

Luft- und Gas-Kompressions-Maschinen.

Die Bedeutung, die Vorzüge und Mängel der Luftkompressoren und der Verwendung von Druckluft für technische Zwecke lassen einen Vergleich mit der Dampfmaschine zu.

Der Dampfmaschinenbetrieb bedingt einen schwerfälligen Kesselbetrieb und seine Belästigungen, geringe Ausnutzung der Wärme u. s. w. Andere Wärme-Kraftmaschinen, wie Gasmaschinen, sind den Dampfmaschinen in der Wärmeausnutzung überlegen, ihre Betriebskosten sind geringer und viele Belästigungen können vermieden werden.

Dennoch besteht die Weltherrschaft der Dampfmaschine ungeschwächt. Was auf einzelnen Gebieten für die Dampfmaschine verloren geht, gewinnt sie auf anderen in grösstem Massstabe wieder. Geringen Verschiebungen steht eine grosse, noch immer im Zunehmen begriffene Ausbreitung gegenüber.

Dies beruht darauf, dass die physikalischen Eigenschaften des Wasserdampfes in einigen Beziehungen praktisch sehr vorteilhaft sind. Sie ermöglichen Dampfmaschinen höchster Vollendung wie auch unvollkommenster Art und Maschinen von sehr grosser Zuverlässigkeit und Regulirbarkeit; sie ermöglichen einfachen Bau, einfachen Betrieb, Kraftsteigerung im wechselnden Betriebe und ausserordentliche Anpassungsfähigkeit an die verschiedensten Betriebsverhältnisse.

Die Dampfmaschine ist bekanntlich die geduldigste aller Maschinen; auch bei schlechtem Zustand leistet sie Arbeit; sie verbraucht zwar mehr Dampf, aber sie bleibt betriebsfähig, während andere Motoren gute Ausführung und Wartung unbedingt erfordern. Ohne diese praktisch vorteilhaften Eigenschaften wären zahllose industrielle Betriebe, viele Tausende von kleinen Maschinenbetrieben in der Einfachheit und Zuverlässigkeit, wie sie gegenwärtig bestehen, nicht möglich.

Diese Vortheile schwinden umso mehr, je vollkommener die Dampfmaschinen gebaut und betrieben werden. Der hochgespannte oder überhitzte Dampf setzt gute Ausführung und Bedienung voraus. Die Eincylinder-Dampfmaschine lässt sich vom Leergang bis zur Vollfüllung und Höchstleistung beliebig reguliren; mit der Vervollkommnung dieser Maschine verschwindet auch dieser Vortheil. Die Zweifach-Verbundmaschine ist schon viel weniger, die dreistufig expandirende nur noch in engen Grenzen regulirbar.

Die unvollkommensten Dampfmaschinen für den rohen praktischen Betrieb sind einfach, vielseitig und anpassungsfähig; nur müssen sie mit viel Dampf gefüttert werden. Mit der Vervollkommnung der Dampfmaschine gehen praktisch werthvolle Eigenschaften zurück zu gunsten des wirthschaftlich sparsamen Betriebes. —

Druckluft als Triebkraft hat für rohe Betriebe ähnliche praktisch vorteilhafte Eigenschaften. Sie kann zudem überall ausgeblasen werden, und in der Regel wird die Auspuffluft für die Lüftung, insbesondere bei unterirdischen Betrieben, werthvoll sein. Die Luftmaschine gestattet dieselbe Einfachheit, Zuverlässigkeit und Steigerungsfähigkeit, auch dieselben Misshandlungen, schlechte Ausführung und schlechte Wartung wie die Dampfmaschine. Nur beansprucht sie sehr viel Kraft, von der sie viel verschwendet und nur wenig nutzbar umsetzt.

Wird die Luftmaschine wirthschaftlich vervollkommnet, dann wird sie umständlicher, erfordert gute Ausführung und Wartung. Die älteren Kompressoren und Luftmaschinen waren unvollkommen, aber einfach.

Noch jetzt wird die Spekulation auf unvollkommene Kompressoren, wenn nur deren Mängel äusserlich verdeckt werden, wenn Geräusch und Wartung vermieden wird, mit grossem Erfolg betrieben, weil eben häufig der Preis und nicht die Güte entscheidet.

Abweichend von den Dampfmaschinen finden schlechte Kompressoren auch jetzt noch Abnehmer, die zufrieden sind, wenn die Maschinen umlaufen, Arbeit leisten und wenig Reparatur brauchen, obschon die wirthschaftliche Ausnutzung eine mangelhafte ist. Während schlechte Dampfmaschinen trotz ihrer Einfachheit im Verschwinden sind, bilden schlechte Luftkompressoren noch immer die Mehrheit.

Vollkommene Dampfmaschinen, mit überhitztem Dampf, hoher Betriebsspannung, mehrstufiger Wärmeausnutzung, mit Einrichtungen zur Vermeidung von Verlusten u. s. w. führen immer auf Schwierigkeiten. Bei Kompressoren jedoch ist es verhältnissmässig leicht, vollkommene Konstruktion mit ziemlich einfachen Mitteln zu erreichen. Trotzdem sind die sowohl an Luftkompressionsmaschinen wie auch an Luftmaschinen bisher erzielten und noch möglichen Fortschritte bisher wenig gewürdigt.

Das Verwendungsgebiet der Druckluft für Kraftübertragungszwecke ist ein ausserordentlich mannigfaltiges und umfasst viele wichtige technische Betriebe. Weder die schlechten Maschinen, noch die Fehler, welche von technisch unerfahrenen Spekulanten begangen wurden, als sich die Geldleute um die Entwicklung der Druckluft zu bemühen angingen, haben vermocht, ihr Verwendungsgebiet zu schmälern. —

Das Folgende giebt eine theilweise Uebersicht über die Ausdehnung und Vielgestaltigkeit der Ausnutzung der Luft als Kraftmittel, und daraus ergibt sich zugleich die Bedeutung guter Luftkompressionsmaschinen.

Die Verwendung der Druckluft für den Tunnelbau und die hieraus hervorgegangenen technischen Fortschritte sind durch die grossen Tunnelbauten allgemein bekannt. Auch hier sind die Einfachheit und Zuverlässigkeit des Kraftmittels, daneben die Lüftung vor Ort durch die Auspuffluft wesentliche Vortheile. Ein ernsthafter Mitbewerber ist den rohen mit Luft betriebenen, durch Stoss wirkenden Gesteinsbohrmaschinen bisher nur in der Brandt'schen hydraulischen Bohrmaschine erstanden.

Der Bauvorgang am Mont-Cenis ist für den Luftbetrieb im grossen massgebend geworden. Beim Gottard-Tunnel wurden die Einrichtungen maschinentechnisch etwas vereinfacht. Beim Arlberg-Tunnel wurde der Luftbetrieb gleichfalls maschinentechnisch verbessert; bei den Luftkompressoren wurde jedoch auf die alten Wassersäulen-Kompressoren (s. Abb. 27) zurückgegriffen.

Für den Bau des Simplon-Tunnels wird das hydraulische Bohrverfahren Anwendung finden. Sollten die Studien, flüssige Luft als Sprengmittel zu verwenden, zum Ziele führen, dann wäre der interessante neue

Fall gegeben, dass der ganze Tunnelbau nur mit der Energie der Wasserkräfte im Gebirge hergestellt würde: durch die Druckpumpen würde die Energie in Druckwasser für den Betrieb der Bohrmaschine und nach dem Linde'schen Verfahren in flüssige Luft umgewandelt, die sich billiger stellen soll, als die bisher verwandte chemische Energie für die Sprengarbeiten.

Ein grosses Verwendungsfeld ist die Kälteindustrie mit ihrem Bedarf an Kompressoren für Kohlensäure, Ammoniak, schweflige Säure u. s. w. Zahlreiche Gas- und Luftkompressoren werden für chemische Betriebe, Gaskompressoren für Sodafabriken, Luftkompressoren für Flüssigkeitshebung u. s. w. in chemischen Fabriken gebraucht. Der Luftbetrieb in den meisten chemischen Fabriken behauptet seit langer Zeit ein grosses, in der Neuzeit ausserordentlich zunehmendes Gebiet der Kraftübertragung.

Mehrere Forderungen der chemischen Industrie, richtiger gesagt, einiger grosser, intelligent geleiteter chemischer Fabriken, welche in einem hochentwickelten Maschinenbau den werthvollsten Mitarbeiter der technischen Chemie erblicken, haben wesentliche Fortschritte im Bau der Kompressoren veranlasst; sie haben den Maschinenbau gezwungen, von den alten Konstruktionen abzugehen und doppelwirkende Kolbenkompressoren ohne innere Kühlung, mit wirksamer Oberflächen- und Zwischenkühlung bei mehrstufiger Kompression, auszuführen und die Einzelheiten zu vervollkommen. Der Fortschritt ist aber auf wenige Fabriken beschränkt geblieben. Bei kleineren Kompressoren sind die Forderungen der chemischen Industrie zwar eigenartig, man giebt sich aber mit der schlechtesten Konstruktion zufrieden. Viele Kompressoren für chemische Fabriken, ebenso wie für kleine Bergbaubetriebe gehören zu den unvollkommensten Maschinen, die kaum anderen Anforderungen genügen, als dass sie umlaufen und Luft liefern.

Bei allen Verbesserungen der Kompressoren spielt eine wesentliche Rolle:

die Ausnutzung hoher Betriebsgeschwindigkeiten und vervollkommener Antriebsmaschinen von hoher wirthschaftlicher Leistung bei geringen Anschaffungs- und Betriebskosten. Mittel hierzu ist die Vervollkommnung der Ventile, Sicherung ihrer Wirkung und die Erhöhung des volumetrischen und mechanischen Wirkungsgrades durch Vervollkommnung der Einzelheiten. Diese können hier nur in sehr beschränktem Umfange mitgetheilt werden, da die chemischen Fabriken ihre Betriebseinrichtungen der Oeffentlichkeit nicht mitzuthellen wünschen.

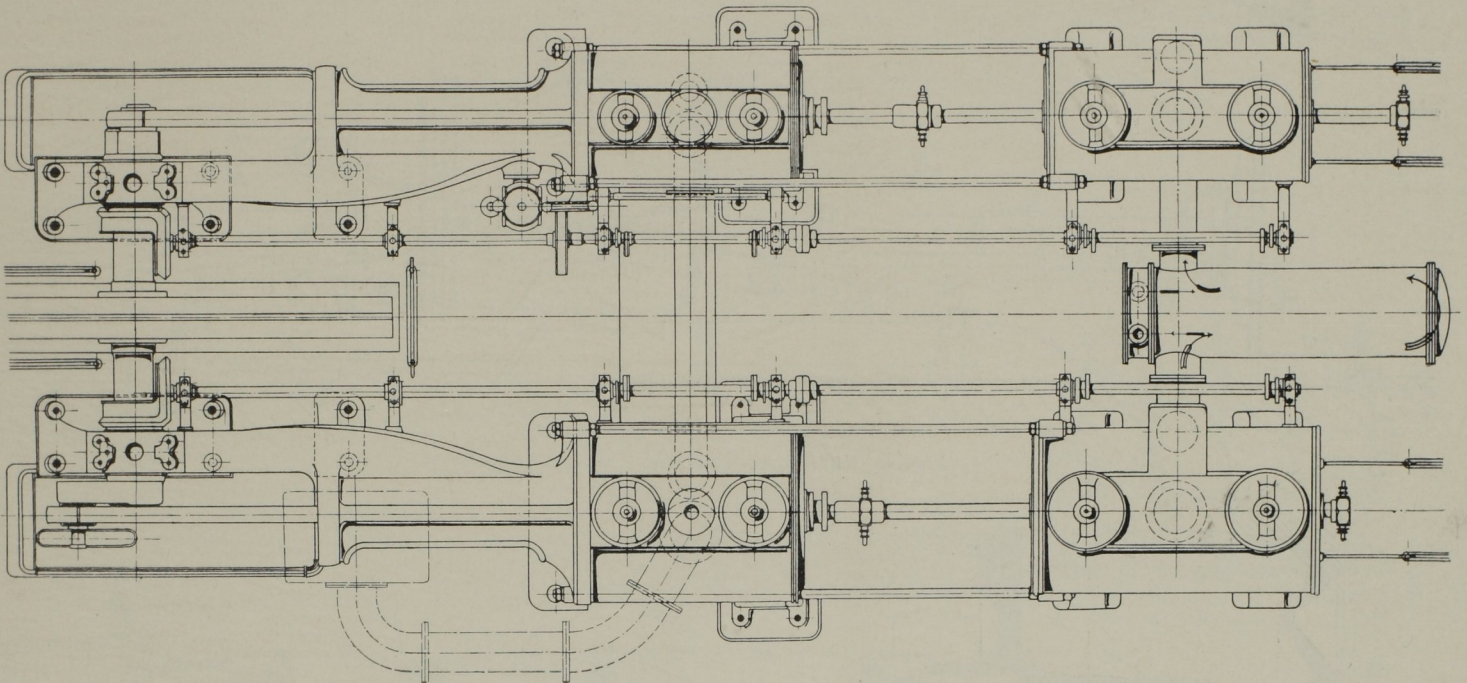
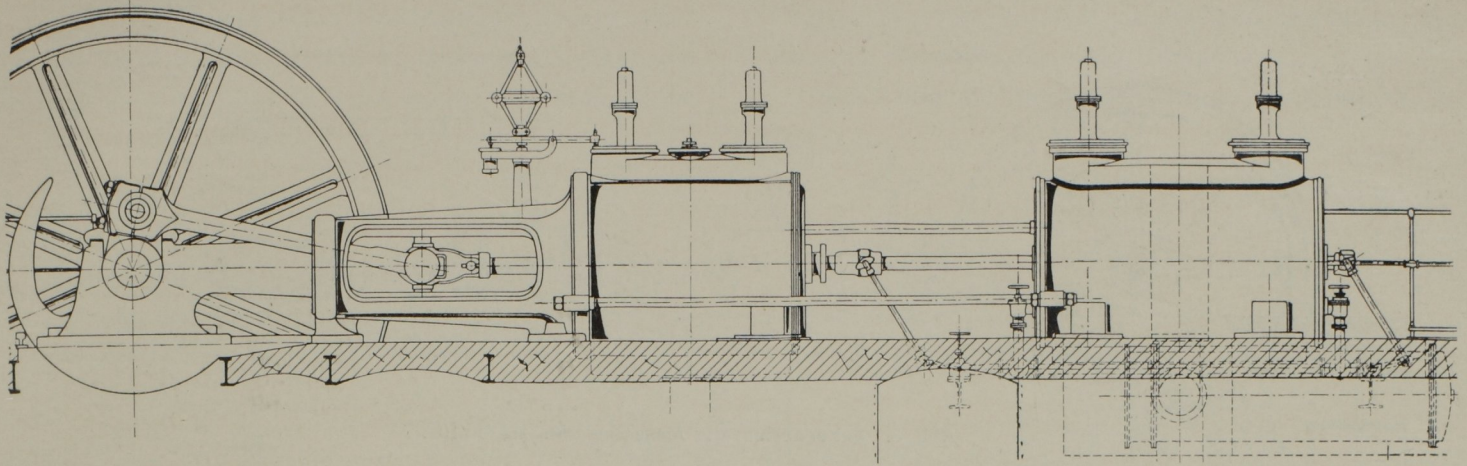


Abb. 1. Seitenansicht und Grundriss des Verbund-Kompressors. Masst. 1:60.

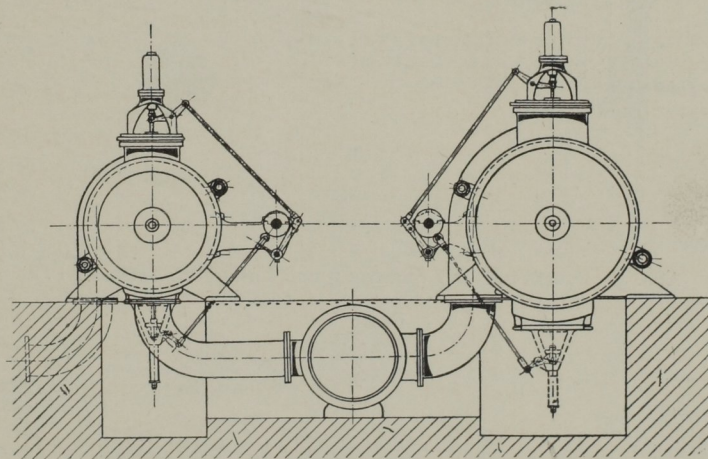


Abb. 2. Stirnansicht der Kompressor-Cylinder. Masst. 1:60.

**Kompressor für die Badische Anilin- und Sodafabrik in Ludwigshafen a. Rh.,
gebaut von Gebr. Sulzer in Ludwigshafen.**

Abb. 1 und 2 zeigen einen Kompressortypus für chemische Fabriken, den Gebrüder Sulzer in Ludwigshafen ausgebildet haben. Die Antriebsmaschine arbeitet mit Ventilsteuerung, der Kompressor ist mit ganz ähnlicher Ventilanordnung gebaut wie die Dampfmaschine.

Die Saugventile werden zwangsläufig gesteuert, die Druckventile öffnen sich selbstthätig, der Zwangschluss wird auf sie in gleicher Weise, wie die Steuerbewegung auf die Saugventile, von Kurvenbahnen der Steuerwelle übertragen.

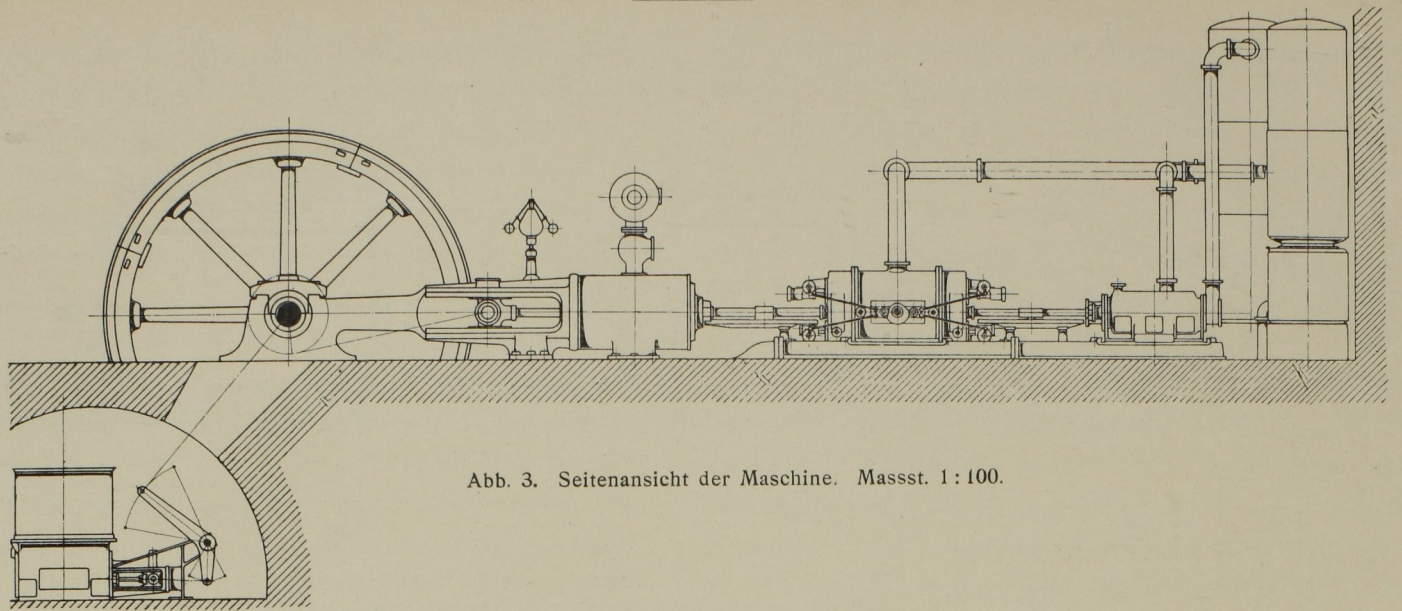


Abb. 3. Seitenansicht der Maschine. Masst. 1:100.

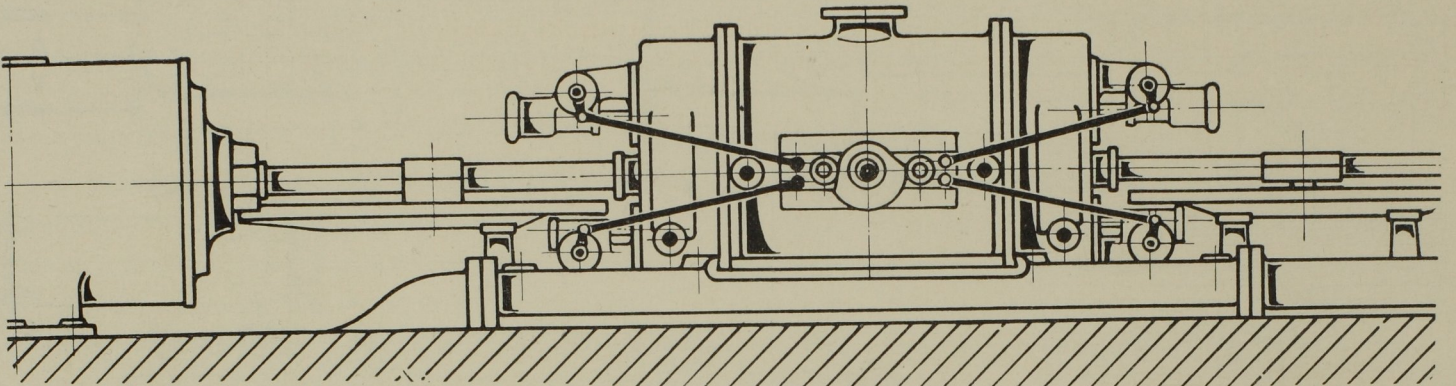


Abb. 4. Kompressorsteuerung. Masst. 1:50.

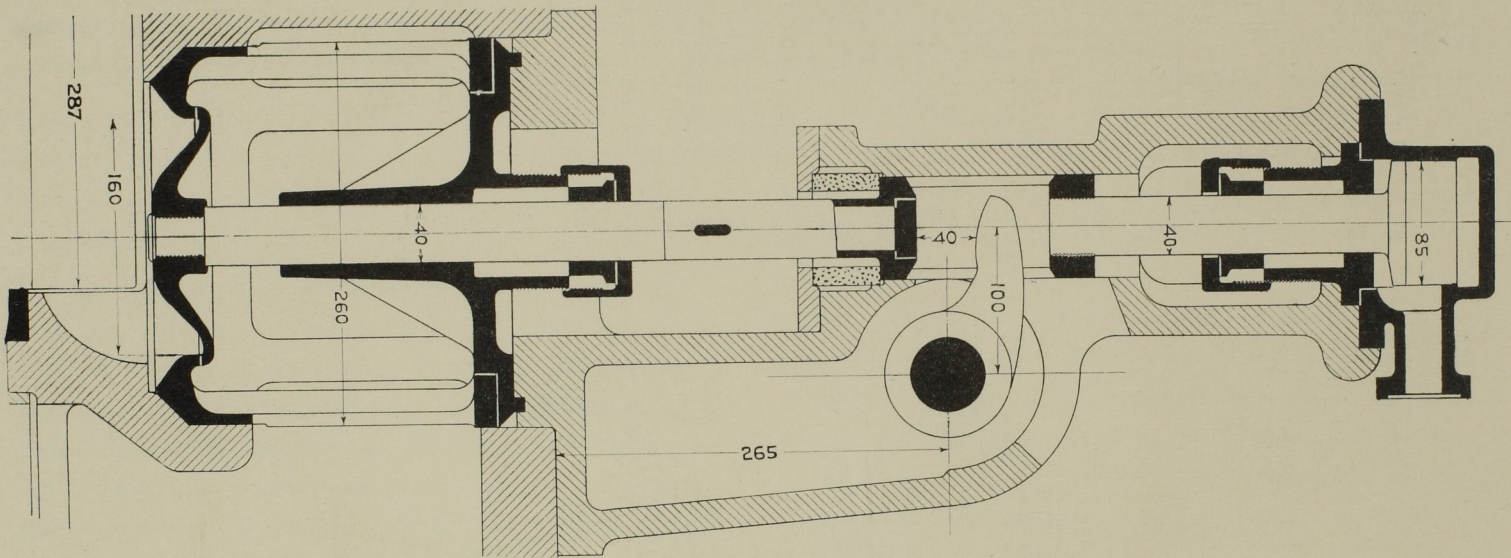


Abb. 5. Druckventil mit Steuerung und Luftpuffer. Masst. 1:5.

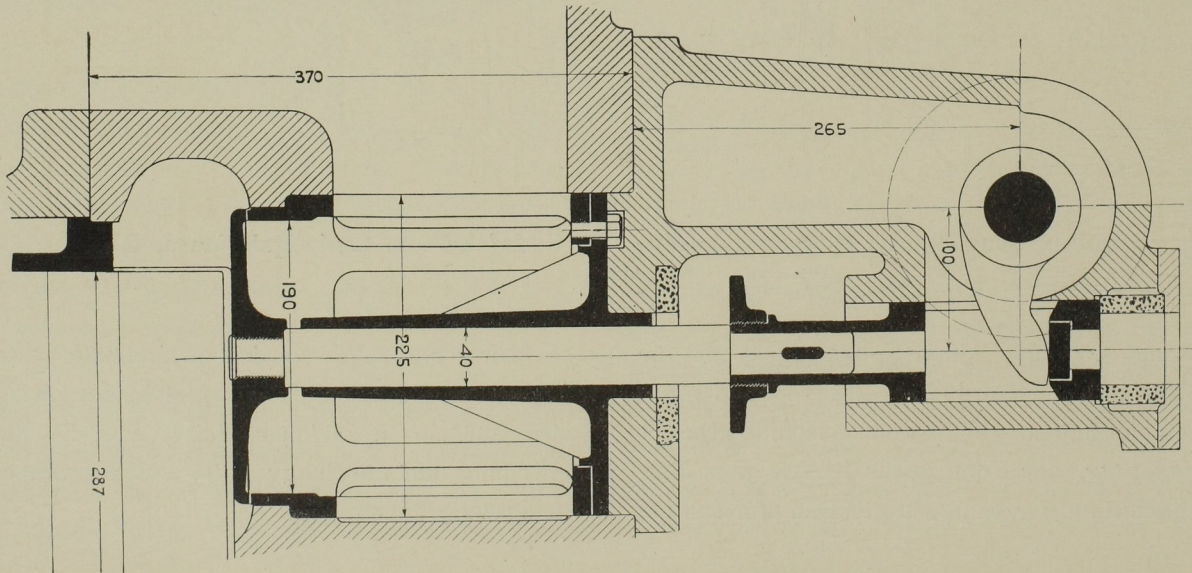


Abb. 6. Saugventil mit Steuerung. Masst. 1:5.
Kohlensäure-Kompressor für die chemische Fabrik in Heilbronn.

Abb. 3—6 zeigen einen Kohlensäurekompressor für die Ammoniak-Sodafabrik in Heilbronn, gebaut von Ehrhardt & Sehmer in Schleifmühle, mit besonderem

Grundschieberstange der Dampfmaschinensteuerung durch die Vermittlung einer Kurvenbahn.

Abb. 8 zeigt die Anordnung eines zweiten Kompressors

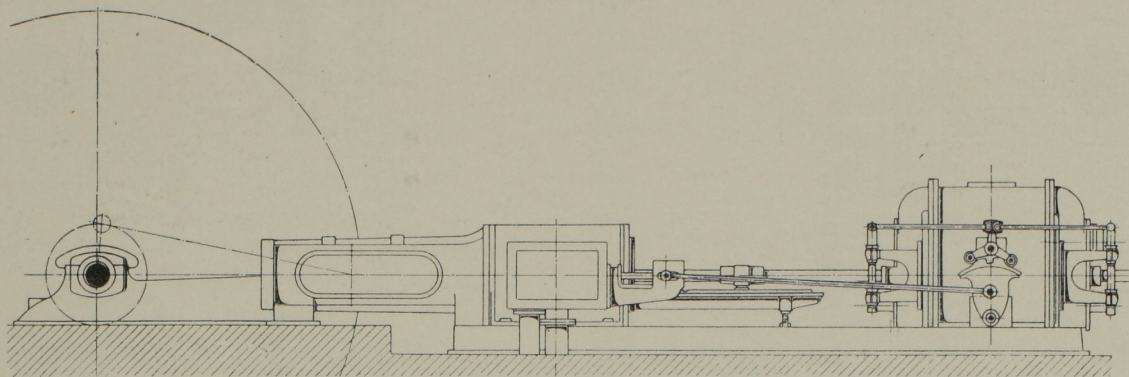


Abb. 7. Kohlensäure-Kompressor für die chemische Fabrik in Aussig a. E.,
gebaut von Breitfeld, Danek & Co., Prag. Masst. 1 : 50.

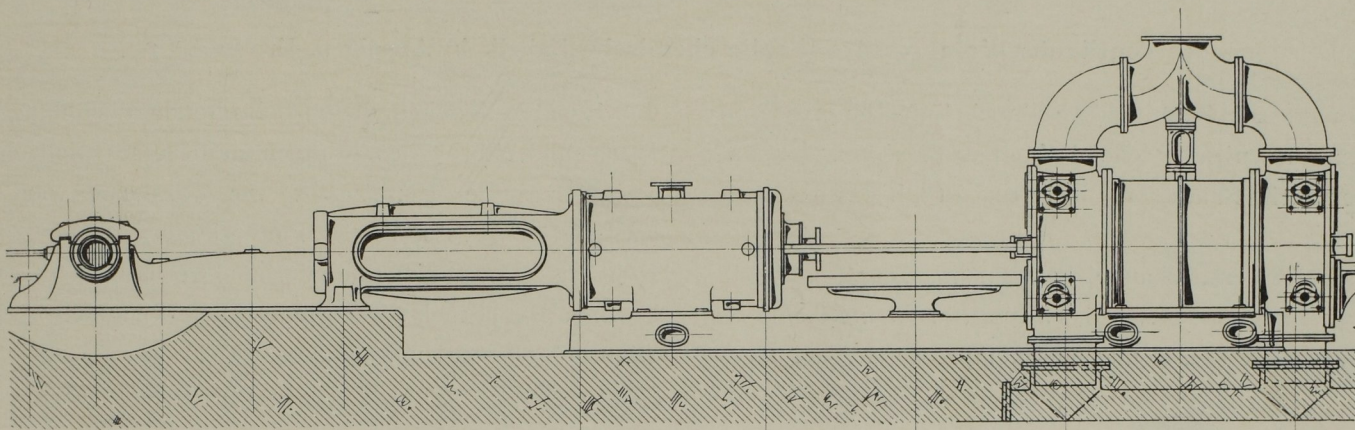


Abb. 8. Kompressor für die chemische Fabrik in Aussig a. E. Masst. 1 : 50.

Luftexpansionscylinder zur Abkühlung des verdichteten Gases, dessen Arbeit nutzbar für den Maschinenbetrieb abgegeben wird. Abb. 5 und 6 zeigen die Saug- und Druckventile mit Zwangschluss.

für die chemische Fabrik in Aussig, gebaut von der Maschinenfabrik Breitfeld, Danek & Co. in Prag: Verbunddampfmaschine von 530 mm Hochdruck-, 846 mm Niederdruckcylinder-Durchmesser; 2 Luftcylinder von

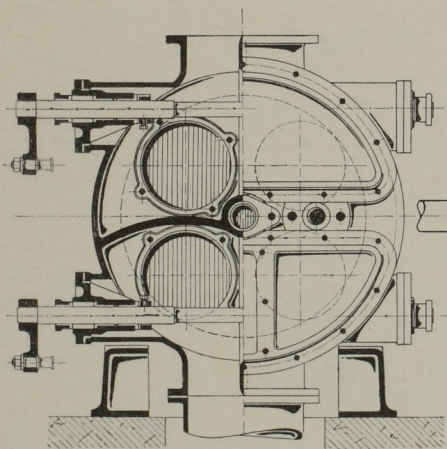


Abb. 9. Stirnansicht und Schnitt.

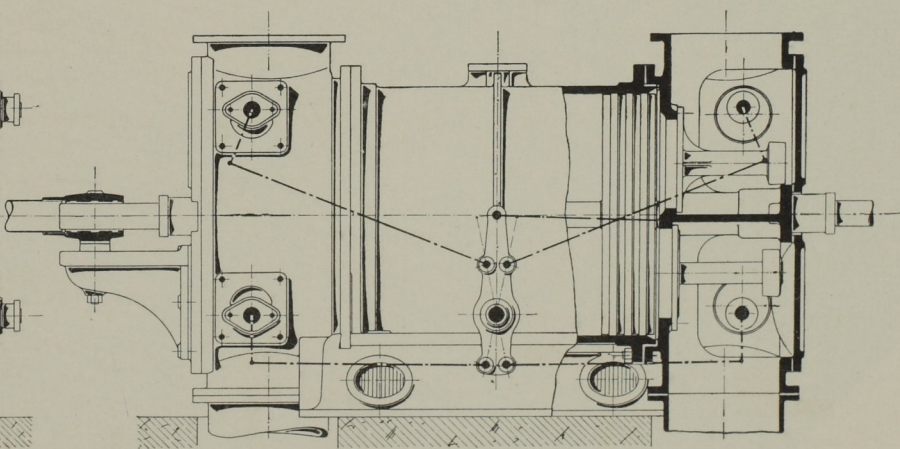


Abb. 10. Steuerung des Kompressors und Längsschnitt. Masst. 1 : 15.

Abb. 7 zeigt die Anordnung eines Kohlensäurekompressors für die chemische Fabrik in Aussig, gebaut von Breitfeld, Danek & Co. in Prag. Die Steuerung der Kompressorventile erfolgt von der verlängerten

840 mm Durchmesser, 900 Hub. Abb. 9 und 10 zeigen die Anordnung der Ventilsteuerung, Abb. 11 die Anordnung der Saug- und Druckventile und der inneren Steuerung.

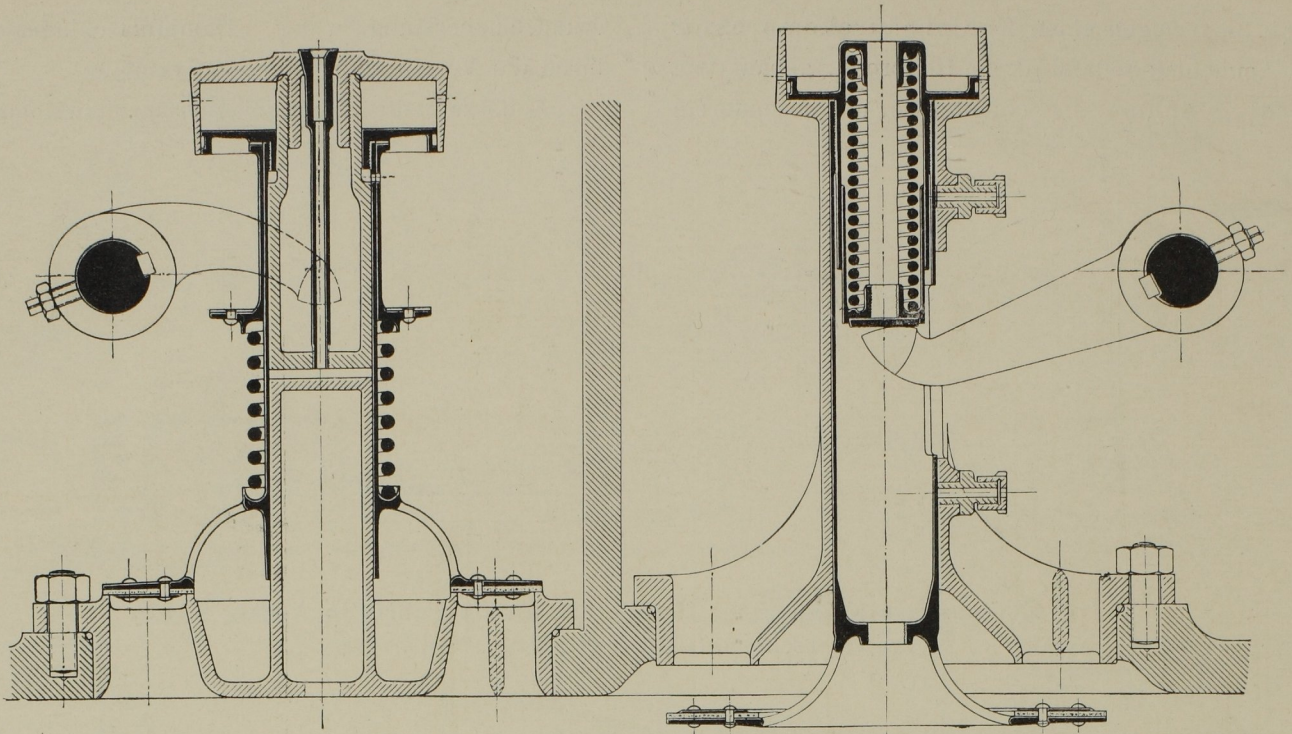


Abb. 11. Ventile des Kompressors für die chemische Fabrik in Aussig a. E. Masst. 1:5.

In grosser Zahl sind Gas- und Luft-Kompressoren für amerikanische chemische Fabriken von der Maschinenfabrik Fraser & Chalmers in Chicago gebaut worden.

Abb. 12 veranschaulicht die Bauart des ersten für die Solvay Process Co. in Syracuse, N. Y., und Detroit, Michigan, gebauten Kohlensäurekompressors. Die folgen-

den Abb. 13—23 zeigen die fortschreitende Ausbildung der Bauart an weiteren Ausführungen für dieselbe Gesellschaft.

Der erste Kompressor für Syracuse war ein Zwillingskompressor von 760 mm Cylinder-Dehm., 915 mm Hub, angetrieben von einer Verbund-Corlissmaschine von 560 mm Hochdruck-, 760 Niederdruck - Cylinder - Dehm. Minutlich 60—90 Umdrehungen.

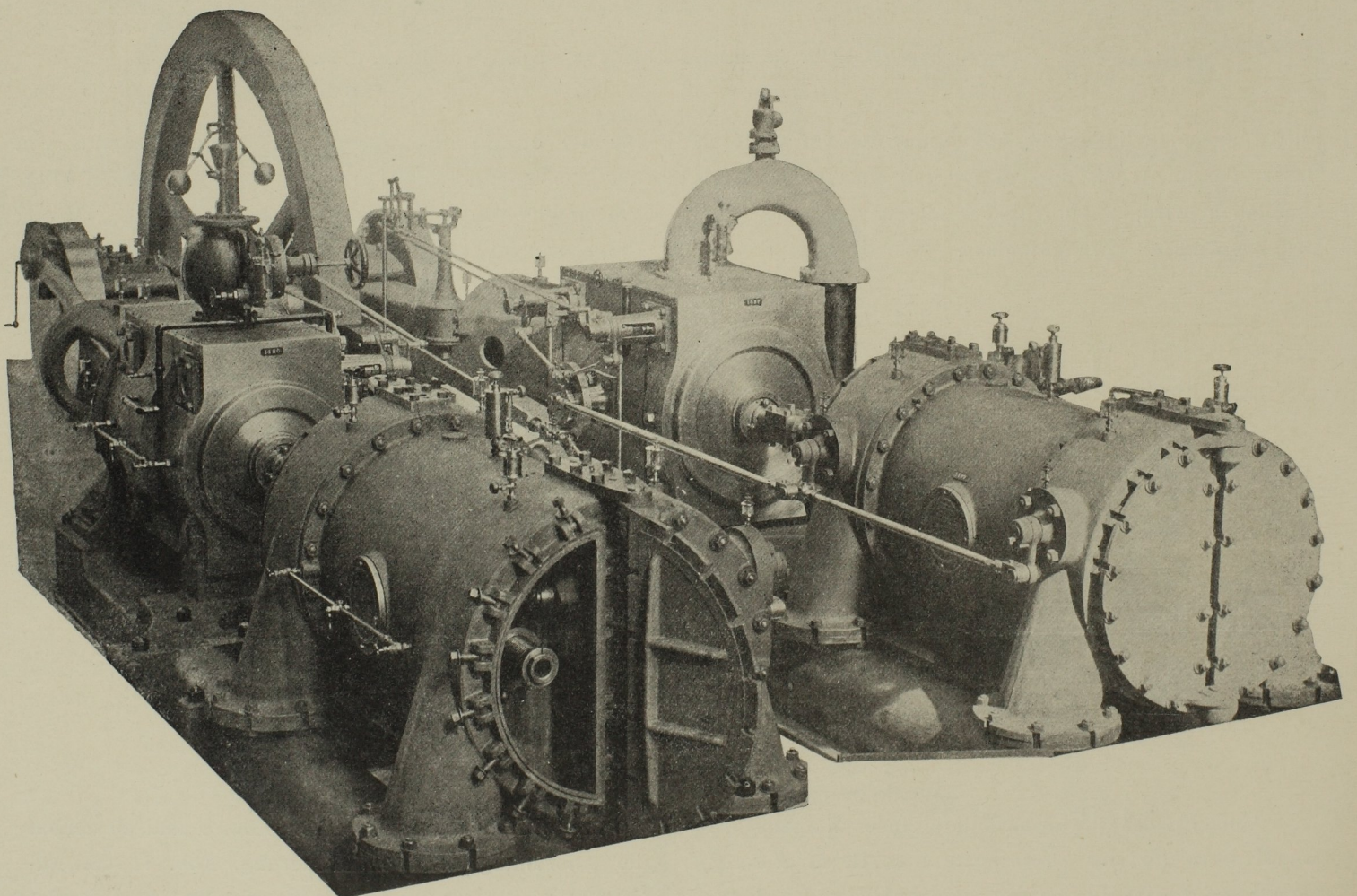


Abb. 12. Gas-Kompressor der Solvay Process Co. in Syracuse, N. Y., gebaut von Fraser & Chalmers in Chicago.

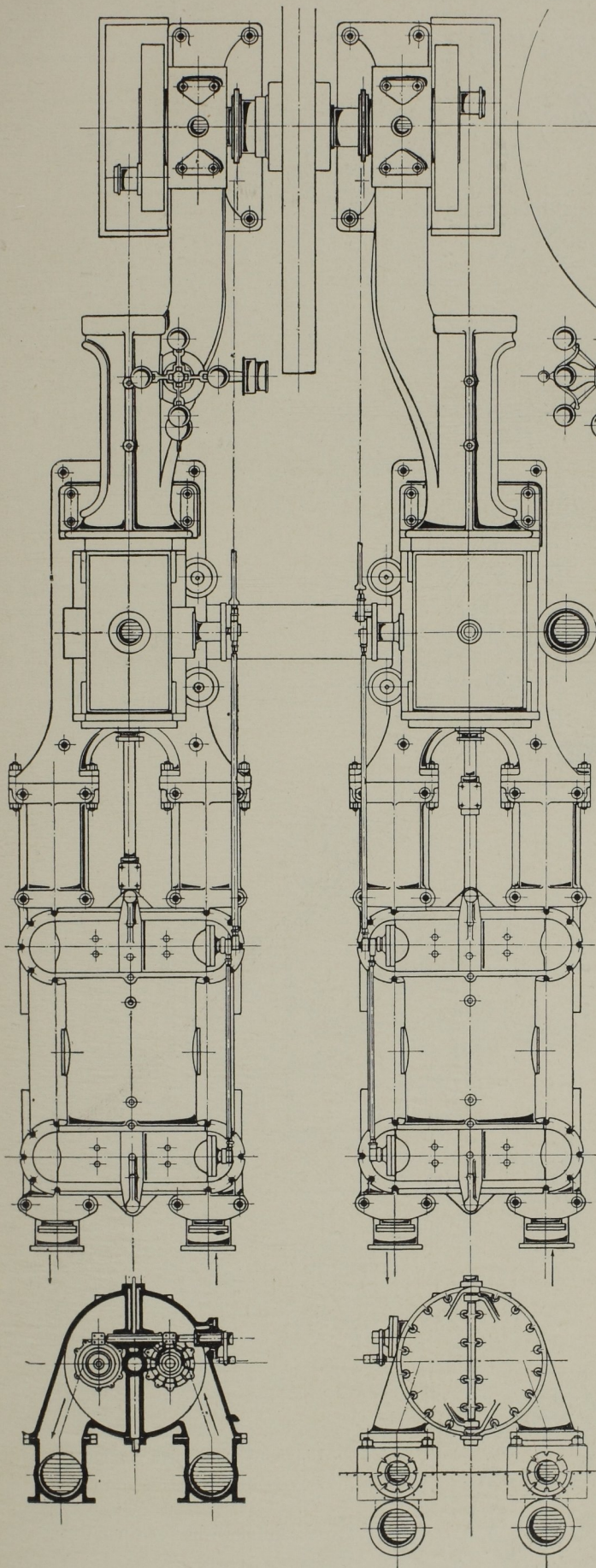


Abb. 15. Querschnitt und Stirnansicht.

Abb. 14. Grundriss.

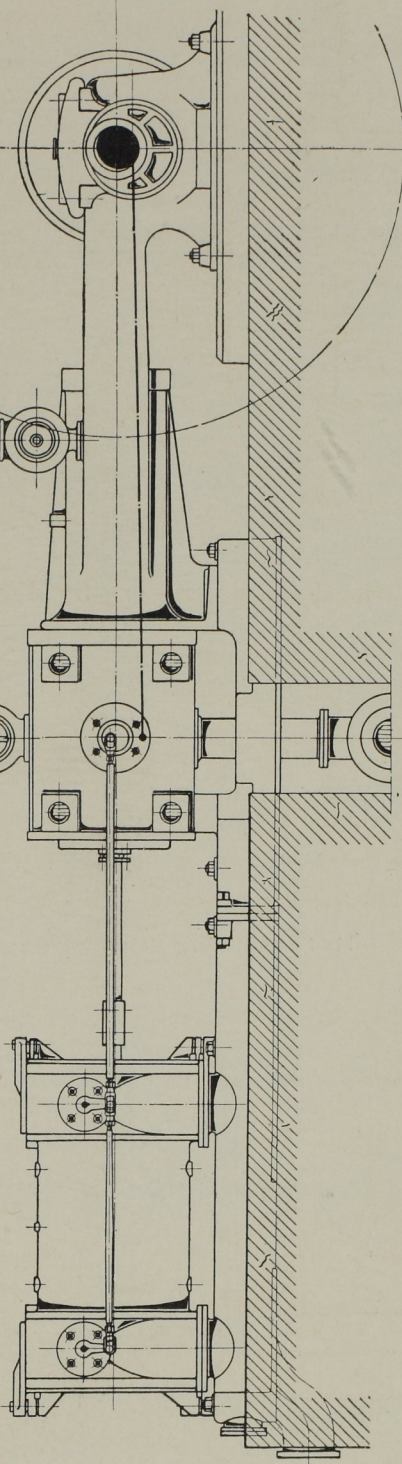


Abb. 13. Seitenansicht.

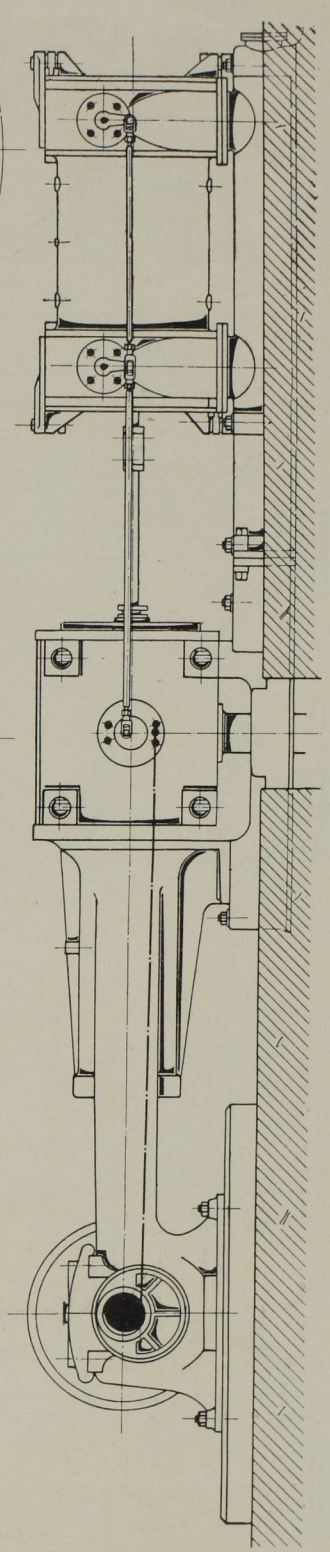


Abb. 16. Seitenansicht.

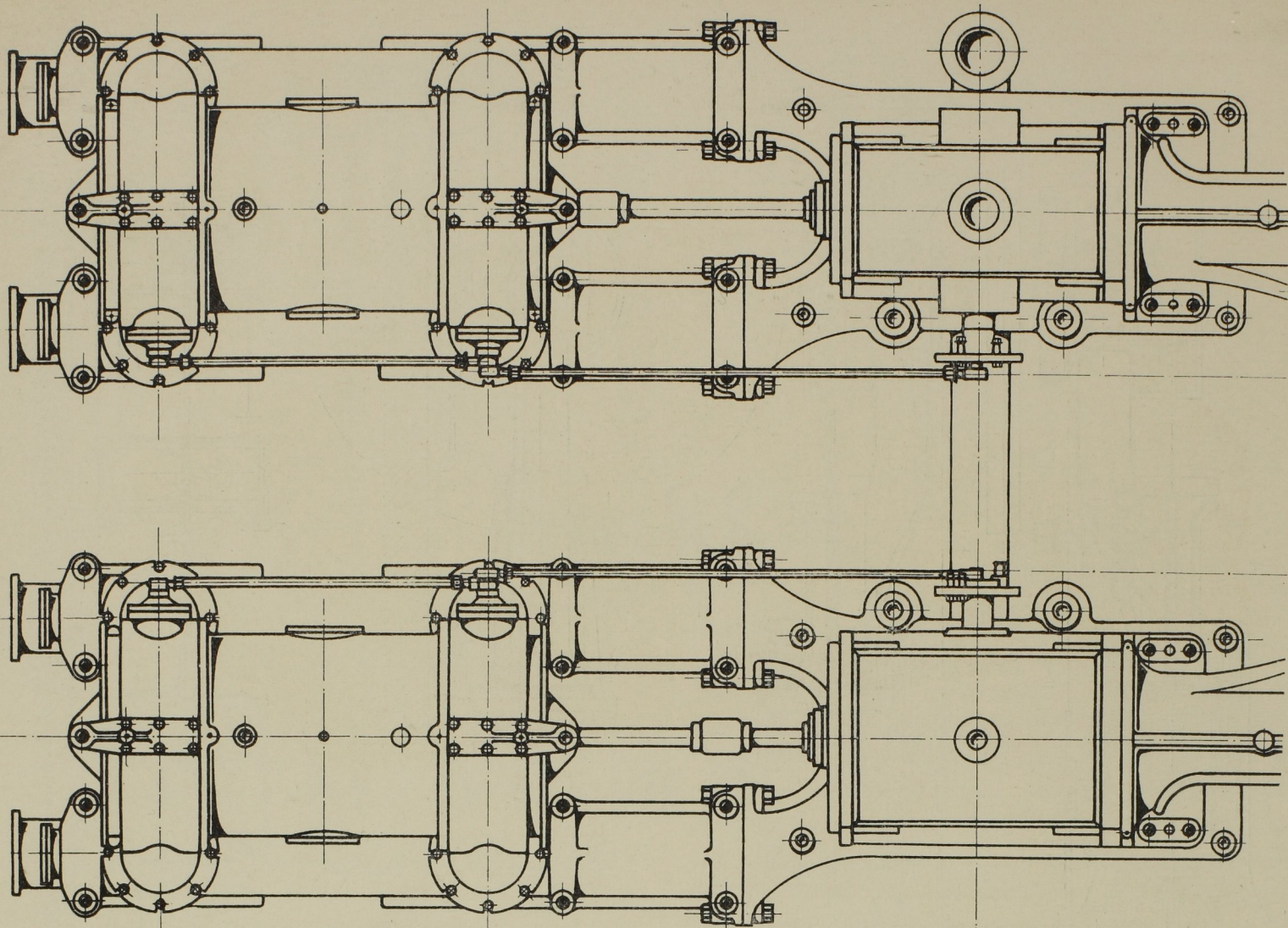


Abb. 17. Grundriss des Kompressors.

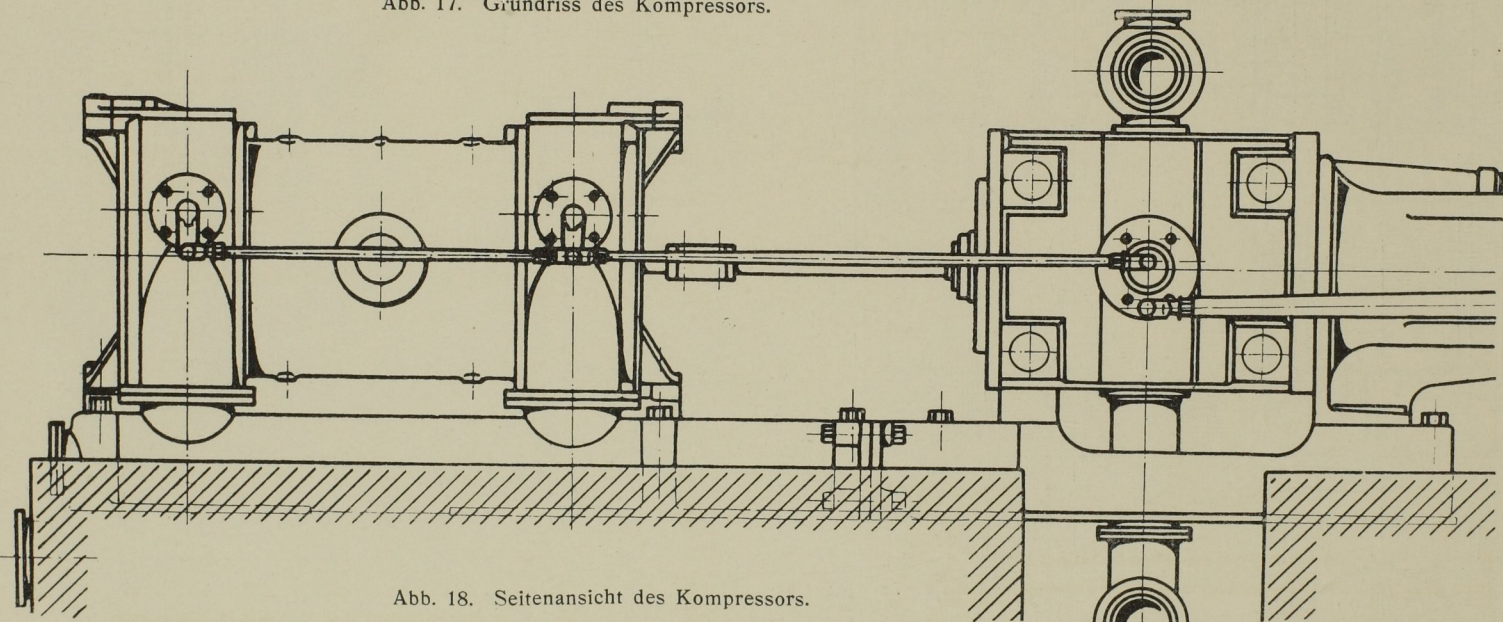


Abb. 18. Seitenansicht des Kompressors.

Abb. 19.

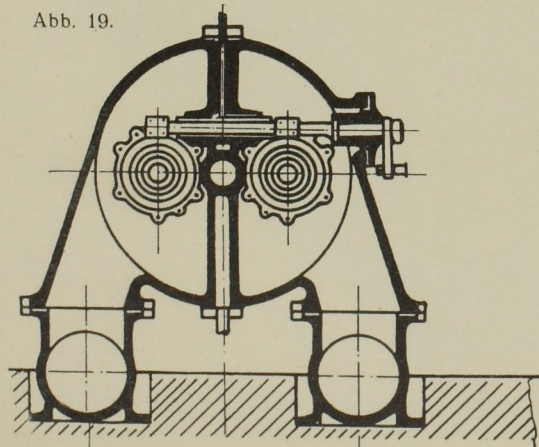


Abb. 20.

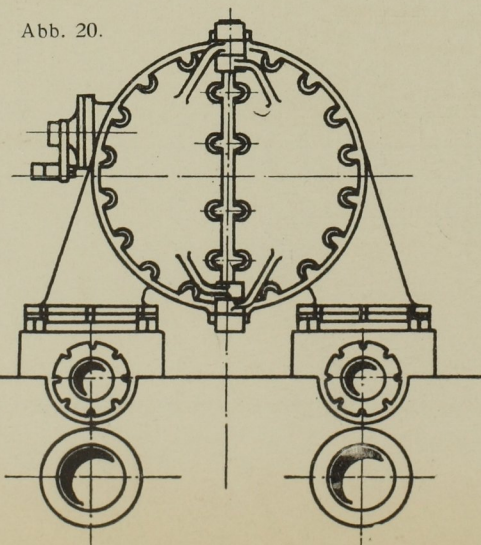


Abb. 19. Querschnitt des Kompressors.

Abb. 20. Stirnansicht des Kompressors

Massst. 1:32.

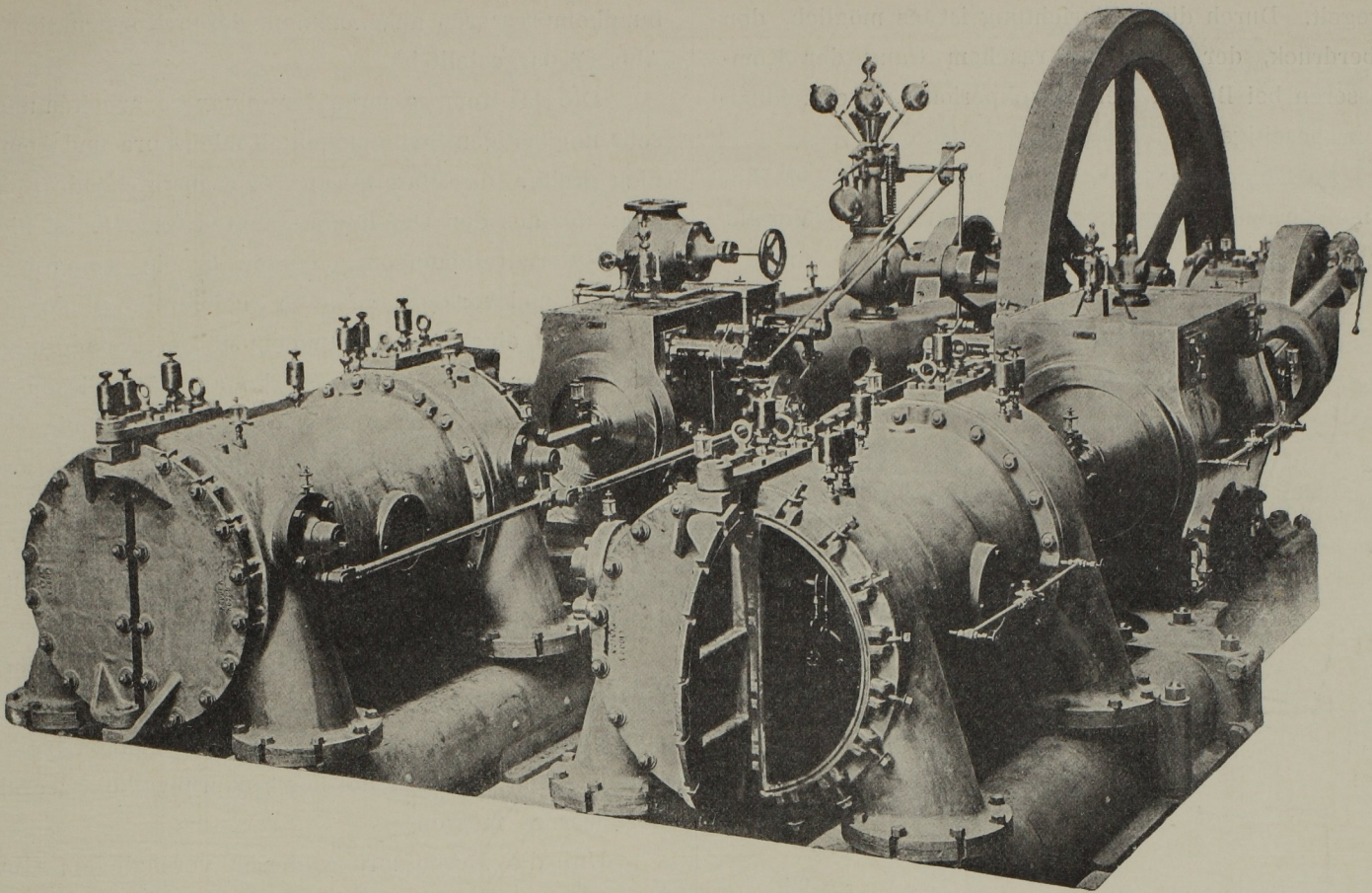


Abb. 21. Gas-Kompressor für die Solvay Process Co. Syracuse, N. Y.

Nach dieser ersten Bauart wurden 3 Maschinen für die Werke in Syracuse ausgeführt und nach erfolgreichem Betriebe 6 weitere Kompressoren nachbestellt.

3 dieser neuen Maschinen wurden nach der verbesserten zweiten Bauart, welche die Abb. 13—16 darstellen, ausgeführt.

3 Kompressoren für die Werke der Gesellschaft in Detroit, Mich., wurden nach der in Abb. 17—20 dargestellten Konstruktion ausgeführt. Alle diese Ausführungen unterscheiden sich nur durch Verbesserungen in mehreren Einzelheiten.

Abb. 22 und 23 zeigen die Bauart der Saug- und Druckventile aus geschmiedetem Stahl mit indirekter Steuerung. Der Steuerhebel hebt vor Eröffnung des Ventils die federbelastete Hülse über dem Ventil, entlastet dadurch das Ventil von der Federspannung und erzeugt zugleich in dem Luftpuffer unmittelbar oberhalb des Ventils eine Luftverdünnung, die als Eröffnungskraft wirkt in dem Sinne, dass sie den Ventilüberdruck überwindet und die Beschleunigung der Ventilmasse besorgt. Durch eine Stellschraube wird die Luftspannung eingestellt und die Eröffnungskraft beliebig

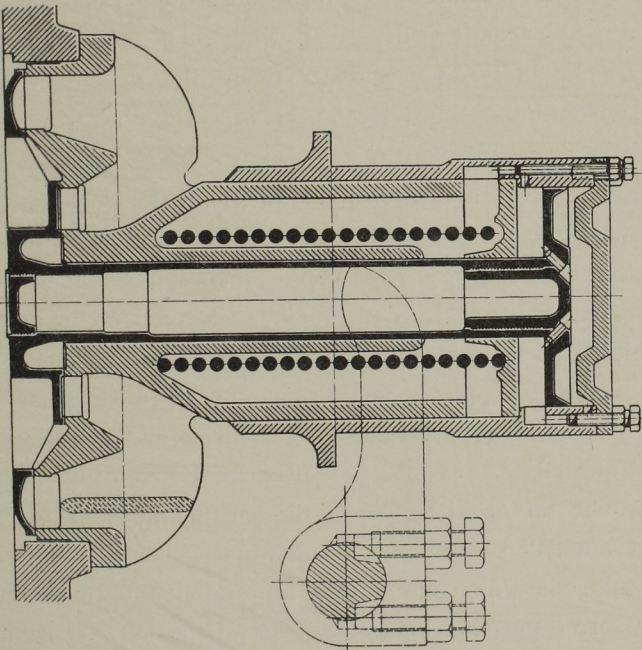


Abb. 22. Saugventil. Masst. 1:5.

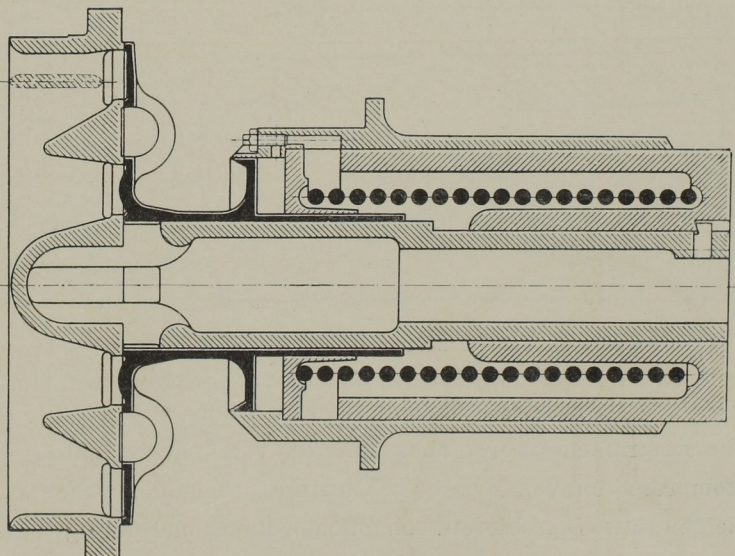
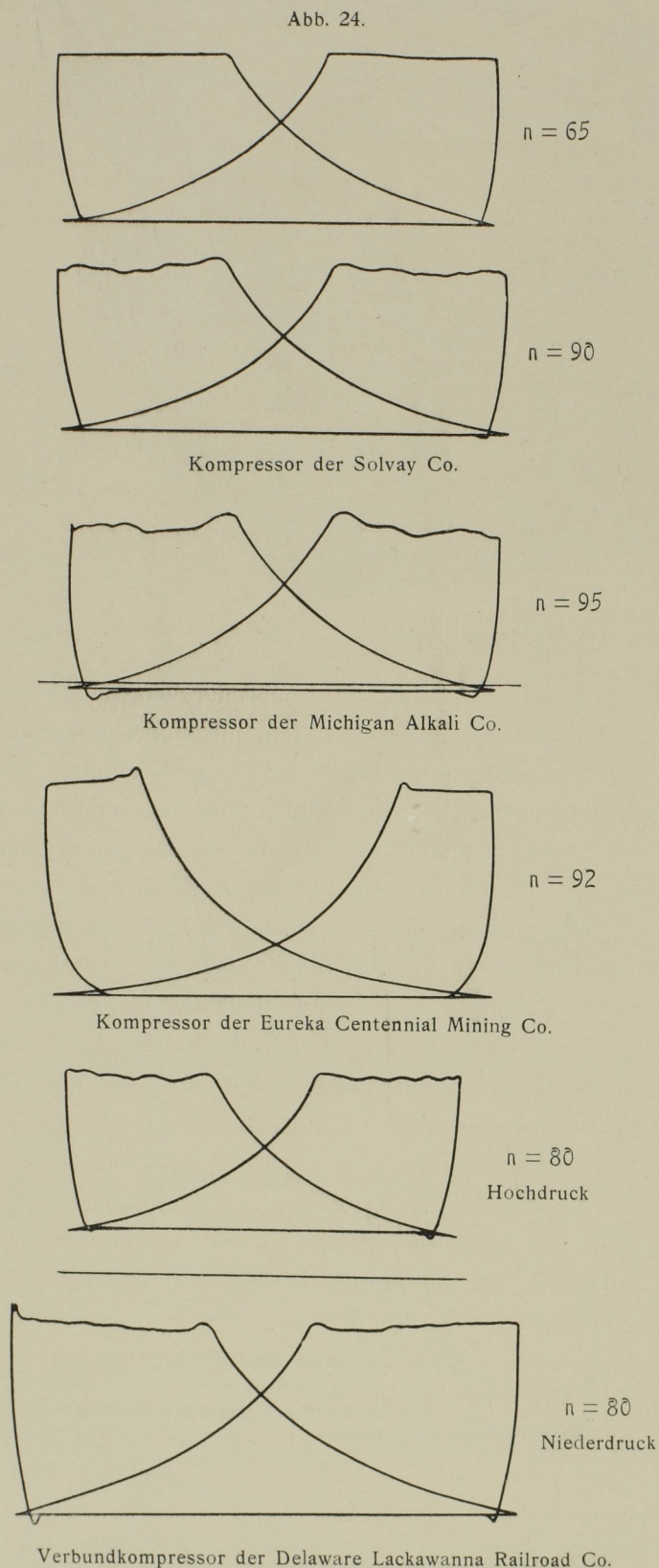


Abb. 23. Druckventil. Masst. 1:5.

Gas-Kompressor für die Solvay Process Co. Syracuse, N. Y.

geregelt. Durch diese Einrichtung ist es möglich, den Ueberdruck, der sonst bei raschem Gang der Kompressoren bei Beginn der Druckperiode unvermeidlich ist, zu beseitigen.

Die Diagramme Abb. 24, bei minutlich 65—95 Umdrehungen aufgenommen, zeigen den richtigen Verlauf der Drucklinien.



Des Vergleichs halber sind in der Abbildung die Diagramme älterer, aber immerhin vorzüglicher Luftkompressoren von Fraser & Chalmers beigelegt. Sie zeigen etwas grösseren schädlichen Raum und geringfügig erhöhte Widerstände. Die beiden letzten Diagramme sind an einem der später zahlreich ausgeführten Ver-

bundkompressoren abgenommen, deren Konstruktion in Abb. 52 dargestellt ist.

Die Gas-Kompressoren der Solvay Co. arbeiten unter sehr ungünstigen Bedingungen: Kohlensäure und Ammoniak greifen das Material an; eine ausreichende Reinigung der aus den Oefen abgesaugten Gase findet nicht statt; Verunreinigungen gelangen in die Kompressor-cylinder und verlegen mit dem Schmieröl Cylinder und Ventile. In einer Woche sammeln sich oft Ablagerungen von mehreren Centimetern Stärke an. Aus diesen Betriebsverhältnissen ergab sich die Nothwendigkeit, viele Einzelheiten abweichend von gewöhnlichen Kompressoren zu bauen. Nähere Mittheilungen hierüber sind mir nicht gestattet. Die Ventile wurden so gebaut, dass die Verunreinigungen nicht an die Ventillführungen und nicht ins Innere der Puffer gelangen können.

Bei der äusseren Steuerung musste darauf Rücksicht genommen werden, dass bei der starken Ablagerung von Verunreinigungen die Ventile hängen bleiben können, und dass Brüche der Steuerungstheile verhindert werden müssen.

Um die Durchführung dieser vorzüglichen Kompressorkonstruktion für die Solvay Process Co. hat sich der Ingenieur dieser Gesellschaft, Herr Trump, grosse Verdienste erworben.

Die Solvay-Werke verwendeten anfänglich einen grossen, von Professor Sweet konstruirten Kompressor, der ähnlich gebaut war, wie die von der De la Vergne Co. in New-York für Kühlzwecke gebauten Kompressoren mit liegender Zwillingsdampfmaschine und senkrecht gebautem Zwillingskompressor. Die Einzelheiten wurden dann von der Morris Co. wesentlich verbessert. Der Kompressor kostete jedoch rd. 180 000 M. und verursachte fortlaufend kostspielige Reparaturen, insbesondere an den Ventilen.

Dieser Kompressor wurde durch einen von der Ingersoll-Sergeant Drill Co. in New-York gebauten ersetzt; gleichfalls eine grosse, schwerfällige Maschine, die im wesentlichen dieselben Anstände ergab, wie die frühere. Hierauf wurden 5 kleine einfache Schieber-Kompressoren aufgestellt, von denen die geringsten Schwierigkeiten erwartet wurden. Trotzdem kamen zahlreiche Störungen vor, insbesondere durch die Ablagerungen in den Schieberkästen und in den Schiebern. Durch überreichliche Schmierung mussten die Verunreinigungen vor Erhärtung bewahrt werden. Hierdurch sowie durch sehr zahlreiche Ersatztheile und oftmalige Auswechslung war der Betrieb immerhin aufrecht zu erhalten, aber die Instandhaltungskosten und auch der Dampfverbrauch waren ausserordentlich gross, sodass sich die Gesellschaft nach anderen Kompressoren umsehen musste. Die Wahl fiel auf Kompressoren mit gesteuerten Ventilen, deren Ausführung Fraser & Chalmers in Chicago übertragen wurde.

Das Vorstehende ist erwähnt, um die Schwierigkeiten hervorzuheben, die durch die eigenartigen Betriebsverhältnisse, durch das Verhalten der Kohlensäure, durch Verunreinigungen und hohe Betriebsanforderungen entstanden und die so ausserordentliche waren, dass selbst so Erfahrene wie Professor Sweet, die Morris Co. und auch die Ingersoll-Sergeant Co., alle unterstützt durch den hervorragend erfahrenen Ingenieur der Gesellschaft, ihrer nicht Herr werden konnten und die Wünsche der Gesellschaft nicht zu befriedigen vermochten. Dies ist erst durch die neuen Kompressoren gelungen, deren Anfangsgeschichte allerdings auch eine Leidensgeschichte war.

Gute Gaskompressoren haben ein grosses Arbeitsfeld vor sich, weil verdichtetes Gas theils zur Vereinfachung bisheriger Betriebe, theils zur Lösung neuer Aufgaben eine vielseitige, zukunftsreiche Verwendung zulässt.

Mit der fortschreitenden Entwicklung der Gasmaschinen, insbesondere der Ausnutzung von minderwerthigen Gichtgasen und Generatorgasen für Kraftzwecke, welche namentlich den Kraftbetrieb von Hüttenwerken umgestalten werden, wird die Gasverdichtung für Kraftzwecke und damit die Ausbildung vollkommener, dabei aber einfacher Kompressoren sehr wichtig.

Ebenso werden Gaskompressoren noch grosse Verwendung finden für Gasverdichtung zum Zwecke der Aufspeicherung von Gas, u. a. auch um Heiz- oder Kraftgas besser transportfähig zu machen.

Bisher wurden in solchem Zusammenhange nur kleine Anlagen ausgeführt, insbesondere Gaskompressoren zur Aufspeicherung von verdichtetem Gas für Beleuchtungszwecke u. s. w. Es kann sich aber auch darum handeln, minderwerthiges Gas durch Verdichtung höherwerthig zu machen, bei so verringertem Gasvolumen grosse Energiemengen fortzuleiten und zu vertheilen. Es ist eine lösbare Aufgabe, Kohle zu vergasen, das Gas zu verdichten und den Verbrauchsstellen, so wie jetzt das Leuchtgas, für die verschiedensten Haus- und Industriebetriebe zuzuführen.

Hier bietet sich der Vergleich mit der gegenwärtigen Verwerthung der minderwerthigen Braunkohle dar: An den Gewinnungsstellen ist solche Kohle kaum verwerthbar; im verdichteten Zustande, als Brikett, hat sie, auf das Volumen bezogen, höheren Heizwerth erhalten und wird transportfähig. In ähnlicher Weise kann minderwerthiges Gas verwerthet und vertheilt werden. Die bisherigen Ausführungen sind bescheidene Anfänge hierzu. —

Druckluft als Mittel zur Förderung und Fortbewegung von Flüssigkeiten und Körpern gewährt gleichfalls ein weites Anwendungsfeld, und zwar nicht bloss in chemischen Fabriken, in denen sie schon seit langem

zur Flüssigkeitshebung durch unmittelbaren Luftdruck, in Montejus, Pulsometern u. s. w. verwendet wird.

Die unter der Bezeichnung „Mammut-Pumpe“ eingeführte Pumpvorrichtung für Tiefbrunnen und Wasserhebung verschiedenster Art ist ein Beispiel dafür, dass durch die Vermittlung von Druckluft besondere Aufgaben sehr einfach gelöst werden und die Einfachheit des Betriebs den Nachtheil der geringen Kraftausnutzung aufwiegt; insbesondere können Verhältnisse beherrscht werden, die bei anderen Pumpenbetrieben zu sehr grossen Schwierigkeiten führen, wie z. B. bei Hebung ganz trüber, dicker Flüssigkeiten und stark verunreinigter Wasser in chemischen und landwirthschaftlichen Industrien u. s. w.

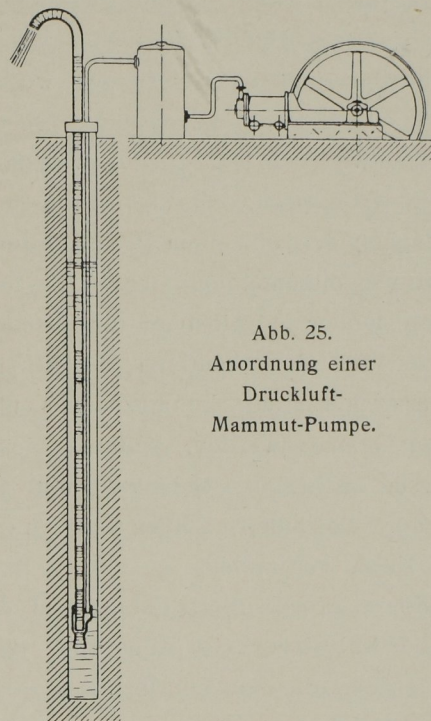


Abb. 25.
Anordnung einer
Druckluft-
Mammut-Pumpe.

Die tiefliegende Druckluftpumpe hat keine Kolben und Ventile, überhaupt keine beweglichen Theile; die Triebkraft wird durch den Luftdruck ersetzt, und alle beweglichen Maschinentheile sind im zugänglichen Kompressor vereinigt. Das Förderrohr taucht in den Tiefbrunnen ein (Abb. 25), und in das Fussstück mündet das Druckluftrohr vom Windkessel. Die eingepresste Luft kann nach unten in den Tiefbrunnen nicht entweichen, weil die Eintauchtiefe grösser ist, als die Förderhöhe. Sie steigt im Förderrohr als grosse Luftblase auf, und schiebt die Wasserpumpfen kolbenartig aufwärts. Ventile sind nicht erforderlich, weil Druckluft und Wasser ununterbrochen im Fussstück zufließen. Kolben sind nicht notwendig, weil die Wasserpumpfen als solche dienen. Im oberen Theile des Förderrohres dehnt sich die Druckluft so weit aus, dass das Wasser sich mit der Luft mischt und am Ausguss ein mit Luft gemischter ununterbrochener Wasserstrahl ausströmt.

Der Wirkungsgrad einer solchen Ausnutzung der Maschinenkraft durch Vermittlung der Druckluft ist nur $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$. Dem steht aber gegenüber die grosse

Einfachheit, die Möglichkeit, auch dicke Flüssigkeiten, Abwässer von Fabriken, landwirthschaftlichen Betrieben, Zuckerfabriken, Brauereien und Brennereien, Rübenschnitzel, Schlamm, Sand, Papiermasse u. s. w. zu fördern.

Im Zusammenhange damit spielt die Entwicklung vollkommener und dabei einfacher Kompressoren eine wichtige Rolle. Ich habe diesen Theil der Frage mit Herrn Professor Stumpf studirt und das Ergebniss war ein Kompressor von ausserordentlich einfacher Bauart, der im Späteren ausführlich behandelt ist und der sich wahrscheinlich auch auf anderen Verwendungsgebieten einbürgern wird.

Ein anderes bekanntes Beispiel von Transportvorrichtungen durch Druckluft ist die Rohrpost, die seit Jahrzehnten auf die Beförderung von Eilbriefen beschränkt geblieben und nicht verbessert worden ist.

Der immer stärker anwachsende grossstädtische Verkehr wird zu weiterem Fortschritte zwingen. Man wird sich entschliessen müssen, den schwerfälligen Zwischenverkehr zwischen den einzelnen Postanstalten und den Bahnhöfen zu vervollkommen. Der Pferde- und Wagenpark, die Rosselenker und Aufseher für diesen Zwischentransport, der mit den heutigen Verkehrsmitteln in argem Widerspruch steht, können durch maschinelle Einrichtungen erspart werden. Anfänge hierzu sind in einigen grossen öffentlichen Gebäuden und in einigen amerikanischen Postämtern, aber nur in sehr beschränktem Masse vorhanden.

Ein weiteres grosses Verwendungsfeld der Druckluft sind die Arbeitsmaschinen und Werkzeuge mit Luftbetrieb. Sie wurden bisher gegenüber den hydraulisch betriebenen Maschinen und Werkzeugen sehr vernachlässigt, werden sich aber in viel höherem Masse als bisher Eingang verschaffen; so u. a. die Luft-Nietmaschinen, tragbare Druckluft-Werkzeuge u. s. w.

Die Kriegstechnik bedarf mehrerer Druckluftbetriebe, z. B. für Torpedos, für Schiffsausrüstungen.

Ein altes grosses Feld der Verwendung der Druckluft ist die Wasserverdrängung durch Druckluft für Fundirungszwecke zur Gründung von Brückenpfeilern, für Schachtabteufungen u. s. w. Die Bautechnik hat hier mit der Entwicklung der Maschinenteknik nicht Schritt gehalten und es ist ein grosser Fortschritt möglich.

Als Beispiele der Kraftübertragungen durch Druckluft sind die alten unterirdischen Luftbetriebe im Bergbau und bei Tunnelbauten zu erwähnen, für unterirdische Wasserhaltungen, Streckenförderung, Gesteinsbohrmaschinen u. s. w.

Als Kraftvertheilung ist die Druckluftanlage in Paris bekannt geworden, leider auch als planloses Machwerk von „Gründern“, deren Ideen durch Sachkenntniss nicht getrübt waren.

Entscheidend für jede Verwendung sind die Eigenschaften des Kraftmittels: die ungünstigen der Luft sind: die unvermeidliche Erwärmung bei der Verdichtung; der Arbeitsverlust hierdurch und bei der Wiederausdehnung, der schlechte Wirkungsgrad, der unvermeidliche Wassergehalt der Luft, das Einfrieren des Luftauspuffes u. s. w.

Dem stehen gegenüber die günstigen Eigenschaften dieses Kraftmittels: die Bequemlichkeit der Verwendung, die Möglichkeit, Wärme zuzuführen und das Arbeitsvermögen zu vergrössern.

Die Mittel, die Nachtheile zu vermindern und die Vortheile auszunutzen, sind bekanntlich:

mehrstufige Verdichtung der Luft und Zwischenkühlung in jeder Kompressionsstufe,

mehrstufige Expansion der Druckluft bei der Wiedergewinnung der Energie in der Luftmaschine,

Wärmezuführung in jeder Zwischenstufe, und endlich

Durchführung eines Kreisprozesses der Druckluft bei hohem Gegendruck.

Der Rahmen der vorliegenden Schrift gestattet nicht, hierauf näher einzugehen.

Die wesentlichen Verbesserungen der Kompressoren können durch das Folgende gekennzeichnet werden:

Die Kompressoren waren anfangs weitläufige Apparate, meist durch unmittelbaren Wasserdruck oder durch Wasserstrahl oder durch den Stoss von Wassermassen wirkend, ähnlich wie auch die Hüttenwerksgebläse ursprünglich einfache, wenn auch sinnreiche Apparate waren, die erst gegen Mitte des XIX. Jahrhunderts durch die Cylindergebläse verdrängt wurden.

Luftkompressoren, die ähnlich wie die hydraulischen Widder wirken, wurden beim Bau des Mont Cenis-Tunnels im grossen benutzt, Stosskompressoren, die wegen ihrer theoretischen Eigenart seit einem Jahrhundert mit Vorliebe theoretisch behandelt wurden und eine umfangreiche Litteratur hervorgerufen haben.

Alle solche durch Wasserdruck oder Stoss wirkenden Kompressoren haben wegen ihrer Umständlichkeit und geringen Leistung, ihrer schwerfälligen, kostspieligen Bauart längst ihre Bedeutung verloren, obwohl in besonderen Fällen Wassergefälle mit solchen einfachen Mitteln zur Vorverdichtung von Luft, die dann durch Kompressoren auf grösseren Druck weiter zu verdichten ist, auch gegenwärtig noch verwendbar ist.

Alle neueren Kompressoren arbeiten mit Kompressionscylindern. Für die konstruktive Entwicklung der Einzelheiten waren die anfänglichen Bedürfnisse des Bergbaues, später die des Tunnelbaues massgebend.

Um die Entwicklung zu würdigen, muss berücksichtigt werden, dass noch vor wenigen Jahrzehnten viele

Hilfsmittel des Maschinenbetriebes, die man gegenwärtig als selbstverständlich betrachtet, noch nicht ausgebildet waren, wie z. B. zuverlässige Schmierung von Metallkolben, selbstthätige Schmiervorrichtungen für ununterbrochenen Maschinenbetrieb. Ebenso waren die Einzelheiten der Maschinenkonstruktion für die jetzigen Anforderungen, die man als normale anzusehen sich gewöhnt hat, noch nicht ausgebildet, z. B. die Bemessung der Triebwerkstheile für hohe Geschwindigkeit, für geringste Abnutzung u. s. w., und es wurden Fehler gemacht, welche gegenwärtig nur noch Unerfahrenen unterlaufen.

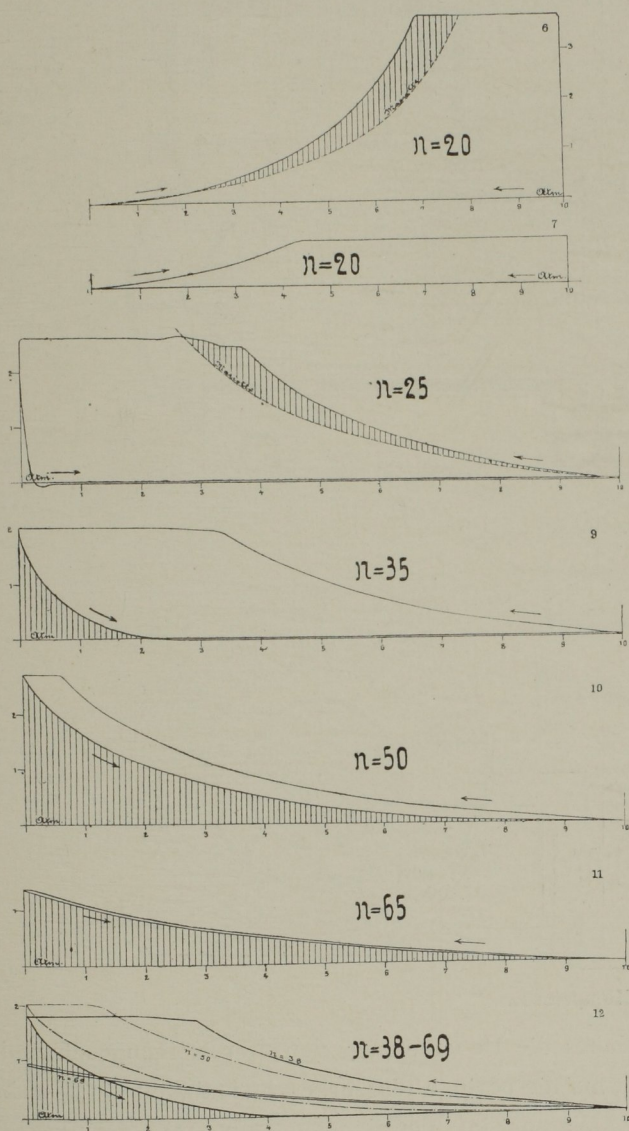


Abb. 26.

Viele für Dauerbetrieb mit hoher Geschwindigkeit notwendige Ausrüstungen haben sich gleichzeitig mit den Armaturen für raschlaufende Dampfmaschinen entwickelt. Wer die heutigen einfachen Kompressoren vor Jahrzehnten lebensfähig hätte einführen wollen, hätte zugleich auch diese Ausrüstung in der Vollkommenheit, wie sie gegenwärtig besteht, schaffen müssen; in ihnen sind die zahlreichen Erfahrungen, welche der Dampfmaschinenbau gebracht hat, vereinigt.

Die Konstruktionen, welche zuerst in grosser Zahl im Bergbau und auch bei kleineren Tunnelbauten Eingang gefunden haben, sind die Luftkompressoren

mit Wassersäulenfüllung und Doppeltauchkolben in zwei einfach wirkenden Cylindern.

Vorteile der Anordnung waren: Einfachheit, gute Zugänglichkeit, insbesondere der sichtbaren, leicht erneuerbaren Stopfbüchsendichtung anstelle der nicht sichtbaren, unzugänglichen inneren Kolbendichtungen. Hierin lag eigentlich der Hauptgrund, weshalb diese Kompressoren im Bergbau überwiegend Eingang gefunden haben.

Ein weiterer, aber nur vermeintlicher Vortheil dieser Wassersäulenkompressoren war der, dass die Wasserausfüllung, wie angenommen wurde, eine vorzügliche Kühlung der Luft während der Kompression bewirke. Thatsächlich ist der Wärmeaustausch während der Kompression im Innern gering, weil die Kühlfläche eine sehr geringe ist. Der Wärmeaustausch erfolgt erst während und nach der Durchströmung der verdichteten Luft durch die Druckventile.

Diese Kompressoren, welche bis Ende der 80er Jahre die Bedürfnisse des Bergbaues befriedigt haben, eignen sich aber nur für geringe Betriebsgeschwindigkeiten, bedingen bei grossen Leistungen schwere Maschinentheile, grosse Baukosten und unökonomischen, langsamen Dampfmaschinenbetrieb. Für raschen Gang, selbst für nennenswerthe Steigerung über etwa 1 m Kolbengeschwindigkeit und 30 Umdrehungen minutlich hinaus, waren die Wassersäulenkompressoren schon infolge ihrer grossen Maschinen- und Wassermassen ungeeignet.

Wird die Betriebsgeschwindigkeit eines solchen Kompressors gesteigert, so wird zunächst der Gang etwas hart, was aber bei weiterer Steigerung wieder verschwindet. Die Maschine läuft dabei immer leichter und geht schliesslich förmlich durch.

Die Erklärung hierzu ist sehr einfach und durch die nebenstehenden Diagramme (Abb. 26), an einem solchen Wassersäulenkompressor abgenommen, veranschaulicht: In dem Masse, als die Geschwindigkeit gesteigert wird, wird die Wasseroberfläche, welche als (ebener!) Kolben wirken soll, immer mehr in Schwankungen gerathen, schliesslich werden die Wassermassen ganz durcheinander geworfen, und es ist keine Kolbenbildung möglich. Die Folge hiervon ist aber, dass am Ende jedes Druckhubes im Kompressor grosse Mengen von Druckluft zurückbleiben, weil sie mit dem Wasser gemengt sind. Die Saugwirkung des Kompressors kann erst wieder beginnen, nachdem diese zurückgebliebene Luft sich auf die atmosphärische Spannung ausgedehnt hat.

Daher zeigen auch die Diagramme mit zunehmender Geschwindigkeit einen immer grösseren Einfluss des schädlichen Raumes, immer flacher werdende Sauglinien und verminderte Saugwirkung, bis schliesslich gar keine Luft mehr angesaugt wird, weil die Luft erst am Ende

des Saughubs sich auf die atmosphärische Spannung ausgedehnt hat. In gleicher Weise wird die Drucklinie mit zunehmendem schädlichen Raume, der durch Wasser nicht mehr ausgefüllt wird, einen immer flacheren Verlauf nehmen. Das Luftvolumen im Innern des Kompressorcyinders wird grösser, die Druckspannung später

können daher mit grösserer Geschwindigkeit nur dann laufen, wenn die Wassermasse als ebener Kolben wirkt und nicht in zu grosse Schwingungen geräth.

Abb. 27 (Arlberg) zeigt die neuere Bauart solcher Kompressoren. Die Erhaltung des Wasserkolbens ist durch die Erweiterung des Druckventilgehäuses erreicht,

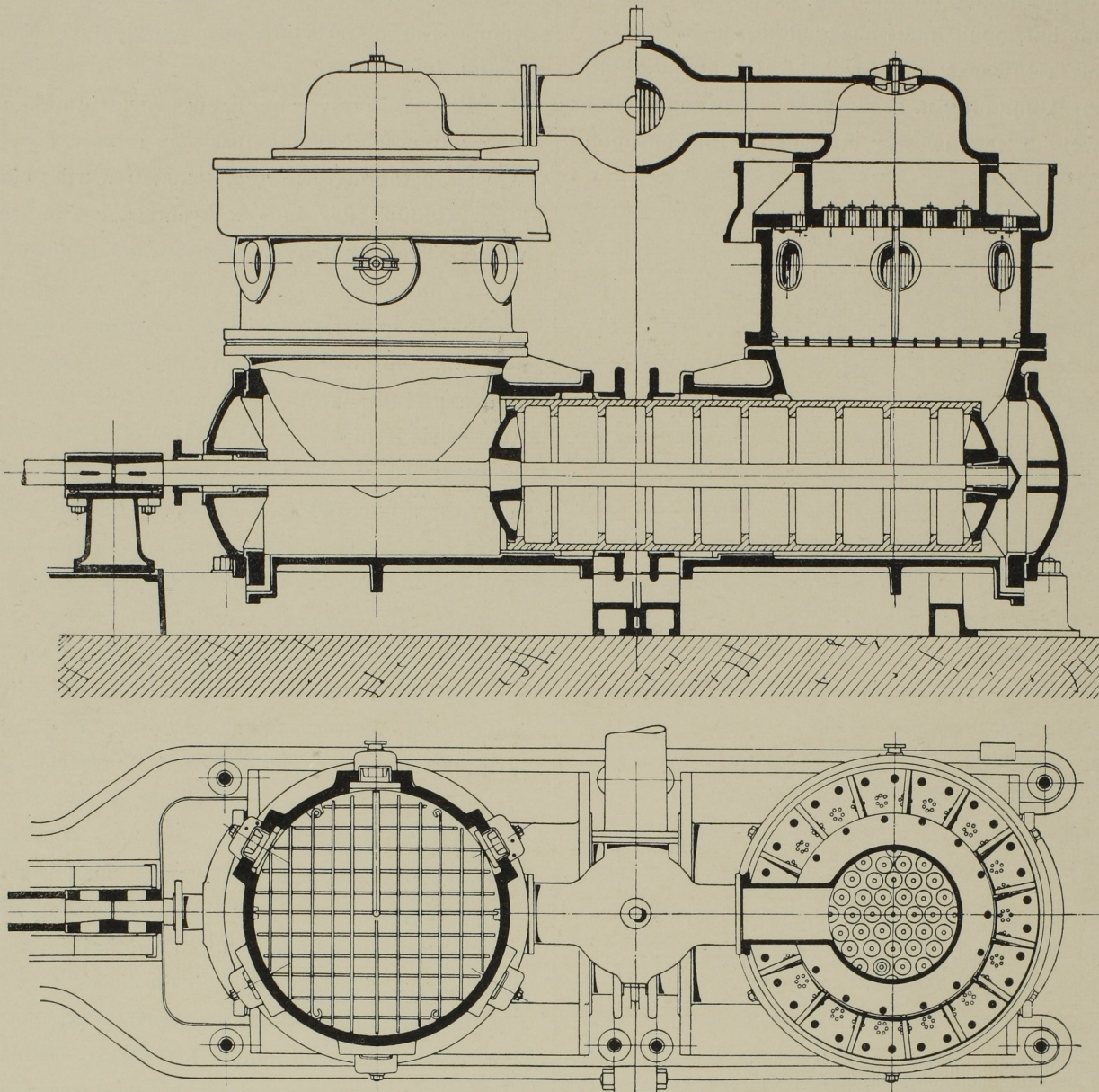


Abb. 27. Wassersäulen-Kompressor.

erreicht, bis endlich der schädliche Raum und seine Wirkung so gross wird, dass die Druckspannung erst mit dem Ende des Druckhubs erreicht wird und das Druckventil sich überhaupt nicht mehr öffnen kann. Der Kompressor ist nunmehr ein grosser Luftpuffer geworden, in dem die Luft zusammengedrückt wird und sich wieder ausdehnt, ohne dass nutzbare Arbeit geleistet wird, und ohne dass das Druckventil sich öffnen kann und Druckluft geliefert wird. Selbstverständlich arbeitet dann der Kompressor bei solchem Gange ruhig, weil das mächtige Luftkissen die Beschleunigungs- und Verzögerungskraft für die Bewegung der Massen liefert, und weil die Druckventile sich überhaupt nicht öffnen; ausserdem verbraucht der Kompressor bei solchem Gange nur die Leergangskraft, weil er nutzbare Arbeit nicht leistet. Kompressoren mit Wassersäulenfüllung

welches die Uebersetzung von der Kolbengeschwindigkeit auf die geringe Wassergeschwindigkeit giebt, sodass das Wasser im Ventilkasten nur mit geringer Geschwindigkeit und nur auf geringe Höhe auf- und abschwankt und annähernd einen Wasserspiegel bildet.

Eine grossartige Kompressorenanlage mit 12 Kompressoren ist in der neuesten Zeit für die Calumet & Hecla Mine in Calumet am Oberen See (V. St.) nach den Entwürfen von E. D. Leavitt ausgeführt worden.

Die Betriebskraft von etwa 5000 Pferdekraften wird von einer grossen stehenden Dampfmaschine durch 2 wagerecht wirkende Schubstangen auf eine zweifach gekröpfte Welle übertragen, zugleich aber durch Vermittelung eines Seiltriebes auch von anderen Dampfmaschinen Kraft entnommen und auf 4 Kurbelkröpfungen

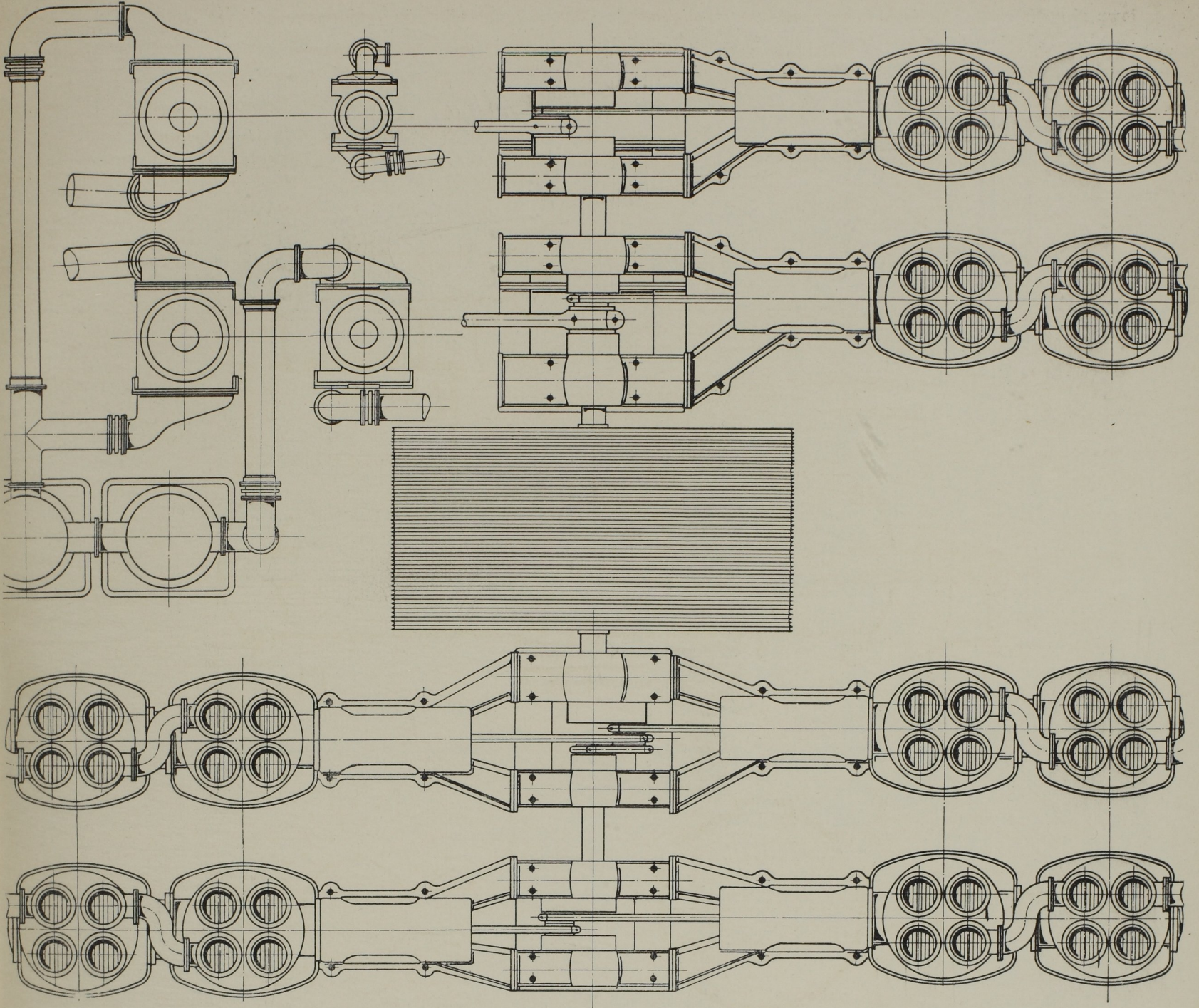


Abb. 28. Grundriss der Kompressoren und Kurbelwelle. Masst. 1:96.

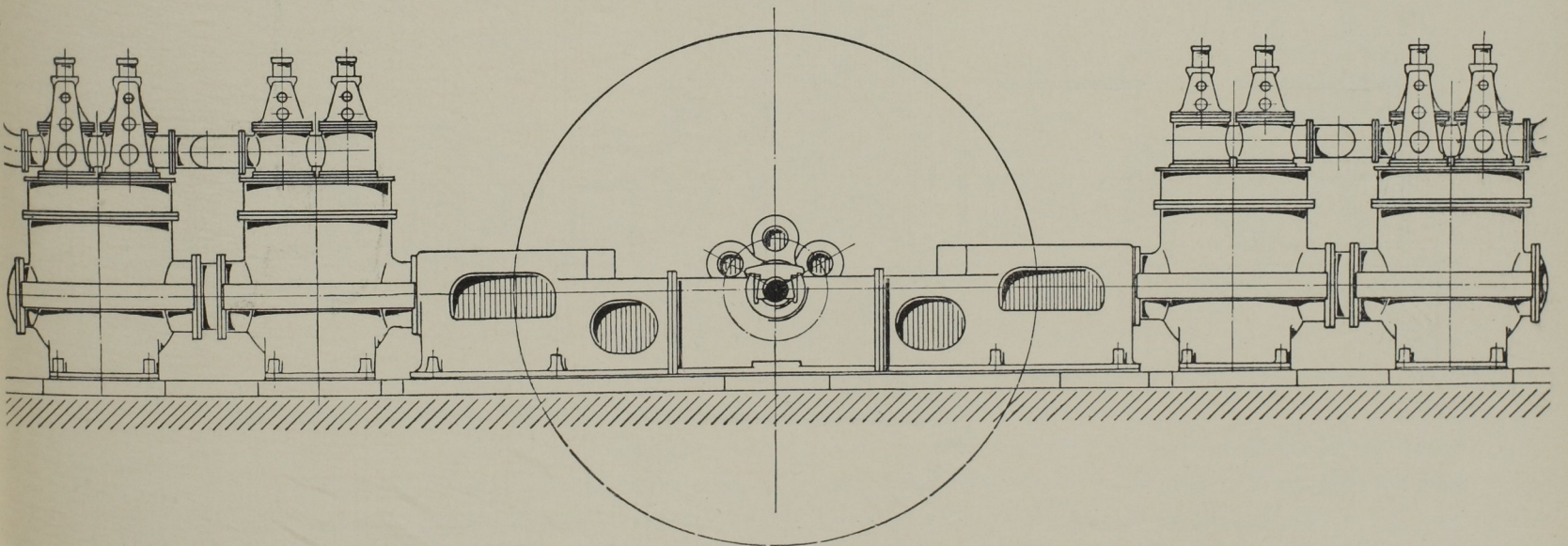


Abb. 29. Seitenansicht der Kompressoren. Masst. 1:96.

Kompressor-Anlage „Superior“ der Calumet & Hecla Mine in Calumet (Michigan),
gebaut von der Dickson Manufacturing Co. in Scranton, Pa.

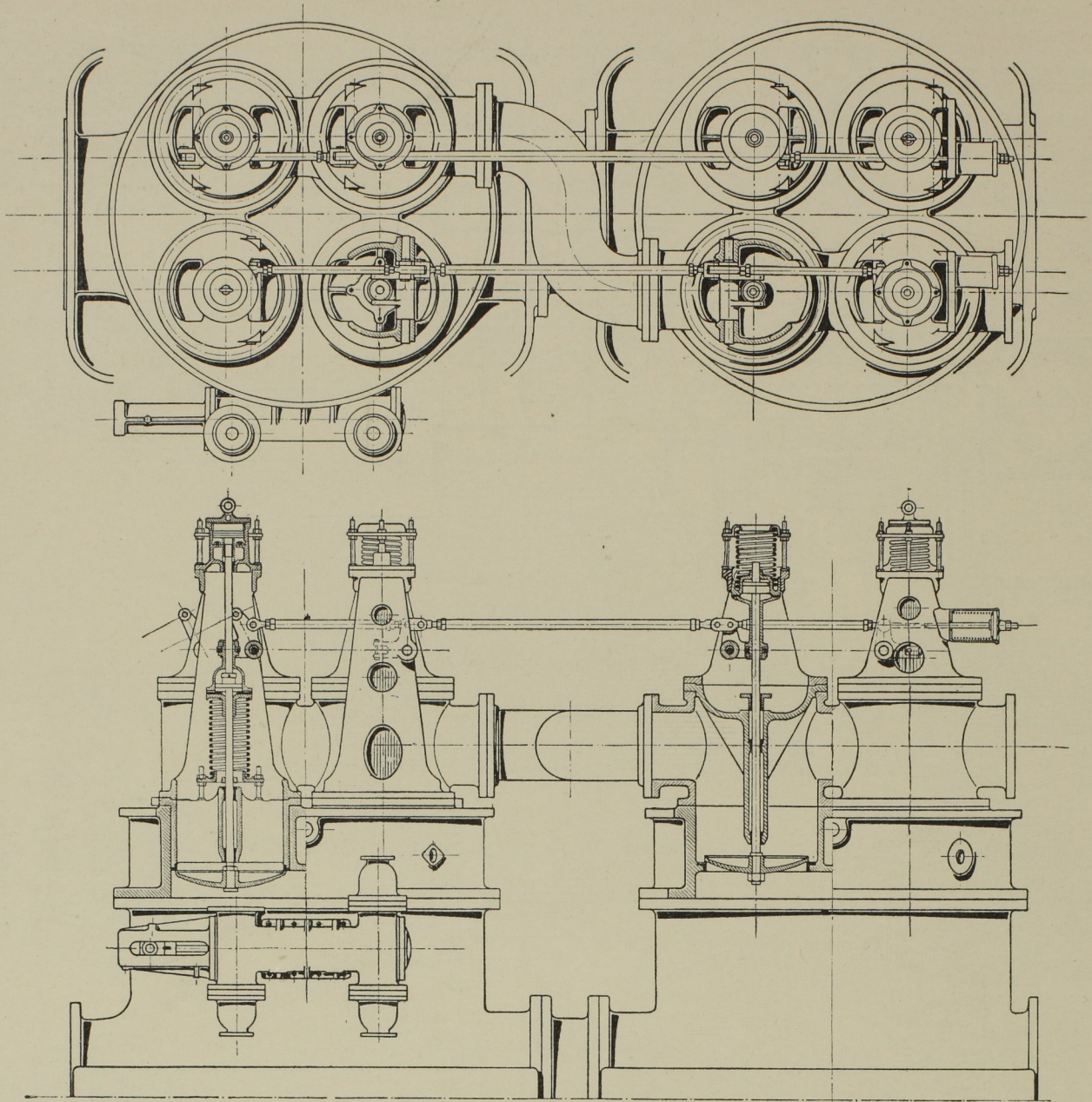


Abb. 30. Kompressor. Grundriss und Seitenansicht. Masst. 1:36.

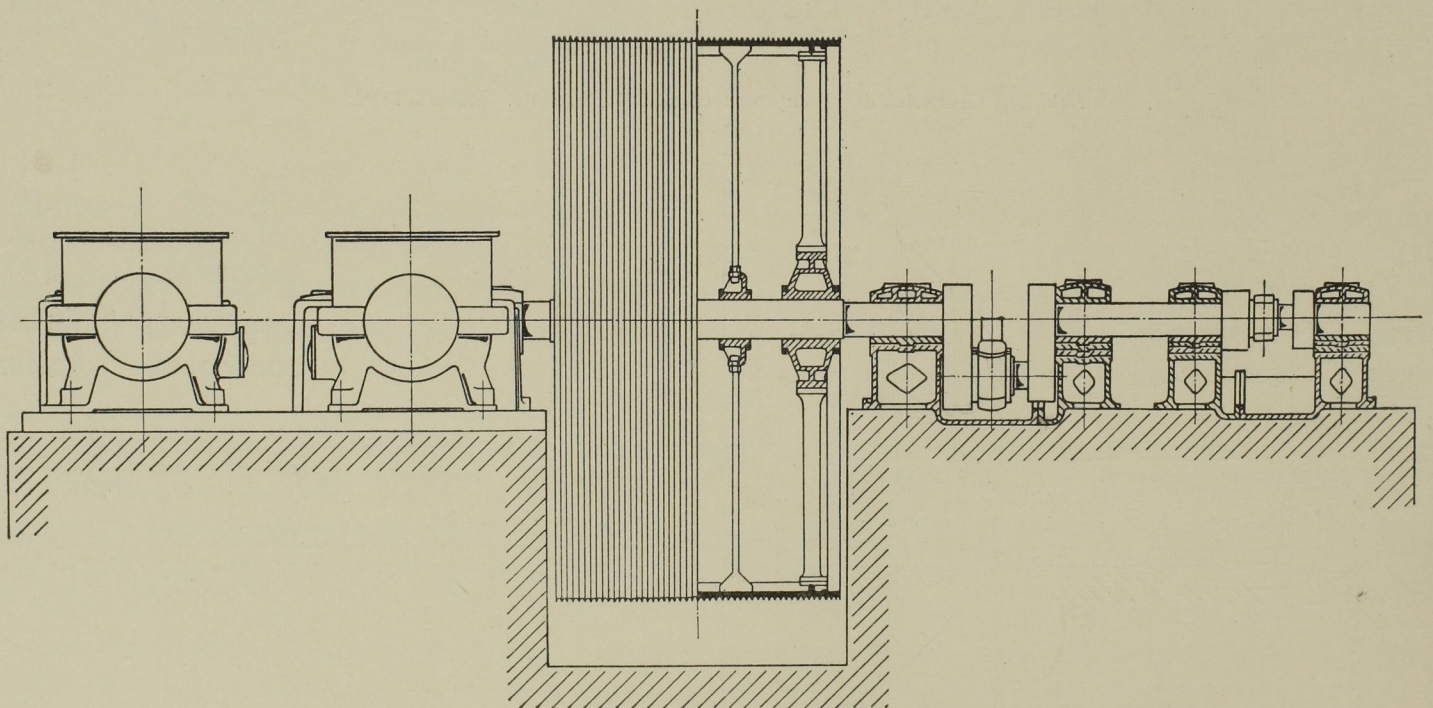


Abb. 31. Seiltriebscheibe und Kurbelwelle. Masst. 1:96.

Kompressor-Anlage „Superior“ der Calumet & Hecla Mine in Calumet, Michigan,
gebaut von der Dickson Manufacturing Co. in Scranton, Pa.

übertragen (Abb. 28, 29 u. 31). Abb. 30 zeigt die Anordnung der Kompressoren und ihrer Ventile.

Die Kompressoren wurden von der Dickson Manufacturing Co. in Scranton, Pa. ausgeführt; sie sollen befriedigend laufen, was ich nicht erwartet haben würde, weil bei 60 Umdrehungen minutlich die Wasser-

Die Luftsteuerung erfolgt durch Klappen im Cylinderdeckel, bei welcher Anordnung alle Theile frei zugänglich sind.

Die Tauchkolben sind in Stopfbüchsen mit Metallseil gedichtet. Bei geringem Spielraum zwischen dem Tauchkolben und dem nicht ausgebohrten Cylinder kann

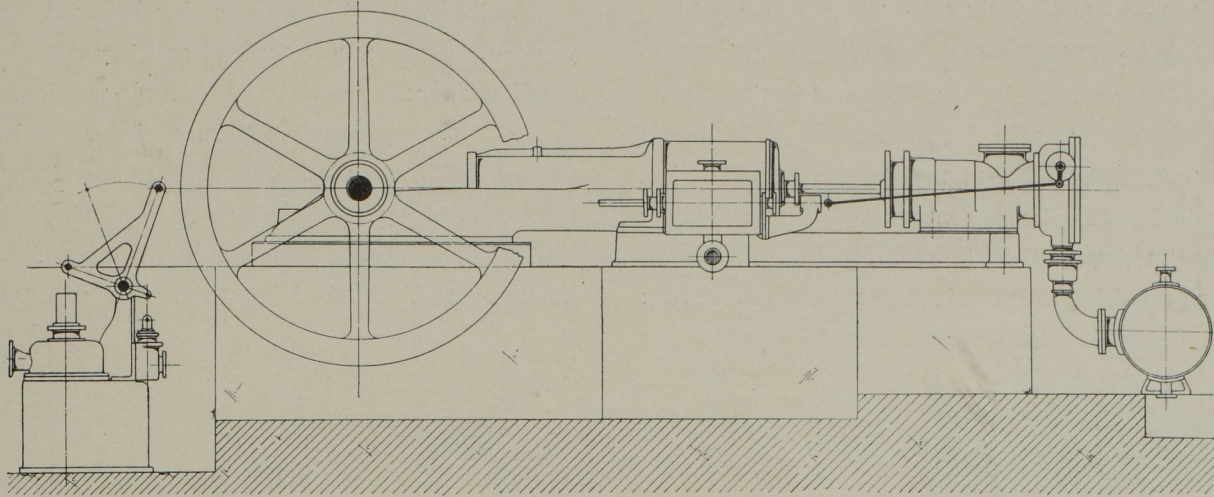


Abb. 32. Seitenansicht der Maschine.

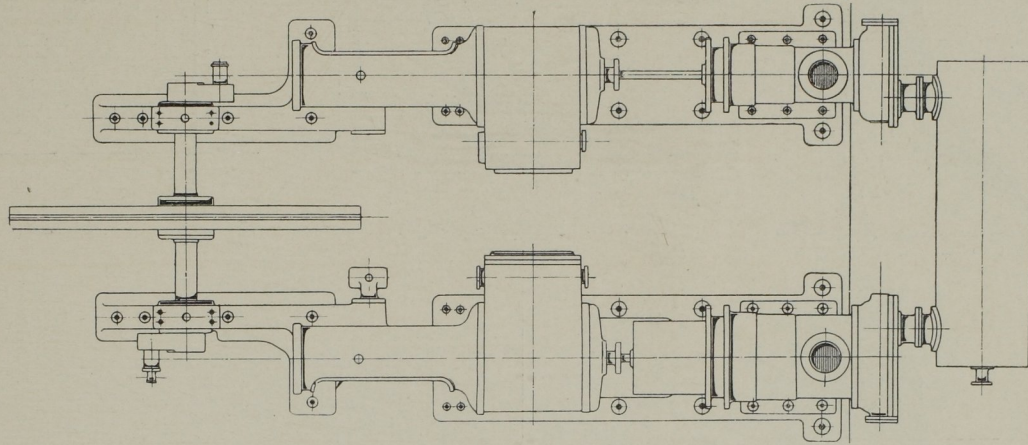


Abb. 33. Grundriss der Maschine.

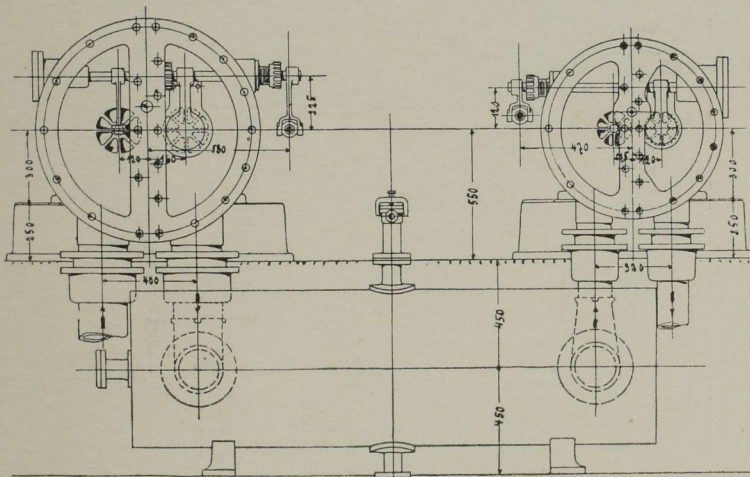


Abb. 34. Stirnansicht.

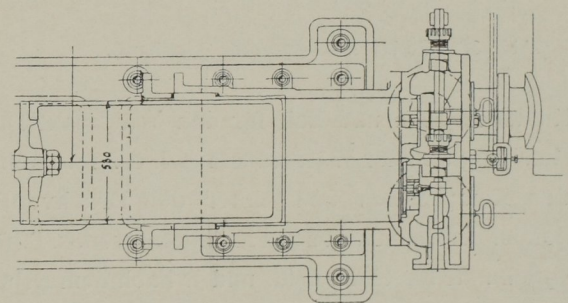


Abb. 35. Längsschnitt.

Verbund-Kompressor für die Grube Diepenlinchen der A.-G. Stolberg,
gebaut von der Siegener Maschinenbau A.-G. vorm. A. & H. Oechelhäuser.

säulen in der vorhin erwähnten Weise durcheinander gerathen und keinen flachen Wasserkolben bilden können. —

Ein Versuch, die praktischen Vortheile von Wassersäulenkompressoren, welche in der Stopfbüchsen-dichtung und ihrer Zugänglichkeit liegen, mit anderen Anforderungen in Einklang zu bringen, ist der Verbund-kompressor Abb. 32—35.

der schädliche Raum durch das eingespritzte Kühlwasser ausgefüllt werden.

Die erhöhten Forderungen des Tunnelbaues haben die ersten Fortschritte in der Geschwindigkeitssteigerung der Kompressoren gebracht.

Beim Bau des Mont Cenis-Tunnels waren schon doppelwirkende Kompressoren ohne Wassersäulen in

Verwendung. Beim Bau des Gotthard-Tunnels wurden zum ersten Male raschlaufende Colladon-Kompressoren benutzt, deren Wirkung (s. Diagramm 36) jedoch sehr mangelhaft war.

Die Wassereinspritzung in die Cylinder ist immer ein roher Vorgang. Reines Wasser steht nie zur Verfügung und besondere Reinigung ist zu umständlich; daher werden die Cylinder und Ventile mechanisch angegriffen. Einziger Zweck der Wassereinspritzung ist Wärmeaufnahme während der Kompression. Wenn die Wärme nicht im Entstehungsmoment aufgenommen wird, dann ist die innere Kühlung zwecklos. Die Aufnahme der Wärme im Augenblick ihres Freiwerdens ist aber unmöglich; dazu fehlen die zwei massgebenden Faktoren:

Werth hat nur die Oberflächenkühlung durch Mantel, Deckel und gekühlte Kolben. Erreichbar ist nicht Wärmeaufnahme im Entstehungsmoment, sondern erst nach erfolgter Kompression. Zweck ist das Kühlhalten der Gleitfläche des Kolbens, um gute Schmierung zu ermöglichen.

Soll durch die Kühlung der Wirkungsgrad erhöht werden, dann muss Zwischenkühlung bei mehrstufiger Kompression angewandt werden.

Die erste grosse Ausführung dieser Art ist in Paris erfolgt, und zwar an einem François-Kompressor von Cockerill, dessen Diagramm Abb. 37 durch zweistufige Verdichtung und Zwischenkühlung auf den vollkommenen Verlauf, Diagramm 38, gebracht wurde.

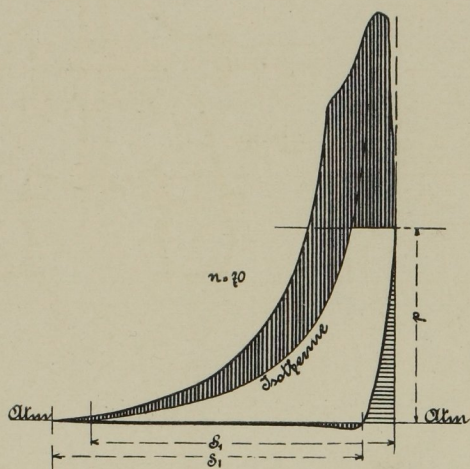


Abb. 36. Colladon-Kompressor (Gotthard).

Kühloberfläche und Zeit für den Wärmeaustausch. Die Mischung und der Wärmeaustausch erfolgt doch erst nach der Kompression und hinter den Druckventilen. Die Zeit ist bei raschlaufenden Kompressoren, z. B. für $n = 120$, $\frac{1}{4}$ Sekunde für einen Hub, und je nach dem Druck entfällt nur ein Bruchtheil davon auf die eigentliche Kompression. Zur Wärmeübertragung gehört weiter eine erhebliche Temperaturdifferenz. Diese kann aber nicht eintreten, wenn die innere Kühlung ihren Zweck erfüllen soll, denn mit der Temperaturerhöhung ist auch die Spannungserhöhung verbunden, die durch die Innenkühlung vermieden werden soll. Hier liegt eine praktisch unmögliche Aufgabe vor, deren Lösung ungewöhnlich grosse Kühlfläche, feine Zerstäubung des Kühlwassers und sehr grosse Kühlwassermengen erfordern würde.

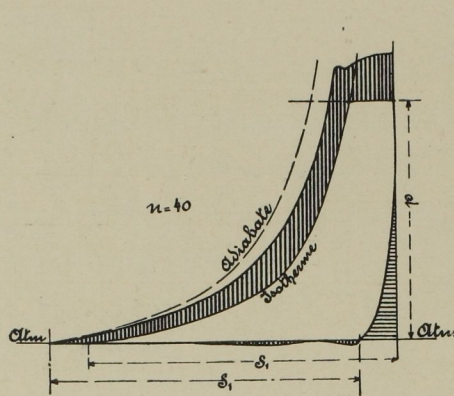


Abb. 37. François-Kompressor.

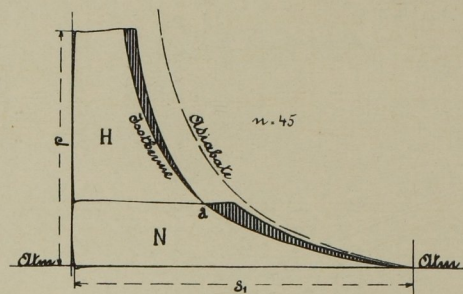


Abb. 38 (Paris).

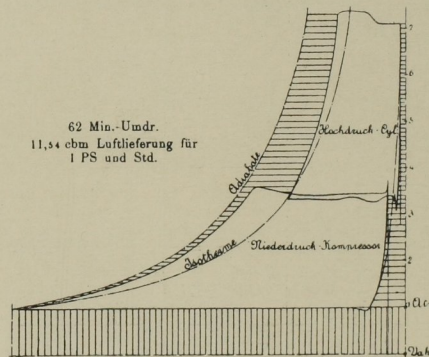
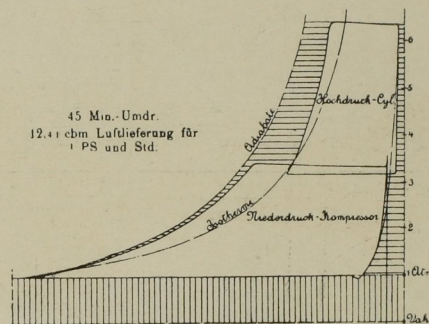


Abb. 39. Verbund-Kompressor Paris.

Abb. 39 zeigt die Wirkung der grossen Verbund-Kompressoren der Anlage am Quai de la Gare.

Seither hat der Bau von Luft- und Gaskompressoren, der einfachen sowohl, wie der zweistufig arbeitenden, grosse Fortschritte gemacht, und es war mir vergönnt, an mehreren Orten an dieser Entwicklung mitzuwirken. — Das grösste Anwendungsfeld ergab sich in Amerika.