

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 %

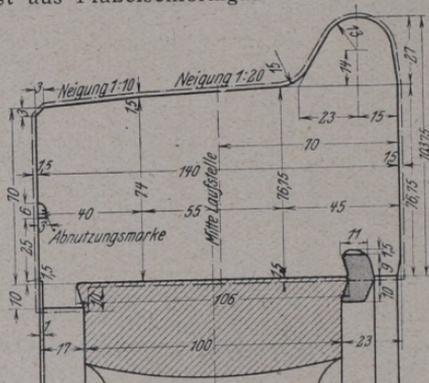


Abb. 188. Radreifenquerschnitt.

Dehnung in Deutschland. Vielfach wählt man Anzahl der Speichen gleich Raddurchmesser in dm oder gleich Raddurchmesser in dm + 1. Der Nabdurchmesser 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

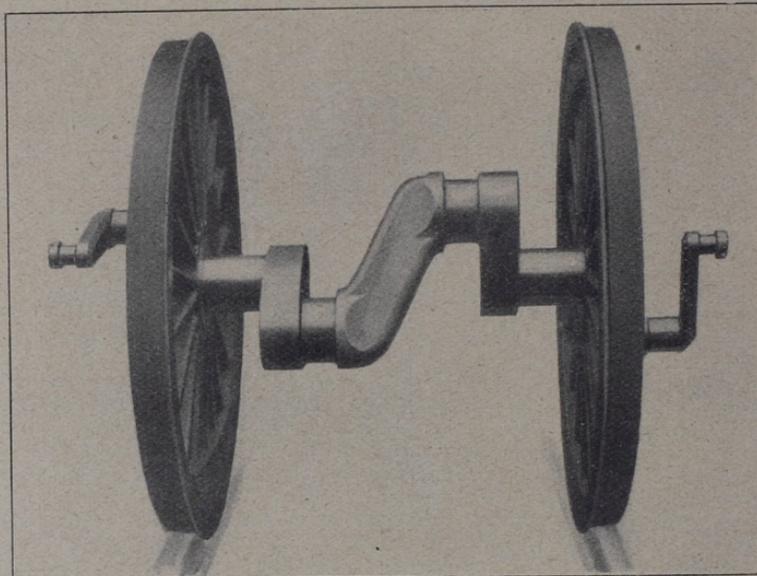


Abb. 189. Kropfachse für Vierzylinder-Verbundlokomotive.

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,

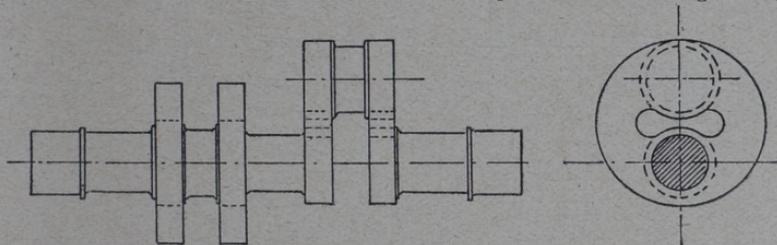


Abb. 190. Frémont-Achse.

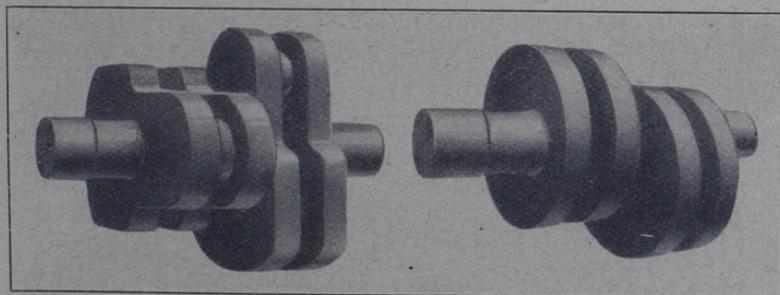


Abb. 191. Doppeltgekröpfte Achse.

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

Zusammenstellung 29.

Lokomotivgattung	Spezifischer Flächendruck p kg/qcm		$p \cdot v$ mk g/sek			Zapfenlänge: Zapfen- durchmesser l : d
	S	G; T	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
		mm	mm	mm	mm	mm	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