

Blech und mit dem kleinsten der ermittelten Werte rechnet, so ergibt sich aus der Betrachtung eines Streifens von einem Zentimeter Breite, Abb. 611, die Überlappungsbreite der Lötnaht zu:

$$b = \frac{t \cdot K_z}{1400}, \quad (149)$$

wenn  $t$  die Dicke,  $K_z$  die Zerreißfestigkeit des Bleches bedeutet.

Aus Herstellungsrcksichten wird die Überlappungsbreite meist größer,  $b \geq 4 - 6t$  genommen, so daß die Widerstandsfähigkeit der Lötnaht stets größer als die des Bleches ist und die Brüche außerhalb der Naht eintreten. Flanschverbindungen werden durch Umbördeln des Rohres nach dem Löten weiter verstärkt.

Bei Versuchen von Rudeloff an Zugproben aus Rohren von weichem Kupfer von 3, 5 und 8 mm Wandstärke, die unter Zuschrfen der Blechkanten etwa 20, 25 und 35 mm breit überlappt mit Schlaglot gelötet waren [VII, 4], verhielten sich gut gelungene Ltnhte bei Wärmegraden bis zu 300° im allgemeinen ebenso wie Proben ohne Naht. Bis zu 200° traten die Brüche bei den schwächeren Blechen fast ausnahmslos außerhalb der Lötstelle ein. Dagegen rissen die Proben aus 8 mm dicken Blechen meist in der Lötstelle. Erst bei 300 bis 400° C ging die Festigkeit der Ltnhte stärker als die der Kupferbleche zurück, indem die Brüche häufiger in den Ltnhten auftraten. Mit zunehmender Überlappungsbreite schien die Schwierigkeit, blasenfreie Ltnhte herzustellen, zu wachsen.

Weichlote dienen zur Herstellung von Verbindungen, die keine oder mäßige Kräfte übertragen sollen; insbesondere an Gefäßen und Teilen aus Kupfer, Zink, Messing und aus Blechen aller Art. Die Lötstellen werden blank gemacht und während des Erhitzens beim Löten durch ein Lotaufbringmittel, Zinkchlorid, Salzsäure, Wachs, Fette usw., die leichtflüssiger als die Lote sind, vor dem Sauerstoff der Luft geschtzt und blank gehalten. Die Lote selbst haben im flüssigen Zustande größere Benetzungskraft, verdrängen die eben erwähnten Mittel, schließen die Fuge und stellen die Verbindung her.

## Achter Abschnitt.

# Rohre und Rohrleitungen.

## I. Allgemeines.

Rohre sind beiderseits offene Zylinder, die zu Leitungen und Rohrnetzen zusammengesetzt oder zwischen einzelnen Maschinenteilen eingeschaltet, zum Fortleiten und Verteilen von Flüssigkeiten, Dampf und Gasen, ausnahmsweise von körnigen, festen Körpern dienen. An Krümmungen und Abzweigstellen vermitteln besondere Formstücke den Übergang zwischen den einzelnen Rohren oder Strängen. Die gängigen Rohrsorten und Formstücke sind genormt; nur solche mit ungewöhnlichen Abmessungen oder solche für sehr hohen Druck werden von Fall zu Fall besonders entworfen.

Die Normen sind auf den in DIN 2401 festgelegten Druckstufen, Zusammenstellung 84, unter Benutzung der Normungszahlen der DIN 323 aufgebaut. Die Rohre werden dem Nenndruck entsprechend bemessen und nach demselben in Gruppen eingeteilt und benannt, aber je nach der Art und den Eigenschaften der durchzuleitenden Stoffe bei z. T. abweichendem Betriebsdruck verwendet. So sind z. B. Rohre vom Nenndruck 40 für Wasser bis zu 40 kg/cm<sup>2</sup> Pressung, dagegen für Gase und Dampf unter 300° bis zu 32, für Heißdampf nur bis zu 25 kg/cm<sup>2</sup> Betriebsdruck zulässig. Gas und Dampf sind nämlich bei etwaigen Brüchen ungleich gefährlicher wie Wasser; außerdem verlangen hohe Wärmegrade eine Ermäßigung der Spannungen in den Rohr-

wandungen und Verbindungsmitteln, weil mit steigender Temperatur die Streckgrenze der Werkstoffe sinkt. Dementsprechend sind den Nenndrücken die folgenden Betriebsdrücke zugeordnet:

für Wasser, gekennzeichnet durch  $W$  100% des Nenndrucks,  
 „ Gase und Dampf, „ „ „  $G \approx 80\%$  „ „  
 „ Heißdampf, „ „ „  $H \approx 64\%$  „ „

Die Betriebsdrücke für „Wasser“  $W$  gelten für Wasser unterhalb  $100^\circ$  und für andere ungefährliche Flüssigkeiten unterhalb ihrer Siedetemperatur bei Atmosphärendruck.

Zusammenstellung 84. Druckstufen für Rohrleitungen nach DIN 2401 in  $\text{kg/cm}^2$ ,

a	b	c	d	e	f	a	b	c	d	e	f	a	b	c	d	e	f
Nenn- druck	Wasser bis $100^\circ$ Flansche u. Rohre	Gas u. Dampf un- terhalb $300^\circ$ Flan- sche und Rohre	Heißdampf $300^\circ$ bis $400^\circ$ $H$		Probedruck	Nenn- druck	Wasser bis $100^\circ$ Flansche u. Rohre	Gas u. Dampf un- terhalb $300^\circ$ Flan- sche und Rohre	Heißdampf $300^\circ$ bis $400^\circ$ $H$		Probedruck	Nenn- druck	Wasser bis $100^\circ$ Flansche u. Rohre	Gas u. Dampf un- terhalb $300^\circ$ Flan- sche und Rohre	Heißdampf $300^\circ$ bis $400^\circ$ $H$		Probedruck
			Flan- sche	Rohre					Flan- sche	Rohre					Flan- sche	Rohre	
ND	W	G	Flan- sche	Rohre		ND	W	G	Flan- sche	Rohre		ND	W	G	Flan- sche	Rohre	
1	1	1	—	—	2	10	10	8	—	—	16	100	100	80	64	64	125
—	—	—	—	—	—	12,5	—	—	—	—	—	125	125	100	80	80	160
—	—	—	—	—	—	16	16	13	13 <sup>2)</sup>	10	25	160	160	125	100	100	200
2	—	—	—	—	—	20 <sup>1)</sup>	20	16	—	13	32	200	200	160	125	125	250
2,5	2,5	2	—	—	4	25	25	20	20	16	40	250	250	200	160	160	320
—	—	—	—	—	—	32 <sup>1)</sup>	32	25	—	20	50	320	320	250	200	200	400
—	—	—	—	—	—	40	40	32	32	25	60	400	400	320	250	250	500
5	—	—	—	—	—	50 <sup>1)</sup>	50	40	—	32	70	500	500	400	—	—	640
6	6	5	—	—	10	64	64	50	40	40	80	640	640	500	—	—	800
8	—	—	—	—	—	80 <sup>1)</sup>	80	64	—	50	100	800	800	640	—	—	1000
10	10	8	—	—	16	100	100	80	64	64	125	1000	1000	800	—	—	1250

Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des NDI.

1) Für diese Nenndrucke sind nur Rohre festgelegt.

2) Für Heißdampfbetriebsdruck sind Armaturen und Formstücke nicht genormt.

Die Betriebsdrücke für „Gas und Dampf“  $G$  gelten für Gase unterhalb  $300^\circ$ , sowie für anderen expansionsfähigen Leitungsinhalt wie Luft und Dämpfe, im besonderen auch für gesättigten oder mäßig überhitzten Dampf unterhalb  $300^\circ$ , ferner für Flüssigkeiten, die mit Rücksicht auf ihre physikalischen oder chemischen Eigenschaften oder aus anderen Gründen eine erhöhte Sicherheit verlangen.

Die Betriebsdrücke für „Heißdampf“  $H$  gelten insbesondere für überhitzten Wasserdampf bei Temperaturen von  $300$  bis  $400^\circ$ , ferner für Gase und Flüssigkeiten bei diesen Temperaturen.

Bei Temperaturen über  $400^\circ$  wird die Wahl des nächsthöheren Nenndruckes sowohl für Flansche als auch für Rohre empfohlen, wenn gleichzeitig der Betriebsdruck an die festgelegte Höchstgrenze heranreicht. Trifft das nicht zu, so ist eine Überschreitung der Temperaturgrenze von  $400^\circ$  in angemessenem Verhältnis erlaubt.

Die festgelegten Betriebsdrücke stellen die zulässigen Höchstdrücke unter normalen Betriebsverhältnissen dar. In allen außergewöhnlichen Fällen ist zu prüfen, ob eine Herabsetzung des Betriebsdruckes gegenüber den festgelegten Richtlinien erforderlich ist.

Die erwähnten Kurzzeichen  $W$ ,  $G$  und  $H$  mit den zugehörigen Zahlen des Betriebsdruckes, z. B.  $G 32$ , dienen zur Kennzeichnung von Rohrleitungsteilen. Das Kurzzeichen  $ND$  für Nenndruck, z. B.  $ND 100$  darf nicht dazu benutzt werden; es dient vielmehr nur zur Bezeichnung einer Gruppe in den Normen.

Für jede Druckstufe ist ein vom Verwendungszweck unabhängiger, einheitlicher Probedruck, Spalte f, Zusammenstellung 84, festgelegt. Für die verschiedenen Ver-

wendungsgebiete ergibt sich dabei das 2,5- bis 1,25fache des Betriebsdrucks, Abb. 611 a. Für solche unter 1 kg/cm<sup>2</sup> beträgt der Probedruck 1 kg/cm<sup>2</sup> mehr, für Teile zu Vakuumleitungen 1,5 kg/cm<sup>2</sup>. Die Probedrucke gelten nur für die Festigkeitsprüfung, die gewöhnlich in Form der Wasserdruckprobe der einzelnen Teile oder im Falle geringeren

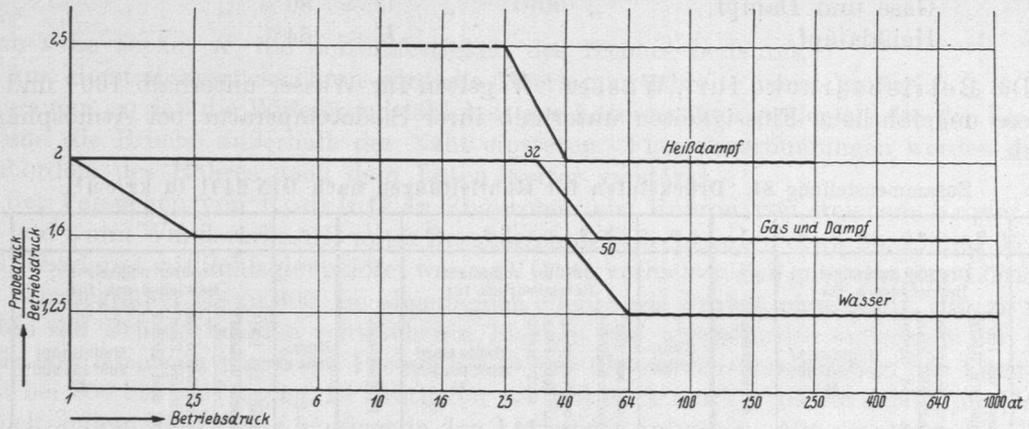


Abb. 611 a. Verhältnis des Probedrucks zum Betriebsdruck in den deutschen Rohrnormen.

Durchmessers an der gesamten Rohrleitung vorgenommen wird. Fertig verlegte Dampf-, Luft- oder Gasleitungen über 100 mm Nennweite der Wasserdruckprobe zu unterwerfen, ist dagegen nicht ratsam, weil die Leitung und die Träger derselben überlastet werden können. Die Prüfung des dichten Abschlusses der Absperrmittel wird gewöhnlich und zweckmäßigerweise beim Betriebsdruck vorgenommen.

Zusammenstellung 84a. Nennweiten der Rohrleitungen nach DIN 2402. Maße in mm.

1	10	100	1000
1,2		110	1100
		(120)*	1200
1,5	13	125	1400
		(130)*	
		(140)	
1,5	16	150	1600
		(160)	
		175	
2	20	200	2000
		225	2200
2,5	25	250	2400
		275	2600
		300	2800
3	32	(325)	3000
		350	3200
		(375)	(3400)
		400	3600
4	40	450	(3800)
		500	4000
		550	
6	60	600	
		700	
8	80	800	
		900	
10	100	1000	

Für Kessel, Dampffässer, Druckgefäße usw. bestehen gesetzliche Vorschriften, an die man sich auch bei der Prüfung von Wasserabscheidern, Windkesseln und ähnlichen Teilen anlehnen wird.

Die zweite wichtige Grundlage der Normung der Rohrleitungen bilden die in DIN 2402 festgelegten Nennweiten, Zusammenstellung 84a. Sie entsprechen im allgemeinen den lichten Durchmessern. Eine vollständige Übereinstimmung beider ist aber nicht immer vorhanden, da bei der Herstellung vielfach die Außendurchmesser eingehalten werden müssen, die Innendurchmesser aber je nach der zur Ausführung kommenden Wandstärke Veränderungen erfahren. Die eingeklammerten Nennweiten sollen möglichst vermieden werden; diejenigen von 120 und 130 mm kommen nur für Heizungsanlagen und im Lokomotivbau in Betracht.

Als abgekürzte Bezeichnung dient NW 250 für Nennweite 250 mm.

Als Werkstoffe der im Maschinenbau verwendeten Rohre kommen Gußeisen, Stahlguß, Fluß-, selten noch Schweißstahl, ferner Kupfer, Aluminium, Zinn und Blei, Messing, Bronze und andere Legierungen in Betracht.

Eine Übersicht über die Verwendungsgebiete gußeiserner und glatter Flußstahlrohre und die Dinormen, in denen die Rohrmaße und sonstige wichtige Einzelheiten festgelegt sind, bietet Zusammenstellung 84b.

Zusammenstellung 84b. Übersicht über die Verwendungsgebiete der Rohre.

Werkstoff	Rohrart	Benennung	Verwendungsbereich				DIN		
			für Nenndruck	bis Betriebsdruck in kg/cm <sup>2</sup>				für Nennweite mm	
				W	G	H			
Gußeisen	Flanschenrohre Muffenrohre		10	10	—	—	40 bis 1200	2422	
			10	10	—	—	40 bis 2000	2432	
Flußstahl	Glatte Rohre	nahtlos	Festigkeit 3400 bis 4500 kg/cm <sup>2</sup>	1 bis 32	32	25	20	6 bis 400	2450
				40	40	32	25		
			Festigkeit 4500 bis 5500 kg/cm <sup>2</sup>	50	50	40	32	6 bis 400	2451
				1 bis 40	40	32	25		
			patent geschweißt	1 bis 50	— <sup>1)</sup>	— <sup>1)</sup>	— <sup>1)</sup>	60 bis 400	2452
			wassergas- geschweißt	1 bis 6	6	5	—	250 bis 2000	2453
				10	10	8	—	250 bis 1200	
				16, 25, 32 40 u. 50	— <sup>1)</sup>	— <sup>1)</sup>	— <sup>1)</sup>	250 bis 500 250 bis 400	
			autogen geschweißt	1 u. 2,5	2,5	2	—	50 bis 2000	2454
				6	6	5	—	50 bis 1200	
	genietet	1 u. 2,5	2,5	2	—	600 bis 2000	2455		
		6	6	5	—	600 bis 1200			

Verbindlich für die vorstehenden Angaben bleiben die Dinormen.

<sup>1)</sup> Die Betriebsdrucke zu den einzelnen Druckstufen sind der Zusammenstellung 84 zu entnehmen.

## II. Arten der Rohre.

### A. Gußeisenrohre.

Gußeiserne Rohre finden in ausgedehntem Maße zu Wasser-, Gas- und Kanalisationsleitungen Verwendung und wurden bisher nach den deutschen Rohrnormalien für gußeiserne Muffen- und Flanschenrohre vom Jahre 1882, Zusammenstellung 85, von 40 bis zu 1200 m lichter Weite hergestellt. Die angegebenen Wandstärken gelten für Rohre mit 10 at Betriebsdruck. Bei geringeren Drucken ist eine Verminderung der Wanddicken zulässig. Dabei soll aber in Rücksicht auf die Dichtungen der äußere Rohrdurchmesser und die innere Muffenform beibehalten, die Regelung der Wandstärke also im glatten Rohr durch Verändern des lichten Durchmessers, an den Muffen aber durch diejenige des äußeren Umrisses bewirkt werden. Die Formen der Muffen und Flansche sind später behandelt.

In den neuen deutschen Normen waren Ende 1926 nur die gußeisernen Flanschenrohre durch DIN 2422 für den Nenndruck 10 einheitlich festgelegt worden. Sie lehnen sich eng an die Normen von 1882 an, so daß vorhandene Modelle weiter verwandt werden können. Auch die Lochkreisdurchmesser stimmen an der Mehrzahl der Rohre mit den früheren überein. Wohl aber ist die Zahl der Schrauben grundsätzlich durch vier teilbar gemacht worden, damit Schraubenlöcher in den Hauptebenen vermieden werden können. Die Maße der Rohre sind dem stark umrahmten Feld der Zusammenstellung 93c, S. 366, für Nenndruck 10, Spalte 1 bis 12 zu entnehmen. Normale „Lagerlängen“ sind für die Rohre der Nennweiten 40 bis 175 mm 2000 und 3000 mm, für 200 bis 1200 mm 3000 und 4000 mm. Flanschenrohre größeren Durchmessers können auch bis zu 5000 mm Länge geliefert werden. Die in Zusammenstellung 93c eingeklammerten Größen sind möglichst zu vermeiden. Zur Bezeichnung eines normalen Flanschenrohres dient das

Zusammenstellung 85. Deutsche  
gemeinschaftlich aufgestellt von dem Vereine deutscher Ingenieure  
Abmessungen und Ge-  
Muffen-Rohre

Abmessungen											Gewichte (kg)			
lichter Rohrdurchm. $D$ mm	normale Wandstärke $s$ mm	äußerer Rohrdurchm. $D_1$ mm	übliche Baulänge $L$ m	innere Muffentiefe $t$ mm	Weite der Dichtungstufe $f$ mm	innere Muffenweite $D_2$ mm	Muffenwandstärke $y = 1,4s$ mm	Wulst		Dichtungstiefe $t' = t - 1,5s$ mm	der Muffe (doppelt schräffierter Teil)	von 1 m Rohr ausschl. der Muffe	eines Rohres von üblicher Baulänge	von 1 m Rohr einschl. der Muffe
								Dicke, Drei- seite und An- schlußhalb- messer $7 + 2s$ mm	äußerer Durchm. $D_3$ mm					
40	8	56	2	74	7	70	11	23	116	62	2,68	8,75	20,18	10,09
50	8	66	2	77	7,5	81	11	23	127	65	3,14	10,57	24,28	12,14
60	8,5	77	2	80	7,5	92	12	24	140	67	3,89	13,26	30,41	15,21
70	8,5	87	3	82	7,5	102	12	24	150	69	4,35	15,20	49,95	16,65
80	9	98	3	84	7,5	113	12,5	25	163	70	5,09	18,24	59,81	19,94
90	9	108	3	86	7,5	123	12,5	25	173	72	5,70	20,29	66,57	22,19
100	9	118	3	88	7,5	133	13	25	183	74	6,20	22,34	73,22	24,41
125	9,5	144	3	91	7,5	159	13,5	26	211	77	7,64	29,10	94,94	31,65
150	10	170	3	94	7,5	185	14	27	239	79	9,89	36,44	119,21	39,74
175	10,5	196	3	97	7,5	211	14,5	28	267	81	12,00	44,36	145,08	48,36
200	11	222	3	100	8	238	15	29	296	83	14,41	52,86	172,99	57,66
225	11,5	248	3	100	8	264	16	30	324	83	16,89	61,95	202,71	67,57
250	12	274	4	103	8,5	291	17	31	353	84	19,61	71,61	306,05	76,51
275	12,5	300	4	103	8,5	317	17,5	32	381	84	22,51	81,85	349,91	87,48
300	13	326	4	105	8,5	343	18	33	409	85	25,78	92,68	396,50	99,13
325	13,5	352	4	105	8,5	369	19	34	437	85	28,83	104,08	445,15	111,29
350	14	378	4	107	8,5	395	19,5	35	465	86	32,23	116,07	496,51	124,13
375	14	403	4	107	9	421	20	35	491	86	34,27	124,04	530,43	132,61
400	14,5	429	4	110	9,5	448	20,5	36	520	88	39,15	136,89	586,71	146,68
425	14,5	454	4	110	9,5	473	20,5	36	545	88	41,26	145,15	621,82	155,46
450	15	480	4	112	9,5	499	21	37	573	89	44,90	158,87	680,38	170,10
475	15,5	506	4	112	9,5	525	21,5	38	601	89	48,97	173,17	741,65	185,41
500	16	532	4	115	10	552	22,5	39	630	91	54,48	188,04	806,64	201,66
550	16,5	583	4	117	10	603	23	40	683	92	62,34	212,90	913,94	228,49
600	17	634	4	120	10,5	655	24	41	737	94	71,15	238,90	1026,75	256,69
650	18	686	4	122	10,5	707	25	43	793	95	83,10	273,86	1178,54	294,64
700	19	738	4	125	11	760	26,5	45	850	96	98,04	311,15	1342,64	335,66
750	20	790	4	127	11	812	28	47	906	97	111,29	350,76	1514,33	378,58
800	21	842	4	130	12	866	29,5	49	964	98	129,27	392,69	1700,03	425,01
900	22,5	945	4	135	12,5	970	31,5	52	1074	101	160,17	472,76	2051,21	512,80
1000	24	1048	4	140	13	1074	33,5	55	1184	104	195,99	559,76	2435,03	608,76
1100	26	1152	4	145	13	1178	36,5	59	1296	106	243,76	666,81	2911,00	727,75
1200	28	1256	4	150	13	1282	39	63	1408	108	294,50	783,15	3427,10	856,78

Wegen der Bezeichnungen vgl. Abb. 628.

**Bemerkungen:** Die normalen Wandstärken gelten für Rohre, welche einem Betriebsdrucke von etwa 10 at und einem Probedrucke von höchstens 20 at ausgesetzt sind und vor allem Wasserleitungszwecken dienen. Für gewöhnliche Druckverhältnisse von Wasserleitungen (4 bis 7 at) ist eine Verminderung der Wandstärke und dementsprechend auch der Gewichte zulässig, desgleichen für Leitungen, in welchen nur ein geringer Druck herrscht (Gas-, Wind-, Kanalisationsleitungen usw.). Für Dampfleitungen, welche größeren Temperaturunterschieden und dadurch entstehenden Spannungen, sowie für Leitungen, welche unter besonderen Verhältnissen schädlichen äußeren Einflüssen ausgesetzt sind, ist es empfehlenswert, die Wandstärken und Gewichte entsprechend zu erhöhen. — Der äußere Durchmesser des Rohres ist feststehend; Änderungen der Wandstärke sollen nur auf den lichten Durchmesser des Rohres von Einfluß sein. — Als unabänderlich gilt ferner die innere Muffenform, die Art des Anschlusses an das Rohr, sowie die Bleifugendicke. Aus Gründen der Herstellung sind bei geraden Normalrohren Abweichungen von den durch Rechnung ermittelten Gewichten höchstens um  $\pm 3\%$  zu gestatten. — In den Gewichtberechnungen ist das Einheitsgewicht des Gußeisens zu 7,25 eingesetzt worden. Für die Anordnung der Schraubenlöcher bei den Flanschenrohren gilt die Regel, daß die lotrechte Ebene durch die Achse des Rohres die Entfernung zwischen zwei Schraubenlöchern halbiert.

**Rohr-Normalien,**

und dem deutschen Vereine von Gas- und Wasserfachmännern (1882).  
wichte für gußeiserne

**Flanschen-Rohre**

Abmessungen														Gewichte (kg)		
Rohrdurchm. lichter <i>D</i> mm	normale Wandstärke <i>s</i> mm	äußerer Rohrdurchm. <i>D</i> <sub>1</sub> mm	übliche Baulänge <i>L</i> m	Flansch		Lochkreis- durchm. <i>D</i> '' mm	Dichtungs- leiste		Zahl <i>i</i>	Schrauben			Schraubenloch- durchm. <i>d</i> <sub>0</sub>	ein. Flansches (dop- pelt schraff. Teil)	eines Rohres von üblicher Baulänge	von 1 m Rohr einschl. d. Flansche
				Durch- messer <i>D</i> ' mm	Stärke <i>s</i> <sub>1</sub> mm		Breite <i>b</i> mm	Höhe <i>h</i> mm		Stärke		Länge				
										<i>d</i>	Zoll engl.					
40	8	56	2	140	18	110	25	3	4	13	1/2	70	15	1,89	21,28	10,64
50	8	66	2	160	18	125	25	3	4	16	5/8	75	18	2,41	25,96	12,98
60	8,5	77	2	175	19	135	25	3	4	16	5/8	75	18	2,96	32,44	16,22
70	8,5	87	3	185	19	145	25	3	4	16	5/8	75	18	3,21	52,02	17,34
80	9	98	3	200	20	160	25	3	4	16	5/8	75	18	3,84	62,40	20,80
90	9	108	3	215	20	170	25	3	4	16	5/8	75	18	4,37	69,61	23,20
100	9	118	3	230	20	180	28	3	4	19	3/4	85	21	4,96	76,94	25,65
125	9,5	144	3	260	21	210	28	3	4	19	3/4	85	21	6,26	99,82	33,27
150	10	170	3	290	22	240	28	3	6	19	3/4	85	21	7,69	124,70	41,57
175	10,5	196	3	320	22	270	30	3	6	19	3/4	85	21	8,96	151,00	50,33
200	11	222	3	350	23	300	30	3	6	19	3/4	85	21	10,71	180,00	60,00
225	11,5	248	3	370	23	320	30	3	6	19	3/4	85	21	11,02	207,89	69,30
250	12	274	3	400	24	350	30	3	8	19	3/4	100	21	12,98	240,79	80,26
275	12,5	300	3	425	25	375	30	3	8	19	3/4	100	21	14,41	274,37	91,46
300	13	326	3	450	25	400	30	3	8	19	3/4	100	21	15,32	308,68	102,89
325	13,5	352	3	490	26	435	35	4	10	22,5	7/8	105	25	19,48	351,20	117,07
350	14	378	3	520	26	465	35	4	10	22,5	7/8	105	25	21,29	390,79	130,26
375	14	403	3	550	27	495	35	4	10	22,5	7/8	105	25	24,29	420,70	140,23
400	14,5	429	3	575	27	520	35	4	10	22,5	7/8	105	25	25,44	461,55	153,85
425	14,5	454	3	600	28	545	35	4	12	22,5	7/8	105	25	27,64	490,73	163,58
450	15	480	3	630	28	570	35	4	12	22,5	7/8	105	25	29,89	536,39	178,80
475	15,5	506	3	655	29	600	40	4	12	22,5	7/8	105	25	32,41	584,33	194,78
500	16	532	3	680	30	625	40	4	12	22,5	7/8	105	25	34,69	633,50	211,17
550	16,5	583	3	740	33	675	40	5	14	26	1	120	28,5	44,28	727,26	242,42
600	17	634	3	790	33	725	40	5	16	26	1	120	28,5	47,41	811,52	270,51
650	18	686	3	840	33	775	40	5	18	26	1	120	28,5	50,13	921,84	307,28
700	19	738	3	900	33	830	40	5	18	26	1	120	28,5	56,50	1046,45	348,82
750	20	790	3	950	33	880	40	5	20	26	1	120	28,5	59,81	1171,90	390,63

Wegen der Bezeichnungen vgl. Abb. 674.

Die neuen Normen gußeiserner Flanschenrohre siehe S. 366.

Produkt aus der Nennweite und der Lagerlänge, z. B. gußeisernes Flanschenrohr 250-3000 DIN 2422.

Die Gebiete, in denen Gußeisen für Rohrleitungen verwandt werden darf, sind noch nicht endgültig festgelegt. Voraussichtlich wird es in größerem Umfange bis zum Nenn-  
druck 10, darüber hinaus aber nur in Sonderfällen zugelassen werden; für Heißdampf  
von 300 bis 400° Temperatur soll es vermieden werden.

Nach den vom Verein deutscher Ingenieure 1912 aufgestellten Normalien der Rohr-  
leitungen für Dampf von hoher Spannung ist Gußeisen bis zu 8 at Überdruck zu Rohren,  
Formstücken und Ventilkörpern bei allen Durchmesser, von 8 bis 13 at zu Ventil-  
körpern und Formstücken für alle, zu Rohren jedoch nur bis zu 150 mm Durchmesser  
zulässig. Bei höherem Druck als 13 at darf es, Ventile bis zu 50 mm Durchmesser aus-  
genommen, überhaupt nicht verwendet werden. Das Gußeisen muß eine Biegefestigkeit,  
ermittelt an Rundstäben mit Gußhaut von 30 mm Durchmesser bei 600 mm Auflager-  
entfernung, von mindestens  $K_b = 3400 \text{ kg/cm}^2$  bei 10 mm Durchbiegung besitzen.  
Solches von geringerer Güte darf selbst bei kleinen Dampfrohrleitungen nur dann



Da nun die Wandstärke je nach dem Betriebsdruck und dem Betriebsmittel verschieden ist, stimmt die Nennweite nicht immer mit dem lichten Durchmesser des Rohrs überein. Wohl aber konnten die Flanschbohrungen und damit die Flansche selbst einheitlich in Übereinstimmung mit den Rohraußendurchmessern genormt werden.

Das Produkt aus dem Außendurchmesser und der Wandstärke dient zur Bezeichnung der Flußstahlrohre bei der Bestellung; z. B. kennzeichnet: nahtloses Rohr 121.4 ein nahtloses Flußstahlrohr von 121 mm Außendurchmesser und 4 mm Wanddicke. Seine Lichtweite ist 113, seine Nennweite dagegen nach Zusammenstellung 84a 110 mm.

Rohre für Heißdampfleitungen sollen nach ihrer Herstellung ausgeglüht werden.

### 1. Geschweißte Rohre.

Geschweißte Röhren aus weichem Fluß- oder Schweißstahl werden entweder stumpf oder überlappt gestoßen. Die stumpfe Schweißung nach Abb. 612, bei welcher der vorher zusammengerollte, auf Weißglut gebrachte Rohrstreifen durch eine runde Düse gezogen, längs der Naht stark zusammengepreßt und dadurch geschweißt wird, ergibt infolge der schmalen Schweißstellen geringere Widerstandsfähigkeit, namentlich beim Biegen der Rohre, ist aber billiger als die überlappte nach Abb. 613. Bei dieser werden die vorher durch Walzen oder Hobeln zugeschärfte, dann zusammengerollten und schweißwarm gemachten Blechstreifen in einem Walzwerk über einem Dorn zusammengepreßt und geschweißt (patentgeschweißte Rohre).

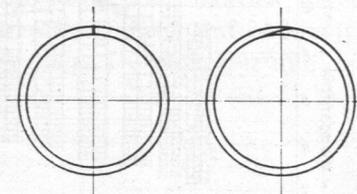


Abb. 612 und 613. Stumpf und überlappt geschweißte Rohre.

Bei der hauptsächlich auf größere Wandstärken und Rohrdurchmesser (von 267 mm Außendurchmesser an) angewandten Wassergasschweißung wird jeweils eine kurze Strecke der Stoßstelle durch Wassergasbrenner erhitzt und dann durch Hämmern über einem Amboß verschweißt (wassergasgeschweißte Rohre).

Autogen geschweißte Rohre werden durch Schmelzschweißung, d. i. durch Einschmelzen flüssigen Stahls in die Fuge hergestellt.

Die stumpf geschweißten „Gasrohre“ finden zu Gas- und Wasserleitungen, in Heizungs- und Lüftungsanlagen ausgedehnte Verwendung und werden in den normalen Abmessungen, Zusammenstellung 86, geliefert. Ihre Normung ist noch nicht abgeschlossen. Als Bezeichnung dient die Angabe des lichten Durchmessers in englischen Zollen.

Zusammenstellung 86. Stumpfgeschweißte Gasrohre.

Innerer Durchmesser	(1/8)	1/4	3/8	1/2	(5/8)	3/4	(7/8)	1	1 1/4	1 1/2	(1 3/4)	2	(2 1/4)	2 1/2	(2 3/4)	3	3 1/2	4	engl. Zoll
Äußerer Durchm.	3	6	10	13	16	20	22	25	32	38	44	51	57	63	70	76	89	102	mm abger.
Gewicht . . . . .	0,4	0,57	0,87	1,15	1,50	1,72	2,25	2,44	3,4	4,2	4,6	5,8	6,8	7,7	8,9	10	11,5	13,5	kg/m

Die eingeklammerten Durchmesser sind ungebräuchlich.

Für Dampf von höherer Spannung dürfen stumpf geschweißte Rohre nicht verwandt werden.

Rohre bis zu 2 Zoll Durchmesser sind auch mit 1/4'' Wandstärke in folgenden Maßen zu haben.

Zusammenstellung 87. Rohre für hohen Druck für Manometer, Wasserdruckpressen usw.

Innerer Durchmesser . . . . .	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	in engl. Zoll	
	6	10	13	16	20	25	32	38	44	51	mm	
Gewicht bei 1/4'' engl. Wandstärke	2,05	2,5	2,9	3,4	3,9	4,9	6,0	7,0	7,8	9,5	kg/m abger.	

Überlappt oder patentgeschweißte Rohre, auch als Kessel- und Siederohre bezeichnet, werden von 38 bis 305, von manchen Firmen bis zu 420 mm Außendurchmesser mit verschiedenen Wandstärken, z. B. von Thyssen & Co., Mülheim a. d. Ruhr,

nach Abb. 614 geliefert. In ihr sind die äußeren, festliegenden Rohrdurchmesser als Abszissen, die Wandstärken als Ordinaten aufgetragen. Die mit den Durchmesserzahlen versehenen senkrechten Linien geben durch ihre Endpunkte die größte und kleinste Wandstärke an. Ein Rohr von 70 mm Außendurchmesser wird z. B. von 3 bis zu 13 mm Stärke geliefert, die zwischen 3 und 6 mm in Stufen von je  $\frac{1}{4}$ , von da ab um je  $\frac{1}{2}$  mm steigt. Die normale Stärke ist durch den untern Linienzug gekennzeichnet.

Die für die Nenndrucke 1 bis 50 auf Grund der Formel (154e) berechneten Wandstärken sind in DIN 2452 für weichen Flußstahl von 3400 bis 4100 kg/cm<sup>2</sup> von 70 bis 420 mm Nenndurchmesser festgelegt. Entsprechend gelten die DIN 2453 für wasser-

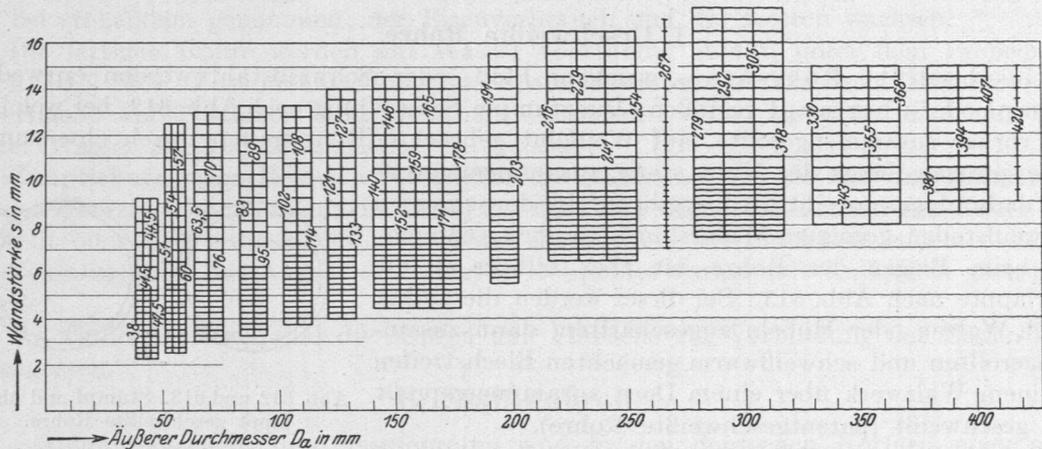


Abb. 614. Wandstärken von Stahlrohren.

geschweißte Rohre von mindestens 3400 kg/cm<sup>2</sup> und 267 bis 2020 mm Außendurchmesser, DIN 2454 für autogen geschweißte Rohre von mindestens 3400 kg/cm<sup>2</sup> und 57 bis 2020 mm Außendurchmesser, letztere jedoch nur für die Nenndrucke 1 bis 6. Vgl. Zusammenstellung 84b.

## 2. Gelötete und genietete Rohre.

Schmiedeeiserne Rohre großen Durchmessers, aber geringer Wandstärke für niedrigen Druck (Auspuffrohre, Gas- und Windleitungen an Hochöfen, Kuppelöfen usw.) werden heutzutage an den Längsnähten meist autogen oder elektrisch geschweißt, manchmal auch genietet und verstemmt oder mittels besonderer Einlagen gedichtet.

In der Längsnaht hart oder mit Kupfer gelötete Rohre finden zu Dampfheizungen Verwendung.

Genietete Flußstahlrohre von 620 bis 2020 mm Außendurchmesser für die Nenndrucke 1 bis 6 enthalten die DIN 2455 und 2516. Vgl. Zusammenstellung 84b.

## 3. Nahtlose Rohre.

Nahtlose Rohre können auch aus Stahl größerer Festigkeit hergestellt werden, sind in bezug auf Gleichmäßigkeit und Widerstandsfähigkeit allen anderen überlegen und besonders für hohe Drucke geeignet. Das Mannesmannverfahren benutzt mehrere schräggestellte Walzen, zwischen welchen das Rohr aus einem vollen Stück herausgewalzt wird; nach dem Ehrhardt'schen Verfahren der Firma Rheinmetall, Düsseldorf, wird zunächst ein dickwandiges Rohrstück aus einem vollen Block durch Einpressen eines Dornes hergestellt. Die endgültige Wandstärke, für welche die Zahlen der Abb. 614 mit nur geringen Abweichungen gelten, wird dann durch weiteres Auswalzen oder Ziehen erreicht. Beide Firmen liefern die Rohre von 38 bis 318 bzw. 305 mm Außendurchmesser.

Die für die Nenndrucke 1 bis 50 normalen nahtlosen Rohre aus Flußstahl von 3400 bis 4500 bzw. 4500 bis 5500 kg/cm<sup>2</sup> Festigkeit sind in den DIN 2450 und 2451 zusammengestellt.

#### 4. Schutz und Verarbeitung von Stahlrohren.

Zum Schutz gegen Rosten streicht man Stahlrohre mit Mennige und Ölfarbe, versieht sie heiß mit einem Asphalt- oder Teerüberzug oder umgibt sie für den Fall, daß sie in feuchtem Erdreich liegen, in welchem sie dem Rosten besonders stark unterworfen sind, mit Band- oder Schnurumwickelungen aus geteeter Jute. Wasserleitungsrohre werden oft verzinkt; dadurch, daß das Zink eine Legierung mit dem Eisen eingeht, die sehr fest haftet, sind sie gegen Rosten gut geschützt.

Stahlrohre mäßiger Lichtweite lassen sich warm leicht biegen; doch soll der mittlere Krümmungshalbmesser mindestens gleich dem Vierfachen des lichten Durchmessers sein. Damit sie sich beim Biegen nicht flach drücken, füllt man sie vorher mit Sand oder benutzt besondere Rohrbiegemaschinen.

#### D. Kupfer- und Messingrohre.

Kupfer- und Messingrohre werden entweder hart gelötet oder nahtlos durch Walzen und Ziehen, Kupferrohre außerdem nach dem Elmoreverfahren auf elektrolytischem Wege hergestellt. Die Grenzen, in denen diese Rohre dem Durchmesser und der

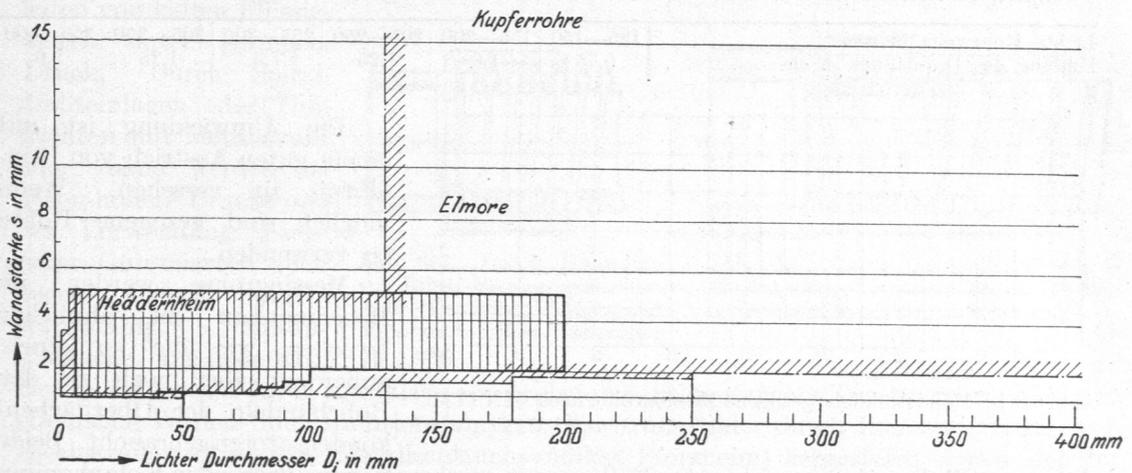


Abb. 615. Abmessungen gezogener Kupferrohre; — Hedderheimer Kupferwerke, — — Elmore's Metall A. G.

Wandstärke nach geliefert werden, zeigen die Abb. 615 und 616. Die Elmore's Metall A.-G. in Schludern a. d. Sieg stellt nahtlose Kupferrohre in dem durch schräge Strichelung umgrenzten Gebiete und bis zu 2500 mm Durchmesser bei 4 und mehr Millimetern Wandstärke, solche bis zu 4000 mm Durchmesser nach besonderer Vereinbarung her. Das dort verwandte Verfahren dient auch zum Verkupfern von Eisenrohren, Walzen, Preßzylindern und Pumpenkolben. Die handelsüblichen nahtlos gezogenen Kupferrohre bis 100 mm Außendurchmesser sind in DIN 1754, die Messingrohre bis 80 mm Außendurchmesser in DIN 1755 zusammengestellt worden. In Abb. 616a und 616b sind diese gängigen Größen durch Punkte gekennzeichnet. Kupferrohre finden außer in chemischen Fabriken und Brauereien wegen ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit als Kühl- und Heizrohre, wegen ihrer großen Elastizität als Federrohre und nachgiebige Zwischenstücke und in den kleineren Lichtweiten zu allen scharf zu biegenden Leitungen an Maschinen

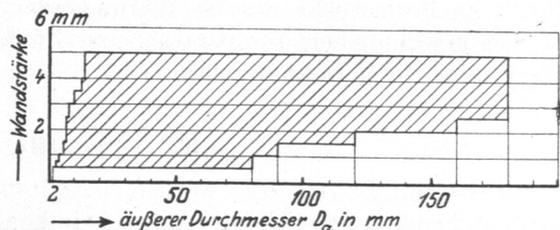


Abb. 616. Abmessungen gezogener Messingrohre (Heckmann, Düsseldorf).

Anwendung. Bei höheren Wärmegraden nimmt die Festigkeit des Kupfers und die der Löt­nähte rasch ab; zu Dampfleitungen dürfen deshalb gelötete Rohre bei hohem Druck und Überhitzung nicht verwendet werden. Selbst nahtlose Kupferrohre sind dafür

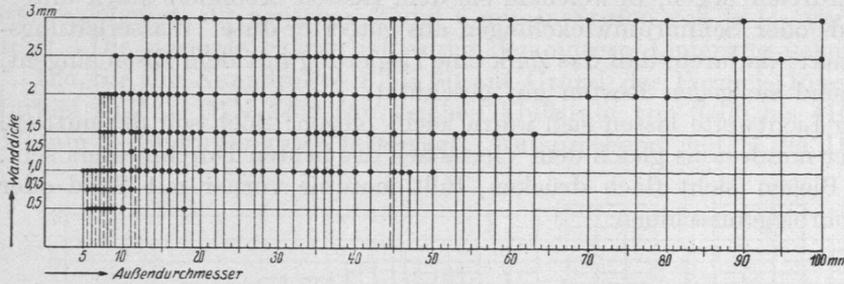


Abb. 616a. Handelsübliche nahtlos gezogene Kupferrohre nach DIN 1754.

nicht zu empfehlen; sie haben mehrfach zu Unglücksfällen geführt und sind zudem teurer als schmiedeiserne.

Nach den Vorschriften der Marine sind kupferne Rohre von 125 mm lichte­m Durchmesser und darüber für Dampf

von mehr als 8 at mit verzinktem Stahldrahttau so zu umwickeln, daß die Tauspiralen sich berühren, und daß beim Bruche des Taus in einer Spirale die anderen anliegenden Tauspiralen nicht lose werden; für die Dicke des Taus gelten folgende Maße:

Lichte Rohrweite in mm . . . . .	125—150	155—200	205—250	255—300	305—350	355—400
Umfang des Drahttaues in cm . . . . .	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0

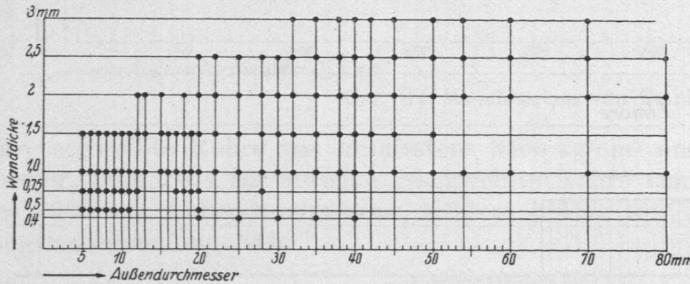


Abb. 616b. Handelsübliche gezogene Messingrohre nach DIN 1755.

Die Umwicklung ist mit einem guten Anstrich von Lein­ölfirnis zu versehen. Wenn möglich sind gezogene Rohre zu verwenden.

Messingrohre werden im Maschinenbau zu ähnlichen Zwecken wie die kupfernen, außerdem aber noch zu den Rohrbündeln der Oberflächen­kondensatoren gebraucht. Beide

Arten von Rohren lassen sich unter Füllung mit geschmolzenem Pech oder Kolophonium leicht kalt biegen. Bei kleinerem Durchmesser kann der Krümmungshalbmesser zu 3 bis herab zu  $2 d_i$ , bei größerem Durchmesser zu 4 bis  $5 d_i$  gewählt werden.

### E. Bronzerohre.

Bronze ist nach den „Normalien zu Rohrleitungen für Dampf von hoher Spannung 1912“ für Formstücke nur bei Wärmegraden bis zu  $220^{\circ}\text{C}$  zulässig, vorausgesetzt, daß sie bei gewöhnlicher Temperatur eine Zugfestigkeit von wenigstens  $2000\text{ kg/cm}^2$  bei mindestens  $15\%$  Dehnung besitzt.

### F. Blei- und Zinnrohre.

Blei- und Zinnrohre werden hergestellt, indem das Metall durch eine Düse mit darin stehendem Dorn gepreßt wird. Sie können auf diese Weise in sehr großen Längen angefertigt werden, so daß sie wenig Verbindungsstellen benötigen und finden wegen ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Säuren in chemischen Fabriken, wegen ihrer leichten Biegsamkeit zu Wasserleitungen viel Verwendung. Kohlensäurehaltiges Trinkwasser kann durch Auflösen des Bleis giftig werden. Gegen diese Wirkung werden Blei­rohre innen verzinkt oder durch Behandlung mit Schwefelnatrium mit einem Schwefel­bleiüberzug versehen. Man unterscheidet Weich- und Hartblei­rohre. Die letzteren be-

stehen aus einer Legierung mit 1 bis 3% Antimon, besitzen bedeutend größere Festigkeit und Elastizität, so daß sie den doppelten Druck aushalten und zu Dampf- und Wasserleitungen benutzt werden können.

Bleirohre werden in dem Preisverzeichnis des Handelsbureaus der Sächsischen Hüttenwerke zu Freiberg in Sachsen von 3 mm lichtigem Durchmesser an mit 1, 1,5 und 2 mm Wandstärke bis zu 300 mm Durchmesser mit 5 und 10 mm Wanddicke aufgeführt. Die zulässigen Drucke sind bei 30° Temperatur für Weichblei mit 25 kg/cm<sup>2</sup>, für Hartblei mit 50 kg/cm<sup>2</sup> Spannung in der Wandung berechnet. Bei höheren Wärmegraden müssen wesentlich geringere Beanspruchungen gewählt werden.

Zinnrohre sind von 4 mm lichtigem Durchmesser und 2 mm Wandstärke an bis zu 50 mm Durchmesser bei 2 bis 3 mm Wanddicke zu haben. Als zulässige Spannung in der Wandung werden 60 kg/cm<sup>2</sup> angegeben. Näheres enthalten die Listen der oben angeführten und anderer Firmen.

### G. Biegsame Rohre, Schläuche.

Biegsame Rohre und Schläuche werden aus Metall, Hanf oder Gummi hergestellt. Einfache Hanfschläuche, roh oder gummiert und Gummischläuche dienen zum Fort-

leiten von kalten Flüssigkeiten unter geringem Druck. Durch Spiraldrahteinlagen oder Umflechten mit Metalldraht oder -band werden sie gegen höhere Drucke und bei Verwendung geeigneter Gummiarten auch gegen Dampf widerstandsfähig. Metallschläuche aus Tombak,

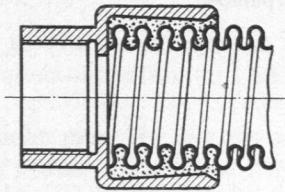


Abb. 617. Durch Einwalzen von Rillen biegsam gemachtes Rohr (Deutsche Waffen- und Munitionsfabriken, Karlsruhe).

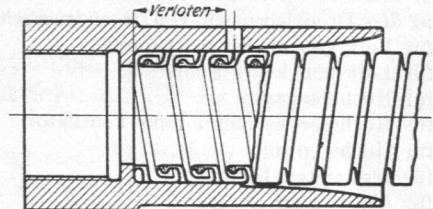


Abb. 618. Durch Ineinanderfalzen von Blechstreifen biegsames Rohr (Metallschlauchsyndikat, Pforzheim).

Bronze oder Stahl durch Einwalzen von Rillen in nahtlos gezogene Tombakrohre, Abb. 617 (Deutsche Waffen- und Munitionsfabriken, Karlsruhe) oder durch Ineinanderfalzen von Blechstreifen, Abb. 618 (Metallschlauchsyndikat Pforzheim) hergestellt, eignen sich für hohe Drucke und Temperaturen und für Flüssigkeiten, welche Gummi angreifen würden.

## III. Berechnung der Rohre.

Die Berechnung der Rohrleitungen erstreckt sich:

A. auf die Bestimmung des Querschnitts auf Grund der hindurch zu leitenden Dampf-, Gas- oder Flüssigkeitsmenge,

B. auf genügende Festigkeit gegenüber dem inneren oder äußeren Druck oder den sonstigen Kräften, denen die Rohre ausgesetzt sind.

### A. Ermittlung des Rohrquerschnitts.

Bei einer Fördermenge  $Q$  in m<sup>3</sup>/sek und einer mittleren Geschwindigkeit  $v_m$  in m/sek folgt der nötige Querschnitt  $f$  in m<sup>2</sup> oder der lichte Durchmesser  $d$  in m aus:

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{Q}{v_m} \text{ m}^2. \quad (150)$$

Die mittlere Geschwindigkeit wählt man in erster Linie nach dem Einheitsgewicht des durchzuleitenden Stoffes und zwar um so geringer, je größer dieses ist; man muß aber auch auf die Betriebsverhältnisse Rücksicht nehmen, indem bei gleichmäßigem Fluß und

in großen Rohren höhere Geschwindigkeiten zulässig sind, als bei schwankender oder stoßweiser Entnahme und in kleinen Rohren.

Für die Anschlußleitungen an Kolbenmaschinen pflegt meist ohne Rücksicht auf die Größe der Füllung der gesamte Zylinderinhalt zugrunde gelegt und die Fördermenge

$$Q = F \cdot c_m$$

aus der Kolbenfläche  $F$  in  $\text{cm}^2$  und der mittleren Kolbengeschwindigkeit  $c_m = \frac{s_1 \cdot n}{30}$  berechnet zu werden, wenn  $s_1$  den Kolbenhub in  $\text{m}$ ,  $n$  die Umdrehzahl in der Minute bedeutet. Man erhält mithin den Rohrquerschnitt aus:

$$f = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{F \cdot c_m}{v_m} = \frac{F \cdot s_1 \cdot n}{30 \cdot v_m} \text{cm}^2. \quad (151)$$

Üblich sind die folgenden Werte für  $v_m$ :

#### Zusammenstellung 88. Mittlere Geschwindigkeiten in Rohrleitungen.

In Saugleitungen von Wasserkolbenpumpen je nach der Länge . . . . .	1,0 bis 0,5	m/sek
in Druckleitungen von Wasserkolbenpumpen . . . . .	1 bis 1,5	bis 2 "
in den Saugleitungen der Schleuderpumpen . . . . .	2 bis 2,5	" "
in den Druckleitungen von Niederdruckschleuderpumpen . . . . .	2,5 bis 3	" "
in den Druckleitungen von Hochdruckschleuderpumpen . . . . .	3 bis 3,5	" "
für Luft von niedriger Spannung . . . . .	12 bis 15	" "
für Luft von hoher Spannung . . . . .	20 bis 25	" "
für Hochofengas . . . . .	7	" "
für Hochofengas hinter dem Ventilator . . . . .	15	" "
für Hochofenwind . . . . .	12 bis 15	" "
für gesättigten Dampf . . . . .	20 bis 30	" "
für überhitzten Dampf . . . . .	30 bis 45	" "
für überhitzten Dampf in großen Dampfturbinenzentralen bei normalem Betrieb . . . . .	50	" "
bei vollem Betrieb bis . . . . .	70	" "
für Auspuffdampf je nach der Länge der Leitung . . . . .	25 bis 50	" "
in Überströmleitungen, bezogen auf den größeren der Zylinder . . . . .	30 bis 35	" "
in Dampfleitungen zum Kondensator, bezogen auf die Niederdruckkolbenfläche . . . . .	20 bis 30	" "
in Dampfleitungen zum Kondensator, bezogen auf das Dampfvolumen . . . . .	100	" "
in Saugleitungen an Kleingasmaschinen je nach Länge . . . . .	10 bis 20	" "
in Luftsaugleitungen an Viertaktgroßgasmaschinen . . . . .	20	" "
in Gassaugleitungen an Viertaktgroßgasmaschinen . . . . .	30 bis 35	" "
in Auspuffleitungen an Viertaktgroßgasmaschinen . . . . .	20 bis 25	" "
in Auspuffleitungen an Zweitaktmaschinen . . . . .	10 bis 15	" "

Bei stoßweiser Förderung ist die Einschaltung von Windkesseln, Ausgleichern, Dampfsammlern oder weiten Wasserabscheidern zu empfehlen, um Erzitterungen der Rohrleitungen, Schwingungen des Inhaltes und Rückwirkungen auf andere in der Nähe angeschlossene Maschinen und Apparate zu vermeiden.

An ausgedehnten Rohrleitungen, Wasserleitungsnetzen usw. sind für die Wahl des Durchmessers wirtschaftliche Gesichtspunkte maßgebend: einerseits die Verzinsung und die Tilgung der Anlagekosten, die mit zunehmendem Durchmesser steigen, andererseits die Betriebskosten, die mit größerem Durchmesser fallen, da die Verluste bei geringerer Geschwindigkeit abnehmen, vgl. Berechnungsbeispiel 5.

## B. Berechnung der Rohre auf Festigkeit.

In einem durch inneren Druck  $p_i$  beanspruchten Rohr treten die größten Spannungen in den durch die Rohrachse gehenden Längsebenen auf. Die Wandstärke  $s$  kann, wenn sie gegenüber dem lichten Durchmesser  $d$  gering ist, nach der Formel:

$$s = \frac{p_i \cdot d}{2 \cdot k_z} + C, \quad (152)$$

berechnet werden, wie sich ohne weiteres aus der Betrachtung eines Rohrabchnittes von 1 cm Breite, Abb. 619, unter Annahme gleichmäßiger Verteilung der Spannungen in der Wandung ergibt. Die Flüssigkeitspressung ruft die Kraft  $p_i d \cdot 1$  kg hervor; diese muß durch die Festigkeit der beiden Wandungen  $k_z \cdot 2 \cdot s \cdot 1$  aufgenommen werden, woraus

$$p_i \cdot d = 2 k_z \cdot s$$

folgt.

Betrachtet man den Längsschnitt eines Rohres, Abb. 620, so läßt sich die Formel dahin deuten, daß die linke Rohrwand auf der Strecke  $AB = l$  cm den Druck, der auf der gestrichelten Fläche  $ABCD$  ruht, also

$$P = \frac{d}{2} \cdot l \cdot p_i \text{ kg}$$

aufzunehmen hat, wobei die Spannung:

$$\sigma_z = \frac{P}{f} = \frac{d \cdot l \cdot p_i}{2 l \cdot s} = \frac{d \cdot p_i}{2 s} \quad (152a)$$

entsteht.

$C$  ist ein Zuschlag, der in Rücksicht auf die Herstellung, insbesondere die bei derselben unvermeidlichen Ungenauigkeiten und in Rücksicht auf die zu erwartende Abnutzung zu wählen ist.

An Gußeisenrohren geht man bei der Berechnung nach DIN 2411 von der Nennweite  $d$  und dem Nenndruck  $p_i$  aus, nimmt  $k_z = 250 \text{ kg/cm}^2$  und wählt den Zuschlag  $C$  verhältnismäßig zu dem Produkt  $p_i \cdot d$  derart, daß er von 0,6 bei der kleinsten Wandstärke auf 0 bei 55 mm sinkt. Er läßt sich ausdrücken durch:

$$C = 0,6 \left( 1 - \frac{p_i \cdot d}{2750} \right),$$

so daß die Formel für die Wandstärke die Form:

$$s = \frac{p_i \cdot d}{2 \cdot 250} + 0,6 \left( 1 - \frac{p_i \cdot d}{2750} \right) = \frac{9,8 p_i \cdot d + 3300}{5500} = \frac{1,78 p_i \cdot d + 600}{1000} \text{ cm} \quad (153a)$$

annimmt. Für Wandstärken über 55 mm gilt:

$$s = \frac{p_i \cdot d}{2 k_z} = \frac{p_i \cdot d}{500} \text{ cm}. \quad (153b)$$

Die Wandstärken stimmen bei 10 at Nenndruck annähernd mit denjenigen nach Zusammenstellung 85 überein.

Dadurch, daß für Gas- und Dampfrohre als Betriebsdruck nur  $\approx 80\%$  des Nenndrucks zugelassen sind, wird die zulässige Beanspruchung  $k_z$  von 250, die für Wasser gilt, auf  $200 \text{ kg/cm}^2$  ermäßigt. Die nach den Formeln errechneten Wandstärken gelten nur als Anhalt; je nach den besonderen Eigenschaften des Gußeisens, nach den technischen Einrichtungen der Gießerei oder aus andern Gründen kann davon abgewichen werden. An zu gießenden Zylindern, auf welche die Formel auch vielfach angewendet wird, nimmt man  $C = 0,5 \text{ cm}$ , wenn lediglich auf etwaige Kernverlegungen Rücksicht zu nehmen ist,  $C = 1,0 \text{ cm}$ , wenn der Zylinder nach dem Auslaufen nochmals soll ausgebohrt werden können.

Bei geringen inneren Drucken sind vielfach Erfahrungsformeln, welche die Herstellung, aber auch Nebenbeanspruchungen beim Versand, ungleichmäßige Auflagerung usw. berücksichtigen, für die Bemessung der Wandstärke  $s$  im Gebrauch. Für gußeiserne Rohre wählt man, wenn der Betriebsdruck 10, der Probedruck 20 at nicht überschreitet,

$$\text{bei stehendem Guß: } s = \frac{1}{60} d + 0,7 \text{ cm}, \quad (154a)$$

$$\text{bei liegendem Guß: } s = \frac{1}{50} d + 0,9 \text{ cm}. \quad (154b)$$

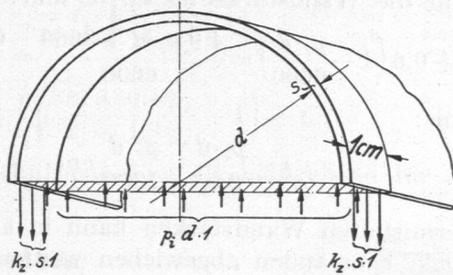


Abb. 619. Zur Berechnung der Stärke oder der Beanspruchung einer Rohrwandung.

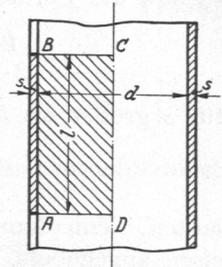


Abb. 620. Zur Berechnung der Spannung in einer Rohrwandung.

Die Wandstärke von Stahlgußrohren wird nach DIN 2412 nach der gleichen Formel, aber mit  $k_z = 600 \text{ kg/cm}^2$  beim Nenndruck ermittelt (entsprechend  $500 \text{ kg/cm}^2$  bei  $G$ -,  $400 \text{ kg/cm}^2$  bei  $H$ -Rohren). Dabei ist eine Mindestfestigkeit des Stahlgusses  $K_z = 4500 \text{ kg/cm}^2$  und eine Mindestbruchdehnung  $\delta_5 = 22\%$  vorausgesetzt.  $C$  folgt unter den Umständen dem Ausdruck:

$$C = 0,6 \left( 1 - \frac{p_i \cdot d}{6600} \right),$$

so daß die Formeln für die Wandstärke bis zu 55 mm:

$$s = \frac{p_i \cdot d}{2 \cdot 600} + 0,6 \left( 1 - \frac{p_i \cdot d}{6600} \right) = \frac{4,9 p_i \cdot d + 3960}{6600} = \frac{0,74 p_i \cdot d + 600}{1000} \text{ cm}, \quad (154c)$$

für  $s$  größer als 55 mm:

$$s = \frac{p_i \cdot d}{2 k_z} = \frac{p_i \cdot d}{1200} \text{ cm} \quad (154d)$$

lauten. Von den so ermittelten Wandstärken kann in ähnlicher Weise, wie für Gußeisen angegeben, je nach Umständen abgewichen werden.

Auch für die Ermittlung der Wandstärke von Stahlrohren, soweit sie nicht durch die Herstellung bedingt ist, gilt nach DIN 2413 eine ähnliche Formel:

$$s = \frac{p_i \cdot d}{2 \cdot \varphi \cdot k_z} + C, \quad (154e)$$

wobei  $\varphi$  die im Abschnitt 6 S. 275f. schon benutzte Schwächungszahl, d. i. das Verhältnis der Festigkeit der Rohrnaht zur Festigkeit der vollen Rohrwand bedeutet. Nach DIN 2413 ist

an nahtlosen Rohren mit  $\varphi = 1$ ,

an geschweißten Rohren, unabhängig von der Art der Schweißung, mit  $\varphi = 0,8$ ,

an genieteten Rohren bei einreihiger Längsnaht mit  $\varphi = 0,57$  bis  $0,63$  zu rechnen.

Die zulässigen Beanspruchungen  $k_z$  ergeben sich aus der in der gleichen Norm festgelegten Bruchsicherheit, die an den auf den Nenndruck berechneten Rohren mindestens  $S = 4,5$  betragen soll, für die verschiedenen Rohrarten wie folgt:

Festigkeit des verwandten Flußstahls  kg/cm <sup>2</sup>	Rechnungs- festigkeit  $K_z$ kg/cm <sup>2</sup>	Beim Nenndruck, Wasserrohre		Gas- und Dampfrohre		Heißdampfrohre	
		Bruch- sicherheit $\ominus$	Zul. Bean- spruchung $k_z$ kg/cm <sup>2</sup>	Bruch- sicherheit $\ominus$	Zul. Bean- spruchung $k_z$ kg/cm <sup>2</sup>	Bruch- sicherheit $\ominus$	Zul. Bean- spruchung $k_z$ kg/cm <sup>2</sup>
3400 bis 4500	3600	4,5	800	5,6	640	7,1	500
4500 bis 5500	4500	4,5	1000	5,6	800	7,1	640

Der Zuschlag  $C$ , der Herstellungsungenauigkeiten und die gewöhnliche Abnutzung der Rohre berücksichtigt, ist einheitlich mit  $0,1 \text{ cm}$  festgelegt. Damit ergeben sich als Grundformeln für die Berechnung der Wandstärke von Stahlrohren, ausgehend vom Nenndruck  $p_i$ :

bei Flußstahl von 3400 bis 4500 kg/cm<sup>2</sup> Festigkeit:

$$s = \frac{p_i \cdot d}{1600 \cdot \varphi} + 0,1 \text{ cm}, \quad (154f)$$

bei Flußstahl von 4500 bis 5500 kg/cm<sup>2</sup> Festigkeit:

$$s = \frac{p_i \cdot d}{2000 \cdot \varphi} + 0,1 \text{ cm}. \quad (154g)$$

Zusätzliche Beanspruchungen durch Stöße, Wasserschläge, die Inanspruchnahme auf Biegung oder die Schwächung der Rohrwände durch besonders starke Rostangriffe oder bei der Herstellung, etwa beim scharfen Biegen, sind durch besondere Zuschläge zu be-

rücksichtigen. DIN 2413 empfiehlt in solchen Fällen die Rohre nach dem nächsthöheren Nenndruck zu wählen.

An dickwandigen Rohren führt die Annahme gleichmäßiger Verteilung der Spannungen in den Wandungen zu einer beträchtlichen Unterschätzung der Höhe der Beanspruchung. Die größte, am inneren Umfang in tangentialer Richtung auftretende Anstrengung muß vielmehr nach der genauen Formel (55a) berechnet werden. Sind  $p_i$ ,  $k_z$  und  $r_i$  gegeben, so erhält man den äußeren Halbmesser aus:

$$r_a = r_i \cdot \sqrt{\frac{k_z + 0,4 p_i}{k_z - 1,3 p_i}} + C \tag{155a}$$

oder die Wandstärke  $s$  aus:

$$s = r_i \cdot \left( \sqrt{\frac{k_z + 0,4 p_i}{k_z - 1,3 p_i}} - 1 \right) + C. \tag{155b}$$

Betrachtet man die größte Schubspannung als maßgebend für die Inanspruchnahme, so wird nach Formel (55b):

$$r_a = r_i \sqrt{\frac{\tau_s}{\tau_s - p_i}} + C \tag{156a}$$

und

$$s = r_i \left( \sqrt{\frac{\tau_s}{\tau_s - p_i}} - 1 \right) + C. \tag{156b}$$

Der Zuschlag  $C$  ist wiederum, je nach den Umständen, wie oben erläutert, zu wählen.

Die erwähnten Formeln pflegen auch auf die Berechnung von Formstücken, Pumpenkörpern und anderen, aus zylindrischen Teilen zusammengesetzten Stücken, die innerem Druck widerstehen müssen, angewendet zu werden. Dabei sei jedoch auf die oft beträchtliche Erhöhung der Beanspruchungen aufmerksam gemacht, die an den Durchdringungsstellen und in den Kehlen der Abzweigungen bei scharfen Übergängen oder Krümmungen entsteht. Sie macht sich nicht selten bei Druckwechseln durch deutlich sichtbare Formänderungen, durch das „Atmen“ der Stücke bemerkbar und ist die Ursache der so häufig von diesen Stellen ausgehenden Risse und Brüche. Lehrreich sind in der Beziehung die Versuche von Bach [VIII, 2] an zwei gußeisernen Körpern, von denen einer mit einem seitlichen Stutzen nach Abb. 621 versehen, der andere glatt, also ohne Stutzen, Abb. 622, ausgeführt war.

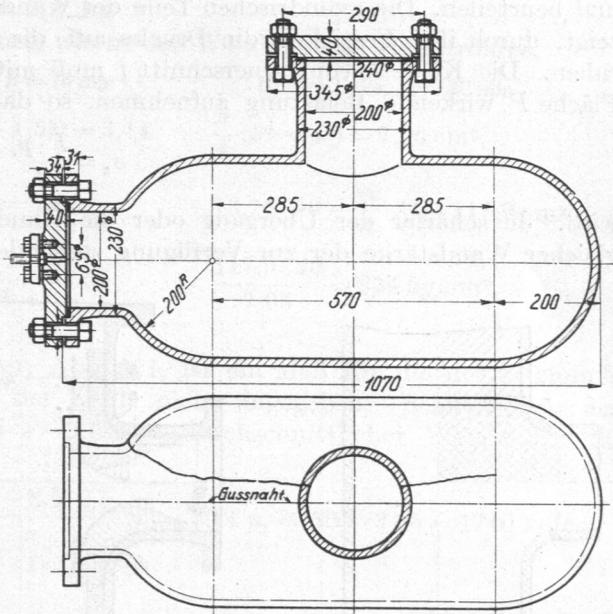


Abb. 621. Versuchskörper für Inanspruchnahme auf inneren Druck (Bach). M. 1 : 15.

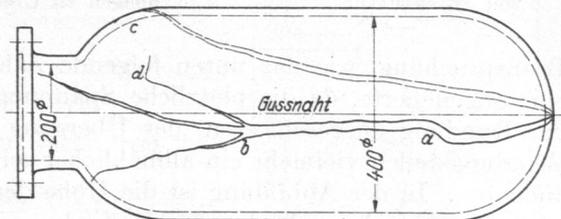


Abb. 622. Vergleichskörper zum vorstehenden. M. 1 : 15.

Innerem Wasserdruck ausgesetzt, riß der erste bei  $p_1 = 34,5$ , der zweite erst bei  $p_2 = 83 \text{ kg/cm}^2$  Druck. Der Bruch hatte bei dem letzteren offenbar als Längsriß am zylindrischen Teil an einer Stelle begonnen, wo die Wandstärke 12,6 bis 15,2, im Mittel  $s_2 = 13,2 \text{ mm}$  betrug. Bezogen auf diese Stärke, berechnet sich die Spannung der Hauptzylinder zu:

$$\sigma_z = \frac{d \cdot p_2}{2 \cdot s_2} = \frac{40 \cdot 83}{2 \cdot 1,32} = 1258 \text{ kg/cm}^2.$$

An dem Körper mit Stutzen riß der Zylindermantel nur auf der Seite, wo sich der Stutzen befand; der Bruch verlief parallel zur Hauptebene, war aber der Seite nach verschoben. Die mittlere Wandstärke betrug dort etwa  $s_1 = 15$  mm. Auf Grund der Formel (152a) ergibt sich daraus eine Spannung im Hauptzylinder von nur:

$$\sigma_z' = \frac{d \cdot p_i}{2 s_1} = \frac{40 \cdot 34,5}{2 \cdot 1,5} = 460 \text{ kg/cm}^2.$$

Das Verhältnis beider ist:

$$\frac{\sigma_z}{\sigma_z'} = \frac{1258}{460} = \frac{2,73}{1};$$

die Widerstandsfähigkeit des Körpers ohne Stutzen war also 2,73mal größer als die desjenigen mit Stutzen. Zugversuche an unmittelbar herausgeschnittenen Probestäben ergaben im Mittel 1380 bzw. 1438 kg/cm<sup>2</sup> Zugfestigkeit.

In erster Annäherung lassen sich die Spannungen in der Kehle wie folgt berechnen und beurteilen. Die zylindrischen Teile der Wandung, Abb. 623, nehmen, wie oben gezeigt, durch ihre Festigkeit die Drucke auf, die auf den einfach gestrichelten Flächen ruhen. Die Kehle *I* vom Querschnitt *f* muß mithin die auf der doppelt gestrichelten Fläche *F* wirkende Belastung aufnehmen, so daß die Spannung:

$$\sigma_z = \frac{F \cdot p_i}{f} \quad (157)$$

wird. Je schärfer der Übergang oder die Rundung, desto geringer ist bei durchweg gleicher Wandstärke der zur Verfügung stehende Querschnitt *f*, um so höher also die

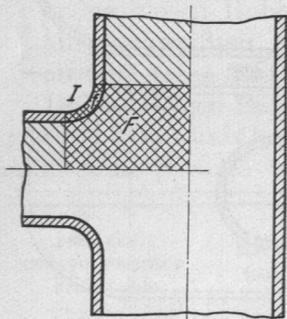


Abb. 623. Zur Berechnung von Formstücken.

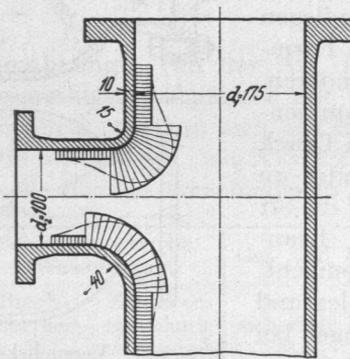


Abb. 624. Verteilung der Spannungen an Übergangstellen.

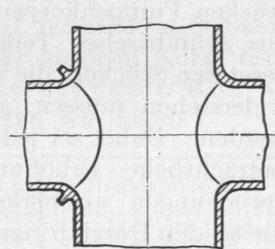


Abb. 625. Kehlenverstärkungen an Formstücken.

Beanspruchung, wie das unten folgende Zahlenbeispiel zeigt. Die Berechnung ist nur eine angenäherte, da die plötzliche Spannungssteigerung, Abb. 624, an der Ansatzstelle der Rundung ausgeschlossen, der Übergang zu den Spannungen in den zylindrischen Wandungsteilen vielmehr ein allmählicher sein wird, wie es die strichpunktierten Linien andeuten. In der Abbildung ist die Höhe der Spannungen durch die Länge der Striche senkrecht zur Innenfläche des T-Stücks gekennzeichnet. Falls Ausrundungen nicht möglich oder nicht ausreichend sind, können die Ecken durch örtlich größere Wandstärken, Abb. 625 rechts, durch aufgesetzte Rippen, Abb. 625 links, oder durch warm eingezogene schmiedeeiserne Schraubenbolzen nach Abb. 626 verstärkt werden. Das Loch für die letzteren soll eingegossen werden, um zu bedeutende Werkstoffansammlungen und damit Lunkerbildungen an der gefährdeten Stelle zu vermeiden. Der Bolzen wird rotwarm eingesetzt und ruft bei seiner Abkühlung Druckspannungen in der Ecke hervor, welche erst von dem inneren Druck überwunden werden müssen, ehe Zugspannungen auftreten können. Die Berechnung der Bolzen erfolgt mit  $k_z = 800$  bis  $900$  kg/cm<sup>2</sup> unter Zugrundelegung des Druckes, der der gestrichelten Fläche in Abb. 626 entspricht.

**Zahlenbeispiel.** An einem in Abb. 624 dargestellten Formstück von  $d_1 = 175$  mm Durchmesser des Hauptstranges,  $d_2 = 100$  mm lichter Weite des Stutzens und durchweg  $s = 10$  mm Wandstärke errechnet sich die Beanspruchung bei  $p_i = 20$  at inneren Druck im Hauptrohr zu:

$$\sigma_z = \frac{d_1 \cdot p_i}{2s} = \frac{17,5 \cdot 20}{2 \cdot 1} = 175 \text{ kg/cm}^2,$$

in der Abzweigung zu:

$$\sigma'_z = \frac{d_2 \cdot p_i}{2s} = \frac{10 \cdot 20}{2 \cdot 1} = 100 \text{ kg/cm}^2.$$

Um den Einfluß der Abrundungshalbmesser zu zeigen, ist dieser an der oberen Übergangsstelle klein, zu 15 mm, an der unteren größer, zu 40 mm angenommen. Die folgende Rechnung ergibt im ersten Falle eine 2,9, im zweiten eine 1,9mal so große Spannung wie in der Wandung des Hauptrohres.

Obere Ecke,  $R = 15$  mm

Untere Ecke,  $R = 40$  mm

$$\text{Wandungsquerschnitt } f = \frac{\pi}{4} (2,5^2 - 1,5^2) = 3,14$$

$$\frac{\pi}{4} (5^2 - 4^2) = 7,06 \text{ cm}^2,$$

$$\text{Druckfläche } F = 11,25 \cdot 7,5 - \frac{\pi}{4} \cdot 2,5^2 = 79,5$$

$$13,75 \cdot 10 - \frac{\pi}{4} \cdot 5^2 = 117,9 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Beanspruchung } \cdot \sigma''_z = \frac{F \cdot p_i}{f} = \frac{79,5 \cdot 20}{3,14} = 507$$

$$\frac{117,9 \cdot 20}{7,06} = 334 \text{ kg/cm}^2.$$

An dem Bachschen Versuchskörper, Abb. 621, ist ein Maß für die der Zeichnung nach ziemlich scharfe Abrundung in der Kehle nicht angegeben. Schätzt man den Halbmesser zu 10 mm, so wird bei  $s = 15$  mm durchschnittlicher Wandstärke die Spannung in der Kehle:

$$\sigma''_z = \frac{F \cdot p_1}{f} = \frac{22,5 \cdot 12,5 - 2,5 \cdot 2,5}{2,5 \cdot 2,5 - \frac{\pi}{4} \cdot 1^2} \cdot p_1 = 50,4 p_1 = 50,4 \cdot 34,5 = 1740 \text{ kg/cm}^2,$$

während sich in der Wandung:

$$\sigma_z = \frac{d \cdot p_1}{2s} = \frac{40}{2 \cdot 1,5} p_1 = 13,3 p_1$$

ergibt und mithin das Verhältnis:

$$\frac{\sigma''_z}{\sigma_z} = \frac{50,4}{13,3} = 3,8,$$

gegenüber dem beim Versuch ermittelten Wert von 2,73 um rund 35% zu groß ist.

Kugelige Wandungen, bei Pumpen- und Ventilkörpern, Abb. 219, sowie Formstücken, Abb. 627, gern angewendet, zeigen nicht allein größere Widerstandsfähigkeit, sondern bieten auch günstigere und ringsum gleichmäßige Übergänge beim Anschluß zylindrischer Stutzen und Rohre, wenn deren Mittellinien durch die Kugelmittle gehen. Ihre Wandstärke wird ebenso groß wie die der anschließenden zylindrischen Teile gewählt, sofern nicht die Berechnung auf Festigkeit größere Abmessungen verlangt, und zwar wird dann die Wandstärke  $s$  im Verhältnis zum inneren Durchmesser, ausgehend von der Formel (51),

$$s = \frac{d}{4} \cdot \frac{p_i}{k_z} + C \tag{158}$$

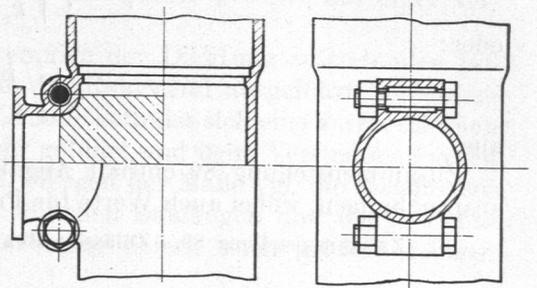


Abb. 626. Eckverstärkung durch warm eingezogene Bolzen.

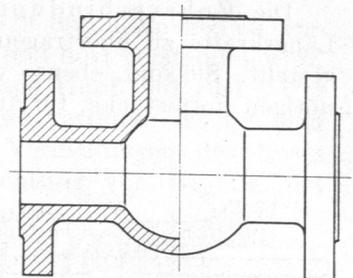


Abb. 627. Kugelformstück.

genommen. Bei verhältnismäßig größerer Wandstärke führt man, ausgehend von Formel (50),

$$r_a = r_i \cdot \sqrt[3]{\frac{k_z + 0,4 p_i}{k_z - 0,65 p_i}} + C \tag{159a}$$

oder:

$$s = r_i \left( \sqrt[3]{\frac{k_z + 0,4 p_i}{k_z - 0,65 p_i}} - 1 \right) + C \tag{159b}$$

aus.

Zusammenstellung 89 enthält Angaben über die in Rohrwandungen zulässigen Beanspruchungen, wobei auch Werte für Preßzylinder, Pumpenkörper usw. aufgeführt sind.

Zusammenstellung 89. Zulässige Beanspruchungen in Rohren, Formstücken u. dgl.

	Zulässige Beanspruchung $k_z$ kg/cm <sup>2</sup>	Zuschlag $C$ cm
<b>Rohre aus</b>		
Gußeisen (Friedrich Wilhelmshütte) . . . . .	210	0,86
Flußeisen, $d \leq 200$ mm . . . . .	350	0,1
$d > 200$ mm . . . . .	400	—
Kupfer (Marinevorschriften) $d \leq 100$ mm . . . . .	200	0,15
$d \leq 125$ mm . . . . .	200	—
<b>Dickwandige Rohre, Preßzylinder usw. aus</b>		
Gußeisen . . . . .	200—300—(750) <sup>1)</sup>	
Stahlguß . . . . .	600—(1500) <sup>1)</sup>	
Flußeisen . . . . .	800—(1800) <sup>1)</sup>	
Phosphorbronze . . . . .	500—(1000) <sup>1)</sup>	
<b>Pumpenkörper aus</b>		
Gußeisen, zwischen den Ventilen <sup>2)</sup> . . . . .	100—150	
„ Druckraum über dem Druckventil <sup>2)</sup> . . . . .	150—200	
Stahlguß, zwischen den Ventilen <sup>2)</sup> . . . . .	200—250	
„ Druckraum über dem Druckventil <sup>2)</sup> . . . . .	250—300	

1) Die eingeklammerten Zahlen sind Höchstwerte für Preßzylinder, an die man nur gezwungen bei vorzüglichem Werkstoff und allmählich zunehmendem Druck herangehen soll.

2) Der eigentliche Arbeitsraum der Pumpen unterliegt in den Umkehrpunkten der Kolbenbewegung plötzlichen, stoßartigen Druckwechseln zwischen der Saug- und der Druckspannung, während der Raum über dem Druckventil nur geringen Schwankungen, sogar annähernd gleichbleibendem Druck ausgesetzt ist, solange die Windkessel genügend groß und mit Luft gefüllt sind. Daher die Unterschiede in der zulässigen Beanspruchung.

### IV. Rohrverbindungen.

Die Rohrverbindungen müssen 1. dicht und 2. geeignet sein, die auftretenden Längskräfte zu übertragen. Vielfach wird noch 3. die Forderung leichter Lösbarkeit gestellt. Sie sind, ebenso wie die zur Herstellung von Abzweigungen und Krümmungen nötigen Formstücke, für die gebräuchlichen Rohrdurchmesser in ihren Maßen festgelegt, d. h. genormt.

Rohrverbindungen werden hergestellt durch Muffen, Verschraubungen und Flansche.

#### A. Muffenverbindungen.

Muffenverbindungen, in Abb. 628 in der an gußeisernen Rohren der Zusammenstellung 85 üblichen Form gezeigt, sind einfach und billig. Sie eignen sich aber im allgemeinen nur für mäßige Drucke, weil größere Längskräfte nicht unmittelbar übertragen werden können, sondern längs der Rohre selbst aufgenommen oder an den End- und Knickpunkten der Leitung besonders aufgefangen werden müssen und weil die Packung nur durch die Reibung in den zylindrischen Muffen gehalten wird. Andererseits lassen sie Ausdehnungen durch die Wärme zu und ermöglichen, wenn sie mit etwas Spiel im Grunde der

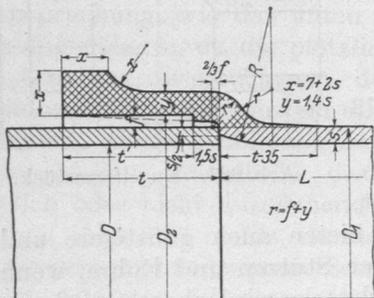


Abb. 628. Normale Muffe an gußeisernen Rohren der Zusammenstellung 85.

die Reibung in den zylindrischen Muffen gehalten wird. Andererseits lassen sie Ausdehnungen durch die Wärme zu und ermöglichen, wenn sie mit etwas Spiel im Grunde der

Muffe verlegt werden, geringe Abweichungen der Rohrstrangachse von der geraden Linie, wie sie beim Verlegen von Gas-, Wasser- und Kanalisationsleitungen im Erdboden unvermeidlich sind. Der dritten der oben erwähnten Forderungen entsprechen Muffenverbindungen schlecht; Muffenrohre können nicht ohne weiteres aus einer verlegten Strecke herausgenommen werden.

Die Muffenwand wird wegen der beim Verstemmen der Dichtung auftretenden Beanspruchungen kräftig, rund 1,4mal so dick wie die Rohrwand ausgeführt, außerdem noch durch einen Bund am Ende verstärkt. Am Grunde befindet sich eine kurze, schwach kegelige Verengung, in der das anschließende Rohr geführt und beim Verstemmen gegen zu starke seitliche Verschiebungen gesichert wird. Wegen der Maße vgl. die Zusammenstellung 85, S. 338, die auch Angaben über die üblichen Baulängen und die Gewichte normaler Muffenrohre enthält. Manche Rohrgießereien liefern auch größere Längen als die dort aufgeführten.

Eine Liste über dünnwandige, gußeiserne Rohre für Heizungszwecke, und zwar für einen Betriebsdruck von 5 at bei Füllung mit kaltem, von 3 at mit heißem Wasser oder Dampf, ist im Dezember 1911 vom Verband Deutscher Zentralheizungs-Industrieller herausgegeben worden.

Die Maße gußeiserner Abflußrohre für Entwässerungsanlagen sind in DIN 364 festgelegt.

Nach dem Guß der Rohre werden lediglich die verlorenen Köpfe abgestochen; im übrigen bleiben Muffenrohre unbeebeitet.

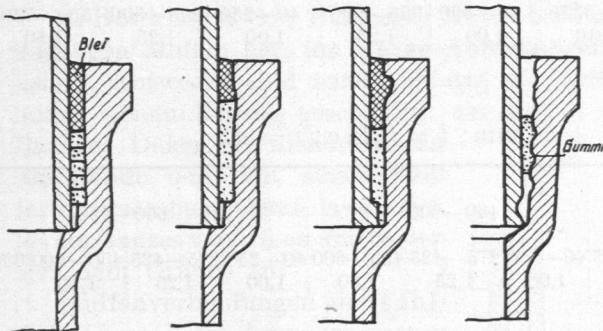


Abb. 629. Abdichtung an Muffenrohren. Abb. 630 bis 632. Muffenverbindungen an gußeisernen Rohren.

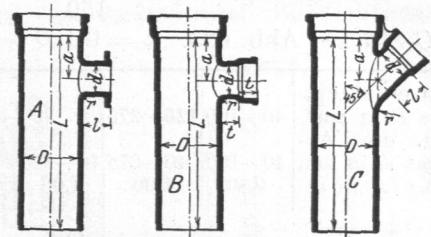


Abb. 633 bis 635. A-, B- und C-Stück zur Herstellung von Abzweigungen.

Die Abdichtung geschieht bei Wasserrohren nach Abb. 629 durch Eintreiben von Hanfstricken und durch Blei, das in den Muffenraum gegossen und dort verstemmt wird, bei Gasrohren in ähnlicher Weise durch Teerstricke, eine Lage Hanf und Blei. Um die Packung sicherer festzuhalten und das Herausdrücken zu verhüten, bringt man auch Erweiterungen in der Muffenwand, manchmal auch Verdickungen des freien Rohrendes, Abb. 630 und 631, an. Abb. 632 zeigt die Dichtung von Budde und Göhde, Berlin, bei der sich ein Rundgummiring beim Einschieben des Rohrendes in die Muffe hineinrollt und in den Rillen festsetzt. Die Verbindung ist besonders in nassen Rohrgräben vorteilhaft, weil sie das Verlegen der Rohrleitungen erleichtert und weil sich guter Gummi in Wasser hält und nicht hart wird.

Abb. 633 bis 642 zeigen die normalen Muffen-Formstücke. B- und C-Stücke, Abb. 634 und 635 dienen zu der Herstellung von Abzweigungen, L-, K-, J-Stücke, Abb. 336 bis 638, zu der von Kurven und Knicken.

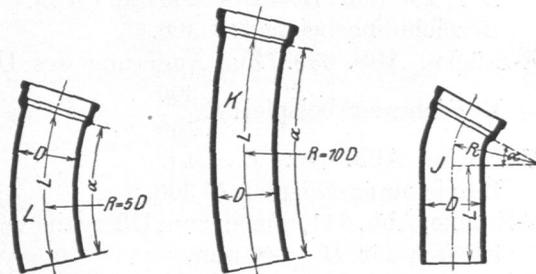


Abb. 636 bis 638. L-, K- und J-Stück.

Abb. 639 ist ein Übergangrohr, Abb. 640 eine Überschiebmuffe zur Verbindung zweier zylindrischer Rohrenden oder zum Schließen

der Fuge, wenn ein schadhaftes Rohr aus einem Strang herausgeschnitten und durch zwei kürzere Rohrstücke ersetzt worden ist. Nur zersprungene Rohre können durch Umlegen einer geteilten Doppelmuffe gedichtet werden. Die Bezeichnung der Formstücke erfolgt in der Weise, daß die Art und bei Abzweigrohren der lichte Durchmesser des Hauptrohres in Millimetern über, der lichte Durchmesser des Abzweiges unter einem Bruchstriche angegeben wird. Bei Krümmern steht die Anzahl der Stücke, die einen Bogen von 90° bilden, also die Größe 90°:α; (bei α = 45° mithin 2, bei α = 30° 3, bei α = 22½° 4 und bei α = 15° 6) unter dem Bruchstriche. Vgl. Zusammenstellung 90.



Abb. 639. Übergangrohr (R-Stück).

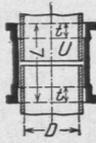


Abb. 640. Überschiebmuffe (U-Stück).

Im folgenden sind die in den Normalien von 1882 festgelegten Hauptabmessungen und Verhältniszahlen zusammengestellt.

Zusammenstellung 90. Muffenformstücke (1882).

A- und B-Stücke, Abb. 633 und 634.  $a = 0,2 D + 0,5 d + 100$  mm;

$l = 0,1 d + 120$  mm;  $r = 0,05 d + 40$  mm.

Durchmesser des Hauptrohres $D$ in mm	40—100	125—325	350—500		550—750		
Durchmesser des Abzweiges $d$ in mm	40—100	40—325	40—300	325—500	40—250	275—500	550—750
Nutzlänge $L$ in m	0,80	1,00	1,00	1,25	1,00	1,25	1,50
Bezeichnungsbeispiel:	$A \frac{300}{150}$ .						

C-Stücke, Abb. 635.  $a = 0,1 D + 0,7 d + 80$  mm;  $l = 0,75 a$ ;  $r = d$ .

Durchm. des Hauptrohres $D$ in mm	40—100	125—275	300—425		450—600			650—750			
Durchm. des Abzweiges $d$ in mm	40—100	40—275	40—250	275—425	40—250	275—425	450—600	40—250	275—425	450—600	650—750
Nutzlänge $L$ in m	0,80	1,00	1,00	1,25	1,00	1,25	1,50	1,00	1,25	1,50	1,75

Bezeichnungsbeispiel:  $C \frac{300}{150}$ .

L-Stücke, Abb. 636.  $R = 5 D$ ; zulässig für  $D \geq 300$  mm.

Bezeichnungsbeispiel:  $L \frac{300}{3}$ .

K-Stücke, Abb. 637.  $R = 10 D$ ; zulässig für  $D \geq 40$  mm.

Bezeichnungsbeispiel:  $K \frac{300}{6}$ .

J-Stücke, Abb. 638.  $R = 250$  mm für  $D = 40$  bis 90 mm;  $R = D + 150$  mm für  $D \geq 100$  mm;  $L = D + 200$  mm für  $D = 40$  bis 375 mm;  $L = 600$  mm für  $D \geq 400$  mm.

Bezeichnungsbeispiel:  $J 300$ .

R-Stücke, Abb. 639. Zur Änderung des Durchmessers,  $L = 1$  m.

Bezeichnungsbeispiel:  $R \frac{300}{200}$ .

U-Stücke, Abb. 640.  $L = 4 t$ .

Bezeichnungsbeispiel:  $U 300$ .

E-Stücke, Abb. 641, dienen zum Übergang von Muffen- zu Flanschrohren.  $L = 300$  mm erhältlich für  $D \geq 40$  mm.

F-Stücke, Abb. 642, zum Übergang von Flansch- zu Muffenrohren,  $L = 600$  für  $D = 40$  bis 475 mm;  $L = 800$  für  $D = 500$  bis 750 mm.

Außer den A-, B- und C-Stücken sind auch AA-, BB- und CC-Stücke mit zwei gegenüberliegenden Abzweigen gleicher Abmessungen, wie an den einfachen, erhältlich.

Formstücke, deren Abzweige lichte Durchmesser von 400 und mehr Millimetern besitzen, sind bei Betriebsdrucken von 2 at und darüber in ihren Wandungen oder durch Rippen, Abb. 643 und 644, zu verstärken.

Wegen weiterer Formstücke vgl. DIN 2430.

Bei der Ermittlung der Formstückgewichte, die mit einem Einheitsgewichte des Gusseisens von 7,25 kg zu geschehen pflegt, ist zu dem aus den normalen Abmessungen berechneten Betrag ein Zuschlag von 15%, bei Krümmern ein solcher von 20% zu geben.

Formstücke von mehr als 750 mm Durchmesser werden nicht als normal betrachtet.

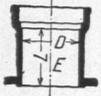


Abb. 641.  
E-Stück.

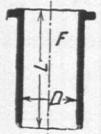


Abb. 642.  
F-Stück.

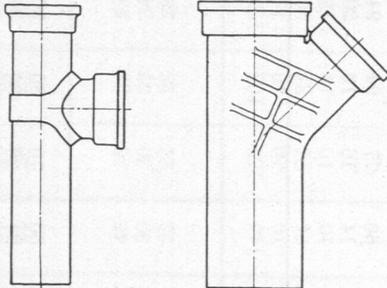


Abb. 643 und 644. Verstärkte Formstücke.

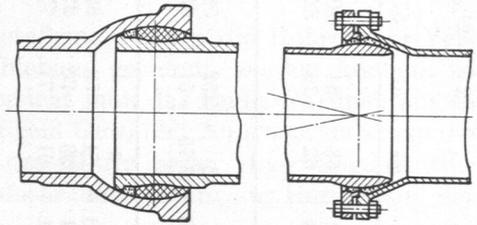


Abb. 645 und 646. Rohre mit kugeligen Muffen, Böcking & Co.

R. Böcking & Co., Halberger Hütte bei Saarbrücken, stellen gußeiserne Rohre mit kugeligen Muffen her, um starke Ablenkungen und dauernde Beweglichkeit zu ermöglichen. Entweder sind nach Abb. 645 die Muffen innen oder nach Abb. 646 die Rohre außen genau kugelig geschliffen; sie drehen sich in den verstemmten Bleidichtungsflächen. Düker, aus diesen Rohren am Lande oder auf einem Floß fertig zusammengebaut, lassen sich als ein Ganzes versenken und passen sich dem Grunde an.

Muffenverbindungen an Stahlrohren nach Art der angegossenen üblichen, geben die Abb. 647 bis 650 wieder. Die Bauart, Abb. 647, der Hahnschen Werke hat eine kegelig nach innen erweiterte Muffe mit einer kräftigen Verstärkung des Randes. Abb. 648 stellt eine an zahlreichen Turbinenleitungen eingebaute Hochdruckmuffenver-

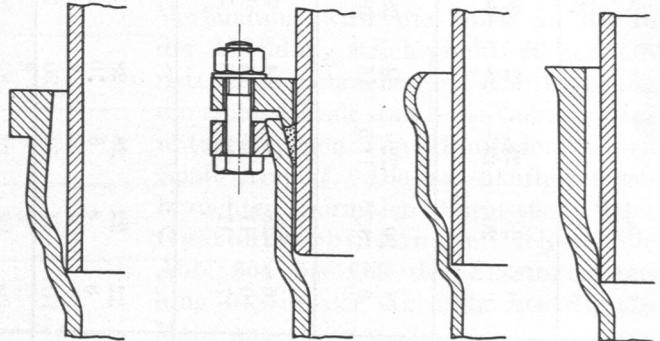


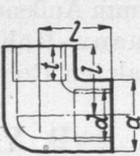
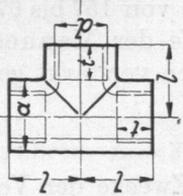
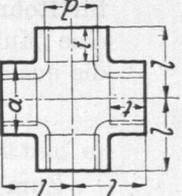
Abb. 647 bis 650. Muffenverbindungen an Stahlrohren, Hahnsche Werke, Ferrum A.G., Rheinmetall, Mannesmann.

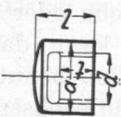
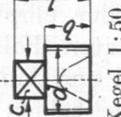
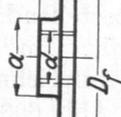
bindung der A. G. Ferrum, Kattowitz, dar, bei welcher zwei Überwurfringe einen besonders zubereiteten Hanfstrick in den Muffenspalt pressen. Abb. 649 ist eine an die spiralgeschweißten Rohre der Firma Rheinmetall, Düsseldorf, angewalzte Muffe für Rohre von 157 bis 672 mm Außendurchmesser für Betriebsdrucke bis zu 5 at, Abb. 650 eine Muffe der Mannesmann-Röhrenwerke für 40 bis 250 mm Rohrdurchmesser, die aus den verstärkt gewalzten Rohrenden hergestellt wird.

## B. Verschraubungen.

Zum Zwecke der Verbindung durch Überschraubmuffen werden die Rohrenden mit Rohrgewinde versehen, auf das die Muffen aufgedreht werden. Es entsteht eine auch zur Übertragung größerer Längskräfte geeignete Verbindung. Die Dichtung wird durch das Anliegen der Gänge des schwach kegelig geschnittenen Gewindes, Abb. 651, vgl. auch S. 208, gewöhnlich unter Einlegen einiger mit Öl und Mennige getränkter Hanf-

## Zusammenstellung 91. Gasrohrverbindungen.

Rohrbezeichnung	In engl. Zoll, zugl. Bezeichnung des Gewindes	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	2 1/2	3	3 1/2	4"
		3	6	10	13	20	25	32	38	44	51	57	63	76	89	102 mm
Muffe, Abb. 654	Länge $l$ Außendurchm. $a$	20 16	24 20	28 24	32 28	36 34	40 42	46 52	52 58	58 62	64 70	70 82	76 88	82 102	90 115	100 128
Nippel, Abb. 655	Länge $l$ Innendurchm. $a$	18 6	20 8,75	22 11,5	24 15	28 20,5	32 26	36 35	40 40,5	46 43,75	52 51	58 62	64 68	70 80	80 92	90 104
Doppelnippel, Abb. 656	Länge $l$ Gewindelänge $b$ Schlüsselweite	26 10 17	28 11 17	30 12 22	34 14 28	38 16 33	42 18 39	46 19 55	50 21 61	54 23 61	58 25 77	62 27 77	66 28 94	70 30 103	74 32 112	80 35 125
Gegenmutter, Abb. 657	Schlüsselweite Höhe $h$	22 8	22 8	28 8	28 10	39 10	44 12	55 12	61 14	66 14	77 16	94 16	94 20	112 20	125 24	150 26
Knie, Abb. 658																
T-Stück, Abb. 659																
Kreuzstück, Abb. 660																
	Schenkelänge $l$ Außendurchm. $a$ Gewindetiefe $t$	16 8	20 10	24 12	28 14	32 16	38 18	44 20	50 22	60 24	70 26	80 30	90 34	100 38	115 42	130 46

Rohrbezeichnung	In engl. Zoll zugl. Bezeichnung d. Gewindes	Innerer Durchm.	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	2 1/2	3	3 1/2	4"
Kappe, Abb. 661		Länge <i>l</i> Außendurchm. <i>a</i> Gewindetiefe <i>t</i>	16 16 8	20 20 10	24 24 12	24 28 14	28 34 16	32 42 18	32 50 20	34 58 22	36 62 24	38 70 26	46 82 28	48 88 30	54 102 34	66 115 38	70 128 42
Stopfen, Abb. 662		Länge <i>l</i> Gewindelänge <i>b</i> Schlüsselweite <i>c</i>	20 14 7	22 16 8	24 16 10	26 16 12	30 18 14	34 22 17	38 24 19	42 28 22	46 30 22	50 30 24	54 32 28	58 34 28	62 38 30	66 40 33	70 42 39
Flansch, Abb. 663		Außendurchm. <i>D<sub>f</sub></i> Dicke <i>b</i> Halsdurchm. <i>a</i> Halshöhe <i>c</i>	60 5 20 5	65 5 24 5	75 6 26 8	85 6 30 8	100 8 36 8	110 8 44 8	125 10 54 8	135 10 62 8	145 10 64 10	155 10 74 10	165 10 84 12	175 12 90 12	190 12 106 12	205 12 118 14	220 12 134 14

fäden bewirkt oder durch Einpressen des scharfen Randes, Abb. 652, oder durch einen zwischengelegten profilierten



Abb. 651. Gasrohrmuffe.

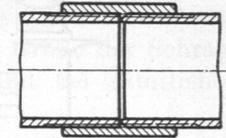


Abb. 652. Abdichtung durch scharfen Rand.

Metallring. Sollen die Rohre ohne Verschiebung getrennt werden können, so versieht man das Ende des einen mit so langem Gewinde, Abb. 653, daß man die ganze Muffe samt einer Gegenmutter aufschrauben kann; zur Herstellung der

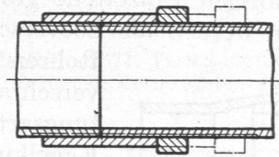


Abb. 653. Muffenverbindung mit Langgewinde.

Verbindung wird die Muffe in die in der Abbildung strich-punktiert gezeichnete Lage gebracht und die Dichtung am rechten Ende durch die Gegenmutter unter Einlegen von Hanffäden in den Spalt erreicht. Die am häufigsten gebrauchten normalen Formstücke oder Gasrohrverbindungen zeigen die Abb. 654 bis 663 der Zusammenstellung 91, in der auch die wichtigsten Maße angegeben sind.

Rohrverschraubungen, Abb. 664, sind leicht lösbare Verbindungen, bei

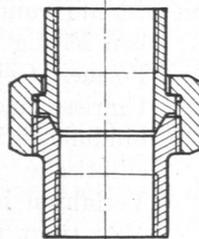


Abb. 664. Rohrverschraubung.

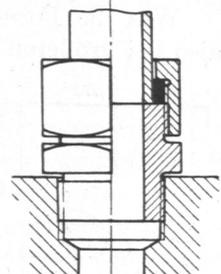


Abb. 665. Rohranschluß mittels Doppelnutten.

denen die Rohre mit aufgeschraubten oder aufgelöteten Stutzen versehen,

durch Überwurfmuttern verbunden werden. In den Dinormen ist beabsichtigt, je eine Reihe schwerer und leichter Rohrverschraubungen durchzubilden. Eine Übersicht über

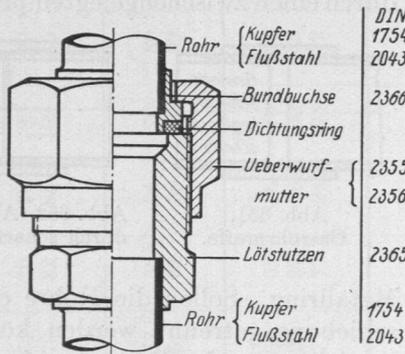


Abb. 666. Lötverschraubung, schwer, nach DIN 2360.

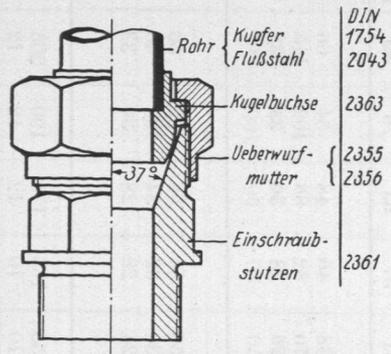


Abb. 666a. Einschraubverschraubung, schwer, nach DIN 2360.

die bisher fertiggestellte erste Gruppe für die Druckstufen  $W 6 D 5$  bis  $W 40 D 32$  und die zugehörigen Einzelteile gibt DIN 2360. Mitten in den Rohrleitungen sitzende Verbindungen werden als Lötverschraubungen, Abb. 666 ausgeführt. Zum Anschluß von Rohren an anderweitige Maschinenteile dienen Einschraubverschraubungen nach Abb. 666a. Dabei sind je zwei Abdichtungsarten vorgesehen: Abb. 666 zeigt Bunddichtung, Abb. 666a Kegelkugeldichtung. Die Bezeichnung der einzelnen Teile sowie die zugehörigen Normblätter sind neben den Abbildungen angegeben. Bleirohre verlötet man nach dem Übereinanderschieben der Enden, Abb. 667.

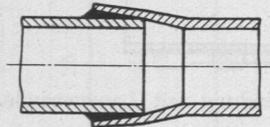


Abb. 667. Verbindung von Bleirohren.

### C. Flanschverbindungen.

Flanschverbindungen sind imstande, große Kräfte unter guter Dichtungsmöglichkeit zu übertragen; sie werden deshalb besonders bei hohen Pressungen verwendet, lassen sich leicht lösen, sind aber vierteilig und teuer. Im Freien oder im feuchten Erdboden leiden die Verbindungsschrauben oft stark durch Rost, so daß dort Muffen vorzuziehen sind. Flanschverbindungen werden an allen Rohrarten benutzt.

Man unterscheidet feste Flansche — an gegossenen Rohren und Stücken fast ausschließlich verwandt — und Überwurf- oder lose Flansche, die über das Rohr geschoben, an einem Bund oder Wulst angreifen.

#### 1. Verbindungen mittels fester Flansche.

Was die Form der Flansche anlangt, so kommen bei vier und mehr Schrauben, also bei größeren Rohren fast nur runde in Betracht. Dagegen wird bei zwei Schrauben häufig von ovalen, bei drei Schrauben von dreieckigen Formen Gebrauch gemacht. Die ovalen erhalten entweder Umrisse nach Abb. 668, aus Kreisbögen mit geraden Verbindungslinien bestehend, oder elliptische oder annähernd elliptische Gestalt. Im letzten Falle kann das folgende Verfahren beim Aufzeichnen und Anreißen benutzt werden. Man trägt nach Abb. 669 die beiden Halbachsen  $a = MA$  und  $b = MB$  und auf der Verbindungslinie  $AB$  ihrer Endpunkte vom Ende der kleinen Achse aus die Differenz  $a - b = BC$  auf. Dann trifft das Mittellot über der Reststrecke  $CA$  die beiden Achsen in den Mittelpunkten  $D$  und  $E$  der Kreisbögen mit den Halbmessern  $DA$  und  $EB$  zur Begrenzung des Flansches.

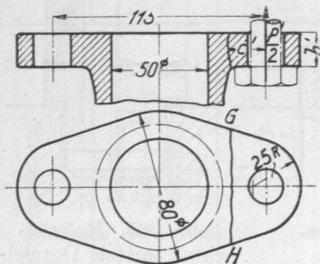


Abb. 668. Ovaler Flansch.

Feste Flansche werden an Gußeisen- und Stahlgußrohren stets durch Angießen, an Stahl-, Kupfer- und Messingrohren durch Aufschrauben, Anlöten, Anschweißen oder Einwalzen hergestellt.

Bei der Normung der Flansche legte man an den runden zunächst in DIN 2501 bis 2503 — lediglich abhängig vom Nenndruck und der Nennweite — die Anschlußmasse fest, nämlich die Flansch- und Lochkreisdurchmesser, die Zahl und Größe der Schrauben und die Durchmesser und Höhen der Arbeitsleisten. Sie sind bei sämtlichen Flanscharten in Rücksicht auf Auswechselbarkeit und gegenseitige Anschlußfähigkeit eingehalten worden. Dagegen wechseln die Maße für die Flanschdicke, den Übergang zum Rohr und die Ansätze je nach dem Werkstoff und der besonderen Art der Flansche und Rohre.

Ein weiterer wichtiger allgemeiner Gesichtspunkt betrifft

die Zahl und Anordnung der Schraubenlöcher in den Flanschen. Nach DIN 2508 sind nur durch vier teilbare Zahlen, also 4, 8, 12, 16 ... Schrauben zu verwenden; ihre Anordnung an Rohrleitungen und Absperrmitteln ist stets so zu treffen, daß sie symmetrisch zu den beiden Hauptachsen liegen und daß in diese keine Schrauben fallen, Abb. 670 und 671.

Zusammenstellung 92 gibt einen Überblick über die Ende 1926 genormten Flansche, sowohl nach ihrer Form wie auch nach den Nenndrücken und Nennweiten, bei denen die einzelnen Arten Anwendung finden sollen. Sie haben nicht allein für die Rohre und Formstücke, sondern auch für die Absperrmittel grundlegende Bedeutung und können auch sonst im Maschinenbau häufig angewendet werden. Im einzelnen ist dazu das Folgende zu bemerken:

Zu 1. Von den Gußeisenflanschen haben für Rohre in erster Linie die der Druckstufe 10 Bedeutung, weil sie an den normalen Gußeisenrohren der DIN 2422 benutzt sind. Die übrigen kommen vor allem für Absperrmittel und sonstige gußeiserne Teile des Maschinenbaus in Frage. Der Übergang der Flanschstärke in die Rohrwanddicke ist durch Einschalten eines Kegels unter einer Neigung 1:5 und guter Ausrundung der Kehle an der Ansatzstelle des Flansches vermittelt, sowohl in Rücksicht auf leichtere Herstellung durch den Guß, wie auf die von den Schraubenkräften herrührende Nebenbeanspruchung auf Biegung. Der Kegel soll beim Entwurf neuer Teile oder bei Neuanfertigung von Modellen, deren Wandstärke von der normalen abweicht, dazu benutzt werden, diese Wandstärke durch Vergrößern des Außendurchmessers zu erreichen. Dabei verringert sich die Höhe des Kegels; Neigung und Ansatzdurchmesser am Flansch bleiben dagegen in Rücksicht auf den Platz, den die Schrauben beanspruchen, erhalten. Wird bei vorhandenen Modellen eine Änderung der Wanddicke gegenüber der bei der Modellanfertigung zugrunde gelegten erforderlich, so gilt im allgemeinen der Außendurchmesser des Modells als feststehend; die Änderung der Wanddicke erfolgt auf Kosten der lichten Weite.

Bearbeitet wird gewöhnlich nur die Arbeitsleiste. Da sie zwecks besseren Festhaltens der Dichtung nicht zu glatt sein soll, pflegt man sie nur zu überschuppen.

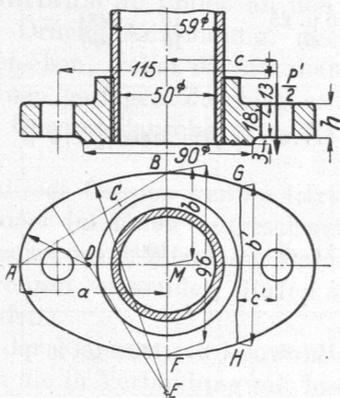


Abb. 669. Ovaler Flansch.

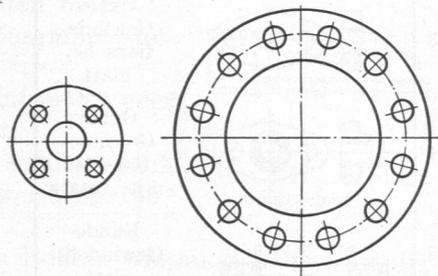
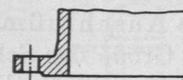
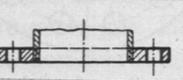
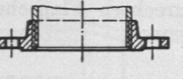
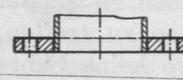
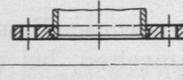
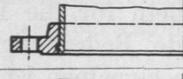
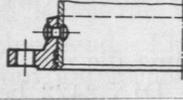
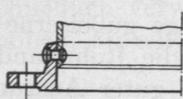
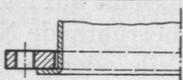


Abb. 670 und 671. Verteilung der Schraubenlöcher an normrechten Flanschen.

Zusammenstellung 92. Genormte Flansche<sup>1)</sup>.

Lfd. Nr.	Flanschart	Neendrucke	Nennweiten	Normblatt Nr.	Zusammenstellung
1	 Gußeisenflansche	1 und 2,5 6 und 10 16 und 25 40	10...2000 10...1200 10... 500 10... 400	2530 2531 u. 2532 2533 u. 2534 2535	— 93 b und c 93 d und e 93 f
2	 Stahlgußflansche	16 u. 25 40	10... 500 10... 400	2543 u. 2544 2545	93 d u. e 93 f
3	 Ovale Gewindeflansche, glatt	1...6	6...100 ( $\frac{1}{8}$ ...4'')	2550	93
4	 Ovale Gewindeflansche mit Ansatz	1...6	6...100 ( $\frac{1}{8}$ ...4'')	2560	93
5	 Runde Gewindefl., glatt	1...6	6...150 ( $\frac{1}{8}$ ...6'')	2555	93
6	 Runde Gewindeflansche mit Ansatz	1...6 10 16 25 u. 40	6...150 ( $\frac{1}{8}$ ...6'') 6...150 ( $\frac{1}{8}$ ...6'') 6...100 ( $\frac{1}{8}$ ...4'') 6...20 ( $\frac{1}{8}$ ... $\frac{3}{4}$ '')	2565 2566 2567	93 93 a 93 a
7	 Glatte Flansche, gelötet o. geschweißt	1...6	10...150	2570	93 b
8	 Glatte, runde Walzflansche	1...6	10...150	2575	93 b
9	 Walzflansche mit Ansatz	1...6 10, 16, 25 40	(160)...400 10...400 10...200	2580 2581, 2582 u. 2583 2584	93 b 93 c, d, e 93 f
10	 Walzfl. mit Ansatz und Sicherheitsnietg.	10 u. 16 25 u. 40	150...400 100...400	2590 u. 2591 2592 u. 2593	93 c u. d 93 e u. f
11	 Nietflansche	1...6, 10, 16 25 40	150...500 100...500 100...400	2600...2602 2603 2604	93 b, c, d 93 e 93 f
12	 Lose Flansche für Bördelrohr	1...2,5 6 10	50...2000 50...1200 50... 800	2640 2641 2642	— 93 b 93 c

Nietflansche aus Walzeisen, Vorschweißflansche und lose Flansche mit Bund und Vorschweißbunden befinden sich noch in Bearbeitung.

<sup>1)</sup> Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Normenausschusses. Maßgebend sind die jeweils neuesten Ausgaben der Dinblätter, die durch den Beuth-Verlag GmbH., Berlin S 14, Dresdener Str. 97, zu beziehen sind.

Zu 2. An Stahlgußflanschen werden die Endflächen wegen der rauheren Oberfläche auf ihrer ganzen Breite bearbeitet und deshalb die Arbeitsleisten weggelassen. Die Normung beschränkt sich auf die höheren Druckstufen. Der am Flansch anschließende Kegel ist ähnlich, wie unter 1. beschrieben, ausgebildet und kann in der gleichen Weise bei der Verstärkung der Wanddicke benutzt werden.

Zu 3 bis 12. Als Werkstoff ist für die glatten Flansche der Gruppen 3, 5, 7 und 12, die aus Blechen oder Universaleisen sollen hergestellt werden können, Flußstahl von 3400 kg/cm<sup>2</sup> Mindestfestigkeit, für die glatten Walzflansche der Gruppe 8 Flußstahl St 42·11 DIN 1611, für die übrigen, sämtlich mit Ansätzen versehenen Flansche der Gruppen 4, 6, 9, 10 und 11 entweder Flußstahl St 42·11 DIN 1611 oder Stahlguß von mindestens 4500 kg/cm<sup>2</sup> Festigkeit und  $\delta_5 = 22\%$  Bruchdehnung vorgeschrieben. Der Werkstoff ist bei der Bestellung der Flansche anzugeben.

Zu 3 bis 6. Gewindeflansche finden an den Gewinderohren in Form von ovalen und runden für mäßige Drucke Anwendung. Sie sind sämtlich mit Whitworthrohrgewinde der DIN 259 versehen, wobei die nutzbare Gewindelänge nach DIN 2999 bei Flanschen mit Ansatz einen geringen Zuschlag erhalten muß.

Die Hauptmaße der Gewindeflansche gibt die Zusammenstellung 93 und 93a.

Zu 7. Die Flansche dieser Gruppe werden hart aufgelötet oder autogen, mit Wassergas oder im Feuer aufgeschweißt.

Hart gelötete Flansche, nicht allein an Stahl-, sondern auch an Kupfer- und Messingrohren verwendet, dürfen nur bis zu 200° Temperatur benutzt werden.

Vom Anschweißen der Flansche wird sowohl an Rohren wie an Behältern häufig Gebrauch gemacht. Auch die in Verbindung mit losen Flanschen benutzten Bordringe pflegen entweder aufgeschweißt oder vorgeschweißt zu werden, Abb. 672 und 673.

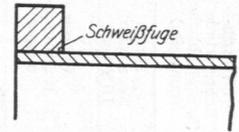


Abb. 672. Bordring aufgeschweißt.

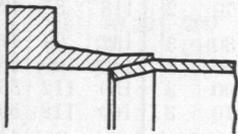


Abb. 673. Bordring vorgeschweißt.

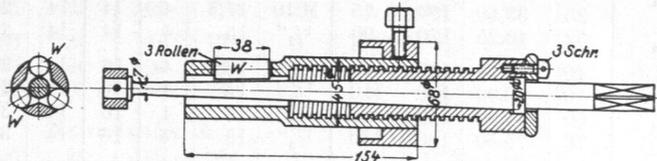


Abb. 673a. Rohrwalze für Rohre von  $\approx 40$  mm Durchmesser. M. 1: 5.

Das Aufschiessen ist nach den Normalien zu Rohrleitungen für Dampf von hoher Spannung 1912 bis zu 250 mm Durchmesser zulässig, wenn der Schweißdruck durch mechanische Vorrichtungen erzeugt wird. Das Vorschweißen von Flanschen und Bordringen, Abb. 673, kann nur für größere Rohrweiten empfohlen werden, bei denen eine beiderseitige Bearbeitung der Schweißstelle möglich ist.

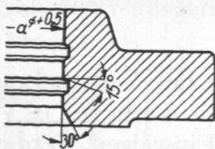


Abb. 673b. Zylindrische Flanschbohrung mit Abfasung an Walzflanschen.

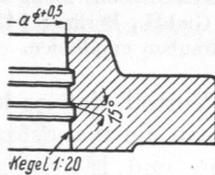


Abb. 673c. Kegelige Flanschbohrung an Walzflanschen.

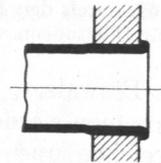


Abb. 673d. Eingewalztes Siederrohr.

Zu 8 bis 10. Walzflansche sind mit Rillen versehen, in welche die Rohrwandung hineingewalzt wird. Der Flansch wird zunächst auf das gutgereinigte Rohr aufgezogen, genau ausgerichtet und das Rohr dann durch die Wirkung mehrerer Walzen *W*, Abb. 673a, die durch einen kegeligen Dorn im Innern der Vorrichtung allmählich auseinandergerückt werden, aufgeweitet, bis die Nuten ausgefüllt sind. Die Flanschbohrung wird nach DIN 2515 entweder zylindrisch gehalten und mit einer Abfasung am Ende versehen, Abb. 673b, oder nach einem Kegel 1:20 ohne Abfasung, Abb. 673c, ausgeführt. Um die Reibung zu erhöhen, soll die Bohrung rau gehalten und deshalb mit großem Vorschub ausgedreht werden. Zahl und Form der Rillen sind durch die eben erwähnte Dinorm einheitlich festgelegt.

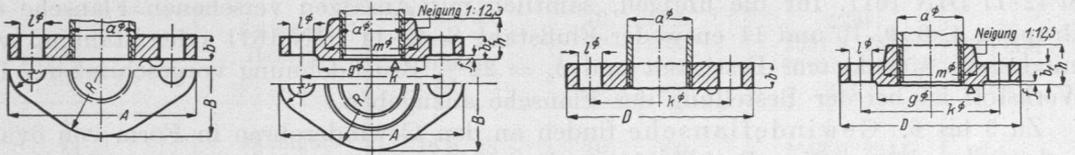
Zusammenstellung 93. Normrechte Gewindeflansche für Nenndruck 1 bis 6 (Auszug)<sup>1)</sup>.

Glatte ovale Gewindeflansche, DIN 2550.

Ovale Gewindeflansche mit Ansatz, DIN 2560.

Glatte runde Gewindeflansche, DIN 2555.

Runde Gewindeflansche mit Ansatz, DIN 2565.



Maße in mm.

1	2	3	4	5	6			9	10-14					15-18			
					Gewinde	Lochdurchmesser	Zahl a rund. Flanschen		Flansche mit Ansatz					Ovale Flansche			
									Dicke	Höhe	Ansatzdurchmesser	Arbeitsleiste		Länge	Breite	Halbmesser	
Whitworth-Rohrgewinde (handelsübliche Nennweite)	Zugehörige Nennweite DIN 2402	Äußerer Rohrdurchmesser	Durchmesser runder Flansche	Lochentfernung bzw. Lochkreisdurchmesser				Dicke glatter Flansche	Dicke	Höhe	Ansatzdurchmesser	Durchmesser	Höhe				A
Zoll	NW	a	D	k		l		b	b <sub>1</sub>	h	m	g	f				
1/8"	6	10,00	65	40	M 10	11,5	4	12	10	18	18	25	2	64	32	16	10
1/4"	8	13,25	70	45	M 10	11,5	4	12	10	18	22	30	2	72	36	18	11
3/8"	10	16,75	75	50	M 10	11,5	4	12	12	20	25	35	2	75	40	20	12
1/2"	13	21,25	80	55	M 10	11,5	4	12	12	20	30	40	2	80	45	22,5	13
(5/8")	16	23,50	85	60	M 10	11,5	4	12	12	22	35	45	2	90	50	25	15
3/4"	20	26,75	90	65	M 10	11,5	4	14	14	24	40	50	2	90	64	32	18
1"	25	33,50	100	75	M 10	11,5	4	14	14	24	50	60	2	100	72	36	20
1 1/4"	32	42,25	120	90	1/2"	15	4	14	14	26	60	70	2	118	85	42,5	22
1 1/2"	40	48,25	130	100	1/2"	15	4	16	14	26	70	80	3	132	95	47,5	25
2"	50	60,00	140	110	1/2"	15	4	16	14	28	80	90	3	140	100	50	28
2 1/4"	60	66,00	150	120	1/2"	15	4	16	14	30	90	100	3	150	112	56	30
2 1/2"	70	75,50	160	130	1/2"	15	4	16	14	32	100	110	3	160	118	59	32
3"	80	88,25	190	150	5/8"	18	4	18	16	34	110	128	3	190	140	70	38
3 1/2"	90	101,00	200	160	5/8"	18	4	18	16	36	120	138	3	200	150	75	40
4"	100	113,50	210	170	5/8"	18	4 <sup>2)</sup>	18	16	38	130	148	3	210	160	80	42
4 1/2"	110	126,50	220	180	5/8"	18	8	18	16	38	142	158	3				
5"	125	139,00	240	200	5/8"	18	8	20	18	40	160	178	3				
(5 1/2")	140	152,00	255	215	5/8"	18	8	20	18	42	172	192	3				
6"	150	164,50	265	225	5/8"	18	8	20	18	44	185	202	3				

<sup>1)</sup> Die Wiedergabe der in den Zusammenstellungen 93 u. 93a-f benutzten Normenblätter erfolgt mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses. Maßgebend sind die jeweils neuesten Ausgaben der Din-blätter, die durch den Beuth-Verlag GmbH., Berlin S 14, Dresdener Str. 97, zu beziehen sind.

<sup>2)</sup> Für Ölleitungen werden 8 Schrauben empfohlen.

Das Einwalzen bietet den Vorteil, daß es kalt von Hand an der Verwendungsstelle vorgenommen werden kann, wenn die Wandstärke nicht größer als 8 mm ist; es verlangt aber weichen und zähen Rohr- und Flanschbaustoff. Durch Einwalzen werden auch

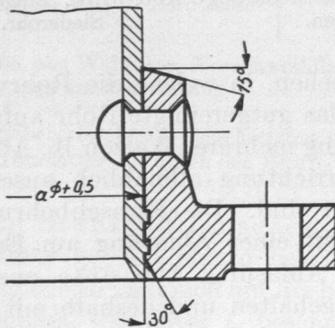


Abb. 673e. Walzflansch mit Sicherheitsnietung. Zylindrische Bohrung mit Abfasung.

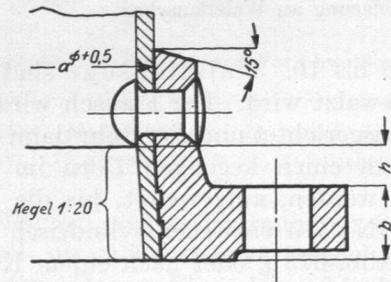
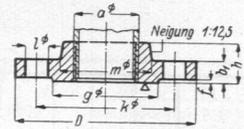


Abb. 673f. Walzflansch mit Sicherheitsnietung. Kegelige Flanschbohrung.

Zusammenstellung 93a.

Runde Gewindeflansche mit Ansatz für die Nenndrucke 10, 16, 25 und 40  
DIN 2566 und 2567 (Auszug).



Maße in mm.

Nenndruck 10 und 16													Nenndruck 25 und 40	
Whitworth-Rohrgewinde (metrische Nennweite)	Zugehörige Nennweite DIN 2402	Äußerer Rohrdurchmesser	Flansch				Ansatzdurchmesser	Arbeitsleiste		Schrauben			Flanshdicke	Flanschhöhe
			Durchmesser	Dicke	Lochkreisdurchmesser	Höhe		Durchmesser	Höhe	Anzahl	Gewinde	Lochdurchmesser		
Zoll	NW	a	D	b <sub>1</sub>	k	h	m	g	f			l	b <sub>1</sub>	h
1/8"	6	10	75	12	50	18	20	32	2	4	M 10	11,5	14	20
1/4"	8	13,25	80	12	55	18	25	38	2	4	M 10	11,5	14	20
3/8"	10	16,75	90	14	60	20	30	40	2	4	1/2"	15	16	22
1/2"	13	21,25	95	14	65	20	35	45	2	4	1/2"	15	16	22
(5/8")	16	23,5	100	14	70	22	40	50	2	4	1/2"	15	16	24
3/4"	20	26,75	105	16	75	24	45	58	2	4	1/2"	15	18	26
1"	25	33,50	115	16	85	24	52	68	2	4	1/2"	15		
1 1/4"	32	42,25	140	16	100	26	60	78	2	4	5/8"	18		
1 1/2"	40	48,25	150	16	110	26	70	88	3	4	5/8"	18		
2"	50	60	165	18	125	28	85	102	3	4	5/8"	18		
2 1/4"	60	66	175	18	135	30	95	112	3	4	5/8"	18		
2 1/2"	70	75,5	185	18	145	32	105	122	3	4	5/8"	18		
3"	80	88,25	200	20	160	34	118	138	3	4 <sup>1)</sup> 8	5/8"	18		
3 1/2"	90	101	210	20	170	36	130	148	3	8	5/8"	18		
4"	100	113,5	220	20	180	38	140	158	3	8	5/8"	18		
Nenndruck 10														
4 1/2"	110	126,5	230	20	190	38	150	168	3	8	5/8"	18		
5"	125	139	250	22	210	40	168	188	3	8	5/8"	18		
(5 1/2")	140	152	265	22	225	42	185	202	3	8	5/8"	18		
6"	150	164,5	285	22	240	44	195	212	3	8	3/4"	22		

1) Für Nenndruck 10 beträgt die Anzahl der Schrauben 4.

die Rohrenden in den Kesselböden und den Wänden der Kondensatoren, Abb. 673d, befestigt. Die vorstehenden Rohrenden werden umgebördelt und verstemmt.

An den Walzflanschen der Gruppe 10 wird das äußere Ende entweder nach Abb. 673e oder Abb. 673f ausgeführt; der anschließende Fortsatz zur Aufnahme der Sicherheits-

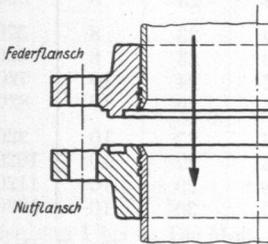


Abb. 673g. Flansch mit Nut und Feder, DIN 2512.

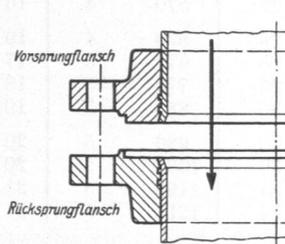


Abb. 673h. Flansch mit Eindrehung für Flachdichtung DIN 2513.

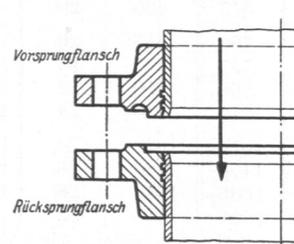
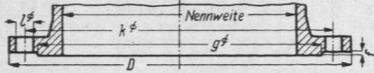
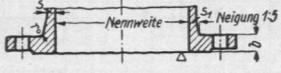


Abb. 673i. Flansch mit Eindrehung für Runddichtung, DIN 2514.

nietung ist zylindrisch gehalten und am Ende kegelig angedreht, um verstemmt werden zu können.

Zu 11. Nietflansche werden nach dem Rohraußendurchmesser unter Zugabe von 0,5 mm zylindrisch ausgedreht, mit einer ein- oder zweireihigen Nietung am Rohre angeschlossen und verstemmt.

Maße in mm.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nennweite	Anschlußmaße DIN 2501							Gußeisenflansche DIN 2531				Außendurchmesser des Stahlrohres
												
	Flanschdurchmesser	Lochkreisdurchmesser	Zahl	Schrauben		Arbeitsleiste		Wanddicke	Flanschdicke	Übergangsdicke	Rundung	
NW	D	k		Gewinde	Lochdurchm.	Durchm.	Höhe	s	b	s <sub>1</sub>	r	a
					l	g	f					
6	65	40	4	M 10	11,5	25	2					
8	70	45	4	M 10	11,5	30	2					
10	75	50	4	M 10	11,5	35	2	6	12	8	3	14
13	80	55	4	M 10	11,5	40	2	6	12	8	3	18
16	85	60	4	M 10	11,5	45	2	6,5	12	9	3	22
20	90	65	4	M 10	11,5	50	2	6,5	14	9	4	25
25	100	75	4	M 10	11,5	60	2	7	14	11	4	30
32	120	90	4	1/2"	15	70	2	7	16	12	4	38
40	130	100	4	1/2"	15	80	3	7,5	16	12	4	44,5
50	140	110	4	1/2"	15	90	3	7,5	16	12	4	57
60	150	120	4	1/2"	15	100	3	8	16	12	4	70
70	160	130	4	1/2"	15	110	3	8	16	12	4	76
80	190	150	4	5/8"	18	128	3	8,5	18	14	5	89
90	200	160	4	5/8"	18	138	3	8,5	18	14	5	102
100	210	170	4 <sup>1)</sup>	5/8"	18	148	3	9	18	14	5	108
110	220	180	8	5/8"	18	158	3	9	18	14	5	121
125	240	200	8	5/8"	18	178	3	9,5	20	15	5	133
(140)	255	215	8	5/8"	18	192	3	9,5	20	15	5	152
150	265	225	8	5/8"	18	202	3	10	20	15	5	159
(160)	275	235	8	5/8"	18	212	3	10	20	15	5	171
175	295	255	8	5/8"	18	232	3	11	22	17	6	191
200	320	280	8	5/8"	18	258	3	11	22	17	6	216
225	345	305	8	5/8"	18	282	3	12	22	17	6	241
250	375	335	12	5/8"	18	312	3	12	24	18	6	267
275	400	360	12	5/8"	18	335	4	12	24	18	6	292
300	440	395	12	3/4"	22	365	4	13	24	18	6	318
(325)	465	420	12	3/4"	22	390	4	13	26	20	8	343
350	490	445	12	3/4"	22	415	4	14	26	20	8	368
(375)	515	470	16	3/4"	22	440	4	14	28	21	8	394
400	540	495	16	3/4"	22	465	4	14	28	21	8	420
450	595	550	16	3/4"	22	520	4	15	28	21	8	470
500	645	600	20	3/4"	22	570	4	16	30	23	8	520
550	705	655	20	7/8"	26	620	4	16	30	23	8	570
600	755	705	20	7/8"	26	670	5	17	30	23	8	620
700	860	810	24	7/8"	26	775	5	18	32	24	10	720
800	975	920	24	1"	30	880	5	19	34	26	10	820
900	1075	1020	24	1"	30	980	5	20	36	27	10	920
1000	1175	1120	28	1"	30	1080	5	20	36	27	10	1020
1100	1305	1240	28	1 1/8"	34	1195	5	21	38	29	10	1120
1200	1405	1340	32	1 1/8"	34	1295	5	21	40	30	10	1220

Die Anschlußmaße in Spalte 2 bis 8 und die Maße der Flanscharten in Spalte 13 bis 21 gelten für alle Druckspalte 22 sind für die Nenndrucke 1 und 2,5 in DIN 2530 und 2640 besonders festgelegt. Sie weichen aber nur ergänzt. Die Flanschmaße der normalen Gußeisenrohre sind in Zusammenstellung 93c enthalten.

1) Für Ölleitungen werden 8 Schrauben empfohlen.

Zu 12. Bei dieser einfachsten Art der Verbindung mittels loser Flansche werden ringförmige Flansche über die Rohre geschoben, die Rohre umgebördelt, wobei der Größtdurchmesser des Bordes dem normalen Arbeitsleistendurchmesser entsprechen soll und dann durch die Flansche zusammengepreßt.

Normrechte Flansche für Nenndruck 6.

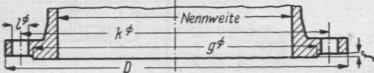
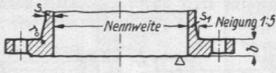
Maße in mm.

14		15	16	17	18	19	20	21	22	23
Flansche an Stahlrohren				Nietflansche DIN 2600				Lose Flansche für Bördelrohr DIN 2641		
Glatte Flansche, gelötet, geschweißt DIN 2570		Glatte Walzflansche DIN 2575		Walzflansche mit Ansatz DIN 2580						
Flanschdicke		Flanschdicke	Flanschhöhe	Ansatzdurchmesser	Flanschhöhe	Durchmesser	Nietzahl	Abstand	Flanschdicke	Lochdurchm.
$b_1$		$b_2$	$h$	$m$	$h_1$	$d$		$e$	$b_3$	$c$
12										
12										
12										
14										
14										
16										
16									12	60
16									12	74
16									12	80
18									14	94
18									14	107
18									14	113
18									14	126
20									14	138
20									14	157
20									14	164
		18	34	195	58	11	16	17	14	177
		20	36	215	58	11	16	17	16	197
		20	36	240	60	11	20	17	16	222
		20	36	265	60	11	24	17	18	247
		22	38	295	60	11	24	17	20	273
		22	38	320	62	11	28	17	22	298
		22	40	350	62	11	32	17	24	324
		22	40	375	62	11	36	17	24	349
		22	42	400	62	11	40	17	26	374
		24	44	425	62	11	48	17	26	400
		24	46	450	64	11	44	17	28	426
					64	11	48	17	30	477
					66	11	52	17	32	527
									36	577
									40	627
									44	727
									48	827
									52	927
									56	1027
									60	1130
									64	1230

stufen von 1 bis 6. Die Maße der Gußeisenflansche in Spalte 2 bis 8 und der losen Flansche für Bördelrohr in bei größeren Durchmessern von den oben angegebenen ab und sind noch für die Nennweiten bis zu 2000 mm

Sollen die Packungen eingeschlossen werden, wie es bei höheren Drucken in Sonderfällen verlangt wird, so können die normalen Arbeitsleisten der Flansche mit Nut und Feder nach DIN 2512, Abb. 673g oder mit einer Eindrehung für Flachdichtung nach DIN 2513, Abb. 673h oder für Runddichtung nach DIN 2514, Abb. 673i, versehen werden, ohne daß die Baulänge der Rohre, Absperrmittel und Formstücke sich ändert.

Maße in mm.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nennweite	Anschlußmaße DIN 2502 							Gußeisenflansche DIN 2532 			
	Flanschdurchmesser	Lochkreisdurchm.	Schrauben			Arbeitsleiste		Wanddicke	Flanschdicke	Übergangsdicke	Rundung
	NW	D	k	Zahl	Gewinde	Lochdurchm.	Durchm.	Höhe	s	b	s <sub>1</sub>
6	75	50	4	M 10	11,5	32	2				
8	80	55	4	M 10	11,5	38	2				
10	90	60	4	1/2''	15	40	2	6	14	10	4
13	95	65	4	1/2''	15	45	2	6	14	11	4
16	100	70	4	1/2''	15	50	2	6,5	14	11	4
20	105	75	4	1/2''	15	58	2	6,5	16	11	4
25	115	85	4	1/2''	15	68	2	7	16	12	4
32	140	100	4	5/8''	18	78	2	7	18	14	5
40	150	110	4	5/8''	18	88	3	7,5	18	14	5
50	165	125	4	5/8''	18	102	3	7,5	20	15	5
60	175	135	4	5/8''	18	112	3	8	20	15	5
70	185	145	4	5/8''	18	122	3	8	20	15	5
80	200	160	8	5/8''	18	138	3	8,5	22	17	6
90	210	170	8	5/8''	18	148	3	8,5	22	17	6
100	220	180	8	5/8''	18	158	3	9	22	17	6
110	230	190	8	5/8''	18	168	3	9	22	17	6
125	250	210	8	5/8''	18	188	3	9,5	24	18	6
(140)	265	225	8	5/8''	18	202	3	9,5	24	18	6
150	285	240	8	3/4''	22	212	3	10	24	18	6
(160)	295	250	8	3/4''	22	222	3	10	24	18	6
175	315	270	8	3/4''	22	242	3	11	26	20	8
200	340	295	12	3/4''	22	268	3	11	26	20	8
225	370	325	12	3/4''	22	295	3	12	26	20	8
250	395	350	12	3/4''	22	320	3	12	28	21	8
275	420	375	12	3/4''	22	345	4	12	28	21	8
300	445	400	12	3/4''	22	370	4	13	28	21	8
(325)	475	430	16	3/4''	22	400	4	13	30	23	8
350	505	460	16	3/4''	22	430	4	14	30	23	8
(375)	540	490	16	7/8''	25	456	4	14	32	24	10
400	565	515	16	7/8''	25	482	4	14	32	24	10
450	615	565	20	7/8''	25	532	4	15	32	24	10
500	670	620	20	7/8''	25	585	4	16	34	26	10
550	730	675	20	1''	30	635	4	16	36	27	10
600	780	725	20	1''	30	685	5	17	36	27	10
700	895	840	24	1''	30	800	5	19	40	30	10
800	1015	950	24	1 1/8''	34	905	5	21	44	33	12
900	1115	1050	28	1 1/8''	34	1005	5	23	46	35	12
1000	1230	1160	28	1 1/4''	37	1110	5	24	50	38	12
1100	1340	1270	32	1 1/4''	37	1220	5	26	52	39	15
1200	1455	1380	32	1 3/8''	40	1330	5	28	56	42	15

Die Anschlußmaße sind für NW 6 bis 70 und 90 bis 225 gleich denen der Druckstufe 16, bis NW 50 auch Schraubenzahlen.

Das stark umrahmte Feld der Spalten 1 bis 12 enthält die Maße der normalen gußeisernen Flanschen-

Da die Ausführungen aber nur für Sonderzwecke in Betracht kommen sollen, ist auf die Wiedergabe von Maßen verzichtet.

Die Zusammenstellungen 93 bis 93f enthalten die wichtigsten Maße der normrechten Flansche mit Ausnahme der Gußeisenflansche der DIN 2530 und der losen Flansche für Bördelrohre DIN 2640, beide für die niedrigen Nenndrücke 1 und 2,5.

Normrechte Flansche für Nenndruck 10.

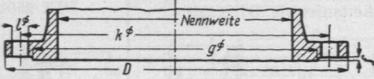
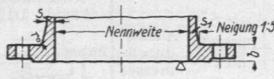
Maße in mm.

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Flansche an Stahlrohren											
Außendurchmesser des Stahlrohres	Flanschdicke	Ansatzdurchmesser	Walzflansch mit Ansatz DIN 2581	Walzflansche mit Ansatz und Sicherheitsnietung DIN 2590				Nietflansch DIN 2601	Lose Flansche für Bördelrohr DIN 2642		
DIN 2581, 2590, 2601, 2642			Flanschhöhe	Flanschhöhe	Durchmesser	Nietzahl	Abstand	Flanschhöhe	Nietzahl	Dicke	Lochdurchm.
a	b <sub>2</sub>	m	h	h <sub>1</sub>	d		e	h <sub>1</sub>		b <sub>3</sub>	c
14	14	30	20								
18	14	35	20								
22	14	40	22								
25	16	45	24								
30	16	52	24								
38	16	60	26								
44,5	16	70	26								
57	18	85	28							16	60
70	18	95	30							16	74
76	18	105	32							16	80
89	20	118	34							18	94
102	20	130	36							18	107
108	20	140	38							18	113
121	20	150	38							18	126
133	22	168	40							18	138
152	22	185	42							18	157
159	22	195	44	62	11	8	17	62	16	18	164
171	22	205	40	67	14	8	21	67	16	20	177
191	24	225	42	69	14	8	21	69	16	20	197
216	24	250	42	69	14	12	21	69	16	20	222
241	24	278	42	69	14	12	21	69	20	22	247
267	26	305	44	71	14	12	21	71	20	22	273
292	26	330	44	71	14	12	21	71	24	24	298
318	26	355	46	71	14	12	21	71	24	26	324
343	26	385	46	71	14	16	21	71	28	26	349
368	26	412	48	71	14	16	21	71	28	28	374
394	28	440	50	73	14	16	21	73	32	30	400
420	28	465	52	73	14	16	21	73	32	32	426
								73	36	34	477
								75	40	38	527
										42	577
										44	627
										50	727
										56	827

denen der Druckstufen 25 und 40; zwischen NW 50 und 80 besteht Übereinstimmung, mit Ausnahme der rohre der DIN 2422.

Zusammenstellung 93 und 93a bringen die Gruppen der Gewindeflansche, 93b bis f die übrigen Arten. Die den Gruppen gemeinsamen Maße sind in den ersten Spalten der Zusammenstellungen vereinigt. — Einen Flansch der Gußeisenrohre der deutschen Rohrnormalien von 1882, Zusammenstellung 85, S. 339, zeigt Abb. 674. Er ist schon in ganz ähnlicher Weise, wie in den neuen deutschen Normen, gestaltet.

Maße in mm.

1	2	3	4					5		6		7		8		9			
			Anschlußmaße DIN 2502										Gußeisenflansche DIN 2533						
																			
			Flanschdurchmesser	Lochkreisdurchm.	Schrauben			Arbeitsleiste		Wanddicke	Flanschdicke	Übergangsdicke	Rundung						
Zahl	Gewinde	Lochdurchm.			Durchm.	Höhe													
NW	D	k			l	g	f	s	b	s <sub>1</sub>	r								
6	75	50	4	M 10	11,5	32	2												
8	80	55	4	M 10	11,5	38	2												
10	90	60	4	1/2"	15	40	2	6	14	10	4								
13	95	65	4	1/2"	15	45	2	6	14	11	4								
16	100	70	4	1/2"	15	50	2	6,5	14	11	4								
20	105	75	4	1/2"	15	58	2	6,5	16	11	4								
25	115	85	4	1/2"	15	68	2	7	16	12	4								
32	140	100	4	5/8"	18	78	2	7	18	14	5								
40	150	110	4	5/8"	18	88	3	7,5	18	14	5								
50	165	125	4	5/8"	18	102	3	7,5	20	15	5								
60	175	135	4	5/8"	18	112	3	8	20	15	5								
70	185	145	4	5/8"	18	122	3	8	20	15	5								
80	200	160	8	5/8"	18	138	3	8,5	22	17	6								
90	210	170	8	5/8"	18	148	3	9	24	18	6								
100	220	180	8	5/8"	18	158	3	9,5	24	18	6								
110	230	190	8	5/8"	18	168	3	9,5	24	18	6								
125	250	210	8	5/8"	18	188	3	10	26	20	8								
(140)	265	225	8	5/8"	18	202	3	10	26	20	8								
150	285	240	8	3/4"	22	212	3	11	26	20	8								
(160)	295	250	8	3/4"	22	222	3	11	26	20	8								
175	315	270	8	3/4"	22	242	3	12	28	21	8								
200	340	295	12	3/4"	22	268	3	12	30	23	8								
225	370	325	12	3/4"	22	295	3	13	30	23	8								
250	405	355	12	7/8"	25	320	3	14	32	24	10								
275	435	385	12	7/8"	25	352	4	14	32	24	10								
300	460	410	12	7/8"	25	378	4	15	32	24	10								
(325)	490	440	16	7/8"	25	408	4	16	34	26	10								
350	520	470	16	7/8"	25	438	4	16	36	27	10								
(375)	555	500	16	1"	28	465	4	17	38	29	10								
400	580	525	16	1"	28	490	4	18	38	29	10								
450	640	585	20	1"	28	550	4	19	40	30	10								
500	715	650	20	1 1/8"	32	610	4	21	42	32	12								

Die Anschlußmaße sind für NW 6 bis 70 und 90 bis 225 gleich denen der Druckstufe 10.

1) Die Zahlen beziehen sich auf die Nietflansche nach DIN 2602 in den letzten Spalten.

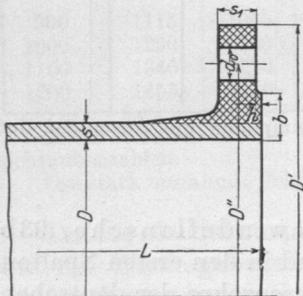


Abb. 674. Flansch der gußeisernen Rohre der Zusammenstellung 85, S. 339.

Auch die Abb. 675 bis 677 zeigen noch Teile nach den älteren Normen, Abb. 675 einen Krümmer, Abb. 676 ein T-Stück, Abb. 677 ein Kreuzstück. Für sie gilt

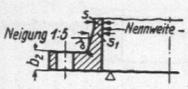
$$L = D + 100 \text{ mm} \quad \text{und} \quad l = \frac{1}{2}(D + d) + 100 \text{ mm. (160)}$$

Für hohen Druck sind die gezeichneten Formen wegen der großen Beanspruchungen an den Anschlußstellen der Stutzen nicht günstig; besser verwendet man Formstücke nach Abb. 627 mit kugeligem Mittelteil.

Für die Anordnung der Schraubenlöcher galt die Regel, daß die lotrechte Ebene durch die Rohrachse Symmetrie-

rechte Flansche für Nenndruck 16.

Maße in mm.

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Stahlgußflansche DIN 2543				Flansche an Stahlrohren								
				Außendurchmesser des Stahlrohres	Flanschkörnung	Ansatzdurchmesser	Walzflansch mit Ansatz, DIN 2582	Walzflansche mit Ansatz und Sicherheitsnietung, DIN 2591	Nietflansche DIN 2602			
Wanddicke	Flanschkörnung	Übergangsdicke	Rundung				DIN 2582, 2591, 2602	Flanschhöhe	Flanschhöhe	Durchmesser	Nietzahl	Abstand
s	b <sub>2</sub>	s <sub>1</sub>	r	a	b <sub>2</sub>	m	h	h <sub>1</sub>	d		e	
6	14	10	4	14	14	30	20					
6	14	11	4	18	14	35	20					
6,5	14	11	4	22	14	40	22					
6,5	16	11	4	25	16	45	24					
7	16	12	4	30	16	52	24					
7	16	12	4	38	16	60	26					
7,5	16	12	4	44,5	16	70	26					
7,5	18	14	5	57	18	85	28					
8	18	14	5	70	18	95	30					
8	18	14	5	76	18	105	32					
8,5	20	15	5	89	20	118	34					
9	20	15	5	102	20	130	36					
9,5	20	15	5	108	20	140	38					
9,5	20	15	5	121	20	150	38					
10	22	17	6	133	22	168	40					
10	22	17	6	152	22	185	42					
11	22	17	6	159	22	195	44	62	11	8	17	16
11	22	17	6	171	22	205	40	67	14	8	21	16
12	24	18	6	191	24	225	42	69	14	8	21	16
12	24	18	6	216	24	250	42	69	14	12	21	16
13	24	18	6	241	24	278	42	69	14	12	21	20
14	26	20	8	267	26	305	44	81	17	12	25	20
14	26	20	8	292	26	335	46	81	17	12	25	20
15	28	21	8	318	28	360	50	83	17	12	25	20
16	28	21	8	343	28	390	50	83	17	16	25	24
16	30	23	8	368	30	415	54	85	17	16	25	24
17	30	23	8	394	30	445	56	85	17	16	25	28
18	32	24	10	420	32	470	58	87	17	16	25	28
19	34	26	10					89 <sup>1)</sup>	17 <sup>1)</sup>	—	25 <sup>1)</sup>	32
21	36	27	10					91 <sup>1)</sup>	17 <sup>1)</sup>	—	25 <sup>1)</sup>	36

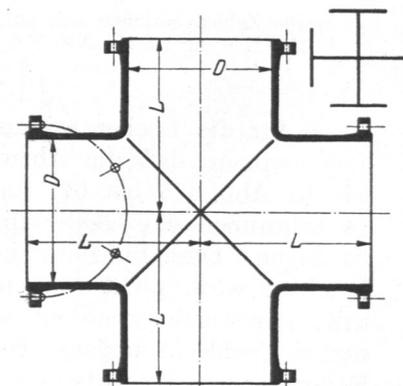
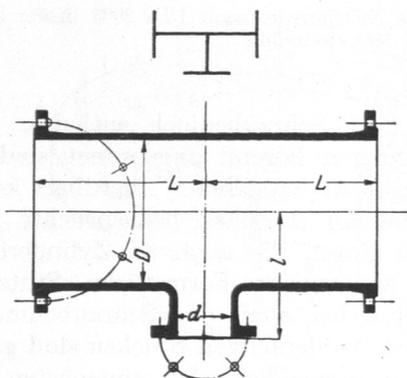
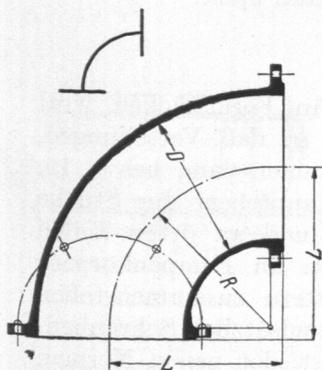
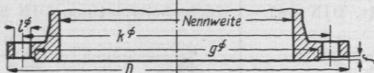
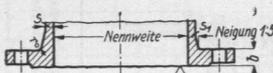


Abb. 675. Krümmer mit Flanschen. Rötischer, Maschinenelemente.

Abb. 676. T-Stück mit Flanschen.

Abb. 677. Kreuzstück mit Flanschen.

Maße in mm.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nennweite	Anschlußmaße DIN 2503 							Gußeisenflansche DIN 2534 			
	Flanschdurchmesser	Lochkreisdurchm.	Schrauben			Arbeitsleiste		Wanddicke	Flanschdicke	Übergangsdicke	Rundung
NW	D	k	Zahl	Gewinde	Lochdurchm.	Durchm.	Höhe	s	b	s <sub>1</sub>	r
6	75	50	4	M 10	11,5	32	2				
8	80	55	4	M 10	11,5	38	2				
10	90	60	4	1/2"	15	40	2	6,5	16	10	4
13	95	65	4	1/2"	15	45	2	6,5	16	11	4
16	100	70	4	1/2"	15	50	2	7	16	11	4
20	105	75	4	1/2"	15	58	2	7	18	12	4
25	115	85	4	1/2"	15	68	2	7,5	18	14	5
32	140	100	4	5/8"	18	78	2	7,5	20	15	5
40	150	110	4	5/8"	18	88	3	8	20	15	5
50	165	125	4	5/8"	18	102	3	8,5	22	17	6
60	175	135	8	5/8"	18	112	3	9	24	18	6
70	185	145	8	5/8"	18	122	3	9,5	24	18	6
80	200	160	8	5/8"	18	138	3	10	26	20	6
90	225	180	8	3/4"	22	152	3	11	26	20	8
100	235	190	8	3/4"	22	162	3	11	26	20	8
110	245	200	8	3/4"	22	172	3	11	26	20	8
125	270	220	8	7/8"	25	188	3	12	28	21	8
(140)	290	240	8	7/8"	25	208	3	13	30	21	8
150	300	250	8	7/8"	25	218	3	13	30	23	8
(160)	310	260	8	7/8"	25	228	3	14	30	23	8
175	330	280	12	7/8"	25	248	3	14	32	24	10
200	360	310	12	7/8"	25	278	3	15	34	26	10
225	395	340	12	1"	28	305	3	17	34	26	10
250	425	370	12	1"	28	335	3	18	36	27	10
275	455	400	12	1"	28	365	4	19	38	29	10
300	485	430	16	1"	28	390	4	20	40	30	10
(325)	525	460	16	1 1/8"	32	420	4	21	42	32	12
350	555	490	16	1 1/8"	32	450	4	22	44	33	12
(375)	595	525	16	1 1/4"	35	480	4	23	46	35	12
400	620	550	16	1 1/4"	35	505	4	24	48	36	12
450	670	600	20	1 1/4"	35	555	4	27	50	38	12
500	730	660	20	1 1/4"	35	615	4	29	52	39	15

Die Anschlußmaße sind für NW 6 bis 150 gleich denen der Druckstufe 40.

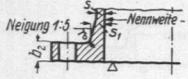
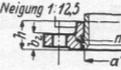
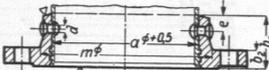
<sup>1)</sup> Die Zahlen beziehen sich auf die Nietflansche nach DIN 2603 in der letzten Spalte.

<sup>2)</sup> Die Nietung ist für NW 375 bis 500 zweireihig.

ebene für die Löcher sei und kein Schraubenloch enthalte. An Formstücken wird angenommen, daß die Abzweigungen liegend angeordnet sind, so daß Verteilungen, wie in Abb. 675 bis 677 angegeben, entstehen. Allerdings kommen dann bei 6, 10, 14 Schrauben die Löcher in die am stärksten beanspruchte Hauptebene der Stücke zu liegen. Deshalb sollte diese Regel, die auch an Zylindern und an deren Teilen beachtet wird, nicht auf eng konstruierte Formstücke, Stutzen an Pumpenkörpern usw. angewendet werden, weil dabei auch die Schraubenmuttern zusammenstoßen und sich schlecht anziehen lassen. An derartigen Stücken sind grundsätzlich Schraubenlöcher in der Hauptebene zu vermeiden. Am einfachsten ist, den neuen Normen entsprechend, durch vier teilbare Schraubenzahlen zu nehmen.

Flanche für Nenndruck 25.

Maße in mm.

13 14 15 16				17 18 19			20 21 22 23 24					25		
Stahlgußflanche DIN 2544				Flanche an Stahlrohren										
				Außendurchmesser des Stahlrohres	Flanschdicke	Ansatzdurchmesser	Walzflanche mit Ansatz, DIN 2583	Walzflanche mit Ansatz und Sicherheitsnietung, DIN 2592	Nietflanche DIN 2603					
Wanddicke	Flanschdicke	Übergangsdicke	Rundung							Flanschhöhe	Flanschhöhe	Durchmesser	Nietzahl	Abstand
s	b <sub>2</sub>	s <sub>1</sub>	r	a	b <sub>2</sub>	m	h	h <sub>1</sub>	d		e			
6	16	10	4	14	16	30	22							
6	16	11	4	18	16	35	22							
6,5	16	11	4	22	16	40	24							
6,5	18	12	5	25	18	45	26							
7	18	14	5	30	18	52	28							
7	18	14	5	38	18	60	30							
7,5	18	14	5	44,5	18	70	32							
7,5	20	15	5	57	20	85	34							
8	22	17	6	70	22	95	36							
8	22	17	6	76	22	105	38							
8,5	24	18	6	89	24	118	40							
9	24	18	6	102	24	135	42							
9,5	24	18	6	108	24	145	44	64	11	8	17	12		
9,5	24	18	6	121	24	155	46	64	11	8	17	12		
10	26	20	8	133	26	170	48	66	11	8	17	12		
10	28	21	8	152	28	188	50	68	11	8	17	16		
11	28	21	8	159	28	200	52	68	11	8	17	16		
11	28	21	8	171	28	212	52	73	14	8	21	16		
12	28	21	8	191	28	232	52	73	14	12	21	16		
12	30	23	8	216	30	260	54	75	14	12	21	16		
13	30	23	8	241	30	285	54	75	14	12	21	20		
14	32	24	10	267	32	315	56	87	17	12	25	20		
14	32	24	10	292	32	342	58	87	17	12	25	20		
15	34	26	10	318	34	370	60	89	17	16	25	20		
16	36	27	10	343	36	395	64	91	17	16	25	24		
16	38	29	10	368	38	425	68	93	17	16	25	24		
17	38	29	10	394	38	455	72	103 138 <sup>1)</sup>	20	16	30	32 <sup>2)</sup>		
18	40	30	10	420	40	480	76	105 140 <sup>1)</sup>	20	16	30 <sup>1)</sup>	40 <sup>2)</sup>		
19	42	32	12	470	42	530		142 <sup>1)</sup>	20 <sup>1)</sup>	—	30 <sup>1)</sup>	40 <sup>2)</sup>		
21	44	33	12	520	44	585		144 <sup>1)</sup>	20 <sup>1)</sup>	—	30 <sup>1)</sup>	48 <sup>2)</sup>		

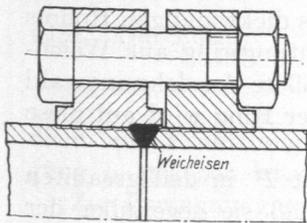


Abb. 677 a. Rohrverbindung an Dampfleitungen bis zu 100 at Betriebsdruck.

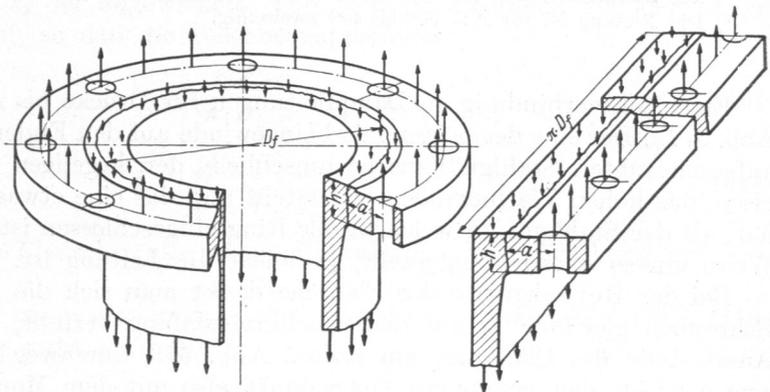


Abb. 678 u. 679. Zur Berechnung angegossener Flanche.

Maße in mm.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nennweite	Anschlußmaße DIN 2503							Gußeisenflansche DIN 2535			
	Flanschdurchmesser	Lochkreisdurchm.	Schrauben		Arbeitsleiste		Wanddicke	Flanschdicke	Übergangsdicke	Rundung	
Zahl	Gewinde	Lochdurchm.	Durchm.	Höhe							
NW	D	k		l	g	f	s	b	s <sub>1</sub>	r	
6	75	50	4	M 10	11,5	32	2				
8	80	55	4	M 10	11,5	38	2				
10	90	60	4	1/2"	15	40	2	6,5	16	10	4
13	95	65	4	1/2"	15	45	2	7	16	11	4
16	100	70	4	1/2"	15	50	2	7,5	16	11	4
20	105	75	4	1/2"	15	58	2	7,5	18	12	5
25	115	85	4	1/2"	15	68	2	8	18	14	5
32	140	100	4	5/8"	18	78	2	8,5	20	15	5
40	150	110	4	5/8"	18	88	3	9	20	15	5
50	165	125	4	5/8"	18	102	3	10	22	17	6
60	175	135	8	5/8"	18	112	3	11	24	18	6
70	185	145	8	5/8"	18	122	3	11	24	18	6
80	200	160	8	5/8"	18	138	3	12	26	20	6
90	225	180	8	3/4"	22	152	3	13	28	21	6
100	235	190	8	3/4"	22	162	3	14	28	21	6
110	245	200	8	3/4"	22	172	3	14	28	21	6
125	270	220	8	7/8"	25	188	3	15	30	23	6
(140)	290	240	8	7/8"	25	208	3	16	32	23	6
150	300	250	8	7/8"	25	218	3	17	34	24	8
(160)	325	270	8	1"	28	235	3	18	36	26	8
175	350	295	12	1"	28	260	3	19	38	29	8
200	375	320	12	1"	28	285	3	21	40	30	8
225	420	355	12	1 1/8"	32	315	3	23	42	32	10
250	450	385	12	1 1/8"	32	345	3	24	46	34	10
275	480	415	12	1 1/8"	32	375	4	26	48	36	10
300	515	450	16	1 1/8"	32	410	4	28	50	38	10
(325)	550	480	16	1 1/4"	35	435	4	30	52	39	12
350	580	510	16	1 1/4"	35	465	4	31	54	41	12
(375)	625	550	16	1 3/8"	38	500	4	33	58	44	12
400	660	585	16	1 3/8"	38	535	4	35	62	47	15

Die Anschlußmaße sind für NW 6 bis 150 gleich denen der Druckstufe 25.

1) Die Zahlen beziehen sich auf die Nietflansche nach DIN 2604 in der letzten Spalte.

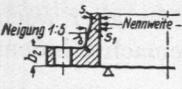
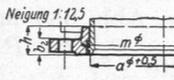
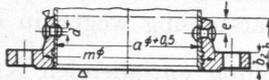
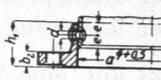
2) Die Nietung ist für NW 300 bis 400 zweireihig.

Eine Rohrverbindung an Dampfleitungen für Drucke bis zu 100 at und 450° C zeigt Abb. 677 a. Der eine der beiden mit Feingewinde auf den Enden des dickwandigen Rohres aufgeschraubten Stahlgußflansche umschließt den kegeligen Dichtungsring aus Weich-eisen, das hohen Wärmegraden widersteht und das eine etwas größere Ausdehnungszahl hat, als der Stahlguß, in welchem der Ring eingeschlossen ist. Der Ring wird auf diese Weise um so schärfer angepreßt, je heißer die Leitung ist.

Bei der Berechnung der Flansche denkt man sich die Kraft  $P$  in den gesamten Schrauben gleichmäßig auf dem Lochkreisumfang verteilt, so daß sie gegenüber der Ansatzstelle des Flansches am Rohre, Abb. 678, durchweg mit dem gleichen Hebelarm  $a$  wirkt, den genannten Querschnitt also mit dem Moment  $P \cdot a$  auf Biegung beansprucht. Der widerstehende Querschnitt ist nach Abb. 678 ein Zylinder vom Durch-

rechte Flansche für Nenndruck 40.

Maße in mm.

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Stahlgußflansche DIN 2545 				Flansche an Stahlrohren								
				Außendurchmesser des Stahlrohres	Flanschdicke	Ansatz- durchmesser	Walzflansche mit Ansatz, DIN 2584 	Walzflansche mit Ansatz und Sicherheitsnietung, DIN 2593 	Nietflansche DIN 2604 			
DIN 2584, 2593, 2604	Flanschhöhe						Flansch- höhe	Durch- messer	Niet- zahl	Ab- stand	Nietzahl	
s	b <sub>2</sub>	s <sub>1</sub>	r	a	b <sub>2</sub>	m	h	h <sub>1</sub>	d	e		
6	16	10	4	14	16	30	22					
6	16	11	4	18	16	35	22					
6,5	16	11	4	22	16	40	24					
6,5	18	12	5	25	18	45	26					
7	18	14	5	30	18	52	28					
7	18	14	5	38	18	60	30					
7,5	18	14	5	44,5	18	70	32					
8	20	15	5	57	20	85	34					
8,5	22	17	6	70	22	95	36					
8,5	22	17	6	76	22	105	38					
9	24	18	6	89	24	118	40					
9,5	24	18	6	102	24	135	42					
10	24	18	6	108	24	145	44	64	11	8	17	12
10	24	18	6	121	24	155	46	64	11	8	17	12
11	26	20	8	133	26	170	48	66	11	8	17	12
11	28	21	8	152	28	188	50	68	11	8	17	16
12	28	21	8	159	28	200	52	68	11	8	17	16
12	30	23	8	171	30	215	54	75	14	8	21	16
13	32	24	10	191	32	238	58	77	14	12	21	16
14	34	26	10	216	34	265	62	89	17	12	25	16
15	36	27	10					91	17	12	25	16
16	38	29	10					103	20	12	30	16
16	40	30	10					105	20	12	30	16
17	42	32	12					107 142 <sup>1)</sup>	20	16	30	32 <sup>2)</sup>
18	44	33	12					119 159 <sup>1)</sup>	23	16	35	32 <sup>2)</sup>
19	46	35	12					121 161 <sup>1)</sup>	23	16	35	32 <sup>2)</sup>
20	48	36	12					123 163 <sup>1)</sup>	23	16	35	32 <sup>2)</sup>
21	50	38	12					125 165 <sup>1)</sup>	23	16	35	32 <sup>2)</sup>

messer  $D_f$  und der Höhe  $h$ , der abgewickelt, Abb. 679, ein Rechteck von der Länge  $\pi \cdot D_f$  und der Höhe  $h$  gibt, so daß die Biegebeanspruchung:

$$\sigma_b = \frac{6 P' \cdot a}{\pi \cdot D_f \cdot h^2} \tag{161}$$

wird. Die Form:

$$h = \sqrt{\frac{6 P' \cdot a}{\pi \cdot D_f \cdot k_b}} \tag{161a}$$

dient zur Ermittlung der Flanschstärke, wenn die zulässige Beanspruchung auf Biegung  $k_b$  gegeben ist.

Zur Berechnung von  $P'$  pflegt man anzunehmen, daß der innere Druck in voller Höhe bis zur Mitte der Packung wirkt, so daß:

$$P' = \frac{\pi D_m^2}{4} p_i \tag{162}$$

wird. Bei der Aufstellung der „Normalien für Dampf von hoher Spannung 1912“ wurde sogar der äußere Durchmesser  $D_6$  der Dichtungsleisten oder der Bordringe eingesetzt.

Der auf S. 250 durchgeführten Flanschberechnung war nur der Teil des Flansches, der auf eine Schraube entfällt, zugrunde gelegt; sie führt naturgemäß zu derselben Höhe der Inanspruchnahme wie Formel (161). Von der gleichen Vorstellung ist aber auch der leichteren Darstellung wegen in den Abb. 680 und 681 Gebrauch gemacht, indem die auf eine Teilung entfallenden Kräfte  $\frac{P_0}{i}$ ,  $\frac{P'}{i}$ ,  $\frac{P}{i}$  und  $\frac{P' - P}{i}$  als Einzelkräfte eingetragen sind, wobei  $i$  die Zahl der Flanschschrauben bedeutet, während sich die Formeln auf die gesamten Kräfte beziehen.

Die tatsächliche Beanspruchung angegossener Flansche ist ziemlich verwickelt. Wenn die Schrauben beim Zusammenbau, wie üblich, mit Vorspannung angezogen werden, entstehen in Flanschen, die in ihrer vollen Breite aufeinander liegen, nur Druckspannungen, in solchen, die mit einer Dichtleiste versehen sind oder durch

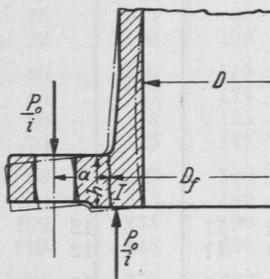


Abb. 680. Flansch im vorgespannten Zustande.

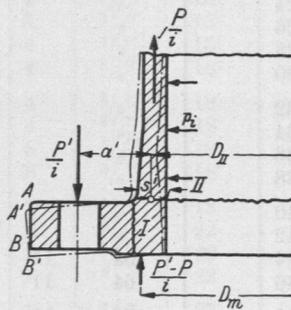


Abb. 681. Flansch im Betriebszustande.

Zwischenlegen einer Packung klaffen, aber auch schon Biegemomente. Die Vorspannkraft  $P_0$ , unter der die Flansche durch das Anziehen der Schrauben stehen und von der auf eine Schraubenteilung  $\frac{P_0}{i}$  kg, Abb. 680, kommen, preßt in ihrer vollen Stärke die Flanschfläche oder die Dichtleiste aufeinander. Unter ihrer Wirkung wölben sich die Flansche, bauchen dabei aber auch die anschließenden Teile der Rohrwandung aus und erzeugen in diesen Spannungen, deren

Art weiter unten näher erläutert wird. In größerem Abstände vom Flansch ist das Rohr spannungsfrei, wenn die Leitung ohne Zwang zusammengebaut wurde.

Wird nun die Rohrleitung in Betrieb genommen, also innerem Druck  $p_i$  unterworfen, so erhöhen sich die Kräfte in den Schrauben. Es tritt eine teilweise Summierung der Vorspan- und der Längskraft im Rohr ein, wie des Näheren auf Seite 235 nachgewiesen wurde. Die so von den Schrauben auf die Flansche ausgeübte Kraft sei  $P'$ . Sie findet ihre Gegenwirkung zunächst in der in der Rohrwandung wirkenden Längskraft  $P = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot p_i$ .

Auf die eigentliche Flanschfläche oder die Dichtleiste wirkt nur noch die Differenz  $P' - P$ . Die Formänderungen, die der Flansch dabei erleidet, sind ähnlich wie im Vorspannungszustande, vgl. Abb. 681. Der Flansch wölbt sich und unterliegt dabei:

1. Biegespannungen, die sich im Querschnitt I in erster Annäherung aus dem Momente  $P' \cdot a$ , wie oben gezeigt, errechnen lassen.

Die Formel (161) führt aber sicher zu einer Überschätzung der Beanspruchung, da die Festigkeit des Flansches als Ring vernachlässigt ist, wie der Vergleich der Abb. 578 und 579 anschaulich zeigt. Neben den Biegespannungen treten nämlich auch noch

2. tangential gerichtete Ringspannungen auf, die einem Teil des äußeren Biegemomentes das Gleichgewicht halten. Durch die Wölbung wird nach Abb. 681 z. B. der Punkt A nach A', also nach außen, der Punkt B nach B', also nach innen, verlegt. Die Kreise, auf denen sie liegen, werden dadurch vergrößert, bzw. verkleinert, die entsprechenden Fasern gereckt oder zusammengedrückt; sie unterliegen also Zug- und Druckspannungen.

Die Schubspannungen sind meist gering und können unberücksichtigt bleiben.

Querschnitt *II* wird beansprucht:

1. auf Zug durch die in der Rohrwand wirkende Längskraft:

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

Unter der Annahme gleichmäßiger Verteilung der Spannung wird:

$$\sigma_z = \frac{P}{f} = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 p_i}{\pi \cdot D_{II} \cdot s'}$$

wenn  $s'$  die Wandstärke an dieser Stelle bedeutet.

2. Auf Biegung durch die Wölbung des Flansches. Welcher Anteil des Biegemomentes, das die Kräfte  $P'$  und  $(P' - P)$  erzeugen, durch die Steifigkeit des Flansches aufgenommen und welcher Anteil noch in der Rohrwandung wirksam ist, läßt sich nur schätzungsweise angeben. Vernachlässigt man die Vorspannung und zieht als äußere Kraft nur  $P$  in Betracht, namentlich auch in Rücksicht darauf, daß  $P' - P$  an der Dichtleiste Aufnahme findet, so wird das dadurch gegebene Biegemoment  $P \cdot a'$  im allgemeinen noch zu groß ausfallen und deshalb mit einer Berichtigungszahl  $\kappa \leq 1$  zu versehen sein. Nach Versuchen von Bach liegt  $\kappa$  bei unbearbeitetem Gußeisen zwischen 0,36 und 1 und beträgt im Mittel 0,65. Je kräftiger der Flansch und je allmählicher der Übergang von der Rohrwand zur Flanschstärke ist, um so niedriger darf  $\kappa$  genommen werden.

3. Durch tangential gerichtete Zugspannungen infolge des inneren Druckes und infolge der Erweiterung des Rohres durch die Wölbung des Flansches.

Entscheidend für einen Bruch im Querschnitt *II*, der tatsächlich am häufigsten vorkommt, sind vor allem die unter 1. und 2. genannten Kräfte und Momente. Zu ihnen tritt noch die Kerbwirkung in der Kehle, die die Spannungen bei unvermittelten Übergängen beträchtlich erhöht, sich aber rechnerisch nicht verfolgen läßt. Deshalb gestattet auch eine genauere Ermittlung des Moments, die Westphal [VIII, 3] angegeben hat, die aber zu einer ziemlich verwickelten Rechnung führt, keine sichere Beurteilung, da die Kerbwirkung vernachlässigt ist.

Die angedeutete Näherungsrechnung liefert als größte Spannung:

$$\sigma = \sigma_z + \sigma_b' = \frac{P}{f} + \kappa \cdot \frac{6 \cdot P \cdot a'}{\pi D_m \cdot s^2}. \tag{163}$$

Die Betrachtung zeigt jedenfalls, daß man der Ansatzstelle des Flansches konstruktiv große Sorgfalt zuwenden muß: es sind

1. die Hebelarme  $a$  und  $a'$ , an denen die Schrauben angreifen, so klein wie irgend möglich zu halten,
2. ein allmählicher Übergang der Rohrwandstärke in die des Flansches, am besten durch Einschalten eines kegeligen Stückes zu schaffen,
3. die Kehle so auszurunden, daß einerseits die Kerbwirkung beschränkt, andererseits aber auch Lunkerbildungen vermieden werden.

Daß ein Flansch durch Vorziehen der Dichtleiste nach Abb. 682 beträchtlich verstärkt werden kann, weil dadurch ein kräftiger, widerstandsfähiger Ringkörper entsteht, der die Rohrwandung entlastet, folgt ohne weiteres aus dem Vorstehenden.

Über die Zulässigkeit der Berechnung von Flanschen nach der Näherungsformel (161) geben die von Bach gelegentlich der Aufstellung der Rohrnormalien für hohen Druck gemachten Versuche an Ventilkörpern aus Bronze, Stahlguß und Gußeisen [VIII, 1] einigen

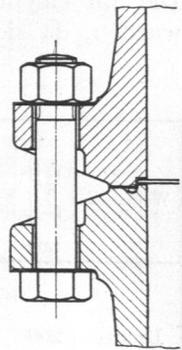
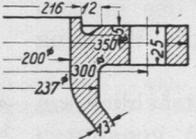
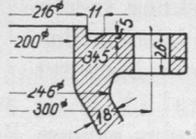
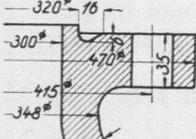
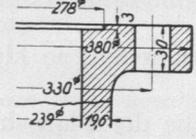
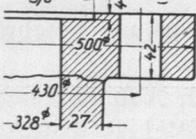


Abb. 682. Verstärkung der Rohrenden durch Vorziehen der Dichtflächen.

Aufschluß. Die Körper, die durch sehr kräftige Deckel und Rundgummidichtung abgeschlossen waren, wurden innerem Druck in Stufen von 20 at unter sorgfältiger Beobachtung der Formänderungen der Flansche unterworfen. Die einschlägigen Hauptergebnisse sind in der Zusammenstellung 94 wiedergegeben. Spalte 5 enthält die Drucke, bei denen sich an den Bronze- und Stahlgehäusen die ersten bleibenden Formänderungen zeigten. Die zugehörigen, an Hand der Skizzen in Spalte 4 ermittelten Biegespannungen sind in Spalte 6 aufgeführt. Dabei wurden die an den Deckeln wirksamen Drucke aus der dem äußersten Dichtungsdurchmesser entsprechenden Kreisfläche berechnet. Mit den Streckgrenzen der Baustoffe, Spalte 9, verglichen, ergibt sich bei Bronze recht gute Übereinstimmung. Bei Stahlguß liegen die berechneten Werte sehr niedrig, wobei aber zu beachten ist, daß die Formänderungen am Ventil, lfd. Nr. 2, bei 140 at noch äußerst gering waren. Auch die gußeisernen Gehäuse zeigten bei der stufenweisen Belastung selbst bei 60 at Druck erst sehr kleine bleibende Formänderungen; sie wurden dann stetig steigendem Druck unterworfen, bis die Stutzen für die Ventilspindeln bei den in Spalte 5 angegebenen Drucken am Halse abrisen, so wie es die Skizzen Spalte 4 zeigen. Die am eigentlichen Flansch errechneten Beanspruchungen auf Biegung in Spalte 6 wurden, da sie keine Bruchspannungen sind, eingeklammert.

Zusammenstellung 94. Versuche an Ventilkörpern, Bach [VIII, 1].

Lfd. Nr.	Werkstoff	Ventil-durchm. mm	Flanschabmessungen	Prüfdruck at	6		7	8	9	10
					Biegebeanspr. nach Formel (161)					
					bei dem in Spalte 5 angegebenen Prüfdruck.	bei 20 at Betriebsdruck				
		des verwandten Werkstoffs								
		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>							
1	Bronze	200		60	$\frac{6 \cdot 27100 \cdot 3,15}{\pi \cdot 23,7 \cdot 2,5^2} = 1100$	367	2206 <sup>1)</sup>	1080 <sup>1)</sup>	} Im Mittel aus drei Versuchen	
2	Stahlguß	200		140	$\frac{6 \cdot 62300 \cdot 2,7}{\pi \cdot 24,6 \cdot 2,6^2} = 1930$	276	4327 <sup>1)</sup>	2353 <sup>1)</sup>		
3	Stahlguß	300		120	$\frac{6 \cdot 116800 \cdot 3,35}{\pi \cdot 34,8 \cdot 3,5^2} = 1750$	292				
4	Gußeisen	200		Bruch bei 93at	$\left( \frac{6 \cdot 56500 \cdot 2,59}{\pi \cdot 27,8 \cdot 3^2} = 1120 \right)$	240	1668 <sup>2)</sup>	—	} Im Mittel aus zwei Versuchen	
5	Gußeisen	300		Bruch bei 63at	$\left( \frac{6 \cdot 67800 \cdot 2,4}{\pi \cdot 38,2 \cdot 3,8^2} = 563 \right)$	180				

Die an der Bruchstelle vorhandenen Zug- und Biegespannungen würden, aus dem Druck  $P$  auf dem lichten Querschnitt des Stutzens nach Formel (163) mit  $\alpha = 1$  berechnet, betragen:

	$\sigma_z = \frac{P}{\pi \cdot D_m \cdot s}$	$\sigma'_b = \frac{6 P \cdot a'}{\pi D_m \cdot s^2}$	$\sigma = \sigma_z + \sigma'_b$
Am Ventil Nr. 4 bei $s = 19,6$ mm mittlerer Wandstärke	262	2860	3122 kg/cm <sup>2</sup>
Am Ventil Nr. 5 bei $s = 27$ mm mittlerer Wandstärke	177	1403	1580 kg/cm <sup>2</sup>

Aus der an zwei bearbeiteten Stäben ermittelten Zugfestigkeit des verwandten Gußeisens von durchschnittlich  $K_z = 1668$  kg/cm<sup>2</sup> läßt sich auf eine um etwa 15% niedrigere Festigkeit  $K'_z = 0,85 \cdot 1668 = 1420$  kg/cm<sup>2</sup> des unbearbeiteten Gußeisens und nach den auf Seite 101 angeführten Versuchen an unbearbeiteten Stäben quadratischen Querschnitts auf eine Biegefestigkeit von etwa  $K_b = 1,41 \cdot K'_z = 2000$  kg/cm<sup>2</sup> schließen. Mit dieser Zahl verglichen, bestätigt Versuch 4, daß die eben benutzte Rechnung zu ungünstig ist, da sich  $\sigma$  viel höher ergibt. Dem widerspricht aber Versuch Nr. 5; doch ist der niedrige Wert der Spannung, bei der der Bruch eintrat, sicher auf die sehr starke Kerbwirkung in der Kehle zurückzuführen, durch die auch die Bruchlinie hindurchläuft.

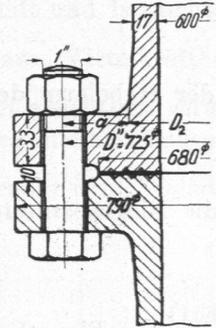


Abb. 683. Flanschverbindung eines Rohres von 600 mm Durchmesser. M. 1:5.

Die Normalien für gußeiserne Flanschenrohre, Seite 339, lassen bei 10 at Betriebsdruck für die Biegebeanspruchung der Flansche nach der Formel (161) bei kleinen Rohren sehr niedrige, bei großen ziemlich hohe Werte zu, wie die folgenden Zahlen zeigen, die ähnlich wie die der Spalte 7 der Zusammenstellung 94 einen Anhalt bei der Berechnung neuer Flansche geben können. Dabei wurde als Druckfläche der mittlere Dichtungskreis eingesetzt und der Hebelarm  $a$  unter Schätzung des Rohrwanddurchmessers  $D_2$  an der Ansatzstelle, Abb. 683, ermittelt, der in den Normen nicht zahlenmäßig festgelegt ist.  $a$  folgt aus:

$$\frac{D'' - D_2}{2}$$

Beispielweise ergibt sich für ein Rohr von 600 mm Durchmesser, Abb. 683, die Längskraft:

$$P' = \frac{\pi}{4} D_m^2 \cdot p_i = \frac{\pi}{4} \cdot 64^2 \cdot 10 = 32170 \text{ kg,}$$

der Hebelarm:

$$a = \frac{D'' - D_2}{2} = \frac{1}{2} (72,5 - 64,4) = 4,05 \text{ cm,}$$

das Widerstandsmoment des Rohrumfanges an der Ansatzstelle des Flansches:

$$W = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot (s_1 + h)^2}{6} = \frac{\pi \cdot 64,4 \cdot 3,8^2}{6} = 487 \text{ cm}^3$$

und damit:

$$\sigma'_b = \frac{P' \cdot a}{W} = \frac{32170 \cdot 4,05}{487} = 268 \text{ kg/cm}^2.$$

Die Werte für einige andere Rohre sind:

Durchmesser . . . . .	40	100	300	500	600	750 mm,
Biegespannung $\sigma'_b$ in Flansch . . . .	60	105	206	290	268	333 kg/cm <sup>2</sup> ,
Zugspannung $\sigma_z$ in den Schrauben .	106	164	545	702	563	686 kg/cm <sup>2</sup> .

Auch die in der letzten Zeile angegebenen Beanspruchungen in den Schrauben bei 10 at Druck erscheinen bei den größeren Rohren ziemlich hoch.

Für die Gestaltung und Berechnung der festen, aber besonders aufgesetzten Flansche ist die Art ihrer Verbindung von Wichtigkeit, ob diese nämlich den Flansch mit der Rohrwand zu einem Ganzen vereinigt, wie es beim Aufschweißen oder Auflöten der Fall ist oder nicht. Im ersten Falle wird die Rohrwandung zur Aufnahme der Kräfte herangezogen, im zweiten muß der Flansch an sich genügende Steifheit und Festigkeit be-

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/cm<sup>2</sup>.

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

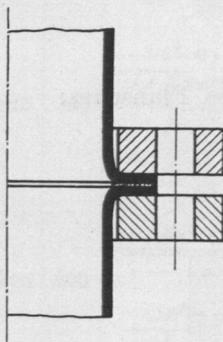


Abb. 684. Verbindung durch lose Flansche unter Umbördeln der Rohrenden.

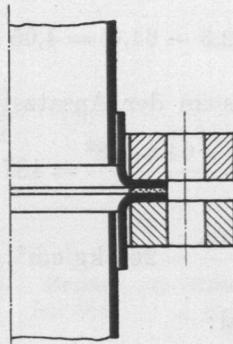


Abb. 685. Lose Flansche an vorgeschuhten Rohren.

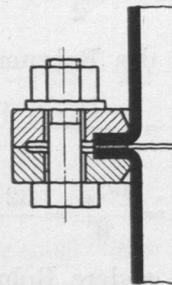


Abb. 686. Verbindung durch lose Flansche, A.-G. Ferrum.

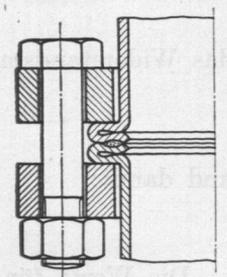


Abb. 687. Lose Flansche an doppelt gebördelten Rohren, Mannesmannwerke.

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

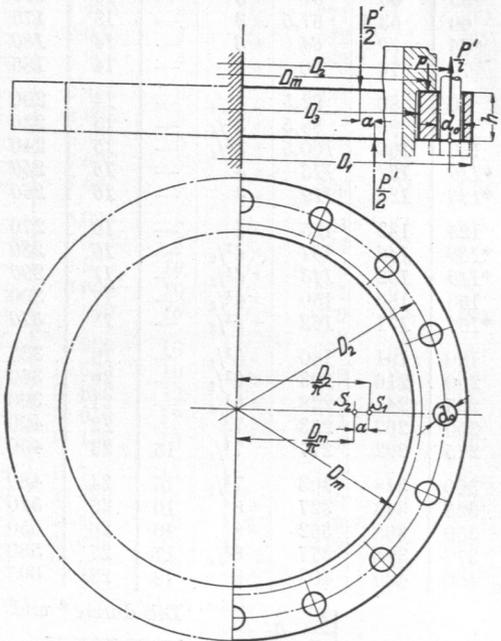
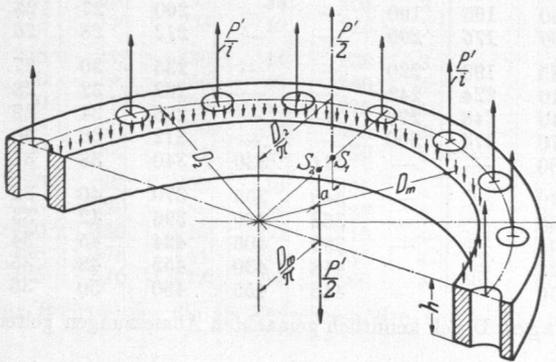


Abb. 688. Zur Berechnung loser Flansche nach Bach,

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  $\omega$  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											

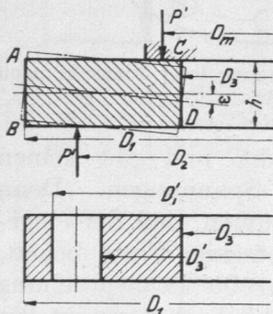


Abb. 690. Zur Berechnung loser Flansche nach Westphal.

Die durch \* und schrägen Druck kenntlich gemachten Abmessungen gelten

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

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					
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	Bezeichnung
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  $\sigma$  und  $\sigma'$ .

Schließlich hat man in der Ensslinischen 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.

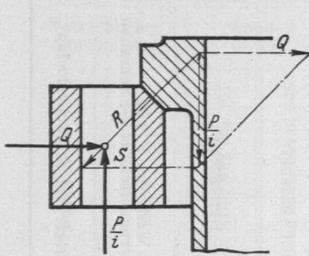


Abb. 691. Kraftwirkung an Flanschen nach Westphal.

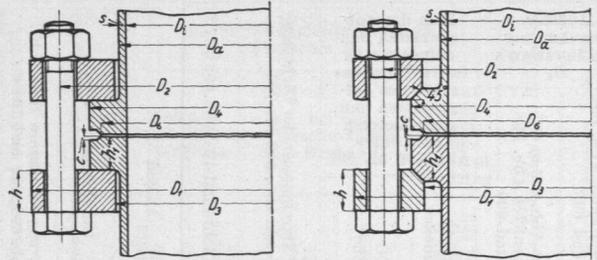


Abb. 692 und 693. Rohrverbindung mit aufgeschweißten Bunden und losen Flanschen.

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

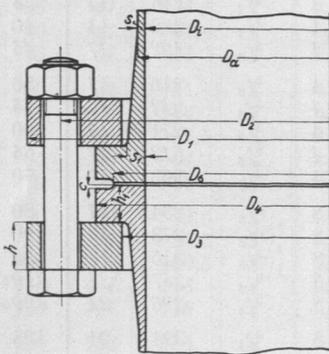
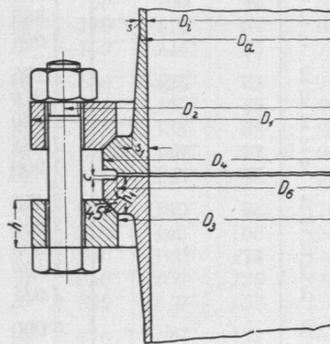


Abb. 694 und 695. Lose Flansche auf vorgeschweißten Bunden.



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.)

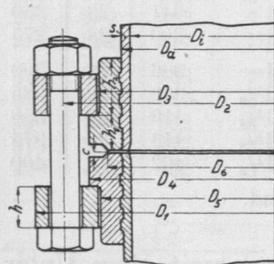
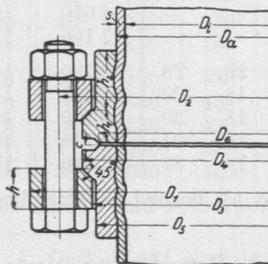


Abb. 696 und 697. Rohrverbindungen mit aufgewalzten Bordringen und losen Flanschen.



durch den Schwerpunkt  $S$  gehe, führt bei der in den Normalien benutzten Neigung von  $45^\circ$  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

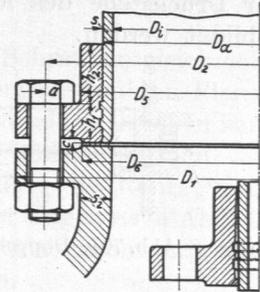
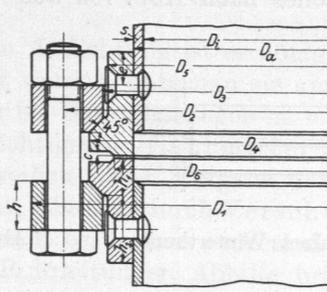
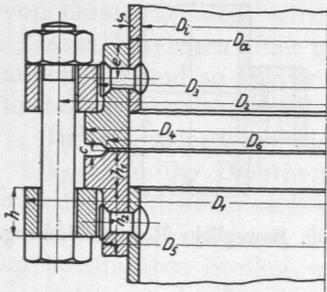


Abb. 698 und 699. Lose Flansche auf aufgenieteten Bordringen.

Abb. 700. Flanschverbindung mit eingewalztem Rohr.

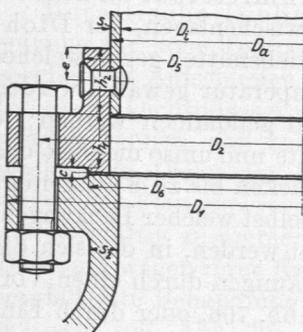


Abb. 701. Flanschverbindung mit angenietetem Rohr.

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

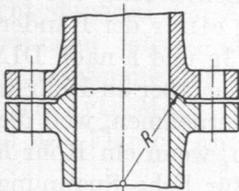


Abb. 702. Kugelig abgedrehte Dichtflächen.

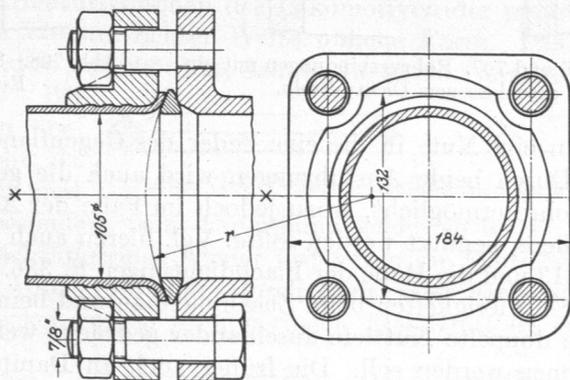


Abb. 703. Rohrverbindung mit Dichtungslinsen. M. 1 : 5. Oben mit Stift-, unten mit Durchsteckschrauben.

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.

Wird Beweglichkeit der Rohrverbindung verlangt, so müssen grundsätzlich zwei zu einander konzentrische Kugelflächen, die eine an der Dichtstelle, die andere an der Druckstelle des losen Flansches nach Abb. 705 ausgebildet werden.

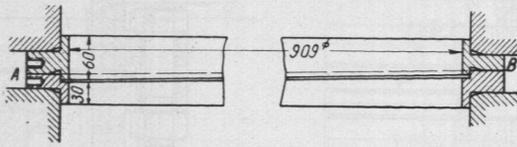


Abb. 704. Doppelkeilringe (Sulzer, Winterthur).

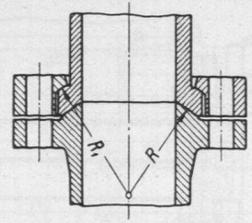


Abb. 705. Bewegliche Rohrverbindung.

## V. Die Abdichtung von Flanschverbindungen.

Die Abdichtung der Flanschverbindungen kann entweder unmittelbar an den aufeinander liegenden Flächen oder durch Einlegen besonderer Zwischenlagen, der Dichtungen oder Packungen, erreicht werden, die je nach dem Betriebsmittel, gegen welches sie abdichten sollen, nach der Höhe der Pressung und der Temperatur gewählt werden müssen. Im allgemeinen sollen die Packungen möglichst dünn genommen werden; je dicker sie sind, um so stärker ist der radiale Druck des Rohrinhalts und umso mehr ist das Hinauspressen der Dichtungen zu befürchten. Bei niedrigen Drucken bis zu 8 at, genügt die Reibung an den Flanschen oder Dichtleisten zum Festhalten selbst weicher Packungen, namentlich wenn in die Dichtfläche Rillen, Abb. 683, eingedreht werden, in die sich die Packung hineindrückt. Bei hohen Drucken müssen weiche Packungen durch einen Vorsprung an einem der Flansche, einen Rücksprung im andern, Abb. 706, oder durch Ein-

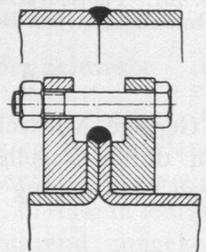
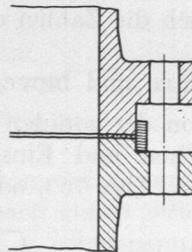
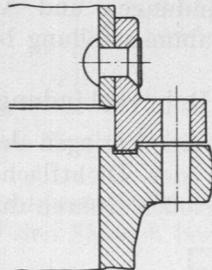
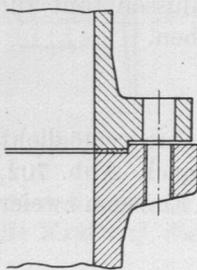


Abb. 706 und 707. Rohrverbindungen mit eingeschlossenen Dichtmitteln.

Abb. 708. Schmitzcher Ring.

Abb. 709. Abdichtung durch Verschweißen der Naht.

legen in eine Nut, in die eine Feder des Gegenflansches, Abb. 707, faßt, eingeschlossen sein. Durch beide Ausführungen wird auch die gegenseitige Zentrierung der Flansche und Rohre ermöglicht, wozu jedoch im Falle der Abb. 707 nur einer der Ränder, z. B. der äußere, benutzt werden sollte. Vgl. hierzu auch die Abb. 673g und h nach DIN 2512 und 2513 und die Maße der Flachdichtungen S. 386. Oft entstehen aber an Rohrsträngen große Schwierigkeiten beim Zusammenbau und beim Auseinandernehmen, weil dieselben um die doppelte Nuttiefe auseinander gedrückt werden müssen, wenn ein Rohr herausgenommen werden soll. Die früher auch an Dampfleitungen für hohe Spannung empfohlenen derartigen Verbindungen wurden wegen der erwähnten Schwierigkeiten kaum benutzt und sind deshalb in den Normalien von 1912 weggelassen worden. Schmitz vermeidet den Übelstand durch Umlegen eines Ringes nach Abb. 708, der beim Zusammenbau auf das längere Rohrende geschoben wird, während er in der gezeichneten Lage das Heraustreten der Packung verhütet.

Ein zweiter Weg ist, die Packung an sich oder durch besondere Einlagen gegenüber dem inneren Druck genügend widerstandsfähig zu machen, so daß sie in die offene Fuge eingebaut werden kann.

Zwecks Sicherung ihrer Lage gegenüber der Rohrwandung, mit der sie möglichst abschließen, keinesfalls aber nach innen vorstehen soll, wählt man den Außendurchmesser von Packungen so, daß die Dichtung gerade zwischen die Schrauben paßt und von diesen gehalten wird.

Zum Erreichen einer guten Abdichtung ist es nötig, daß alle Schrauben gleichmäßig angezogen und so angeordnet werden, daß man sie am zusammengeschraubten Flansch unter dem Betriebsdruck oder bei Dampfleitungen im warmen Zustande nachziehen kann.

Im folgenden sind die wichtigsten Dichtmittel aufgeführt und besprochen.

Vollständige Dichtheit, freilich unter Aufgabe der Möglichkeit, die Rohre wieder auseinandernehmen zu können, läßt sich durch Verschweißen der Fugen nach Abb. 709 erzielen, ein Verfahren, das auch bei immer wiederkehrenden Dichtungsschwierigkeiten an bestimmten Stellen von Rohrleitungen Abhilfe bringen kann.

Breite, sauber bearbeitete und gut passende Flächen lassen sich durch Überstreichen mit einer Mischung aus dickem Öl und Graphit gegen Druck von mehreren Atmosphären dicht machen. (Teilfugen an den Gehäusen der Dampfturbinen usw.)

Metallische Dichtungen sind für alle Pressungen und bei richtiger Zusammensetzung für hohe Temperaturen geeignet. Ohne Zwischenlage kann die Dichtheit durch sorgfältiges Aufschleifen der Flächen unmittelbar aufeinander erreicht werden. Der Vorteil dieser Dichtungsart ist, daß die Teile leicht und ohne Schaden auseinander genommen werden können, daß bei der Bearbeitung und Aufstellung keine Rücksicht auf die oft wechselnde Dicke der Packung genommen zu werden braucht und daß das Schiefziehen der Flansche vermieden wird. Andererseits müssen die Teile sehr genau passen und sorgfältig zusammengesetzt werden. Die Ausführung ist teuer; zudem verlangt die Dichtung wegen ihrer Empfindlichkeit gegen Beschädigungen, Staub und Unreinigkeiten sorgfältigste Behandlung. Sie muß aber verwendet werden, wenn die Verbindung beweglich sein soll, Abb. 705.

In Abb. 664, an einer Rohrverschraubung, ist die Abdichtung durch Einschleifen der kegeligen Flächen erreicht und auf diese Weise das rasche Schließen und Öffnen der Verbindung ermöglicht.

Ist es ausgeschlossen oder zu schwierig, die Stücke gegenseitig einzuschleifen, so legt man Dichtungslinsen aus Bronze oder Kupfer nach Abb. 703 ein, die an beiden Stücken aufgeschliffen, infolge der kugeligen Flächen auch geringe Schiefstellungen der Flansche zueinander zulassen und das Anschließen gebogener Rohre erleichtern. Die Abbildung zeigt die an Rohr- und Armaturflanschen der Lokomotiven der preußischen Staatsbahnen für Rohre von 75 bis 220 mm lichter Weite übliche Form. Das Rohrende ist in den Flansch eingewalzt und so umgebördelt, daß die Linse zum unmittelbaren Aufliegen und Abdichten kommt. Bei starken Temperaturwechseln werden derartige Linsen allerdings leicht undicht, da sie nicht dauernd den Ausdehnungen und Verkürzungen folgen; sie lecken besonders beim Unterdampfsetzen so lange, bis die Wärmeausdehnung der Rohre die Dichtungsringe wieder fest gegen die Flansche preßt.

Profilierte Metallringe nach Abb. 710 dichten durch Breit- oder Einpressen der Kanten am Flansch ab; auch sie lecken wegen ihrer geringen Elastizität leicht beim



Abb. 710. Profilierte Metalldichtungsringe.



Abb. 711. Gewellte Dichtungsringe.



Abb. 712. Dichtungsringe von Götze, Burscheid bei Köln.

Inbetriebsetzen und sind empfindlich gegen öfteres Lösen, wenn die Lage der einzelnen Teile zueinander nicht sorgfältig gesichert ist.

Für Dampfleitungen werden Ringe aus gewelltem Kupfer- oder Stahlblech (letzteres für Heißdampf), Abb. 711, oder aus profilierten weichen Kupferringen, Abb. 712,

oft mit elastischen Einlagen aus Asbest, Hanf-Graphitmasse und ähnlichen Stoffen verwendet. Die Wellen und scharfen Kanten passen sich den Dichtflächen leicht an.

Schließlich dienen weiche Metalle, z. B. Blei und weißmetallähnliche Legierungen, in Form von Ringen oder Scheiben als Dichtmittel. Sie fließen beim Zusammenpressen der Flansche und schließen sich dadurch den Dichtflächen gut an, vertragen jedoch meist keine hohen Wärmegrade.

Alle die erwähnten Metallringe haben in sich genügende Festigkeit gegenüber den gewöhnlichen inneren Drücken.

Von den weichen Dichtungen kommt für hohe Temperaturen der vollständig unverbrennliche Asbest in Form von Asbestpappe oder Zöpfen und Schnüren in Betracht. Nachteilig ist seine geringe Festigkeit und die Eigenschaft, an den Dichtflächen zu haften, so daß die Packung beim Auseinandernehmen meist zerreißt und nicht wieder verwendet werden kann. Dem zu begegnen, umgibt man ihn mit dünnen Kupferblechen,

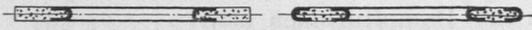


Abb. 713. Durch Kupferferringe verstärkte Weichpackungen.

Abb. 713. Bei hohen Drücken müssen Asbestdichtungen eingeschlossen werden.

Am einfachsten und billigsten ist die Verwendung von Asbestschnur in Nuten; Scheibendichtungen werden wegen des meist unvermeidlichen Abfalls bedeutend teurer. Ungeeignet ist Asbest zur Abdichtung von Flüssigkeiten, mit Ausnahme von Säuren, durch die er nicht angegriffen wird. Selbst an Dampfleitungen, in denen sich Kondenswasser bilden kann, sollte er vermieden werden.

Dafür geeigneter sind Klingerit, Polypyrit und zahlreiche ähnliche, aus Asbest, Gummi und anderen Stoffen zusammengesetzte und stark gepreßte Dichtmittel, die an sich oder durch Gewebe- und Drahteinlagen große Festigkeit haben und in Form von Tafeln, Ringen und Platten in den Handel kommen.

In Öl getränkte Pappe oder Papier hat sich bei gut bearbeiteten Dichtflächen für Sattldampf und verdichtete Luft bis zu 200°, sowohl an Rohrleitungen wie auch an Zylinderdeckeln u. dgl. bewährt.

Die Maße der Flachdichtungen für normrechte Flansche mit ebenen Dichtflächen enthält DIN 2690,

für solche mit Nut und Feder DIN 2691,

für solche mit Eindrehung DIN 2692.

Bei der ersten Gruppe ist der Innendurchmesser der Dichtung gleich dem Außendurchmesser der Flußstahlrohre, ihr Außendurchmesser aber gleich der Differenz aus

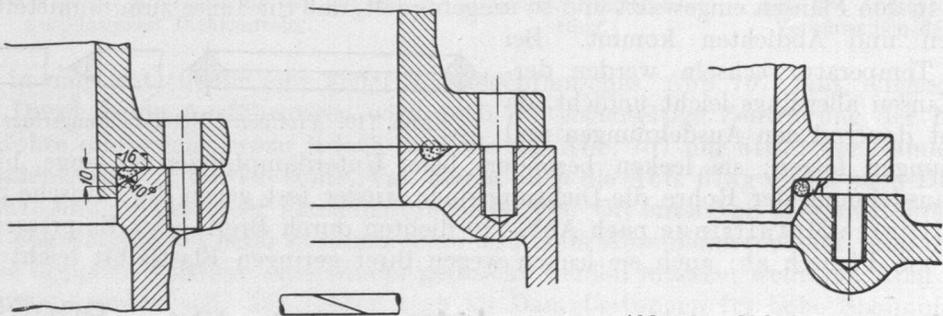


Abb. 714 und 715. Gummischnurdichtungen.

Abb. 716. Falsche Ausbildung der Nut für eine Gummischnurdichtung.

dem Lochkreis- und dem Lochdurchmesser gewählt, so daß die Packung mit geringem Spiel durch die Schrauben geführt ist. Die Dicke der Packung ist durchweg mit 2 mm angenommen.

Zur Abdichtung von Wasser ist Gummi das beste Dichtmittel. Er wird entweder als Gummischnur oder in Form von 2 bis 3 mm starken Platten, meist mit Stoff- oder

Drahteinlagen verwendet. Um das Zerreißen und Herauspressen zu verhüten, sind alle Gummidichtungen bei höheren Pressungen einzuschließen.

Die billigste Art ist wiederum die Gummischnurdichtung, Abb. 714 und 715. Die runde Schnur wird an den Enden schräg abgeschnitten, mit Gummilösung zu einem Ring zusammengekittet, in eine Nut von etwas größerem Querschnitt als dem der Schnur selbst gelegt und durch Anziehen der Schrauben breit gepreßt. Dabei kommen die Flansche in unmittelbare, metallische Berührung, ein Vorteil, der schon oben näher gewürdigt wurde. Die Nut soll so angeordnet sein, daß der Flüssigkeitsdruck den Gummiring in die Keilfläche preßt, die Dichtung also zu einer selbsttätigen wird. Falsch ist die Ausbildung der Nut nach Abb. 716, weil beim Aufsetzen des oberen Teils die Kante  $K$  den Gummiring leicht verletzt oder zerschneidet, namentlich wenn der obere Teil nicht noch durch eine Zentrierung geführt ist. Abb. 714 gilt für einen zentrierten, Abb. 715 für einen ebenen Flansch.

Rundgummidichtungen von 5 bis 7 mm Durchmesser für Flansche mit Eindrehungen nach DIN 2514 sind in DIN 2693 genormt. Der mittlere Durchmesser im ungespannten Zustande stimmt mit dem Vorsprungdurchmesser der Flansche überein, um die Ringe mit etwas Spannung um die Vorsprünge legen zu können.

Flachgummidichtung ist wiederum teurer und deshalb weniger zu empfehlen. Um das Anhaften des Gummis zu verhüten, kann die Dichtung mit angefeuchtetem Graphit, Schlemmkreide oder Ähnlichem bestrichen werden.

## VI. Berechnungsbeispiele.

1. Berechnung der Saug- und Druckrohrquerschnitte der doppelt wirkenden Pumpe der Wasserwerkmaschine, Tafel I. Kolbendurchmesser  $D_p = 285$  mm, Hub  $s_1 = 800$  mm, Umlaufzahl  $n = 50$  in der Minute. Mittlere Kolbengeschwindigkeit:

$$c_m = \frac{s_1 \cdot n}{30} = \frac{0,8 \cdot 50}{30} = 1,33 \text{ m/sek.}$$

Unter Vernachlässigung der Querschnittverminderung durch die Kolbenstange wird der Rohrquerschnitt  $f_s$  nach der Formel (151) bei einer mittleren Wassergeschwindigkeit  $v_m = 1$  m/sek in der Saugleitung:

$$f_s = \frac{F \cdot c_m}{v_m} = \frac{\pi}{4} 28,5^2 \cdot \frac{1,33}{1} = 850 \text{ cm}^2.$$

Saugrohrdurchmesser 33 cm, abgerundet auf 350 mm.

Bei  $v_m = 1,7$  m/sek Geschwindigkeit in der Druckleitung muß das Druckrohr einen Querschnitt von:

$$f_d = \frac{\pi}{4} \cdot 28,5^2 \cdot \frac{1,33}{1,7} = 500 \text{ cm}^2$$

erhalten. Lichter Rohrdurchmesser  $D = 25,2$  cm, gewählt  $D = 250$  mm.

Will man die Verluste in den Ventilen durch den volumetrischen Wirkungsgrad, der zu  $\eta_1 = 0,975$  angenommen sei und den Einfluß der Kolbenstange berücksichtigen, so ermittelt man zunächst aus dem mittleren Kolbenquerschnitt  $F_p$  die sekundliche Fördermenge  $Q$  der Pumpe und daraus die Rohrquerschnitte.

Bei einem Kolbenstangendurchmesser  $d = 75$  mm wird:

$$F_p = \frac{1}{2} \left[ \frac{\pi}{4} D_p^2 + \frac{\pi}{4} (D_p^2 - d^2) \right] = \frac{1}{2} \frac{\pi}{4} [2 \cdot 28,5^2 - 7,5^2] = 616 \text{ cm}^2.$$

$$Q = \eta_1 F_p \cdot 2 s_1 \cdot \frac{n}{60} = 0,975 \cdot 616 \cdot 2 \cdot 80 \cdot \frac{50}{60} \approx 80080 \text{ cm}^3/\text{sek.}$$

Daraus folgt für den Druckrohrquerschnitt

$$f_d = \frac{Q}{v_m} = \frac{80080}{170} = 471 \text{ cm}^2.$$

Demnach würde ein Rohr von 245 mm Durchmesser ausreichen. In demjenigen von 250 mm Durchmesser entsteht eine wirkliche mittlere Geschwindigkeit von 1,63 m/sek.

2. Rohrleitungen zu den Zylindern der Dampfmaschine, Tafel I. Der Querschnitt des Dampfzuleitungsrohres am Hochdruckzylinder wird bei  $v_m = 30$  m/sek und unter Vernachlässigung der Wirkung der Kolbenstange bei  $D_h = 450$  mm:

$$f_e = \frac{\pi}{4} D_h^2 \cdot \frac{c_m}{v_m} = \frac{\pi}{4} \cdot 45,0^2 \cdot \frac{1,33}{30} = 70,7 \text{ cm}^2.$$

Ihm entspricht ein Rohrdurchmesser von 95 mm. Gewählt  $d_e = 100$  mm.

Auslaßrohre des Hochdruckzylinders.  $v_m = 20$  m/sek:

$$f_a = \frac{\pi}{4} D_h^2 \cdot \frac{c_m}{v_m} = \frac{\pi}{4} \cdot 45,0^2 \cdot \frac{1,33}{20} = 106 \text{ cm}^2.$$

$d_a = 116$  mm; gewählt 125 mm.

Überströmleitung zum Niederdruckzylinder.  $v_m = 30$  m/sek, bezogen auf den Niederdruckzylinderquerschnitt.  $D_n = 800$  mm.

$$f'_e = \frac{\pi}{4} D_n^2 \cdot \frac{c_m}{v_m} = \frac{\pi}{4} \cdot 80^2 \cdot \frac{1,33}{30} = 223 \text{ cm}^2.$$

$d'_e = 169$ , gewählt 175 mm Durchmesser.

Ausströmleitung,  $v_m = 20$  m/sek.

$$f'_a = \frac{\pi}{4} D_n^2 \cdot \frac{c_m}{v_m} = \frac{\pi}{4} \cdot 80^2 \cdot \frac{1,33}{20} = 335 \text{ cm}^2.$$

$d'_a = 207$ , gewählt 225 mm.

3. Nachrechnung der Flanschverbindung nach Abb. 717 für 377 mm Rohrdurchmesser bei  $p_i = 20$  at Betriebsdruck.

Beanspruchung der Rohrwand:

$$\sigma_z = \frac{d \cdot p_i}{2s} = \frac{37,7 \cdot 20}{2 \cdot 0,85} = 444 \text{ kg/cm}^2.$$

Abb. 717. Lose Flanschverbindung für 377 mm Rohrdurchmesser.

Längskraft der Flanschverbindung, berechnet aus dem äußeren Dichtungsdurchmesser  $D_6$ :

$$P' = \frac{\pi}{4} D_6^2 \cdot p_i = \frac{\pi}{4} \cdot 43,5^2 \cdot 20 \approx 29700 \text{ kg}.$$

Beanspruchung der 16 Stück  $1\frac{1}{8}$ " Schrauben:

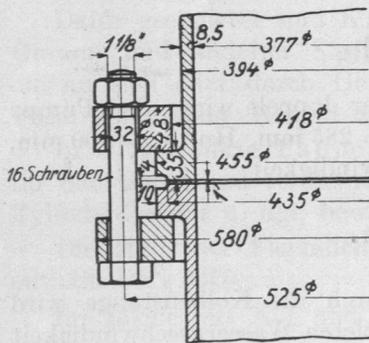
$$\sigma_z = \frac{P'}{i \cdot \frac{\pi}{4} d_1^2} = \frac{29700}{16 \cdot 4,50} = 413 \text{ kg/cm}^2.$$

Beanspruchung des losen Flansches nach Formel (164), für die sich der mittlere Durchmesser der Auflagefläche des Flansches am Bordring:

$$D_m = \frac{D_4 + D_3}{2} = \frac{455 + 418}{2} = 436,5 \text{ mm}$$

ergibt Formel (164):

$$\sigma_b = 6 \cdot \frac{P'}{2} \cdot \frac{D_2 - D_m}{\pi (D_1 - D_3 - 2d_0) h^2} = 6 \cdot \frac{29700}{2} \cdot \frac{(52,5 - 43,65)}{\pi (58 - 41,8 - 2 \cdot 3,2) 4,8^2} = 1110 \text{ kg/cm}^2.$$



Auf Grund der von Westphal angegebenen Formeln (165) und (166) werden die Grenzwerte, zwischen denen die Spannung an den Innenkanten des Flansches liegt:

$$\sigma = \pm \frac{3 P' (D_2 - D_m)}{\pi D_3 h^2 \ln \frac{D_1}{D_3}} = \frac{3 \cdot 29700 (52,5 - 43,65)}{\pi \cdot 41,8 \cdot 4,8^2 \ln \frac{58}{41,8}} = 796 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\sigma' = \pm \frac{3 P' (D_2 - D_m)}{\pi D_3 h^2 \ln \frac{D_1 D_3'}{D_1' D_3}} = \frac{3 \cdot 29700 (52,5 - 43,65)}{\pi \cdot 41,8 \cdot 4,8^2 \ln \frac{58 \cdot 49,3}{55,7 \cdot 41,8}} = 1270 \text{ kg/cm}^2.$$

Für die Berechnung nach der Ensslinschen Formel (72) wäre

$$r_i = \frac{D_m}{2} = 21,83 \quad \text{und} \quad r_a = \frac{D_2}{2} = 26,25 \text{ cm}$$

zu setzen, woraus

$$\frac{r_i}{r_a} = \frac{21,83}{26,25} = 0,831$$

und aus Abb. 65  $\varphi_7 = 1,062$  folgt.

$$\sigma = \varphi_7 \cdot \frac{P'}{h^2} = \frac{1,062 \cdot 29700}{4,8^2} = 1369 \text{ kg/cm}^2.$$

Daß dieser Wert sicher zu hoch ist, war schon auf Seite 381 des näheren ausgeführt. Beanspruchung des Bordringes.

Der Hebelarm  $a$  des Biegemomentes findet sich als Abstand der Mitte der Auflagefläche des losen Flansches von der Rohrwand:

$$a = \frac{D_m - D_a}{2} = \frac{436,5 - 394}{2} = 21,25 \text{ mm}.$$

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot P' \cdot a}{\pi \cdot D_a \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 29700 \cdot 2,13}{\pi \cdot 39,4 \cdot 3,5^2} = 253 \text{ kg/cm}^2.$$

Die Scherspannung betrage nur:

$$\sigma_s = \frac{P'}{\pi \cdot D_a \cdot h} = \frac{29700}{\pi \cdot 39,4 \cdot 3,5} = 69 \text{ kg/cm}^2,$$

ist also nicht maßgebend.

#### 4. Berechnung ovaler Flansche.

a) Ein besonders aufgesetzter Flansch, Abb. 669, muß in sich genügende Festigkeit gegenüber den äußeren Kräften haben. Der gefährliche Querschnitt  $FB$  liegt in der Mitte; er muß hinreichend biegefest sein. Bei  $p_i = 10$  at Druck, einem lichten Rohrdurchmesser von 50 und einem Außendurchmesser der Dichtleiste von 90 mm wird der mittlere Durchmesser  $d_m = 70$  mm und die Längskraft im Rohre:

$$P' = \frac{\pi}{4} d_m^2 \cdot p_i = \frac{\pi}{4} \cdot 7^2 \cdot 10 = 385 \text{ kg}.$$

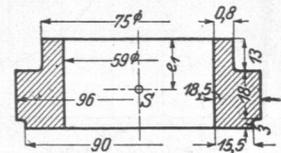


Abb. 718. Querschnitt  $FB$  des Flansches Abb. 669.

Am Querschnitt  $FB$ , Abb. 718, beträgt der Schwerpunktabstand von der oberen Fläche des Flansches:

$$e_1 = \frac{0,8 \cdot 1,3 \cdot 0,65 + 1,85 \cdot 1,8 \cdot 2,2 + 0,3 \cdot 1,55 \cdot 3,25}{0,8 \cdot 1,3 + 1,85 \cdot 1,8 + 0,3 \cdot 1,55} = 1,97 \text{ cm},$$

das Trägheitsmoment:

$$J = 2 \left[ \frac{0,8 \cdot 1,3^3}{12} + 0,8 \cdot 1,3 \cdot 1,32^2 + \frac{1,85 \cdot 1,8^3}{12} + 1,85 \cdot 1,8 \cdot 0,23^2 + \frac{1,55 \cdot 0,3^3}{12} + 1,55 \cdot 0,3 \cdot 1,28^2 \right] = 7,59 \text{ cm}^4,$$

Damit wird die Biegebeanspruchung:

$$\sigma_b = \frac{P' \cdot c}{2J} \cdot e_1 = \frac{385 \cdot 5,75 \cdot 1,97}{2 \cdot 7,59} = 288 \text{ kg/cm}^2,$$

ist also genügend niedrig. Im Querschnitt  $GH$ , Abb. 669, als Rechteck von der Breite  $b' = 83$  und der Höhe  $h = 18$  mm aufgefaßt, beträgt die Spannung nur:

$$\sigma_b' = 6 \cdot \frac{P'}{2} \cdot \frac{c'}{b' h^2} = 6 \cdot \frac{385}{2} \cdot \frac{2}{8,3 \cdot 1,8^2} = 86 \text{ kg/cm}^2.$$

b) Im Falle eines an dem Rohr unmittelbar angegossenen Flansches, Abb. 668, wird dagegen der Querschnitt  $GH$  der gefährliche. Bei den in der Abbildung eingeschriebenen Maßen und  $p_i = 10$  at Druck muß ein gußeiserner Flansch unter einer zulässigen Beanspruchung auf Biegung von  $k_b = 200$  kg/cm<sup>2</sup> bei einer Dichtungsbreite von 15 mm und somit:

$$P' = \frac{\pi}{4} d_m^2 \cdot p_i = \frac{\pi}{4} \cdot 6,5^2 \cdot 10 = 332 \text{ kg}$$

Längskraft in den beiden  $\frac{5}{8}$ " Schrauben, ein Widerstandsmoment:

$$W = \frac{P' \cdot c'}{2 \cdot k_b} = \frac{332 \cdot 1,9}{2 \cdot 200} = 1,58 \text{ cm}^3$$

haben. Bei einer Breite  $b' = 60$  mm wird die erforderliche Flanschstärke  $h'$ :

$$h' = \sqrt{\frac{6W}{b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 1,58}{6}} = 1,26 \text{ cm}.$$

Gewählt in Rücksicht auf die  $\frac{5}{8}$ " Schrauben  $h' = 15$  mm.

5. Für eine Wassermenge von 700 m<sup>3</sup>/Std. ist der wirtschaftlich günstigste Rohrdurchmesser unter der vereinfachenden Annahme zu bestimmen, daß lediglich die Verzinsungs- und Tilgungssumme in Höhe von 10% des Rohrpreises und die Betriebskosten durch die Druckverluste in der Leitung maßgebend sind. Der Druck betrage 5 at, so daß normale gußeisernerne Muffenrohre benutzt werden können, die Länge der Rohrstrecke  $L = 1000$  m.

Zu den in der folgenden Liste enthaltenen Zahlen für Rohre zwischen 350 und 550 mm lichtem Durchmesser sei bemerkt: Bei der sekundlichen Wassermenge

$$Q = \frac{700}{3600} = 0,194 \text{ m}^3/\text{sek}$$

folgt die Geschwindigkeit  $v$  aus dem Rohrdurchmesser  $d$  und dem Querschnitt  $f = \pi \frac{d^2}{4}$ :

$$v = \frac{Q}{f} \text{ (Spalte 3).}$$

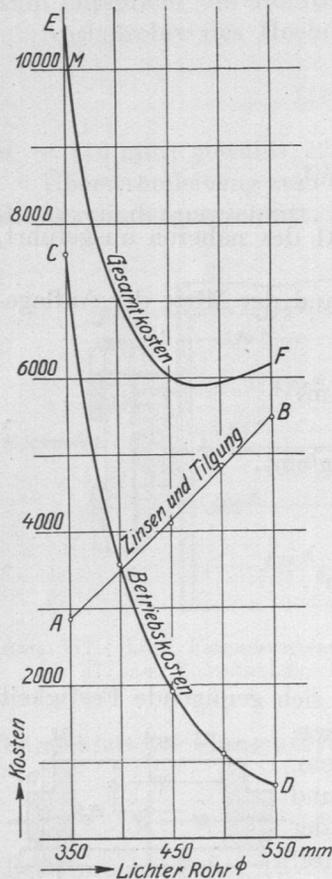


Abb. 719. Ermittlung des wirtschaftlichsten Durchmessers einer Rohrleitung.

In Spalte 4 sind die Gewichte  $G$  der normalen Muffenrohre von 4 m Gebrauchslänge nach der Zusammenstellung 85, Seite 338, in Spalte 5 die Kosten  $K$  für  $L = 1000$  m Leitung bei einem Vorkriegspreis, einschließlich Verlegungskosten, von  $k = 0,24$  M für ein kg Gußeisen:  $K = G \cdot k \cdot \frac{L}{4}$ , in Spalte 6 die Verzinsungs- und Tilgungssumme in Höhe von  $0,10 K$  angegeben. Dieselbe steigt nach der Linie  $AB$  der Abb. 719 annähernd geradlinig mit zunehmendem Durchmesser.

Die Betriebskosten sind durch den Widerstand  $w$  der Leitung bedingt, der in Metern Wassersäule ausgedrückt, aus  $w = \lambda \cdot \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$ , Spalte 8, folgt.  $\lambda$  ist darin nach der Gleichung von Lang aus:

$$\lambda = 0,009 + \frac{a}{\sqrt{d}} + \frac{0,0019}{\sqrt{v \cdot d}}$$

mit  $a = 0,012$  für Rohre mit dünner Ansatzschicht ermittelt. Aus  $w$  und der sekundlichen Wassermenge  $Q$  ergibt sich schließlich der Betriebsverlust  $N$  in Pferdestärken:

$$N = 1000 \cdot \frac{Q \cdot w}{75} \text{ PS,}$$

der bei 3000 Betriebsstunden mit 150 M für eine Jahrespferdekraft angesetzt, zu den Betriebskosten in Spalte 10 führt. Sie sind in Abb. 719 durch die mit dem Rohrdurchmesser fallende Linie  $CD$  dargestellt. Der wirtschaftlichste Durchmesser ist nach dem Kleinstwert, den die Summe der Kosten  $K + K_1$ , Spalte 11 und Linie  $EF$  annimmt, 475 mm.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$d$	$f$	$v$	$G$	$K$	$0,1 \cdot K$	$\lambda$	$w$	$N$	$K_1$	$K + K_1$
mm	m <sup>2</sup>	m/sek	kg	M	M		m Wasser- säule	PS	M	M
350	0,0962	2,01	496	29700	2970	0,0316	18,6	50,7	7600	10570
400	0,125	1,54	587	35100	3510	0,0304	9,2	23,8	3570	7080
450	0,159	1,22	680	41100	4110	0,0295	4,95	12,8	1920	6030
500	0,196	0,99	807	48400	4840	0,0287	2,86	7,4	1110	5950
550	0,238	0,815	914	54900	5490	0,0281	1,78	4,6	690	6180

## VII. Anlage von Rohrleitungen.

Allgemein gilt, daß die gesamte Anlage möglichst einfach, übersichtlich und in allen wesentlichen Teilen leicht zugänglich sein soll. Klare, einfache Rohrleitungspläne bilden schwierige, aber wichtige Teile des Entwurfes einzelner Maschinen und in erhöhtem Maße der Pläne ganzer Anlagen. Verwickelte Rohrleitungen sind teuer; meist geben sie auch durch vermehrte Widerstände erheblich größere Betriebsverluste, sind empfindlicher, schwieriger zu bedienen und im Stand zu halten! Man vermeide jede unnötige Krümmung und beschränke die Zahl der Teile, Anschlüsse und Verbindungsstellen soweit als möglich, jedoch unter Wahrung leichten Zusammenbaues und Wiederauseinandernehmens. Bei Stahlrohren geht man z. B. in neuerer Zeit mehr und mehr zur Schweißung der Stoßstellen, Abb. 709 und zum Anschweißen von Stutzen und Abzweigen unter Vermeidung von Formstücken über. Alle Verbindungsstellen an Rohren unter hohem Druck müssen zugänglich gehalten und so angeordnet werden, daß sich sämtliche Schrauben gleichmäßig anziehen lassen. Zu dem Zwecke sollen die Abstände, in denen die Rohre längs der Wände laufen, genügend groß, Kanäle, in denen sie liegen, weit und nicht zu tief sein. Der Zusammenbau der Leitungen muß, soweit nicht Ausgleichvorrichtungen Vorspannungen zweckmäßig erscheinen lassen, spannungsfrei erfolgen. Besondere Sorgfalt beim Verlegen und Abdichten ist Rohren, die im Betriebe unter Unterdruck stehen, zuzuwenden, weil es an ihnen, im Gegensatz zu solchen mit Überdruck, erheblich schwieriger ist, undichte Stellen nachzuweisen.

An liegenden Muffenrohren sollen die Muffen nach Möglichkeit der Strömungsrichtung entgegengesetzt angeordnet sein, damit die Bewegungswiderstände an den Rohrstoßen geringer werden. In Rücksicht auf Nachgiebigkeit und Formänderung durch verschiedene Wärmegrade werden die Rohre zweckmäßigerweise mit etwas Spiel in der Längsrichtung verlegt. Bei senkrechter oder steil-schräger Lage sollen die Muffen des leichteren Zusammenbaues und Einbringens der Dichtung wegen stets aufwärts

gerichtet sein. Da sich die Rohre durch ihr Eigengewicht aufeinanderstützen, muß an längeren Leitungen, die Temperaturschwankungen unterworfen sind, z. B. an im Freien liegenden, Ausdehnungsmöglichkeit durch gelegentlich angeordnetes größeres Spiel oder durch Stopfbüchsen unter geeigneter Stützung der Leitung vorgesehen werden.

Stets ist auf die Verwendung normaler Teile hinzuwirken. Einheitliche Sinnbilder für Rohrleitungsteile sind in DIN 2429 und 2430 festgelegt worden.

Bei Anlagen mit verschiedenen Betriebsmitteln empfiehlt es sich, der Übersichtlichkeit wegen dringend, Farben zur Kennzeichnung und Unterscheidung der einzelnen Rohrstränge zu benutzen. Auf Grund der Arbeiten eines Ausschusses [VIII, 5] und darauf fußend, des Normenausschusses der deutschen Industrie, sind zu dem Zwecke die folgenden Grundfarben der DIN 2403 vereinbart worden: Grün für Wasser, Gelb für Gas, Blau für Luft, Rot für Dampf, Grau für Vakuum, Orange für Säuren, Lila für Lauge, Braun für Öl, Schwarz für Teer. Durch schmale, über die Grundfarben gelegte Querstreifen lassen sich noch Unterarten des Leitungsinhaltes, ferner die Höhe der Pressung, die Temperatur u. dgl. kenntlich machen. Die Bezeichnung der Rohre erfolgt unmittelbar unter Verwendung hitzebeständiger Farben oder durch emaillierte oder lackierte Blechbänder von etwa 10 bis 15 cm Breite, die an den Kreuzungspunkten oder an sonst wichtigen Stellen um die Rohre gelegt werden oder durch farbige Pfeile, die gleichzeitig die Stromrichtung angeben. Durch Anbringen von Rippen läßt sich den Bändern ein gewisser Abstand geben, um sie der Einwirkung der Rohrtemperatur zu entziehen. Auch gegen Hitze und Feuchtigkeit unempfindliche Porzellanschilder sind vorgeschlagen worden, die mit Drähten an die Leitungen angehängt werden können.

Die gleichen Farben sollen auch auf Rohrplänen benutzt werden. Unterschiede bezüglich des Leitungsinhaltes u. dgl. sind durch helleres oder dunkleres Abtönen der Grundfarbe zu kennzeichnen und in einer Farbentafel auf der Zeichnung zu erläutern.

Der Werkstoff der Rohre ist abhängig von der Art, dem Druck, der Temperatur und der Geschwindigkeit der durchzuleitenden Betriebsmittel oder Stoffe und so zu wählen, daß er durch deren mechanische oder chemische Wirkungen nicht oder nur in verschwindendem Maße angegriffen wird oder die durchgeleiteten Stoffe nicht schädigt.

Bei Entwurf und Verlegung der Leitungen ist für eine sichere und gute Unterstützung, bei Rohren, die verschiedenen Wärmegraden ausgesetzt sind, für die Ausdehnungsmöglichkeit Sorge zu tragen. Dem ersten Punkt werden am einfachsten im Boden verlegte Rohrleitungen gerecht, wenn sie auf gewachsenem Erdreich ruhen und gut hinterfüllt und unterstopft werden. Besonders gefährdet sind die Rohre an den Übergangstellen von festem in lockeren Boden oder an den Einführungspunkten in Gebäude. Dort ist darauf zu achten, daß sie durch Senkungen des Bodens oder des Mauerwerks nicht auf Biegung beansprucht werden, wie es z. B. beim vollständigen Einmauern derselben in einer Gebäudewand der Fall wäre.

Große Schwierigkeiten bieten Rohrleitungen auf unsicherem oder aufgeschüttetem Grunde, indem die dort unvermeidlichen unregelmäßigen Senkungen selbst bei zähen Baustoffen oft Brüche hervorrufen. Stahlrohre sind in dem Falle den spröden gußeisernen unbedingt überlegen. Wegen der leichteren Anpassung an die Unebenheiten des Bodens und wegen der Vermeidung der Schrauben, die im feuchten Erdreich stark rosten, sind Muffenrohre bei nicht zu hohen Drucken Flanschenrohren vorzuziehen, verlangen aber eine sichere Festlegung der End- und Knickpunkte, weil größere Längskräfte durch die gewöhnlichen Muffen nicht übertragen werden können.

Freiliegende Leitungen müssen in genügenden Abständen unterstützt werden, um schädlichen Nebenbeanspruchungen durch das Eigengewicht und durch den Inhalt — auf Biegung bei wagrechter Lage, auf Druck oder Knickung bei senkrechter Anordnung —, zu begegnen, die nicht selten zu Brüchen und zum Undichtwerden der Dichtstellen Anlaß geben. In erster Linie wird man dazu die Abzweig- und Kreuzungsstellen, manchmal auch die Eckpunkte benutzen, weil die dort verwandten Formstücke meist Gelegenheit zum Anbringen von Füßen, Stützen, Rippen usw. bieten und weil dadurch diese besonders

wichtigen Punkte festgelegt und gegenseitige Einwirkungen längerer Rohrstränge aufeinander vermieden werden. Eine Ausnahme bilden Leitungen, die starken Wärmeschwankungen unterworfen sind, vgl. Seite 395. Beispiele für Unterstützungen zeigen die Abb. 731 und 720 bis 723. Abb. 731 Eckunterstützung, Abb. 720 Aufhängung einer

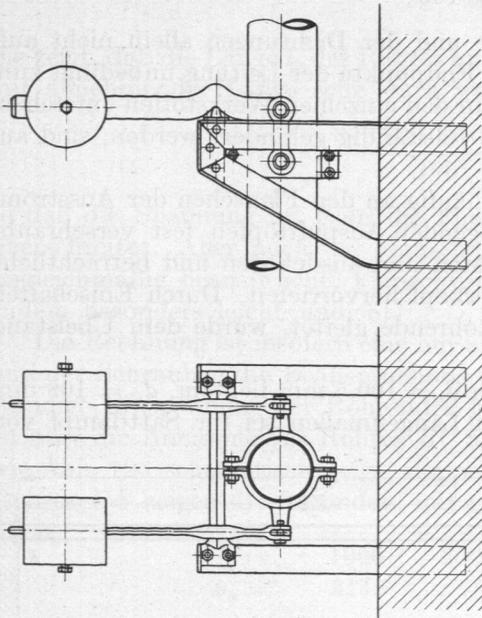


Abb. 720. Unterstützung einer Schachtleitung.

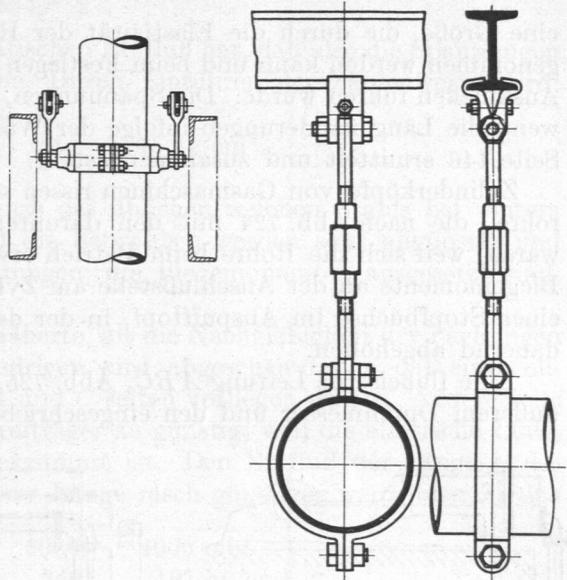


Abb. 721. Aufhängung einer Leitung.

Schachtleitung unter Ausgleich des Eigengewichts. Liegende Rohre werden an Zwischenpunkten nach Abb. 721 aufgehängt oder nach Abb. 722 und 723 auf Rollen gelagert, Vorrichtungen, die gleichzeitig Längenänderungen durch die Wärme zulassen.

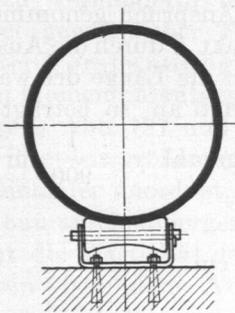


Abb. 722. Lagerung auf Rollen.

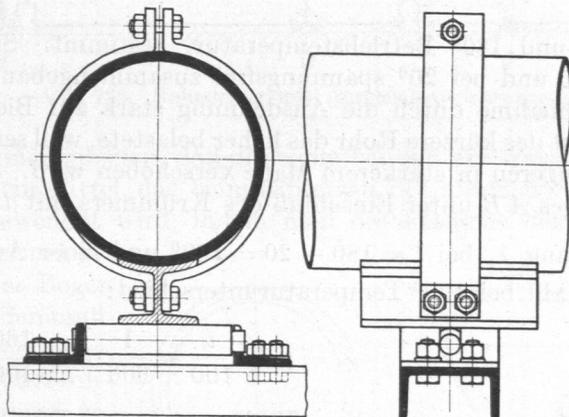


Abb. 723. Stützung durch Rollen. Gesellschaft für Hochdruckrohrleitungen, Berlin.

Kleinere Rohrleitungen, wie sie z. B. als Brennstoff-, Öl- und Kühlwasserleitungen an Maschinen vorkommen, müssen durch Schrauben oder Schellen in um so kürzeren Abständen sicher gehalten werden, je stärkeren Erschütterungen oder Stößen sie z. B. an bewegten Teilen oder an Fahrzeugen ausgesetzt sind, um Eigenschwingungen, die häufig Brüche zur Folge haben, nach Möglichkeit auszuschalten.

Der Einfluß der Wärme sei an einigen Beispielen erläutert. Eine  $L = 50$  m lange, gerade, schmiedeiserne Leitung für überhitzten Dampf von  $t = 350^\circ$  Betriebstemperatur

erfährt bei Erwärmung von 0 auf 350° bei einer Wärmeausdehnungszahl  $\gamma = \frac{1}{900}$  für 100° Temperaturunterschied eine Verlängerung:

$$\lambda = L \cdot \gamma \cdot \frac{t}{100} = 5000 \cdot \frac{1}{900} \cdot \frac{350}{100} = 19,5 \text{ cm},$$

eine Größe, die durch die Elastizität der Rohre und der Dichtungen allein nicht aufgenommen werden kann und beim Festlegen der Endpunkte der Leitung unbedingt zum Ausknicken führen würde. Die Spannungen, die in den einzelnen Werkstoffen entstehen, wenn die Längenänderungen infolge der Wärme vollständig gehindert werden, sind auf Seite 146 ermittelt und zusammengestellt.

Zylinderköpfe von Gasmaschinen rissen sehr häufig an den Flanschen der Ausströmröhre, die nach Abb. 724 mit den darunter liegenden Auspufftöpfen fest verschraubt waren, weil sich die Rohre beim Betrieb erwärmten und ausdehnten und beträchtliche Biegemomente an der Anschlußstelle am Zylinderkopf hervorriefen. Durch Einschalten einer Stopfbüchse im Auspufftopf, in der das Rohrende gleitet, wurde dem Übelstand dauernd abgeholfen.

Eine flußeiserne Leitung  $ABC$ , Abb. 725, von  $d_i = 100,5$  mm lichtigem,  $d_a = 108$  mm äußerem Durchmesser und den eingeschriebenen Längenmaßen sei für Sattldampf von

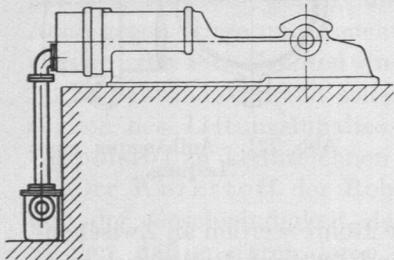


Abb. 724.

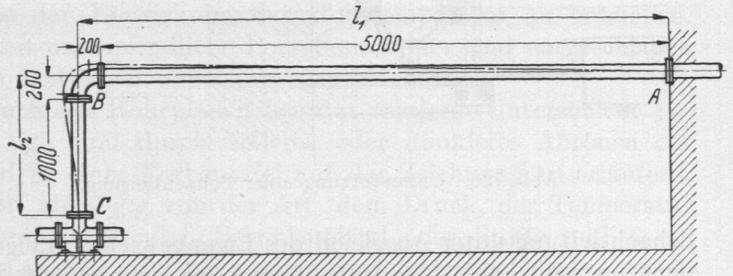


Abb. 725. Formänderungen an einer Rohrleitung bei der Erwärmung.

10 at und 180° Betriebstemperatur, bestimmt. Sind die Rohre bei  $A$  und  $C$  eingespannt und bei 20° spannungsfrei zusammengebaut worden, so werden sie bei der Inbetriebnahme durch die Ausdehnung stark auf Biegung in Anspruch genommen. Und zwar ist das kürzere Rohr das höher belastete, weil sein Endpunkt  $B$  durch die Ausdehnung des längeren in stärkerem Maße verschoben wird. Setzt man die Länge des wagrechten Stranges  $AB$  unter Einschluß des Krümmers mit  $l_1 = 5200$  mm an, so beträgt die Verlängerung  $\lambda_1$  bei  $t = 180 - 20 = 160^\circ$  und einer Ausdehnungszahl  $\gamma = \frac{1}{900}$  für weichen Flußstahl bei 100° Temperaturunterschied:

$$\lambda_1 = \gamma \cdot l_1 \cdot \frac{t}{100} = \frac{1}{900} \cdot 520 \cdot \frac{160}{100} = 0,925 \text{ cm}.$$

Betrachtet man nun diese Verlängerung als Durchbiegung eines bei  $C$  eingespannten, bei  $B$  durch eine Einzelkraft  $P$  belasteten Freitragers  $BC$ , so ergibt sich die dazu nötige Belastung  $P$  nach Zusammenstellung 5, S. 24, lfd. Nr. 1 aus:

$$\lambda_1 = \frac{\alpha \cdot P \cdot l_2^3}{3J},$$

wenn  $\alpha$  die Dehnungszahl des Werkstoffes,  $J$  das Trägheitsmoment des Trägers, also der Rohrwandung ist. Die Biegebeanspruchung  $\sigma_b$  im Querschnitt  $C$  durch  $P$  würde:

$$\sigma_b = \frac{P \cdot l_2}{J} \cdot \frac{d_a}{2}$$

sein. Setzt man den Wert von  $P = \frac{3J \cdot \lambda_1}{\alpha \cdot l_2^3}$  aus der oberen Gleichung in die untere ein, so folgt als Beziehung zwischen  $\sigma_b$  und  $\lambda_1$ :

$$\sigma_b = \frac{3 \lambda_1}{\alpha \cdot l_2^2} \cdot \frac{d_a}{2}.$$

Sie zeigt, daß die Länge  $l_2$  des Rohres quadratischen Einfluß hat, daß also die Spannungen mit abnehmender Länge sehr stark wachsen. Durch Einführen der Zahlenwerte wird:

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot 0,925 \cdot 2100000}{100^2} \cdot 5,4 = 3145 \text{ kg/cm}^2,$$

so daß die Spannung im Rohr die Fließgrenze des üblichen weichen Stahls bei weitem überschreitet. Aber auch die Flansche und die Schrauben werden sehr ungünstig und ungleichmäßig beansprucht, Flanschverbindungen, die Biegemomenten ausgesetzt sind, zudem besonders leicht undicht!

Die Rechnung ist insofern eine nur angenäherte, als die Nachgiebigkeit der Packungen und der Schrauben die Beanspruchung erniedrigen wird, abgesehen davon, daß eine vollständige Einspannung der Rohrenden bei  $A$  und  $C$  selten vorliegen dürfte. Andererseits ist aber die Annahme des Rohres  $BC$  als Freitragler zu günstig, weil die elastische Linie, wie Abb. 725 schematisch zeigt, doppelt gekrümmt ist. Den Einfluß der Länge  $l_2$  des Rohres  $BC$  zeigen die folgenden, mit größerer Länge rasch günstiger werdenden Zahlen für  $\sigma_b$ :

$l_2 =$	1000	2000	3000	4000 mm
$\sigma_b =$	3145	786	349	197 kg/cm <sup>2</sup> .

Bei genügender Länge der beiden Rohrstränge ist es mithin möglich, die durch die Wärme bedingten Formänderungen durch die Elastizität der Rohre aufzunehmen, ein Umstand, der bei der Anlage von Dampfleitungen häufig benutzt wird, indem die Ecken nicht zur Unterstützung herangezogen, sondern frei gehalten werden.

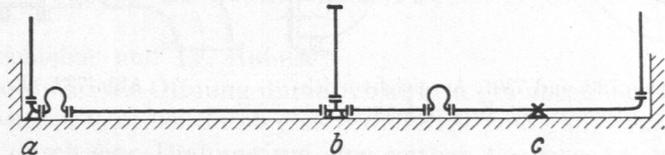


Abb. 726. Rohrstrang mit Ausgleichvorrichtungen.

Ein anderer Weg, die Spannungen zu vermindern, ist, die Rohre bei gewöhnlicher Temperatur unter Vorspannung so zusammenzubauen, daß diese den bei der Erwärmung auftretenden Momenten entgegenwirkt, ein Mittel, das beim Einsetzen der unten erwähnten Federbogen, Abb. 727 und 728, angewendet wird, indem man die Flansche des Rohrstranges in etwas größerem Abstände und geneigt zueinander anordnet, so daß der Bogen beim Einbau auseinandergezogen werden muß.

Reicht die Elastizität der Rohre nicht aus, so müssen besondere Ausgleichvorrichtungen eingeschaltet werden. In einem geraden Stränge, Abb. 726, an dem die Punkte  $a$ ,  $b$  und  $c$  festgelegt sind, sind zwei derartige Vorrichtungen nötig.

Die einfachsten und billigsten Formen für Leitungen bis zu 400 mm Durchmesser sind, sofern genügender Raum zur Verfügung steht, Rohrbogenausgleicher oder Federbogen, Abb. 727, 728 aus Kupfer (bis 200°) oder weichem Schmiedeeisen. Sie zeigen gewöhnlich runden Querschnitt, werden aber auch nach einem D. R. G. M. der Gesellschaft für Hochdruckleitungen mit elliptischem ausgeführt, um die Beanspruchung des Rohres in den äußeren Fasern durch die Biegung geringer zu halten. Ihr Krümmungs-

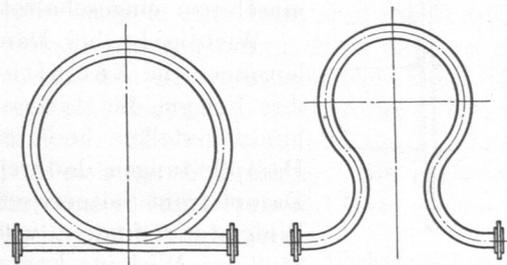


Abb. 727 und 728. Federbogen.

halbmesser soll mindestens gleich dem fünffachen des lichten Rohrdurchmessers sein. Die gebräuchlichen Federrohre pflegen 50 bis 100 mm Verschiebung zuzulassen.

Ausgleichsvorrichtungen mit Kugelgelenken und metallischen, geschliffenen Dichtflächen nach Abb. 729 und 730 geben erfahrungsgemäß häufig Anlaß zu Undichtigkeiten und schwierigen, störenden Nacharbeiten. Solche mit Metallschläuchen liefert die Metallschlauchfabrik Pforzheim.

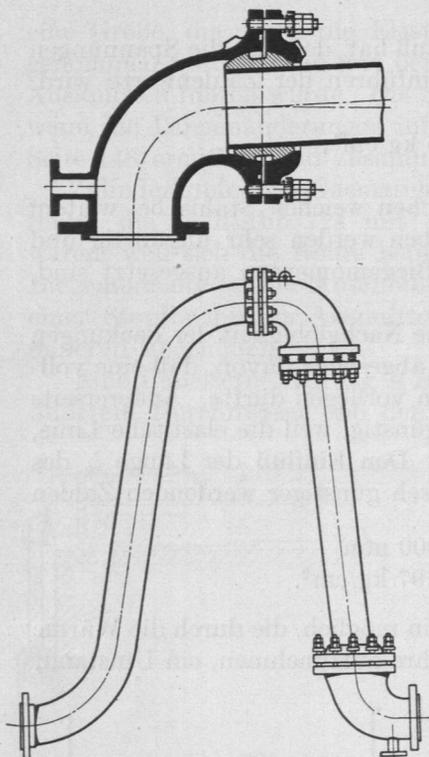


Abb. 729 und 730. Ausgleichsvorrichtungen mit Kugelgelenken.

Stopfbuchsausgleicher, Abb. 731, können unmittelbar in die gerade Rohrleitung, z. B. eine Schachtleitung, eingeschaltet werden, verlangen aber die Aufnahme der Längskräfte durch besondere Verankerungen oder Stützen, brennen leicht fest und sind zudem schwer dicht zu halten. Um das Einrosten zu vermeiden, stellt man die Degenrohre *D* aus Bronze oder Messing her. Entlastete Stopfbuchsausgleicher, Abb. 732, bieten den

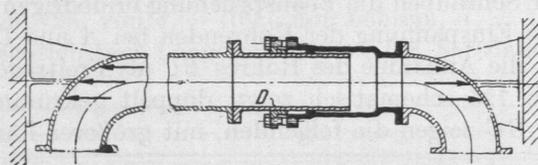


Abb. 731. Stopfbuchsausgleicher.

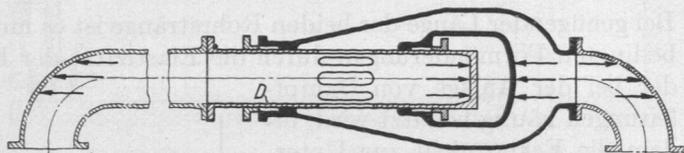


Abb. 732. Entlasteter Stopfbuchsausgleicher.

Vorteil, daß sich die Längskräfte aufheben, bedingen aber zwei Abdichtungen und sind deshalb noch empfindlicher.

Für geringe Verlängerungen und bei mäßigen Drucken genügen Federteller, Abb. 733 oder besonders dünnwandige, sehr elastische Zwischenstücke und Krümmer aus Kupfer oder Messingblech, wie sie z. B. in die Auspuffleitungen an Dampfmaschinen eingeschaltet werden.

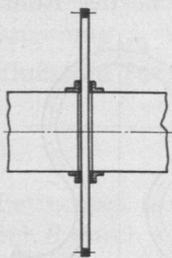


Abb. 733. Federteller für Windleitungen usw.

Wichtig ist bei Dampfleitungen die Entwässerung, bei Wasserleitungen die Entlüftung, um die oft sehr heftigen Wasserschläge und ihre Folgen, die starken Erschütterungen, das Undichtwerden der Verbindungsstellen und selbst Brüche zu vermeiden. Sie entstehen in Dampfleitungen dadurch, daß größere Ansammlungen von Wasser vom Dampfstrom mitgerissen, an einem Knick der Rohrleitung plötzlich Widerstand finden, wobei die lebendige Kraft der Wassermasse als Stoß zur Wirkung kommt.

In Wasserleitungen sammelt sich die mitgerissene oder sich ausscheidende Luft an den höchsten Punkten. Wird nun eine größere, so gebildete Luftmenge vom Wasserstrom mitgenommen, so erzeugen die durch das Luftpolster getrennten beiden Wassersäulen an den Knickpunkten der Leitungen wiederum heftige Massenstöße.

Dampfleitungen gibt man zur Entwässerung geringes Gefälle in der Richtung des Dampfstromes, damit dieser den Abfluß des ausgeschiedenen Wassers unterstützt. In

den tiefsten Punkten der Leitung sind Kondenstöpfe anzuschließen oder an geeigneten Punkten, insbesondere dicht vor den angeschlossenen Maschinen Wasserabscheider zur Ableitung des Niederschlags einzuschalten.

Wasserleitungen sind an den höchsten Punkten mit Entlüftungsvorrichtungen zu versehen.

## VIII. Schutz der Rohrleitungen gegen Ausstrahlung.

Ungeschützte Leitungen für warme Flüssigkeiten oder Dämpfe geben an die kältere Luft beträchtliche Wärmemengen ab. Sollen die so entstehenden Verluste beschränkt werden, so müssen die Leitungen isoliert, mit einem die Wärme schlecht leitenden Stoff umgeben werden. Als solche kommen Kieselgur, Asbest, Kork, Torf, Haare usw., in Betracht, die entweder für sich allein oder miteinander gemischt verwendet werden. Die Masse wird durch Lehm, Kartoffelmehl und Wasser plastisch gemacht, schichtweise auf die heißen Rohrleitungen aufgetragen und nach dem Trocknen durch eine Umwicklung gegen Herabfallen gesichert, oder sie wird in Form von Steinen und Schalen aufgebracht. Wichtig ist, auch die Flansche gegen Ausstrahlung zu schützen, sie aber andererseits zugänglich zu halten. Diesem Zwecke dienen abnehmbare Kappen oder verschiebbare Umhüllungen.

### Neunter Abschnitt.

## Absperrmittel.

Absperrmittel dienen zum zeitweiligen Unterbrechen eines Flüssigkeits-, Gas- oder Dampfstromes. Je nach Art der Bewegung der abdichtenden Flächen gegeneinander teilt man sie ein in:

I. Ventile, II. Klappen, III. Schieber und IV. Hähne.

Bei den Ventilen und Klappen wird die Öffnung durch Abheben des abschließenden Teiles freigegeben, und zwar bei den Ventilen durch eine geradlinige Bewegung senkrecht zum Sitz, bei den Klappen durch eine Drehung um eine seitlich liegende Achse.

An den Schiebern und Hähnen gleiten die Dichtflächen unter geradliniger oder drehender Bewegung aufeinander.

Die wichtigsten Gesichtspunkte bei der Gestaltung und Beurteilung der Absperrmittel sind:

1. Es muß ein sicherer und dauernd dichter Abschluß möglich sein. Je nach der Art und dem Druck der abzusperrenden Flüssigkeiten, Dämpfe oder Gase sind die Werkstoffe der abdichtenden Flächen und Teile: Metall, Leder, Gummi, Holz usw. so zu wählen, daß sie durch die mechanischen oder chemischen Einwirkungen nicht oder nur in ganz geringem Maße angegriffen werden. Manchmal finden sich zwei Stoffe, z. B. am Fernsventil Metall und Leder, gleichzeitig verwandt, der eine zur Aufnahme der Flächenpressung im Sitz, der andere zur Erzielung einer sicheren Abdichtung. Die gleitende Bewegung macht die Schieber und Hähne nur für reine Flüssigkeiten und Gase geeignet; Unreinigkeiten führen rasch zu starkem Verschleiß und Undichtheit.

2. Der Flüssigkeitsstrom soll möglichst wenig Geschwindigkeits- und Richtungsänderungen erfahren, damit die Bewegungswiderstände und Druckverluste klein ausfallen. Das ist um so wichtiger, je schwerer die Flüssigkeit, je größer die Geschwindigkeit und je geringer der Betriebsdruck ist. Schieber und Hähne, die den vollen Querschnitt ohne Ablenkung freigeben, sind in dieser Beziehung den Ventilen und Klappen überlegen.

3. Die einzelnen Teile, besonders die abdichtenden Flächen, müssen zum Reinigen und Nacharbeiten leicht zugänglich und, wenn starker Verschleiß zu erwarten ist, auswechselbar sein.