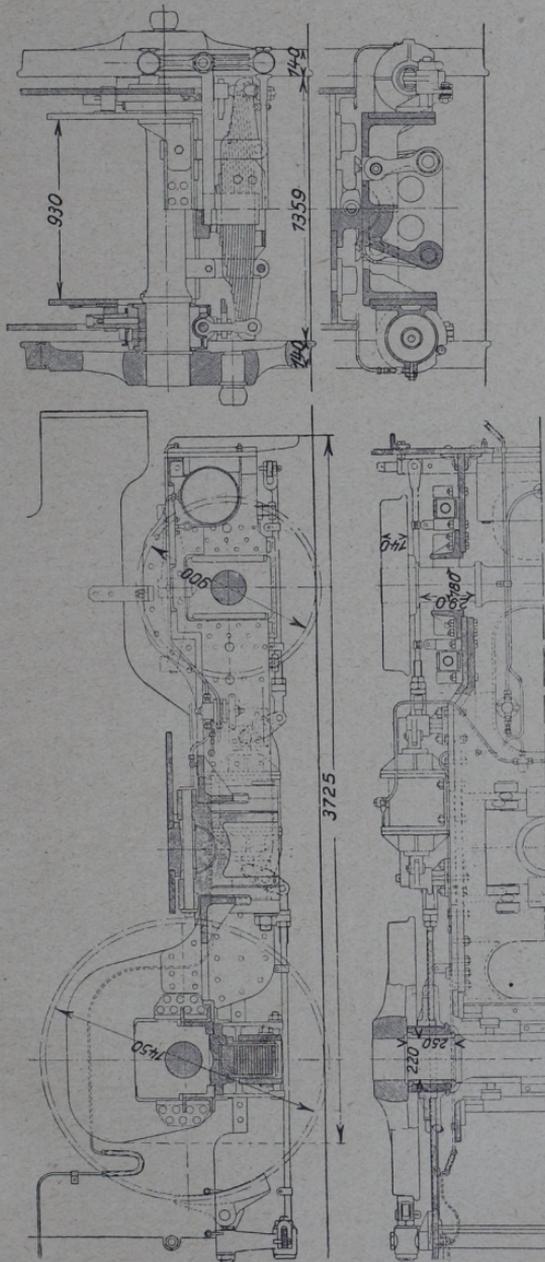


Abb. 205. Flamme-Drehgestell.

von der Laufachse beträgt im vorliegenden Beispiel 1380 mm und von der ersten Kuppelachse nur 1120 mm, um dieser größere Belastung zu geben. Die Laufachse hat zwei unabhängige Federn, während die Kuppelachse durch eine Querfeder ihre Last erhält.

Amerikanisches Drehgestell (Abb. 206).

Während bei Drehgestellen mit Federrückstellung mit zunehmendem seitlichen Ausschlag der Widerstand entsprechend der Feder- spannung wächst, ist bei dem amerikanischen Drehgestell eine gleich- mäßige Rückstellkraft vorhanden. Die Rückstellvorrichtung besteht in folgendem: eine mit kräftigem Boden versehene Drehpfanne ruht auf zwei herzförmigen Gelenkstücken, die sich auf dem mittleren Rahmen- querstück abstützen. Die Gelenkstücke sind durch Laschen mit der Drehpfanne verbunden. Beim Drehgestellausschlag tritt Rückstellung dadurch ein, daß sich die beiden Gelenkstücke an der unteren Seite der Drehpfanne in entsprechend vorgesehene Neigungen abwälzen.

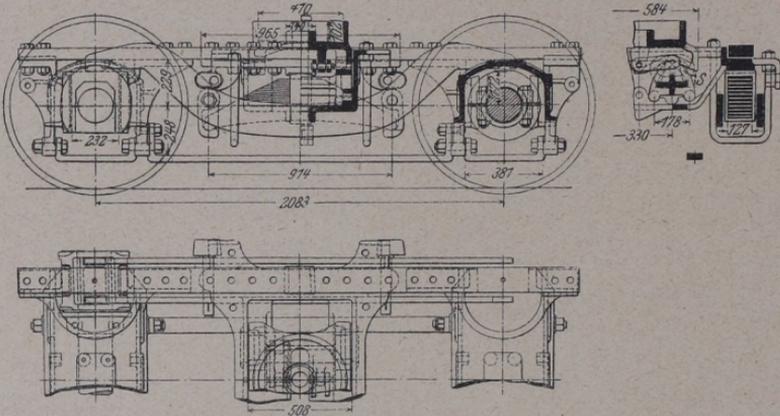


Abb. 206. Amerikanisches Drehgestell.

Dampfdrehgestelle.¹⁾

Sie werden ausgeführt entweder mit einem Drehpunkt zwischen den Endachsen (Bauarten Fairlie, Meyer, Du Bousquet u. dgl.), oder mit einem Drehzapfen außerhalb der Drehgestellachsen (Bauart Mallet-Rimrott).

6. Lauf der Lokomotive in Krümmungen.

a) Allgemeine Grundsätze.

Bei der Fahrt der Lokomotive in einer Krümmung will jeder Punkt derselben einen Kreis um den Krümmungsmittelpunkt M beschreiben (Abb. 207). Die Antriebskraft K des Fahrzeuges, vorwärts bewegt, wirkt in der Richtung ihrer Mittelachse $x-x$. Der hintere Punkt S kann sich aber nicht in Richtung der Antriebskraft K fort-

¹⁾ Vgl. Seite 326 bis 328.