

24. Preßluftversorgung.

Kompressoren. — Windkessel. — Rohrleitungen.

Preßluft findet im Fabrikbetrieb als Mittel zur Energieübertragung hauptsächlich Anwendung, wenn die Energie in hin und her gehende Bewegung umgesetzt werden soll, also vor allem in Preßluftschlämmern zum Nieteten, Stemmen, Meißeln, Gußputzen, Stampfen (in der Gießerei), ferner zum Antrieb von Rüttelformmaschinen usw. Seltener werden umlaufende Maschinen, z. B. Handbohrmaschinen, mit Preßluft betrieben, da für diese Bewegungsform die elektrische Energie geeigneter ist. In Bergwerken findet man außerdem Preßluftmotoren zum Antrieb von Haspeln, Luttenventilatoren u. dgl. Ferner wird Preßluft in mechanischen Werkstätten sehr oft zum Ausblasen von Werkstücken, zum Betrieb von Sandstrahlgebläsen, zur Spritzlackiererei usw. benötigt. In neuerer Zeit hat die Preßluft ein weiteres Anwendungsgebiet in der zentralen Versorgung von Hammerschmieden gefunden, da hier der Preßluftbetrieb oft wirtschaftlicher ist als der alte Dampfbetrieb.

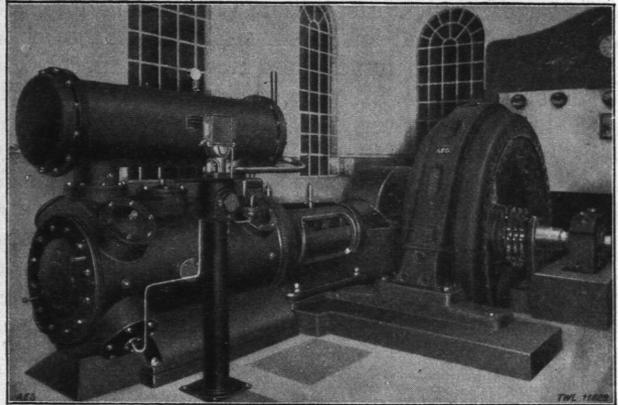


Abb. 429. Kolbenkompressor, mit dem Antriebsmotor direkt gekuppelt.

In Zahlentafel 81 sind Angaben über den Preßluftverbrauch verschiedener Werkzeuge enthalten. Die dort angegebenen Zahlen verstehen sich als vom Kompressor angesaugte Luftmengen. 10 bis 15 % Undichtigkeitsverluste sind in die Werte eingeschlossen. Für die Ermittlung der Kompressorenleistung kann man bei größeren Anlagen annehmen, daß etwa 60 bis 75% der angeschlossenen Werkzeuge gleichzeitig in Betrieb sind. Die Leistung der Kompressorenanlage ist so groß zu wählen, daß ein genügender Überschuß für Steigerung des Luftbedarfs vorhanden ist.

Die Kompressoren werden als Kolbenkompressoren, als Kreiskolben-(Rotations-)Kompressoren und als Turbokompressoren gebaut. Für Leistungen bis 5000 m³/h (angesaugte Luftmenge) kommen nur Kolbenkompressoren und Rotationskompressoren in Frage. Für Leistungen von 5000 bis 12000 m³/h teilen sich Kolben- und Turbokompressoren das Anwendungsgebiet, über 12000 m³/h beherrscht heute der Turbokompressor das Feld. Nur in Ausnahmefällen werden Kolbenkompressoren noch für Leistungen bis etwa 16000 m³/h gebaut, z. B. für den Antrieb durch Großgasmaschinen auf Hüttenwerken. Als untere Leistungsgrenze der Turbokompressoren kann man bei

Zahlentafel 81.
Preßluftbedarf von Werkzeugen und Betriebseinrichtungen.

Leichte Meißelhämmer	~ 0,25 m ³ /min
Schwere Meißelhämmer und leichte Niethämmer	~ 0,50 „
Schwere Niethämmer	~ 0,75 „
Besonders schwere Niethämmer	~ 1,20—1,40 „
Bohrmaschinen	~ 1,00 „
Stampfer	~ 0,30 „
Nietfeuer, Kesselsteinklopfer und Gegenhalter	~ 0,12 „

Bemerkung: Die Zahlenwerte sind auf atmosphärischen Druck bezogen, gelten also als vom Kompressor angesaugte Luftmengen.

Die Kompressoren werden als Kolbenkompressoren, als Kreiskolben-(Rotations-)Kompressoren und als Turbokompressoren gebaut. Für Leistungen bis 5000 m³/h (angesaugte Luftmenge) kommen nur Kolbenkompressoren und Rotationskompressoren in Frage. Für Leistungen von 5000 bis 12000 m³/h teilen sich Kolben- und Turbokompressoren das Anwendungsgebiet, über 12000 m³/h beherrscht heute der Turbokompressor das Feld. Nur in Ausnahmefällen werden Kolbenkompressoren noch für Leistungen bis etwa 16000 m³/h gebaut, z. B. für den Antrieb durch Großgasmaschinen auf Hüttenwerken. Als untere Leistungsgrenze der Turbokompressoren kann man bei

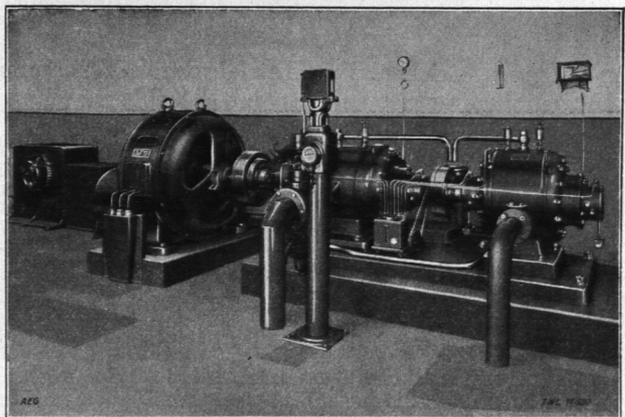


Abb. 430. Rotationskompressor, mit dem Antriebsmotor direkt gekuppelt.

5 atü Enddruck	ca. 5000 m ³ /h angesaugte Luftmenge
6 „ „	ca. 6000 m ³ /h „ „
7 „ „	ca. 7000 m ³ /h „ „

annehmen.

Der Enddruck des Kompressors muß so hoch gewählt werden, daß am Ende des Netzes noch ein genügender Druck für den Betrieb der angeschlossenen Werkzeuge auch bei größter Entnahme vorhanden ist. Für Preßluftwerkzeuge kann man den Druck an der Verwendungsstelle mit 5,5 bis 6 atü, für Bergwerkbetriebe mit 4 bis 5 atü, für Sandstrahlgebläse, Spritzlackierereien usw. mit 3 bis 4,5 atü annehmen. Außerdem muß man gegebenenfalls einen Zuschlag von 1,5 bis 2 at für die Druckdifferenz zur Speicherung der Preßluft bei Selbstanlasserbetrieb (siehe weiter unten) machen und den Druckverlust in der Rohrleitung mit 0,2 at für kleinere, 0,5 at für mittlere und 1 at für weit ausgedehnte Rohrnetze berücksichtigen. Für Sonderfälle kommen auch noch viel höhere Drücke in Frage, so sind z. B. in chemischen Betrieben, ferner für die Aufladung von Druckluftlokomotiven u. dgl. Drücke von 250 atü und mehr ausgeführt.

Der Kraftbedarf von Kompressoren kann überschläglich nach Zahlentafel 82 ermittelt werden¹. Für den Antrieb von Kolbenkompressoren kommen Elektromotoren, Dampfmaschinen und — auf Hüttenwerken — Großgasmaschinen in Frage; Turbokompressoren werden durch Dampfturbinen oder Elektromotoren, Rotationskompressoren fast ausschließlich durch Elektro-

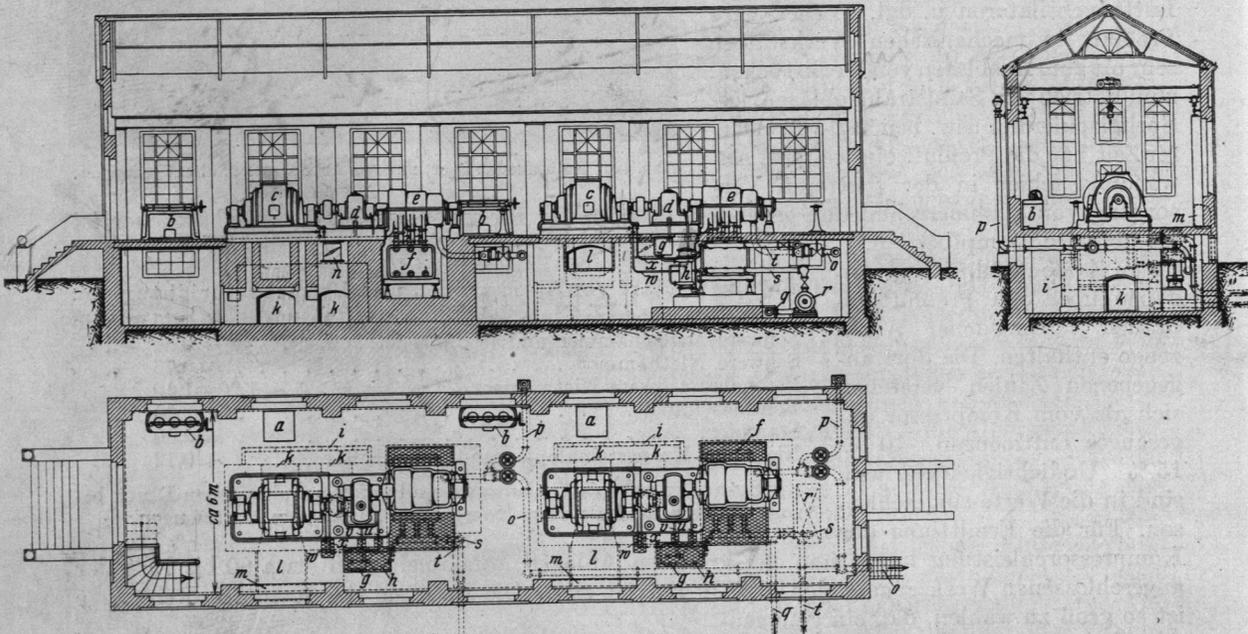


Abb. 431. Turbokompressoren, mit den Antriebsmotoren über Zahnradvorgelege gekuppelt.

motoren angetrieben. Der Antrieb durch Verbrennungsmotoren, der häufig für transportable Anlagen angewendet wird, ist im Fabrikbetrieb auf Ausnahmefälle beschränkt.

Zahlentafel 82. Kraftbedarf von Kompressoren in kW.

Saugleistung m ³ /h	Kolbenkompressoren								Turbokompressoren				
	60	120	300	600	1200	2000	5000	10000	20000	30000	40000	50000	
Kraftbedarf in kW bei	4 atü	6	10	23	42	80	150	345	700	1500	2100	2750	3250
Kompression von 1 ata auf	5 atü	6,5	11	24,5	45	88	155	375	740	1600	2300	3000	3600
	6 atü	7	12	26	48	93	165	400	770	1750	2500	3250	4000
	7 atü	7,5	12,5	27	50	97	170	420	800	1900	2700	3500	4400

Bemerkung: Die Leistung der Antriebsmaschinen muß etwa 10 bis 15% größer sein als die angegebenen Kraftbedarfszahlen, die an der Kompressorwelle bei einem Druck der angesaugten Luft von 1 ata gemessen sind.

Kolbenkompressoren bis etwa 200 bis 250 kW Kraftbedarf werden zweckmäßig mit den Antriebsmotoren durch Riemenantrieb verbunden. Größere Maschinen können mit langsamlaufenden Elektromotoren direkt gekuppelt werden. Bei Riemenantrieb ist die Verwendung von

¹ Die Zahlentafel ist entnommen aus der RKW-Veröffentlichung Nr. 19 des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung, Preßluftanlagen, 2. Aufl. Berlin: Beuth-Verlag G. m. b. H., und auf kW umgerechnet.

Spannrollen zu empfehlen, damit Motoren mit Drehzahlen von 750 bis 1500 Uml./min gewählt werden können; die Riemengeschwindigkeit soll möglichst über 16 m/sek liegen. Rotationskompressoren werden mit den Antriebsmotoren ebenfalls direkt gekuppelt. Turbokompressoren mit elektrischem Antrieb werden mit den Antriebsmotoren direkt oder über Zahnradvorgelege gekuppelt; sie werden bis zu einer Leistung von 30000 m³/h gebaut. Für noch größere Einheiten kommt nur Dampfturbinenantrieb in Frage. Dampftrieb ist aber auch für kleinere Leistungen sowohl bei Turbokompressoren als auch bei Kolbenkompressoren wirtschaftlich, da die doppelten Umsetzungsverluste von der mechanischen zur elektrischen Energie und von dieser wieder zur mechanischen Energie hierbei fortfallen. Turbokompressoren werden mit den antreibenden Dampfturbinen direkt gekuppelt. Kolbenkompressoren werden mit den Antriebsdampfmaschinen unmittelbar durch die Kolbenstangen verbunden, so daß die Kraft von dem Dampfkolben direkt auf den Luftkolben übertragen wird.

Der Dampftrieb ist vor allen Dingen deshalb besonders wirtschaftlich, weil sich mit ihm die Drehzahl und damit die angesaugte Luftmenge in weitesten Grenzen leicht regeln läßt. Bei dem elektrischen Antrieb macht die Regelung schon größere Schwierigkeiten; die bei kleineren Kolbenkompressoren stark verbreitete Aussetzregelung genügt weitergehenden Ansprüchen in wirtschaftlicher Beziehung keineswegs,

denn sie bedingt Leerlaufverluste während der Leerlaufzeiten von 20 bis 30% des Vollastbedarfs. Zweckmäßiger ist daher die Regelung durch Selbstanlasser, die bei einem einstellbaren Druck einschalten und bei Erreichung eines Höchstdruckes automatisch ausschalten. Zur Vermeidung der hiermit verbundenen großen Anlaßarbeit für den Anlauf gegen den vollen Druck werden neuerdings selbsttätige Leeranlaßvorrichtungen gebaut (siehe Abb. 432). Zur Ersparnis von Öl und Kühlwasser während der Stillstandszeiten können hierbei auch die entsprechenden Rohrleitungen selbsttätig abgeschaltet werden. Auf keinen Fall darf die Frage der Regelung vernachlässigt werden, da die Leerlaufzeiten im Kompressorenbetrieb eine große Rolle spielen, zumal wenn der Kompressor sehr groß bemessen ist. Werden mehrere Kompressoreinheiten aufgestellt, wie dies auch aus Gründen der Betriebssicherheit erwünscht ist, so läßt man eine oder mehrere Maschinen zur Deckung der Grundlast laufen, während ein mit selbsttätiger Leeranlaßvorrichtung ausgerüsteter Kompressor den Spitzenbedarf deckt.

Alte Rohrnetze, die im Laufe der Zeit zu knapp geworden sind, können durch Aufstellung von Spitzenkompressoren an dem der Hauptkompressorenanlage entgegengesetzten Ende der Rohrleitungen entlastet werden.

Zu erwähnen ist noch, daß als Antriebsmotoren für Kompressoren normale Asynchronmotoren, Doppelnutmotoren oder Synchronmotoren gewählt werden. Die Doppelnutmotoren werden heute auch für größere Leistungen angewendet; sie sind einfacher und billiger, auch sind hierbei die Leeranlaßvorrichtungen entsprechend einfacher. Synchronmotoren werden mit Vorteil für Kompressorentrieb verwendet, wenn ein einigermaßen gleichmäßiger Betrieb es erlaubt, den Synchronmotor zur Phasenkompensation im elektrischen Netz heranzuziehen. Zum Hochfahren des Maschinensatzes erhält der Motor dann eine Vorrichtung zum asynchronen Anlauf.

Besondere Aufmerksamkeit verdient die Kühlwasserversorgung der Kompressoren. Die Kühlmwassermenge ist so reichlich vorzusehen, daß die Temperaturzunahme keinesfalls höher ist als 10° C; das Kühlwasser darf höchstens mit 40° C abfließen, da sonst mit Kesselsteinbildung in den Kühlkanälen der Maschinen zu rechnen ist. Der Kühlwasserverbrauch beträgt etwa 3 bis 5 m³/h

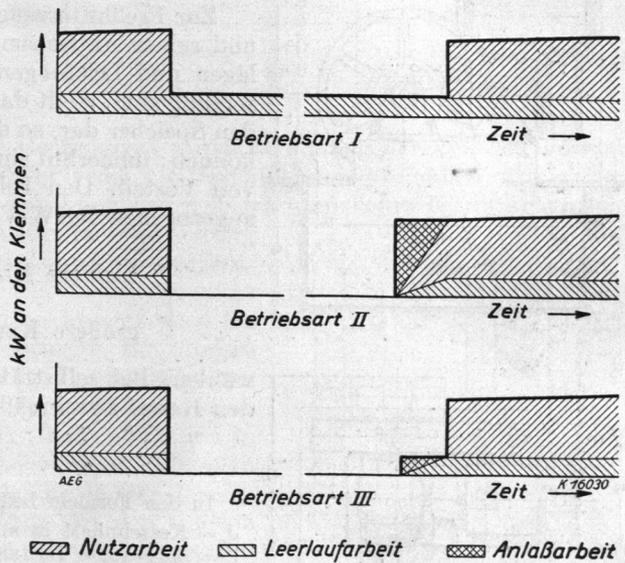


Abb. 432. Betriebsdiagramme für elektrisch angetriebene Kolbenkompressoren.

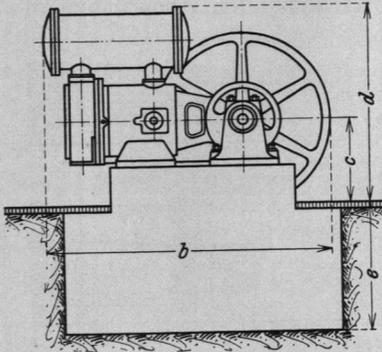
- Betriebsart I: Aussetzregelung.
- II: Regelung durch selbsttätigen Anlasser.
- III: Regelung durch selbsttätige Leeranlaßvorrichtung.

auf 1000 m³/h angesaugte Luftmenge (bei Kolbenkompressoren mit Zwischenkühlung), wobei die kleinere Zahl für größere Leistungen gilt.

Der Platzbedarf von kleinen und mittleren Kolbenkompressoren liegender Bauart geht aus Zahlentafel 83 hervor.

Zahlentafel 83. Platzbedarf von Kolbenkompressoren (siehe Abb. 433).

Angesaugte Luftmenge m ³ /min	1,6	2,3	3,4	5	7	9,5	13,5	17	21	26
Breite ohne Außenlager <i>a</i> . mm	750	850	900	1050	1300	1400				
Breite mit Außenlager <i>a'</i> . „	1000	1150	1225	1400	1675	1800	2100	2600	2750	2900
Gesamtlänge <i>b</i> „	1300	1600	1750	2050	2450	2850	3150	3500	3750	4250
Höhe bis Zylindermitte <i>c</i> . „	500	590	650	700	800	800	800	700	700	820
Gesamthöhe <i>d</i> „	1150	1350	1450	1650	1800	1900	2000	2000	2050	2300
Mindestfundamenttiefe <i>e</i> . „	640	800	800	1000	1020	1200	1350	1500	1700	1825
Schwungraddurchmesser <i>f</i> . „	850	1000	1100	1200	1500	1650	1750	2000	2250	2500
Schwungradbreite <i>g</i> „	120	140	160	200	250	300	380	470	525	580



Zur Preßluftzeugungsanlage gehört außer dem Kompressor und seiner Antriebsmaschine ein Windkessel; bei großen Anlagen und Leistungen, wie sie für Turbokompressoren Voraussetzung sind, stellt das große Rohrnetz bereits einen hinreichenden Speicher dar, so daß besondere Windkessel entbehrt werden können; immerhin sind sie auch hier für die Wasserabscheidung von Vorteil. Den Inhalt der Windkessel kann man nach der

kleinere Kompressoren zu $J = \sqrt[5]{\frac{V}{60}}$,

größere Kompressoren zu $J = \sqrt[3]{V}$

wählen. Bei selbsttätiger Ein- und Ausschaltung bemißt man den Kessel zweckmäßig nach der Formel:

$$J = 0,275 \cdot \frac{V}{Z \cdot \Delta p}$$

In den Formeln bedeuten:

- J* = Kesselinhalt in m³,
- V* = angesaugte Luftmenge in m³/h,
- Z* = Schalthäufigkeit des Selbstanlassers je h,
- Δp = Schaltdruckdifferenz in at.

Z wird meist zu 8 bis 10 und Δp zu 1,5 bis 2 at gewählt. Mit diesen Werten ergibt sich die einfache Faustformel:

$$J = \frac{V}{60}$$

Die Windkessel sind mit Manometer, Sicherheitsventil, Mannloch und Entwässerungshahn auszurüsten. Die Entfernung zwischen Kompressor und Windkessel soll nicht größer als 5 m sein, sonst muß unmittelbar am Druckstutzen des Kompressors ein kleiner Stoßwindkessel in der Größe des Ansaughubvolumens angebracht werden. Bei Kolbenkompressoren soll kein Absperrorgan zwischen Kompressor und Windkessel eingebaut werden; ist dies jedoch beim Anschluß mehrerer Kompressoren an einen Kessel nicht zu vermeiden, so muß zwischen Kompressor und Absperrventil unbedingt ein Sicherheitsventil sitzen.

Der Windkessel dient, wie erwähnt, u. a. auch zur Abscheidung von Wasser und Öl. Die Wasserabscheidung kann nur wirken, wenn die bei der Kompression erwärmte Preßluft genügend weit rückgekühlt ist. Es ist daher zweckmäßig, den Windkessel im Freien, möglichst an einem schattigen Ort, aufzustellen. Gegebenenfalls ist noch ein zweiter Kessel näher am Verwendungs-ort der Preßluft einzuschalten. Für besonders weitgehende Ansprüche an Trockenheit der Luft sei der Einbau von Silica-Gel-Filtern oder Chlorkalzium-Filtern zur Trocknung der Luft empfohlen.

Die Ansaugleitungen der Kompressoren sind so in das Freie zu führen, daß möglichst staubfreie, kühle Luft angesaugt wird. Zweckmäßig, mitunter sogar notwendig, ist der Einbau von

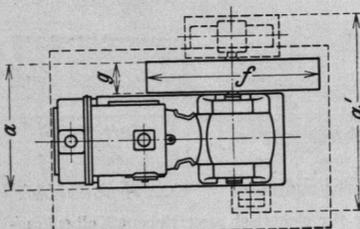


Abb. 433. Skizze zu Zahlentafel 83.

Filtern in die Ansaugleitung zur Säuberung der Luft von Staub und mechanischen Verunreinigungen. Durch Filter wird die Lebensdauer der Kompressoren und der Preßluftwerkzeuge wesentlich erhöht. Die Ansaugtemperatur ist von Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit des Betriebes, da je 3° C Erhöhung der Ansaugtemperatur den Wirkungsgrad des Betriebes um 1 % verschlechtert.

Die lichte Weite der Druckleitung vom Kompressor zum Windkessel muß mindestens gleich der lichten Weite des Anschlußstutzens sein. Die Hauptleitungen hinter dem Windkessel sind nach der maximalen Durchflußmenge unter Berücksichtigung des Druckabfalles zu berechnen. Zahlentafel 84 gibt überschläglich die zweckmäßige Rohrweite in Abhängigkeit von der angesaugten Luftmenge bei 6 atü Betriebsdruck, wie er in Werkstätten vorwiegend verwendet

Zahlentafel 84. Rohrweiten für Preßluftleitungen.

Lichter Rohrdurchmesser in mm	Angesaugte Luftmenge		Druckabfall bei 6 atü Betriebsdruck für 100 m gerade Rohrlänge in at
	in m ³ /min	in m ³ /h	
20	0,5	30	0,1
25	1	60	0,1
32	2	120	0,2
40	5	300	0,3
50	10	600	0,3
60	15	900	0,2
70	20	1200	0,2
80	30	1800	0,2
90	40	2400	0,2
100	50	3000	0,17
125	75	4500	0,1
150	100	6000	0,1

wird, an. Wenn zugänglich, sind genauere Rechnungen unter Benutzung der üblichen Formeln für den Druckabfall durchzuführen. Es empfiehlt sich, die Durchflußmenge reichlich anzunehmen, da eine zu große Rohrweite außer der Erhöhung der Anlagekosten keine betrieblichen oder wirtschaftlichen Nachteile mit sich bringt. Eine zu enge Leitung dagegen erfordert einen dauernden Mehraufwand an Antriebsenergie.

Für Verteilungsleitungen in Werkstätten kommt man bis zu 50 m Länge meistens mit 40 mm Rohrweite, für längere Leitungen mit 50 bis 60 mm l. W. aus. Die Abzweigleitungen für den Anschluß der einzelnen Werkzeuge erhalten meistens 25 mm l. W. Die Zapfstellen werden mit Anschlußhähnen in Einfach- bis Vierfachausführung ausgerüstet (siehe Abb. 434).

Alle Leitungen werden mit einem Gefälle in der Durchflußrichtung von 1:200 bis 1:400 verlegt. An den tiefsten Stellen sind Entwässerungen anzubringen. Die Abzweige sind nach Möglichkeit oben aus der Hauptleitung herauszuführen. Außenleitungen erhalten im Erdreich 1 m Deckung gegen Frostgefahr. Die Rohrleitungen werden bis 50 mm l. W. aus Gasrohr mit Gewinde- oder Schweißverbindungen, darüber aus nahtlosem Stahlrohr mit Flanschen- oder Schweißverbindungen nach den DIN-Normen hergestellt. Verzinkte Rohre besitzen eine höhere Lebensdauer als schwarze Rohre. Innere Überzüge von Teer, Asphalt oder Farbe sind unbedingt zu vermeiden, da sie zu Verschmutzungen und Störungen der Werkzeuge führen würden. Alle Bogen sind möglichst schlank auszuführen. Abzweige sollen in einem spitzen Winkel aus der Hauptleitung herausführen; in Ringleitungen, wo die Strömungsrichtung zweifelhaft sein kann, ist der Abzweig mit einer trichterförmigen Erweiterung an die Hauptleitung anzuschließen. Die Preßluftleitungen erhalten Kennfarben, nach DIN 2403.

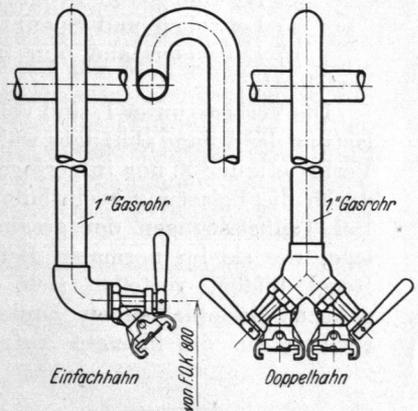


Abb. 434. Zapfstellen für Preßluft in der Werkstatt; zur Entnahme möglichst wasserfreier Preßluft sind die Abzweigleitungen oben aus der Hauptleitung herausgeführt.

25. Antrieb von Arbeitsmaschinen.

Einzelantrieb, Gruppenantrieb und mechanische Energieleitung.

Die Ausbildung des Arbeitsmaschinenantriebes ist in erster Linie eine Aufgabe des Maschinenbauers und des Elektrotechnikers; auch das Problem „Einzelantrieb oder Gruppenantrieb“ ist vor allem von maschinentechnischer Seite aus zu betrachten (Regelung der Arbeitsgeschwindigkeiten usw.); daneben berührt aber diese Frage auch den Fabrikbau insofern, als hierdurch