

sitzen, um den angreifenden Kräften standzuhalten. Immerhin sollen die Flansche auch im ersten Falle kräftig — die Flanschdicken mindestens gleich $\frac{5}{4}$ der Schraubensstärke — genommen werden, um die Rohrwandung nicht zu hohen Nebenbeanspruchungen auszusetzen.

Runde, besonders aufgesetzte Flansche berechnet man nach der Näherungsformel (161) auf Biegung. So ergibt sich an einem Hochdruckrohre nach Abb. 700 von 200 mm Nennweite bei $p_i = 20$ at Druck, bezogen auf den Außendurchmesser der Dichtleiste: die Längskraft im Rohr:

$$P' = \frac{\pi}{4} \cdot D_6^2 \cdot p_i = \frac{\pi}{4} \cdot 26^2 \cdot 20 = 10\,620 \text{ kg},$$

der Hebelarm des Biegemomentes:

$$a = \frac{D_2 - D_5}{2} = \frac{310 - 256}{2} = 27 \text{ mm},$$

die Biegespannung:

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot P' \cdot a}{\pi \cdot D_5 \cdot h_1^2} = \frac{6 \cdot 10\,620 \cdot 2,7}{\pi \cdot 25,6 \cdot 2,8^2} = 274 \text{ kg/cm}^2.$$

An den Flanschen der Rohre von 300 und 400 mm Durchmesser steigt die Spannung auf 343 und 405 kg/cm².

Ovale Flansche, Abb. 669, müssen im Querschnitt *BF* dem Biegemoment $\frac{P'}{2} \cdot c$, im Querschnitt *GH* dem Biegemoment $\frac{P'}{2} \cdot c'$ entsprechende Widerstandsmomente aufweisen; vgl. Berechnungsbeispiel 4.

2. Verbindungen durch lose Flansche.

Die einfachste Form zeigt Abb. 684. Die Enden der Rohre aus weichem Eisen, Kupfer oder Messing werden um 90° umgebördelt und durch zwei Überwurfflansche zusammengepreßt. Die Verbindung ist billig, für geringe Drucke gut geeignet, durch die DIN 2640

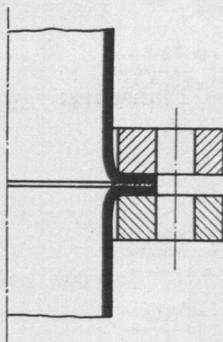


Abb. 684. Verbindung durch lose Flansche unter Umbördeln der Rohrenden.

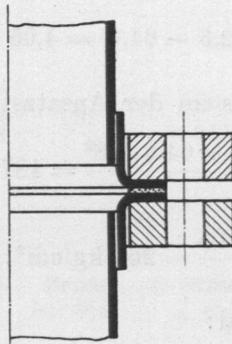


Abb. 685. Lose Flansche an vorgeschuhten Rohren.

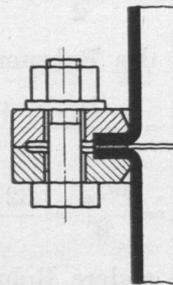


Abb. 686. Verbindung durch lose Flansche, A.-G. Ferrum.

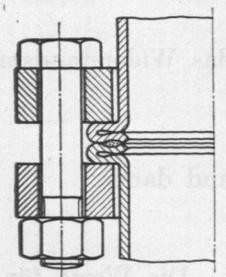


Abb. 687. Lose Flansche an doppelt gebördelten Rohren, Mannesmannwerke.

bis 2642 für die Nenndrucke 1 bis 10 genormt, vgl. Zusammenstellung 93b und c und wird viel verwendet. Manchmal wird das Rohr nach Abb. 685 vorgeschuht, indem ein Kupferbord mit dem Rohr hart verlötet wird. Um das Schiefziehen und Verbiegen der Flansche zu vermeiden, versieht die A.-G. Ferrum sie mit Rändern, die im angezogenen Zustande aufeinander liegen, Abb. 686. Allerdings ist man dabei auf die genaue Einhaltung der Flansch- und Dichtungsstärken angewiesen.

Die Mannesmannröhrenwerke verwenden für Hochdruckleitungen die doppelte Bördelung nach Abb. 687.

Auf- und vorgeschweißte Bunde mit losen Flanschen nach Abb. 692 und 694 geben sehr gute Verbindungen für Stahlrohre ab, sind günstig in bezug auf Beanspruchung auf Biegung, aber teurer als aufgewalzte Flansche. Ihre Stärke wird nach Bach, wie folgt, berechnet [VIII, 1], vgl. auch [VIII, 3]. Die in den Schrauben wirkende Kraft von P' kg, Abb. 688 und 689, ruft am Bordring eine gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Kraft hervor. Man denke sich beide gleichmäßig auf dem Umfang des Lochkreises und längs der mittleren Auflagelinie des Bordringes verteilt und betrachte die auf den halben Flansch wirkenden Kräfte $\frac{P'}{2}$. Sie lassen sich zu zwei Mittelkräften in den Schwerpunkten S_1 und S_2 der Halbkreislinien vereinigen, wobei ersichtlich wird, daß der gefährliche Querschnitt, der durch zwei einander gegenüberliegende Schraubenlöcher geht, durch ein Kräftepaar $\frac{P'}{2} \cdot S_1 S_2 = \frac{P'}{2} \cdot a$ auf Biegung beansprucht wird. Damit wird nach

$$M_b = k_b \cdot W, \quad \frac{P'}{2} \cdot \left(\frac{D_2}{\pi} - \frac{D_m}{\pi} \right) = k_b \cdot \frac{1}{6} \cdot (D_1 - D_3 - 2d_0) h^2, \quad (164)$$

woraus sich h bei Annahme von k_b ergibt. P' findet man aus dem inneren Druck p_i und der Fläche, auf welche er wirkt. Legt man in Übereinstimmung mit den Normalien zu Rohrleitungen für Dampf von hoher Spannung den äußeren Dichtungsdurchmesser zugrunde, so ist nach den Abb. 692 bis 701

$$P' = \frac{\pi}{4} \cdot D_6^2 \cdot p_i.$$

Die Berechnung entspricht der von Bach angegebenen Annäherungsrechnung für ebene

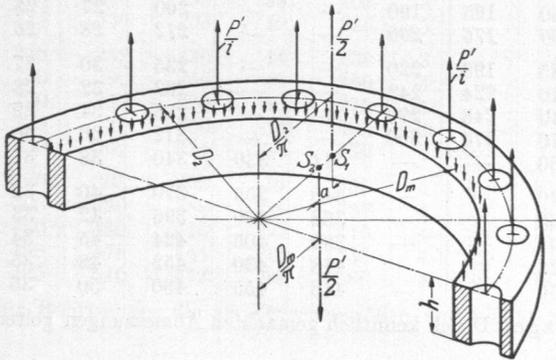


Abb. 688. Zur Berechnung loser Flansche nach Bach,

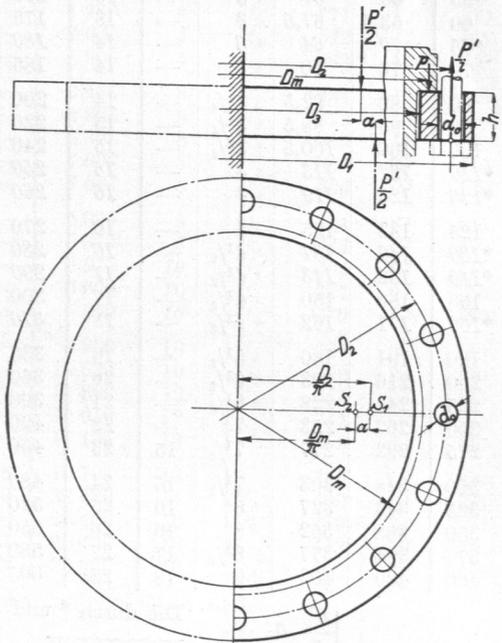


Abb. 689. Zur Berechnung loser Flansche nach Bach.

Platten (73), darf aber nur als Vergleichsmittel betrachtet werden und gibt keinen Aufschluß über die wirklich auftretende Art und Höhe der Spannungen. Denn bei der Ableitung der Formel an Hand der Abb. 688 wird angenommen, daß der eingespannt gedachte gefährliche Querschnitt seine ursprüngliche, rechteckige Form behält, daß die Nulllinie parallel zu den langen Seiten verläuft und daß die größte Beanspruchung auf Biegung längs der unteren und oberen Kante auftritt. Tatsächlich aber nimmt der Flansch unter der Wirkung der ringsum verteilten Kräfte eine gewölbte, annähernd kegelige Form an, indem sich die einzelnen Querschnitte um einen Winkel ω drehen,

Zusammenstellung 95. Normalien zu Rohrlei-
Aufgestellt vom Verein

1	2					6	7	8	9	10	11	12	13	14	15										
	Rohre															Flansche und									
	Bezeichnung	Tatsächlicher Durchmesser		Wand- dicke												Wanddicke des Ventils Abb. 700 und 701	Äußerer Durchmesser des losen Flansches Abb. 692 bis 699, sowie des festen Flansches Abb. 700 und 701	Lochkreisdurchmesser Abb. 692 bis 701	Innerer Durchmesser des losen Flansches D_3					Höhe d. losen Flansches Abb. 692 bis 699	Höhe des festen Flansches Abb. 700 u. 701 sowie d. Bordrings Abb. 692 bis 699
		außen	innen	im Schaft Abb. 692 bis 701	am Bordring Abb. 694 u. 695														bei aufgeschweißtem Bordring		bei vorgeschweißtem Bordring		bei aufgewalztem u. aufgenietetem Bordring		
mit Flachsitz Abb. 692						mit Schrägsitz Abb. 693	mit Flachsitz Abb. 694	mit Schrägsitz Abb. 695	mit Flachsitz und Schrägsitz Abb. 696 bis 699																
	$D_a^1)$ mm	D_i mm	s mm	s_1 mm	s_2 mm	D_1 mm	D_2 mm	mm	mm	mm	mm	mm	h mm	h_1 mm											
*25	32	26	3	—	11	120	90	35	50	—	—	52	13	13											
30	38	32	3	—	11	125	95	42	55	—	—	58	14	14											
*35	41,5	35,5	3	—	12	130	100	45	60	—	—	64	14	14											
40	47,5	41,5	3	—	12	140	110	52	65	—	—	70	15	15											
*45	51	45	3	—	12	150	115	55	70	—	—	76	15	15											
50	57	51	3	—	13	160	125	62	75	—	—	82	16	16											
*55	60	54	3	—	13	165	130	65	80	—	—	88	16	16											
60	63,5	57,5	3	—	13	175	135	68	85	—	—	92	17	17											
*65	70	64	3	—	14	180	140	74	90	—	—	100	17	17											
70	76	70	3	—	14	185	145	80	95	—	—	106	18	18											
80	89	82,5	3 1/4	—	14	200	160	94	110	—	—	118	19	18											
90	95	88,5	3 1/4	—	15	220	180	100	120	—	—	130	20	19											
100	108	100,5	3 3/4	—	15	240	190	114	130	—	—	142	21	20											
*110	121	113	4	—	15	250	200	126	144	—	—	154	22	21											
*120	127	119	4	—	16	260	210	132	156	—	—	164	23	22											
125	133	125	4	—	16	270	220	138	164	—	—	170	24	22											
*130	140	131	4 1/2	—	16	280	230	145	170	—	—	178	25	23											
*140	152	143	4 1/2	—	17	290	240	158	180	—	—	190	26	24											
150	159	150	4 1/2	—	17	300	250	165	190	—	—	200	27	25											
*160	171	162	4 1/2	—	18	310	260	176	200	—	—	212	28	26											
180	191	180	5 1/2	—	19	335	285	198	220	—	—	235	30	27											
200	216	203	6 1/2	—	20	360	310	224	242	—	—	262	32	28											
225	241	228	6 1/2	—	21	390	340	248	270	—	—	286	34	29											
250	267	253	7	—	22	420	370	274	300	—	—	312	36	30											
275	292	277	7 1/2	15	23	450	400	—	—	314	330	340	38	31											
300	318	303	7 1/2	15	24	480	430	—	—	340	355	370	40	32											
325	343	327	8	16	25	520	465	—	—	366	380	396	42	33											
350	368	352	8	16	26	550	495	—	—	392	405	424	45	34											
375	394	377	8 1/2	17	27	580	525	—	—	418	430	452	48	35											
400	420	402	9	18	28	605	550	—	—	446	455	480	50	36											

Die durch * und schrägen Druck kenntlich gemachten Abmessungen gelten

1) Diese Werte sind durch Umrechnung aus englischem Maß erhalten.

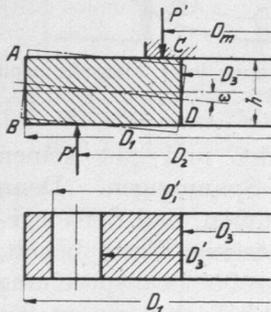


Abb. 690. Zur Berechnung loser Flansche nach Westphal.

wie in Abb. 690 strichpunktiert angedeutet ist. Die dabei entstehenden Spannungen hat Westphal [VIII, 3] näher untersucht; wenn die Schwächung, die der Flansch durch die Schraubenlöcher erfährt, vernachlässigt wird, fand er die größten längs der Innenkanten C und D des Ringes in Höhe von:

$$\sigma = \pm \frac{3 P' (D_2 - D_m)}{\pi D_3 h^2 \cdot \ln \frac{D_1}{D_3}} \quad (165)$$

tungen für Dampf von hoher Spannung 1912.
deutscher Ingenieure.

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Bordringe						Niete			Schrauben					Bezeichnung
Äußerer Durchmesser des Bordringes D_4		Hals des aufgewalzten und aufgenieteten festen Flansches sowie des aufgewalzten und aufgenieteten Bordringes Abb. 696 bis 701		Äußerer Durchmesser der Dichtungsteile Abb. 692 bis 701	Höhe d. Dichtungsteile Abb. 692 bis 701	Anzahl	Durchmesser	Abstand von Oberkante Hals = e Abb. 698, 699 und 701	Gesamtdruck $P' = \frac{\pi}{4} D_6^2 \cdot 20$	Anzahl i	Durchmesser	Werte von $P' : i$, worin / Kernquerschnitt der Schraube	Durchmesser des Schraubenloches	
aufgeschweißt Abb. 693 sowie vorgeschweißt Abb. 694 und 695	aufgewalzt Abb. 696 u. 697 sowie aufgenietet Abb. 698 und 699	Äußerer Durchmesser D_5 mm	Höhe h_2 mm											
60	64	48	18	60	2	—	—	—	565	4	1/2	180	14	25
65	68	54	19	65	2	—	—	—	665	4	1/2	212	14	30
70	74	60	20	70	2	—	—	—	770	4	1/2	246	14	35
75	80	66	21	75	2	—	—	—	885	4	1/2	282	14	40
80	88	72	22	80	2	—	—	—	1 005	4	5/8	192	17	45
85	94	78	23	85	2	—	—	—	1 135	4	5/8	216	17	50
90	100	82	24	90	2	—	—	—	1 270	4	5/8	242	17	55
95	106	86	25	95	2	—	—	—	1 420	4	5/8	271	17	60
102	114	94	26	102	2	—	—	—	1 635	4	5/8	312	17	65
110	122	102	27	110	2	—	—	—	1 900	4	5/8	363	17	70
125	134	114	28	125	2	—	—	—	2 455	8	5/8	234	17	80
135	146	124	29	135	2	—	—	—	2 865	8	5/8	273	17	90
145	158	138	30	145	2	—	—	—	3 305	8	5/8	315	17	100
160	172	150	31	160	3	—	—	—	4 020	8	3/4	257	21	110
172	182	160	32	172	3	—	—	—	4 645	8	3/4	296	21	120
180	188	165	33	180	3	—	—	—	5 090	8	3/4	324	21	125
185	195	174	34	185	3	—	—	—	5 375	8	3/4	343	21	130
195	206	186	36	195	3	—	—	—	5 975	10	3/4	305	21	140
205	216	195	38	205	3	—	—	—	6 600	10	3/4	337	21	150
215	230	208	40	215	3	—	—	—	7 260	10	3/4	370	21	160
238	252	230	44	238	3	—	—	—	8 900	10	7/8	327	24	180
260	280	256	48	260	4	—	—	—	10 620	10	7/8	390	24	200
290	305	280	50	275	4	—	—	—	11 880	12	7/8	364	24	225
320	332	306	52	305	4	—	—	—	14 610	12	1	341	28	250
350	362	334	54	330	4	—	—	—	17 105	12	1	399	28	275
380	395	362	56	355	4	20	16	28	19 795	14	1	396	28	300
405	420	388	58	380	4	20	18	29	22 680	14	1 1/8	360	32	325
430	450	416	60	410	4	20	18	30	26 405	14	1 1/8	419	32	350
455	478	444	62	435	4	22	18	31	29 725	16	1 1/8	413	32	375
485	510	472	64	460	4	22	18	32	33 240	16	1 1/8	462	32	400

für Rohrweiten, die als Zwischengrößen und nicht als normal zu bezeichnen sind.

Den Einfluß der Löcher hat er durch Berechnung eines Ringes mit einer Unterbrechung, Abb. 690 unten, festzustellen versucht; die dabei erhaltenen Spannungen:

$$\sigma' = \pm \frac{3 P' (D_2 - D_m)}{\pi D_3 h^2 \ln \frac{D_1 D_3'}{D_1' D_3}} \quad (166)$$

sind obere Grenzwerte, weil der Zusammenhang zwischen den beiden Ringteilen unberücksichtigt blieb. Die wirkliche Spannung liegt zwischen σ und σ' .

Schließlich hat man in der Ensslinschen Formel (72), Abb. 69, die Möglichkeit, die Beanspruchung loser Flansche nachzuprüfen. Dabei ist aber zu beachten, daß der

Wert zu groß ausfallen muß, weil bei der Ableitung der Formel vorausgesetzt ist, daß die Belastung an den Umfängen der ringförmigen Platte angreift, während der lose Flansch beiderseits über die Belastungslinien hinausragt, also breiter und widerstandsfähiger ist.

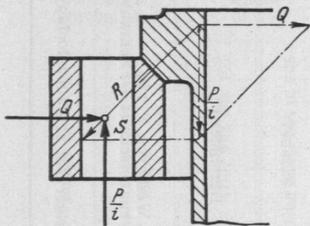


Abb. 691. Kraftwirkung an Flanschen nach Westphal.

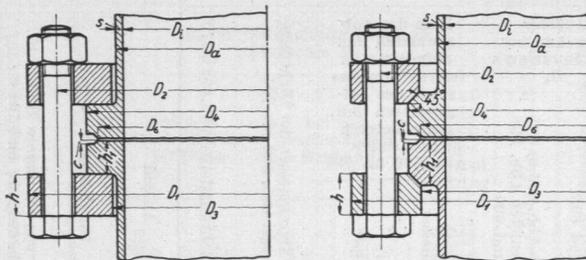


Abb. 692 und 693. Rohrverbindung mit aufgeschweißten Bunden und losen Flanschen.

Vorteilhaft ist, den Bund nach dem Vorschlage von Westphal, Abb. 693, 695 usw. abzuschrägen. Die auf eine Schraubenteilung entfallende, vom Flüssigkeitsdruck her-

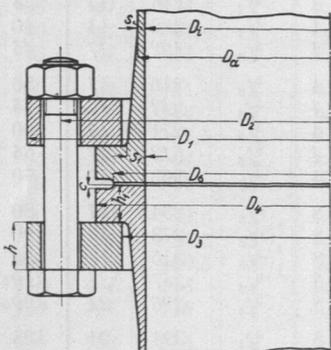
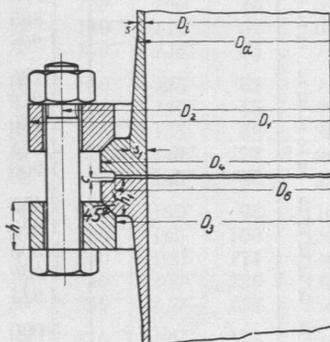


Abb. 694 und 695. Lose Flansche auf vorgeschweißten Bunden.



rührende Kraft von $\frac{P}{i}$ kg in der Wandung, Abb. 691, läßt sich dann in eine senkrecht zur Anlagefläche des Flansches stehende Seitenkraft R und eine radial nach innen gerichtete Q zerlegen. Im Flansch wird Kraft R durch die radiale Kraft Q und diejenige in der Schraube $\frac{P}{i}$ das

Gleichgewicht gehalten. Gestaltet man nun den Flansch

so, daß sich die Schraubenmittellinie und R im Schwerpunkte S schneiden, so erzeugen die Kräfte Q , die auf den Flansch bezogen, nach außen gerichtet sind, in diesem lediglich

Zugspannungen, während umgekehrt der Bordring am Rohre im wesentlichen auf Druck, beide also sehr günstig beansprucht sind. (Durch die Vorspannung werden die Kräfte in den Schrauben, wie oben gezeigt, auf je $\frac{P'}{i}$ kg erhöht. Dabei wird der Flansch durch die Differenz $\frac{P' - P}{i}$ nach wie vor auf Biegung in Anspruch genommen.)

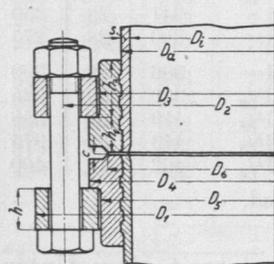
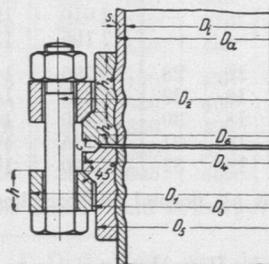


Abb. 696 und 697. Rohrverbindungen mit aufgewalzten Bordringen und losen Flanschen.



durch den Schwerpunkt S gehe, führt bei der in den Normalien benutzten Neigung von 45° der Abschrägung zu sehr dicken Flanschen und wurde deshalb nicht völlig erfüllt. Immerhin wird durch die schrägen Flächen die Biegespannung herabgesetzt, gleichzeitig aber auch die richtige Lage der Rohre zueinander besser als durch ebene Flansche gesichert.

In Zusammenstellung 95 sind noch die älteren, von einem Ausschuß des Vereins deutscher Ingenieure 1912 aufgestellten Normalien zu Rohrleitungen für Dampf

von hoher Spannung wiedergegeben. Sie gelten von 25 bis 400 mm lichtem Rohrdurchmesser bei Betriebsdrücken bis zu 20 at Überdruck und für Dampftemperaturen

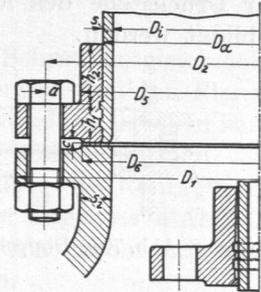
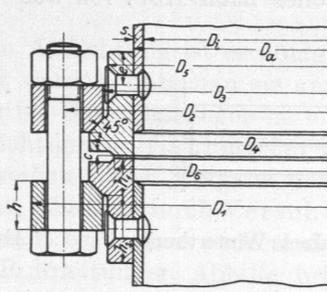
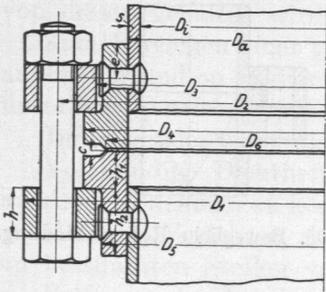


Abb. 698 und 699. Lose Flansche auf aufgenieteten Bordringen.

Abb. 700. Flanschverbindung mit eingewalztem Rohr.

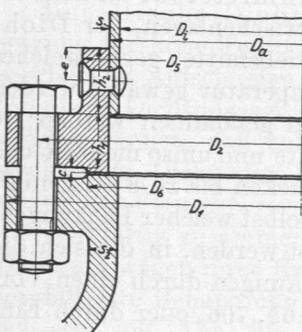


Abb. 701. Flanschverbindung mit angenietetem Rohr.

bis zu 400° C und haben ausgedehnte Anwendung gefunden, sollen aber bei neuen Anlagen selbstverständlich durch die neuen zum Teil noch in Bearbeitung befindlichen Normen ersetzt werden. Als Bezeichnung (Spalte 1) dienen auf 5 und 10 mm abgerundete Maße, die nur annähernd mit den lichten Weiten der Rohre, wie sie die Walzwerke liefern, übereinstimmen. In bezug auf die Abmessungen sind lediglich die Maße für die Flansch- und Lochkreisdurchmesser, sowie die Angaben für die Zahl und Stärke der Schrauben bindend; in der sonstigen Gestaltung ist dem Konstrukteur freie Hand gelassen. Abb. 692 bis 701 zeigen vom Ausschuß empfohlene Formen von Rohrverbindungen und Anschlüssen, auf die sich die Zahlen der Zusammenstellung beziehen.

3. Einstellbare und bewegliche Rohrverbindungen.

Geringe Abweichungen von der geraden Linie beim Verlegen der Rohre ermöglicht man durch kugeliges Abdrehen und Einschleifen der Dichtflächen nach Abb. 702, durch Verwendung von Linsen, Abb. 703, oder bei großen Rohren durch Einlegen zweier

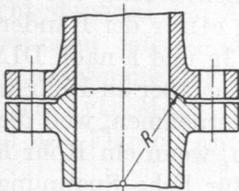


Abb. 702. Kugelig abgedrehte Dichtflächen.

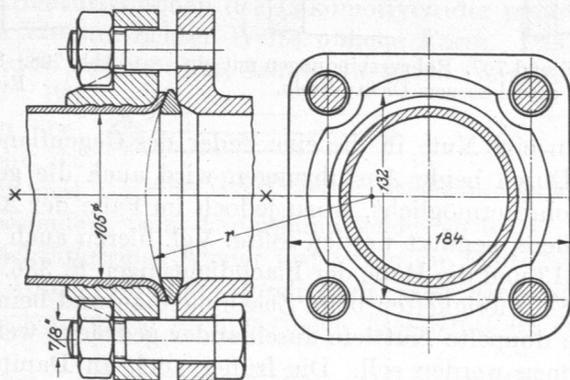


Abb. 703. Rohrverbindung mit Dichtungslinsen. M. 1 : 5. Oben mit Stift-, unten mit Durchsteckschrauben.

Ringe mit einer schrägen Trennfläche *AB*, Abb. 704. Durch Verdrehen der beiden Teile gegeneinander entsteht ein keilförmiges Zwischenstück, das schiefen Flanschen angepaßt werden kann. Bei allen derartigen Verbindungen ist aber zu beachten, daß die Muttern und Köpfe der Schrauben schlecht aufliegen, so daß die Schäfte auf Biegung beansprucht werden, wenn die Rohrachsen nicht in einer Geraden liegen.