

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.

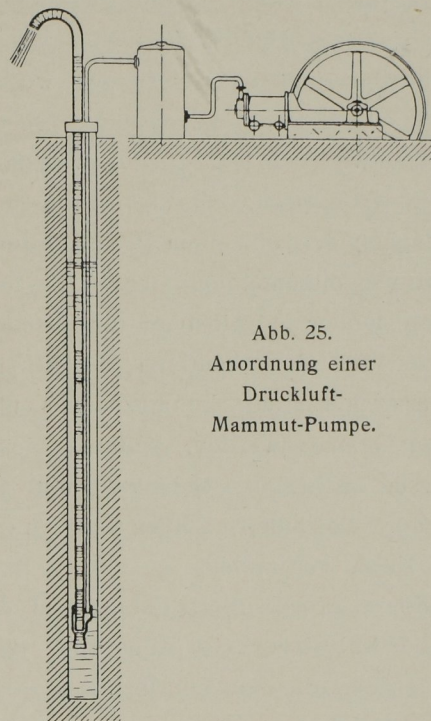


Abb. 25.
Anordnung einer
Druckluft-
Mammut-Pumpe.

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 Wasserpumpen kolbenartig aufwärts. Ventile sind nicht erforderlich, weil Druckluft und Wasser ununterbrochen im Fussstück zufließen. Kolben sind nicht notwendig, weil die Wasserpumpen 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 Luftnietmaschinen, 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.

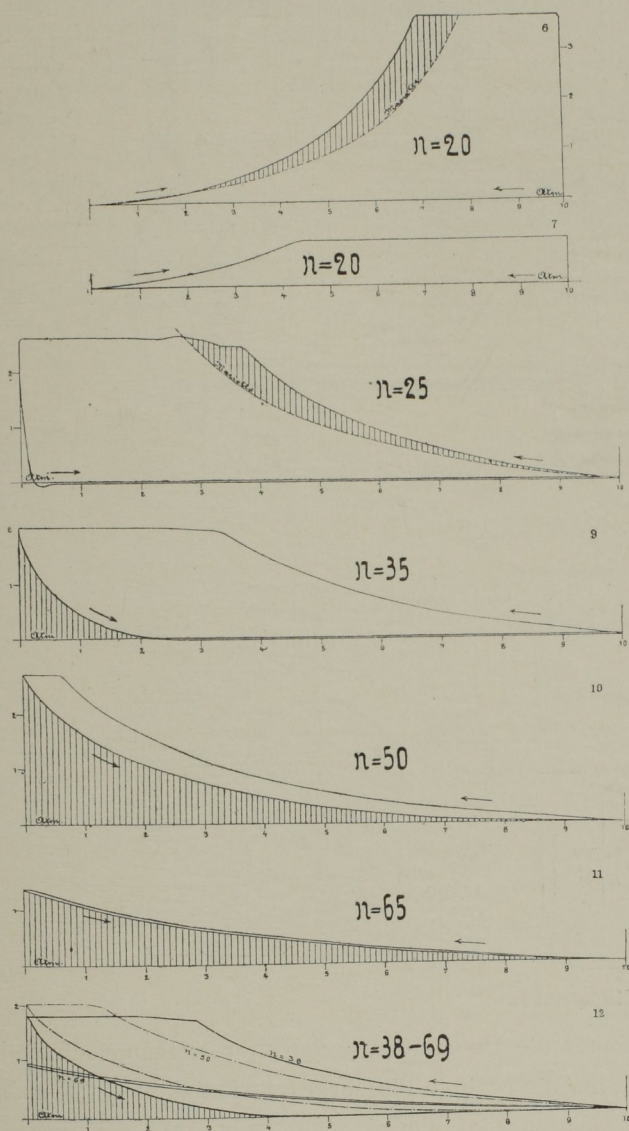


Abb. 26.

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.

Vortheile 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