

Alle mit Faktorfirmis angerührten Farben können auch bei Regenwetter gestrichen werden, da Faktorfirmis kein Wasser aufnimmt.

Für Stahlkonstruktionen, die den atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt sind, haben sich bewährt:

a) ein Grundanstrich aus roter Bleimennige, zwei Deckanstriche aus Bleiweiß,

b) ein Grundanstrich sowie ein Deckanstrich aus Graubleimennige.

Als Rostschutzfarbe für Brücken, Hallen usw. haben sich auch die ölfreien Streichmittel, deren Hauptbestandteile Nitrozellulose und Kopale sind, bewährt.

An den Stellen, wo eine Beständigkeit gegen chemische Angriffe gefordert wird, sind Bitumina zu verwenden¹.

Zu chemisch gefährdeten Gegenständen gehören auch alle Eisenteile, die unter der Erdoberfläche liegen. Ein Lagertank z. B., der über der Erde liegt, ist mit Mennige zu streichen, ein unterirdischer Tank mit Bitumen. Der Innenanstrich richtet sich nach der aufzunehmenden Flüssigkeit.

Widerstandsfähig sowohl gegen Witterungseinflüsse als auch gegen chemische Angriffe unter gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung sind Kunstharze, z. B. gefüllte Bakelit- und Glyptallacke.

Vor dem ersten Anstrich sind die Walzhaut, vorhandene Roststellen und alte Farbanstriche sorgfältig (Kratzen, Sandstrahlen, Abbrennen oder Beizen) zu entfernen. Durch ungenügendes Entrosten und Reinigen wird die Lebensdauer der Anstriche stark verringert. Anstriche, die auf Rost aufgebracht werden können, gibt es nicht.

Richtig aufgebrauchte Rostschutzfarben müssen in gemäßigttem Klima mindestens 4 Jahre halten. Lackfilme sind nur auf trockene Teile aufzubringen.

Glasflächen von Fenstern und Oberlichtern, die während der Arbeitszeit der Sonnenstrahlung besonders ausgesetzt sind, werden vielfach mit einem Sonnenschutzanstrich versehen. Die Farbtöne derartiger Anstriche können weiß, hellgrau, blau und grün sein. Da die Farben meist mit Wasser angesetzt werden, ist die Haltbarkeit der Anstriche begrenzt; die Lebensdauer beträgt 1 bis 2 Jahre. So wünschenswert ein derartiger Anstrich für den Schutz gegen die Sonnenstrahlung ist, so nachteilig wirkt er natürlich auf die Tageslichtbeleuchtung der geschützten Räume.

Auch bei Dampfkesseln werden verschiedentlich die Innenwände als Schutz gegen Korrosion angestrichen. Die hierfür gebräuchlichen Mittel sind vielfach feuergefährlich und gesundheitlich schädlich, daher ist große Vorsicht am Platze. Außerdem können leicht Wärmestauungen eintreten, die zum Ausglühen von Kesselteilen führen. Gefahrlos und billig ist ein Anstrich der Kesselwandungen mit einer Mischung von Flockengraphit und Magermilch. Im allgemeinen ist ein Innenanstrich überflüssig, wenigstens wenn eine genügende Aufbereitung des Kesselwassers erfolgt. Siederohre werden auf keinen Fall innen angestrichen. Gegen äußere Verrostungen werden Außenanstriche mit destilliertem Steinkohlenteer angewandt. Auch mit 85%iger, fein verteilter Bleimennige, die keine wasserlöslichen Bestandteile und nur etwa 2% wasserunlösliche Verunreinigungen enthalten darf, sind günstige Erfahrungen gemacht worden.

Zum Schluß sei noch auf die Kennfarben von Rohrleitungen und elektrischen Leitungen hingewiesen, über die der Deutsche Normenausschuß die Normblätter DIN 2403 und DIN-VDE 705 entwickelt hat. Die Leitungen sind möglichst nicht in ihrer ganzen Länge mit der Kennfarbe zu streichen. Vielmehr genügen ringförmige Kennzeichnungen an wichtigen Stellen, z. B. bei Absperrorganen, Abzweigungen u. dgl.

IV. Energieversorgung.

21. Energiebedarf; Eigenerzeugung oder Fremdbezug?

Energieform. — Energiebedarf. — Wirtschaftliche Gesichtspunkte.

Unter Energie im Sinne der vorliegenden Betrachtung ist nicht nur die Antriebskraft für Arbeits- und Werkzeugmaschinen in Form von mechanischer oder elektrischer Energie zu verstehen, vielmehr umfaßt dieser Begriff auch die Wärmeversorgung für gewerbliche Zwecke mit Dampf, Warmwasser, Gas, Öl und anderen Brennstoffen, in weiterem Sinne auch die Versorgung mit Preßluft zum Antrieb von Arbeitsmaschinen und zum Ausblasen von Werkstücken. Wenn auch die Ausbildung der Erzeugungs- und Verteilungsanlagen für die einzelnen Energieformen ganz verschiedenartige Mittel und Wege verlangt, so stellt doch die Energieversorgung

¹ Neuerdings werden als Schutz von Beton-, Stahl- und Holzkonstruktionen Gummiüberzüge empfohlen; die Überzüge werden auf kaltem Wege, ohne nachträgliche Vulkanisation, hergestellt und sollen besonders wirksam gegen chemische Beanspruchung sein.

der Fabrikbetriebe eine in sich zusammenhängende Aufgabe dar. Die Wahl der zweckmäßigsten Energieform für jeden Einzelfall ist ebenso wie die Entscheidung der Frage „Eigenerzeugung oder Fremdbezug der Energie“ von mehr oder weniger grundlegender Bedeutung für das Gedeihen der Fabrikbetriebe, je nachdem welchen Anteil die Energiekosten an den Gesamtkosten des in Frage kommenden Industriezweiges einnehmen. Es kann nicht Aufgabe dieser Arbeit sein, eindeutige Angaben über die Wahl der zweckmäßigsten Energieform zu machen, da weder für eine erschöpfende Untersuchung genügender Raum zur Verfügung steht, noch bei der Verschiedenartigkeit der Voraussetzungen in den einzelnen Industriezweigen eine allgemein gültige Lösung gegeben werden kann. Auch sind oftmals die Energiekosten nicht ausschlaggebend für die Wahl der Energieform, sei es, daß die Verwendung einer bestimmten Energie auf örtlich oder technisch bedingte Schwierigkeiten stößt, oder sei es, daß einer an und für sich teureren Energieform aus fabrikatorischen Gründen der Vorzug gegeben wird. Dies ist z. B. häufig der Fall bei der Verwendung von Elektrizität für metallurgische Öfen. Die Vergütung im elektrischen Ofen verleiht hier dem behandelten Werkstoff oft derart wertvolle Eigenschaften, daß der Mehraufwand an Energiekosten durch den höheren Verkaufswert reichlich aufgewogen wird. Eine richtig verstandene Energiewirtschaft wird auch Faktoren dieser Art in die vergleichende Wirtschaftlichkeitsrechnung einstellen, damit von Fall zu Fall die optimale Energieform ermittelt werden kann. Voraussetzung hierfür ist, daß die energiewirtschaftliche Untersuchung wirklich nach sachlichen Gesichtspunkten und frei von Rücksichtnahme auf technische Moden geführt wird.

Bevor man sich für eine Energieform und für Eigenerzeugung oder Fremdbezug der Energie entscheiden kann, muß man sich — wenigstens in großen Zügen — über den Energiebedarf Rechenschaft geben. Bei der Verlegung eines vorhandenen Betriebes in eine neue Anlage stößt diese Frage auf keine nennenswerten Schwierigkeiten; anders dagegen bei der Errichtung einer neuen Fabrikanlage, deren zukünftiges Fabrikationsprogramm meist nur in unscharfen, angedeuteten Umrissen festliegt. Hier muß man versuchen, Anhaltswerte aus gleichartigen Betrieben zu erhalten. Auch kann man sich an Hand der aufzustellenden Werkzeug- und Arbeitsmaschinen ein Bild über die erforderliche Leistung machen. Der Kraftbedarf von verschiedenen Werkzeug- und Arbeitsmaschinen ist den einschlägigen Handbüchern¹ oder den Katalogen der Spezialfirmen zu entnehmen. Außerdem sei auf die Abschnitte „Förderanlagen“ und „Heizung und Lüftung“ verwiesen.

Zu beachten ist, daß die Leistung von Energieerzeugungsanlagen bzw. die Anschlußleistung für den Fremdbezug der Energie nicht ohne weiteres als Summe der ermittelten Einzelwerte zu bemessen ist. Meistens sind nicht alle angeschlossenen Verbraucher gleichzeitig und vollbelastet in Betrieb, so daß die tatsächliche Gesamtleistung entsprechend niedriger liegt.

Für die Beurteilung der Frage „Eigenerzeugung oder Fremdbezug“ können Preßluft, Preßwasser und mechanische Energieübertragung (durch Wellenleitung) ausscheiden, da der Bezug von Energie in diesen Formen nur ganz selten möglich ist. Auch Dampfbezug kommt relativ selten in Frage. Wenn allerdings hierfür eine Möglichkeit durch Anschluß an ein öffentliches Fernheizwerk oder an ein benachbartes Industrieheizwerk gegeben ist, so kann davon gerade bei kleineren Anlagen oft mit Vorteil Gebrauch gemacht werden, da der Kapitaldienst für Eigenerzeugungsanlagen mit sinkender Leistung stark ansteigt.

Für die Gasversorgung kommt ein Vergleich zwischen gleichartigen Gasen für Eigenerzeugung und Fremdbezug kaum in Frage. Während öffentliche Gaswerke meistens ein reiches Gas (Leuchtgas) mit hohem Heizwert (3500 bis 5000 kcal/Nm³) liefern, kommt für Eigenerzeugung nur ärmeres Gas (Wassergas und Generatorgas) mit niedrigerem Heizwert (2500 bzw. 1200 bis 1500 kcal/Nm³) in Betracht. Für Hüttenwerke steht außerdem noch aus eigenen oder benachbarten Industrieanlagen Koksofengas mit etwa 4500 kcal/Nm³ oder Hochofengas mit 950 kcal/Nm³ zur Verfügung. Für die Wahl des Gases ist der Verwendungszweck wichtig. Hohe Verbrennungstemperaturen lassen sich mit reichem Gas ohne Vorwärmung, mit armem Gas nur mit Vorwärmung des Gases erreichen. Auch kann die Reinheit des Gases von großer Bedeutung sein, da Verunreinigungen — z. B. durch Schwefel — die Verwendung eines Gases bei direkter Berührung der Flamme mit dem Einsatz gegebenenfalls überhaupt ausschließen. Der Bezug von Leuchtgas ist bei großem Bedarf meist zu teuer; billiger ist die Verwendung

¹ z. B. H. Dubbel: Taschenbuch für den Fabrikbetrieb. Berlin: Julius Springer und Hirsch-Wilking; Elektro-Ingenieurkalender. Berlin: Oscar Coblentz.

von Koks- bzw. Hochofengas, am billigsten bei größerem Bedarf die Eigenerzeugung von Generatorgas.

In erheblich weiteren Grenzen tritt die Eigenerzeugung von elektrischer Energie mit dem Fremdbezug von elektrischem Strom in Wettbewerb. Wenn auch die Zentralisierung der Stromerzeugung immer größere Fortschritte macht, so spielt doch die Eigenerzeugung der Energie in industriellen Kraftwerken auch heute noch eine große Rolle. Bei einigermaßen günstigen Stromtarifen ist allerdings der Fremdstrombezug der reinen Stromerzeugung in eigenen Maschinen wirtschaftlich überlegen. Anders bei kombinierter Energiewirtschaft: die Kupplung von Krafterzeugung und Wärmeerzeugung ergibt oft derartige wirtschaftliche Vorteile, daß die großen Elektrizitätszentralen den Strom zu gleich niedrigen Preisen nur in Ausnahmefällen liefern können. Einen wesentlichen Aufschwung hat die Kupplung von Kraft- und Wärmeversorgung durch die Einführung des Hochdruckdampfes erhalten, da durch die Anwendung hoher Frischdampfdrücke das ausnutzbare Energie-(Wärme-)Gefälle für die Krafterzeugung erheblich größer geworden ist, oder mit anderen Worten die Krafterzeugung je kg Dampfdurchsatz entsprechend gewachsen ist. Dieser Vorteil muß allerdings mit höherem Kapitalaufwand erkaufte werden. Ferner ist zu beachten, daß die Kraft — auch rein thermisch betrachtet — nicht umsonst erzeugt wird. Vielmehr ist zur Erzeugung des höher gespannten Dampfes entsprechend mehr Wärme, damit auch mehr Brennstoff, aufzuwenden als für den niedrig gespannten (Heiz-) Dampf. Die Differenz geht allein zu Lasten der Krafterzeugung.

Ein Zahlenbeispiel möge dies erläutern:

Für eine chemische Fabrik wird Heizdampf mit einem Druck von 3 atü benötigt; das Kesselpeisewasser besitzt eine Temperatur von 70°. Dann sind zur Erzeugung von 1000 kg Dampf (unter Vernachlässigung des Wirkungsgrades)

$$1000 (654 - 70) = 584000 \text{ kcal}^*$$

aufzuwenden. Für die Erzeugung von 1000 kg Hochdruckdampf von 30 atü (überhitzt auf 400°) sind demgegenüber aufzuwenden

$$1000 (770 - 70) = 700000 \text{ kcal.}$$

Die Differenz von 116000 kcal dient zur Krafterzeugung und entspricht (ebenfalls unter Vernachlässigung des Wirkungsgrades) 135 kWh. Dieses Beispiel zeigt, daß die weit verbreitete Ansicht, bei gekuppelter Kraft- und Wärmeerzeugung würde eine der beiden Energien „umsonst“ anfallen, irrtümlich ist.

Voraussetzung für eine wirtschaftliche Kupplung von Kraft- und Wärmeerzeugung ist einmal eine gewisse Mindestleistung der Gesamtanlage, da kleine Anlagen dieser Art relativ hohe Anlagekosten erfordern, dann ein möglichst günstiges Verhältnis zwischen Kraft- und Wärmebedarf, und zwar sowohl mengenmäßig als auch zeitlich. Zu dem Wärmebedarf gehört nicht nur der gewerbliche Wärmebedarf, sondern auch der Wärmeverbrauch der Raumheizung für die angeschlossenen Fabrikgebäude. Infolgedessen besteht zwischen dem Wärmebedarf in den Sommermonaten und dem in den Wintermonaten ein beträchtlicher Unterschied, der sich naturgemäß in entsprechender Größenänderung der Krafterzeugung bemerkbar macht. Zum Ausgleich kann entweder im Sommer der Fremdstrombezug stärker in Anspruch genommen werden oder die Eigenerzeugung durch stärkere Belastung des Kondensationsteils von Anzapfmaschinen bzw. durch Zuschaltung von reinen Kondensationsmaschinen auf der erforderlichen Höhe gehalten werden. Beide Maßnahmen erfordern erhöhten Kapitaldienst, im letztgenannten Fall für die Bereitstellung der Leistung des Kondensationsteils oder der besonderen nur im Sommer ausgenutzten Maschinen, im erstgenannten Fall in versteckter Form durch Zahlung einer erhöhten Leistungsgebühr (Anschlußgebühr) an das Elektrizitätswerk. Diese Gebühr stellt übrigens im wesentlichen auch nichts anderes dar als den Kapitaldienst für die Vorhaltung der geforderten Leistung.

Für die Eigenerzeugung kommen neben den Dampfkraftmaschinen (Kolbenmaschinen und Turbinen) auch Verbrennungskraftmaschinen und seltener Wasserkraftmaschinen in Frage. Dieselmotoren sind gegenüber Fremdstrombezug nur bei relativ hohen Strompreisen wirtschaftlich; dasselbe gilt auch für Gasmaschinen mit besonderen Gaserzeugungsanlagen; anders

* Zugrunde gelegt sind die Tabellen und Diagramme für Wasserdampf von Knoblauch, Raisch und Hausen. München u. Berlin: R. Oldenbourg.

bei Großgasmaschinen in Hüttenwerken, die das anfallende Gas von Hochöfen und Kokereien verarbeiten.

Es wäre an und für sich erwünscht, im Rahmen dieses Abschnittes konkrete Angaben über die tatsächlichen Kosten der Eigenerzeugung bei Dampfmaschinen, Turbinen, Gasmaschinen, Dieselmotoren und Wasserkraftmaschinen zu machen. Die hierzu notwendigen, umfangreichen Berechnungen würden jedoch schon nach kurzer Zeit überholt sein, da die Grundlagen z. Z. noch stark im Fluß sind. So zeigen z. B. die Baukosten gegenwärtig eine rückläufige Bewegung; die Ermittlung der Anlagekosten ist somit unsicher geworden. Auch dürften die Brennstoffkosten und die Frachten in absehbarer Zeit eine Veränderung erfahren, so daß auch hierdurch eine weitere Unsicherheit in die Rechnung kommt. Endlich ist der Kapitaldienst z. Z. schwer zu übersehen, da einerseits die hohen, gegenwärtig üblichen Zinssätze auf die Dauer wohl nicht zu halten sind, andererseits die Abschreibungszeit bei der sprunghaften Entwicklung der Technik im letzten Jahrzehnt stark verkürzt werden mußte; bei ruhigerer Entwicklung wird auch die Amortisationsquote wieder fallen können.

Der Vergleich mit dem Fremdstrombezug wird noch dadurch erschwert, daß die Stromtarife heute nur noch selten einfach auf einem festen kWh-Preis aufgebaut sind. Neben verschiedenartigen Rabatten, steigend nach der Stromentnahme und nach der Benutzungsdauer, werden die Strompreise oft nach Leistungs- und Arbeitsgebühr unterteilt. Die Leistungsgebühr soll die festen Kosten (Kapitaldienst, Instandhaltung, Verwaltung), die Arbeitsgebühr den unmittelbaren Aufwand für die abgegebene kWh, also die Kosten für Brennstoff, Schmiermittel, Kühlwasser, Löhne, decken. Außerdem wird meist noch ein Zuschlag für die Lieferung von Blindstrom (bei Entnahme der Leistung mit einem schlechteren Leistungsfaktor — $\cos \varphi$ — als z. B. 0,8) berechnet.

Unter Berücksichtigung der vorstehenden Ausführungen muß daher von der Angabe allgemein gültiger Vergleichszahlen Abstand genommen werden. Von Fall zu Fall ist eine sorgfältige Wirtschaftlichkeitsrechnung aufzustellen. Diese Aufgabe wird zweckmäßig einem Spezialfachmann übertragen, der weder nach der einen noch nach der anderen Seite interessiert ist.

22. Energieerzeugung.

Kesselanlagen. — Dampfkraftmaschinen. — Verbrennungsmotoren. — Generatorgasanlagen. — Rohrleitungen. — Schornsteine.

Während im vorstehenden die verschiedenen für den Fabrikbetrieb in Frage kommenden Energieformen gemeinschaftlich betrachtet worden sind, soll die technische Ausgestaltung der Anlagen für die Eigenerzeugung oder für die Übergabe und für die Verteilung getrennt nach den einzelnen Energieformen behandelt werden.

Zur Projektierung der Kesselanlagen muß der Dampfbedarf bekannt sein. Hiernach ergibt sich die gesamte für den Betrieb erforderliche Heizfläche unter Benutzung der Zahlentafel 70. Hierzu ist ein Zuschlag für Betriebsreserve zu machen, der sich nach der Wahl des Kesselsystems, nach der Zahl der gewählten Kessel, nach der Betriebsart und nach den Speisewasserhältnissen richtet. Das Kesselsystem ist insofern von Einfluß, als z. B. Flammrohrkessel eine sehr hohe Betriebssicherheit besitzen, zumal bei Verwendung einfacher Feuerungen. Je hochwertiger Kessel- und Feuerungssystem sind, um so mehr Störungsmöglichkeiten sind gegeben. Auch dauert die Reparatur von großen Feuerräumen neuzeitlicher Hochleistungskessel entsprechend länger. Im allgemeinen ist damit zu rechnen, daß jeder Kessel einmal im Jahr 1 bis höchstens 2 Monate außer Betrieb ist. Bei reiner Heizdampfherzeugung (für Raumheizung) steht im Sommer genügend Zeit zur Verfügung, um Reinigung und Reparatur ausführen zu können. Bei einfachen, betriebssicheren Feuerungen und nicht zu hohen Kesselbelastungen ist hier kein Reservezuschlag zu machen. Liefert die Kesselanlage außer Heizdampf auch Betriebsdampf, so ist zu prüfen, ob die Reparatur- und Reinigungsarbeiten nicht ebenfalls im Sommer ausgeführt werden können. Eine Reserve ist dann überflüssig, unter der Voraussetzung, daß die Gesamtheizfläche auf wenigstens 2 Kesseleinheiten verteilt wird, von denen auch die kleinere für die Betriebsdampfherzeugung ausreicht. Liefert die Kesselanlage nur Betriebsdampf, sei es für gewerbliche Zwecke oder für Kräfteherzeugung, so muß für Bereithaltung genügender Reserve gesorgt werden. Die Reserve kann durch Aufstellung einer besonderen Einheit (zweckmäßig auf 2 bis 4 Betriebskessel 1 Reservekessel) oder durch vorübergehende Leistungssteigerung der anderen Betriebskessel gebildet werden. Im letzten Fall ist im allgemeinen Voraussetzung, daß

Zahlentafel 70. Kennwerte von Kesselsystemen.

Gruppe	Kesselsystem	Betriebsdruck atü	Heizfläche m ²	Dampfleistung eines Kessels kg/h	Grundflächenbedarf ² je m ² Heizfläche m ²	Verhalten gegen schlechtes Speisewasser
Kleinkessel	Stehender Quersiederkessel	5—12	1,25—25	30—750	0,06—0,3	unempfindlich
	Stehender Rauchröhrenkessel	5—12	3—25	35—650	0,06—0,3	empfindlich
Flammrohrkessel	Liegender Einflammrohrkessel	5—16	15—50	240—1250	0,5—0,7	unempfindlich
	Liegender Zweiflammrohrkessel	5—16	50—150	1000—4500	0,3—0,55	
	Liegender Dreiflammrohrkessel	5—16	150—180	3200—5400	0,3—0,55	
Heizrohrkessel	Liegender Lokomobilkessel	5—16	15—100	400—3200	0,2—0,3	empfindlich
Wasserrohrkessel	Sicherheits-Wasserrohrkessel zur Aufstellung unter bewohnten Räumen	5—16 ¹	10—200	120—3000	0,07—0,15	sehr empfindlich
	Wasserrohr-Sektionalkessel	8—40 ¹	50—1200 ¹	1200—60000 ¹	0,1—0,15	empfindlich
	Wasserrohr-Steilrohrkessel	8—40 ¹	100—1200 ¹	2400—60000 ¹	0,1—0,15	sehr empfindlich

Bemerkungen: ¹ evtl. auch mehr. ² Ohne Ekonomiser, Lufterhitzer, Schornstein, ohne Gänge und ohne Speisepumpen und Wasserreiniger.

wenigstens 3, besser 4 Betriebskessel vorhanden sind, so daß bei Ausfall eines Kessels die Leistung der anderen nur um 50 bzw. 33% gesteigert werden muß. Selbstverständlich darf bei normaler Leistung die spezifische Heizflächenbelastung dann nicht zu hoch gewählt werden.

Zur Wahl des Kesselsystems ist zu sagen, daß Großwasserraumkessel (z. B. Flammrohrkessel) unempfindlicher gegen Belastungsschwankungen sind als Kessel mit geringem Wasserinhalt. Andererseits können solche Kessel starken Belastungsschwankungen und plötzlichen Beanspruchungen durch Steigerung der Feuerungsleistung (bei mechanischen Feuerungen) besser nachkommen. Auch ist ihr Platzbedarf relativ geringer als der von Flammrohrkesseln (siehe Zahlentafel 70). Schließlich ist die Explosionsgefahr bei Wasserrohrkesseln geringer als bei Flammrohrkesseln; dies gilt vor allem für die Auswirkung von Explosionen. Bei Flammrohrkesseln ist ein Zerknall meistens mit verheerenden Folgen verknüpft, während das Platzen eines Siederohres im Wasserrohrkessel kaum als Explosion angesprochen wird. Im allgemeinen kann man annehmen, daß Flammrohrkessel bis zu einer Heizfläche von 100 bis 150 m² je Einheit, Wasserrohrkessel von dieser Grenze ab zweckmäßig sind. In besonderen Fällen werden aber auch kleinere Wasserrohrkessel (etwa von 50 m² ab) ausgeführt. Vor allem werden Wasserrohrkessel ohne Trommeln, also nur aus einem Rohrsystem mit Rohren von weniger als 100 mm \varnothing bestehend, ausgeführt, wenn die Aufstellung der Kessel unter „bewohnten“ Räumen, also auch unter dauernd benutzten Fabrikräumen erfolgen muß.

Wasserrohrkessel werden heute als Steilrohrkessel mit gekrümmten Rohren oder als Sektionalkessel mit geraden Rohren gebaut. Sonderbauarten, wie sie vereinzelt für höchste Drücke, mitunter auch für normale Drücke ausgeführt werden, können hier vernachlässigt werden. Die Wahl zwischen Steilrohrkessel und Sektionalkessel (Teilkammer-) Kessel ist nicht leicht. Beide Systeme haben ihre Vor- und Nachteile, die noch dazu umstritten sind. Sektionalkessel lassen sich leichter reinigen, auch ist die Haltung von Reserverohren und die Auswechslung der Rohre einfacher als beim Steilrohrkessel. Als Hauptvorteil des Steilrohrkessels wird die größere Elastizität des Kesselsystems und die Verringerung der Widerstände im Wasser-Dampf-Kreislauf ins Feld geführt, beides Eigenschaften, die vor allem bei Hochleistungskesseln eine Rolle spielen. Im übrigen sprechen bei der Wahl auch persönliche Einstellungen und Erfahrungen mit; man kann aber sagen, daß beide Kesselsysteme etwa gleichwertig sind.

Zur Erzeugung von überhitztem Dampf werden die Kessel je nach dem Grade der Überhitzung mit mehr oder weniger großen Überhitzern ausgerüstet. Früher wurden die Über-

hitzer so eingebaut, daß sie nach Belieben durch Klappen aus dem Rauchgasstrom ganz oder teilweise ausgeschaltet werden konnten. Man hat diese Bauart aber verlassen, weil die Klappen bei höher beanspruchten Kesseln auf die Dauer nicht dicht halten und dann die Gefahr besteht, daß die auch dampfseitig ausgeschalteten, also ungekühlten, Überhitzer verbrennen. Die

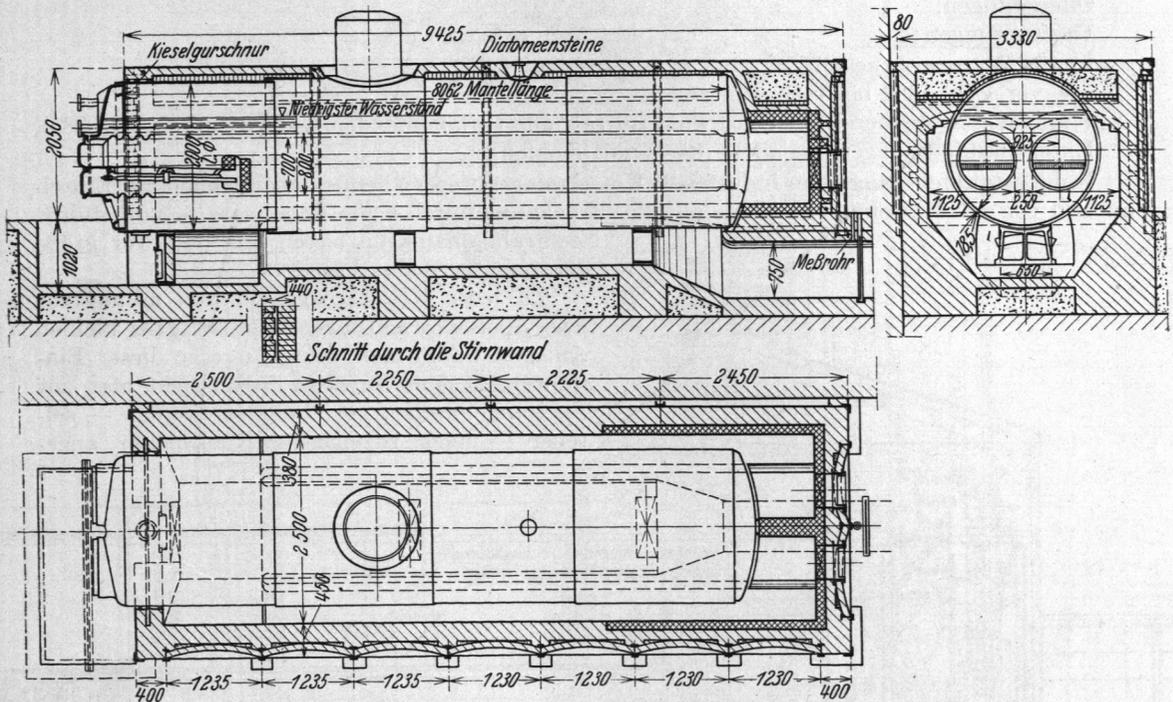


Abb. 379. Zweiflammrohrkessel von 70 m² Heizfläche, 13 atü Betriebsdruck, mit Planrostfeuerung.

Überhitzungstemperatur wird heute — wenn überhaupt — durch Einspritzen von Wasser oder durch Oberflächenkühlung des Heißdampfes geregelt.

Je höher die Beanspruchung der Kessel ist, um so höher ist die Temperatur, mit der die Abgase den Kessel verlassen. Bei hochbeanspruchten Kesseln werden daher die Abgase in Rauchgasvorwärmern (Ekonomisern) zur Erwärmung des Speisewassers (evtl. zur Erwärmung von Gebrauchswasser) ausgenutzt. An deren Stelle treten vielfach auch Luftherhitzer zur Vorwärmung der Verbrennungsluft oder zum Betrieb von Luftheizungen (s. auch den Abschnitt „Heizung und Lüftung“). Bei niedriger beanspruchten Kesseln lohnt sich der Einbau derartiger Einrichtungen nur, wenn die Benutzungsdauer der Kesselanlage groß ist. Bei Heizkesseln mit reinem Winterbetrieb trifft dies meistens nicht zu. Die Wirtschaftlichkeit der Rauchgasausnutzung muß daher von Fall zu Fall rechnerisch geprüft werden; sie ist vor allem auch vom Wärmepreis des Brennstoffes abhängig.



Abb. 380. Flammrohrkessel-Anlage; links ein Kessel mit Wurfheizung.

Als Feuerungen kommen für Dampfkessel in industriellen Betrieben in Frage:

a) Für Flammrohrkessel

Planroste mit Handbeschickung für Steinkohle und für Braunkohlenbriketts (Abb. 379),

Planroste mit Wurfheizung für Steinkohle und für Braunkohlenbriketts (Abb. 380),

Spezialroste mit Unterwind zur Verfeuerung feinkörnigen Brennstoffs,

Kohlenstaubfeuerungen für alle Kohlenarten (bis auf Koks, Anthrazit und Magerkohlen) (Abb. 381)¹,

Vorfeuerungen, Treppenroste, Schrägroste für Rohbraunkohle,
Schachtfeuerungen für Abfallbrennstoffe, z. B. Sägespäne, Reisstroh u. dgl.,
Ölfeuerungen,
Gasfeuerungen;

b) für Wasserrohrkessel
wie vor (Abb. 382 bis 384), außerdem
Wanderroste ohne und mit Unterwind für fast alle vorkommenden Kohlenarten (Abb. 385),
Unterschubfeuerungen für nicht backende Kohlen.

Kohlenstaubfeuerungen für industrielle Kesselanlagen werden heute ausschließlich mit Einzelmühlen vor den Kesseln — meistens mit Mahltrocknung durch heiße Rauchgase — ausgeführt.

Zentralmahlanlagen haben nur noch für große Kraftwerke Bedeutung.

Zu jeder Kesselanlage gehören mindestens zwei Speisevorrichtungen. Nur bei ganz kleinen Anlagen wählt man heute für eine dieser Einrichtungen einen Injektor; sonst sieht man zur Speisung Pumpen vor. Daneben werden — seltener — auch sogenannte Rückspeiser ange-

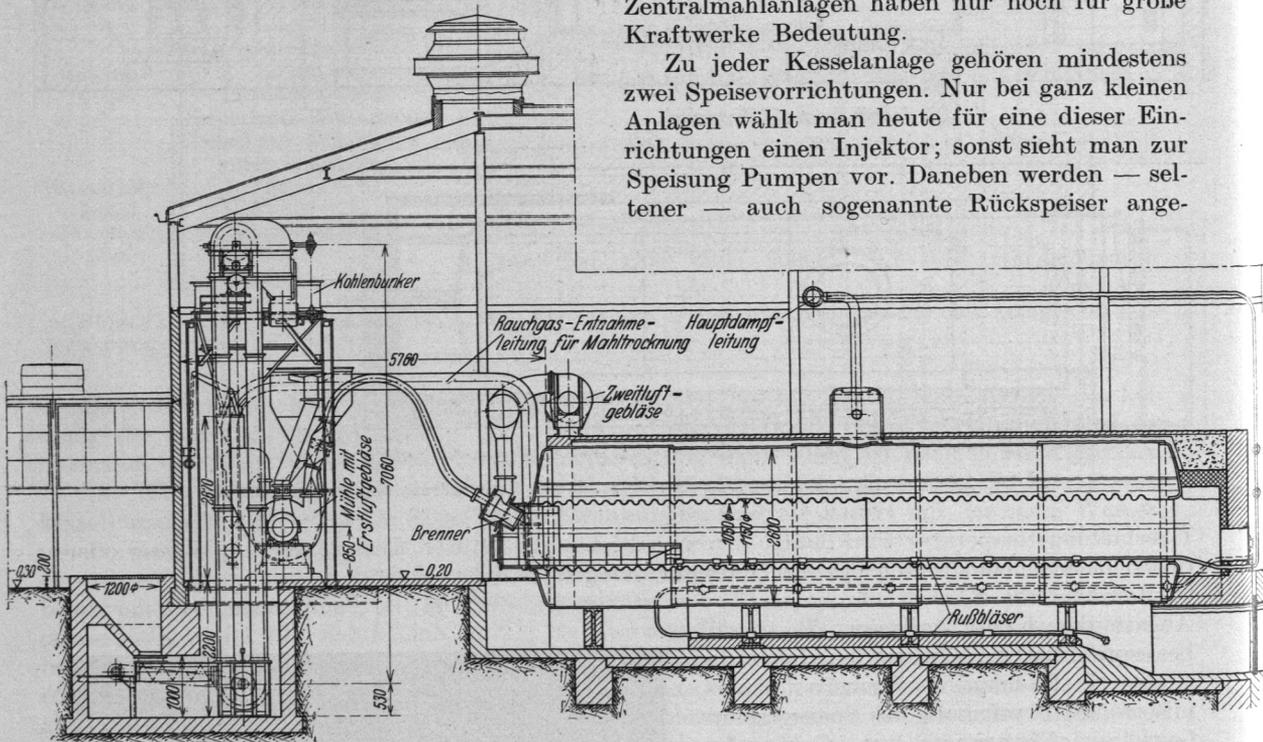


Abb. 381. Flammrohrkessel mit Kohlenstaubinnenfeuerung, 125 m² Heizfläche, 6 atü Betriebsdruck.

wandt. Als Speisepumpen kommen kurbellose Dampfkolbenpumpen, vielfach als Duplexpumpen gebaut, ferner elektrisch angetriebene Kreiselpumpen und Kreiselpumpen mit Dampfturbinenantrieb in Frage. Für kleinere Leistungen sind Kolbenpumpen vorzuziehen, zumal sie sich sehr gut regeln lassen. Ihr Nachteil ist, daß das Kesselspeisewasser nicht restlos frei von Öl bleibt. Öl ist bei hoch beanspruchten Kesseln aber als gefährlich für den Kessel anzusprechen. Daher verwendet man bei größeren, höher beanspruchten Kesselanlagen besser Kreiselpumpen. Eine große Betriebssicherheit wird erzielt, wenn eine Pumpe mit Dampf, die andere elektrisch angetrieben wird. Nach den gesetzlichen Vorschriften muß die Leistung der beiden unabhängig voneinander arbeitenden Speisevorrichtungen je doppelt so hoch sein wie die maximale Kesselleistung. Daraus ergibt sich, daß insgesamt an Pumpenleistung die vierfache Kesselleistung einzubauen ist. Zweckmäßig wird daher die Pumpenleistung bei größeren Anlagen auf 3 Pumpen verteilt, von denen eine die vorgeschriebene doppelte Kesselleistung besitzt. Sie erhält meistens Dampftrieb und dient als Reserve; die beiden anderen Pumpen erhalten je eine Kesselleistung bei elektrischem Antrieb. Auf diese Art wird ein wirtschaftlicher Pumpenbetrieb gewährleistet.

¹ Näheres siehe O. Leppin: Kohlenstaubfeuerung beim Flammrohrkessel. Arch. Wärmewirtsch., Heft 10. Berlin: VDI-Verlag 1932.

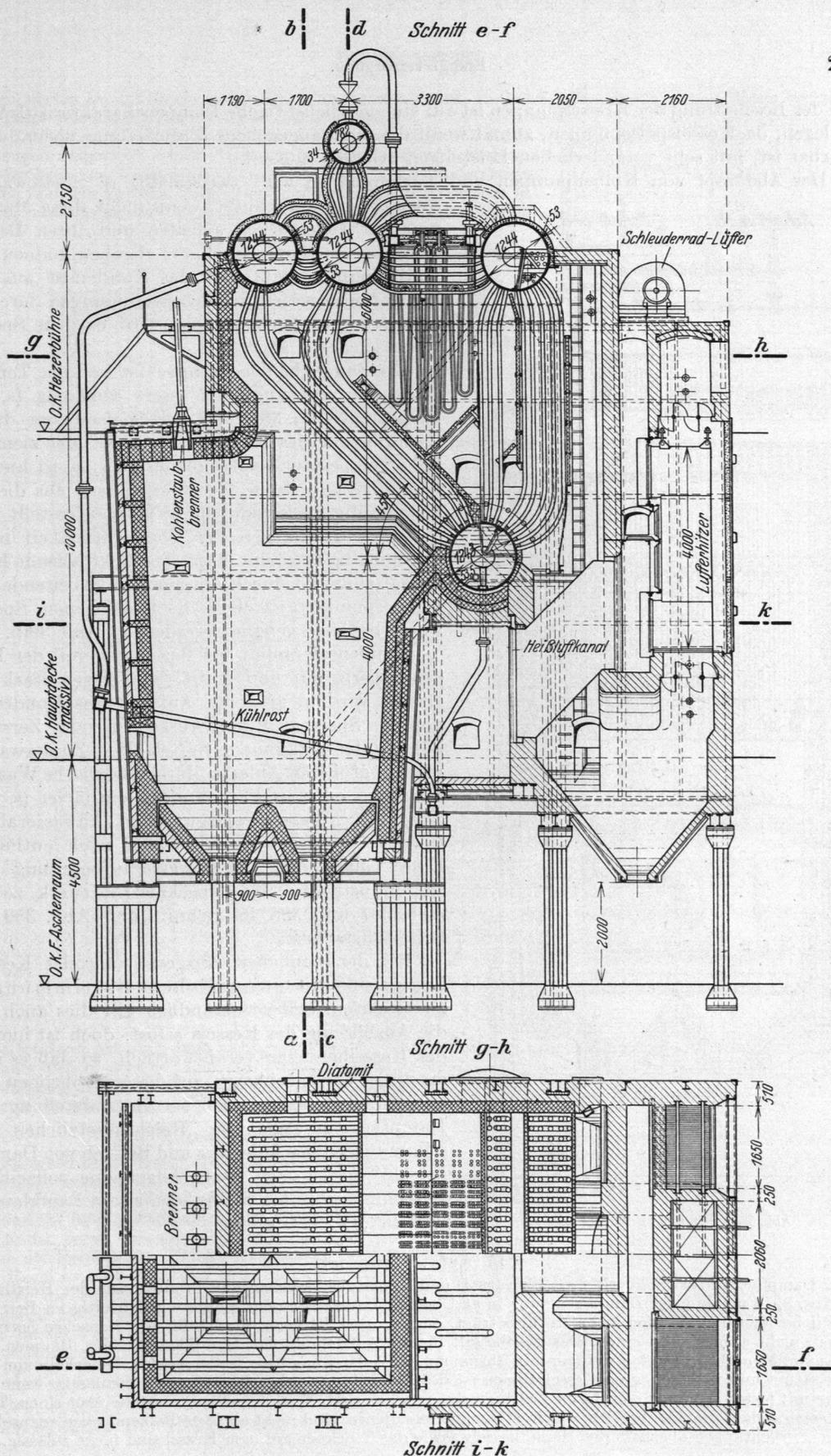


Abb. 382 und 383. Wasserrohr-(Steilrohr-)Kessel von 41 atü Betriebsdruck mit Kohlenstaubfeuerung; der Lufterhitzer dient zur Vorwärmung der Verbrennungsluft.
 Heizflächen: a Kessel 550 m², b Überhitzer 213 m², c Lufterhitzer 440 m².

Bei der Beschaffung der Kreiselpumpen ist auf eine möglichst flache Pumpencharakteristik Wert zu legen, da Kesselspeisepumpen, zumal wenn die oben angegebene Unterteilung nicht durchführbar ist, mit sehr veränderlichen Leistungen arbeiten müssen.

Der Abdampf von Kolbenpumpen und Turbopumpen wird zweckmäßig in Speisewasservorwärmern ausgenutzt, wenn nicht diese Maschinen auf Gegendruck arbeiten und ihren Dampf direkt in ein Niederdrucknetz abgeben können. Bei Kolbenpumpen läßt man das Kondensat aus den Vorwärmern wegen der Verunreinigungen durch Öl ablaufen, bei Turbopumpen wird es dem Speisewasserkreislauf zugeführt.

Die Saughöhe der Pumpen ist von der Temperatur des angesaugten Wassers abhängig (s. das Diagramm Abb. 386). Da das Speisewasser durch Rückführung des Kondensates meist eine ziemlich hohe Temperatur besitzt (60 bis 90°), so ist hierauf besonders zu achten. Meistens müssen aus diesem Grunde die Speisepumpen vertieft aufgestellt werden. Wo dies wegen der Übersichtlichkeit nicht zweckmäßig erscheint, kann das rückfließende Kondensat zunächst durch automatisch arbeitende Zubringerpumpen in einen hoch gelegenen Speisewasserbehälter gehoben werden (s. Abb. 390).

Kondensat nimmt bei Berührung mit der Luft diese gierig auf und greift dann Eisen stark an. Darum wird in größeren Anlagen das Kondensat vor der Speisung durch Aufkochen oder Zerstäubung unter Vakuum entlüftet. Das Zusatzwasser wird in größeren Anlagen durch chemische Wasserreinigung oder in Verdampfern enthärtet (s. den Abschnitt „Wasserversorgung und Abwasserableitung“) und gegebenenfalls auch noch entlüftet. Eine vollständige Speisewasseraufbereitung für ein industrielles Hochdruckheizkraftwerk zeigen Abb. 387 und 388 im Schnitt und Abb. 389 im Schaltungsschema.

Bei der baulichen Ausgestaltung des Kesselhauses sind die gesetzlichen Bestimmungen zu beachten. Selbstverständlich gilt dies auch für die Ausbildung des Kessels selbst, doch ist hierfür der Kesselhersteller verantwortlich, so daß es sich an dieser Stelle erübrigt, auf die einschlägigen Bestimmungen einzugehen. Über die Aufstellung von Dampfkesseln sagen die „Reichsgesetzlichen Bestimmungen über Anlegung und Betrieb von Dampfkesseln“ unter dem Titel „Allgemeine polizeiliche Bestimmungen über die Anlegung von Landdampfkesseln“, V. Aufstellung:

§ 15. Aufstellungsort.

1. Dampfkessel für mehr als 6 at Überdruck und solche, bei welchen das Produkt aus der Heizfläche (§ 3 Abs. 3) in m^2 und der Dampfspannung in at Überdruck für einen oder mehrere gleichzeitig im Betriebe befindliche Kessel zusammen mehr als 30 beträgt, dürfen unter Räumen, die häufig von Menschen betreten werden, nicht aufgestellt werden. Das gleiche gilt für die Aufstellung von Dampfkesseln über Räumen, die häufig von Menschen betreten werden, mit Ausnahme der Aufstellung über Kellerräumen. Innerhalb von Betriebsstätten und in besonderen Kesselräumen ist die Aufstellung solcher Dampfkessel unzulässig, wenn die Räume mit fester Wölbung oder fester Balkendecke versehen sind. Feste Konstruktionsteile über einem Teile des Kesselraumes, die den Zwecken der Rostbeschickung dienen, sind nicht als feste Balkendecken anzusehen. Trockeneinrichtungen oberhalb des Dampfkessels sowie das Trocknen auf dem Kessel sind nicht zulässig. Bei

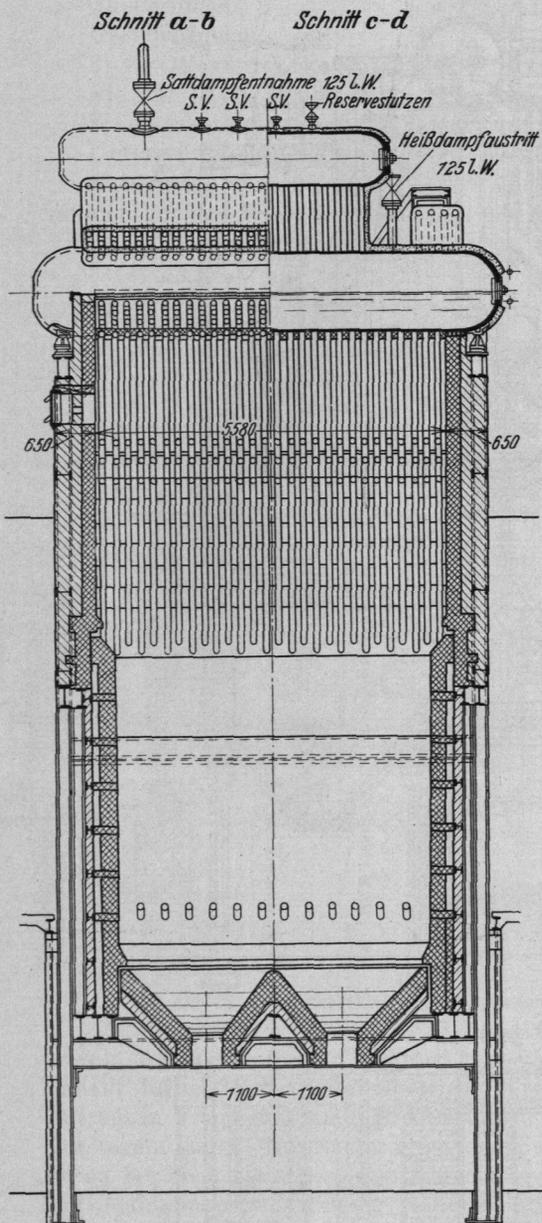


Abb. 384. Schnitte zu Abb. 382.

eingemauerten Dampfkesseln, deren Plattform betreten wird, muß oberhalb derselben eine mittlere verkehrsfreie Höhe von mindestens 1800 mm vorhanden sein.

2. Dampfkessel, die in Bergwerken unterirdisch oder auf Kraftfahrzeugen aufgestellt werden, und solche, welche ausschließlich aus Wasserrohren von weniger als 100 mm Lichtweite oder aus derartigen Rohren und den zu ihrer Verbindung angewendeten Rohrstücken bestehen, unterliegen den vorstehenden Bestimmungen nicht, Dampf-

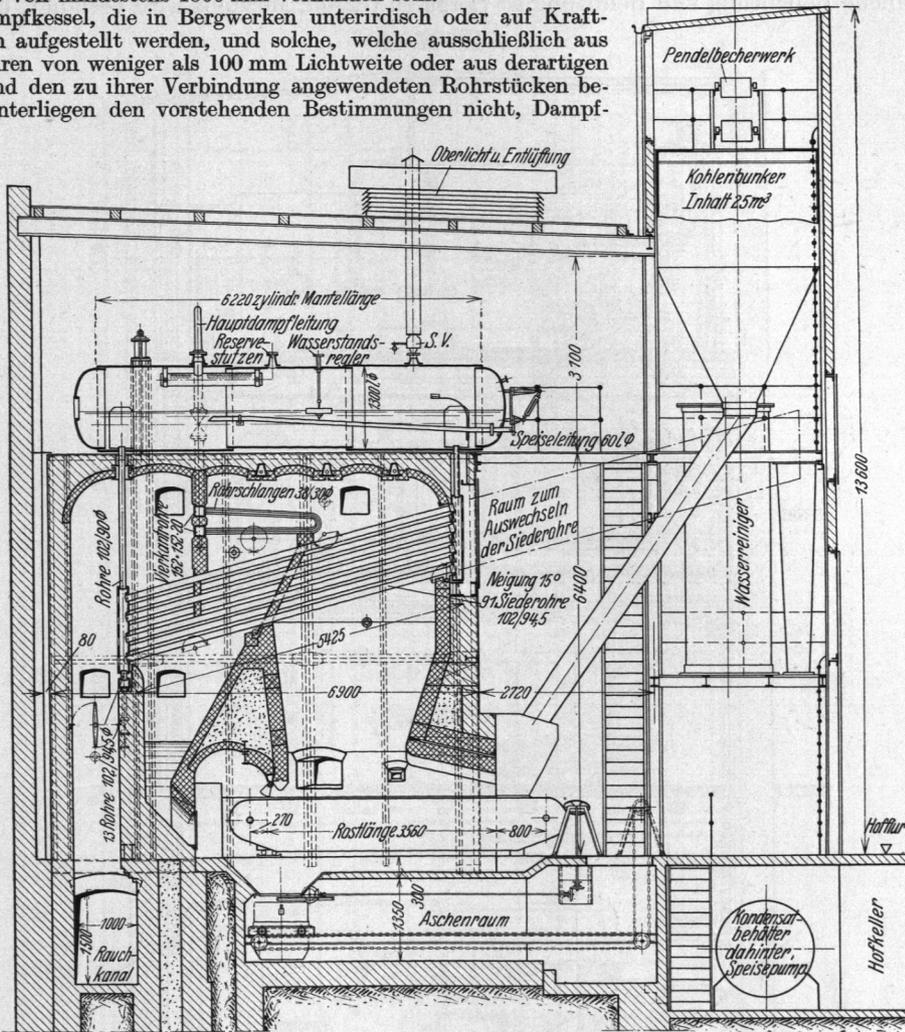


Abb. 385. Wasserrohr-(Sektional-)Kessel für 12 atü Betriebsdruck mit Wanderrostfeuerung.
Heizflächen: a Kessel 175 m², b Überhitzer 31 m².

kessel letzterer Art auch dann nicht, wenn sie mit Schlamm-sammlern und mit Oberkesseln, die nur als Dampfsammler dienen, versehen sind. Auf Wasserkammerrohrkessel mit Rohren unter 100 mm Lichtweite finden die Bestimmungen des Abs. 1 dann keine Anwendung, wenn ihre Rohre nahtlos hergestellt sind, die Wandungen ihrer Oberkessel von den Heizgasen nicht berührt werden und ihr Dampfdruck 6 at nicht übersteigt.

§ 16. Kesselmauerung.

Zwischen dem Mauerwerk, das den Feuerraum und die Feuerzüge feststehender Dampfkessel einschließt, und den dieses umgebenden Wänden muß ein Zwischenraum von mindestens 80 mm verbleiben, der oben abgedeckt und an den Enden verschlossen werden darf. Die Feuerzüge müssen durch genügend weite Einfahröffnungen zugänglich und in der Regel so groß bemessen sein, daß sie befahrbar sind. Werden die Feuerzüge benachbarter Kessel durch eine gemeinsame Mauer getrennt, so ist diese mindestens 340 mm dick herzustellen. Das Kesselmauerwerk darf nicht zur Unterstützung von Gebäudeteilen benutzt werden.

Hierzu ist noch zu bemerken, daß Kesselhäuser in der Regel zwei ins Freie führende Ausgänge haben müssen. Für Reparaturen und Montagen ist

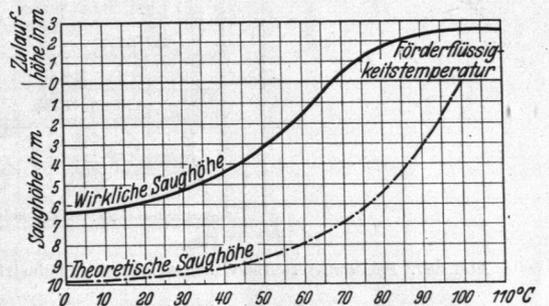


Abb. 386. Die Saughöhe von Pumpen ist von der Temperatur der Förderflüssigkeit abhängig; bei Temperaturen über 70° C muß die Flüssigkeit den Pumpen mit den im Diagramm angegebenen Höhen zulaufen.

es zweckmäßig, ein großes Tor (wenigstens 3000×3500 bzw. 3000×4000 mm) vorzusehen. Für reichliche Belichtung und Belüftung ist Sorge zu tragen. Meistens wird verlangt, daß $\frac{1}{3}$ der

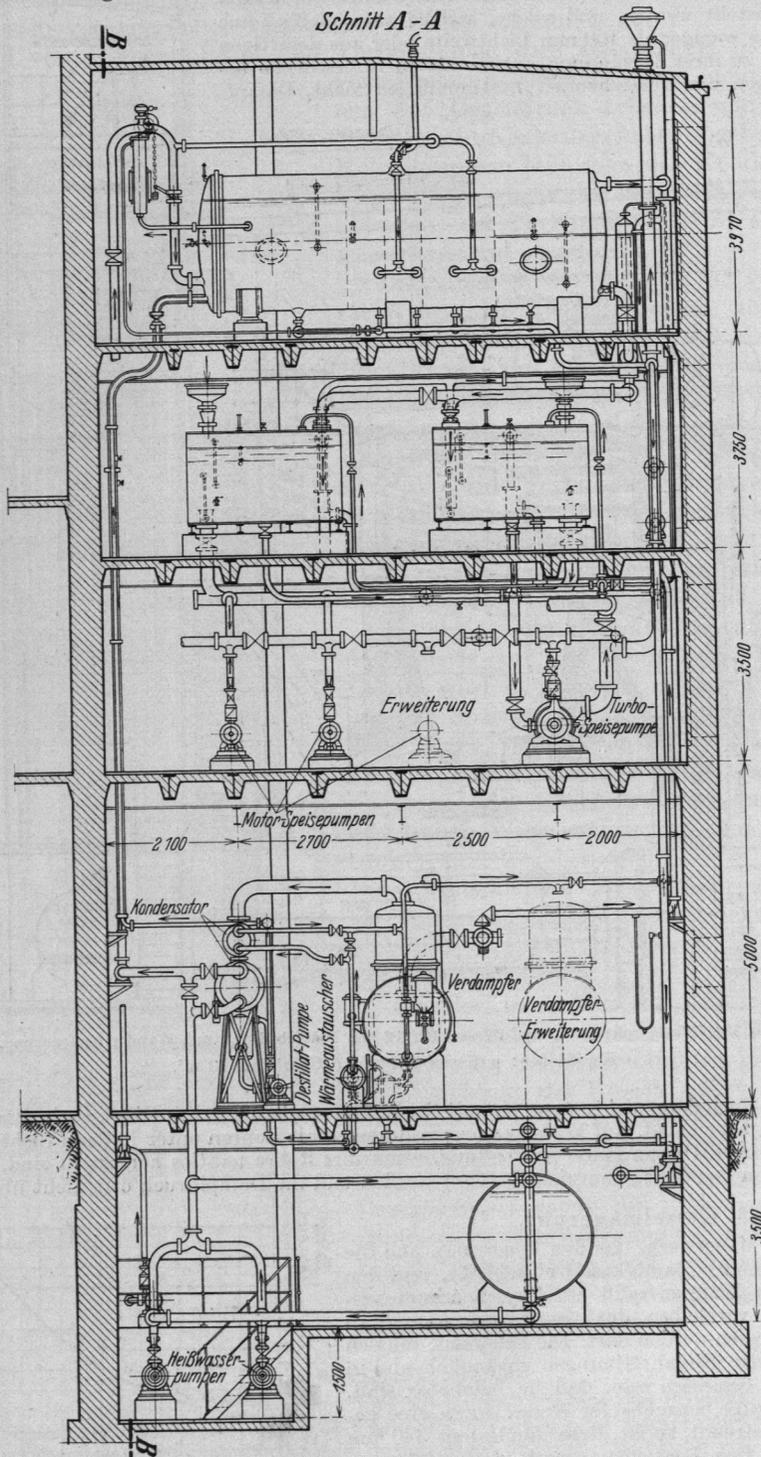


Abb. 387. Speisewasseraufbereitungsanlage eines industriellen Heizkraftwerkes. (Siehe auch das Schaltungsschema Abb. 389.)

gesamten Fensterfläche offenbar ausgeführt wird. — Als Dachdecken von Kesselhäusern können auch Leichtsteindachdecken ausgeführt werden, was in bezug auf die etwas unklare Formulierung des § 15 der oben angegebenen Bestimmungen bemerkenswert ist.

Im übrigen sei auf die vorstehend und in den Abb. 390 bis 393 wiedergegebenen Ausführungsbeispiele hingewiesen. Alle hier dargestellten Kesselhäuser sind in Mauerwerk, z. T. mit

Schnitt B-B

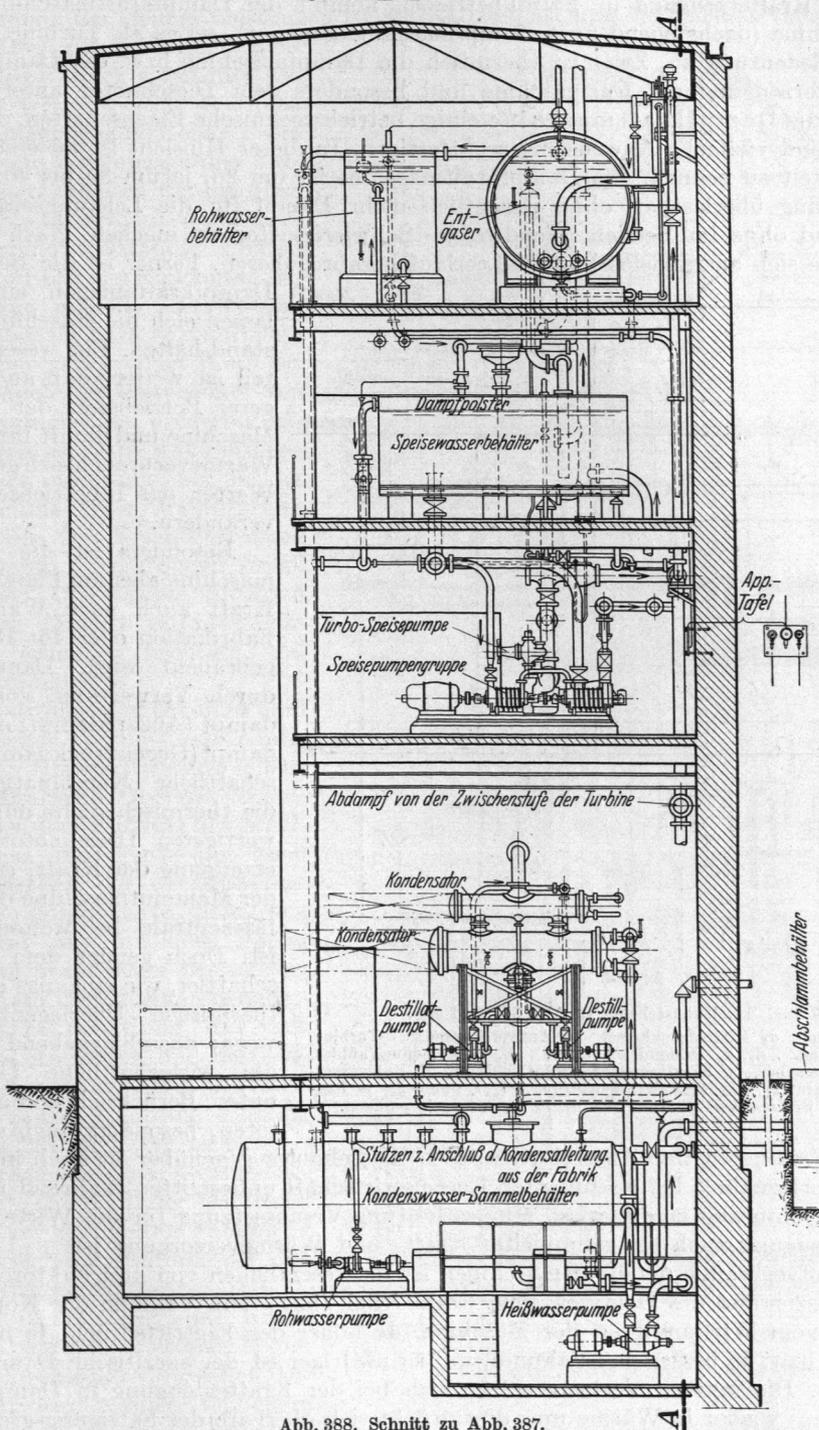


Abb. 388. Schnitt zu Abb. 387.

Eisenkonstruktion für Stützen und Dachverband, z. T. in Holzkonstruktion für das Dach ausgeführt. Mitunter trifft man für Kesselhäuser auch die Eisenbetonbauweise an, doch ist diese der Ausführung in Mauerwerk hier unterlegen, weil einmal die Gesamtbauzeit infolge der

Behinderung der Kesselmontage durch stehenbleibende Schalung verlängert wird und andererseits nachträgliche und spätere Änderungen und Ergänzungen an Rohrleitungen, Transportanlagen usw. erschwert werden.

Für die **Krafterzeugung** in Fabrikbetrieben kommt der Dampfkraftmaschine, sei es als Kolbenmaschine (nachstehend kurz Dampfmaschine genannt), sei es als Turbine, noch immer die größte Bedeutung zu. Zwar ist thermisch die Dampfmaschine bzw. die Dampfturbine bei reiner Krafterzeugung der Gasmaschine und besonders dem Dieselmotor unterlegen. Dafür besitzt aber die Dampfkraftmaschine einige betriebstechnische Eigenschaften, die ihre große Beliebtheit und vielfache Anwendung rechtfertigen. In dieser Hinsicht ist an erster Stelle die Überlastbarkeit zu nennen. Die Dampfkraftmaschine ist um 25, ja um 30 bis 40% ihrer normalen Leistung überlastbar, ohne wesentlich mehr Dampf für die Leistungseinheit zu verbrauchen und ohne im Betrieb irgendwelche Schwierigkeiten zu machen. Nach der anderen Seite läßt sie sich anstandslos bis auf Leerlauf herabregulieren. Ferner ist die Bedienung von

Dampfkraftanlagen einfach; auch lassen sich die Maschinen leicht instand halten. Ein wesentlicher Vorteil ist weiter, daß auch nach längerer Betriebszeit der Zustand der Maschine und damit ihr spezifischer Wärmeverbrauch sich gegenüber den Werten der Inbetriebsetzung kaum verändern.

Besonders ist die Dampfkraftmaschine aber am Platz, wenn außer Kraft auch noch Wärme für die Fabrikation oder für Raumheizung gebraucht wird. Dann läßt sich durch Verwertung von Zwischendampf (Anzapfdampf) oder von Abdampf (Gegendruckdampf) eine wirtschaftliche Kombination erzielen, die thermisch nicht nur dem hochwertigsten Dieselmotor für Eigenerzeugung der Kraft, sondern auch der Mammutfabrikation der Elektrizitätszentrale bei weitem überlegen ist. Doch genügt dem Wärmewirtschaftler, wie eingangs erwähnt, die thermische Überlegenheit keineswegs; ausschlaggebend ist für ihn die wirtschaftliche Überlegenheit unter Berücksichtigung aller Faktoren, besonders auch des Kapital-

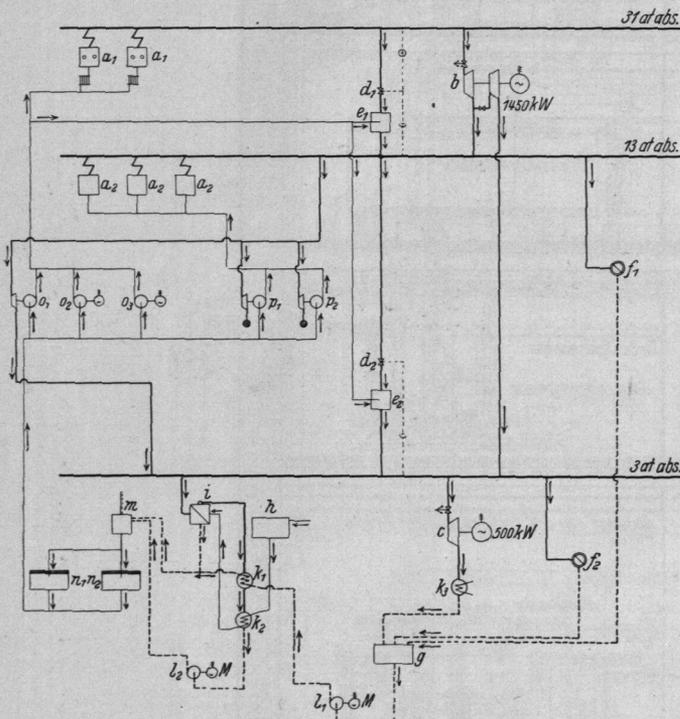


Abb. 389. Schaltungsschema zu Abb. 387 und 388.

a_1 Hochdruckkessel, a_2 Mitteldruckkessel, b Anzapf-Gegendruck-Turbine, c Abdampf-Turbine, d_1, d_2 Dampfdruckregler, e_1, e_2 Heißdampf Kühler, f_1, f_2 Dampfverbraucher, g Kondenswassersammelbehälter, h Rohwasserbehälter, i Verdampfer, k_1, k_2, k_3 Kondensatoren, l_1, l_2 Pumpen, m Entgaser, n_1, n_2 Speisewasserbehälter, o_1, o_2, o_3, p_1, p_2 Speisepumpen.

dienstes für Verzinsung und Amortisation. Dem Dieselmotor gegenüber ist auch in dieser Hinsicht die Überlegenheit bei gekuppelter Energiewirtschaft unbestritten, während im Vergleich zum Fremdstrombezug eine gewisse Mindestleistung Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit der Eigenerzeugung auch bei gekuppelter Kraft- und Wärmeversorgung ist.

Der Dampfverbrauch der Kraftmaschinen ist im wesentlichen von drei Faktoren abhängig: Vom Eintrittszustand des Dampfes, vom Gegendruck (bzw. vom Vakuum der Kondensationsanlage) und vom Wirkungsgrad der Maschine. Je höher der Eintrittsdruck, je niedriger der Gegendruck, bzw. je besser das Vakuum, um so niedriger ist der spezifische Dampfverbrauch der Maschine. Die inneren Verluste setzen sich bei der Krafterzeugung in Dampfmaschinen (oder Turbinen) wieder in Wärme um; dies drückt sich oberhalb der Sättigungsgrenze in einer Überhitzung, unterhalb derselben in einer Trocknung des aus der Maschine ausströmenden Dampfes aus. Eine Verschlechterung des Wirkungsgrades bedeutet nach vorstehendem einen höheren Wärmeinhalt des ausströmenden Dampfes. Dieser höhere Wärmeinhalt ist bei Kondensationsmaschinen für den Arbeitsprozeß verloren. Bei Gegendruckmaschinen ist er natürlich

für die Kräfteerzeugung ebenfalls wertlos, für die Verwertung des Abdampfes zu Heizzwecken aber voll ausnützlich. Aus diesem Grunde braucht man bei Gegendruckmaschinen einem guten Wirkungsgrad nicht die Bedeutung beizumessen, die ihm bei Kondensationsmaschinen mit Recht zukommt. Bei kleinen Leistungen ist die Kolbenmaschine der Turbine thermodynamisch überlegen. Dies gilt auch für Gegendruckmaschinen, doch spielt hier wie gesagt der Wirkungsgrad meistens keine ausschlaggebende Rolle. Trotz des schlechten Wirkungsgrades kleinerer Turbineneinheiten werden diese oft der Kolbenmaschine vorgezogen, da die Turbine vollständig ölfreien Abdampf und ölfreies Kondensat liefert, was für manche Fabrikation, besonders aber für hoch beanspruchte Kesselanlagen von großem Wert ist. Weiter ist auch der Platzbedarf von Turbinen geringer. Bei größeren Leistungen spielt auch die Fundierungsfrage insofern eine Rolle, als bei der Kolbenmaschine freie Massenkräfte auftreten, die zu Erschütterungen bzw. zu teuren Fundierungen Anlaß geben können. Die Turbine mit ihren umlaufenden Massen erfordert dagegen nur erheblich leichtere und billigere Fundamente.

Die Schaltungsmöglichkeiten sind bei gekuppelter Wärme- und Kräfteerzeugung in Heizkraftwerken außerordentlich zahlreich. Oberster Grundsatz muß bei dem Entwurf des Schaltungsschemas die Forderung nach Betriebssicherheit der Gesamtanlage sein. Eine komplizierte Schaltung bringt meist nur auf dem Papier Vorteile. Im praktischen Betrieb bewährt sich am besten eine übersichtliche, einfache Schaltung, die auch eine spätere Änderung der Betriebsverhältnisse erlaubt, ohne daß hierdurch die ganze Schaltung hinfällig wird. Abb. 394 und 389 zeigen typische Schaltungen neuzeitlicher Heizkraftwerke¹. Die Wahl der Schaltung kann nur ein geschulter Fachmann nach gründlichem Studium der Betriebsverhältnisse treffen.

Für die Aufstellung der Kraftmaschinen werden meistens besondere Maschinenhäuser vorgesehen. Die Maschinenhäuser wurden früher in der Regel zur Unterbringung der Kondensationsanlagen unterkellert. Heute zieht man es, wenigstens bei Dampfturbinen vor, den Bedienungsflur des Maschinenhauses einige Meter

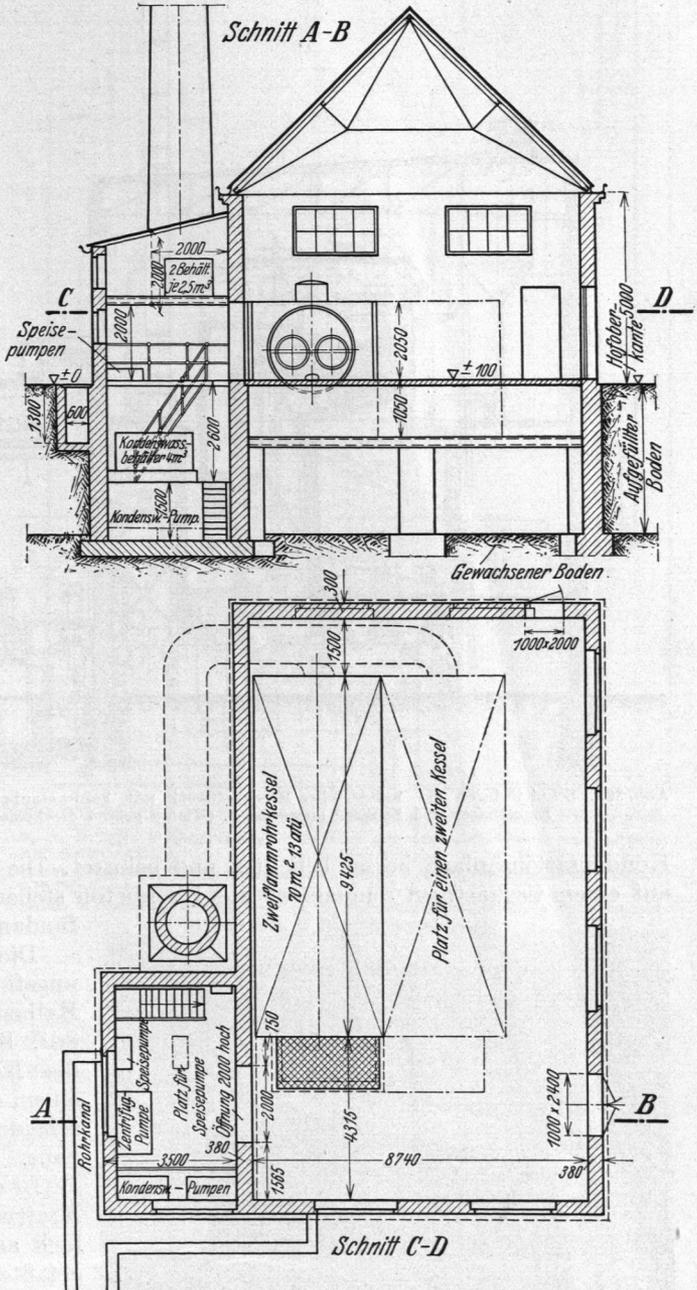


Abb. 390 und 391. Kesselhaus für 2 Zweiflammrohrkessel mit Anbau für Speisepumpen. (Kesselzeichnung hierzu siehe Abb. 379.)

¹ Die hierbei benutzten Sinnbilder entsprechen den von Dr.-Ing. Stender angegebenen; siehe Stender: Schaltbilder im Wärmekraftbetrieb. Berlin: VDI-Verlag 1928.

über Terrain anzuordnen, so daß der Raum für die Kondensationsanlagen zu ebener Erde liegt. Hierdurch werden Grundwasserabsenkungen, Abdichtungen usw. erspart; auch ist die

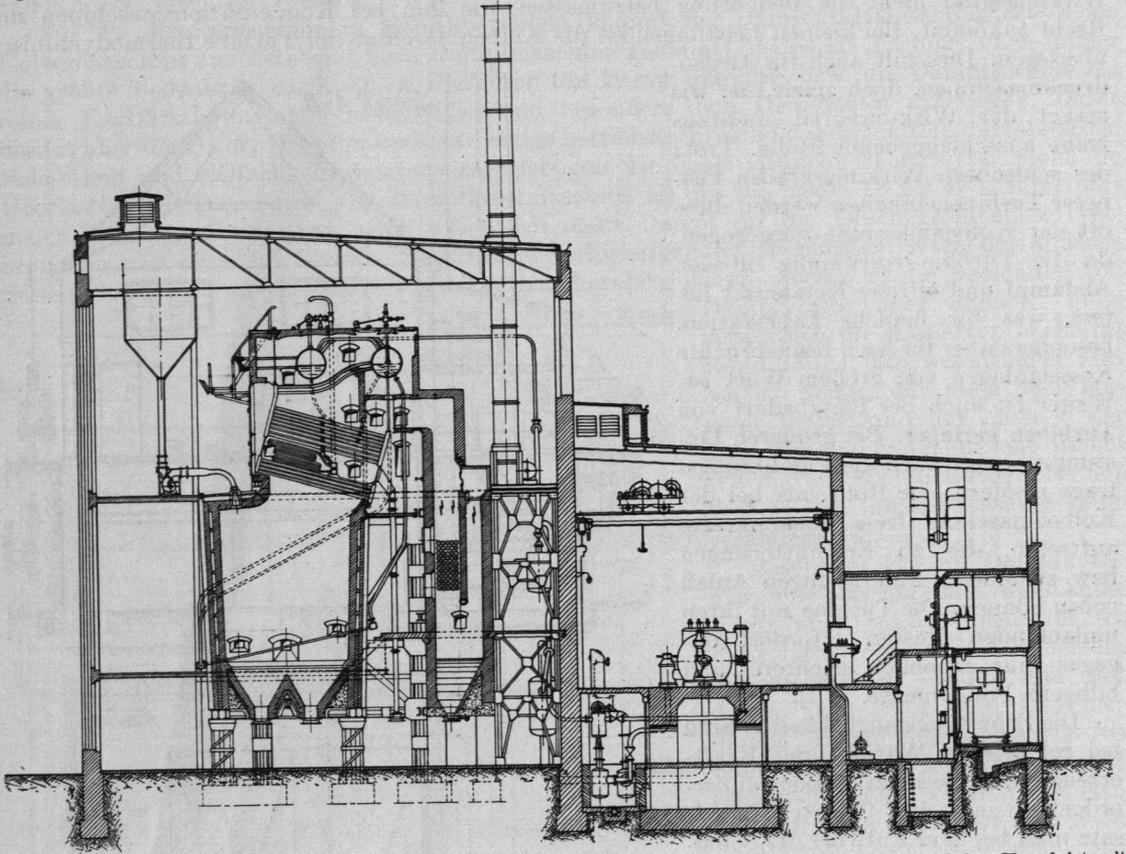


Abb. 392. Schnitt durch ein industrielles Heizkraftwerk mit kohlenstaubgefeuerten Hochdruckkesseln; jeder Kessel ist mit Ekonomiser und Saugzug ausgerüstet. (Hierzu gehört die Speisewasseraufbereitung Abb. 387 bis 389.)

Kondensationsanlage besser belichtet und belüftet. Die Hauptmaschine muß dann allerdings auf einem tischartigen Fundament aus Eisenbeton stehen (s. auch den Abschnitt „Maschinenfundamente“).

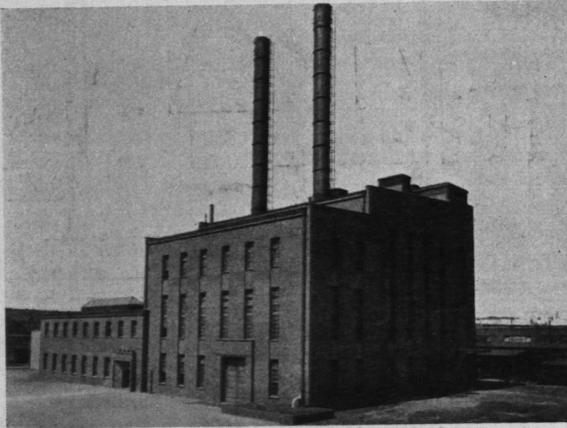


Abb. 393. Kesselhaus¹ mit Vorbau für Speisewasseraufbereitungs- und Dampfverteilungs-Anlagen. Das Kesselhaus enthält zwei Hochdruckkessel nach Abb. 382. Die Schaltung der Anlage ist in Abb. 394 wiedergegeben.

Die Zahlentafeln 71 und 72 geben die ungefähre Größe von Maschinenhäusern für Kolbendampfmaschinen und Dampfturbinen an². Bei der Aufstellung von Lokomobilen, die Kesselanlage und Dampfmaschine in einem Aggregat vereinigen, entfällt die Unterscheidung von Kesselhaus und Maschinenhaus.

In den Maschinenhäusern der Heiz- und Kraftwerke von Fabrikbetrieben werden vielfach auch noch andere zentral zusammengefaßte Maschinenanlagen untergebracht, z. B. Kompressoren, Gebläse, Pumpen, Umformer usw.

Die Kondensationsanlagen werden entweder für Einspritz- (Misch-) oder für Oberflächenkondensation ausgeführt. Ein-

¹ Entwurf: Architekt BDA Dr. W. Klingenberg, Berlin.

² Der Einheitlichkeit halber sind hier alle Leistungsangaben in kW ausgedrückt: 1 PS = 0,736 kW.

spritzkondensation ist in der Anlage billiger, braucht weniger Kühlwasser, ergibt aber auch ein schlechteres Vakuum. Daher werden Kolbenmaschinen, die ohnehin kein hohes Vakuum ausnützen können, meistens mit Einspritzkondensation ausgerüstet; Dampfturbinen erhalten dagegen Oberflächenkondensation, weil für sie ein hohes Vakuum sehr wichtig ist. Man kann überschläglich annehmen, daß 1% Vakuumverbesserung eine Leistungssteigerung von 1,5% mit sich bringt. Zur Erreichung eines guten Vakuums ist die Verwendung möglichst kalten Kühlwassers in reichlichen Mengen anzustreben. In Abb. 401 ist das erreichbare Vakuum in Abhängigkeit von der Kühlwassermenge und der Kühlwasser-Eintrittstemperatur aufgetragen. Das Kühlwasser wird nach Möglichkeit einem Wasserlauf entnommen und diesem auch wieder zugeleitet, nachdem es den Kondensator durchströmt hat (s. auch den Abschnitt „Wasserversorgung und Abwasserableitung“). Im Sommer steigt die Kühlwasser-Eintrittstemperatur in solchem Fall allerdings bis etwa 20° an. Grundwasser hat dagegen auch im Sommer eine niedrigere Temperatur, und zwar etwa 12° ; die Beschaffung von Grundwasser für Kühlzwecke ist aber bei großem Kühlwasserbedarf zu teuer. Wo kein Wasserlauf in der Nähe der Kondensationsanlage vorhanden ist, wird das Kühlwasser in Kühlteichen oder in Kühltürmen bzw. in Rieselkühlern zurückgekühlt. Kühlteiche haben nach der „Hütte“ nur eine geringe Kühlwirkung und erfordern 4 bis 5 m^2 Fläche je kW Maschinenleistung. Der Grundflächenbedarf von offenen und geschlossenen Gradierwerken ist dagegen sehr klein; er beträgt nur $0,25 \text{ m}^2$ für 100 kg im Kondensator niederschlagenden Abdampf. Bei Kaminkühlern wird für 100 kg Abdampf 0,8 bis $1,4 \text{ m}^2$ Grundfläche benötigt.

Die Dampfkraftmaschinen geben ihre Energie an elektrische Generatoren, an Kompressoren, Gebläse, Pumpen, an Transmissionen mittels Seil- oder Riementrieb, auf Bergwerken auch an Förderanlagen (Schachtförderung) ab. Turbinen werden mit den angetriebenen Maschinen direkt oder über Zahnradgetriebe gekuppelt, Kolbenmaschinen werden mit langsam laufenden Maschinen eben-

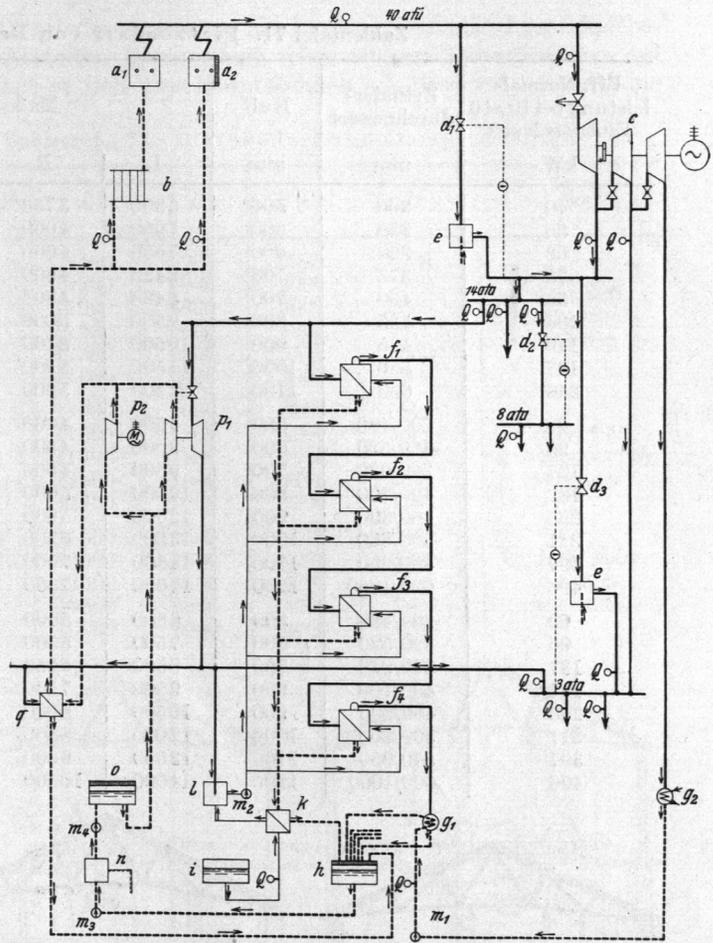


Abb. 394. Schaltungsschema eines industriellen Hochdruck-Heizkraftwerkes. a_1, a_2 Kessel, b Ekonomiser, c Turbine mit zwei gesteuerten Anzapfungen und Kondensation, d_1, d_2, d_3 Dampfdruckregler, e_1, e_2 Heißdampf Kühler, f_1 bis f_4 Verdampfer, g_1, g_2 Kondensatoren, h Kondenswassersammelbehälter, i Rohwasserbehälter, k Vorwärmer, l Vorkocher, m_1 bis m_4 Pumpen, n Entgaser, o Speisewasserbehälter, p_1, p_2 Speisewasserbehälter, q Speisewasservorwärmer, Q Dampfmenge messer.

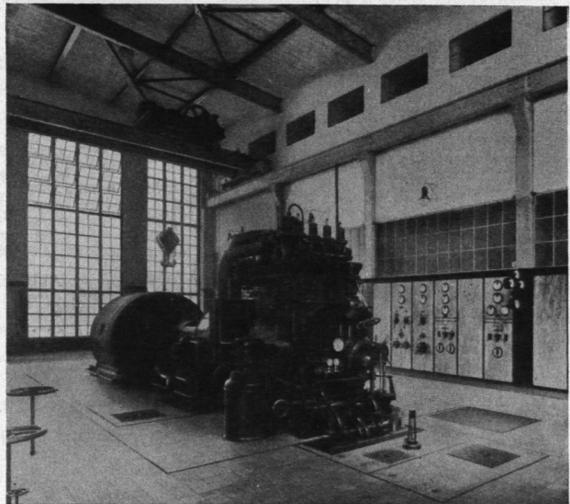


Abb. 395. Innenansicht eines Turbinenhauses. (Siehe auch Abb. 392.)

Zahlentafel 71. Platzbedarf von Dampfmaschinen¹.

Eff. Normalleistung bei 10 atü Eintritsdruck kW	Zylinderdurchmesser mm	Hub mm	Maße in mm				Bauart
			L	B	H	h	
40	300	500	6300	3750	3000	2370	Abb. 396 Einzylinder- Dampfmaschine
55	325	600	7050	4000	3000	2400	
62	350	600	7050	4000	3000	2450	
78	375	700	8425	4800	3500	2500	
86	400	700	8425	4800	3500	2600	
106	425	800	9500	5000	4000	2700	
140	475	900	10500	5100	4000	2890	
197	550	1000	11500	5500	4500	3000	
246	600	1100	12300	5800	4500	3200	
69	290/480	500	7500	4000	3000	2370	Abb. 397 Tandem- Verbundmaschine
96	320/520	600	9000	4500	3000	2450	
137	360/620	700	9800	4800	3500	2500	
182	400/700	800	10500	5000	3500	2700	
255	460/800	900	12000	5600	3500	2850	
311	500/860	1000	13500	6300	3500	3100	
397	550/950	1100	14800	7000	4500	3400	
496	600/1050	1200	16000	7900	4500	3500	
69	290/480	500	6800	5000	3000	2300	Abb. 398 Zwillings- Verbundmaschine
96	320/520	600	7500	5500	3000	2400	
137	360/620	700	8500	6250	4000	2500	
182	400/700	800	9500	7500	4300	2700	
255	460/800	900	10500	8000	4500	2750	
311	500/860	1000	12000	8500	5000	3100	
397	550/950	1100	13000	9000	5000	3400	
496	600/1050	1200	14000	10500	5000	3500	

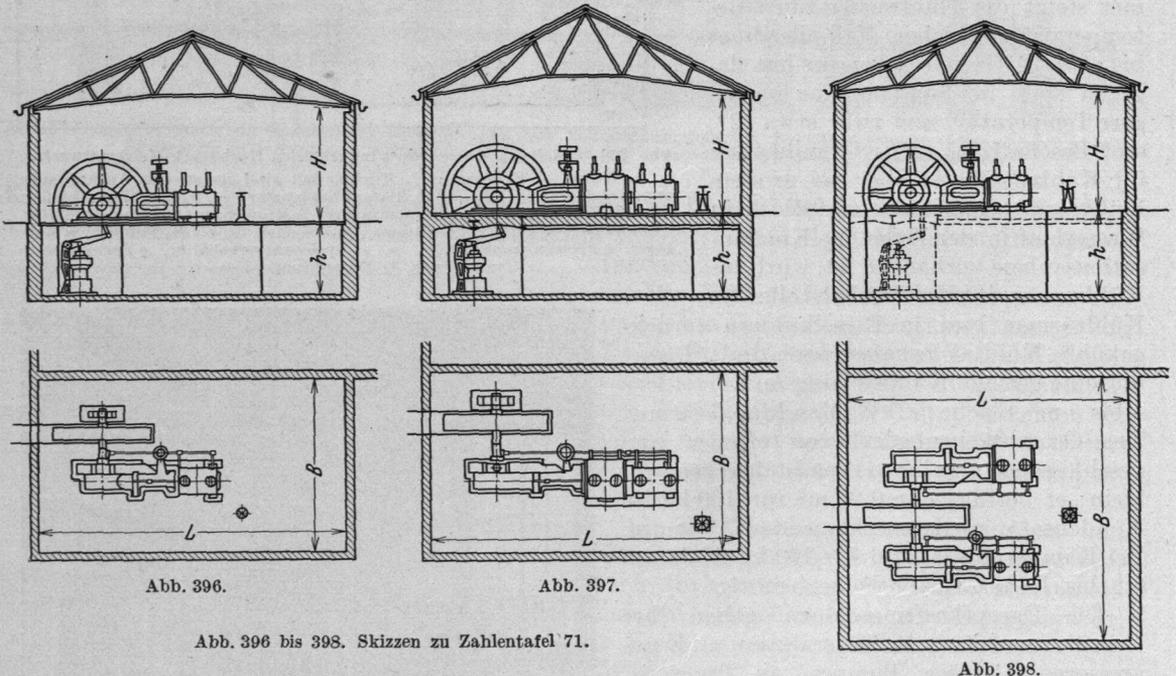


Abb. 396.

Abb. 397.

Abb. 396 bis 398. Skizzen zu Zahlentafel 71.

Abb. 398.

falls direkt gekuppelt, mit schnell laufenden durch Riemen- oder Seiltriebe verbunden. Auch hierauf muß gegebenenfalls bei der Ausgestaltung des Maschinenhauses Rücksicht genommen werden.

¹ Nach C. Kahle: Die Dampfmaschine in Frage und Antwort. Berlin: Ernst Siegfried Mittler u. Sohn 1913.

In Fällen, wo auf geringen Platzbedarf der gesamten Kraftanlage, auf ständige Betriebsbereitschaft und schnelles An- und Abstellen Wert gelegt wird, ist der Dieselmotor am Platze. In industriellen Betrieben eignet er sich also hauptsächlich als Reservekraftmaschine bei vorwiegendem Fremdstrombezug, ferner zum Ausgleich der Stromspitzen bei Fremdstrombezug oder da, wo beschränkte Platzverhältnisse bestehen, und unter Umständen da, wo der Wärmebedarf im Verhältnis zum Kraftbedarf nur gering ist.

Dieselmotoren werden in allen Leistungen von 10 kW und weniger bis herauf zu 12000 kW gebaut. Der thermische Wirkungsgrad des Dieselmotors ist sehr gut, doch ist sein Brennstoff im Wärmepreis meist teurer als Kohle. Die im abfließenden Kühlwasser und in den Auspuffgasen enthaltene fühlbare Wärme läßt sich teilweise zur Bereitung von Warmwasser oder zur Dampferzeugung ausnutzen. Der Platzbedarf von Dieselmotoren mit direkt gekuppelten Stromerzeugern ist aus Zahlentafel 73 zu entnehmen.

Bei der Aufstellung von Dieselmotoren ist auf sorgfältige Ausbildung der Fundamente und auf zweckentsprechende Anordnung von Schalldämpfern besonderer Wert zu legen, damit Störungen des eigenen Betriebes und der Nachbarschaft durch Erschütterungen und Lärm vermieden werden. Kleinere Maschinen erhalten zur Verminderung des Auspuffgeräusches gußeiserne Töpfe, größereschmiedeeiserne Kessel oder gemauerte bzw. betonierte Auspuffgruben.

In Wettbewerb mit dem Dieselmotor steht der Gasmotor, besonders, wenn die Möglichkeit besteht, billige Brennstoffe zu vergasen. Der Gasmotor ist vor allem für eine einigermaßen gleichbleibende Krafterzeugung (Grundlast) geeignet, während der Dieselmotor eine ausgesprochene Spitzenlastmaschine ist. Der Betrieb mit Leuchtgas kommt heute nur noch selten in Frage, da er im Vergleich zu anderen Kraftquellen zu teuer ist. Die Kraftgasanlagen werden meistens als Sauggasanlagen mit Leistungen von 10 bis 800 kW gebaut. Zahlentafel 74 gibt den Platzbedarf von Gasmotoren mit den zugehörigen Gaserzeugern an. Die vorstehenden Ausführungen über Fundierung und Schalldämpfung haben auch hier Geltung. Auf Hüttenwerken werden in bedeutendem Umfang Großgasmaschinen zur Krafterzeugung verwendet. Diese Maschinen verarbeiten das in den Fabrikationsprozessen der Hütten anfallende Gichtgas aus Hochöfen oder das Gas aus Koksöfen.

Zahlentafel 72. Platzbedarf von Dampfturbinen.

Leistung in kW	L	B	h	H	Bauart
500	8500	5000	2000	2500	Abb. 399 Gegendruck- turbinen
1000	9300	5000	2000	2500	
1600	10000	6000	3000	3000	
2250	11500	6000	3500	3800	
3300	12500	6000	3500	3800	
5000	14000	6500	3500	4200	Abb. 400 Kondensations- turbinen
650	11000	7000	4000	3800	
1000	11600	7200	4000	3800	
1600	11700	7500	4000	3800	
3300	13800	7600	4700	3800	
5000	14750	8000	6000	4200	Abb. 400 Anzapf- turbinen
650	11600	7200	4000	3800	
1000	12000	7600	4200	3800	
1600	12000	8000	4200	3800	
3300	13500	8000	4500	3800	
5000	15000	8000	5000	4200	

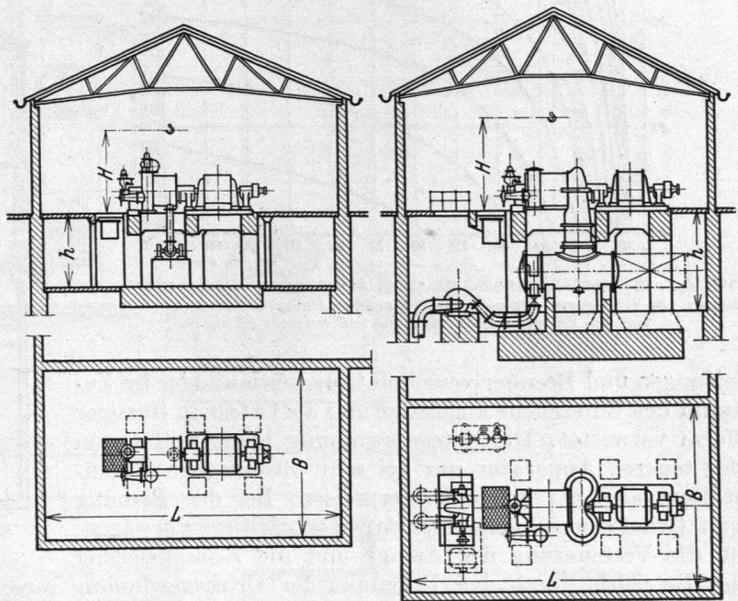


Abb. 399.

Abb. 400.

Abb. 399 und 400. Skizzen zu Zahlentafel 72.

Gaserzeuger dienen im Fabrikbetrieb nicht nur zur Lieferung von Kraftgas, vielmehr in noch stärkerem Maße zur Erzeugung von Gas für die Beheizung von industriellen Öfen. Zur Vergasung sind zahlreiche Brennstoffe geeignet. Zahlentafel 75 nennt die wichtigsten, ihre Heizwerte und den Heizwert des erzeugten Gases. Die Wahl des Brennstoffes richtet sich nach dem Standort der Fabrik, nach den Brennstoffpreisen und nach etwaigen besonderen Anforderungen, die an das Gas gestellt werden. Am einfachsten ist die Vergasung von möglichst asche-freien Brennstoffen mit hohem Kohlenstoffgehalt, z. B. Koks, Anthrazit, Holzkohle. Die übrigen festen Brennstoffe (Steinkohlen, Braunkohlen, Torf und Holz) haben einen mehr oder weniger großen Gehalt an flüchtigen Bestandteilen und werden daher bei der Erhitzung vor der eigentlichen Vergasung entgast; die hierbei anfallenden Schwelprodukte werden entweder im Generator in permanente Gase überführt, da sie andernfalls Maschinen, Rohr-

Zahlentafel 73. Platzbedarf von Dieselmotoren (siehe Abb. 402).

Leistung in kW	L	B	h _{min}	H
50	8000	5000	2000	3300
80	8000	5000	2000	3300
120	9000	5000	2000	3300
160	9000	5000	2000	3800
220	9000	5000	2000	3800
300	12000	6000	2500	5000
450	13000	6000	2500	5000
600	15000	7000	2500	5000
800	15000	7000	2500	5000
1000	15000	7000	2500	5000

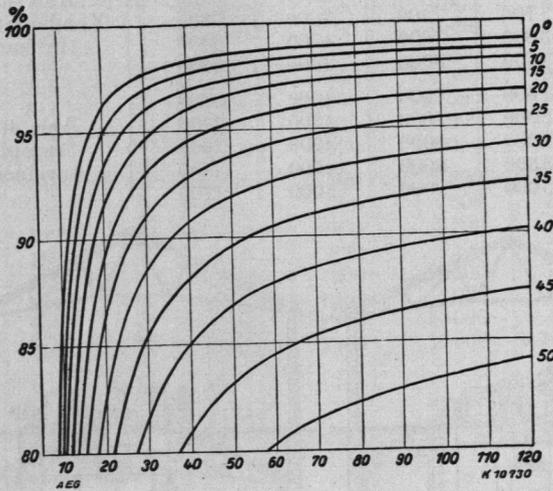


Abb. 401. Erreichbares Vakuum (in %) in Abhängigkeit von der Kühlwassermenge als Vielfachem der niederzuschlagenden Dampfmenge (0 bis 120) und von der Eintrittstemperatur des Kühlwassers (0 bis 50°).

leitungen und Brenner verschmutzen würden, oder im Zustand des Entstehens abgeleitet und als Urteer in flüssiger Form verwertet. Die Urteergewinnung lohnt sich wegen der teuren Apparatur nur bei sehr bituminösen Brennstoffen oder bei hohen Urteerpreisen. Bei der Planung von Generatorgasanlagen ist daher sorgfältig zu erwägen, ob die Verteuerung der Anlage und die Komplizierung des Betriebes durch den Erlös aus der Urteergewinnung gerechtfertigt werden. Bei der Berechnung sind auch Schwankungen der Teerkonjunktur in Betracht zu ziehen.

Generatorgas kann als heißes Rohgas den Verbrauchern unmittelbar durch gemauerte Kanäle oder mit Schamotte ausgefütterte Blechleitungen zugeführt werden, wenn die Verunreinigungen für die Gasbrenner und für die Ofencharge ohne Bedeutung sind; der letztgenannte Umstand trifft zum Beispiel für solche Ofenkonstruktionen zu, bei denen die Flamme mit der Charge nicht in Berührung kommt (vor allem also bei Muffelöfen). Für feinere Brenner und für solche Öfen, bei denen die Flamme die Charge berührt, werden an die Gasqualität besondere Anforderungen gestellt, die je nach dem Brennstoff eine mehr oder weniger umfangreiche Reinigungsanlage erfordern. Das Gas wird hierbei gekühlt und von Teer, Staub und gegebenenfalls auch von Schwefel gereinigt. Die Reinigung kann auf mechanischem, chemischem und elektrischem Wege erfolgen.

Die Gaserzeuger werden für kleinere Leistungen als Festrostgeneratoren, für größere Leistungen als Drehrostgeneratoren gebaut. Für die Hilfgasversorgung von Hochofengasmaschinen werden Abstichgeneratoren verwendet, die ein Gas mit sehr hohem Kohlenoxydgehalt liefern,

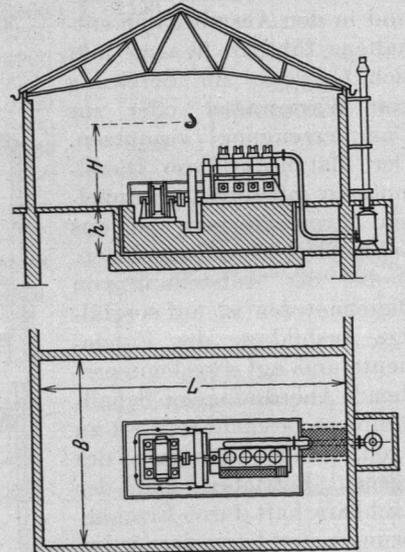


Abb. 402. Skizze zu Zahlentafel 73.

wie es auch für gewisse chemische Prozesse benötigt wird. Weiter werden für besonders feinkörnige Brennstoffe Treppenrostgeneratoren gebaut.

Neben dem eigentlichen Generatorprozeß findet auch der etwas kompliziertere Wassergasprozeß Anwendung, der ein hochwertigeres Gas liefert. Wassergas wird besonders für Schweißzwecke sehr viel in Hüttenbetrieben, Stahl- und Walzwerken verwendet. Schließlich sei noch das sogenannte Mondgasverfahren erwähnt.

Eine große Drehrostgaserzeugungsanlage mit elektrischer Gasreinigung (Entteerung und Entölung) ist in Abb. 404 wiedergegeben. Die Schaltung der Anlage zeigt Abb. 405¹.

Bei der baulichen Gestaltung von Gaserzeugeranlagen ist auf reichliche Belüftung besonderer Wert zu legen.

Zahlentafel 74. Platzbedarf von Kraftgasanlagen.

Leistung in kW	Gasmaschine				Generatoranlage		
	<i>L</i>	<i>B</i>	<i>h</i> min.	<i>H</i>	<i>L'</i>	<i>B'</i>	<i>H'</i>
40	7000	4500	2000	3000	5000	4000	5300
60	8000	5000	2000	3000	5000	4000	5300
90	8500	6000	2000	3500	5500	4000	5500
120	8500	6000	2000	3500	6200	4500	5600
175	8500	7000	2000	3500	6200	4500	5600
250	8500	8500	2000	3500	7000	5000	6200
350	9000	8500	2500	3500	7000	8500	6200
450	9000	9000	2500	4000	7000	9500	6200

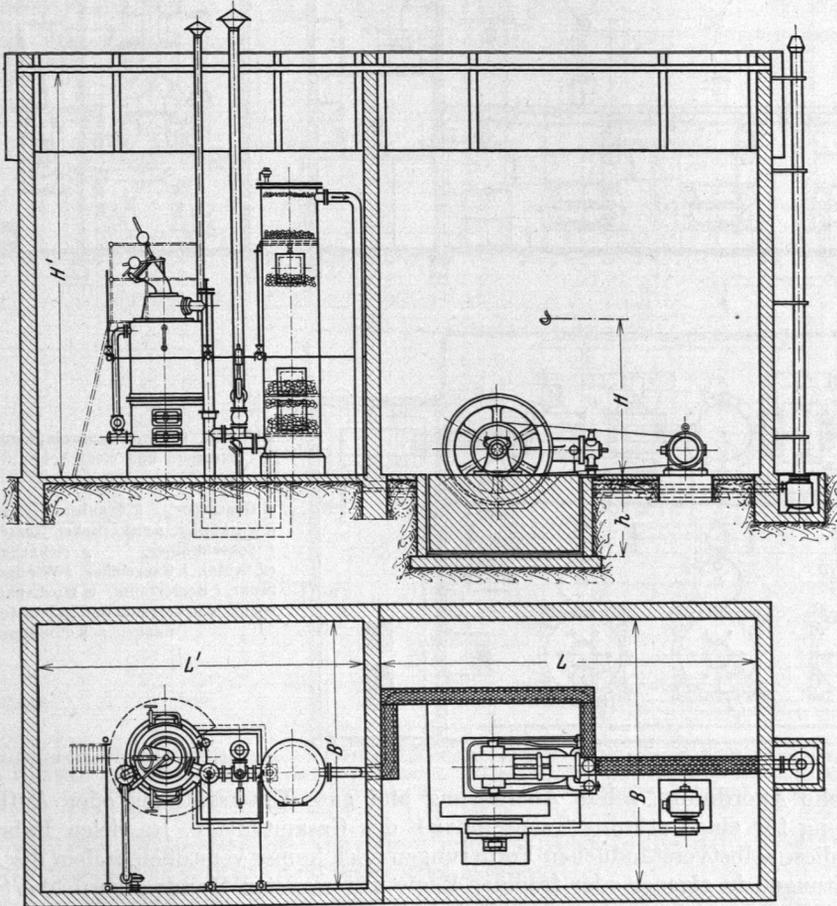


Abb. 403. Skizze zu Zahlentafel 74.

Der eigentliche Gaserzeugungsraum bleibt an einer Längsseite meistens offen; die Gichtbühne erhält große, mindestens zur Hälfte öffnbare Fenster, wenn sie nicht auch offen ausgeführt wird (s. Abb. 406²). Als Fußbodenbelag eignen sich für die Betriebsräume am besten Klinker-

¹ Eine eingehende Beschreibung dieser Anlage mit Erläuterung der Abnahmeversuche ist in dem Aufsatz Leppin: Generatorenanlage für Braunkohlenbriketts mit elektrischer Gasreinigung und automatischer Regelung enthalten. Wärme 1928 Nr. 34.

² Entwurf: Architekt BDA. E. Ziesel, Berlin.

platten von 4 cm Stärke. Feinere Regelapparate und Meßinstrumente, die nicht unmittelbar für das Stocherpersonal bestimmt sind, werden zweckmäßig in einem besonderen Raum untergebracht.

Besondere Beachtung bei der Aufstellung von Generatorgasanlagen verdienen die Abwasserfrage und die Frage der Geruchsbelästigung. Dies gilt vor allem für Anlagen, in denen bituminöse Brennstoffe vergast werden und in denen Reinigungsanlagen eingebaut werden. Die Abwässer der Reinigungsanlage geben mitunter durch Öl-, Teer- und Phenolgehalt zu Schwierigkeiten bei der Einleitung in öffentliche Vorfluter Anlaß.

Dampf- und Gasanlagen erfordern zur Verbindung der Erzeuger mit den Kraftmaschinen, Hilfsanlagen, Heizeinrichtungen bzw. Öfen mehr oder weniger komplizierte Rohrleitungen.

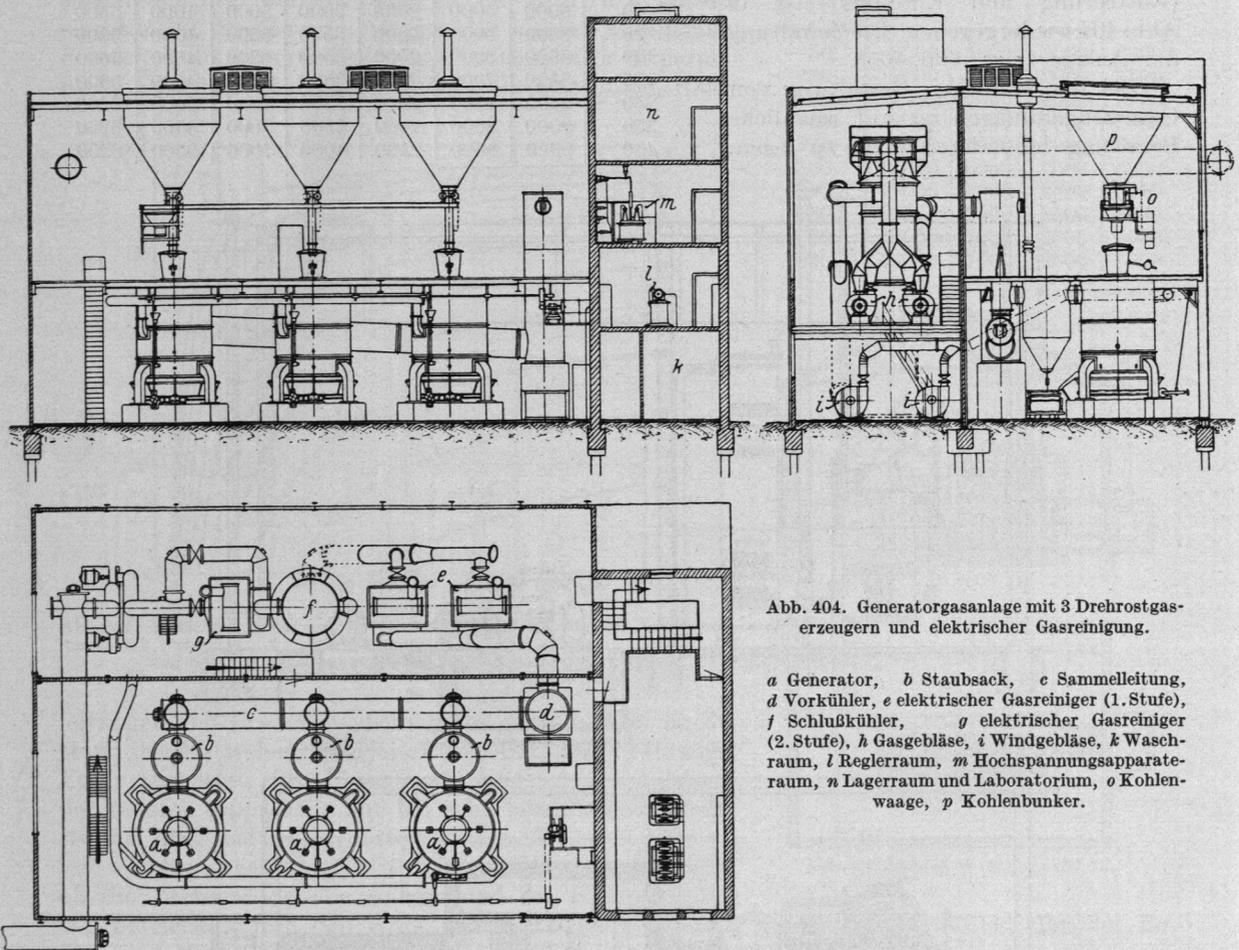


Abb. 404. Generatorgasanlage mit 3 Drehrostgas-erzeugern und elektrischer Gasreinigung.

a Generator, *b* Staubsack, *c* Sammelleitung, *d* Vorkühler, *e* elektrischer Gasreiniger (1. Stufe), *f* Schlußkühler, *g* elektrischer Gasreiniger (2. Stufe), *h* Gasgebläse, *i* Windgebläse, *k* Waschraum, *l* Regleraum, *m* Hochspannungsapparateraum, *n* Lagerraum und Laboratorium, *o* Kohlenwaage, *p* Kohlenbunker.

Übersichtliche Anordnung, solide Ausführung und gute Unterstützung oder Aufhängung ist Voraussetzung für einen störungsfreien Betrieb der Gesamtanlage. In vielen Fabrikbetrieben wird gegen diese selbstverständlichen Forderungen noch immer verstoßen, indem die Ausführung der Rohrleitungen in eigener oder fremder Regie ungeeigneten Handwerkern übertragen wird. Man sollte sich daran gewöhnen, auch Rohrleitungen als Teile einer maschinellen Anlage zu betrachten¹ und daher ihrer Ausführung entsprechende Aufmerksamkeit zu widmen.

Für die Bemessung der Rohrquerschnitte sind die Menge des fortzuleitenden Gases oder Dampfes, sein spezifisches Volumen, der zulässige Druckabfall und die Anlagekosten maßgebend. Der zulässige Druckabfall steht in enger Beziehung zu den Betriebskosten der Rohrleitung. Durch Berücksichtigung des Kapitaldienstes für die Anlagekosten ergibt sich dann ein bestimmter Rohrdurchmesser als „wirtschaftlicher“ Durchmesser. Bei Dampfleitungen kommt

¹ Siehe auch: O. Leppin: Überwachung und Instandhaltung von Rohrleitungen im Fabrikbetrieb, Z. Maschinenbau — Der Betrieb, Heft 1. Berlin: VDI-Verlag 1933.

hierzu noch die Erfassung der Wärmeverluste in der Rohrleitung. Der weite Bereich, in dem die vielen Variablen der Rohrleitungsberechnung schwanken können, bringt es mit sich, daß eine tabellarische oder graphische Angabe der wirtschaftlichsten Durchmesser den im Rahmen des vorliegenden Buches für dieses Sondergebiet zur Verfügung stehenden Platz weit übersteigen müßte. Auf wenige Sonderfälle beschränkte Angaben hätten aber nur akademischen Wert, so daß hier auf die Wiedergabe derartiger Werte besser ganz verzichtet wird¹.

Für die Ausführung der Rohrleitungen sind bei neuen Anlagen möglichst die DI-Normen zugrunde zu legen. Insbesondere sei auf das Normblatt DIN 2401 verwiesen, welches für verschiedene Betriebsdrücke von Gas, Wasser und Dampf (s. Zahlentafel 76) die zugehörigen „Nenndrücke“ festlegt. Nach diesen Nenndrücken sind die Leitungsteile, Armaturen usw. genormt. Bei Umbauten und Erweiterungen älterer Anlagen muß man zur Wahrung der Ein-

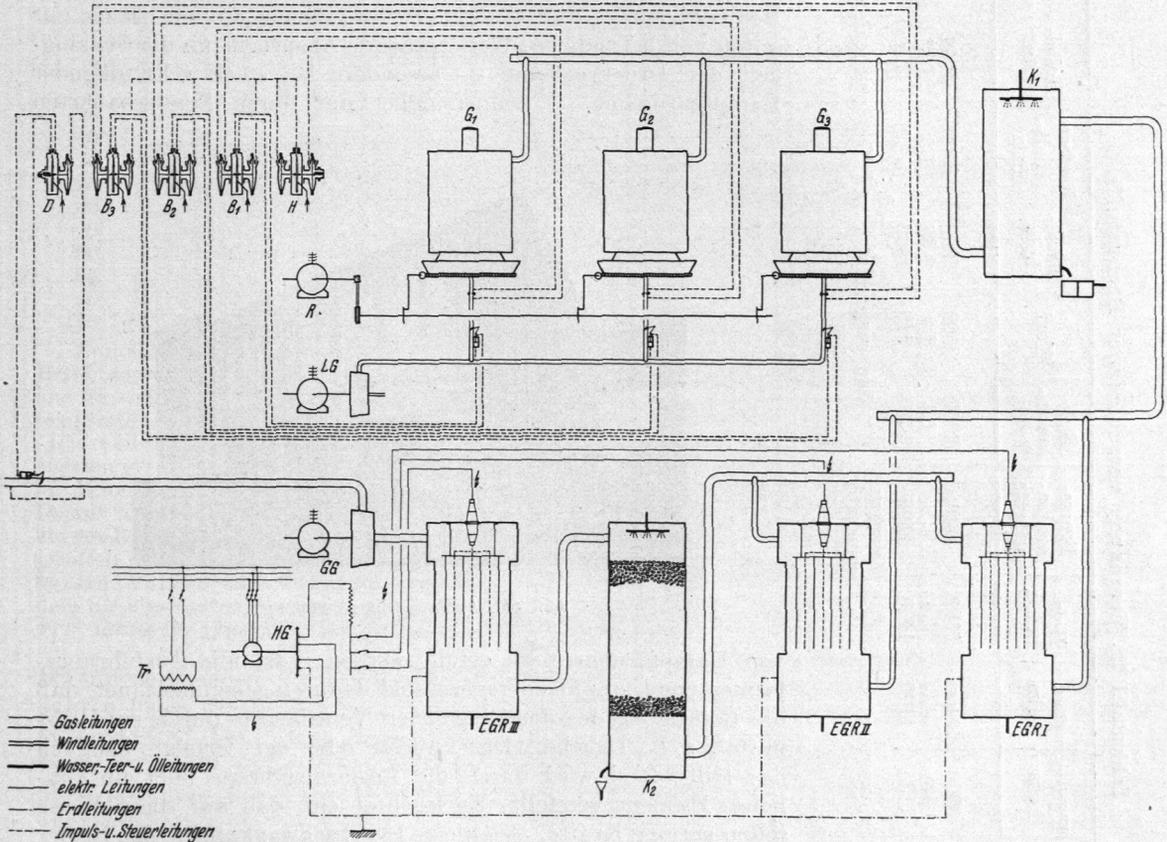


Abb. 405. Schaltungsschema zu Abb. 404.

D Reingasdrucksteuerwerk, *B*₁, *B*₂, *B*₃ Belastungssteuerwerke, *H* Hauptsteuerwerk, *R* Rostantrieb, *LG* Windgebläse, *G*₁, *G*₂, *G*₃ Gasgeneratoren, *K*₁ Vorkühler, *EGR I*, *EGR II* elektrische Gasreiniger (1. Stufe.), *K*₂ Schlußkühler, *EGR III* elektrischer Gasreiniger (2. Stufe), *GG* Gasgebläse, *HG* Hochspannungsgleichrichter, *Tr* Transformator.

heitlichkeit von den DI-Normen oft abweichen und der Ausführung der alten Anlagen entsprechend die Normen von 1882, 1900 oder 1912 wählen.

Bis zu Betriebsdrücken von 12 atü werden die Rohrleitungen zweckmäßig durch autogene oder elektrische Schweißung verbunden. Leitungen für höhere Drücke und solche Leitungen, die öfter verändert werden, erhalten Flanschverbindungen; in Sonderfällen werden auch Hochdruckleitungen geschweißt.

Besondere Aufmerksamkeit ist bei allen Rohrleitungen den Absperrorganen zu widmen; als solche kommen bei Dampfleitungen Schieber und Ventile, bei Gasleitungen hauptsächlich Schieber, für kleinere Leitungen auch Hähne in Frage. Für weitergehende Ansprüche sind — besonders bei höheren Drücken — keilförmige Schieber unzureichend; statt dessen sind Schieber

¹ Näheres siehe: Schwedler: Handbuch der Rohrleitungen. Berlin: Julius Springer 1932.

Zahlentafel 75. Vergasung verschiedener Brennstoffe.

Brennstoff	Anthra- zit	Hütten- koks	Gas- koks	Holz- kohle	Braun- kohlen- briketts	Roh- braun- kohle	Torf	Stück- holz	Kiefern- scheit- holz	Hobel- späne	Säge- abfälle	Hütten- koks	Braun- kohlen- briketts ¹	Gas- Flamm- kohle
Unterer Heizwert des Brennstoffes	7900	6900	6400	6500	4800	2300	3500	2900	3300	2640	2300	7000	4900	7300
Gasausbeute.	5,0	4,6	4,3	4,4	2,8	1,3	1,8	1,35	1,5	1,35	1,3	4,5	2,2	3,9
Heizwert des Gases	1170	1135	1100	1100	1300	1210	1340	1490	1510	1270	1125	1200	1610	1480
Geeignet zur Vergasung im	Sauggasgenerator				Zweifeuer- generator		Sauggasgenerator und Teerausscheider				Drehrostgenerator			

Bemerkung: ¹ Anlage mit Teergewinnung.

mit parallelen Dichtungsflächen zu verwenden. Der erforderliche Anpreßdruck zur Herbeiführung eines dichten Abschlusses wird hierbei durch verschiedenartige Konstruktionselemente von der Spindel auf die Schieberplatten übertragen. An Einfachheit der Ausführung übertrifft daher das gewöhnliche Absperrventil noch immer jede Parallelschieberkonstruktion bei weitem. Ein großer Nachteil der normalen Ventile besteht in ihrem hohen Durchgangswiderstand; zur Verminderung des Widerstandes sind zahlreiche Sonderausführungen auf den Markt gekommen, die z. T. einfache, betriebssichere Ausführungen mit sehr geringem Durchgangswiderstand vereinigen.

Ein besonderes Schmerzenskind jedes Dampfbetriebes sind die Reduzierventile, die in normaler Ausführung auf die Dauer nur selten voll befriedigen. Weitergehende Ansprüche an die Genauigkeit der Druckregelung — besonders bei stark schwankender Dampfentnahme — können daher nur durch Sonderbauarten

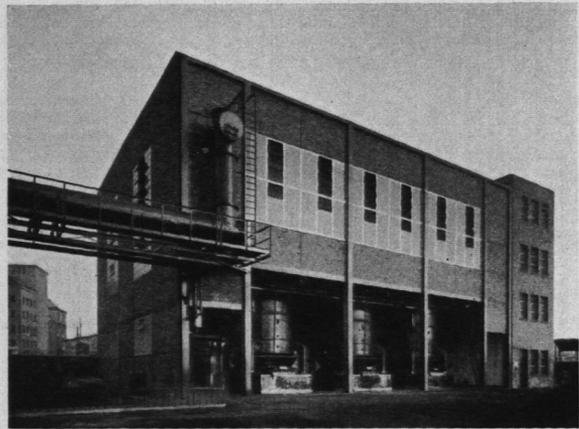


Abb. 406. Außenansicht zu Abb. 404.

von Dampfdruckreglern erfüllt werden. Fast alle Ausführungsformen von Dampfdruckreglern sind dadurch gekennzeichnet, daß die Betätigung des druckregelnden Ventilkegels durch ein Hilfsmittel, z. B. Drucköl, Druckwasser oder dgl., erfolgt; lediglich das Hilfsmittel wird durch die Reglermembrane oder ein ähnliches Element gestellt. Es leuchtet ein, daß auf diese Weise schon geringe Kräfte, also kleine Druckschwankungen, den Regler zum Ansprechen bringen, und daß diese Druckregler im Betrieb unempfindlicher sind als die gewöhnlichen Reduzierventile. Leider steht der Anwendung der Dampfdruckregler sehr oft ihr verhältnismäßig hoher Preis im Wege.

Ein anderer wunder Punkt des Dampfbetriebes ist der Kondensstopf. Seine Aufgabe besteht in der selbsttätigen Abführung des im Heizbetrieb anfallenden Kondensates. Das Abschlußorgan des Kondensstopfes soll zur Verminderung von Dampfverlusten abschließen, wenn das Kondenswasser abgeleitet ist und Dampf in die Kondensleitung einzuströmen beginnt. Dies wird durch Ausdehnungskörper oder durch Schwimmer bewirkt. Am meisten Bedeutung haben die Schwimmer-Kondensstopfe erlangt; nach der Ausbildung des Abschlußorganes sind hierbei Ventil- und Schieberstopfe zu unterscheiden (s. Abb. 407 und 408). Die letztgenannten gewinnen dank ihrer Betriebssicherheit immer mehr an Boden. Als weitere Bauart sind Kondensstopfe ohne beweglichen Ab-

schluß zu erwähnen, bei denen Labyrinthkanäle wohl dem Wasser, nicht aber dem Dampf den Durchtritt gestatten. Diese Töpfe arbeiten naturgemäß nur bei gleichbleibenden Betriebsverhältnissen und sehr reinem Kondensat zufriedenstellend.

Zahlentafel 76.

Druckstufen (Nenndruck, Betriebsdruck, Probedruck)¹.

Nenn- druck <i>ND</i>	Größter zulässiger Betriebsdruck für				Probe- druck
	Wasser bis 100°	Gas und Dampf unterhalb 300°	Heißdampf 300 bis 400°		
			Flansche und Rohre	Flansche und Rohre	
	<i>W</i>	<i>G</i>	<i>H</i>		
1	1	1	—	—	2
2,5	2,5	2	—	—	4
6	6	5	—	—	10
10	10	8	—	—	16
16	16	13	13	10	25
20	20	16	—	13	32
25	25	20	20	16	40
32	32	25	—	20	50
40	40	32	32	25	60
50	50	40	—	32	70
64	64	50	40	40	80
80	80	64	—	50	100
100	100	80	64	64	125

Bemerkungen: Sämtliche Drücke sind Überdrücke. *W*: Die Betriebsdrücke für „Wasser“ gelten für Wasser unterhalb 100° und für andere ungefährliche Flüssigkeiten unterhalb ihrer Siedetemperatur bei Atmosphärendruck. *G*: Die Betriebsdrücke für „Gas und Dampf“ gelten für Gase unterhalb 300° sowie für anderen expansionsfähigen Leitungsinhalt wie Luft und Dämpfe, im besonderen auch für gesättigten oder mäßig überhitzten Dampf unterhalb dieser Temperatur, ferner für Flüssigkeiten, die mit Rücksicht auf ihre physikalischen oder chemischen Eigenschaften oder aus anderen Gründen eine erhöhte Sicherheit erfordern. *H*: Die Betriebsdrücke für „Heißdampf“ gelten insbesondere für überhitzten Wasserdampf bei Temperaturen von 300 bis 400°, ferner für Gase und Flüssigkeiten bei diesen Temperaturen.

Bei unterbrochenem Betrieb dürfen die Anheizverluste nicht vernachlässigt werden. Seit einigen Jahren fügen die Isolierfirmen ihren Angeboten vielfach Berechnungen der wirtschaftlichsten Isolierstärken bei. Diese Berechnungen sind jedoch teilweise vorsichtig zu bewerten, insofern, als für die Berechnung mitunter Annahmen getroffen werden, die erheblich ungünstiger als die tatsächlich zu erwartenden Betriebsverhältnisse sind. So kann ein falsches Bild über die tatsächlich wirtschaftliche Isolierung entstehen, ohne daß die Berechnung objektiv falsch ist. Es werden z. B. Kurven für die Betriebskosten einer Isolierung in Abhängigkeit von Isolierstärken aufgestellt, wobei das Minimum der Betriebskosten angeblich die wirtschaftlichste Isolierstärke anzeigt. Wenn hierbei jedoch die von den Lieferanten für die Gewährleistung der Wärmeleitzahlen verlangten Toleranzen vernachlässigt werden, so ergibt sich ein schiefes Bild, da die Kurve der Betriebskosten, zumal in der Gegend des Minimums, außerordentlich flach verläuft, so daß bei Änderungen der Wärmeleitzahl innerhalb der Toleranzen sich die wirtschaftlichste Isolierstärke weit nach unten verschiebt (s. Abb. 409). Selbstverständlich soll mit vorstehenden Ausführungen nichts gegen die

Besondere Beachtung ist der Isolierung aller Rohrleitungen zu

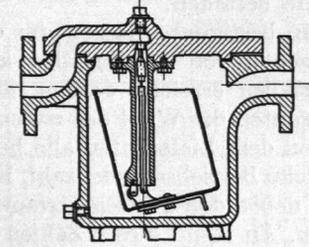


Abb. 407. Ventil-Kondenstopf.

schicken. Einerseits sind die Anlagekosten einer guten Isolierung nicht unbeträchtlich, andererseits fallen aber auch die betriebsmäßigen, laufen-

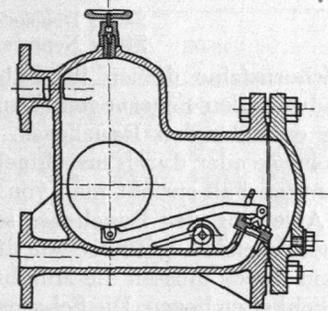


Abb. 408. Schieber-Kondenstopf.

den Wärmeverluste infolge ungenügender Isolierung stark ins Gewicht. Berechnungen der wirtschaftlichsten

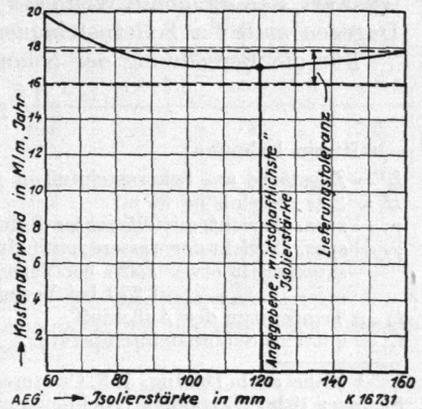


Abb. 409. „Wirtschaftliche Isolierstärke“; tatsächlich liegt die wirtschaftliche Stärke nicht bei 120 mm, sondern bei 80 mm.

¹ Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im DIN-Format A4, das durch den Beuth-Verlag, Berlin S 14, zu beziehen ist.

Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Isolierungen gesagt sein; es soll vielmehr lediglich die Aufmerksamkeit des Bestellers auf die Notwendigkeit einer kritischen Betrachtung dieser Berechnungen gelenkt werden, was auch durchaus im Sinne derjenigen Isolierfirmen liegen dürfte, die ihre Berechnungen ohnehin nach rein sachlichen Gesichtspunkten aufstellen.

Bei der Ermittlung der wirtschaftlichsten Isolierstärke ist zu berücksichtigen, daß in dieser Hinsicht durch die Betriebsweise (fortlaufender oder unterbrochener Betrieb) bedingte Unterschiede bestehen.

Ein bestimmtes Rezept für die Auswahl der Isoliermaterialien kann nicht gegeben werden. Abgesehen von Sonderfällen kann die gewünschte Isolierwirkung mit den verschiedensten Materialien erreicht werden. Man überlasse bei der Ausschreibung der Isolierarbeiten dem Lieferanten die Wahl des zweckmäßigsten Materials und der günstigsten Isolierstärke. Hierfür müssen dem Lieferanten alle betriebstechnischen Daten (Dampftemperatur, Rohrdurchmesser, jährliche Betriebsstundenzahl, Kapitaldienstquote usw.) angegeben werden. Die Angebote sollen dann neben den Preisen Garantiewerte für Wärmeverluste einiger typischen Rohrstrecken enthalten. An Hand dieser Zahlen kann man ermitteln, welches Angebot unter Berücksichtigung des Kapitaldienstes und der jährlichen Wärmeverluste den geringsten jährlichen Kostenaufwand verspricht. Selbstverständlich müssen die gewählten Materialien in erster Linie in betriebs-technischer Hinsicht allen Anforderungen an Druckfestigkeit, Feuchtigkeitsbeständigkeit, Reparaturfähigkeit usw. genügen¹.

Über Rohrleitungen, besonders über Rohrverbindungen und Rohre sind zahlreiche DIN-Blätter erschienen. Den Fabrikbauer interessieren in erster Linie die DIN-Blätter:

2401: Druckstufen,
2402: Nennweiten,

2403: Kennfarben,
2429 u. 2430: Sinnbilder.

Schornsteine dienen im Fabrikbetrieb zur Erzeugung von Unterdruck („Zug“ genannt) in industriellen Feuerungen (Dampfkesseln oder Öfen) und zur Abführung der bei der Verbrennung entstehenden Rauchgase. Der Zug kann durch Ausnutzung des Auftriebes der heißen Rauchgase oder durch maschinell angetriebene Lüfter (Ventilatoren) erzeugt werden. Im erstgenannten Fall spricht man von „natürlichem Zug“, im anderen Falle von „künstlichem Zug“. Die Ableitung der Rauchgase setzt eine gewisse Schornsteinhöhe voraus, damit die Gase in der umgebenden Luft verteilt und über benachbarte Baulichkeiten hinweggeführt werden. Zu diesem Zweck müssen die Mündungen der Schornsteine in genügender Höhe über benachbarten Baulichkeiten liegen. Die Schornsteinhöhe ist aber bei natürlichem Zug nicht nur durch die vorgenannte hygienische Forderung bedingt; vor allem ist hierfür der am Schornsteinfuß verlangte Zug (gemessen in mm WS) maßgebend, allerdings in Verbindung mit der Temperatur der in den Schornstein eintretenden Abgase. Hieraus geht hervor, daß man einem Schornstein einer bestimmten Höhe nicht eine bestimmte Zugleistung zuordnen kann, sondern daß man zur Kennzeichnung der Betriebsverhältnisse auch die Rauchgastemperatur² mit anführen muß. Weiter ist beachtenswert, daß die lichte Weite des Schornsteines auf die statische Zugwirkung ohne Einfluß ist. Dagegen muß der Schornsteinquerschnitt im richtigen Verhältnis zur Rauchgasmenge stehen.

Für die Berechnung der Schornsteinhöhe bei natürlichem Zug gilt die Formel:

$$Z = 273 \cdot H \left(\frac{\gamma_0}{273 + t_a} - \frac{\gamma_1}{273 + t_m} \right) *.$$

Hierin bedeuten:

Z = Zugstärke am Schornsteinfuß in mm WS,

H = Schornsteinhöhe in m,

γ_0 = spez. Gewicht mittelfeuchter Luft (unter Normalbedingungen ca. 1,288),

γ_1 = spez. Gewicht der wasserdampfhaltigen Rauchgase (unter Normalbedingungen und bei 9 bis 12% Kohlen-säuregehalt etwa 1,325 bei Verbrennung von Steinkohle
1,270 bei Verbrennung von Braunkohle),

t_a = Temperatur der Außenluft,

t_m = mittlere Schornsteintemperatur.

¹ Siehe auch Dr.-Ing. J. S. Cammerer: Der Wärme- und Kälteschutz in der Industrie. Berlin: Julius Springer 1928. (Besonders beachtenswert sind die hierin angegebenen Zahlentafeln für die Berechnung der Wärmeverluste isolierter Leitungen.) Ferner: Richtlinien zur Bemessung von Wärme- und Kälteschutzanlagen (Regelangebote), Berlin: VDI-Verlag 1931.

² Streng müßte es heißen: das spezifische Gewicht; doch ist dieses bei Gasen der Temperatur umgekehrt proportional.

* Strenger müßte dieser Wert noch multipliziert werden mit $\frac{B}{760}$, worin B der Barometerstand in mm QS ist; im allgemeinen kann für den vorliegenden Zweck die Korrektur vernachlässigt werden.

Die hiernach erreichbare Zugstärke Z ist die „statische Zugstärke“, die sich nur unmittelbar nach Schließen des Rauchschiebers einstellt. Die tatsächlich im Betrieb auftretende („dynamische“) Zugstärke ist praktisch um etwa 4 mm WS niedriger; nach Abzug dieses Wertes sind die Verluste durch Reibung und Ausströmung aus der Mündung berücksichtigt.

In der Formel ist die mittlere Schornsteintemperatur enthalten. Meist ist jedoch nur die Temperatur der Abgase am Schornsteinfuß bekannt. Von diesem Wert ist zur Berechnung der mittleren Schornsteintemperatur je m Schornsteinhöhe ein Betrag von 0,2 bis 0,3° (max. bis 1°) abzuziehen, da der Temperaturabfall im Schornstein etwa 0,4 bis 0,6 (max. 2°) je m Schornsteinhöhe beträgt. Die höheren Werte gelten bei geringeren, die niedrigeren bei größeren Schornsteinweiten.

Unter Annahme mittlerer Verhältnisse (s. die Zahlenwerte in der Buchstabenerläuterung zur Formel) sind in Zahlentafel 77 die erreichbaren statischen Zugstärken für Steinkohle und Braunkohle angegeben.

Für die Berechnung des oberen lichten Schornsteinquerschnittes muß die Rauchgasmenge bekannt sein, da die Geschwindigkeit der Rauchgase im Schornstein weder zu groß noch zu klein werden darf. In dem einen Fall würden die Reibungsverluste und Ausströmungsverluste den oben genannten Wert von ca. 4 mm WS — evtl. beträchtlich — überschreiten, im anderen Fall — d. h. wenn die Geschwindigkeit unter etwa 1 m/sek sinkt — würde die Zugwirkung durch Eintritt kalter Luft in die Mündung und durch Bildung von Gegenströmen beeinträchtigt werden.

Die Abgasgeschwindigkeit kann wie folgt gewählt werden:

bei Schornsteinen	bis 40 m Höhe	$w = 4$ m/sek,
„	von 40—50 m	„ $w = 5$ m/sek,
„	von 50—60 m	„ $w = 6$ m/sek,
„	von 60—70 m	„ $w = 7$ m/sek,
„	von 70—100 m	„ $w = 8$ m/sek,
„	über 100 m	„ $w = 9$ m/sek.

Bei weitgehender Rauchgasausnutzung, also niedrigerer Schornsteintemperatur soll w höchstens 7 bis 8 m/sek sein.

Die Rauchgasmenge Q (in Nm³), die der Schornsteinberechnung zugrunde zu legen ist, kann nach dem von Rosin-Fehling aufgestellten Diagramm in Abhängigkeit vom Heizwert des Brennstoffes und vom Luftüberschuß berechnet werden. Für feste Brennstoffe sind die Ergebnisse der Rechnung in Zahlentafel 78 wiedergegeben¹.

¹ Für flüssige und gasförmige Brennstoffe siehe die Quelle: Das Jt -Diagramm der Verbrennung, Dr.-Ing. P. Rosin und Dipl.-Ing. R. Fehling. Berlin: VDI-Verlag 1929.

Zahlentafel 77. Statische Zugstärke in mm WS. (Die tatsächliche Zugstärke ist etwa 4 mm geringer.)

a) für Steinkohle $Z = 273 \cdot H \left(0,00447 - \frac{1,325}{273 + tm} \right)$.

Höhe → $tm \downarrow$	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m	80 m	90 m	100 m
100°	5,0	7,5	10,0	12,6	15,1	17,6	20,1	22,6	25,1
150°	7,3	11,0	14,6	18,3	21,9	25,6	29,3	32,9	36,6
200°	9,1	13,7	18,2	22,8	27,4	31,9	36,5	41,0	45,6
250°	10,6	15,9	21,2	26,5	31,8	37,1	42,4	47,7	53,0
300°	11,8	17,7	23,6	29,5	35,4	41,3	47,2	53,1	59,0
350°	12,8	19,2	25,5	31,9	38,3	44,7	51,1	57,5	63,9
400°	13,7	20,5	27,3	34,1	41,0	47,8	54,6	61,4	68,3

b) für Braunkohle $Z = 273 \cdot H \left(0,00447 - \frac{1,270}{273 + tm} \right)$.

Höhe → $tm \downarrow$	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m	80 m	90 m	100 m
100°	5,8	8,8	11,7	14,6	17,5	20,4	23,4	26,3	29,2
150°	8,0	12,0	16,1	20,1	24,1	28,1	32,1	36,1	40,1
200°	9,8	14,7	19,5	24,4	29,3	34,2	39,1	44,0	48,9
250°	11,1	16,7	22,3	27,8	33,4	39,0	44,6	50,1	55,7
300°	12,3	18,4	24,6	30,7	36,9	43,0	49,1	55,3	61,4
350°	13,3	19,9	26,5	33,2	39,8	46,4	53,1	59,7	66,3
400°	14,1	21,1	28,2	35,2	42,3	49,3	56,3	63,4	70,4

Zahlentafel 78. Rauchgasmenge für feste Brennstoffe.

Heizwert H_u (kcal/kg)	Rauchgasvolumen bezogen auf 1 kg Brennstoff (Nm ³ /kg) bei einer Luftüberschußzahl			
	$n = 1$	$n = 1,5$	$n = 2$	$n = 2,5$
2000	3,4	4,6	6,0	7,2
3000	4,3	6,0	7,9	9,6
4000	5,2	7,5	9,7	12,0
5000	6,2	8,8	11,6	14,4
6000	7,0	10,2	13,6	16,8
7000	7,9	11,6	15,5	19,3
8000	8,8	13,0	17,4	21,6

Bemerkung: Bei der Luftüberschußzahl $n = 1$ erfolgt die Verbrennung mit der theoretisch erforderlichen Luftmenge.

Nach der Rauchgasmenge und der Geschwindigkeit ergibt sich der obere Schornsteinquerschnitt zu

$$F = \frac{Q}{w} \cdot \left(\frac{273 + t_0}{273} \right);$$

t_0 ist die Abgastemperatur an der Schornsteinmündung; w ist aus den vorstehenden Angaben zu ermitteln.

Bei künstlichem Zug treten an die Stelle des natürlichen Auftriebs durch Elektromotoren oder Dampfturbinen angetriebene Ventilatoren (Saugzulanlagen). Die Wahl zwischen natürlichem und künstlichem Zug kann nicht durch einen Federstrich entschieden werden. In erster Linie sind hierfür wirtschaftliche Erwägungen maßgebend, wobei die Energiekosten, die Anlagekosten, die Abschreibungsdauer und die Unterhaltungskosten eine Rolle spielen. Daneben sind auch bauliche Gründe, Platzbedarf und hygienische Forderungen zu berücksichtigen. Die letztgenannten erfüllen im allgemeinen Schornsteine mit natürlichem Zug besser, da sie zur Erzielung der bei neuzeitlichen, hochbeanspruchten Anlagen notwendigen großen Zugstärken ohnehin eine beträchtliche Höhe erhalten müssen.

Die Schornsteine können in Ziegelmauerwerk, Eisenbeton oder Stahl ausgeführt werden. Die letztgenannte Ausführung kommt nur für künstlichen Zug in Frage. Gemauerte Schornsteine und solche aus Eisenbeton erhalten bei höheren Abgastemperaturen im unteren Teil ein Futter aus Schamottesteinen (s. Abb. 410). Für die statische Berechnung freistehender Schornsteine aus Mauerwerk oder Eisenbeton ist — unter Aufhebung aller bisher ergangenen Anweisungen — in Preußen durch ministeriellen Erlaß vom 26. 3. 1930 bestimmt worden, daß die Berechnungsgrundlagen nach dem Normblatt DIN 1056 anzufertigen sind, und daß die Ausführung den Vorschriften des DIN-Blattes 1058 entsprechen muß. Nach DIN 1056 ist der Winddruck mit $(120 + 0,6H)$ kg/m² anzunehmen, wobei H die gesamte Schornsteinhöhe in m (ab Gelände) ist.

Stahlblechschornsteine sind bezüglich der Standsicherheit und Biegefestigkeit unter gleichen Belastungsannahmen zu berechnen. Bei Blechschornsteinen ist darauf zu achten, daß bei weitgehender Abgasausnutzung der Taupunkt der Rauchgase nicht unterschritten wird. Diese Gefahr ist allerdings gering, da die Taupunkttemperaturen je nach dem Brennstoff und nach dem Luftüberschuß der Abgase zwischen 20 und 65° C liegen. Wesentlicher ist diese Frage für die Bemessung von Speisewasservorwärmern, die in den Rauchgasstrom zwischen Kessel und Schornstein eingeschaltet werden. Bei Temperaturen über 500° müssen Blechschornsteine Schamotteauskleidung erhalten.

Im vorstehenden sind hauptsächlich freistehende Fabrikschornsteine kreisförmigen Querschnittes behandelt worden. Im wesentlichen gelten die Ausführungen natürlich auch für Schornsteine, die in einem Geschosßbau eingebaut sind. Für solche Schornsteine, die meist rechteckigen Querschnitt besitzen, sind auch die Ausführungen unter „Heizung und Lüftung“ zu beachten. In diesem Abschnitt sind ferner die eingebauten Abzugsrohre für Gasheizapparate, für Dunstableitungen und Raumentlüftung behandelt, so daß es sich erübrigt, hierauf näher einzugehen. Erwähnt sei nochmals, daß für eingebaute, gemauerte Schornsteine rechteckigen oder runden Querschnittes die Mindestwandstärke 25 cm beträgt.

Für die Abführung saurer Abgase, wie sie bei hohem Schwefelgehalt des Brennstoffes oder bei manchen metallurgischen Prozessen entstehen, sind von Fall zu Fall besondere Vorkehrungen zu treffen. Abgase, die durch Ruß, Staub oder giftige Bestandteile in derart starkem Maße verunreinigt sind,

daß eine hygienisch unzuträgliche Beeinflussung der Umgebung zu befürchten ist, müssen vor der Ableitung gereinigt werden. Mitunter ist es allerdings auch möglich, das Übel an der Wurzel zu beseitigen. Dies gilt z. B. für Kessel- und Ofenfeuerungen, bei denen durch geeignete Betriebsführung (z. B. Überwachung des Heizpersonals, Wahl eines anderen Brennstoffes,

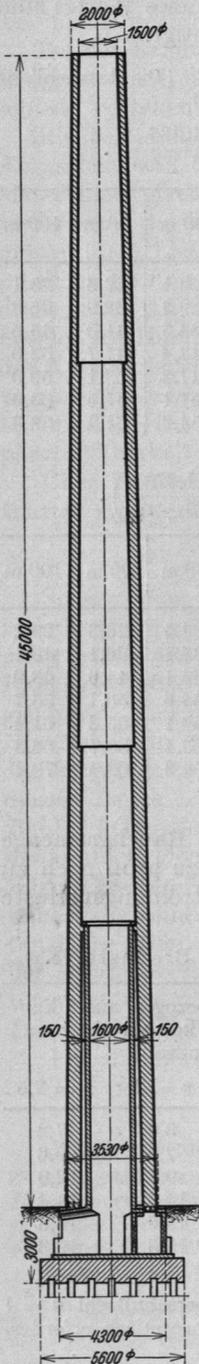


Abb. 410. Gemauerter Schornstein mit Schamottefutter im unteren Teil.

selbsttätige Feuerregelung) oder durch bauliche Maßnahmen (z. B. Vergrößerung des Feuer-raumes, Sekundärluftzuführung, Einbau einer mechanischen Feuerung) leicht Abhilfe zu schaffen ist, womit meistens gleichzeitig noch eine Brennstoffersparnis verbunden ist. Staubhaltige Abgase (verunreinigt durch Flugasche, Kohlenstaub, Metallstaub oder dgl.) können auf mechanische bzw. aerodynamische Weise (mit oder ohne Berieselung) oder auf elektrischem Wege gereinigt werden. Die erstgenannten Verfahren befriedigen im Reinigungsgrad bzw. in der Lebensdauer der Apparatur noch nicht ganz. Die elektrischen Verfahren besitzen wohl einen guten Reinigungswirkungsgrad (etwa bis 98%), doch sind sie in der Anlage verhältnismäßig teuer. Sofern die Staubabscheidung zugleich eine Rückgewinnung wertvoller Abfälle bedeutet (z. B. in Metallhütten, Kohlenmahlanlagen), ist allerdings trotz der hohen Anschaffungskosten der Betrieb elektrischer Reinigungsanlagen wirtschaftlich. Der zur Verfügung stehende Platz verbietet es, auf die Bauarten und Betriebsweisen der verschiedenen Reinigungssysteme einzugehen.

23. Elektrizitätsversorgung.

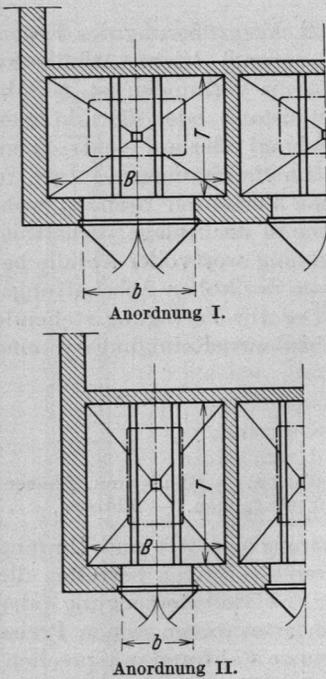
Stromart, Spannung, Frequenz. — Schaltanlagen. — Transformatorstationen. — Blindstrom, Phasenkompensation. — Akkumulatorenräume. — Unterverteilungen. — Verbindungsleitungen. — Motoren.

Die elektrische Energie ist heute für jede Fabrikanlage, unabhängig von Art und Umfang derselben, unentbehrlich. Die beim Entwurf in erster Linie zu klärenden Fragen betreffen die Bezugsquelle, die Stromart und die Spannung. Die Entscheidung, ob Selbsterzeugung oder Fremdbezug, kann von mancherlei Faktoren abhängen. Außer dem errechneten reinen Preise der kWh können auch der eigentlichen Wirtschaftlichkeit ferner liegende Faktoren mitsprechen, z. B. beschränkte Raumverhältnisse, störende Einflüsse auf den eigenen Betrieb oder die Nachbarschaft, mangelnde Kühlwassermenge, behördliche Vorschriften u. a. m. Hierüber ist im vorstehenden das Notwendige bereits gesagt. Als Stromart kommen, von seltenen Sonderfällen abgesehen, nur Gleichstrom-Zwei- oder -Dreileiter und Dreiphasenstrom mit oder ohne Nulleiter in Frage. Bei Fremdbezug ist hierfür das Elektrizitätswerk bestimmend; auch bei reiner Eigenerzeugung tut man gut, sich danach zu richten, um bei etwaiger späterer Parallelarbeit nicht auf Schwierigkeiten zu stoßen. Es empfiehlt sich dabei, auf geplante Netzumstellungen der Werke, wie sie ja heute häufig zur Durchführung kommen, Rücksicht zu nehmen. Ebenso kann der Charakter der Fabrikation von Einfluß auf die Entscheidung sein. Motoren mit Feinregelung, Prüfeinrichtungen bestimmter Art, Transportanlagen, Hubmagnete und andere Dinge können auch heute noch für Gleichstrom sprechen, selbst wenn das Netz des öffentlichen Werkes Drehstrom verteilt. Im allgemeinen wird allerdings heutzutage die Wahl auf Drehstrom fallen müssen, der für die Energieverteilung besonders größerer Anlagen in jeder Hinsicht weit anpassungsfähiger ist. Der normale Drehstrommotor ist im Betriebe wesentlich robuster und unempfindlicher, besonders als schleifringloser Kurzschluß- oder Mehrnut- (Stromverdrängungs-) Motor.

Hinsichtlich der Spannung ist die Entscheidung einfacher. Für Neuanlagen sind unbedingt nur VDE-Normspannungen zu nehmen. 110 bis 125 Volt kommt kaum mehr in Frage, es bleiben 220, 440/220 oder 220/380 Volt für den normalen Kraft- und Lichtbetrieb. In großen Betrieben können mit Rücksicht auf wirtschaftliche Querschnitte und Handlichkeit der Steuer- und Schaltorgane daneben auch höhere Spannungen zweckmäßig zur Anwendung kommen, z. B. 500 Volt Gleichstrom für Fabrikbahnen und 500 Volt Drehstrom für schwere Krane, Aufzüge und größere Motoren. Für ganz große Maschineneinheiten ist aus den gleichen Gründen auch Hochspannung etwa bis 6000 Volt bei sachgemäßer Ausbildung der Schaltanlagen verwendbar.

Die Frequenz des Phasenstromes ist in Deutschland heute fast durchweg 50 Hertz. Größere Werke mit abweichenden Zahlen streben die Umstellung auf diesen Normalwert an.

Hirn und Herz des elektrischen Betriebes ist die **Schaltanlage**. Hier laufen die Zuführungen von den Energiequellen zusammen, die Energie wird gesammelt, gemessen, überwacht, gezählt, geschützt, verteilt. Der Art und Größe des Betriebes entspricht der Umfang der Schaltanlagen. Bei Fremdbezug von Niederspannungsstrom kann sich in kleinen Betrieben die ganze Anlage auf eine kleine Schalttafel beschränken, in großen Betrieben können besonders bei gleichzeitiger Selbsterzeugung und Fremdlieferung von Hochspannungsenergie diese Anlagen einen beträchtlichen Umfang annehmen. In jedem Falle sollte man diesen Anlagen stets den rechten Platz nach Lage und Größe einräumen. Beste Zugänglichkeit und Übersichtlichkeit sind Haupt-



Zahlentafel 79. Abmessungen von Transformatorenkammern. (Maße in mm; hierzu Abb. 411.)

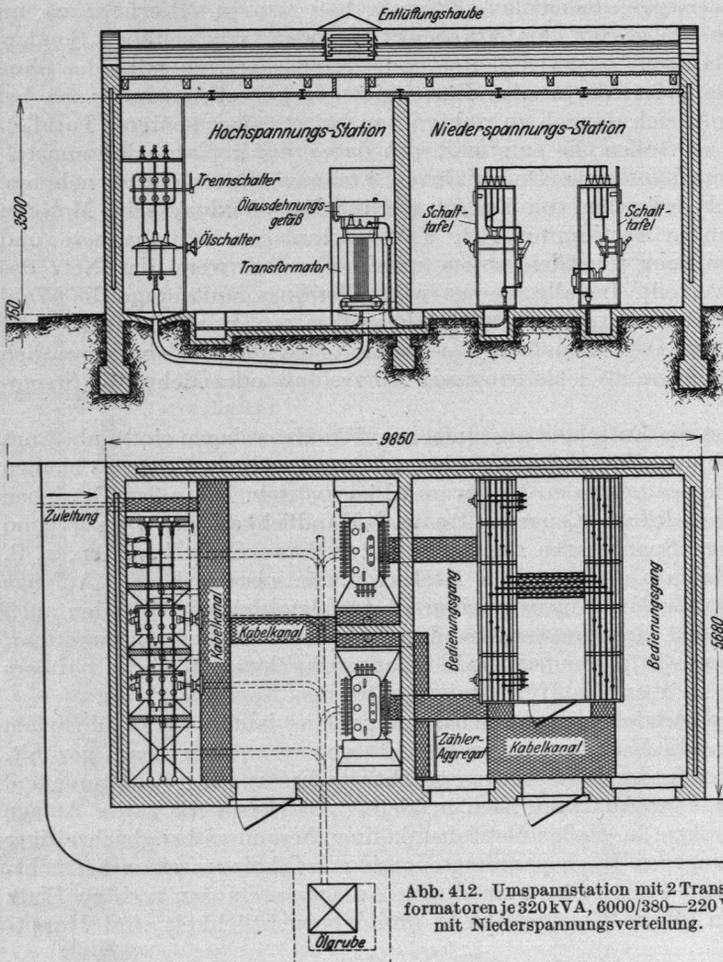
Leistung kVA	Lichte Mindesthöhen über den Fahrstienen		Anordnung I			Anordnung II		
	Kammer	Tür	B	T	b	B	T	b
100	2500	2000	2600	1800	1400	2200	2400	1000
125								
160								
200	2500	2000	3000	2200	1800	2500	2800	1200
250								
320								
400	3000	2400	3500	2400	2200	2700	3200	1400
500								
640								
800	3500	3000	3800	2600	2500	2900	3400	1600
1000								
1250								
1600	4000	3500	4100	2800	2800	3000	3600	1800

Bemerkung: Bei ungünstigen Lüftungsverhältnissen sind die Kamerabmessungen zu vergrößern.

bedingungen; eine möglichst zentrale Lage der Verteilungsanlagen im Schwerpunkt des Verbrauches ist erwünscht.

Abb. 411. Skizzen zu Zahlentafel 79.

Die Anordnung größerer Schaltanlagen kann waagrecht oder senkrecht sein, d. h. die einzelnen Teilanlagen, wie Transformatorenkammern, Hochspannungs-, Niederspannungs-, Blitzschutzraum, Kabelkanal u. dgl. liegen vorwiegend neben- oder übereinander.



Bestimmend sind hierfür in der Hauptsache die Platzverhältnisse. Beide Anordnungen haben ihre Vor- und Nachteile: bei senkrechter Bauart ist die Zugänglichkeit der einzelnen Räume unbequemer, die Führung der Verbindungsleitungen wegen Fortfall der Wegkreuzungen günstiger, die erforderliche Grundfläche geringer als bei der waagerechten. Beim Entwurf sollte man stets von dem Raum für die Transformatoren ausgehen. Ratsam ist, für jeden Transformator eine eigene, entsprechend große Kammer mit ins Freie gehenden Türen vorzusehen, wobei der Fußboden etwa 0,60 bis 0,80 m über Gelände liegt, um die Transformatoren leicht mit Hilfe eines Spezialwagens ein- und ausfahren zu können.

Abb. 412. Umspannstation mit 2 Transformatoren je 320 kVA, 6000/380—220 V mit Niederspannungsverteilung.

Der Fußboden der Zelle wird muldenartig ausgebildet, auslaufendes Öl sammelt sich in der

Mitte und wird durch Rohrleitungen der Ölgrube zugeführt. Man achte darauf, daß letztere vor Zufluß von Grund- und Tageswasser gesichert ist, damit sie im Gefahrenfalle zur Aufnahme des Öles auch wirklich frei ist.

Transformatoren sollten durchweg mit möglichst für jede Fahrrichtung umsteckbaren Transportrollen versehen sein. Zum Aufstellen der Transformatoren werden U-Eisen etwa NP 24 oder 26, nach unten offen, bündig mit der Türschwelle, passend für mehrere Rollenentfernungen als Fahrschienen eingelegt, wobei darauf zu achten ist, daß auslaufendes Öl nicht gestört wird. Bei Transformatoren mit natürlicher Luftkühlung muß die entwickelte Wärme gut abgeführt werden. Am wirksamsten ist Zuführung der Frischluft von unten, Abführung durch Luftkanäle nach oben. Schlechte Luftführung verringert die Leistung des Transformators, während durch kräftiges Anblasen mit Kühlluft erhebliche Mehrleistungen entnommen werden können. Im Falle eines Ölbrandes muß die Zuführung der Frischluft unbedingt unterbrochen werden. Erreicht wird das durch Zufallen einer Klappe, die durch ein feuerempfindliches Bruchglied (Zelluloid- oder Metallschmelzstreifen) im normalen Betriebe gehalten wird. Dieses einfache und sicher wirkende Mittel ist verwickelten Schutzeinrichtungen unbedingt vorzuziehen. Bei Transformatoren mit Umlaufkühlung kann entweder das Kühlwasser den Transformator in Kühlschlangen durchlaufen oder das Öl läuft um und wird außen gekühlt. In beiden Fällen muß durch richtige Bemessung der Flüssigkeitsdrücke verhindert werden, daß bei etwaigen Undichtigkeiten Wasser in das Öl tritt.

Unter Beachtung der vorstehend entwickelten Richtlinien sind in Zahlentafel 79 normale Kammerabmessungen für Transformatorenräume angegeben. Den Maßen sind Transformatoren neuester Bauart nach den genormten Nennleistungen (Normblatt DIN VDE 2610) zugrunde gelegt. Die kleinste lichte Kammerhöhe entspricht der von der Berliner Baupolizei vorgeschriebenen kleinsten lichten Höhe bei Kellergeschossen und den Vorschriften und Richtlinien für

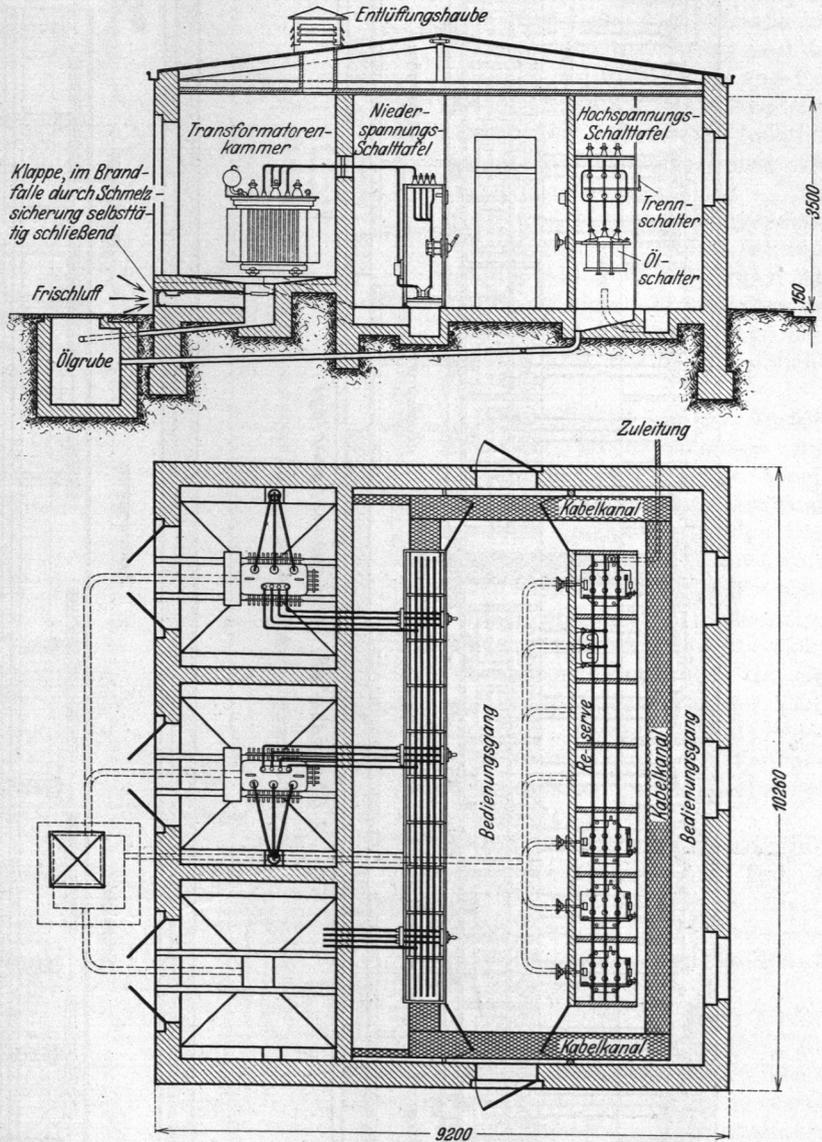
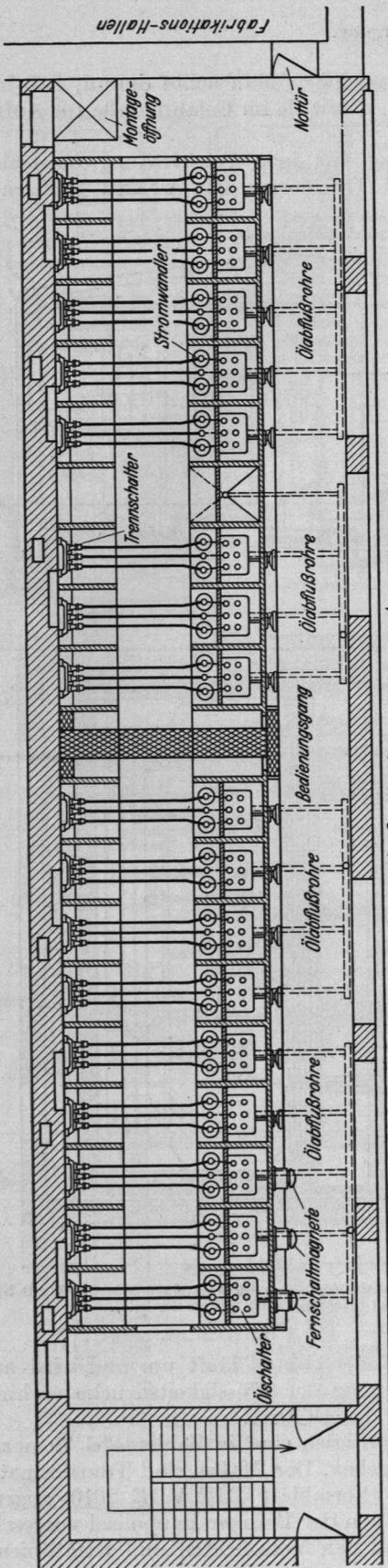


Abb. 413. Umspannstation mit 2 Transformatoren je 640 kVA, 6000/380—220 V mit Niederspannungsverteilung (Platz für eine weitere Einheit).

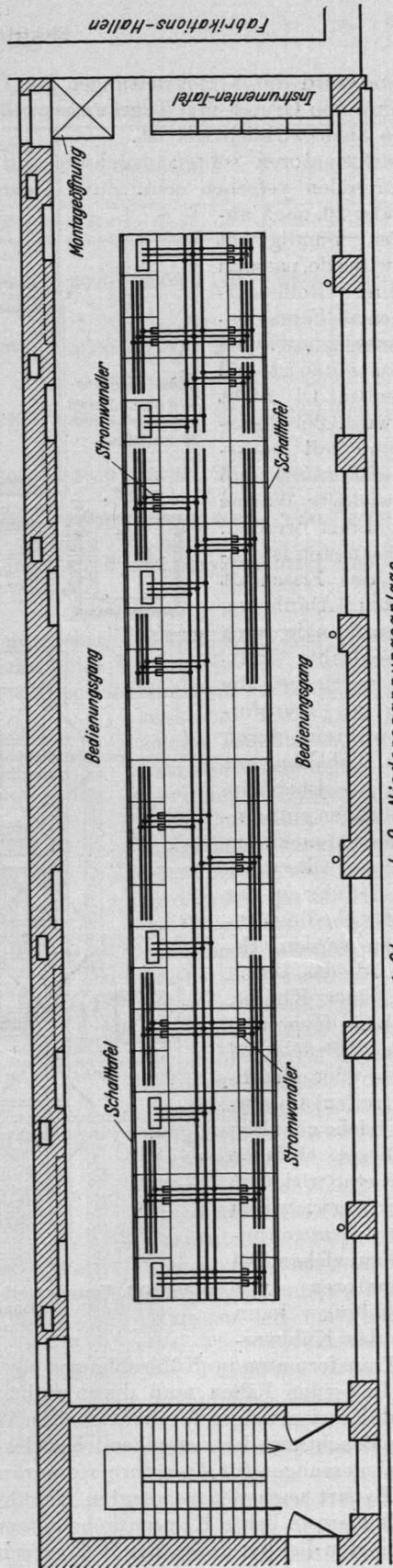
entweder das Kühlwasser den Transformator in Kühlschlangen durchlaufen oder das Öl läuft um und wird außen gekühlt. In beiden Fällen muß durch richtige Bemessung der Flüssigkeitsdrücke verhindert werden, daß bei etwaigen Undichtigkeiten Wasser in das Öl tritt.

Unter Beachtung der vorstehend entwickelten Richtlinien sind in Zahlentafel 79 normale Kammerabmessungen für Transformatorenräume angegeben. Den Maßen sind Transformatoren neuester Bauart nach den genormten Nennleistungen (Normblatt DIN VDE 2610) zugrunde gelegt. Die kleinste lichte Kammerhöhe entspricht der von der Berliner Baupolizei vorgeschriebenen kleinsten lichten Höhe bei Kellergeschossen und den Vorschriften und Richtlinien für



2. Obergeschoß: Hochspannungsanlage

Abb. 414.



1. Obergeschoß: Niederspannungsanlage

Abb. 415.

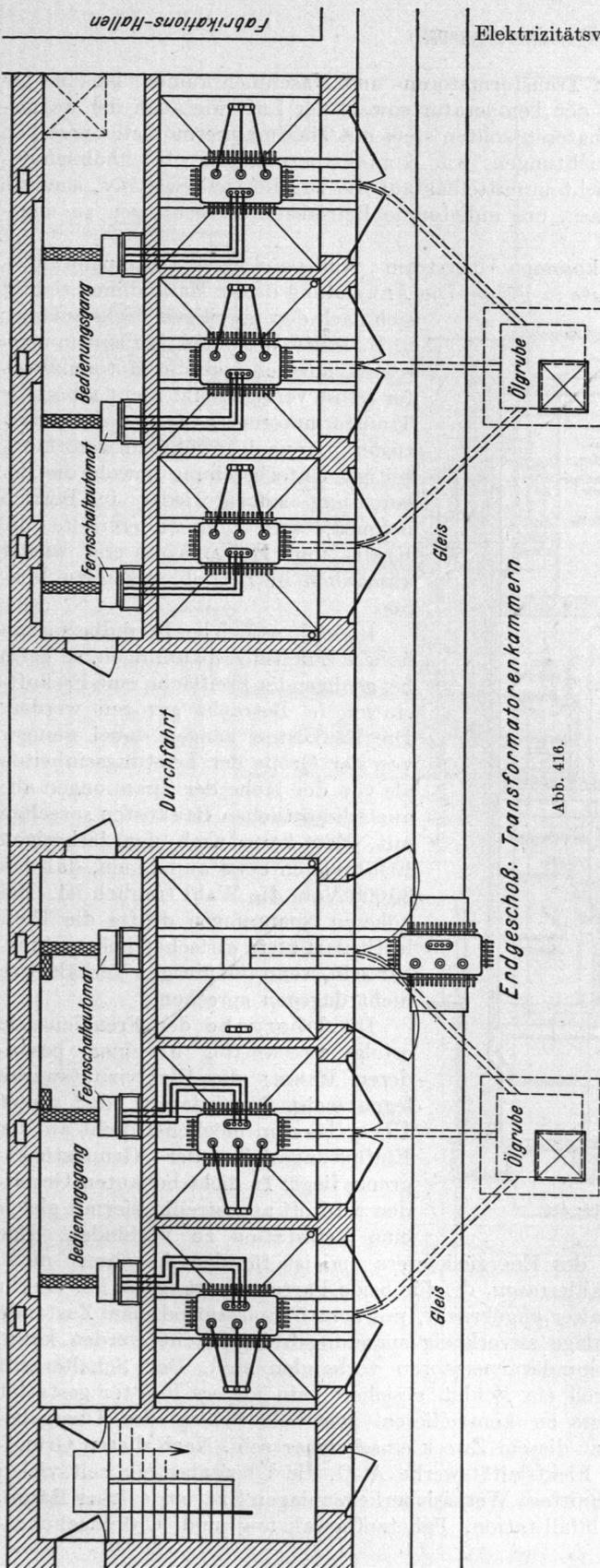


Abb. 414 bis 416. Schaltstation mit 6 Transformatoren je 1000 KVA und mit Hoch- und Niederspannungsverteilung.

die bauliche Einrichtung von Hochspannungs-, Netz- und Abnehmerstationen der Berliner Städtischen Elektrizitätswerke A.-G.

Für die zur Aufnahme der Schaltanlagen bestimmten Räume kann man keine Normalmaße angeben, da die Ausführung und damit auch der Platzbedarf von Fall zu Fall verschieden ist. Daher sind in den Abb. 412 bis 418 lediglich einige Ausführungsbeispiele für Transformatorenstationen mit Hoch- und Niederspannungsschaltanlagen gegeben. Ferner sei auch auf die Abb. 392 im vorigen Abschnitt verwiesen. Einzelheiten der dort gezeigten Schaltanlage sind aus den Abb. 419 bis 421 ersichtlich.

Allgemein ist bei der Ausführung der Hochspannungs- und Transformatorenräume zu beachten, daß unmittelbare Ausgänge ins Freie geschaffen werden können, daß weiter die Transformatoren leicht ausgewechselt werden können, und daß die Bedienungsanlagen zugänglich und übersichtlich angeordnet werden. Die einschlägigen Vorschriften des VDE, der Bau-, Gewerbe- und Feuerpolizei sowie auch der Versicherungsanstalten sind hierbei gewissenhaft zu beachten.

In Ölschalterräumen rüstet man zweckmäßig einen Teil der Fenster mit pendelnden Kippflügeln aus, um bei Explosionen selbsttätig den erwünschten Druckausgleich zu schaffen.

Durch entsprechenden Einbau der Ölschalter und Verschuß der oberen Zellenhälften mit Vollblechtüren kann man die nicht betroffenen Ölschalter vor Verqualmung schützen. Die Ölschalter sind dann auf einer Blechplatte montiert, der Kessel hängt im unteren unverschlossenen Teil der Zelle (s. Abb. 420). Die neuerdings entwickelten ölfreien Hochspannungsschalter vermeiden die Nachteile der Ölschalter und machen die Öl-schutzmaßnahmen überflüssig; im übrigen verändern sie das Bild der Schaltanlage nicht wesentlich.

In allen Räumen, besonders in den Transformatoren- und Maschinenräumen, ist eine gewissenhafte und ständige Beobachtung der Temperatur sowohl der Luft wie auch der wärmeabgebenden Teile notwendig. Transformatoren sollten stets mit Maximalthermometer versehen sein. Bei Einbau sonstiger Schutzvorrichtungen, wie Kontaktthermometer, Buchholzschutzapparat u. dgl., ist es ratsam, diese nicht unmittelbar auf die zugehörigen Schalter, sondern auf Alarmeinrichtungen wirken zu lassen, um unliebsame Betriebsunterbrechungen zu ungelegener Zeit zu vermeiden.

Von weiteren Schutzvorrichtungen kommen Überstrom-, Nullspannungs-, Überspannungs-, Blitz-, Rückstrom- und Differentialschutz in Frage. Die Anwendung dieser Maßnahmen richtet sich nach den jeweiligen Verhältnissen; z. B. sollte man den Nullspannungsschutz möglichst an die Motorschalter selbst verlegen und nicht schon die Transformatorschalter damit ausrüsten, um nach gewöhnlich ganz kurzzeitiger Unterbrechung sowohl die Beleuchtung sofort wieder in Betrieb nehmen, wie auch andererseits die Kraft- und Heizanlagen erst wieder allmählich in Betrieb setzen zu können.

Handelt es sich bei Fremdbezug um höhere Zuleitungsspannungen, so kann bei genügender Freifläche eine Freiluftstation in Betracht gezogen werden. Die Baukosten hängen dabei weniger von der Größe der Leistungseinheiten als von der Höhe der Spannungen ab; auch die örtlichen Baukosten sprechen mit. Man kann nach den bisherigen Erfahrungen etwa annehmen, daß bei 30000 Volt die Wahl fraglich ist. Bei höheren Spannungen dürfte die Freiluftbauart stets wirtschaftlich ausführbar sein, wenn die übrigen Verhältnisse nicht dagegen sprechen.

Die Übergabe der Fremdenergie erfolgt zweckmäßig in einem besonderen Raum; die Elektrizitätswerke legen meist Wert darauf, daß dieser Übergaberaum möglichst dicht an der Einführungsstelle der Grundstücksgrenze liegt. In dicht bebauten Gegenden wird oft angestrebt, hiermit gleich eine Netzstation zu verbinden. Der

Übergaberaum liegt unter Verschluß des Energielieferers und ist für den Abnehmer nicht zugänglich. Daneben ist der neutrale Zählerraum, der für beide Parteien zugänglich ist. Hierin ist der Antrieb für den Haupttrennschalter angebracht, mit dem in belastungsfreiem Zustande im Bedarfsfalle die gesamte Fabrikanlage zuverlässig spannungsfrei gemacht werden kann, sofern nicht eigene Primär- oder Sekundärgeneratoren vorhanden sind. Der Schaltergriff wird gegen unbefugte Betätigung durch ein Schloß gesichert; ein kleines Fenster gestattet den Schalterzustand des Trennschalters zu kontrollieren. Die Beleuchtung des Übergaberaumes muß von der Schaltstelle aus zu diesem Zweck einschaltbar sein. Nach diesen Grundsätzen bildet die Berliner Städtische Elektrizitätswerke A.-G. die Übergabestelle seit vielen Jahren aus. In der Abb. 364 des Abschnittes „Werkssicherheitsanlagen“ ist ein solcher Raum, örtlich vereinigt mit Pfortnerhaus, Unfallstation, Paketaufbewahrung und Untersuchungs- räumen, dargestellt.

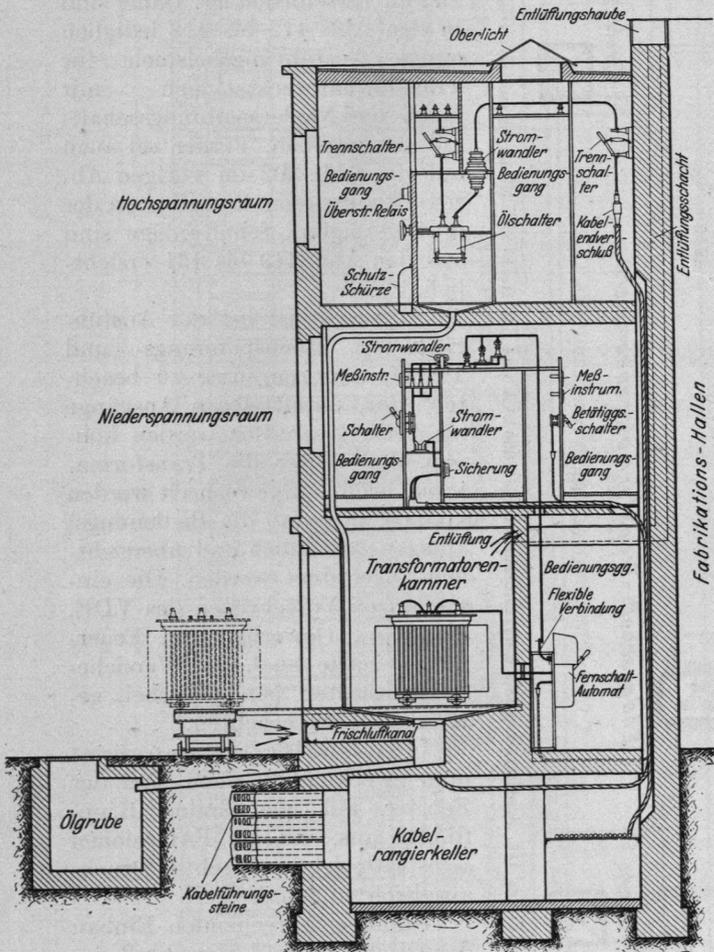


Abb. 417. Schnitt zu den Abb. 414 bis 416.

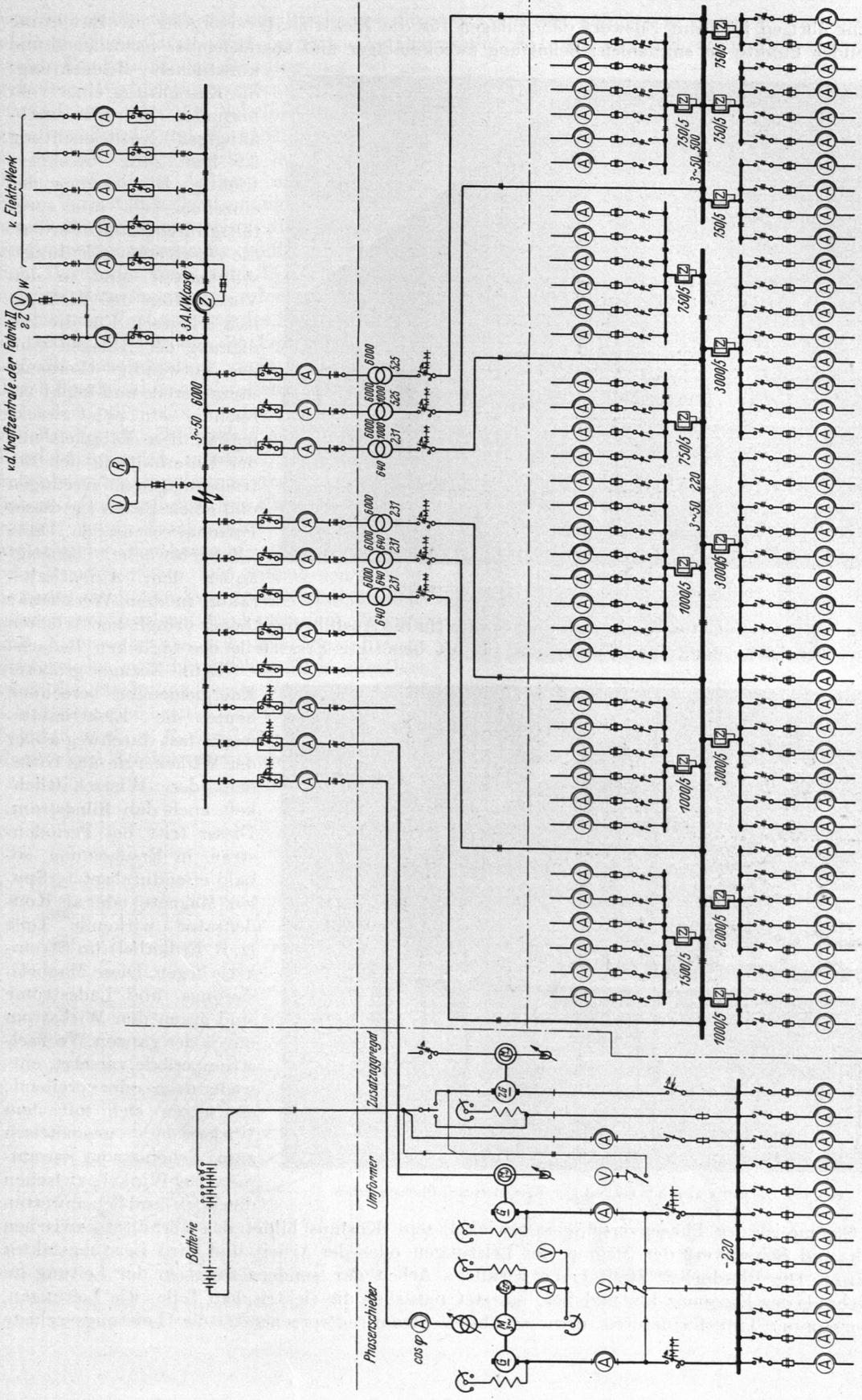


Abb. 418. Gesamtschaltbild zu den vorstehenden Abbildungen.

Im übrigen ist beim Entwurf der Anlagen für die Elektrizitätsversorgung die Beachtung folgender Punkte zu empfehlen: Schaffung zweckmäßiger und ausreichender natürlicher und künstlicher Beleuchtung;

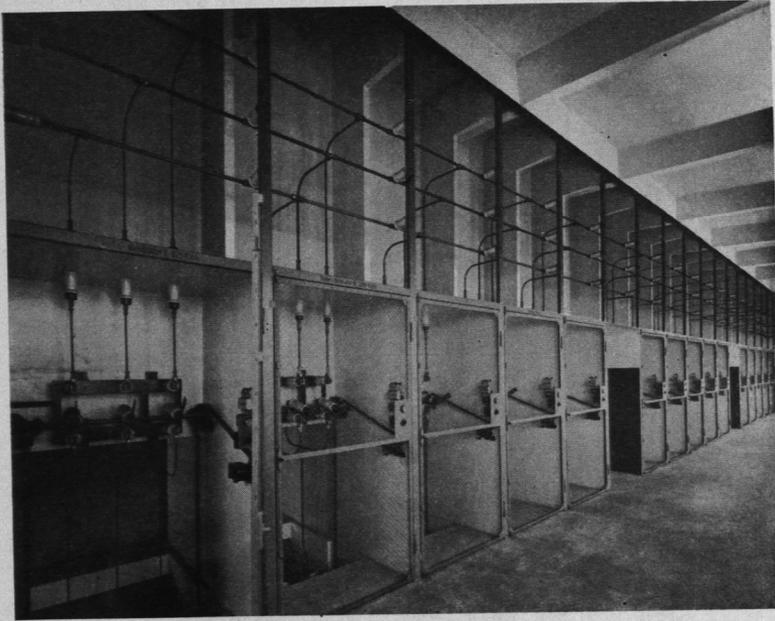


Abb. 419. Sammelschienenraum mit Trennschalterzellen.

die notwendigsten Werkzeuge und Geräte für die Ausführung kleiner dringlicher Arbeiten untergebracht werden, einen Lagerraum für oft benötigte Ersatzteile des täglichen Bedarfs.

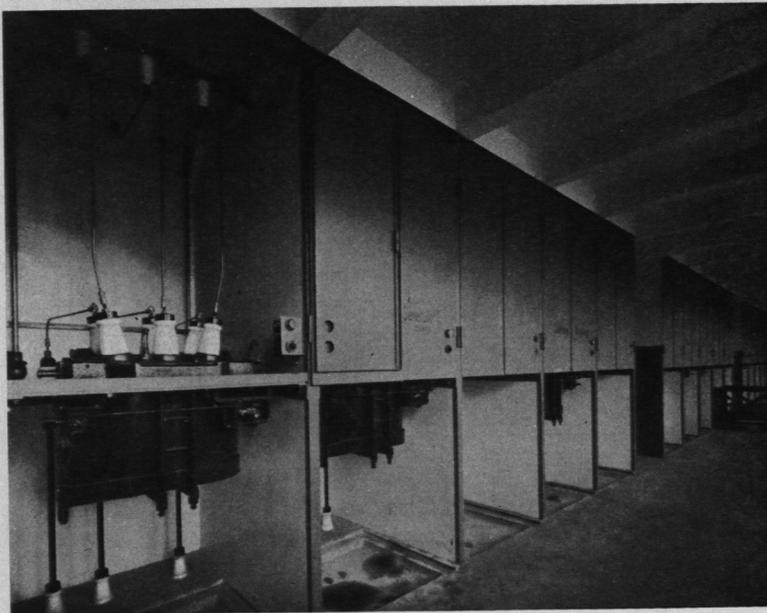


Abb. 420. Ölschalterraum mit qualmsicher abgeschlossenen Ölschalterzellen.

der Ströme ist der Phasenverschiebungswinkel, sein Kosinus bildet das Verhältnis zwischen Wirk- und Scheinwert der Ströme, der Leistungen oder der Arbeit und wird Leistungsfaktor genannt. Die Blindarbeit stellt keine wirkliche Arbeit dar, sondern flutet in der Leitung im Rhythmus der Frequenz hin und her, belastet natürlich die elektrischen Teile, wie Leitungen, Generatoren, Transformatoren dem erhöhten Strom entsprechend; die Leistungsverluste

künstlicher Beleuchtung; die Einrichtung einer vom normalen Betriebe unabhängigen Notbeleuchtung ist hier ganz besonders wichtig. Die Erdung der einzelnen Teile muß sorgfältig durchgeführt werden; die verschiedenen Erdungsarten sind in den Vorschriften des VDE genau erläutert. Für die Bedienung der Anlagen muß das notwendige Personal stets bereit und leicht erreichbar sein; es ist zweckmäßig, diese Tätigkeit mit der Unterhaltung der Betriebsanlagen zu vereinigen und einen Raum für dieses Personal vorzusehen. Diese „Betriebswache“ benötigt außer dem Aufenthaltsraum, in dem Werkbänke

Beim Bezuge größerer Energiemengen berechnen heute die Elektrizitätswerke fast durchweg außer der Wirkenergie aus Gründen der Wirtschaftlichkeit auch den **Blindstrom**. Dieser tritt bei Periodenstrom in Erscheinung, sobald eisdurchsetzte Spulen (Magnete) oder als Kondensator wirkende Teile (z. B. Erdkabel) im Stromkreis liegen. Diese Magnetisierungs- und Ladeströme sind gegen den Wirkstrom um $\frac{1}{4}$ der ganzen Wechselstromperiode versetzt, entweder nach- oder voreilend; sie setzen sich mit dem Wirkstrom geometrisch zum Scheinstrom zusammen. Der Winkel φ zwischen den Wirk- und Scheinwerten

wachsen quadratisch mit der Stärke des Stromes; dagegen werden die Erzeuger der mechanischen Arbeit davon nicht berührt. Die Diagramme Abb. 422 und 423 ermöglichen eine einfache Ermittlung der Blindleistung bei gegebenem Wirkleistungsverbrauch und Leistungsfaktor oder der Scheinleistung bei gegebenem Blind- und Wirkleistungsverbrauch.

Den Elektrizitätswerken ist die schlechte Ausnutzung ihrer Anlagen mit den zusätzlichen Verlusten äußerst unangenehm, bei weiteren Entfernungen wird die Übertragung größerer Energiemengen völlig unwirtschaftlich. Durch die Verkaufstarife werden die Abnehmer gezwungen, die erforderlichen Maßnahmen zur Verbesserung des Leistungsfaktors zu treffen. Man erhebt die Leistungsgebühren auf die Scheinleistung, man berechnet den durch Spezialzähler ermittelten Blindverbrauch besonders oder man wendet beide Methoden gleichzeitig an. Es handelt sich nun darum, Einrichtungen zu schaffen, deren Gesamtbetriebskosten mindestens unter den zusätzlichen Gebühren liegen. Die Phasenkomensation kann durchgeführt werden mittels umlaufender Maschinen verschiedener Bauart oder Kondensatoren. Der Betrieb von Maschinen nur zu diesem Zwecke läßt sich meistens schwer rechtfertigen, da Verzinsung, Tilgung und Eigenverbrauch sehr leicht die Ersparnisse wieder aufzehren. Wesentlich günstiger wird die Rechnung, wenn ein solcher Maschinensatz gleichzeitig für andere Zwecke mitbenutzt wird, z. B. für Umformung in Gleichstrom. Als „Phasenschieber“ verwendet man dann einen Drehstromsynchronmotor, der durch Übererregung mit $\cos \varphi = 1$ oder darüber

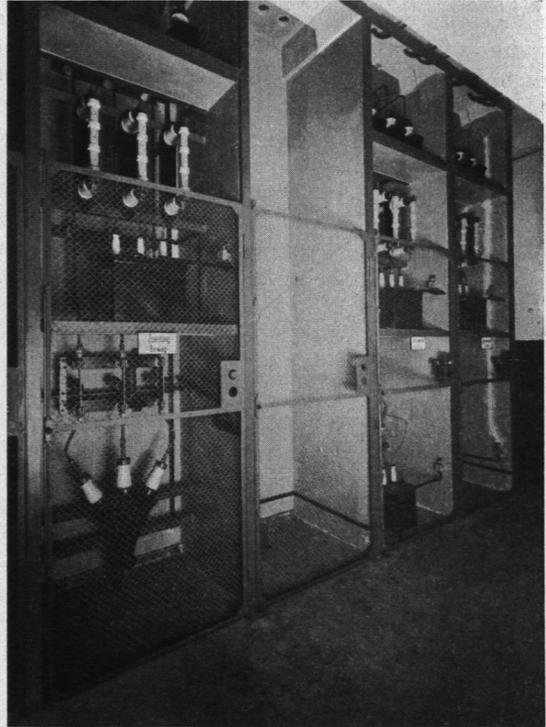


Abb. 421. Zellen für Kabelendverschlüsse, Trennschalter und Meßwandler.

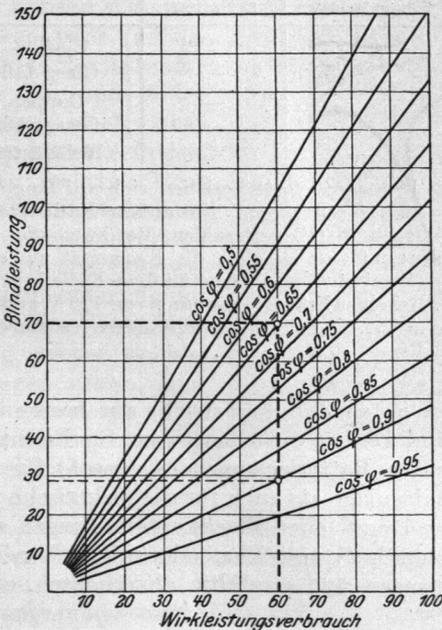


Abb. 422. Zusammenhang von Blindleistung, Wirkleistung und Leistungsfaktor.

hinaus mit Blindstromabgabe arbeiten kann und den direkt gekuppelten Gleichstromgenerator antreibt. Durch diese oder ähnliche Kombinationen wird sich stets die Blindstromfrage wirtschaftlich lösen lassen. Ein anderes, vielfach angewendetes Mittel sind

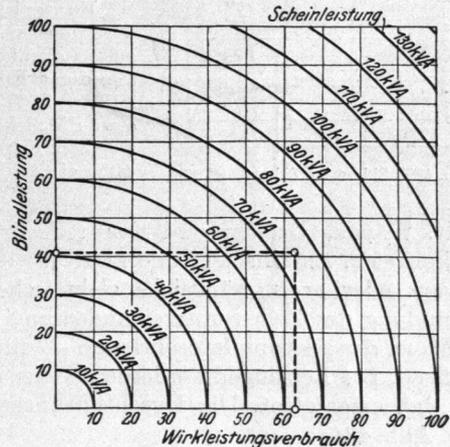


Abb. 423. Zusammenhang von Blindleistung, Wirkleistung und Scheinleistung.

die Kondensatoren, die heute in absolut betriebssicherer Bauart in Einheiten bis etwa 600 Blind-kW und für Spannungen von 220 bis 20000 Volt geliefert werden. Bei Hochspannungsstrombezug kann die Blindstromerzeugung sowohl auf der Hoch- wie Niederspannungsseite vor sich gehen. Technisch sind beide Methoden gleichwertig ausführbar. Die Anordnung auf der Niederspannungsseite hat den großen Vorzug, daß auch die Transformatoren an dem Vorteil der Kompensation teilnehmen. Oft lassen sich dadurch wesentlich geringere Einheiten verwenden oder bei mehreren Transformatoren einige außer Betrieb setzen, wodurch wieder erhebliche Leerlaufverluste vermieden werden. Bei Verwendung von Kondensatoren ist man in der Lage, eine Anzahl kleinerer Einheiten in den einzelnen Verbrauchsschwerpunkten selbst verstreut aufzustellen, und erreicht so auch eine Entlastung der Verteilungsleitungen. Abgesehen davon, daß man die Leitungen wesentlich besser ausnutzen kann, verringert man auch die Spannungsverluste erheblich. In den betriebsfreien Zeiten kann man diese Kondensatoren größtenteils abschalten, um die Transformatoren nicht wieder durch kapazitiven Strom unnötig zu belasten. Die ganze Blindstromfrage muß sich unbedingt den gegebenen Verhältnissen anpassen und daher von Spezialfachleuten bearbeitet werden. In ungünstigen Fällen sind schon schon Leistungsfaktoren unter 0,5 festgestellt worden; hier ist oft schon ohne Verlangen des Elektrizitätswerkes eine Korrektur ratsam. Häufig wird bei Einzelantrieb der Maschinen bereits bei der Auswahl der Elektromotoren gesündigt und dadurch ein schlechter $\cos \varphi$ von vornherein geschaffen.

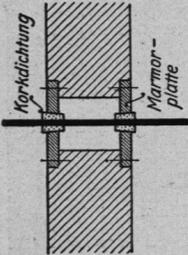


Abb. 424. Wanddurchführung einer blanken Kupferleitung bei Akkumulatoren-Räumen.

In vielen Anlagen ist die Anordnung einer **Akkumulatorenbatterie** notwendig, sei es als Stromquelle für Notbeleuchtungszwecke, sei es als Betätigungsbatterie in Schaltanlagen oder als Speicher zum Belastungsausgleich in Gleichstromnetzen. Die Akkumulatorenräume sollen trocken, hell, gut gelüftet und gegen das Eindringen von Staub und schädlichen Gasen geschützt sein. Die Räume brauchen meistens nicht geheizt zu werden. Liegen Akkumulatorenräume neben Schalt- oder Maschinenräumen, so dürfen diese Räume nicht durch Türen miteinander verbunden werden, damit die Maschinen und Apparate nicht unter der Einwirkung der Säuredämpfe leiden. Wichtig ist eine sorgfältige und zweckentsprechende Ausführung des Fußbodens; hierüber gibt der gleichnamige Abschnitt Aus-

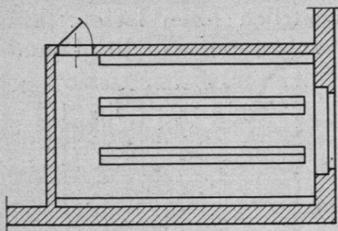


Abb. 425. Skizze zu Zahlentafel 80.

Zahlentafel 80.
Platzbedarf in m² für Akkumulatorenbatterien mit 220 V
Entladespannung bei dreistündiger Entladung (siehe Abb. 425).

Kapazität Ah	Bei Aufstellung der Zellen auf			Ausführung der Zellen als
	Boden- gestellen	Stufen- gestellen	Etagen- gestellen	
108	25—30	20—25	17—20	} Einfache Glasgefäße
216	25—30	20—25	—	
540	36—42	—	—	} Doppel- Glasgefäße
756	43—50	—	—	
1080	65—80	—	—	} Holzkästen

Bemerkungen: 1. Die kleineren Werte beziehen sich auf längliche, die größeren Werte auf quadratische Räume. 2. Für andere Entladezeiten gelten ebenfalls die angegebenen Platzbedarfszahlen. Bei zwei- und ein-stündiger Entladung verringert sich lediglich die Kapazität um etwa 20 bzw. 35% und erhöht sich bei fünf- und zehnstündiger Entladung um etwa die gleichen Werte. 3. Bei einer Entladespannung von 110 V und der gleichen Kapazität tritt eine Verminderung des Platzbedarfes um etwa 40% ein.

kunft. Wände, Decken und Eisenteile erhalten einen guten Schutzanstrich, am besten mit alkoholfreiem Emaillack, und zwar für die Wände und Decken in hellem Ton, für Eisenteile schwarz oder grau. Sämtliche elektrischen Leitungen in Batterieräumen — sowohl für die Verbindung der Zellen untereinander und mit der Schaltanlage als auch für die elektrische Beleuchtung der Akkumulatorenräume — sind als blanke Rund- oder Flachkupferleitungen auszuführen. Die Leitungen werden entweder mit säurefestem Lack gestrichen oder mit Öl, Vaseline oder dgl. eingefettet. Die Durchführungen dieser Leitungen sind sorgfältig abzudichten, etwa nach Abb. 424.

Über den Platzbedarf von Akkumulatorenbatterien gibt Zahlentafel 80 Auskunft; Abb. 426 zeigt einen, den vorstehenden Richtlinien entsprechenden Akkumulatorenraum.

In den meisten Fällen ist es nicht möglich, die elektrische Energie von der Niederspannungsseite der Transformatorstation unmittelbar den Stromverbrauchern zuzuleiten. Vielmehr ist es notwendig, Gruppen von **Unterverteilungen** zu bilden, die bestimmte Fabrikabteilungen

versorgen und jeweils dem Schwerpunkt des Verbrauches naheliegen. Oft werden von diesen Verteilungen Leitungen zu weiteren Unterverteilungen führen, sei es zur Versorgung der einzelnen Stockwerke von Hochbauten oder einzelner, nebeneinander liegender Hallen. Fast durchweg werden diese Verteilungen heute als eisengekapselte Schaltanlagen ausgeführt, die gegenüber den früheren Schalttafeln große Vorteile aufweisen. Bei bester Zugänglichkeit aller Kontakt- und Konstruktionsteile von vorn sind allespannungsführenden Teile absolut vor unbe-

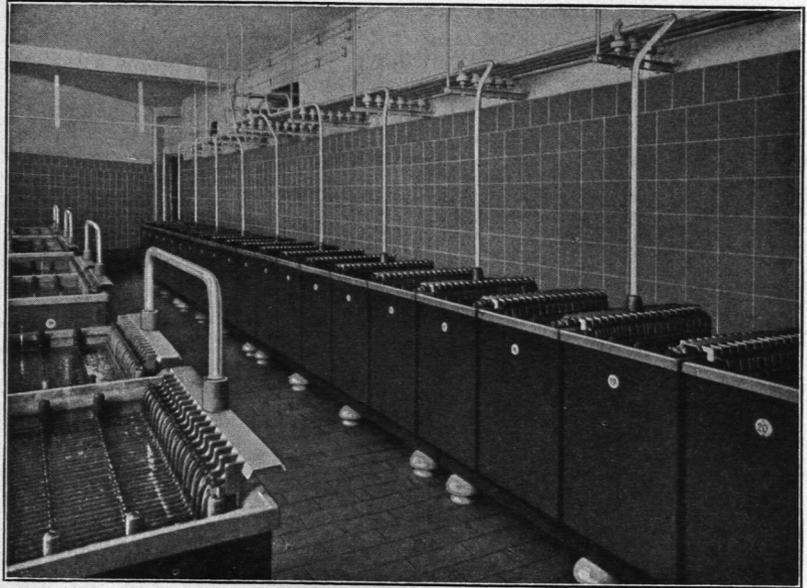


Abb. 426. Akkumulatoren-Raum.

fügter Berührung geschützt; die Raumbeanspruchung in der Tiefe ist sehr gering, die Bedienung ist auch für ungelernetes Personal gefahrlos, da durch gegenseitige Verriegelungen Schaltfehler erschwert werden; der Einbau von Trenn- und Schutzschaltern, von Meßinstrumenten und Zählern ist ohne weiteres möglich, die Aufstellung kann an der glatten Wand, in Ecken oder frei im Raume, der Anschluß der Zu- und Ableitungen nach oben oder unten erfolgen. Bei mehrschiffigen

Fabrikationshallen kann bei mangelnder Wandfläche oder wegen Behinderung des Verkehrs die Aufstellung solcher Schaltanlagen stören. Hier kann man oft einen günstigen Ausweg durch Hochlegung der Schaltanlagen in

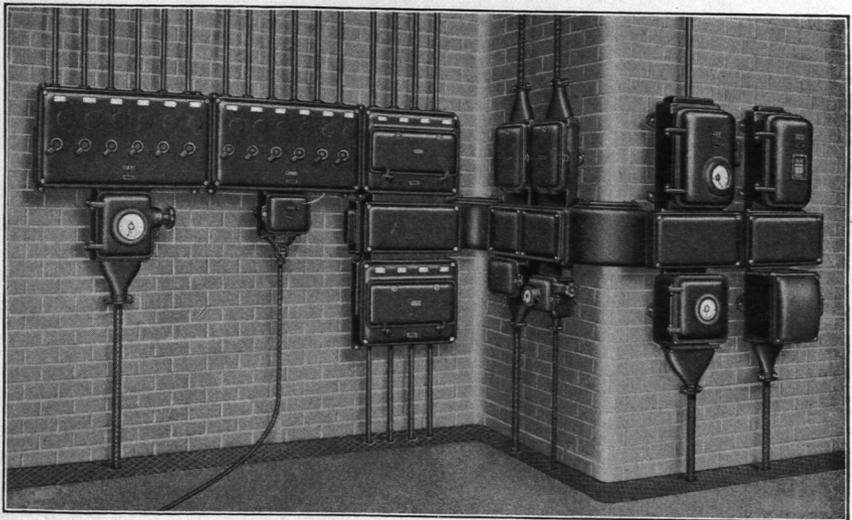


Abb. 427. Eisengekapselte Stromverteilung.

den Feldern zwischen den Binderstützen finden. Die Ausführung kann zweiseitig erfolgen; beiderseitig befindet sich eine Bedienungsbühne, seitlich an den Binderstützen werden die Kabel hochgeführt sowie die Zugänge angebracht. Die Ausführung einer eisengekapselten Verteilungsanlage zeigt Abb. 427.

Die Verbindungen zwischen den Haupt- und Nebenschaltanlagen werden in den meisten Fällen als eisenbandarmierte Bleikabel ausgeführt, die in den Kellerräumen oder, wo solche

nicht vorhanden, in Kanälen auf Wandregistern geführt werden. Häufig werden die Kabel auch an den Wänden oder Eisenkonstruktionen (Kranbahnen) aufgehängt. Diese Ausführung hat den Nachteil, bei etwa ausbrechendem Brand sehr leicht zerstört zu werden, wodurch natürlich der gesamte daran angeschlossene Betrieb in Mitleidenschaft gezogen wird. In Betrieben mit leicht brennbaren Gegenständen muß dieser Umstand unbedingt beachtet werden; die Abwicklung der äußeren Jutelage bei offenliegenden Kabeln ist aus diesem Grunde vom VDE vorgeschrieben. In Stockwerksbauten können die Steigeleitungen als Erdkabel, die an den Deckendurchführungen entsprechend zu schützen sind oder als Gummiaderleitungen in Rohren ausgeführt werden. Die Zuleitungen zu den einzelnen Verteilungen kann man als Einzelstränge oder Ringleitung ausbilden. Haben die Werkstattmaschinen Transmissions-Gruppenantriebe, so stellt man die Antriebsmotoren in der Nähe der Steigeleitungen auf; diese Antriebsart ist heute jedoch fast ganz durch den Einzelantrieb verdrängt. Bei Einzelantrieb verlegt man die Leitungen zu den Motoren oft im Fußboden; einen Verteilungskasten, der im Fußboden versenkt wird und an den bis zu vier in unmittelbarer Nähe stehende Maschinen angeschlossen werden können, zeigt Abb. 428. Der Kasten besitzt einen dicht schließenden Deckel, der bündig mit dem Fußboden verlegt wird. Die Stromabzweige sind in dem Kasten gesichert.

Billiger und bei Betriebsumstellungen beweglicher ist die Verlegung an der Wand oder unter der Decke; zur Vermeidung der teuren Stenmarbeiten empfiehlt sich bei gleichzeitiger

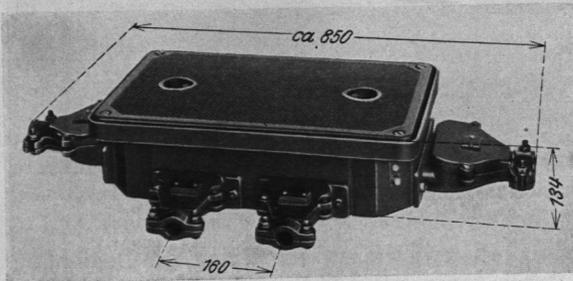


Abb. 428. Im Fußboden versenkter Verteilungskasten für Maschinenanschlüsse.

Verlegung mehrerer Leitungen eine an der Decke, am besten an Trägern, angehängte Tragkonstruktion, auf der auch die Zuleitungen für die Beleuchtung mit untergebracht werden. Handelt es sich um Motoren geringerer Leistung, so wählt man oft von der Decke herabhängende Steckvorrichtungen. Diese Anordnung bietet den Vorteil, die Arbeitsmaschinen jederzeit in gewissen Grenzen umstellen zu können; man gibt jedoch dafür einen wesentlichen Vorteil des Einzelantriebes — die Übersichtlichkeit des freien Fabrikationsraumes — wieder

auf; wo Laufkrane in der Werkstatt eingebaut sind, verbietet sich diese Anordnung von selbst.

Bei der Auswahl der **Antriebsmotoren** sollte man eine möglichst große Einheitlichkeit anstreben, vor allen Dingen hinsichtlich der Drehzahl. Je höher diese ist, desto günstiger liegen die Werte für Wirkungsgrad, Leistungsfaktor, Preis und Gewicht. Drehstrommotoren von 3000 U/min haben naturgemäß ein beschränktes Anwendungsgebiet, aber die vierpolige Bauart, d. h. Motoren mit 1500 Leerlaufumdrehungen, kann in fast allen Fällen eingebaut werden, wenn von vornherein hierauf Rücksicht genommen ist. Auch die notwendige Lagerhaltung von Reservemotoren wird dann sehr vereinfacht.

Die zu verwendende Motorenbauart richtet sich nach den vorliegenden Betriebsverhältnissen. In den meisten Fällen wird der gewöhnliche offene Motor genügen; sonst kommt ein Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper, Tropf- und Schwallwasser, Luftfeuchtigkeit, beizender Dämpfe, gegen allgemeine Verschmutzung, feuergefährlichen Staub und explosive Flüssigkeiten und Gase in Frage. Der Elektromotor ist für alle diese Anforderungen in brauchbaren Ausführungen lieferbar; die letzte Entwicklung ist der ganz geschlossene, außenbelüftete Motor, der durch beste Oberflächenkühlung die früheren Typen des leistungsverminderten gekapselten, des mantelgekühlten und des frischluftgekühlten Motors ersetzt hat. Für Räume mit explosiblen Gasen kommt nur der schlagwettersicher gebaute Motor in Betracht. Oftmals kann beim Entwurf der Baulichkeiten die Aufstellung eines normalen, offenen Motors ermöglicht werden, indem man für den Motor einen abgetrennten, ungefährdeten Raum schafft und den Antrieb durch eine abgedichtete Durchführung der Trennwand leitet.

Die Ausführungen des hiermit abgeschlossenen Absatzes können auf Vollständigkeit keinen Anspruch machen. Eine auch nur einigermaßen erschöpfende Behandlung des Stoffes verbietet sich wegen des verfügbaren Platzes; sie würde allzuleicht auch den Rahmen dieses Buches sprengen.

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.

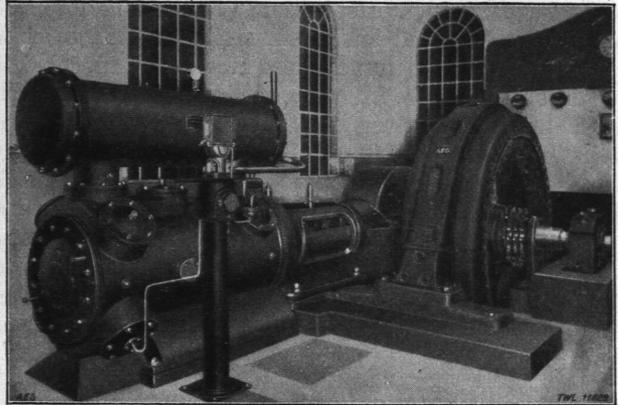


Abb. 429. Kolbenkompressor, mit dem Antriebsmotor direkt gekuppelt.

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.

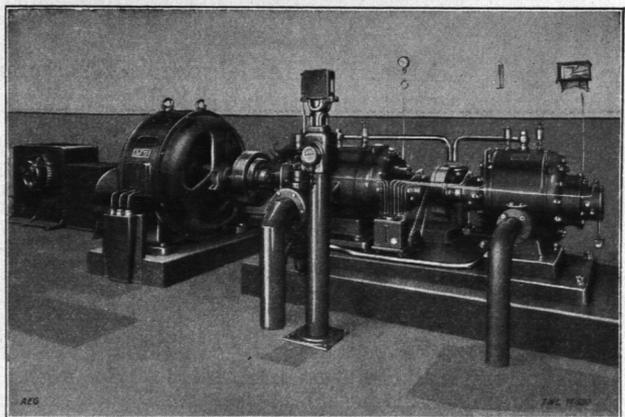


Abb. 430. Rotationskompressor, mit dem Antriebsmotor direkt gekuppelt.

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-

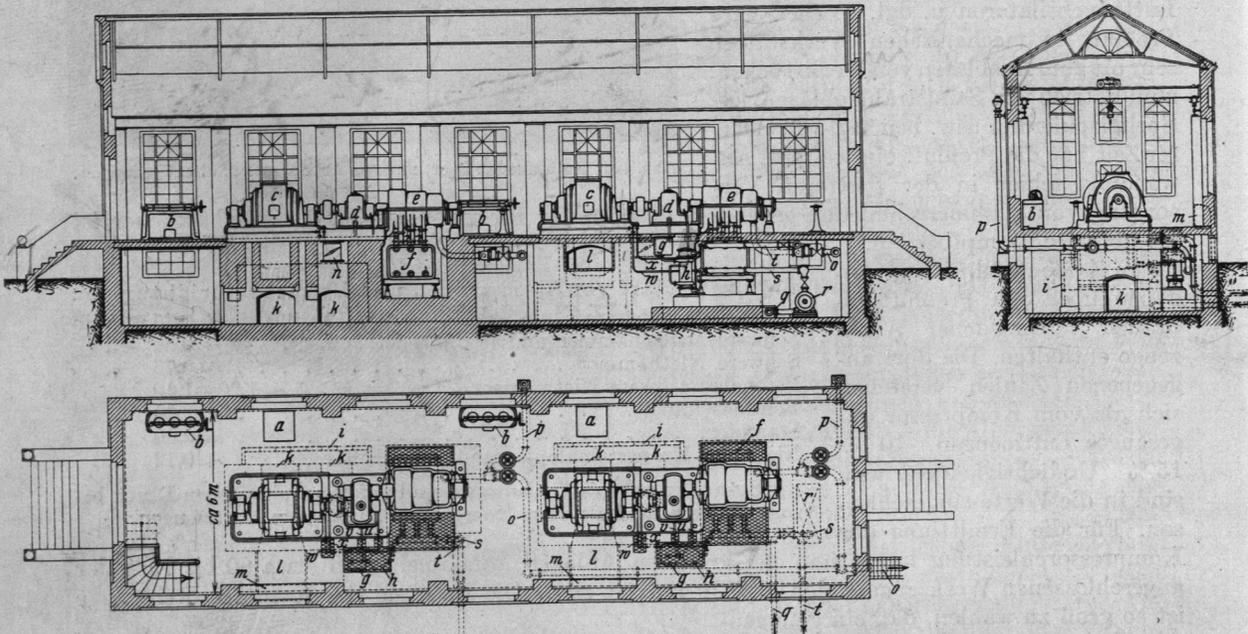


Abb. 431. Turbokompressoren, mit den Antriebsmotoren über Zahnradvorgelege gekuppelt.

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

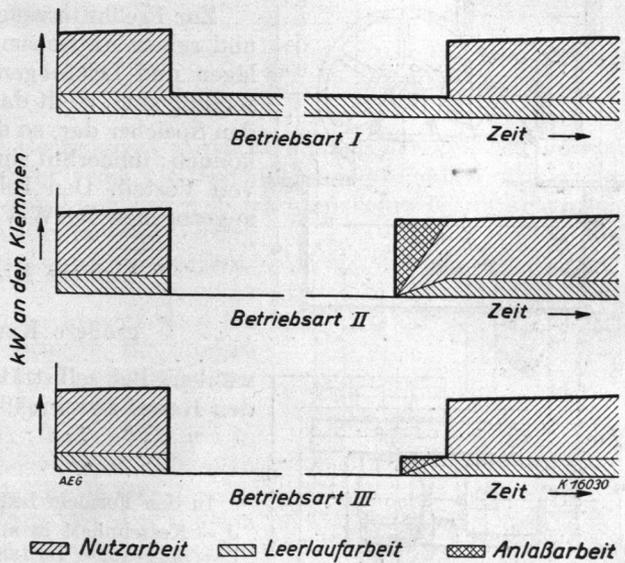


Abb. 432. Betriebsdiagramme für elektrisch angetriebene Kolbenkompressoren.

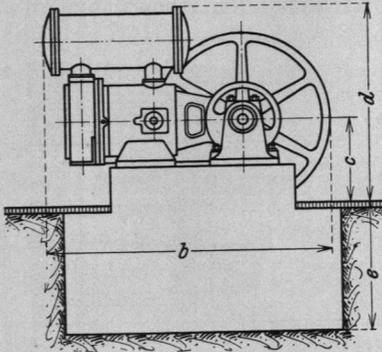
- Betriebsart I: Aussetzregelung.
- II: Regelung durch selbsttätigen Anlasser.
- III: Regelung durch selbsttätige Leeranlaßvorrichtung.

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 Preßluft erzeugungsanlage 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 Verwendungsort 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

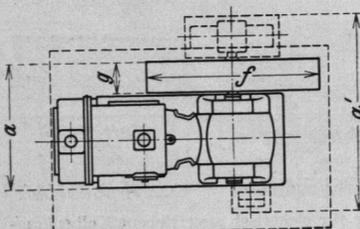


Abb. 433. Skizze zu Zahlentafel 83.

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.

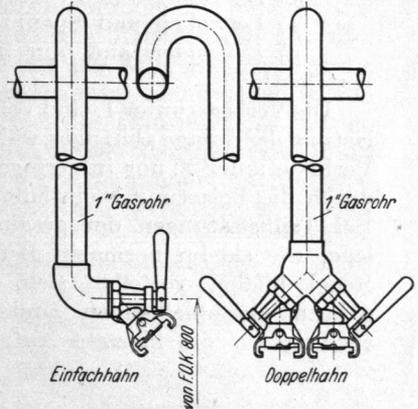


Abb. 434. Zapfstellen für Preßluft in der Werkstatt; zur Entnahme möglichst wasserfreier Preßluft sind die Abzweigleitungen oben aus der Hauptleitung herausgeführt.

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

Raumgestaltung, Beleuchtung, Disposition der Nutzflächen und Energiewirtschaft berührt, wenn nicht beeinflusst werden.

Die rein mechanische Energieleitung von der Kraftmaschine zu den Arbeitsmaschinen durch Riemen- oder Seiltriebe tritt in ausgedehnten Fabrikanlagen immer mehr zurück. Von den Anhängern dieser Übertragungsform wird energiewirtschaftlich ins Feld geführt, daß durch die zweimalige Umsetzung von mechanischer in elektrische Energie und von dieser wieder in mechanische Energie unnötig große Kraftverluste entstehen würden. Andererseits ist aber zu berücksichtigen, daß der Leerlaufkraftverbrauch mechanischer Energieleitungen nicht unbedeutend ist. Dieser Verbrauch kann 12 bis 30% und mehr der von der Kraftmaschine abgegebenen Nutzleistung betragen und hängt in weiten Grenzen von der Wartung und dem Zustand der Transmission ab. Die Verluste bei der mechanischen Energieleitung setzen sich zusammen aus

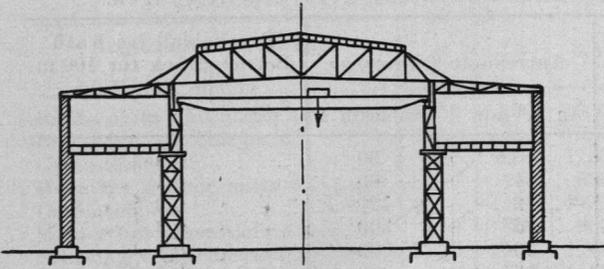


Abb. 435. Werkstatthalle für Transmissionsantrieb der Arbeitsmaschinen; die Transmissionen werden in den Mittelstützen, die Vorgelege an den Decken der Seitenschiffe verlegt.

1. Drehzahlverlusten, wozu Verluste durch
 - a) Rutsch von Riemen und Seilen,
 - b) Rutsch von Reibungskupplungen gehören, und
2. Drehmomentverlusten, die aus Verlusten durch
 - c) Reibung in den Lagern,
 - d) Biegungswiderstand der Riemen,
 - e) Klemmen von Seilen,
 - f) Leitrollen und Spannrollen,
 - g) Luftwiderstand (nur bei hohen Geschwindigkeiten)

bestehen¹.

Die Verluste unter 1. sind von der Belastung der Anlage abhängig, während die Verluste unter 2. nur in geringem Maße durch die Belastung beeinflusst werden. Bei Teilbelastungen der gesamten Anlage, wie sie im normalen Betrieb die Regel bilden, verteilen sich also die nahezu gleichbleibenden Drehmomentverluste auf die kleinere Nutzleistung,

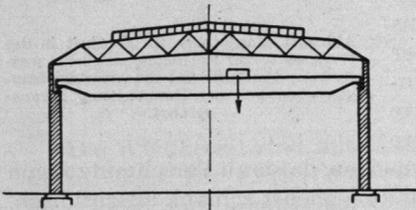


Abb. 436. Werkstatthalle für Einzelantrieb der Arbeitsmaschinen; es sind keine Konstruktionen zur Befestigung von Transmissionen und Vorgelegen erforderlich; die Nutzfläche der Halle kann wegen der besseren Maschinenausnutzung kleiner gehalten werden.

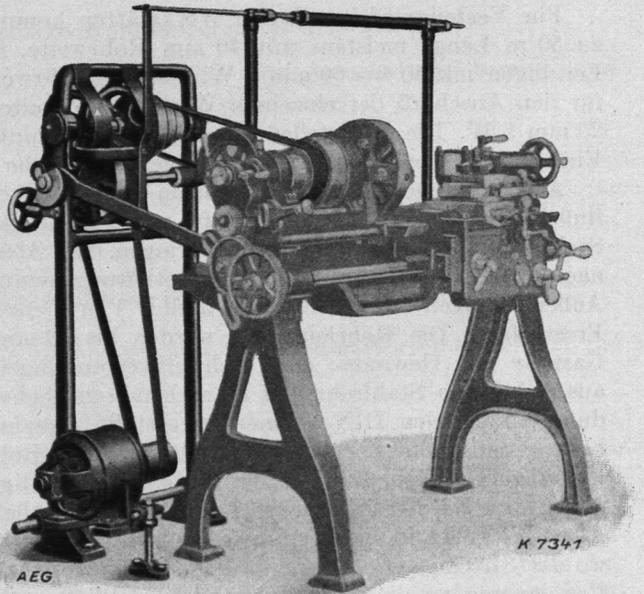


Abb. 437. Behelfsmäßiger Einzelantrieb einer Drehbank.

d. h. der Wirkungsgrad der Energieleitung wird verschlechtert.

Beim Einzelantrieb der Arbeitsmaschine dagegen verringern sich die Leerlaufverluste (bezogen auf die Gesamtleistung) entsprechend der Anzahl der jeweils laufenden Maschinen, da hierbei ja die einzelnen Motoren mit der Arbeitsmaschine gleichzeitig ausgeschaltet werden.

Diese Überlegungen gelten sinngemäß auch für den Gruppenantrieb, bei dem eine Gruppe

¹ RKW-Veröffentlichung Nr. 2 des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung beim Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit, Mechanische Energieleitung. Berlin: Beuth-Verlag G. m. b. H.

von Arbeitsmaschinen (z. B. in einem Werkstattsaal) durch einen Elektromotor angetrieben wird. In jedem Fall ist der Wirkungsgrad der mechanischen Energieübertragung in hohem Maße von dem „Gleichzeitigkeitsfaktor“, also von dem Verhältnis der gleichzeitig in Betrieb befindlichen Maschinenleistung zur Gesamtleistung, abhängig.

Der energiewirtschaftliche Gesichtspunkt ist aber nicht allein für die Wahl der Antriebsart maßgebend. Die rein mechanische Energieleitung macht auch baulich insofern gewisse Schwierigkeiten, als bei Geschößbauten besondere, durchgehende Schächte für die Kraftübertragung zu den Transmissionen der einzelnen Stockwerke aus Gründen der Feuersicherheit notwendig sind; selbstverständlich sind diese Schächte gegen die Stockwerke feuersicher abzuschließen, was an den Wanddurchführungen der Wellen durch Stopfbüchsen erreicht wird. Bei ausgedehnten, mehrere Gebäude umfassenden Fabrikanlagen verbietet sich die rein mechanische Energieleitung von selbst.

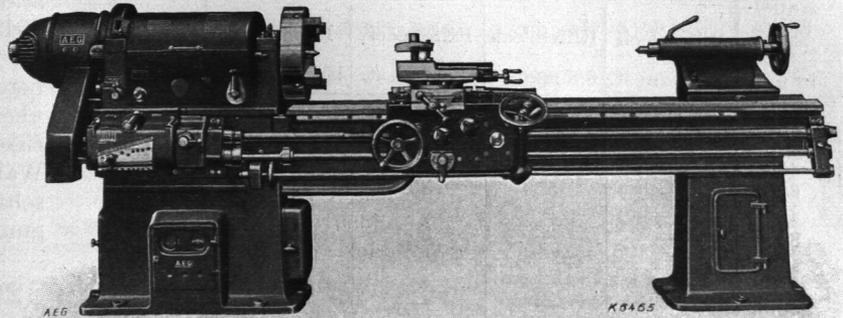


Abb. 438. Neuzeitliche Drehbank mit organisch eingebautem Einzelantrieb.

Aber auch der Gruppenantrieb hat in baulicher Hinsicht Nachteile gegenüber dem elektrischen Einzelantrieb. Die Transmissionen und Vorgelege sind hierbei für die Anordnung der Arbeitsmaschinen und die Ausnutzung der Grundflächen maßgebend. Eine geschickte Anpassung an fließenden Arbeitsgang läßt sich hiermit kaum erzielen. Aus der Gegenüberstellung der Abb. 435 und 436 ist ersichtlich, wie die Wahl der Antriebsart die Querschnittgestaltung z. B. von Hallenbauten beeinflusst. Abb. 435 zeigt den typischen Werkstattbau für Transmissionsantrieb, wobei die Transmissionen in den Mittelstützen und die Vorgelege an den Decken der Seitenschiffe liegen. Demgegenüber stellt Abb. 436 einen Fabrikbau für Einzelantriebe dar; hier kann die lichte Raumhöhe durchschnittlich 1 m niedriger gehalten werden; auch sind keine besonderen Konstruktionen für die Befestigung von Transmissionen und Vorgelegen notwendig. Endlich kann an Grundfläche gespart werden, da erfahrungsgemäß durch hochwertige Einzelantriebe die Arbeitsmaschinen bis 25% besser ausgenutzt werden; dementsprechend können 20% weniger Maschinen aufgestellt werden, wodurch sich eben der Nutzflächenbedarf verringert.

In bezug auf Unfallsicherheit, Gewerbehygiene und Übersichtlichkeit ist der Einzelantrieb auf jeden Fall vorzuziehen. Im allgemeinen ist heute also der elektrische Einzelantrieb der mechanischen Energieleitung überlegen. In Sonderfällen hat allerdings auch dieser seine Berechtigung, so z. B. beim Umbau alter Anlagen, wo durch die Verwendung vorhandener Arbeitsmaschinen die Ausbildung wirtschaftlicher Einzelantriebe unmöglich gemacht würde, oder in solchen Fällen, wo mit ständig gleichmäßiger Ausnutzung aller angeschlossenen Arbeitsmaschinen zu rechnen ist.

Technische Einzelheiten sind vom Standpunkt des Fabrikbaues bei Einzelantrieben kaum zu beachten, da ja die behelfsmäßigen Einzelantriebe mehr oder weniger der Vergangenheit angehören und neuzeitliche Einzelantriebsmaschinen eine organische Einheit darstellen (siehe Abb. 437 und 438).

Die Elemente der mechanischen Energieübertragung, Wellen, Kupplungen, Lager, Riemen- und Seilscheiben sowie Riemen und Seile, können als bekannt vorausgesetzt werden; Angaben hierüber sind in jedem Handbuch (z. B. Hütte, Dubbel) zu finden. Im Rahmen dieses Buches

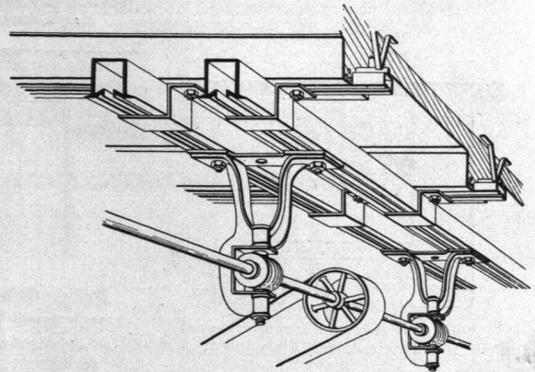


Abb. 439. Befestigung von Transmissions- und Vorgelegelagern an den Deckenträgern bzw. Deckenbalken unter Benutzung von Spezialeisen (siehe auch Zahlentafel 88).

interessiert nur die Befestigung der Lager an den Gebäudekonstruktionen. Zur Vermeidung bzw. Verringerung von Stemmarbeiten empfiehlt sich die Anordnung von Befestigungseisen (U-Eisen-traversen oder Spezialformseisen in oder an den Deckenkonstruktionen; siehe Abb. 439).

Die Wahl der Stromart für die Antriebe von Werkzeug- und anderen Arbeitsmaschinen und die Ausbildung der einzelnen Antriebe mit Rücksicht auf den Betriebscharakter der Arbeits-

Zahlentafel 85. Kanalabdeckungen (siehe Abb. 441).

Kanalbreite in mm	Tragfähigkeit (Nutzlast) in kg/m ²				
	Riffelblech 4/5,5 mm st.	Riffelblech 6/8 mm st.	Riffelblech 8/10 mm st.	Riffelblech 10/13 mm st.	Verstärktes Riffelblech 8/10 mm st.
200	4000	10000	17000	25000	—
300	1300	4000	7500	12000	—
400	500	1800	4000	6500	—
600	—	500	1300	2500	5000 ¹
800	—	—	500	1000	4000
					5500 ²
					6500
1000	—	—	—	500	2700
					5000 ²
					6500
1200	—	—	—	—	1800
					4000 ²
					6500

maschinen (Anlauf, Regelung, Stillsetzen) ist eine Sonderaufgabe, die für jede Maschinengattung von Fall zu Fall sorgfältig durchgearbeitet werden muß und die daher den Spezialfirmen zu überlassen ist. In groben Umrissen sind Hinweise über die Wahl der Stromart im Abschnitt „Elektrizitätsversorgung“ enthalten.

26. Verlegung von Rohrleitungen und Kabeln.

Erdverlegung. — Verlegung in Kanälen. — Verlegung in Gebäuden.

Die Hauptleitungen von den Energiezentralen zu den Verteilungsstellen der einzelnen Verbrauchsstätten werden in der Erde, in Kanälen oder als Freileitungen ver-

Bemerkungen: Die Werte sind ermittelt unter Berücksichtigung der Durchbiegung. Die Länge der Abdeckplatten kann bis 600 mm Kanalbreite 1000 mm und ab 800 mm Kanalbreite 500 mm betragen. 1. Die Platten von 1000 mm Länge sind durch drei \square NP. 5 verstärkt angenommen. 2. Die ersten Zahlen beziehen sich auf Platten mit Verstärkungen aus zwei \square NP. 5, die zweiten Zahlen beziehen sich auf Platten mit Verstärkungen aus zwei \square NP. 6½, die dritten Zahlen beziehen sich auf Platten mit Verstärkungen aus zwei \square NP. 8. Bei den verstärkten Riffelblechplatten ist angenommen, daß die Profile zu Rahmen und diese mit den Platten gut verschweißt werden.

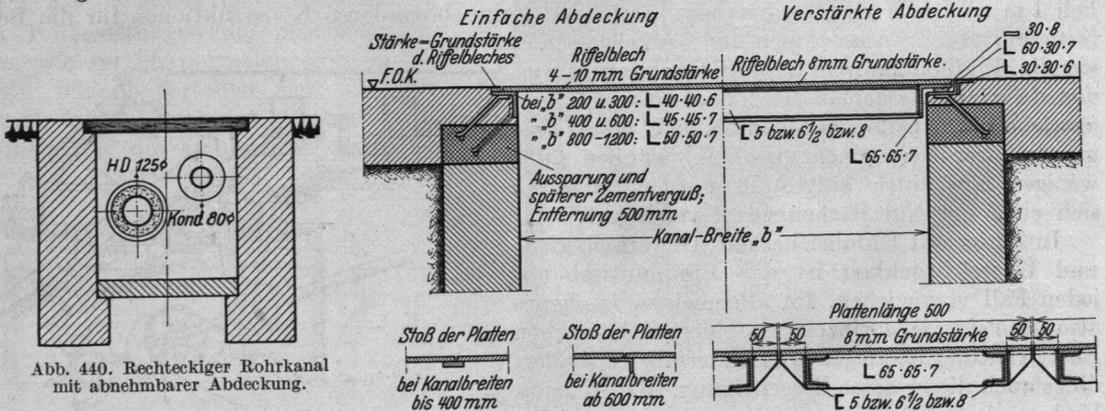


Abb. 440. Rechteckiger Rohrkanal mit abnehmbarer Abdeckung.

Abb. 441. Riffelblechabdeckungen für Rohrkanäle (siehe Zahlentafel 85).

legt. Erdverlegung kommt für Kabel, Wasser- und Gasleitungen, seltener für Dampf- und Kondensatleitungen in Frage. Die beiden letztgenannten Leitungsarten werden bei Verlegung in der Erde gegen Wärmeverluste in der üblichen Form isoliert. Die Isolierung ist auf jeden Fall gegen Eindringen von Feuchtigkeit (z. B. durch Umhüllung mit Dachpappe) gut zu schützen, da bekanntlich die Wärmeleitfähigkeit der Isoliermaterialien mit zunehmender Feuchtigkeit steigt. Neue Versuche haben ergeben, daß die Wärmeverluste von Dampfleitungen im Erdreich geringer sind, als man früher angenommen hat. Man kann daher die Isolierstärken hier schwächer halten und die Ersparnis an Anlagekosten zur Verbesserung des Feuchtigkeitsschutzes verwenden. Als Isoliermaterial hat sich für Dampf- und Kondensatleitungen im Erdreich der sogenannte Zellenbeton gut bewährt.

Zweckmäßiger ist im allgemeinen die Verlegung von Dampf- und Kondensatleitungen in Kanälen. Hier sind die Leitungen leicht zugänglich und können daher besser gewartet werden als solche in der Erde. Kanäle sind besonders dann vorteilhaft, wenn mehrere Leitungen in demselben Kanal verlegt werden können. Gasleitungen sollen wegen der Explosionsgefahr in geschlossenen Kanälen nicht verlegt werden. Kanäle, die Dampf- oder Kondensatleitungen enthalten, sind für die Aufnahme von Frischwasserleitungen für Kühl- oder Trinkzwecke und von elektrischen Kabeln wegen ihrer relativ hohen Temperatur unter allen Umständen ungeeignet.

Die Kanäle werden in den verschiedensten Formen ausgeführt. Am meisten sind die gemauerten, mitunter auch betonierten, Kanäle rechteckigen Querschnittes verbreitet (Abb. 440). Die lichten Abmessungen dieser Kanäle sind mit Rücksicht auf die Anordnung und Montage der unterzubringenden Rohrleitungen

oder Kabel zu wählen. Die Tiefe von Rohrkanälen wird durch das Gefälle der Leitungen maßgebend beeinflusst. Die Breitenmaße der Kanäle werden innerhalb eines Werkes auf möglichst wenige Normalwerte beschränkt, damit Kanalabdeckungen weitgehend austauschbar sind.

Zahlentafel 86. Steinholzplatten mit \sphericalangle -Rahmen (siehe Abb. 442).

Stärke in mm	Tragfähigkeit (Nutzlast) in kg/m ²	Gewicht je Platte ohne Zargen in kg
30	600	28
35	900	33
40	1200	38

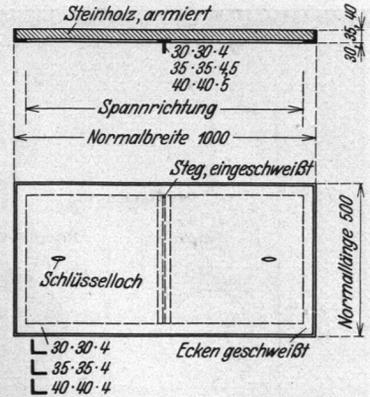


Abb. 442. Steinholzabdeckplatten in Winkelrahmen (siehe Zahlentafel 86).

Zahlentafel 87. Steinholzplatten mit schwalbenschwanzförmiger Unterlage (siehe Abb. 443).

Stärke in mm	Tragfähigkeit (Nutzlast) in kg/m ²	Gewicht je Platte ohne Zargen in kg
30	1000	32
35	1500	36
40	2000	40

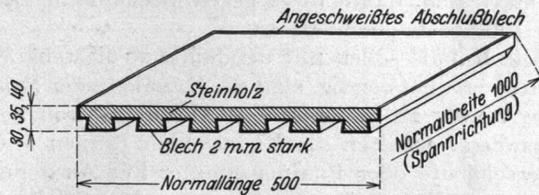


Abb. 443. Steinholzabdeckplatten auf Spezialunterlage (siehe Zahlentafel 87).

Einen Anhalt hierfür bietet die Zahlentafel 85, aus der auch die Tragfähigkeit der Riffelblechabdeckplatten in Abhängigkeit von der Riffelblechstärke hervorgeht. Riffelblechplatten stellen die zweckmäßigste Ausführung der abnehmbaren Kanalabdeckungen dar; sie werden entweder als einfache oder als verstärkte Platten in eisernen Zargen verlegt (Abb. 441). Gußeiserne Abdeckplatten sind aus Gründen der Wirtschaftlichkeit abzulehnen, da ihr Werkstoff zur Aufnahme von Biegebbeanspruchungen und Stößen ungeeignet ist und sie somit zu große Stärken erhalten müssen. Für besonders große Belastungen, wie sie in der Zahlentafel 85 nicht mehr enthalten sind, werden daher gegebenenfalls starke Riffelblechplatten mit kräftigen Versteifungen nach Bedarf entworfen.

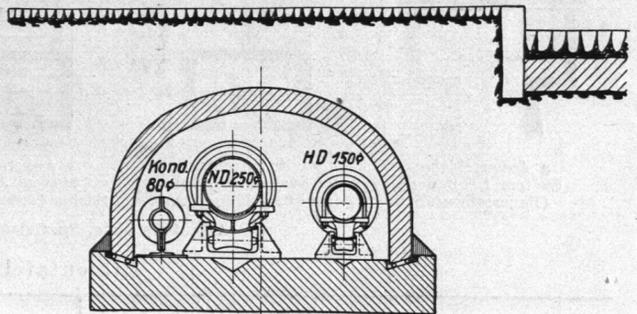


Abb. 444. Rohrkanal für Verlegung in der Erde; geeignet für längere Rohrstrecken, die normalerweise nicht zugänglich zu sein brauchen.

An Stelle von 3 bis 5 cm starken Holzbohlen, die ebenfalls nicht als gutes Abdeckungsmaterial bezeichnet werden können, da sie sich leicht werfen und stark abnutzen, werden in Schaltanlagen, wo eiserne, elektrisch gut leitende Abdeckplatten aus Sicherheitsgründen unerwünscht sind, neuerdings Steinholzplatten in Winkeleisenrahmen (Zahlentafel 86) oder Spezialplatten auf gebogener Stahlblechunterlage (Zahlentafel 87) in Normalgrößen von 1000 x 500 mm verwendet.

Lange Rohrkanäle werden aus Gründen der Billigkeit und des Wärmeschutzes oft in Sonderformen ausgeführt (Abb. 444). Die Abdeckschalen werden hierbei mitunter an Ort und Stelle aus Beton oder Eisenbeton meterweise hergestellt und nach Montage, Abdrücken, Isolierung und Inbetriebsetzung der Rohrleitungen wie Kanalisationsrohre verlegt. Diese an und für sich wirtschaftlichen Kanäle haben den Nachteil, daß sie schlecht zugänglich sind. Wenn auf Kontrolle der Leitungen besonderer Wert gelegt werden muß und wenn mehr als 3 Leitungen in einem Kanal verlegt werden, kommen besser bekriechbare oder begehbare Kanäle mit fester Decke (Abb. 445) zur Anwendung. Diese werden meistens als Eisenbetonkanäle mit rahmenartigem Querschnitt oder als gemauerte bzw. betonierte Kanäle mit aufgelegter Eisenbetondecke ausgeführt. Bekriechbare Kanäle müssen i. L. mindestens 0,80 m, besser 0,90 m hoch sein, begehbare Kanäle erhalten eine lichte Höhe von mindestens 1,60 m, besser 1,80 m. Die Decken dieser Kanäle sind gegebenenfalls durch eine zwei- oder dreilagige Asphaltpappisolierung gegen von oben eindringende Feuchtigkeit zu schützen und mit leichtem Gefälle zu versehen. Die Isolierung ist an den Wänden etwas herunterzuführen. Der Schutzbeton über der Isolierung soll reich-

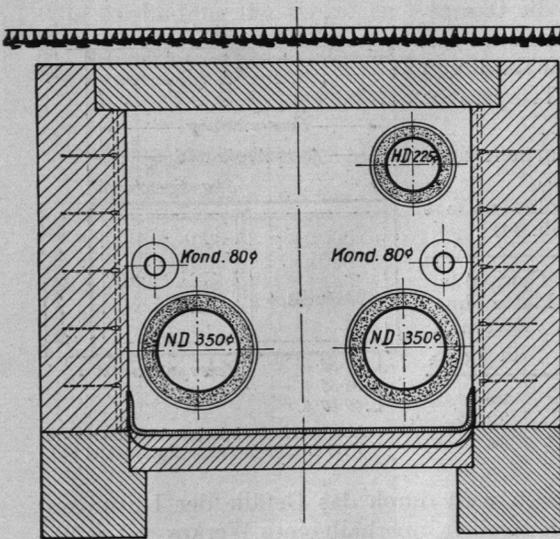


Abb. 445. Bekriechbarer Rohrkanal.

lich stark sein, damit diese gegen mechanische Beschädigungen beim Aufbrechen von Pflaster oder Fußboden geschützt ist.

Alle Kanäle sollen mit der Sohle wenigstens 30 cm über dem höchsten Grundwasserstand liegen; wenn notwendig, sind die Kanäle in der Sohle und in den Wänden in der üblichen Weise gegen Wasser zu isolieren. Zur Abführung von Schwitzwasser oder etwa doch eindringendem Tageswasser erhalten die Kanalsohlen Rinnen mit Gefälle und in entsprechenden Abständen Sickerschächte oder Pumpensümpfe. Für Ausdehnungsbögen, an Abzweigstellen mit Absperrorganen, an Entwässerungsstellen von Dampfleitungen u. dgl. sind entsprechende Schächte mit Einsteigluken vorzusehen. Die Luken sind so groß zu bemessen, daß Rohrstangen, Armaturen usw. bei Montagen oder Reparaturen eingebracht werden können; mindestens sollen sie 600 x 600 mm groß sein; sie sind durch Riffelblechplatten abzudecken. Begehbare und bekriech-

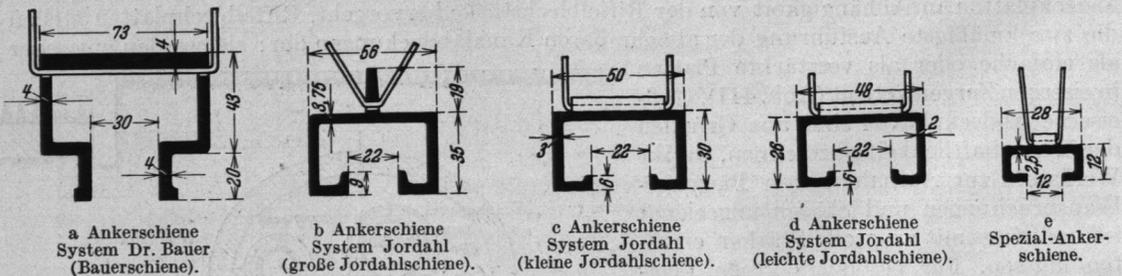


Abb. 446 a bis e. Spezialankerschienen.

Zahlentafel 88.

Abb.	Profil	Gesamt/Netto Querschnitt		Gewicht kg/lfm	Träg.- Mom. cm ⁴	Widerst.- Mom. cm ³	Ver- anker- bügel mm	Befestig- Bolzen Zoll	Tragfähigkeit kg/lfm
		cm ²	cm ²						
446a	Bauer-Schiene	9,20	8,80	7,75	36,6	15,3	2/20 bis 3,5/20	5/8—1 1/8	8000
b	Große Jordahlschiene	6,75	6,50	5,45	14,6	4,51			5/8—3/4
c	Kleine Jordahlschiene	4,00	4,00	3,30	5,05	3,03	1,5/20	1/2—3/4	4500
d	Leichte Jordahlschiene	2,46	2,46	2,00	2,5	1,7	1,5/20	1/2—3/4	2000
e	Spezial-Ankerschiene .	1,45	1,45	1,10	0,254	0,363	1/16	1/4—3/8	800

bare Kanäle werden durch elektrische Glühlampen in Schiffsarmaturen in Abständen von 15 bis 20 m beleuchtet.

Die Dimensionierung der Kanalwangen bzw. der Abdeckschalen muß unter Berücksichtigung des Erddruckes, der Auflast auf den benachbarten Fußboden- oder Hofteilen und etwaiger Schübe aus gewölbten Decken usw. erfolgen. Für die Anordnung von Festpunkten in den Rohrleitungen sind entsprechende Verstärkungen der Wangen oder der Sohle erforderlich.

Zur Verringerung der Stemmarbeiten können in den Wangen der Kanäle Spezialankerschienen nach Zahlentafel 88 eingesetzt werden. Die Unterstützungen bzw. Aufhängungen der Rohrleitungen werden an diese Ankerschienen in beliebiger Höhe angeklemt, so daß das erforderliche Gefälle ohne Schwierigkeiten eingehalten werden kann. Die Schienen werden je nach dem Rohrdurchmesser in Abständen von 3 bis 5 m angeordnet.

Die gleichen Schienen lassen sich auch zur Befestigung von Rohrleitungen und Kabeln an den Gebäudekonstruktionen verwenden. Vielfach werden die Schienen auch in die Decken mit einbetoniert, besonders bei Eisenbetondecken (siehe Abb. 447). An Stahlkonstruktionen werden zur Aufhängung von Rohrleitungen ebenfalls Ankerschienen angeordnet, z. B. an Kranbahnen u. dgl.

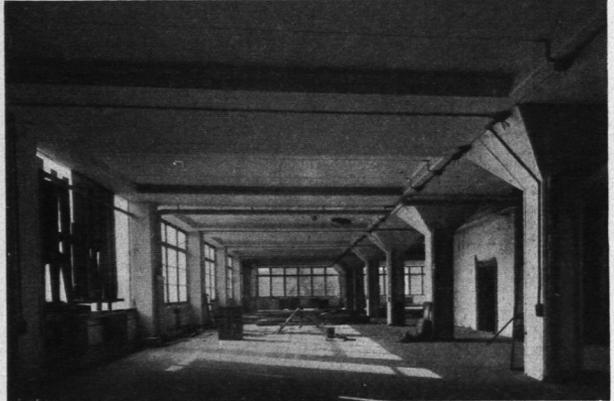


Abb. 447. In diesem Eisenbetonbau sind zur Vermeidung von Stemmarbeiten von vornherein Spezialankerschienen nach Abb. 446 zur Befestigung der Rohrleitungen und Installationen vorgesehen worden.

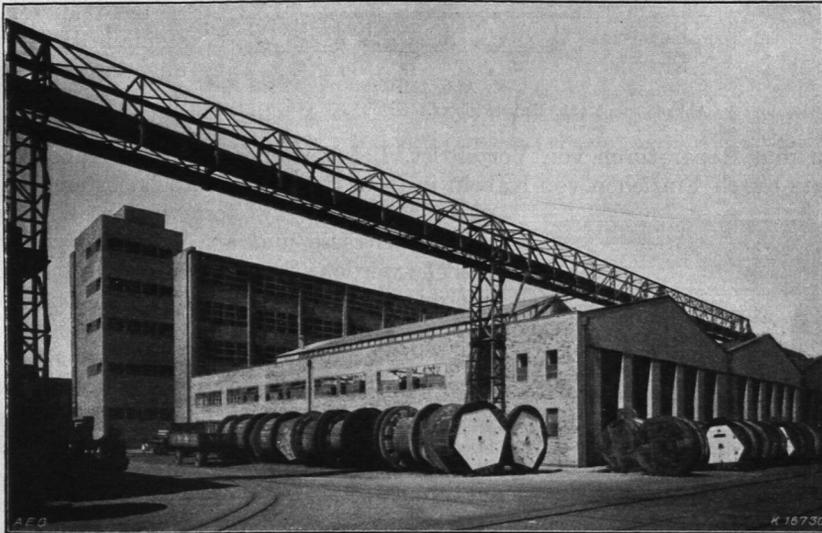


Abb. 448. Rohrbrücke.

Wie bereits an anderer Stelle erwähnt, werden Rohrleitungen im Innern von Hallen zweckmäßig an der Kranbahn oder an der Dachkonstruktion verlegt. In Stockwerksbauten werden die senkrechten Hauptrohr- und Kabelstränge an den Innenwänden der vorgebauten Treppenhäuser angeordnet (siehe auch unter „Treppenanlagen“). Die Verteilungsleitungen in den einzelnen Sälen werden zweckmäßig im Mittelgang oder bei Bauten mit einer Mittelstützenreihe neben den Stützen unter der Decke verlegt. In Mittelgängen lassen sich die Rohrleitungen sehr gut unter Vermeidung von Stemmarbeiten verlegen, wenn jedes Stützenpaar durch eine Ankerschiene oder durch ein U-Eisen bzw. durch eine U-Eisentraverse verbunden wird (siehe Abb. 72 und 75 des Abschnittes „Tragwerke“). Diese Verbindung soll etwa 0,60 bis 0,70 m unter Deckenkonstruk-

tion des Ganges liegen, damit auch Entlüftungsleitungen größeren Querschnittes auf diesen Verbindungen verlegt werden können. Bei der Festlegung der Höhe ist darauf zu achten, daß unter den Verbindungen mindestens dieselbe lichte Höhe zur Verfügung steht wie an den Aufzugs- oder Haupttreppentüren der in Frage kommenden Geschosse. Für schwache Rohrleitungen und Kabel genügt die Unterstützung in 6 bis 7 m Abstand, wie sie meist durch die Stützeileitung gegeben ist, nicht; in diesem Falle müssen die Verbindungen zwischen den Stützenpaaren durch Rohr- bzw. Kabelregister verbunden werden. Diese Register werden auch verwendet, wenn mehrere Leitungen nebeneinander an einer Decke verlegt werden; die Register werden dann in größeren Abständen

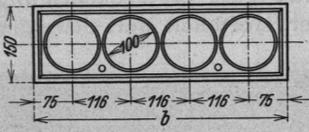


Abb. 449. Kabellochsteine; die Gesamtbreite richtet sich nach der Lochzahl (1 bis 4 Loch); die normale Länge beträgt 1 m.

an den Decken, Trägern oder Unterzügen aufgehängt, so daß auch hier die Stemmarbeiten auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Im Freien werden die Rohrleitungen außer in Kanälen mitunter auch auf Rohrbrücken (Abb. 448) verlegt. Straßen und Höfe zwischen zwei Gebäuden werden vielfach ohne besondere Rohrbrücken durch Abspannung der Rohrleitungen überbrückt.

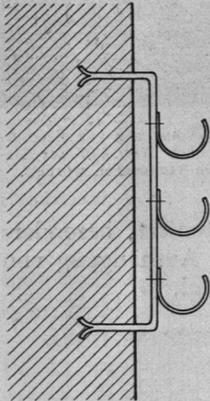


Abb. 450.

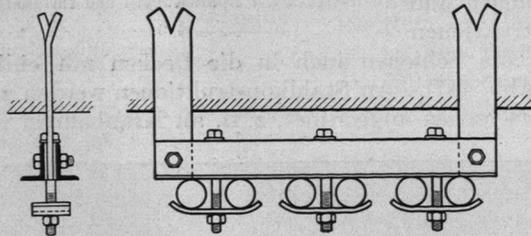


Abb. 451.

Abb. 450 und 451. Kabelregister.

Kabel werden in ca. 0,70 m Tiefe unmittelbar in der Erde verlegt und möglichst in Sand gebettet. Die eingelegten Kabel werden zweckmäßig durch eine Abdeckung mit Ziegel- oder Formsteinen gegen mechanische Beschädigungen bei späteren Erdarbeiten geschützt. Zur Einführung der Kabel in die Gebäude werden einzelne Kabellochsteine (Ein- bis Vierlochsteine, siehe Abb. 449) oder ganze Gruppen hiervon in die Gebäudebankette oder in die Kellerwände eingemauert bzw. einbetoniert. Auch werden zusammenhängende Stränge dieser Kabellochsteine in Höfen und Straßen angeordnet, was gegenüber der Verlegung der Kabel

direkt in der Erde bei Auswechslungen und Reparaturen von Vorteil ist. Bei Verwendung dieser Kabellochsteine kann das Kabelnetz durch Einziehen von Kabeln in freie Rohre der Kabellochsteine ohne Erd- und Pflasterarbeiten erweitert werden. An Knickpunkten der Kabeltrasse und an Abzweig- bzw. Verbindungsstellen werden Schächte mit Einsteigöffnungen angeordnet. Die Schächte müssen so groß bemessen werden, daß die Verbindungs- oder Abzweigmuffen bequem darin untergebracht und montiert werden können bzw. so, daß die Kabel mit genügend großem Radius gebogen werden können. Der Radius gebogener Kabel soll mindestens das 15fache des äußeren Kabeldurchmessers betragen.



Abb. 452. Verlegung von Kabeln auf Wandregistern.

In Kanälen, an Wänden, an Gebäudekonstruktionen, wie Kranbahnen u. dgl., werden Kabel in Registern aufgehängt. Die Register werden vertikal oder horizontal angeordnet (Abb. 450 bis 452). Im übrigen entspricht die Verlegung von Kabeln an derartigen Registern der Anordnung der Rohrleitungen, wie sie vorstehend beschrieben ist. Das gleiche gilt auch für die

im Fabrikbau meist übliche Verlegung elektrischer Leitungen in Stahlpanzerrohren (siehe auch den Abschnitt „Elektrizitätsversorgung“ dieses Kapitels).