

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294763





Die

# Kraftversorgung von Paris durch Druckluft.

Zwei Vorträge

von

**A. Riedler,**

Professor an der Königlichen Technischen Hochschule zu Berlin.

19573  
Mit 21 Abbildungen.



Berlin 1889.

R. Gaertner's Verlagsbuchhandlung

Hermann Heyfelder.

SW. Schönebergerstrasse 26.

xx  
H. 528  
74

T. 11 B

Kultivierung von Paris

durch Druckluft

Zwei Vorträge

A. JONAS

II 5360



Akc. Nr. 5031/50

## I.

### Die Anlagen zur Kraftvertheilung durch Druckluft in Paris.

Sonderabdruck aus den „Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses in Preussen.“

(Sitzung vom 4. Februar 1889.)

Hr. Prof. Riedler: M. H.! In der abgelaufenen Woche habe ich Gelegenheit gefunden, die Pariser Anlagen für die Erzeugung und Verwerthung komprimirter Luft, nach dem System Popp, eingehend kennen zu lernen, obschon es mir nicht gelungen ist, mit Herrn Popp über seine technischen Einrichtungen zu sprechen. Ich bin daher ausschliesslich auf eigene Beobachtungen angewiesen, unterstützt und angeregt durch einige Mittheilungen meines Kollegen Prof. Radinger in Wien, der gleichfalls vor Kurzem als Experte diese Anlage zu studiren und mehrere wissenschaftliche Versuche durchzuführen Gelegenheit hatte.

Bei der sehr weit vorgeschrittenen Zeit kann ich hier Ihre Aufmerksamkeit nicht beanspruchen zur Anhörung aller gemachten Beobachtungen; ich muss mich auf einige thatsächliche Angaben beschränken und ausführliche Begründung und Kritik zum grössten Theil unterlassen. —

Am östlichen Rande der Stadt, auf der Höhe von Belleville, befindet sich die Central-Anlage zur Erzeugung der Druckluft; durch ein 7 Kilometer langes Hauptrohr wird die Druckluft von dort in die Stadt und zwar die grossen Boulevards entlang bis zur Madeleinekirche geleitet und in zahlreichen Zweigleitungen den verschiedenartigsten Betrieben so zugeführt, wie heutzutage in jeder Stadt in öffentlichen Leitungen Gas und Wasser der allgemeinen Benutzung zugänglich gemacht sind.

Die Central-Anlage besteht aus einer grossen Maschinenanlage, durch 11 Dampfkessel betrieben, welche den Dampf für 6 Dampfmaschinen von je 350 Pferdekräften, also zusammen über 2000 Pferdekräften liefern. Jede Dampfmaschine treibt, bei unmittelbarer Kuppelung der Kolbenstangen, je zwei Luftkompressoren und verdichtet bei normalem Gang, d. s. 38 Umdrehungen minutlich, etwa 50 Kubikmeter Luft auf 6 Atmosphären Ueberdruck.

Die Arbeit von 2000 Pferdekräften wird in der Form von Druckluft durch Rohrleitungen in die Stadt geleitet und zum Theil in Windkesseln aufgespeichert. — Die Einrichtungen für die Ausnutzung von Druckluft sind in Paris jetzt schon, nach wenig mehr als einjährigem Betrieb der grossen Maschinenanlage, derart eingebürgert und so zahlreich in Verwendung, dass der Betrieb der 2000pferdigen Anlage heute nicht mehr ausreicht, um dem Bedarfe zu genügen, und es wird deshalb auch eine ältere Maschinenanlage von etwa 500 Pferdekräften, aus welcher der jetzige grosse Betrieb hervorgegangen ist, zur Zeit des grössten Verbrauches an Druckluft mit in Betrieb gesetzt. Ausserdem ist eine grossartige Erweiterung der Centralanlage jetzt schon im Bau begriffen.

Die neuen Maschinen der Centralanlage sind von der Firma Davey Paxman & Co. in Colchester geliefert. Die zum Theil interessanten Einzelheiten der Maschinen muss ich übergehen und erwähne in Bezug auf den Dampfmaschinenbetrieb nur, dass in der Centralstation Wasser nicht in genügender Menge billig zu beschaffen ist; es muss für die Dampf-Kondensation das erforderliche Einspritzwasser der städtischen Leitung entnommen werden. Bei dem hohen Preis desselben wird aber das Einspritzwasser künstlich abgekühlt und wieder verwendet, und zwar mit Hülfe eines grossen Gradirwerkes; durch dasselbe wird bei 10° Lufttemperatur eine Abkühlung des Wassers um mehr als 20° C. erreicht, was für die Erzeugung guter Luftleere in den Dampfmaschinen vollständig genügt.

Die Kompressoren, welche durch die 6 grossen Dampfmaschinen betrieben werden, saugen mit der Luft geringe Mengen von Kühlwasser an, verdichten die Luft unter Einwirkung dieser Kühlung und liefern die Druckluft in die Windkessel. Die Anlage in Belleville ist in etwa Jahresfrist so rasch entstanden und musste ohne brauchbare Vorbilder so rasch gebaut werden, dass die Kompressoren mit mehreren Mängeln behaftet blieben, welche auf Grund der gegenwärtigen Erfahrungen vermieden werden könnten. Dieser Mangel wegen erfolgt auch die Kraft-erzeugung bezw. Ausnützung nicht so vollkommen und mit höheren Kosten, als dies bei durchaus richtiger Bauart der Maschinen sein könnte. In Zahlen lässt sich das Erwähnte dadurch ausdrücken, dass in der bestehenden Centralanlage durch eine Dampfpferdekraft  $8\frac{1}{2}$  Kubikmeter Luft von atmosphärischer auf 6 Atmosphären Spannung verdichtet werden, während bei vollkommener Ausführung der Maschinen über 10 Kubikmeter Luft verdichtet werden könnten.

Die Kompressoren leiden zunächst an dem Fehler, dass die Querschnitte der Druckventile und Druckröhren viel zu gering bemessen sind.

Bei 38 minutlichen Umdrehungen der Maschinen ist die Geschwindigkeit der Druckluft in den Druckröhren über 40 Meter in der Sekunde, bei Durchströmung durch die Ventile noch grösser. Weiter sind die Druckventile viel zu schwer. Aus diesen Ursachen ist der Ueberdruck im Kompressor grösser als 7 Atmosphären, während in den Windkesseln nur 6 Atmosphären Luftdruck vorhanden ist. Dieser Ueberschuss ist ein Verlust, der bei richtiger Konstruktion der Maschinen leicht vermieden werden kann. Weiter ist die Kühlung während der Luftverdichtung eine unvollkommene. Die Erhitzung während der Verdichtung wird durch das Ansaugen der geringen Mengen Kühlwassers nur in geringem Grade beseitigt, und die Mischung der Druckluft mit dem Wasser geschieht erst nach erfolgter Kompression hinter dem Druckventil. Die Folge hiervon ist, dass die Druckluft in die Windkessel mit hoher Temperatur (50 bis 60° C.) geliefert wird. Die bezüglichen Zahlen, welche den Arbeitsverlust im Zusammenhange mit diesen Wärmeverhältnissen ausdrücken, werde ich später angeben.

Für die Beurtheilung der Pariser Anlage bleiben diese Mängel von untergeordnetem Einfluss; es ist im Gegentheil unzweifelhaft nachweisbar, dass durch Vermeidung dieser Mängel die in Paris bisher erzielten Ergebnisse mit einfachen Mitteln wesentlich verbessert werden können.

Durch die Centralisirung der Kraftanlage wird selbstverständlich beabsichtigt und mit guten Maschinen auch erreicht, dass die Krafterzeugung mit den technisch vollkommensten Mitteln und den geringsten Gestehungskosten durchgeführt wird.

Die Centralstation kann mit grossen Maschinen bester Bauart unter bester Instandhaltung, daher mit geringstem Dampfverbrauch und geringsten Wärmeverlusten arbeiten, kann ohne Unterbrechung bei voller Ausnutzung der Anlage in Betrieb bleiben, lässt daher den geringsten Kohlenverbrauch zu, gestattet den geringsten Material- und Personalverbrauch, somit die geringsten allgemeinen Betriebsauslagen. Alle Gefahr, Verantwortung und Belästigung der Krafterzeugung für einzelne Maschinen wird aus der Stadt entfernt und der Betrieb einheitlich mit allen Erfahrungen und Verbesserungen durchgeführt; auch die im Kleinbetrieb oft lästige oder kostspielige Wasserbeschaffung wird im Grossbetrieb einfacher und alle Betriebsausgaben bis zum viel billigeren Bezug der Kohle im Grossen u. s. w. werden unvergleichlich geringer, als wenn dieselbe Betriebskraft in zahllosen einzelnen kleinen Betrieben erzeugt wird.

In dieser Centralisirung der Krafterzeugung ist der grösste Fortschritt zu suchen. Er lässt sich durch Zahlen vergleichsweise dadurch ausdrücken, dass mit vollkommenen, grossen Maschinen einer Centralanlage eine indizierte Dampferdekraft mit einem stünd-

lichen Kohlenverbrauch von 0,8 Kilogramm erzeugt werden kann, während der Kleinbetrieb einer etwa 10pferdigen Maschine mindestens 4 Kilogramm Kohle stündlich erfordert, bei unregelmässigem, unterbrochenen Betriebe noch viel mehr.

Trotz der mehrfachen Mängel der Maschinen in der Pariser Centralanlage ist der Gesamtwirkungsgrad derselben ein günstiger; er beträgt gegenwärtig  $\frac{2}{3}$ , d. h.  $\frac{1}{3}$  der von den Dampfmaschinen geleisteten Arbeit geht durch die Maschinenreibung, durch die Kompressionswärme u. s. w. verloren. Wären die Maschinen nach den heutigen Erfahrungen fehlerfrei, so würde der Wirkungsgrad  $\frac{3}{4}$  betragen und in der Centralstation nur  $\frac{1}{4}$  der aufgewendeten Kraft verloren gehen.

Zur Ansammlung der Druckluft, zur Druckausgleichung und zur Ausscheidung des mitgerissenen Kühlwassers dienen 8 Blechwindkessel, jeder mit  $32\frac{1}{2}$  Kubikmeter Inhalt; dieselben sind unter einander verbunden und durch Schieber so absperrbar, dass jeder Kessel ausgeschaltet werden kann.

Wie früher bemerkt, ist die Pariser Anlage schon gegenwärtig auf die Grenze der grössten Leistungsfähigkeit ausgenutzt, so dass neue, grosse Kompressoren zur weiteren Steigerung des Betriebes aufgestellt werden müssen, was sehr begreiflich wird durch die Thatsache, dass in den letzten Monaten des abgelaufenen Jahres allein 350 Pferdekkräfte in der Stadt neu installiert wurden und die Unternehmung seit etwa Jahresfrist in höchster Blüthe sich befindet und neue Installationen vorläufig gar nicht übernehmen kann. Neue grosse Maschinen für die Centralstation werden gegenwärtig von der Soc. John Cockerill in Seraing gebaut, können aber vor Jahresfrist kaum in Betrieb gelangen. Die Leistungsfähigkeit der Anlage muss aber gegenüber dem gewaltig angewachsenen Bedürfnisse möglichst rasch erhöht werden. Die Maschinen arbeiten gegenwärtig in den Nachmittags- und Abendstunden schon mit der grössten Steigerung, indem zu dieser Zeit, während des Winters, Beleuchtungs- und Industriebetrieb sich decken und die Anlage nicht im Stande ist, grösserem Bedarf nachzukommen. Um nun über diese Schwierigkeit hinwegzukommen, muss die vorhandene Anlage bis zur Inbetriebsetzung der neuen Centralmaschinen mehr als bisher ausgenutzt werden, und zu diesem Zweck soll ein grosser unterirdischer Luftbehälter von 12000 Kubikmeter Inhalt ausgeführt werden. Es wird ein Schachtrohr von 1 Meter Durchmesser und 80 Meter Tiefe niedergebracht, von diesem Schachtrohr aus ein Stollen von 12000 Kubikmeter Inhalt getrieben und luftdicht ausgemauert und das Ganze mit Wasser ausgefüllt, so dass die eingepumpte Luft unter beständigem Druck der 80 Meter hohen Wassersäule sich befindet.

Mit Hülfe dieses grossen Reservoirs wird dann die Central-Maschinenanlage möglichst gleichmässig während des ganzen Tages und nicht bloss während der Abendstunden mit der grössten Leistung betrieben, die Gesamtleistung von gegenwärtig 250000 Kubikmeter auf 350000 Kubikmeter täglich angesaugter Luft erhöht, und der Mehrverbrauch in den Abendstunden durch Abgabe aus diesem grossen Behälter gedeckt werden.

In dieser Aufspeicherung grosser Mengen von Druckluft liegt von vorneherein ein wesentlicher, durch keine andere Kraftübertragung mit so einfachen Mitteln erreichbarer Vortheil; denn schon bei der jetzigen Pariser Anlage, wo die Druckluft nur in 8 Windkesseln von etwa 250 Kubikmeter Inhalt angesammelt wird, ist plötzliches Ausbleiben der Pressluft in der Stadt ausgeschlossen. Es ist in der That schon vorgekommen, dass der Maschinenbetrieb in der Centralstation unterbrochen wurde, ohne dass der Betrieb in der Stadt irgendwie beeinflusst worden wäre, weil der Verbrauch inzwischen durch den Vorrath der Windkessel und durch den grossen Inhalt der langen Hauptleitung gedeckt wurde. Die weitgehende Vergrösserung der Luftbehälter wird diese Sicherung des Betriebes noch weiter erhöhen. Im Gegensatze hierzu ist stundenlange Aufspeicherung der Arbeit mehrerer tausend Pferdekräfte bei Druckwasser oder elektrischem Betrieb o. dgl. nach den bisherigen Erfahrungen überhaupt nicht möglich, ohne mit dem Kostenpunkte in unlöslichen Widerspruch zu gelangen.

Die Haupt-Druckluftleitung führt von der Centralanlage in die Stadt, und zwar die Höhe von Ménilmontant hinunter bis zur Place de la République und von da, die alten Boulevards entlang, bis zur 7 Kilometer entfernten Madeleinekirche. Im Ganzen sind z. Z. über 50 Kilometer Luftleitungen für Kraftabgabe in Betrieb.

Es dürfte bekannt sein, dass in Paris eine hochentwickelte, vorzügliche Kanalisierung mit gemauerten und bequem gangbaren Abzugskanälen durchgeführt ist und dass alle Röhren für Grund-Wasserleitung, sowie die Rohrpost, Kabel- und Telephonleitungen, unterirdisch in diesen Abzugs-Kanälen angebracht sind. Auch die Rohrstränge der Druckluftleitung sind in diese unterirdischen Kanäle eingebaut und am Gewölbe derselben aufgehängt.

Gegenwärtig ist eine neue etwa 10 Kilometer lange Hauptleitung von der Centralstation zum Bastillenplatz und die Rue de Rivoli entlang bis zur Madeleine im Bau, ohne dass irgendwo ein Rohr vergraben oder irgendwelche Störung herbeigeführt würde. Die Röhren werden durch die Zugangsschächte eingelassen, ein Kahn nimmt die Röhren auf und bringt sie an den Ort ihrer Verlegung; die Kosten der Rohrlegung sind

diesem einfachen Vorgange entsprechend sehr geringe. In dieser Hinsicht kann jede andere Stadt Paris nur beneiden, um so mehr, als die Planlosigkeit der Rohr- und Drahtlegungen in anderen Städten bei der ungeheuren und unaufhaltsamen Entwicklung der Rohr- und Drahtnetze in kurzer Zeit unhaltbar werden muss.

Für die Förderung, welche die Stadtverwaltung in Paris dem Unternehmen angedeihen lässt, spricht die Thatsache, dass, nach dem Vertrage der Stadt Paris mit H. Popp, letzterer für die Benutzung der genannten Kanäle für Rohrlegungen eine jährliche Abgabe von nur 45 Francs für jeden Kilometer Rohrleitung zu entrichten hat.

Der Vertrag (von August 1886) gewährt H. Popp 40jährige Konzession für Centralanlagen und Rohrlegungen und schliesst ähnliche Unternehmungen während der ersten 5 Jahre der Konzessionsdauer aus, unter Voraussetzung, dass mindestens jährlich 3 Kilometer Hauptdruckleitungen gelegt werden. Vertragsbedingungen sind weiter, dass der Betrieb nicht unterbrochen werden darf, dass die Centralstationen innerhalb Paris liegen müssen, die Heizkohle aber frei von Abgaben bleibt. Die Tarife für Luftabgabe sind freigestellt, nur ist der Maximalpreis mit 2 Centimes für 1 Kubikmeter Luft, auf atmosphärische Spannung bezogen, festgestellt.

Die Gegenleistung besteht in 15 % Antheil der Stadt am Reingewinn, nach Abzug aller Betriebs- und Verwaltungskosten und nach Abschreibung einer 5 % Rücklage, 10 % Tilgung und 6 % Verzinsung. Die Stadt behält das Recht, die Anlage gegen Inventarwerth und 6 % Kapitalisation des Bruttoerträgnisses, aber nicht vor 15 Jahren, zu erwerben.

Der zwischen der Stadt Montpellier und H. Popp abgeschlossene Vertrag bestimmt Aehnliches, gewährt aber 40jährige Konzession, bei 20jährigem ausschliesslichen Recht für elektrische Beleuchtung und Druckluftlieferung und bedingt einen 25prozentigen Antheil am Reingewinn nach gleichen Abschreibungen. —

Die Druckrohrleitung in Paris hat einen lichten Durchmesser von 300 Millimeter. Diesem entspricht bei Uebertragung von 2500 Pferdekraft eine Luftgeschwindigkeit von nur 10 Meter, und die Leitung wäre auch geeignet, über 4000 Pferdekraft zu übertragen, wenn grössere Luftgeschwindigkeit zugelassen wird. Die Einzelheiten für die Rohrverbindungen, deren Anbringung, die Abzweigungen und Entwässerung und ebenso Alles, was zur Vertheilung der Druckluft und zur Instandhaltung gehört, ist in Paris vorzüglich durchdacht und mit hervorragend praktischem Sinn ausgeführt, und dabei von grösster Einfachheit. Näheres hierüber mitzutheilen, muss ich mir aber versagen und komme zur wich-

tigsten Sache, zur Abgabe der Druckluft an den Verbrauchsstellen und Nutzbarmachung derselben in den Arbeitsmaschinen.

Auch hier muss ich vorausschicken, dass alle Einzelheiten und Anordnungen, u. A. die Einrichtungen zur Erhaltung konstanten Luftdrucks, zum Betrieb der Luftmaschinen, Messung der verbrauchten Luft u. s. w. sehr vollkommen sind. Der Fachmann sieht sofort, dass die Einzelheiten die Frucht langjähriger Erfahrungen und Versuche sind, und ich bin auch vollkommen überzeugt, dass jede ähnliche Unternehmung von den dort gemachten Erfahrungen wird ausgehen müssen, um unvermeidlich schweres Lehrgeld zu ersparen. Hinsichtlich der Luftmaschinen erwähne ich, dass dieselben so wie gewöhnliche Dampfmaschinen gebaut sind; es sind sogar viele alte Dampfmaschinen als Luftmaschinen in Verwendung, derart, dass vorhandene Dampfkessel ausser Betrieb gesetzt wurden und die Dampfmaschinen jetzt mit Druckluft statt mit Dampf betrieben werden, ohne jede Veränderung an der Maschine selbst. Soweit neue Luftmaschinen verwandt werden, sind es für ganz kleine Kräfte, von 3 Kilogrammleistung bis zu 1 Pferdekraft, in der Regel Maschinen mit rotirendem Kolben; für grössere Leistungen sind es gewöhnliche Kurbelmaschinen. Den Luftmaschinen wird die Luft durch Zweigröhren zugeführt; in dieselben sind eingeschaltet: ein Sieb, um allfällige grobe Verunreinigungen von den Luftmaschinen abzuhalten, dann ein Absperrhahn, nach diesem eine Erweiterung im Luftrohr, die ich ähnlich wie bei Gasmaschinen als Windbeutel bezeichnen kann; nach diesem kommt der Luftmesser mit Flügelrad, dessen Zählwerk die verbrauchte Luft in Kubikmeter angiebt, dann ein Reduzirventil. Dieses hat den Zweck, die Luftspannung der Hauptleitung (6 Atmosphären) auf ein bestimmtes konstantes Maass (4 oder  $4\frac{1}{2}$  Atmosphären) zu vermindern, so dass jede Maschine im Bedarfsfalle über die normale Leistung, einfach durch Veränderung der Belastung des Reduzirventiles, gesteigert werden kann. Alle diese Ausrüstungen entsprechen tadellos, wie ich mich bei vielen Anlagen überzeugte.

Weiter ist in die Druckluftleitung eingeschaltet ein Vorwärmeofen. Dieser dient dem wesentlich Neuen in der ganzen Anordnung. Diejenige Wärme, welche bei Verdichtung der Druckluft unfehlbar verloren geht — denn ist sie nicht durch das Kühlwasser fortgenommen, geht sie in der langen Hauptleitung verloren — diese Wärme wird durch die Vorwärmung der Druckluft wieder zugeführt. Theoretisch kann nicht nur diejenige Wärme der Luft zugeführt werden, welche vorher bei der Luftverdichtung verloren wurde, sondern auch noch grössere Wärmemenge. Es wird also wesentlich nur darauf ankommen, was kostet die Luftvorwärmung und mit welchen Mitteln ist sie durchführbar.

Selbstverständlich ist die Vorwärmung erwünscht, um den Luftverbrauch der Luftmaschinen möglichst zu vermindern, und nothwendig, um die Eisbildung, in Folge des unvermeidlichen Wassergehaltes der Luft, zu verhüten; denn in dem Maasse, wie Wärme erzeugt wird bei der Verdichtung der Luft, wird bei deren Ausdehnung Kälte entstehen. Die Vorwärmung hat also auch den Zweck, die Druckluft nach Arbeitsverrichtung in der Luftmaschine mit beliebiger Endtemperatur beim Auspuff aus der Maschine zu erhalten.

Die Frage der Vorwärmung ist in Paris sehr einfach gelöst; es sind, wie gesagt, vor jeder Luftmaschine eiserne Oefen in Verwendung, mit Doppelmantel und eingegossenen Wänden, und der Innenraum dieser Oefen ist mit mässigem Kohlenfeuer auf einfachem Rost geheizt; in diesen kleinen Oefen wird die Luft von der atmosphärischen Temperatur auf 150 bis 170° C. erhitzt. Die Oefen haben ganz kleine Abmessungen: für eine 1pferdige Maschine besteht derselbe aus einem gusseisernen Topf von 300 Millimeter Höhe und 200 Millimeter äusserem Durchmesser; für eine 40pferdige Maschine aus einem Cylinder von etwa 700 Millimeter Höhe und 400 Millimeter äusserem Durchmesser. Die Kosten der Vorwärmung sind ganz verschwindend und betragen für die Stunde und Pferdekraft  $\frac{1}{2}$  Centime bei grösseren Maschinen und bis 1 Centime bei kleinen Maschinen (unter 2 Pferdekraft). Das macht  $\frac{1}{30}$  bis  $\frac{1}{40}$  der Kosten des gesammten Luftverbrauchs, so dass man sagen kann, diese Kosten spielen praktisch keine wesentliche Rolle.

In der Vorwärmung liegt eine wichtige Neuerung. Die Druckluft stand von jeher im üblen Rufe, dass sie Kraftübertragung nur mit grossen Verlusten ermögliche, weil ein grosser Theil der aufgewandten Arbeit in nutzlose Wärme verwandelt wird. Die Wärme, welche bei der Verdichtung verloren geht, lässt sich aber bei der Vorwärmung mit den einfachsten Mitteln und ohne nennenswerthe Kosten wieder ersetzen, ja noch mehr: die Vorwärmung kann noch höher getrieben werden, es kann mehr Wärme zugeführt werden, als die Luft seinerzeit bei ihrer Verdichtung abgegeben hatte. Auch in dieser Hinsicht zeigt die Druckluft einen Vortheil gegenüber anderen Kraftübertragungen, bei welchen alle Verluste bei Krafterzeugung oder Fortleitung unwiederbringlich verloren sind, während die Verluste bei Luftleitungen durch genügende Vorwärmung mehr als aufgehoben werden können.

Von Wichtigkeit in Bezug auf die Anwendbarkeit der Luftmaschinen ist der Auspuff der Druckluft, nachdem sie in der Maschine Arbeit abgegeben. Ich erwähnte vorhin, je nach dem Grade der Vorwärmung lässt sich beliebige Auspufftemperatur erzielen; wird wenig vorgewärmt, ist die Temperatur der Auspuffluft niedrig; es ist also selbstverständlich,

dass bei diesen Luftmaschinen von der auspuffenden kalten Luft für irgend welche Kühlzwecke Gebrauch gemacht werden kann, und zwar kann die Kaltluft gewonnen werden als Nebenprodukt der Kraftgewinnung, oder es wird eine Luftmaschine eigens für die Kaltluft-erzeugung aufgestellt, dann kann die Kraft als Nebenprodukt gewonnen, z. B. für die Ladung von Akkumulatoren benutzt werden, und letztere können Beleuchtungszwecken dienen. Weiter kann Kaltluft erzeugt werden durch eine eigene Luftmaschine mit geringer Vorwärmung, für die Kraft findet sich aber keine Verwendung; die Luftmaschine muss aber Arbeit verrichten, deshalb wird die Luftmaschine in Verbindung mit einem entsprechend grossen Luft-Kompressor gebracht, und dieser saugt Luft aus der Atmosphäre, verdichtet dieselbe und pumpt die Druckluft in das Luftrohr zurück, wobei etwa 50% der aufgewendeten Kraft zurückerstattet werden können.

Eine weitere, meines Erachtens ebenfalls wichtige Neuerung ist bei den Luftmaschinen dadurch eingeführt worden, dass dieselben mit Wassereinspritzung arbeiten. Wenn in den Vorwärmeofen geringe Wassermengen eingespritzt werden, so lässt sich dadurch eine grössere Wärmeentnahme vom Ofen, bei gegebener Heizfläche, erzielen. Der Luftverbrauch wird dann geringer, aber selbstverständlich bei entsprechendem Mehraufwand für die Vorwärmung. Auch dieses Verfahren ist bei vielen Luftmaschinen schon in Anwendung, aber noch nicht so häufig, wie die Verwendung der Druckluft mit einfacher Vorwärmung. Der Verbrauch an Luft ist ungefähr 30% niedriger als ohne Einspritzung; auch kann hierdurch höhere Temperatur der Auspuffluft erzielt und letztere für Heizungszwecke verwendet werden.

Das wäre in kurzen Zügen die Charakteristik der Pariser Anlage, die, wie Sie ersehen, in grossem Maassstab durchgeführt und, wie mehrere Beispiele zeigen werden, in ihrer Ausnutzung in weitesten Kreisen eingebürgert ist.

Von Wichtigkeit für die Beurtheilung der Lebensfähigkeit — die zwar, wenn man die Pariser Einrichtungen studirt, über allem Zweifel steht — ist der Wirkungsgrad der Anlage, wenn ich auch bemerken möchte, der Wirkungsgrad ist nicht allein entscheidend über den Werth solcher Anlagen im Grossen, doch bildet er immerhin einen wichtigen Faktor. In Bezug auf diesen Wirkungsgrad möchte ich folgende Zahlen hervorheben. Der Maschinen-Wirkungsgrad der Centralanlage beträgt 0,86; bei richtiger Ausführung der Maschinen der Centralanlage könnte derselbe aber 0,9 betragen. Der Nutzeffekt bei der Kompression, im Zusammenhang mit dem Wärmeverlust, ist in Wirklichkeit 0,77; er könnte sein: 0,85. Der Maschinen - Nutzeffekt einer 10pferdigen Luft-

maschine beträgt 0,88, er könnte sein: 0,92. Der gesammte Maschinen-Nutzeffekt ohne Wärmeverlust beträgt daher 0,75, er könnte sein: 0,83; mit Berücksichtigung des Wärmeverlustes ist der Wirkungsgrad 0,66, er könnte auf 0,76 erhöht werden. Daraus ergeben sich, wenn 0,8 Kilogramm stündlicher Kohlenverbrauch für eine indizierte Dampfpferdekraft der Centralanlage und 2 Francs Kohlenpreis gerechnet werden, die Kosten von 1 Kubikmeter Druckluft mit  $\frac{1}{5}$  Centime; sie könnten bei Verbesserung der Centralanlage heruntergebracht werden auf  $\frac{1}{6}$  Centime. Anders ausgedrückt lässt sich sagen: 1 indizierte Pferdekraft der Centralanlage ist im Stande, 8,8 Kubikmeter Luft von Atmosphären-Spannung in solche von 6 Atmosphären umzuwandeln, und diese Leistung könnte so erhöht werden, dass 1 indizierte Pferdekraft der Centralanlage 10 Kubikmeter Luft auf 6 Atmosphären verdichtet. Aus diesen Zahlen geht hervor, dass der Wirkungsgrad der bestehenden Pariser Centralanlage wesentlich höher ist, als er nach den bisherigen Erfahrungen des Druckluftbetriebes im Berg- und Tunnelbau landläufig angenommen wurde.

Der Luftverbrauch der Maschinen, der selbstverständlich die Betriebskosten bestimmen wird, ist mit dem Maschinen-Nutzeffekt in keinem unmittelbaren Zusammenhange, sondern hängt zunächst davon ab, wie viel Wärme durch die Vorwärmung der Luft noch zugeführt wird; bei Versuchen mit 10pferdigen Luftmaschinen fand Radinger, bei Vorwärmung der Druckluft von 17 auf 170° C. und einer Auspufftemperatur von + 8° C., einen Luftverbrauch von 22 Kubikmeter für die Stunde und Bremspferdekraft der Luftmaschine. Mit Wassereinspritzung und bei Vorwärmung der Druckluft von 17° auf 170° C. und einer Auspufftemperatur von 70° C. ergab sich der Luftverbrauch mit **16 Kubikmeter** für eine Stunde und Bremspferdekraft. Bei grösseren Maschinen lassen sich diese Verbrauchsziffern herunterbringen von 16 Kubikmeter auf **12 Kubikmeter** bei Vorwärmung und Einspritzung.

Dies führt zu folgendem Ergebniss: Um eine Nutzpferdekraft — einer 10pferdigen Luftmaschine — zu erzeugen, müssen in der Centralanlage gegenwärtig etwa  $2\frac{1}{2}$  indizierte Dampfpferdekraften aufgewendet werden, entsprechend einem Wirkungsgrad von etwa 0,4. Wird mit Einspritzung gearbeitet, so sind etwa  $1\frac{3}{4}$  Dampfpferdekraften für jede Nutzpferdekraft der Luftmaschine erforderlich. Das entspricht einem Wirkungsgrad von über  $\frac{1}{2}$ . Wenn alle Verbesserungen der Centralanlage, die ich früher erwähnte, durchgeführt wären, dann würde eine Nutzpferdekraft der Luftmaschine etwa  $1\frac{1}{2}$  indizierte Dampfpferdekraften in der Centralanlage erfordern; dies entspräche einem Wirkungsgrad von  $\frac{2}{3}$ ; ein sehr gutes Resultat, wie es durch andere Kraftübertragungen im Grossen bisher nicht günstiger erzielt wurde.

Die herrschenden Ansichten über den schlechten Wirkungsgrad der Druckluft rühren nur von den unvollkommenen Anlagen beim Bergbau- und Tunnelbetrieb her, bei welchen aber nur auf die Bequemlichkeit des Betriebes und vor Allem auf Zeitersparniss gesehen werden musste und die Krafterzeugung niemals mit grossen und vollkommenen Maschinen, wie bei einer grossen Centralanlage, bewirkt wurde. Weitere Vergleichsziffern mitzuthemen muss ich mir bei der späten Zeit leider versagen; das Wesentliche ist aus diesen Angaben schon erkenntlich.

Was die praktische Verwendung der Druckluft in Paris betrifft, so war ich in hohem Maasse erstaunt über die grosse Ausdehnung und die weitgediehene Einbürgerung, welche die Druckluft jetzt schon nach wenig mehr als einjährigem Bestand des grossen Betriebes in Paris gefunden hat. Ich möchte vorausschicken, dass der Boden in Paris allerdings sehr günstig ist; es haben nämlich dort die elektrischen Gesellschaften nichts Erhebliches geleistet. Die Druckluft fand deshalb ein sehr günstiges Feld und konnte insbesondere Beleuchtungsanlagen übernehmen, die ihr sonst nur in hartem Wettbewerb mit elektrotechnischen Unternehmungen zugefallen wären.

Als Beispiele der grossartigen Anwendung der Druckluft in Paris erwähne ich: Theaterbeleuchtungen, u. A. das Edentheater, das Variététheater, das Theater Déjazet, viele Cafés, Restaurants, Vergnügungsorte, Klubs u. s. w. Bis zur Eröffnung der nächsten Weltausstellung soll H. P o p p alle Strassen und Plätze in der Nähe der Oper elektrisch beleuchten. Zahlreiche Druckereien, die Druckerei des „Figaro“ mit einer 50 pferdigen Maschine, die des „Petit Journal“ mit einer solchen von 100 Pferden und eine grosse Zahl von Privatdruckereien, bis zu den kleinsten Betrieben, benutzen die Druckluft als Betriebskraft, ebenso zahlreiche Werkstätten. Die Luftmaschinen, insbesondere für Kleinbetrieb, sind häufig in höchst ungünstigen Oertlichkeiten aufgestellt, wo Dampf- oder Gasmaschinen überhaupt nicht aufstellbar wären.

Von den Werkstättenbetrieben der mannigfachsten Art erwähne ich zahlreiche Werkstätten mit Drehbänken für Metalle, Holz, Horn, Bein u. s. w., mit Sägen, Fräsen, Scheeren, Lochmaschinen, Schleif- und Polirmaschinen u. s. w. für die verschiedenartigsten Kleinindustrien. In diesen Werkstätten waren früher zum Theil alte Dampfmaschinen durch die in den Werkstätten selbst aufgestellten Dampfkessel betrieben; letztere wurden ausser Dienst gestellt und die Maschinen mit Druckluft betrieben. Weiter zahlreiche Schreinereien für Packkisten, Kästchen und Möbel; Eisenhandlungen, welche in ihren Kellern verschiedene Werkzeuge betreiben, mit denen den Kunden Blech und sonstige Eisenwaaren beschnitten, Band-

und Kleiseisen zugerichtet werden u. s. w.; hierfür mussten früher Arbeiter angenommen werden; seit der Einführung des Luftbetriebs wird die ganze Arbeit von den Ladendienern besorgt. Als Hauptvortheil der Luftmaschinen möchte ich hier anführen, dass ich in Paris ein Maschinenpersonal vorgefunden habe, wie es sich die Phantasie schlechter kaum vorstellen kann. Kellner, Hausdiener u. s. w. mit allen möglichen Nebenbeschäftigungen sind die normalen Maschinisten; sie haben auch weiter nichts zu thun, als den Lufthahn aufzudrehen und die Schmierung zu erneuern. Die Luftmaschine ist anscheinend ein noch viel geduldigeres Ding als die berühmte Dampfmaschine. — Dann erwähne ich Luftmaschinen bei Drechslern, Klempnern, Regenschirmerzeugern, Buchbindern, bei Zahnärzten, die ihre Zahnbohrer mit Druckluft betreiben, dann zahlreiche Installationen von Nähmaschinen mit Luftbetrieb, und zwar ebensowohl für Grossbetrieb, derart, dass eine grössere Zahl von Nähmaschinen bei Schneidern, Schuhmachern u. s. w. gemeinsam durch eine Transmission angetrieben wird, als auch einzelne kleine Nähmaschinen für Einzelbetriebe. Bei den letzteren bleibt die Nähmaschine vollständig unverändert, es wird nur die Triebstange des Fusstritts ausgekuppelt, an den Ständer der Maschine eine kleine rotirende Luftmaschine in Form einer kleinen Dose angeschraubt und von dieser aus durch eine Riemenschnur die Maschine wie gewöhnlich, aber mit erhöhter Geschwindigkeit angetrieben. An den Fusstritt schliesst sich eine Stellvorrichtung an, welche den Luftzutritt regulirt, so dass durch Hochhalten oder Senken des Fusstrittes die Geschwindigkeit der Nähmaschine nach Belieben geändert wird und die Hände für die eigentliche Arbeit ganz frei bleiben. Die Kosten solchen Betriebes einer einzelnen Nähmaschine stellen sich auf etwa 5 Centimes stündlich, allerdings noch ziemlich viel, aber bei ausserordentlich vergrösserter Leistungsfähigkeit.

Ich erwähne weiter Fabrikanten von Spielwaaren, Knöpfen und anderen Kleinwaaren, welche mit ihren Waaren bis in die neueste Zeit dem Wettbewerb von Nürnberg und Elberfeld nicht gewachsen waren und für die grossen Magazine in Paris nicht zu liefern im Stande waren; erst durch die Einführung des Maschinenbetriebes ist es ihnen gelungen, die verhasste Konkurrenz aus dem Felde zu schlagen. Die verschiedenen Kleingewerbe, welche jetzt schon vom Luftbetriebe Gebrauch machen, sind zu zahlreich, um hier besonders besprochen zu werden, ich erwähne nur die Kleingewerbe der Textilindustrie, mit Luftmaschinen für Stick- und Wirkmaschinen, Trockenmaschinen, Passementerie, Webereien, die verschiedenartigsten Mühlen bis zu den Kaffeemühlen, Einrichtungen für Galvanoplastik, Gravir-, Polirmaschinen, Korkschnidemaschinen, Kaffeebrennereien, Chokoladefabriken, Conditoreien, weiter Farbreib-

maschinen, Maschinen zur Erzeugung von Billardkugeln, Zerkleinerungsmaschinen u. s. w. in kaum absehbarer Reihe.

Nicht minder gross ist die Verwendung der Luft für direkten Luftbetrieb ohne Zwischenmaschinen; hier steht der Druckluft überhaupt nur wenig Konkurrenz gegenüber und ist eine sehr vielgestaltige und dabei höchst einfache Verwendung des unmittelbaren Luftdruckes möglich. Jetzt schon werden in Paris hydraulische Aufzüge mit Luft statt mit Druckwasser betrieben. Die Sache ist höchst einfach: der Kubikmeter Wasser kostet in Paris 32 Centimes, der Kubikmeter Luft  $1\frac{1}{2}$  Centimes. Veränderungen der Aufzüge sind nicht nöthig, sogar die Wassersäule im Druckcylinder bleibt bestehen und die Luft drückt auf die Wassersäule. In zahlreichen Restaurants und Cafés wird der Transport des Bieres aus den Kellern durch Luft bewerkstelligt derart, dass ein Luftröhrchen an das Fass angeschlossen wird. In grosser Ausdehnung ist diese unmittelbare Hebung mit Luftdruck durchgeführt in den grossen Weinlagern. Dort befinden sich einige hundert Installationen, um den Wein aus den Kellern unmittelbar in die Versandfässer mit Luft zu drücken.

In grossartigem Maassstab ist in Paris die Druckluft für den Betrieb der pneumatischen Uhren in Anwendung, und zwar für diesen Betrieb schon seit einem Dezennium. Aus der ersten kleinen Anlage für den Uhrenbetrieb (in der Rue St. Anne) hat sich die jetzige grosse Centralanlage entwickelt. Gegenwärtig werden über 8000 Luftdruckuhren betrieben, welche im Ganzen stündlich 180 Kubikmeter Luft erfordern.

Die „französische Bank“ ist an die Luftleitung angeschlossen und hat eine eigene Rohrpost innerhalb ihrer einzelnen Bureauräume eingerichtet. Ebenso ist im „Crédit Lyonnais“ eine eigene Rohrpost in Betrieb, und ausserdem ist eine grosse Luftrohrverbindung mit den Kellern hergestellt, aus welchen die grossen Dépôtskoffer in einem grossen viereckigen Druckrohr mittelst eines Wagens mit Druckluft in die Bureaux geblasen und auf gleichem Wege wieder zurückbefördert werden. Weiter sind in Verwendung Dutzende von Löthöfen mit Luftbetrieb, Schmelzöfen mit Injektoren statt Gebläsen u. s. w. Endlich sei erwähnt, dass ein Arzt elegante pneumatische Kammern für Luftbäder, unter Ueberdruck bis  $\frac{1}{2}$  Atmosphären, für die Heilung von Lungen- und Ohrenkranken eingerichtet hat.

Ein grosses und vorläufig noch nicht absehbares Feld für die Ausnutzung der Druckluft ist ihre Verwendung als Kaltluft, auf welchem Gebiete die Druckluft auch keinen Konkurrenten besitzt, denn Alles, was da in Betracht kommt, kann die Kaltluft zwar wirthschaftlich günstiger, aber erst auf Umwegen erzeugen und ist im kleinen Maassstabe

nicht ausführbar, welchen der Kleinbetrieb oder gar die Haushaltung erfordert. Ich war auch überrascht über die Ausdehnung, welche diese für die allgemeine Verwendung ganz neue Sache jetzt schon in Paris gefunden hat. So fand ich mehrere Restaurants und Cafés mit Luftmaschinen für den Beleuchtungsbetrieb und mit schwacher Vorwärmung der Druckluft vor den Maschinen, so dass die Auspuffluft die Maschine mit einer Temperatur unter Null verlässt; diese wird in einen Kasten geleitet, in welchem die Wasserkaraffons und Sonstiges zum Gefrieren gebracht werden. Der Conditore treibt mit der Luftmaschine tagsüber seine Hilfsmaschinen, Rührwerke u. s. w., beleuchtet Abends seinen Laden und benutzt nebenbei die Abluft für Gefrierzwecke.

Eine wichtige Anlage ist in der Bourse de commerce in Bau; dort werden in den grossen Kellerräumen Kaltluftkammern eingerichtet für die Lagerung von Lebensmitteln, welche augenblicklich nicht auf die benachbarten Centralhallen zu Markt gebracht und verkauft werden können. Ausserdem haben sich in der Nähe der Markthallen Fleischaehler zahlreiche Kaltkammern eingerichtet, um viele hundert Schlachthiere kalt zu lagern. Nicht unerwähnt möchte ich lassen, dass die Pariser „Morgue“ bereits seit Jahren Anschluss an die Luftdruckleitung und Kaltluft Räume besitzt, in welchen Leichen, die nicht augenblicklich erkannt werden, so lange als wünschenswerth wie Aktenstücke aufbewahrt werden. Gegenwärtig befindet sich dort eine solche, die das zweite Jahr ihrer Aufbewahrung bereits überschritten hat.

Einigen Pariser Zeitungen entnehme ich die Hinweisung auf die grosse militärische Wichtigkeit der Verpflegung der Festung Paris im Kriegsfall durch Zuhilfenahme der Kaltluft für die Aufbewahrung frischer Lebensmittel in bisher unmöglichen Mengen. Insbesondere wird darauf hingewiesen, dass die Druckluftanlagen in Paris im Kriegsfall sämmtlich dem erwähnten Zweck dienstbar gemacht werden sollen und dass die bestehenden Anlagen in Verbindung mit den 3 geplanten neuen Centralanlagen von je 4000 Pferdekraften, deren Ausführung schon in nächster Zeit bevorsteht, vollständig ausreichen, um frische Lebensmittel für  $2\frac{1}{2}$  Millionen Einwohner für mehr als  $\frac{1}{2}$  Jahr zu sichern.

Schon aus diesen wenigen Beispielen ist zu entnehmen, welche Ausbreitung die Verwendung der Druckluft, nur als Kaltluft allein, jetzt schon gewonnen hat. Die wirthschaftliche Bedeutung für die Lebensmittelversorgung einer grossen Stadt unterliegt keinem Zweifel, da wohl alle Lebensmittel, welche täglich verderben, nicht vom Erzeuger oder Händler, sondern stets vom Abnehmer bezahlt werden müssen. —

Ich muss zum Schlusse eilen und weitere Erläuterungen für mich behalten. Aus den kurzen Andeutungen und thatsächlichen Mittheilungen dürfte zu entnehmen sein, dass es sich um eine fertige, dabei sehr einfache und lebensfähige Sache handelt, die mit guter Ueberlegung und mit vielen Erfahrungen in die Welt gesetzt wurde, mit einfachen, Jedermann bekannten Mitteln arbeitet, aber auch durch die wichtigen technischen Neuerungen der centralisirten Krafterzeugung und der Wärmezuführung der Druckluft ein unabsehbares Gebiet erschlossen hat.

Darüber besteht kein Zweifel, dass die erfolgreiche Einführung von Druckluft in Städten einen wesentlichen Fortschritt für die technische, für die wirtschaftliche und sanitäre Entwicklung von Grossstädten und von industriellen Städten überhaupt bildet. Die Frage, ob Druckluft durch vollkommene Centralanlagen so billig herstellbar ist, dass sie innerhalb der Stadt mit Gewinn für den Erzeuger und den Abnehmer abgegeben werden kann, muss auf Grund der Pariser Erfahrungen bejaht werden, und es muss noch hinzugefügt werden, dass die Druckluft jetzt schon viele bisher ungekannte Verwendungen gefunden hat und in die Verhältnisse des Kleingewerbes in der günstigsten Weise eingreift.

Für jede Stadt kann es nur ein Gewinn sein, wenn die rauchenden Schloten, die Dampfkessel und die Belästigungen durch dieselben, Rauch, Lärm, Hitze u. s. w. und nicht minder alle Gefahr und Verantwortung solcher Betriebe aus der belebten Stadt entfernt und vor das Weichbild verlegt werden, wo der Betrieb mit den geringsten Kosten und unter sachverständiger Leitung, mit Ausschluss der zahllosen Gefahren des Kleinbetriebes durchgeführt werden kann. Die in die Stadt gelieferte Druckluft ist nicht nur geeignet, dem hart bedrängten Kleingewerbe aufzuhelfen und damit eine brennende Frage zu lösen; die allgemein zugängliche Verwendung der Druckluft ist auch in hervorragender Weise geeignet, unseren Lebensbedürfnissen und Annehmlichkeiten entgegen zu kommen, neue Bedürfnisse zu befriedigen und ganz ebenso wie Gas- und Wasserleitungen jedem Gemeinwesen zum Segen zu gereichen. —

Vorsitzender U.-Staatssekretär Magdeburg: Ich nehme das Wort, um den Dank des Vereins für die überaus interessanten und beherzigenswerthen Mittheilungen des Herrn Vortragenden auszusprechen, der uns wahrhaft erstaunliche Blicke in die Zukunft eröffnete.

Hr. Geh.-Rath v. Siemens: Ich muss sagen, dass ich den Vortrag mit um so grösserem Interesse angehört habe, als ich selbst vor etwa einem Jahre diese Anlage zu Paris sah, die damals freilich noch nicht so weit entwickelt war, wie sie uns eben geschildert ist. Die

grossen Kompressions-Maschinen, von denen der Vortragende sprach, waren erst in der Anlage begriffen und es waren kleinere im Gebrauch. Doch zeigte das Kind schon so viel Lebenskraft, dass ich bereits damals die Ueberzeugung bekam, es würde die Zuführung komprimirter Luft in die Werkstätten und Wohnungen bald einen wesentlichen Faktor unserer modernen Zustände bilden. Es freut mich heute zu hören, dass darin schon erhebliche Fortschritte gemacht sind. Bekanntlich werden ja auch in England ausgedehnte Versuche mit Zuführung von Druckluft gemacht, so dass man wohl annehmen kann, dass die Sache bald in weiteren Kreisen nützliche Verwendung finden wird.

## II.

### Die Kraftübertragung durch Druckluft (System Popp) in Paris.

(Vorgetragen im Berliner Verein Deutscher Ingenieure.)

Sonderabdruck aus der „Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure“,  
Bd. XXXIII, No. 9 und 10.

M. H.! Die technische Litteratur der jüngsten Zeit brachte einzelne Mittheilungen über die Kraftübertragung durch Druckluft in Birmingham und Paris, aber ohne Einzelheiten über Betriebsergebnisse und Erfahrungen. Erst vor einigen Wochen erhielt ich durch meinen Kollegen Professor Radinger in Wien einige Mittheilungen über Versuchsergebnisse, aus denen ich entnehmen musste, dass es sich in Paris um eine Anlage von weittragender Bedeutung handle. Um diese kennen zu lernen, entschloss ich mich in der abgelaufenen Woche zur Reise dorthin, und es war meine Absicht, durch eigene Studien mir ein unbefangenes Urtheil zu verschaffen. Diese Absicht wurde dank des freundlichen Entgegenkommens, welches ich in Paris fand, vollkommen, aber in einer Beziehung zu weitgehend erfüllt, indem es mir nicht gelang, die Seele des Unternehmens, Herrn Popp, über technische Angelegenheiten zu sprechen. Um so unbefangener dürfte meine eigene Beurtheilung ausfallen. Unter solchen Umständen entschloss ich mich auch, eine Reihe noch nicht veröffentlichter Berichte, insbesondere französischer Ingenieure, die mir in Paris zugänglich gemacht wurden, bisher gar nicht durchzulesen, um in keiner Weise von den eigenen Eindrücken abgelenkt zu werden. Ich berufe mich demnach hier nur auf eigene Beobachtungen, für deren Vollständigkeit ich selbstverständlich nicht bürgen kann, und auf die Versuche, welche von Professor Radinger durchgeführt wurden.

Ueber die allgemeine Wichtigkeit der Kraftversorgung von Städten, über die weittragende Bedeutung, welche die Entfernung der Dampfkessel mit ihren Belästigungen und Gefahren aus der Stadt heraus in einen gemeinsamen Betrieb besitzt, brauche ich an dieser Stelle Näheres nicht anzuführen; ebensowenig über den wirthschaftlichen und über den sanitären Werth solcher Anlagen für grosse und industrielle Städte. Nur über die allgemeine Beurtheilung, über den

grundsätzlichen Standpunkt, den ich dieser Frage gegenüber einnehme, möchte ich der Erörterung der Pariser Anlage einige allgemeine Bemerkungen vorausschicken.

Es ist leider selbst unter Fachleuten üblich geworden, die Frage der Kraftübertragung fast ausschliesslich oder doch recht kläglich einseitig nur vom Standpunkte des Wirkungsgrades aus zu betrachten; derart einseitig, dass es den Anschein gewinnt, als ob die Lebensfähigkeit einer Kraftübertragung nur vom Nutzeffekt allein abhängt. In Wirklichkeit liegen doch die Verhältnisse ganz anders. Die Frage, um die es sich im Grunde dreht, kann doch immer nur die sein: kann man Druckluft mit allen zur Verfügung stehenden vollkommenen technischen Einrichtungen zu solchen Kosten fabriciren und in die Stadt leiten, dass sie für die verschiedensten Zwecke mit Gewinn für den Lieferanten und Gewinn für den Abnehmer abgegeben werden kann? In der Beantwortung dieser Frage spielt der Wirkungsgrad eine, wenn auch wichtige, so doch nicht allein ausschlaggebende Rolle, und die Beantwortung dieser Frage wird die Beurtheilung sehr vieler anderer Gesichtspunkte in sich begreifen. Es ist gegenüber der vielgestaltigen Wirklichkeit selbstverständlich, dass für die Lebensfähigkeit einer Kraftübertragung noch ganz Anderes als der Wirkungsgrad, ja nicht einmal die Kosten allein maassgebend sein werden, sondern die Rücksichtnahme auf besondere Betriebsverhältnisse, über deren Eigenart ich an einzelnen Beispielen näheres angeben werde.

Vorläufig möchte ich zur Kennzeichnung des grundsätzlichen Standpunktes nur einige Beispiele anderer technischer Erwägungen anführen, welche beweisen sollen, dass auf allen Gebieten die Berücksichtigung aller Verhältnisse nötig ist, nicht aber die einseitige Beurtheilung einer einzelnen technischen Grundlage.

So z. B. erwähne ich die Dampfmaschine. Von dieser wurde wiederholt von ernsten Leuten behauptet, ihre Tage seien gezählt und die Zukunftsmaschine sei die Gasmaschine; eine Behauptung, die sich nur darauf gründet, dass der Wärmeprozess in der Gasmaschine auf kürzerem Wege und vortheilhafter durchführbar ist als in der Dampfmaschine. Solche Auffassung ist durchaus haltlos; denn sie bezieht sich nur auf den Wirkungsgrad. Dem ist gegenüberzustellen, dass die Dampfmaschine niemals von der ungeheueren Höhe, welche sie heute einnimmt, herunterkommen wird; einfach deshalb nicht, weil die physikalischen Eigenschaften des Wasserdampfes solch glückliche sind, dass wir ihm nichts ähnliches an die Seite zu stellen vermögen. Diese Eigenschaften, auch die nachtheiligen, sind für alle praktischen Anforderungen so günstige, dass gerade in dieser Hinsicht der Gegensatz zu den ungünstigen physi-

kalischen Eigenschaften der Verbrennungsgase in der Gasmaschine die Verwendung der letzteren stets auf ein geringeres Feld beschränken wird.

Bei Wasserkraften spielt sich der ganze Wärmeprozess kostenfrei in der Natur ab, ihre Ausnutzung ist die denkbar vortheilhafteste. Käme es also auf den Wirkungsgrad allein an, so müssten die Wasserkraften in ihrer Bedeutung obenan stehen. Dies ist keineswegs der Fall, denn schon die Gewinnung der Wasserkraften an den grossen Verkehrsstrassen ist meist eine Unmöglichkeit. Dort, wo Wasserkraften gewonnen werden können, sind die Verkehrsverhältnisse nicht die erwünschten, und der Betrieb ist nur in seltenen Fällen ganz störungsfrei, und dies allein schon ist geeignet, die Wasserkraften trotz ihres günstigen Wirkungsgrades weit in den Hintergrund gegenüber den Dampfmaschinen zu stellen.

Bei Kraftübertragung durch Drahtseile kann nachweisbar der günstigste Wirkungsgrad erzielt werden. Der Drahtseiltrieb hat bei seiner Entstehung gewaltiges Aufsehen erregt, ist aber bis heute auf wenige, wenn auch an sich grossartige Anlagen beschränkt geblieben, nur deshalb, weil ihm einige nicht behebbare praktische Mängel anhaften. Der Drahtseiltrieb vermag nur konstante Kräfte ohne grosse Seilchwankungen zu übertragen; seine Betriebssicherheit leidet unter dem störenden Einflusse der Witterung, insbesondere bei Frost, und sein praktischer Werth wird dadurch beschränkt, dass Seilbrüche unerwartet vorkommen und länger andauernde Betriebsstörungen verursachen können, welche für den heutigen Industriebetrieb in den meisten Fällen ausgeschlossen werden müssen.

Kurz, welches Gebiet der Maschinenteknik auch betrachtet werden mag: immer ist eine Reihe insbesondere praktischer Rücksichten maassgebend für den Werth gegenüber den vielgestaltigen Betriebsverhältnissen, nicht aber der Wirkungsgrad allein. Aufgabe des Fachmannes wird es immer sein, das gleichzeitige Zusammenwirken verschiedener Ursachen und Anforderungen zu beurtheilen. Hierbei wird die Erwägung praktischer Verhältnisse immer die Hauptrolle spielen, nicht aber die einseitige theoretische Untersuchung des Wirkungsgrades. Meiner Ansicht nach liegt ein Hauptgrund, weshalb auf dem ungeheuren und dabei hochwichtigen Gebiete der Kraftübertragung gute und lebensfähige Neuerungen unbeachtet bleiben, nur in der erwähnten Einseitigkeit.

Von diesen Gesichtspunkten aus möchte ich nun zunächst die Anlage in Paris in den Einzelheiten näher mittheilen und eine allgemeine Beurtheilung der dort erzielten Ergebnisse anschliessen.

## Centralanlage in Belleville.

(Fig. 1—11.)

Die Pariser Anlage für Kraftvertheilung durch Druckluft nach dem System Popp zeichnet sich zunächst dadurch aus, dass die Ausnutzung der Druckluft vollständig eingebürgert und in der Stadt bereits zu einem Bedürfniss geworden ist, so dass ich im wesentlichen nur über eine fertige Sache objektiv zu berichten habe. Weiter möchte ich als Eigenart der Pariser Anlage bezeichnen, dass sie hinsichtlich ihrer Maschinen mit einfachen und bekannten Mitteln arbeitet, mit Maschinen zum Theil gewöhnlicher, leider auch unvollkommener Bauart. Dies bildet kein Hinderniss in der Beurtheilung; im Gegentheil: dort, wo unzweifelhaft Fehler vorhanden sind, wird jeder Fachmann in der Lage sein, selbst zu bestimmen, in wie weit die in Paris erzielten Ergebnisse durch die Vermeidung dieser Fehler noch wesentlich verbessert werden können.

Ich hebe dies insbesondere hervor im Gegensatze zur gleichartigen Anlage in Birmingham, die in grösstem Stile angelegt ist, aber durchgängig mit vollkommen neuen technischen Mitteln arbeiten soll. In Birmingham ist beabsichtigt: eine ganz neue Gasgeneratoranlage, eine neue Kesselfeuerung, ein neues Dampfkesselsystem, Kompressoren eines besonderen Systemes und eigenthümliche Aufstellung derselben über den Dampfkesseln u. s. w., Neuerungen, welche zweifellos ihre volle Begründung haben, wahrscheinlich auch die von ihnen erwarteten Vortheile bieten werden, über welche ich mich vom Standpunkte des Fortschrittes nur freue. Gegenüber der Hauptsache aber, der billigen Drucklufterzeugung, wünschte ich die summirte Verantwortung nicht zu tragen, weil im Betrieb dieser Anlage sich Schwierigkeiten ergeben können, welche nur in der Neuheit der angewandten Mittel ihre Begründung haben, aber schliesslich in weiten Kreisen doch nur dem neuen System der Kraftübertragung durch Druckluft zur Last gerechnet werden.

## Dampfmaschinenanlage.

Die Druckluftanlage in Paris ist aus der kleinen Maschinenanlage in der Rue St. Anne entstanden, welche Ende der 70er Jahre dort für den Betrieb der pneumatischen Uhren in Verwendung stand. Dieser Uhrenbetrieb hat sich rasch entwickelt, so dass eine Vergrösserung dieser Anlage und eine Uebersiedelung des Maschinenbetriebes vor die

Stadt, in die Rue St. Fargeau in Belleville, stattfinden musste. Allmählich gewann die Druckluft auch Verwendung für verschiedene in-

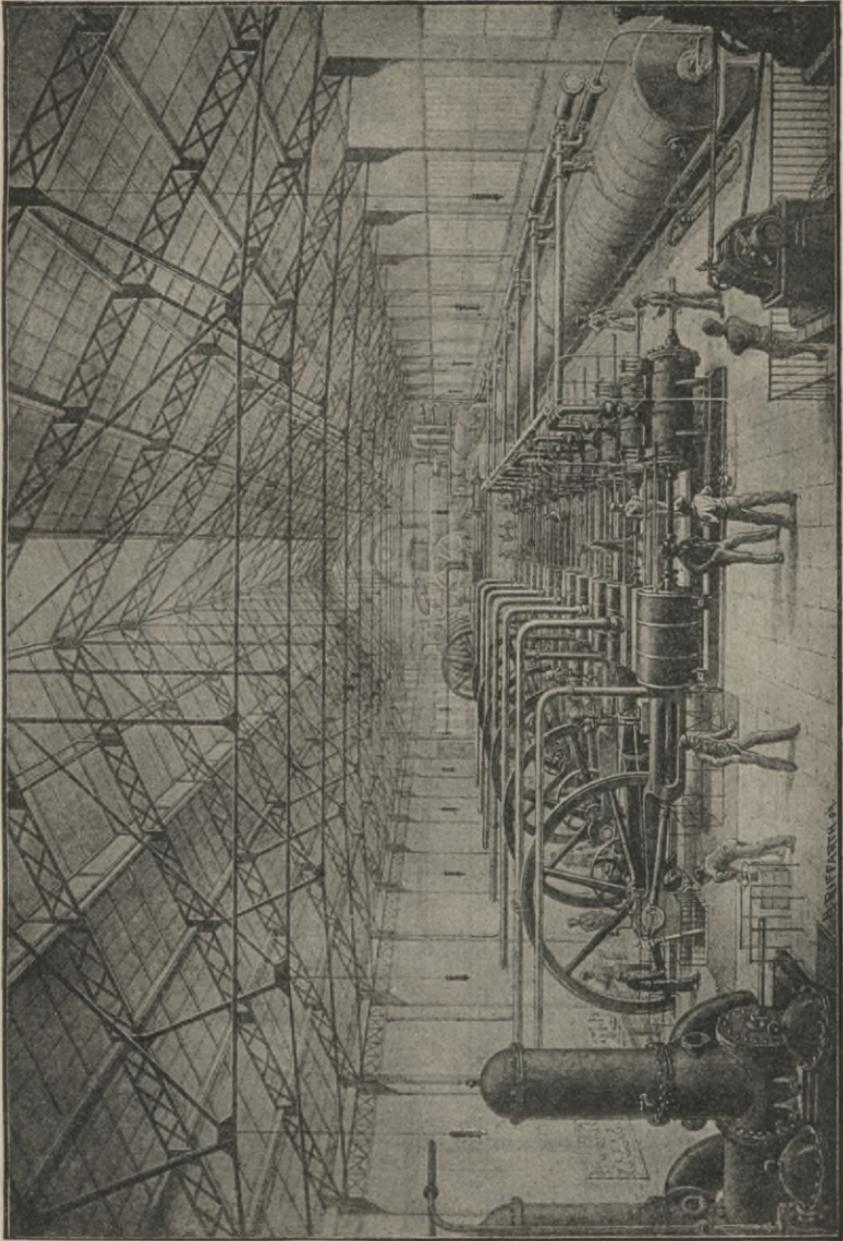


Fig. 1. Central-Anlage (Rue St. Fargeau). Innere Ansicht der Maschinenhalle.

dustrielle Zwecke, und deshalb wurde in der Rue St. Fargeau eine grössere Maschinenanlage aufgestellt, bestehend aus zwei liegenden Farcot-

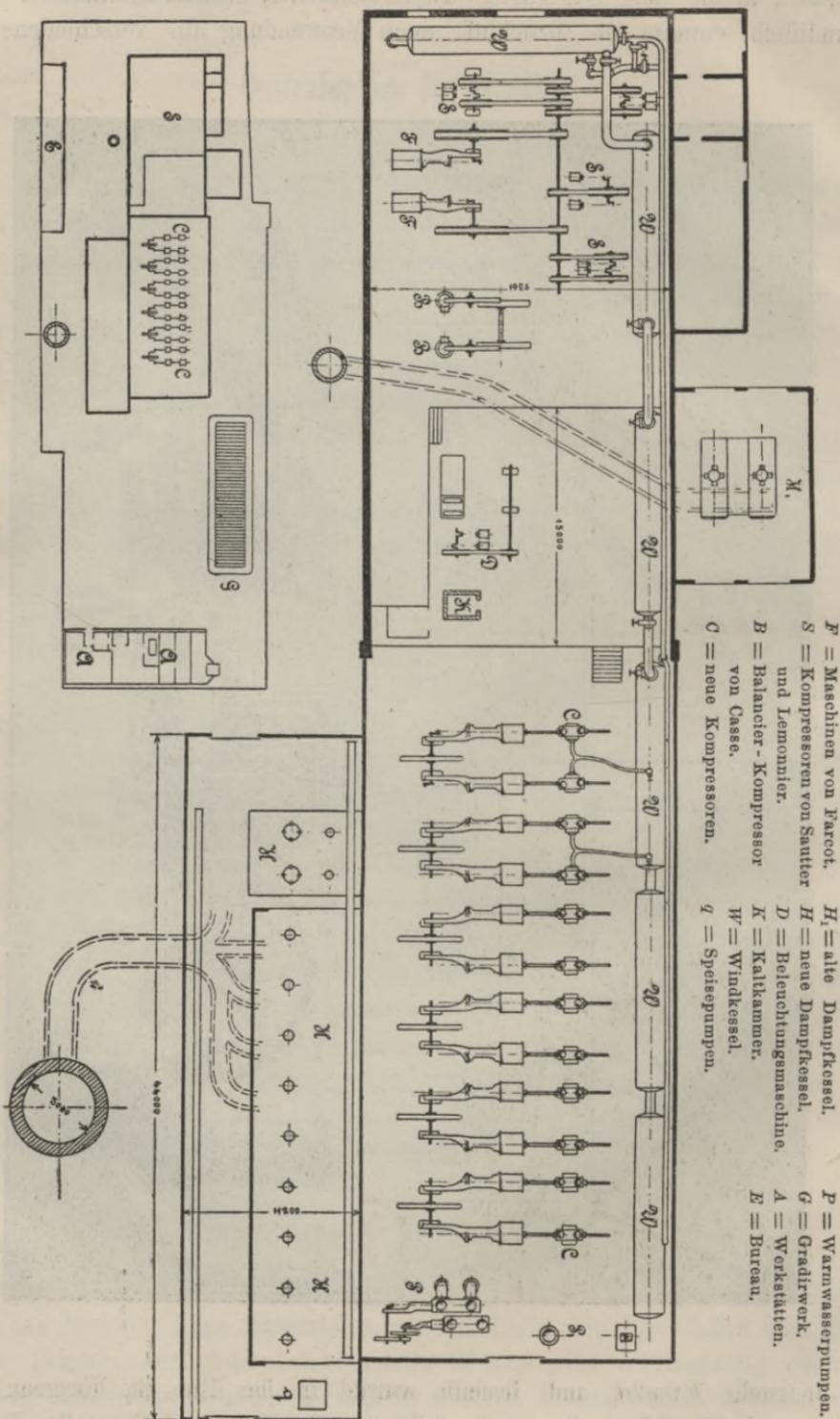


Fig. 2. Grundriss der Central-Anlage. Maasstab 1 : 500 und 1 : 2000.

Maschinen, welche durch Riemenübersetzung eine Kompressorgruppe antreiben; ausserdem wurde eine grosse doppelwirkende Balanciermaschine, mit Kompressoren senkrecht unter den Dampfcylindern, aufgestellt. In dem Maasse, als die von dieser Maschinenanlage erzeugte Druckluft für weitere industrielle Zwecke abgegeben wurde, erwies sie sich als unzureichend, und vor Jahresfrist etwa kam eine neue grossartige Anlage (Fig. 1—3) in Gang, welche seither den gesammten Betrieb übernommen hat.

Fig. 3. Querschnitt durch Kessel- und Maschinenhaus.

Maassstab 1 : 400.

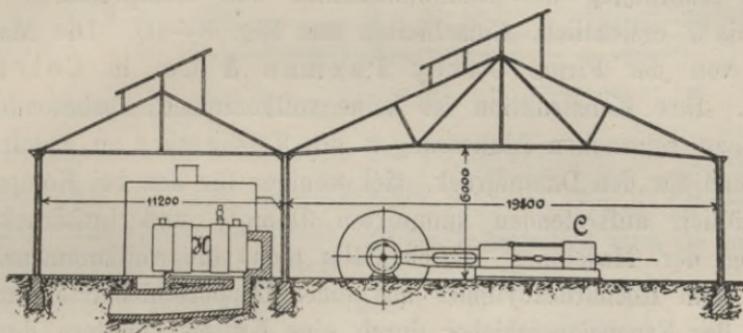
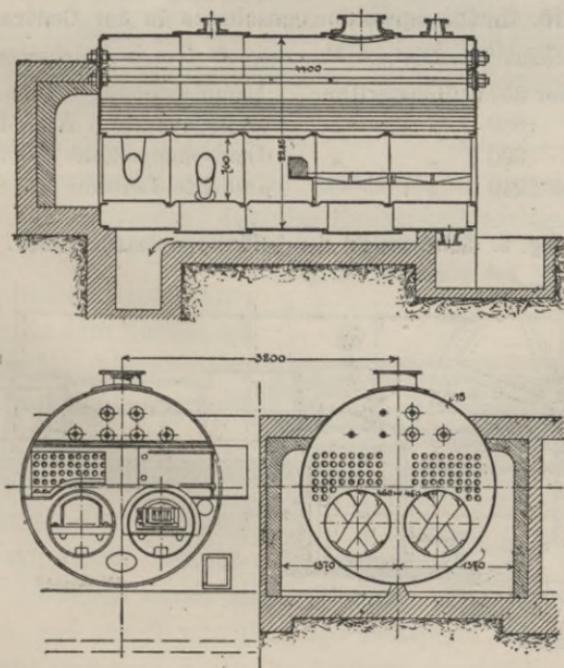


Fig. 4. Dampfkessel der Central-Anlage.

Maassstab 1 : 100.



Diese neue Centralanlage wird betrieben durch 11 Dampfkessel (Fig. 4) von je 122 Quadratmeter Heizfläche und 8 Atmosphären (Ueberdruck) Betriebsspannung; die Dampfkessel liefern den Dampf für die erwähnte alte und für die neue grosse Maschinenanlage von etwa 2000 Pferdekraft, letztere bestehend aus sechs Verbundmaschinen (557 Millimeter Hochdruckcylinder, 889 Millimeter Niederdruckcylinder, 1219 Millimeter Hub), welche normal mit 38 Umdrehungen in der Minute laufen und eine Gruppe von 12 Luftkompressoren von je 600 Millimeter Kolbendurchmesser und gleichfalls 1219 Millimeter Hub, bei unmittelbarer Kupplung der Kolbenstangen, antreiben.

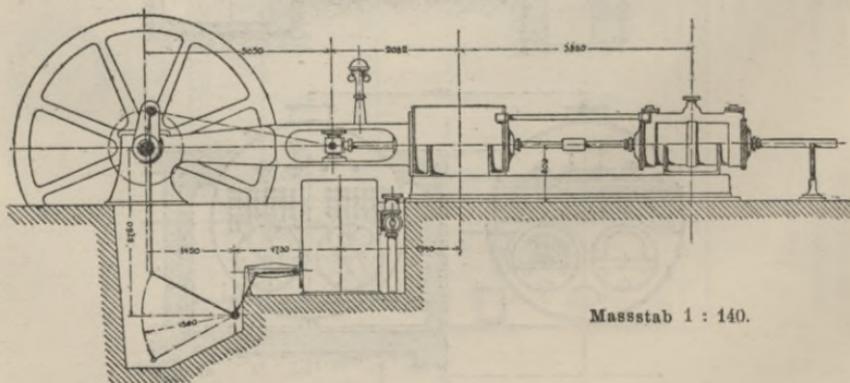
Die Anordnung der Dampfmaschinen und Kompressoren ist aus Fig. 5 bis 7 ersichtlich, Einzelheiten aus Fig. 8—10. Die Maschinen wurden von der Firma Davey Paxman & Co. in Colchester geliefert. Ihre Konstruktion ist keine vollkommene; insbesondere sind die viel zu schwachen Abmessungen des Triebwerkes zu tadeln, nicht ausreichend für den Dampfdruck, viel weniger für den bei Kompressoren unvermeidlich auftretenden summirten Dampf- und Luftdruck. Die Steuerung der Maschinen ist ebenfalls nicht die vollkommenste. Sie besteht beim Hochdruckcylinder aus einer Doppelschiebersteuerung, von welcher der Expansionsschieber durch eine Kulisse, letztere durch den Regulator verstellt, angetrieben wird. Die Steuerung des Niederdruckcylinders besteht aus einem einfachen Schieber. Der Dampfverbrauch

**Fig. 5—10. Luftkompressionsmaschinen in der Centralanlage.**

Gebaut von Davey Paxman & Co. in Colchester.

Hochdruck-Cylinder	557 Millimeter Dmr.	Dampfspannung	8 Atm. Ueberdruck.
Niederdruck-	" 889 " "	Luftspannung	6 Atm. Ueberdruck.
Kompressor-	" 600 " "	Umdrehungs-Zahl	38 minutlich.
Gemeinsamer Hub	1219 " "	Indizierte Leistung	340 Pferdekräfte.

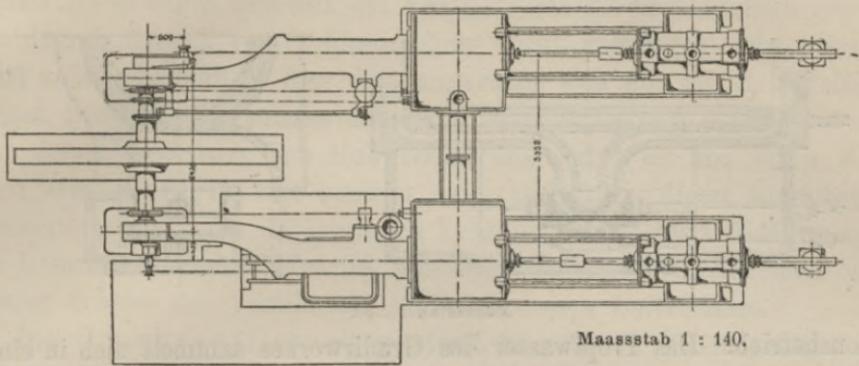
**Fig. 5. Seitenansicht der Luftkompressionsmaschinen.**



Massstab 1 : 140.

dieser Maschinen ist demgemäss auch höher, als er bei Benutzung aller Erfahrungen bei so grossen Maschinen sein könnte.

Fig. 6. Grundriss der Luftkompressionsmaschinen.



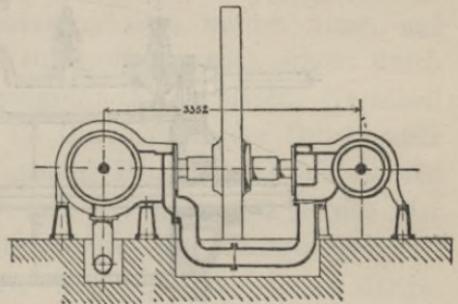
Erwähnenswerth hinsichtlich des Dampfbetriebes ist die Anlage der Kondensation. Die Kondensatoren arbeiten mit gewöhnlicher Einspritzung und sind unterhalb der Maschine aufgestellt; ihre doppelt wirkenden liegenden Luftpumpen werden vom Kurbelzapfen der Niederdruckseite betrieben.

Für die Einspritzkondensation waren früher täglich über 300 Kubikmeter Wasser erforderlich. Die Wasserbeschaffung in der Rue St. Fargeau, auf der Höhe von Belleville, ist nur durch Wasserbezug aus der Wasserleitung möglich, so

dass für den Kondensationsbetrieb beträchtliche Summen aufliefen, die jetzt dadurch erspart werden, dass das Kondensationswasser durch künstliche Abkühlung wieder gewonnen und immer wieder verwendet wird.

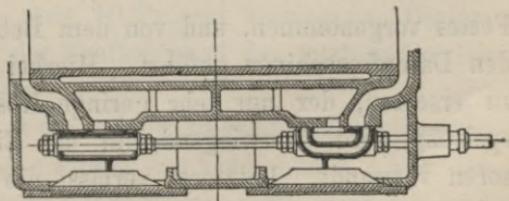
Zu dem Zwecke ist ausserhalb des Maschinenhauses, dem freien Luftzuge möglichst ausgesetzt, ein grosses Gradirwerk aufgestellt. Auf das oberste Siebblech dieses Gradirwerkes wird das Warmwasser sämtlicher Dampfmaschinen durch eigene Pumpen gehoben, vertheilt sich auf dem Siebblech und tropft nun über 6 Stockwerke des Gradirwerkes herunter, zerstäubt und wird durch den Luftzug abgekühlt. Während meines

Fig. 7. Querschnitt durch die Dampfzylinder.



Maassstab 1 : 100.

Fig. 8. Steuerung des Niederdruckzylinders.

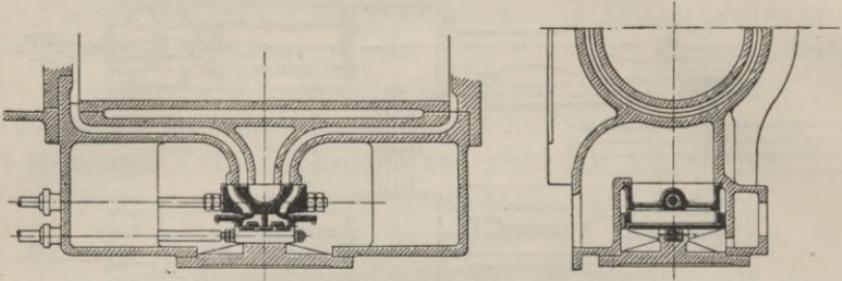


Maassstab 1 : 30.

Während meines

Besuches ergab sich dort bei einer Lufttemperatur von  $7^{\circ}$  eine Abkühlung des Kondensationswassers um  $20^{\circ}$ , ausreichend für den guten Kondensationsbetrieb. Das Tropfwasser des Gradirwerkes sammelt sich in einem gemauerten Behälter; in diesem wird eine Ausscheidung des schwimmenden

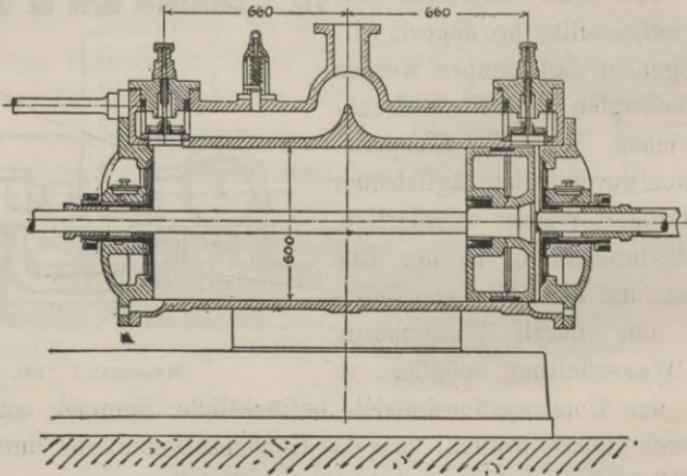
Fig. 9. Steuerung des Hochdruckzylinders.



Maassstab 1 : 30.

sationsbetrieb. Das Tropfwasser des Gradirwerkes sammelt sich in einem gemauerten Behälter; in diesem wird eine Ausscheidung des schwimmenden

Fig. 10. Luftkompressor.



Maassstab 1 : 30.

Fettes vorgenommen, und von dem Behälter wird das Wasser zurück zu den Dampfmaschinen geführt. Hierbei ist der Verlust durch Verdunsten zu ersetzen, der nur sehr geringe Kosten verursacht. Für die Kesselspeisung wird überwiegend nur das Einspritzwasser aus den Kompressoren verwandt. Letzteres verlässt die Kompressoren mit einer Temperatur von etwa  $60^{\circ}$  in Folge der mangelhaften Kühleinrichtungen an den Kompressoren. Dieses warme Einspritzwasser wird den Kesselspeisepumpen zugeführt, und so kommt die in den Kompressoren verlorene Wärme mittelbar dem Dampfkesselbetrieb zu gute.

### Luftkompressoren.

Die Luftkompressoren sind im wesentlichen nach dem bekannten System Sturgeon ausgeführt und aus Fig. 10 ersichtlich.

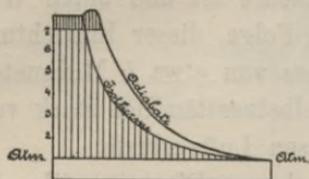
Die Saugventile sind centriscch zu den Stopfbüchsen angebracht, und letztere bewegen sich mit den Ventilen. Da die Stopfbüchsen gegenüber dem Luftdruck von 6 Atmosphären dicht angezogen sein müssen, so ist selbstverständlich, dass die Saugventile sich nur mit den Kolbenstangen bewegen. Es können daher die Saugventile sich erst schliessen, wenn der Kolben nach dem Hubwechsel umgekehrt ist und einen Weg gleich dem Ventilhub zurückgelegt hat. Die Folge dieser Einrichtung ist einerseits ein, trotz des geringen Ventilhubes von etwa 5 Millimeter, sehr lärmender Gang der Ventile, ausserdem selbstverständlich stark verspäteter Schluss der Ventile und in Folge dessen Luftverluste.

Die Druckventile sind gewöhnliche schwere Plattenventile, die in ihren Abmessungen wegen vorgekommener Brüche immer mehr verstärkt werden mussten. Hieraus folgt ein wesentlicher Mangel dieser Kompressoren. Diese ungewöhnlich schweren Ventile erfordern zu ihrer Eröffnung einen sehr grossen Ueberdruck wegen des Ventilgewichtes, welches während der Eröffnung schwebend erhalten werden muss, und dieser Ueberdruck wird zu Beginn der Ventileröffnung noch erhöht durch den erforderlichen grossen Beschleunigungsdruck. Zu diesem Nachtheil gesellt sich der weitere, dass sowohl die Querschnitte der Druckventile selbst als auch die Querschnitte der ganzen Druckleitung bis zu den Windkesseln so gering bemessen sind, dass bei normalem Betrieb der Maschinen, bei 38 Umdrehungen in der Minute, die Windgeschwindigkeit 40 Meter in der Sekunde übersteigt. Die Folge aller dieser Mängel ist die, dass in den Kompressoren ein Druck von über 7 Atmosphären auftritt, während in den Windkesseln und in der Stadtleitung der normale Druck nur 6 Atmosphären beträgt. Dieser Kompressordruck liesse sich durch richtige Bemessung der Luftquerschnitte, insbesondere durch die Ausführung richtig arbeitender Ventile und Vermeidung des Ventilüberdruckes, um etwa 10 Prozent verringern. Diesem Ueberdrucke entsprechend ist auch der Kraftaufwand der jetzt in Betrieb befindlichen Maschinen unnütz gross.

Ein weiterer Mangel dieser in Verwendung stehenden Kompressoren ist die ungenügende Kühlung während der Verdichtung. Vor den Saugventilen tropft eine geringe Menge Kühlwasser zu, wird während der Saugperiode mit angesaugt und mischt sich mit der Druckluft während der eigentlichen Wärmeentwicklung nur höchst unvollkommen, vielmehr fast ausschliesslich erst in dem letzten Augenblicke der Kompression bei der Durchströmung durch die Druckventile. Die Folge davon

ist, dass die Druckluft den Kompressor mit hoher Temperatur verlässt und in den Windkesseln eine Endtemperatur von 55 bis 60° C. herrscht. Diese Temperatur bedeutet selbstverständlich einen entsprechenden Arbeitsverlust.

Die Verhältnisse bei der Luftverdichtung liegen bekanntlich folgendermaßen: Wird gar nicht gekühlt, so erfolgt die Verdichtung adiabatisch (Fig. 11); die hiermit verbundene Wärmeentwicklung ist aber mit Rück-



**Fig. 11. Diagramm der Luftverdichtung.** sieht auf Instandhaltung des Kompressors unzulässig; die Wärme muss nach Möglichkeit abgeleitet werden. Könnte alle Wärme im Augenblick ihrer Entstehung durch Kühleinrichtungen während der Verdichtung beseitigt werden, dann würde letztere isothermisch erfolgen, was praktisch selbstverständlich nicht erreichbar ist, da Wärme durch Kühlwasser immer erst dann aufgenommen werden kann, wenn die Wärme schon entstanden, also ein bestimmter Temperaturunterschied zwischen Kühlwasser und Druckluft schon vorhanden ist.

Das Ergebniss der Luftverdichtung ist aber unter allen Umständen entsprechend isothermischer Veränderung, d. h. praktisch kann nie etwas anderes erzielt werden, als eine Luftmenge, welche der isothermischen Verdichtung entspricht, weil unter allen Umständen alle Wärme, die während der Kompression auftritt und durch das Kühlwasser nicht abgeleitet wird, doch unabänderlich später in den Windkesseln und in der langen Druckleitung verloren geht.

Diesen Verhältnissen gegenüber ist es selbstverständlich stets das richtigste, da die Wärme unter allen Umständen verloren geht, wenigstens dafür zu sorgen, dass unnützer Mehraufwand an Kraft in der Maschine verhütet wird, also während der Verdichtung durch möglichst vollkommene Kühleinrichtungen möglichst viel Wärme der Druckluft entzogen wird. Dasjenige, was meiner Erfahrung nach durch vollkommene Kühleinrichtungen erreichbar ist, ist Verdichtung nach einer Kurve, welche etwa in der Mitte zwischen adiabatischer und isothermischer liegt. Dies setzt aber sehr vollkommen wirkende Kühlvorrichtungen, insbesondere sehr feine Vertheilung des Kühlwassers während der Verdichtung, voraus. Durch weniger vollkommene Kühleinrichtungen lässt sich die Kurve etwa  $\frac{1}{3}$  näher der adiabatischen erzielen; bei mangelhaften Kühleinrichtungen erfolgt die Kompression fast unmittelbar adiabatisch. Dasjenige was in Paris an aufgewandter Kraft durch Vervollkommnung der Kühleinrichtungen erspart werden kann, beträgt etwa 10 Prozent. Auf diese

Mängel der Kompressoren werde ich bei der Angabe der betreffenden Versuchszahlen noch näher zurückkommen.

### Druckluft-Behälter.

Für die Aufspeicherung der Druckluft dienen 8 grosse Blechwindkessel von je 32,5 Kubikmeter Inhalt; ihr Zweck ist möglichste Druckausgleichung und Entwässerung der Druckluft vom mitgerissenen Kühlwasser. Die Entwässerung erfolgt in den den Kompressoren zunächst liegenden Windkesseln nur durch die grosse Geschwindigkeitsänderung, in den letzten Windkesseln aber, welche an die Stadtleitung anschliessen, ausserdem noch dadurch, dass in diese Windkessel Scheidewände eingebaut sind, welche Richtungsänderung der Luft und dadurch mechanische Wasserabscheidung bewirken. Alle einzelnen Windkessel sind mit Absperrvorrichtungen so versehen, dass jeder einzelne Windkessel ausschaltbar ist. Ebenso können auch die Kompressoren mit Umgehung der Windkessel unmittelbar in die Stadtleitung drücken.

Von vornherein möchte ich hier bemerken, dass die 2000pferdige Anlage in Paris gegenwärtig während der Nachmittags- und Abendstunden an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit angekommen ist. Zu dieser Zeit decken sich Beleuchtungs- und Industriebetrieb, und müssen alle Maschinen mit der erreichbar grössten Leistungsfähigkeit, mit etwa 2500 Pferdekraften, arbeiten. Die Verwendung der Druckluft hat in Paris bereits solchen Aufschwung genommen, dass die Anlage durch Aufstellung neuer grosser Maschinen vergrössert werden muss. Diese Maschinen sind gegenwärtig bei der Gesellschaft John Cockerill in Seraing im Bau; sie werden aber voraussichtlich vor Jahresfrist nicht in Betrieb kommen. Inzwischen muss aber die Leistungsfähigkeit der Anlage infolge des ungeheuer gewachsenen Bedürfnisses unbedingt erhöht werden. Herr Popp hat deshalb den Ausweg getroffen, dass ein sehr grosser 12 000 Kubikmeter fassender Luftbehälter angelegt wird, welcher ermöglichen soll, den Maschinenbetrieb auf längere Zeit auszudehnen, also nicht nur während der Nachmittags- und Abendstunden mit der grössten Leistungsfähigkeit zu arbeiten, sondern diesen gesteigerten Betrieb etwa auf längere Tageszeit auszudehnen und nur während der Nachtzeit mehrere Maschinen behufs Instandhaltung auszuschalten. Bei diesem Vorgange wird die Leistungsfähigkeit der Anlage von gegenwärtig 250 000 Kubikmeter auf 350 000 Kubikmeter <sup>1)</sup> täglich gesteigert werden.

<sup>1)</sup> Alle Volumangaben beziehen sich auf atmosphärische Spannung und Temperatur.

Die Anlage eines so grossen Behälters in Form von Blechwindkesseln ist kaum durchführbar, nicht nur wegen der sehr hohen Kosten, sondern insbesondere auch, weil Windkessel von 12 000 Kubikmeter Inhalt in kaum zulässiger Weise raumsperrend auftreten würden. Herr Popp hat deshalb den sehr glücklichen Gedanken gefasst, diesen grossen Behälter unterirdisch anzulegen, und zwar in Form eines unterirdischen Stollens. Es soll zu dem Zwecke ein eisernes Schachtrohr 80 Meter tief niedergebracht und von diesem Schachtrohr aus ein Stollen von 12 000 Kubikmeter Inhalt getrieben werden. Letzterer soll luftdicht ausgemauert und mit Blei verkleidet werden; das Schachtrohr aber soll über Tags mit einem Wasserbehälter in beständiger Verbindung stehen und Schachtrohr und Stollen mit Wasser gefüllt werden, so dass alle Luft, die in diesen Behälter eingepumpt wird, erst das Wasser verdrängen und daher unter einem konstanten Druck von 8 Atmosphären sich befinden muss. Das Druckrohr der Kompressoren wird gleichfalls durch das Schachtrohr in den unterirdischen Stollen geführt.

Das Gelingen dieses unterirdischen Behälters ist, wenn nicht ganz ungünstige Gesteinsverhältnisse unerwartet auftreten, nicht zu bezweifeln. Er wird die früher erwähnte Steigerungsfähigkeit der ganzen Anlage zur Folge haben, weiter aber auch den grossen Vortheil, dass nunmehr mit höherem Druck (8 Atmosphären), und zwar stetig unter diesem Druck, gearbeitet werden kann und der Maschinenbetrieb künftig nicht mehr von veränderlichen Widerständen abhängig sein wird.

Weiter wird dieser grosse Luftbehälter bei der späteren, jetzt schon in Aussicht genommenen, bedeutenden Vergrösserung der Pariser Anlage gemeinsam für mehrere Centralstationen dienen. Es ist beabsichtigt, die neu anzulegenden Druckleitungen zu einer Ringleitung zu schliessen, so dass der grosse Luftbehälter von jeder beliebigen Centralstation gespeist werden kann und in beliebige Rohrleitungen den Luftüberschuss abzugeben vermag.

---

## Druckrohrleitung.

(Fig. 12—15.)

Die Druckrohrleitungen (Fig. 12) führen gegenwärtig von der Centralstation in der Rue St. Fargeau über Ménilmontant hinunter zur Place de la République und von dort die alten Boulevards entlang bis zur Madeleinekirche, eine Strecke von etwa 7 Kilometer. Von dieser Hauptleitung aus zweigen dann die Nebenleitungen in die einzelnen Stadttheile ab.

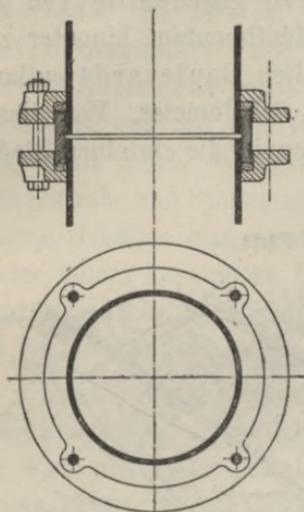
Fig. 12. Skizze der Rohrleitung in Paris.



Die Hauptdruckleitung besteht aus einem gusseisernen Rohr von 300 Millimeter Durchmesser und 10 Millimeter Wandstärke. Diese Luftleitung ist in Paris, ebenso wie die Wasserleitungen, Rohrpostleitungen und alle wichtigeren Telegraphen- und Telephonleitungen, in die unterirdisch gemauerten und fast in der ganzen Stadt gangbar eingerichteten Abzugskanäle eingebaut, und zwar ist die Luftdruckleitung gegenwärtig am First dieser Kanäle einfach aufgehängt und auf ihrer ganzen Länge sichtbar und ohne Weiteres zugänglich. Hierin liegt ein ungeheurer Vorzug gegenüber der Legung ähnlicher Rohrleitungen in anderen Städten, wo sie entweder in die Erde eingegraben oder in wenig zugänglichen gemauerten Kanälen untergebracht werden müssen. Dieser Vorzug zeigt sich gerade gegenwärtig in einer auffälligen Weise. Es wird zur Zeit nämlich ein zweiter Hauptrohrstrang von der Centralanlage

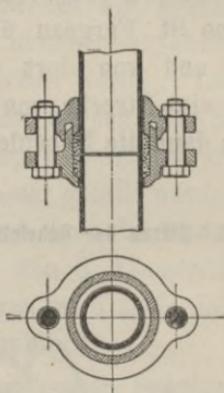
St. Fargeau aus in südlicher Richtung am Père La Chaise vorüber bis zum Bastillenplatz und von dort aus die Rue de Rivoli entlang bis zur Madeleinekirche gelegt, eine Strecke von etwa 10 Kilometer, und diese

Fig. 13. Rohrverbindung für das 300 Millimeter Hauptrohr.



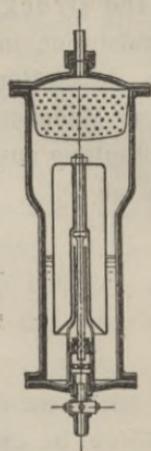
Maassstab 1 : 15.

Fig. 14. Rohrverbindung für die Zweigleitungen.



Maassstab 1 : 15.

Fig. 15. Wasserabscheiden für die Hauptleitung.



Maassstab 1 : 12.

neue Hauptleitung wird an der Madeleine mit der früher erwähnten älteren Leitung zu einer Ringleitung geschlossen werden. Diese Rohrlegung ist gegenwärtig im Bau, ohne dass irgendwo das Pflaster aufgerissen oder eine Störung hervorgerufen wird. Die Röhren werden einfach durch die Zugangsschächte eingelassen; in den Abzugskanälen schwimmt auf dem Abzugswasser ein Kahn, und mittelst dieses werden die Röhren an den Ort ihrer Befestigung gebracht, dort an den Gewölbscheitel gehoben und aufgehängt, ein Vorgang, so einfach und störungsfrei, dass jede andere Stadt Paris um das hochentwickelte Kanalsystem nur beneiden kann. Wenn man dem gegenüber das Durcheinander von eingegrabenen Rohrleitungen anderer Städte und das Gewirr von unzähligen Drahtleitungen in der Luft vergleicht, so wird der Vortheil, welchen die Pariser Kanalanlage zulässt, in augenscheinlichster Weise klar, umsomehr, als die unaufhaltsamen Fortschritte die Planlosigkeit in Rohr- und Drahtlegungen in anderen Städten in absehbarer Zeit unhaltbar machen werden.

In Bezug auf die Einzelheiten der Rohrleitung muss ich im Gegensatz zu den früher erwähnten Unvollkommenheiten der Maschinen der Centralanlage hervorheben, dass alles, was auf diese praktischen Einzelheiten Bezug hat, — d. i. die gesammte Rohrleitung, alle Abzweigungen,

die Vertheilung der Zweigleitungen in den Häusern und alles, was mit der Abgabe der Druckluft in Verbindung steht, — in vollkommener Weise und hervorragend praktisch durchgeführt ist; und zwar ist für den Fachmann ohne Weiteres erkenntlich, dass die Einzelheiten nicht der augenblickliche Entwurf eines einzelnen Konstrukteurs, sondern die Frucht langjähriger Ueberlegungen und Versuche sind. Die Vermuthung, dass hier alle Einzelheiten aus langjährigen Erfahrungen hervorgegangen sind, habe ich auch besonders bestätigt gesehen beim Studium verschiedener Einzelkonstruktionen, welche den jetzigen vorangegangen sind und die Erfahrungen für die jetzige Einrichtung geliefert haben.

Auf alle diese Einzelheiten hier einzugehen, ist unmöglich. Ich kann nur einige bezeichnende Beispiele im Laufe des Folgenden erwähnen.

Die Rohrverbindung der Druckleitung ist aus Figur 13 und 14 ersichtlich. Die Druckröhren bestehen für die Hauptleitung aus ganz glatten gusseisernen Röhren ohne Flansch, ohne Muffe und ohne Bearbeitung. Die Rohrenden haben genügenden Spielraum, und über die Fuge ist eine geschlossene Muffe geschoben und durch zwei Ringe mit vier Schrauben gedichtet, indem an beiden Seiten der Muffe ein Gumming eingeklemmt ist. Bei den Zweigleitungen ist eine stopfbüchsenartige Verbindung (Fig. 14) angewandt mit nur zwei Befestigungsschrauben. Diese Rohrverbindungen gestatten sehr einfache Aufstellung und vor allem beliebige Auswechslung jedes einzelnen Rohrstückes ohne jede Demontirung der anschliessenden Rohrstücke und beliebigen Einbau von Abzweigungsstücken und Absperrungen; sie ermöglichen auch die ganz ungehinderte Wärmeausdehnung der Leitung. Im Zusammenhang mit der sehr bequemen Anbringung der Hauptleitung in den gemauerten Abzugskanälen, wo sie durchaus sichtbar und zugänglich am Gewölbe hängen, gestaltet sich dies zur vortheilhaftesten Anordnung, indem die ganze Leitung überhaupt wenig Störungen ausgesetzt ist, jede Störung auch sofort gesehen und geprüft werden kann. In der That ist die Leitung, so weit ich sie zu sehen Gelegenheit hatte, vollkommen dicht, und dürften Luftverluste wahrscheinlich in der ganzen langen Rohrleitung kaum vorkommen, wenigstens können sie mit sehr geringer Mühe und Aufmerksamkeit vermieden werden.

Die jetzt bestehende Hauptleitung von 300 Millimeter Durchmesser dient gegenwärtig für die Kraftübertragung von etwa 2000 bis 2500 Pferdekraften, d. i. für die volle Ausnutzung der jetzt bestehenden Centralmaschinenanlage. Hierbei ist die Luftgeschwindigkeit, bei einer minutlich angesaugten Luftmenge von 300 Kubikmeter, nur etwa 10 Meter in 1 Sekunde und der Druckverlust am Ende der Stadtröhreleitung unter 1 Atmosphäre. Für genaue Ermittlungen dieser Verhältnisse konnte ich

nicht Zeit gewinnen. Bei geringer Beanspruchung der Druckrohrleitung, etwa in den Morgenstunden, ist der Druckverlust Null.

Die Druckverhältnisse in der Rohrleitung werden laufend durch selbstthätig registrirende Manometer in der Centralstation und an den wichtigsten Abzweigungsstellen verzeichnet.

Die Rohrleitung ist in Entfernungen von etwa 100 Meter mit selbstthätigen Entwässerungen versehen, welche dasjenige Wasser abscheiden, das durch die Windkessel der Centralstation nicht vollkommen abgeschieden sein sollte. Diese Wasserabscheidung erfolgt weniger deshalb, weil ein Einfrieren dieser Leitungen zu befürchten wäre — in unterirdischen Hauptleitungen ist dies nicht zu besorgen —, sondern hauptsächlich deshalb, weil das nicht ausgeschiedene Wasser sich in den Gefällsbrüchen ansammeln und dort entweder Querschnittsverengungen der Druckleitung oder aber Störungen im Betrieb der benachbarten Luftmaschinen verursachen könnte. Diese selbstthätigen Entwässerungen bestehen aus einfachen, in die Rohrleitung eingebauten Gussstücken mit einer Querwand, welche eine plötzliche Richtungsänderung der Luft erzwingt; unter dieser Querwand befindet sich ein Wassersack, der durch ein Sieb abgeschlossen ist, und unterhalb des Siebes eine selbstthätige Entwässerungsvorrichtung mit Schwimmer (Fig. 15). Der Schwimmer ist mit einem Metallrohr verbunden, letzteres seitlich durchlocht, gut geführt und nach unten durch eine Stopfbüchse gedichtet. Das Sieb hat den Zweck, von der Vorrichtung allfällige Verunreinigungen aus der Rohrleitung fern zu halten. Die Entwässerungsvorrichtungen arbeiten selbstthätig ohne Störung und ohne Luftverlust.

Bevor ich nun zur näheren Besprechung der Einrichtungen übergehe, welche zur Verwerthung der Druckluft dienen, möchte ich noch das wesentlich Neue der Centralanlage im Grossen und Ganzen hervorheben, und zwar im Gegensatz zu den bisher auf technischem Gebiete vielfach in Verwendung gestandenen Anlagen, welche gleichfalls der Erzeugung und Ausnutzung der Druckluft dienen.

Die Verwendung von Druckluft war von jeher und ist auch jetzt noch eine sehr ausgedehnte im Bergbau und Tunnelbau. Die dort erzielten Erfahrungen in Bezug auf Betriebskosten und Wirkungsgrad der Luftübertragung sind bekanntlich sehr ungünstige. Durchschnittlich musste man sich bei Bergbauanlagen mit einem Nutzeffekt von unter 0,2 begnügen, und selbst bei den grossartigen Anlagen für Tunnelbetrieb ist man auf viel höheren Wirkungsgrad nicht gekommen. Alle diese Druckluftanlagen für Bergbauzwecke strebten aber überhaupt die billigste Erzeugung der Druckluft in erster Linie nicht an, konnten dies auch nicht wohl, da mit Rücksicht auf die Kosten meist nur mit unvollkommenen

Maschinen und fast immer nur mit kleinen Maschinen gearbeitet werden musste. In erster Linie wurde bei diesen Betrieben überwiegend nur Zeitgewinn angestrebt, und nebenbei wurde der Hauptvorteil der Druckluft ausgenutzt, d. i. ihre bequeme, sichere und gefahrlose Verwendung. Die Maschinen, mit welchen im Bergbau gearbeitet wurde, und zwar sowohl die Kraftmaschinen zum Betriebe der Kompressoren als auch letztere selbst und ebenso die Luftmaschinen, waren fast durchgängig unvollkommen. Grosse Maschinen, d. h. grosse einzelne Maschinen von vielen hundert Pferdekräften, die ja allein einen vorteilhaften Wirkungsgrad und billigen Betrieb zulassen, wurden für Bergbauzwecke nie verwendet, und selbst die grossen bisher ausgeführten Maschinenanlagen für Tunnelbauten entsprechen auch nicht entfernt den Bedingungen des sparsamsten Betriebes, weil auch bei diesen grossen Anlagen überwiegend verhältnissmässig kleine Einzelmaschinen Verwendung fanden und die ganze Anlage und alle Einzelheiten vom angestrebten Zeitgewinn in erster Linie beherrscht wurden und demgemäss unvollkommen ausgeführt werden mussten, wie es auch die Natur solcher vorübergehender Anlagen bedingt.

Im Gegensatz hierzu ist aber hervorzuheben, dass für eine Centralstation, welche bei ununterbrochenem Betrieb mehrere tausend Pferdekräfte in Form von Druckluft zu liefern hat, ganz selbstverständlich keine anderen Maschinen Verwendung finden werden als die nach dem heutigen Stand der Erfahrung vorteilhaftesten, d. s. grosse Dampfmaschinen mit möglichst geringem Dampfverbrauch und höchstem Wirkungsgrad bei geringstem erreichbarem Kohlenverbrauch.

Hierin liegt der Hauptvorteil der centralisirten Krafterzeugung. Während mit vielen kleinen Maschinen für einen grossen Fabrikationsbetrieb überhaupt nicht vorteilhaft gearbeitet werden kann, ist die grosse Centralanlage befähigt, die Kraft mit den geringsten Betriebskosten zu erzeugen, und mit einem Wirkungsgrade, wie er durch einzelne kleine Maschinen niemals erzielt werden kann.

Der Wirkungsgrad der gesammten Anlage einschliesslich der Stadtleitung wird sich dann hauptsächlich danach richten, in welcher Weise durch vollkommene Mittel die in der Centralstation in billigster Weise erzeugte Druckluft für weitere Arbeitszwecke in Luftmaschinen ausgenutzt werden kann.

---

## Anwendung der Druckluft in Paris.

(Fig. 16 und 17.)

Ueber die Einrichtungen zur Kraftabgabe durch Druckluft in Paris möchte ich bei der grossen Ausdehnung und Reichhaltigkeit der Einrichtungen, die ich an Ort und Stelle zu studiren Gelegenheit hatte, nur das Folgende hervorheben:

Zunächst ist Druckluft mit Vermeidung eigentlicher Maschinen einer unmittelbaren Anwendung durch unmittelbare Ausnützung der Luftpressung fähig. Die ausgedehnteste Verwendung in dieser Beziehung bildet in Paris der Betrieb der pneumatischen Uhren, von denen gegenwärtig über 8000 in Verwendung sind, die zu ihrem Betriebe einen Luftverbrauch von 180 Kubikmeter in der Stunde erfordern. Die Vorrichtungen für die Luftvertheilung und für die Regulirung des Uhrenbetriebes befinden sich gegenwärtig in der Rue St. Anne; von dort aus zweigen 10 Hauptleitungen von je 27 Millimeter Durchmesser ab und von diesen die Zweigleitungen zu den einzelnen Uhren, bis herab zu 2 bis 3 Millimeter Lichtweite. Die Einrichtungen hierfür sind gleichfalls musterhafte. Der ganze Betrieb erfolgt seit langen Jahren vollkommen selbstthätig und erfordert nichts als die laufende Berichtigung der Kontrolluhren nach genauer astronomischer Zeit. Für Paris sind diese Luftuhren ein Bedürfniss geworden; sie haben sich nicht nur für öffentliche Zwecke, sondern auch für Privatgebrauch vollständig eingebürgert.

Besondere Verwendung der Druckluft wird in der „Banque de France“ gemacht, für den Betrieb einer eigenen Rohrpost zur Verbindung der einzelnen Bureauräume unter einander. Eine ebensolche Rohrpostanlage ist ausgeführt im „Crédit Lyonnais“. Ausserdem lässt dieses Institut gegenwärtig eine grosse Luftdruckeinrichtung ausführen, durch welche aus den Kellern die Dépôts in die Bureauräume geblasen werden können, und zwar in viereckigen Röhren von so grossem Querschnitt, dass die Dépôt-koffer auf einem Wagen, vom Luftdruck getrieben, durch diese Röhren gerollt werden.

Eine Verwendung in kleinem, aber sehr ausgedehntem Maasse hat die Druckluft in Paris für das unmittelbare Fortdrücken von Flüssigkeiten gefunden, beispielsweise, um Bier aus den Kellern zu den Schänktischen mit Umgehung der bisher üblichen Bierpumpen zu drücken, einfach durch Anschluss eines Luftröhrchens an das Fass, so dass der Luftdruck unmittelbar das Fass entleert. In gleicher Art sind gegenwärtig sehr zahlreiche Installationen in den grossen Weinhallen

ausgeführt, insbesondere beim Bahnhof Bercy, zum Zwecke, Weine aus den Kellern unmittelbar in die Versandfässer zu drücken.

Weiter steht in Aussicht, dass in Paris alle bisher mit Druckwasser betriebenen Aufzüge auf Luftbetrieb eingerichtet werden. Es giebt in Paris in den Gasthöfen und Geschäftshäusern kaum andere Aufzüge als solche, bei denen Wasserdruck, auf einen Plunger wirkend, unmittelbar diesen und die darauf befindliche Plattform auf beliebige Stockwerkshöhe hebt. 1 Kubikmeter Druckwasser kostet aber in Paris 32 Centimes, 1 Kubikmeter Luft — auf Atmosphärenspannung bezogen — hiergegen nur  $1\frac{1}{2}$  Centimes, welcher Preisunterschied es ohne Weiteres erklärlich macht, dass der Betrieb dieser Aufzüge in Luftbetrieb umgewandelt werden wird. Gegenwärtig sind schon mehrere solcher Aufzüge umgestaltet, und zwar ohne jede Veränderung ihrer Einzelheiten. Es bleibt sogar das Wasser in dem eigentlichen Druckcylinder erhalten, und zwar zu dem Zwecke, die Stopfbüchsdichtung und die Bremsung beim Niederlassen der Fahrstühle unverändert zu erhalten; die Luft drückt nur ausserhalb des eigentlichen Arbeitcylinders auf die Wassersäule.

Ein Beispiel unmittelbarer Verwendung der Druckluft will ich noch hervorheben, die ein Arzt dort durchführte, um Lungenkranke und Ohrenkranke in verdichteter Luft zu behandeln; derselbe liess zu diesem Zwecke elegant ausgestattete Kabinen für pneumatische Bäder, mit Luftüberdruck bis  $\frac{1}{2}$  Atmosphäre, einrichten.

So klein im Einzelnen die unmittelbare Verwendung der Druckluft auch sein mag, d. h. so kleine einzelne Betriebe die bezüglich der Einrichtungen auch betreffen, so ist doch kein Zweifel, dass diese Verwendung der Druckluft eine grosse Zukunft hat, weil in gleich einfacher Weise überhaupt keine andere Kraftübertragung möglich ist; es werden zweifellos hierbei noch Verwendungen der Druckluft auftauchen, die heute noch nicht in den Bereich der Möglichkeit einbezogen werden können.

### Luftmaschinen.

Noch vielgestaltiger ist jetzt schon in Paris die Ausnutzung der Druckluft für Maschinenbetrieb. Die Ausnutzung erfolgt in ganz gewöhnlichen Maschinen, die sich in ihrer Konstruktion und Verwendungsweise von Dampfmaschinen nicht unterscheiden. Der Unterschied liegt eben nur darin, dass der Kolben der Maschine nicht durch Dampf, sondern durch Druckluft betrieben wird. Bei sehr vielen Einrichtungen sind überhaupt keine neuen eigentlichen Luftmaschinen aufgestellt worden, sondern alte vorhandene Dampfmaschinen, die früher von Dampf-

kesseln gespeist wurden, werden jetzt mit Druckluft betrieben, und die Dampfkessel wurden ausser Betrieb gesetzt.

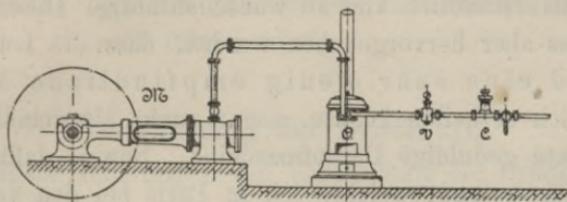
Die in Verwendung stehenden Luftmaschinen bis zu 2 Pferdekraften sind mit rotirenden Kolben ausgeführt, und zwar von 3 Kilogramm-Meter Leistung angefangen bis zu etwa  $\frac{1}{2}$  Pferdekraft ohne selbstthätige Regulirung, bei grösseren Leistungen mit selbstthätigem Regulator, der auf eine Drosselklappe in der Luftzuleitung einwirkt. Maschinen von 2 Pferdekraften aufwärts bis zu 100 Pferdekraften und darüber sind ganz so ausgeführt wie gewöhnliche Dampfmaschinen mit Kurbeltrieb; bis zu 40, 50 Pferdekraften eincylindrig, für grössere Leistungen oder für gleichförmigeren Gang als Zwillingsmaschinen. Die Steuerung der Maschinen erfolgt wie gewöhnlich durch Doppelschieber. Die meisten der in Paris in Verwendung stehenden Maschinen sind englischen Ursprungs, mit Expansionssteuerungen, bei welchen der Expansionschieber durch Doppelexcenter und Kulisse angetrieben und der Kulissenbacken selbstthätig durch einen Regulator verstellt wird.

Alle diese Konstruktionen muss ich übergehen; ich erwähne nur die eigenthümliche Aufstellungs- und Verwendungsart und die ganze Ausrüstung, welche die Luftleitungen zum Zweck ihres Anschlusses an die Luftmaschinen erfahren. Auch hier muss ich wieder hervorheben, dass alle Einzelheiten in praktisch sehr zweckmässiger Weise und wohl durchdacht durchgeführt sind.

Die gewöhnliche Anordnung grösserer Maschinen ist die folgende (Fig. 16): Die Zweigleitung, gewöhnlich aus Blei, wird in das Innere des Gebäudes hineingeführt und in diese zunächst ein Absperrhahn eingeschaltet. Nach dem Absperrhahn ist ein Sieb in die Rohrleitung eingeschaltet, welches den Zweck hat, allfällige Verunreinigungen, die aus der Rohrleitung kommen, von den Luftmaschinen abzuhalten. Dann kommt, jedoch nur bei solchen Maschinen, bei denen es auf gleichmässige Erhaltung des Betriebsdruckes ankommt, eine Erweiterung der Luftleitung, ein Windbeutel, so dass der augenblickliche Luftverbrauch bei jedem Hube der Maschinen keine nennenswerthen Schwankungen der Pressung im Luftzuleitungsrohre hervorrufen kann. Weiter ist in die Leitung eingeschaltet ein Luftmesser, der die verbrauchte Luft in Kubikmetern anzeigt. Die Bezahlung erfolgt in der Regel nach der Anzeige des Luftmessers, wenn nicht die ganze Anlage auf Gesamtpreis für einen bestimmten Betriebszweck angelegt wird. Die Luftmesser arbeiten mit leichten Flügelrädern, die nach grossen Normaluhren geaicht werden. Ihre Angaben sind, wie ich mich überzeugte, sehr zuverlässig, und ihre Ausführung zeigt wieder die Summe langjähriger Erfahrungen.

Weiter ist in die Druckleitung eingeschaltet ein Druckregulator. Die Luftpressung in den Hauptleitungen beträgt 6 Atmosphären.

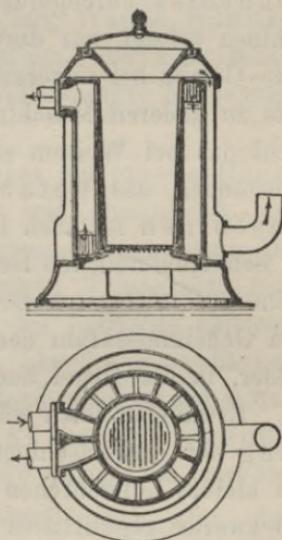
Fig. 16. Anordnung einer Luftmaschine mit Vorwärmofen.



C = Luftmesser, V = Reduzir-Ventil, O = Vorwärmofen, M = Luftmaschine.

Die Luftmaschinen werden aber durchgängig nur mit 4 bis  $4\frac{1}{2}$  Atmosphären betrieben, in richtiger Würdigung des Umstandes, dass bei den meisten Maschinen im Laufe der Zeit oder gelegentlich wesentliche Steigerung der Leistungsfähigkeit nöthig werden wird. Die Luftmaschinen sind daher für den Betrieb mit 6 Atmosphären Luftdruck oder noch höherem Druck eingerichtet, werden aber gegenwärtig nur mit dem erwähnten verminderten Drucke betrieben, um die Steigerungsfähigkeit jederzeit zu sichern. Diese Druckregulierung erfolgt durch Reduzirventile, bestehend aus einsitzigen Ventilen mit Entlastungskolben, ohne jegliche Dichtung eingeschliffen und in Verbindung mit einer Hebelübersetzung mit Gewichtsbelastung. Das Gewicht kann für veränderlichen Reduktionsdruck beliebig eingestellt werden. Diese Reduzirventile wirken, wie ich mich überall überzeugte, sehr vollkommen und halten den Druck nach Wunsch ganz gleichmässig, auch bei starker Veränderlichkeit der Entnahme oder Veränderungen des Luftdruckes in der Leitung. Diese zuverlässige Wirkung ist zweifellos die Folge der sehr einfachen, wohl durchdachten Anordnung und eine Folge des Umstandes, dass diese Ventile keinerlei Temperaturveränderungen ausgesetzt sind.

Fig. 17. Vorwärmofen.



Die Luftmaschinen sind in verschiedenartigster Weise aufgestellt und in den äusserst beschränkten Räumlichkeiten, wie man sie nur in den alten Häusern in Paris findet, oft in unglaublicher Weise angebracht. Grosse Luftmaschinen für den Betrieb von Beleuchtungsanlagen sind in den engsten Kellern und Gängen, Betriebsmaschinen für kleine Werkstätten an den Decken, Fensterrahmen, am Gebälk und dergl. so unter-

gebracht, wie man eine andere Maschine, etwa eine Dampfmaschine oder selbst eine Gasmaschine, niemals aufstellen könnte. Die Zugänglichkeit der Maschinen lässt bei solchen beschränkten Räumlichkeiten nach unsern Begriffen selbstverständlich viel zu wünschen übrig. Diesen Verhältnissen gegenüber muss aber hervorgehoben werden, dass die Luftmaschine anscheinend eine sehr wenig empfindliche Maschine ist und, so weit ich urtheilen konnte, sogar mehr Misshandlungen zulässt, als die berühmte geduldige Dampfmaschine. Beweis dafür ist das Maschinistenpersonal, welches ich in Paris bei den verschiedenartigsten Betrieben vorfand, bestehend aus Kellnerjungen, Handlungsdienern, Handlangern und dergleichen Persönlichkeiten, die in Bezug auf Sachkenntniss und Gewissenhaftigkeit bei der Instandhaltung dieser Maschinen gewiss alles zu wünschen übrig lassen. Hierin liegt ein Hauptvorthail des Luftbetriebes, dass er ohne wesentliche Sachkenntniss durchgeführt werden kann; die Inbetriebsetzung der Maschinen erfolgt nur durch Oeffnung des Lufthahns, ohne dass irgendwie eine Gefahr bei unverständiger Bedienung entstehen könnte, im Gegensatz zu anderen Maschinenbetrieben. Die Luft ist eben in dieser Hinsicht das bei Weitem sicherste Kraftübertragungsmittel und unter allen Umständen das gefahrloseste, und die Handhabung von Luftmaschinen ist auch für den Unverständigen erreichbar, im Gegensatz zu den empfindlichen Detailkonstruktionen anderer Maschinen, deren Verständniss in breiten Schichten bisher noch vollkommen fehlt und durch den Geheimnisskram der Installateure solcher Anlagen, sehr zum Schaden dieser, in der Regel auch in keiner Weise gefördert wird.

Erwähnenswerth wäre die Einrichtung für selbstthätige Schmierung der Luftmaschinen, bestehend aus einem Schmiertopf, der durch ein kleines Luftröhrchen an die Druckleitung angeschlossen ist und durch ein zweites regulirbares Röhrchen das Schmieröl zum Luftcylinder führt. Letztere Regulirung wird ein für allemal für tropfenweise Zuführung des Schmieröls eingestellt und die Luftleitung bei Ingangsetzung der Maschine geöffnet. Diese Schmiervorrichtungen arbeiten ganz selbstthätig und verlangen vom Aufsichtspersonal nur die rechtzeitige Füllung des Schmiertopfes.

Bemerkenswerth sind auch die Einrichtungen, um geräuschlosen Auspuff der Luftmaschine zu erzielen. Auspuffende Druckluft verursacht im Allgemeinen mehr Geräusch, als auspuffender Dampf hervorrufen würde. Es sind deshalb bei allen Maschinen in das Auspuffrohr eigenthümliche Töpfe eingeschaltet, die den Auspuffschall aufzunehmen haben, was auch ohne Erhöhung des Gegendruckes vollkommen erreicht wird. Ebenso beachtenswerth sind die sehr einfachen Vorkehrungen, welche in

Paris zur Vermeidung von lärmendem Maschinengang, von Erschütterungen u. s. w. bei Aufstellung und Befestigung der Maschinen auf ihren Fundamenten getroffen sind; Vorkehrungen, die ich überall von vollem Erfolge begleitet sah, deren ausführliche Besprechung an dieser Stelle aber zu weit führen würde.

### Vorwärmung der Druckluft.

Die wichtigste Neuerung in der Verwendung der Druckluft für Kraftabgabe liegt in Folgendem: Die Wärme, welche bei der Verdichtung der Luft in der Centralanlage entsteht, geht derselben unter allen Umständen verloren, sei es durch das Kühlwasser, sei es durch Strahlungsverlust in der langen Druckleitung. An die Verwendungsstelle gelangt daher die Luft stets mit gewöhnlicher Temperatur. Würde diese Druckluft in einer Luftmaschine unter Ausdehnung Arbeit verrichten, so müsste in gleichem Maasse, wie vorher bei ihrer Verdichtung Wärme entwickelt wurde, bei ihrer Ausdehnung Kälte erzeugt werden, und zwar müsste beispielsweise bei 4 Atmosphären Luftdruck und vollständiger Ausdehnung eine Abkühlung von etwa  $70^{\circ}$  auftreten.

Diese Eigenschaft der Druckluft war von jeher ein grosses Hinderniss ihrer Verwendung, deshalb, weil jede Luft wasserhaltig ist, auch dann, wenn mit mechanischen Mitteln das mitgerissene Wasser zum Ausscheiden gezwungen wurde. Unter dieser niedrigen Temperatur muss daher selbstverständlich Eisbildung im Laufe des Betriebes eintreten, welche sich insbesondere in den Auspuffröhren, aber ebensowohl auch schon im Luftcylinder oder dessen Steuerung geltend machen und störend auftreten kann. Es ist deshalb schon aus praktischen Gründen nöthig, diese Eisbildung durch Vorwärmung der Luft zu verhüten.

Weiter ist aber nach den theoretischen Verhältnissen klar, dass, wenn Druckluft von gewöhnlicher Temperatur ohne Vorwärmung in Luftmaschinen sich ausdehnt, diese Ausdehnung ohne Wärmezuführung nahezu *adiabatisch* erfolgen wird. Es würde also in den Luftmaschinen neuerdings ein Kraftverlust eintreten, der sich durch den Unterschied zwischen isothermischer und *adiabatischer* Zustandsänderung ergibt. Nur durch genügende Wärmezuführung wird dieser neue Verlust vermieden werden können. Wenn der Druckluft vor ihrer Verwendung in Luftmaschinen so viel Wärme zugeführt wird, dass die Expansion der Luft in den Luftmaschinen *isothermisch* erfolgt, dann wird kein neuer Kraftverlust während der Ausdehnung auftreten.

Die Vorwärmung der Druckluft vor ihrer Verwendung hat daher den doppelten Zweck, einerseits die Eisbildung zu verhüten,

andererseits aber so viel Wärme zuzuführen, als ohne Auftreten von Unzuträglichkeiten möglich ist, in der Absicht, hierdurch geringeren Luftverbrauch bezw. grössere Kraftausnutzung zu erzielen. Es ist selbstverständlich, dass der Druckluft vor ihrer Ausnutzung auch eine so grosse Wärmemenge zugeführt werden kann, dass durch die Druckluft mehr Arbeit nutzbar erhalten werden kann, als bei ihrer Verdichtung aufgewandt wurde. Es ist dies einfach eine Kostenfrage bezw. eine Detailfrage, insofern als es sich darum handelt, ob die konstruktiven Mittel zur gesteigerten Vorwärmung der Luft für die praktische Verwendung einfach genug werden. Jede beliebige Wärmemenge kann der Druckluft zugeführt, also auch jeder beliebige Arbeitsgewinn erzielt werden, aber mit Aufwand der erforderlichen Mittel und einer bestimmten Brennstoffmenge für die Vorwärmung.

Bei den Einrichtungen in Paris erfolgt die Vorwärmung der Luft durch einfache Oefen mit Kohlen- oder Koksfeuerung. Diese Oefen, Fig. 17, bestehen aus einem doppelwandigen Gusseisencylinder, an welchen Radialrippen angegossen sind; letztere sind oben und unten derartig durchbrochen, dass die einströmende Druckluft in den einzelnen durch diese Rippen gebildeten Zellen auf- und niederströmen muss und dadurch von den Wandungen Wärme aufnimmt.

Die Vorwärmung der Luft erfolgt in der Regel von gewöhnlicher Temperatur auf etwa 150—170°. Hierbei sind so geringfügige Abmessungen dieser eisernen Oefen erforderlich, dass deren Anbringung auch in den beschränktesten Räumlichkeiten keinerlei Hinderniss für die Anwendung der Druckluft bildet. So z. B. besteht ein solcher Wärmofen für eine 1pferdige Maschine aus einem gusseisernen Topf von 300 Millimeter Höhe und 200 Millimeter äusserem Durchmesser. Der Ofen für eine 40pferdige Dampfmaschine ist ein Cylinder von 750 Millimeter Höhe und 450 Millimeter äusserem Durchmesser. Das sind so geringfügige Maasse, dass die Aufstellung dieser Oefen hinsichtlich der Raumfrage keine Schwierigkeiten bereiten kann.

Die Heizung erfolgt durch ein schwaches Kohlenfeuer auf einem Planrost im Innern des Heizofens; der Heizofen ist oberhalb durch einen Deckel mit Sandverschluss geschlossen, und die Heizgase gehen seitlich in irgend welchen Abzugskanal. Für die Zwecke des Anheizens oder zur Steigerung des Feuers ist im Rauchrohr eine kleine Düsenvorrichtung eingeschaltet, in welche durch ein kleines Luftröhrchen, vom Hauptrohr abzweigend, Zugluft eingeblasen werden kann.

Den Betrieb dieser Vorwärmöfen habe ich bei allen Anlagen in sehr einfacher Weise gefunden. Das Kohlenfeuer brennt ganz mässig und wird nur in Zeiträumen von mehreren Stunden neubeschickt. Bedienungs-

schwierigkeiten konnte ich nirgends finden. In vielen Fällen fand ich auch die Wärmöfen überhaupt nicht in unmittelbarer Nähe der Maschinen, sondern oft in entfernten Räumlichkeiten vor. So z. B. war in einzelnen Restaurants der Vorwärmofen in der Küche aufgestellt und wurde mit Abfällen der Küchenheizung beschickt, und die vorgewärmte Luft wurde in die Kellerräume geleitet, wo die Luftmaschine sich befand.

Die Vorwärmöfen für kleine Maschinen, unter  $\frac{1}{2}$  Pferdekraft, sind zum geringen Theil auch als Gasöfen ausgeführt, bestehend aus kleinen gusseisernen Dosen mit Umlaufkanälen und mit innenliegender Gasheizung. Diese Gasöfen sind jedoch seltener und verursachen höhere — ungefähr dreifache — Betriebskosten.

Entscheidend für die Verwendbarkeit dieser Vorwärmung sind die Kosten. Diese aber sind erstaunlich gering, so gering, dass sie sich durch einen einzelnen mehrstündigen Versuch an kleineren Luftmaschinen nicht genau bestimmen lassen, sondern nur durch Betriebsergebnisse, die sich auf längere Zeit beziehen, also beispielsweise durch Feststellung des durchschnittlichen Kohlenverbrauches für eine ganze Betriebswoche. Hierbei ergibt sich, dass die Kosten dieser Vorwärmung bei kleinen Maschinen, unter 10 Pferdekraften, ungefähr 1 Centime für 1 Stunde und Nutzpferdekraft der Luftmaschine betragen, welcher Verbrauch auf  $\frac{1}{2}$  Centime für 1 Stunde und Pferdekraft bei grösseren Maschinen, über 20 Pferdekraften, heruntersinkt. Diese Kosten betragen ungefähr  $\frac{1}{30}$  bis  $\frac{1}{40}$  der gesammten Luftkosten. Das ist so gering, dass praktisch diese Kosten für kleine Anlagen als Null angenommen und bei der späteren Kostenberechnung vernachlässigt werden können.

Hierin liegt eine wesentliche Neuerung in der Verwendung der Druckluft. Die Eigenschaften der Druckluft, und zwar sowohl die guten als auch die schlechten, sind ja bekannt. Druckluft war, wie erwähnt, für Bergbauzwecke von jeher in grossem Maassstabe in praktischer Verwendung; aber man hat die ungünstigen Eigenschaften der Luft, d. i. den Kraftverlust bei ihrer Verdichtung und die Kältebildung bei ihrer Ausdehnung, als unvermeidliche Mängel hingenommen, ist vor diesen Mängeln stehen geblieben oder wohl gar umgekehrt und hat nichts oder nur Unvollkommenes, in vielen Fällen sogar Verkehrtes unternommen, um den vermeintlich unvermeidlichen Feind zu bekämpfen. So z. B. erinnere ich mich, bei Bergbauanlagen, bei welchen in unterirdischen Haspeln oder Pumpen Druckluft ausgenutzt werden sollte, verschiedene höchst unvollkommene Einrichtungen zur Verhütung der Eisbildung in diesen Maschinen gesehen zu haben. So fand ich Maschinisten, welche die Eisbildung durch eigene Kohlenheizung rings um das Auspuffrohr

bekämpften, und wieder andere, welche die Auspuffröhren nach dem Muster von Wasserleitungsröhren und Dachrinnen mit schlechten Wärmeleitern dicht umhüllten, wobei das Einfrieren selbstverständlich erst recht sicher erfolgen musste. In einer belgischen Grube fand ich eine Luftmaschine, bei welcher die Eisbildung dadurch verhütet wurde, dass der Luftcylinder mit einem weiten Blechmantel umgeben und innerhalb desselben gebrannter Kalk gelöscht wurde.

Diese und ähnliche verkehrte Einrichtungen sind eben nur möglich, wenn Ursache mit Wirkung verwechselt wird, und die Maschinisten verfallen nicht selten, ohne nähere Kenntniss der Ursachen, auf solche merkwürdige Einrichtungen, welche die Wirkungen statt der Ursachen kuriren wollen.

Soweit meine Kenntniss reicht, ist die weitestgehende und bisher mit den vollkommensten Mitteln arbeitende Verwendung der Druckluft für Bergbauzwecke auf der Grube Levant du Flény bei Mons durchgeführt und von Cornet in der belgischen Literatur ausführlich bekannt gemacht worden. Dort wurde die Wärmezuführung während der Expansion der Druckluft dadurch bewirkt, dass warmes Grubenwasser, aus einem in Brand gerathenen Abbau, in die Luftcylinder eingespritzt und dabei durch eigene Strahlapparate fein zerstäubt wurde. Durch diese Verkehrung wurde bei ziemlich weitgehender Ausnutzung der Druckluft durch Expansion die Belästigung durch Eisbildung verhütet. Aber selbst diese, meines Wissens vollkommenste bisherige Einrichtung zur Wärmezuführung beweist, dass man in der Bekämpfung der Uebelstände nicht weit genug gegangen ist und auch bei dieser sonst sehr vollkommenen Anlage sich doch mit unvollständigen Mitteln begnügte, weil solche Anlagen für Bergbauzwecke fast immer zu sehr der Forderung geringster Anlagekosten entsprechen müssen, und wohl auch nur selten Gelegenheit und Mittel für eingehende Versuche zur Verfügung stehen.

Der Vergleich mit den unvollkommenen Einrichtungen, die man für Bergbauzwecke bei der Ausnutzung der Druckluft bisher verwandte, bringt mir auch eine andere Konstruktion in Erinnerung; sie wurde Ende der 70er Jahre für eine grössere Druckluftanlage von etwa 80 Pferdekraften geplant, bei welcher von vorn herein die möglichst vortheilhafte Ausnutzung der Druckluft Hauptsache war. Bei dieser Anlage brachte ich in Anregung, die Druckluft obertags durch vollkommene Verbundmaschinen zu erzeugen und untertags durch vertheilte Expansion in zwei Luftcylindern auszunutzen, ähnlich wie bei Verbundmaschinen, derart, dass die Druckluft sowohl vor dem Hochdruckcylinder als auch vor dem Niederdruckcylinder, durch kräftige Heizung des Receivers, vorgewärmt wird. Für die Heizung dachte ich damals Dampf in den Mänteln der

Luftcylinder zu verwenden. Der Vorschlag wurde aber sofort als viel zu umständlich verworfen und gelangte gar nicht zu weiterem Studium. Ich muss auch sehr bezweifeln, ob die Einzelheiten beim damaligen Mangel jeglicher Erfahrung einfach genug gelungen wären, um den praktischen Betriebsanforderungen vollkommen zu entsprechen, wie ich dies jetzt in Paris kennen lernte.

Aus dem früher Erwähnten folgt, da die Vorwärmung der Luft sich erwiesenermaassen mit geringen Kosten und den einfachsten Mitteln durchführen lässt, dass demnach die Verwendung der Druckluft in ganz anderem Lichte erscheint. Was bei der Verdichtung der Luft als Feind auftritt, die Wärme, lässt sich als Freund bei der Wiederverwendung der Druckluft mit geringen Kosten durch die sehr einfach durchführbare Vorwärmung wiedergewinnen. In dieser Hinsicht ist sogar die Druckluft allen anderen Kraftübertragungsmitteln überlegen, da bei letzteren alle Verluste bei Erzeugung der Kraft oder bei Fortleitung derselben, z. B. Verluste beim elektrischen Strom durch Erwärmung der Kabel, Druckverluste bei Wasserleitungen u. s. w., unwiederbringlich verloren sind bzw. durch einfache Mittel nicht ersetzt werden können, während die Wärme-, d. i. Kraftzuführung an die Druckluft in der erwähnten Weise sehr einfach gelingt.

Die Wärme bei der Luftverdichtung bedeutet verlorene Arbeit; durch die einfache Zuführung von Wärme kann aber beliebig die Leistung der Druckluft erhöht werden. Hierin ist ein wesentlicher Fortschritt in der Verwendung der Druckluft begründet. Der Luftverbrauch der Luftmaschinen mit Vorwärmung weist, wie später angegeben werden wird, auch Zahlen auf, wie sie bisher nicht für erreichbar gehalten wurden.

Wie bereits früher hervorgehoben, kann die Vorwärmung auch weiter getrieben werden; es kann mehr Wärme zugeführt werden, als unmittelbar zur Verhütung der Eisbildung u. s. w. erforderlich ist. Diese vermehrte Wärmezuführung kann durch vermehrte Heizfläche erzielt werden; dies würde aber auf höhere Lufttemperaturen führen, die dann der Luftmaschine Schwierigkeiten bereiten könnten.

Herr Popp hat in neuester Zeit eine vermehrte Wärmezuführung durch ein einfaches Mittel durchgeführt, und zwar ohne wesentliche Temperaturerhöhung, dadurch, dass in die Vorwärmungsöfen Wasser eingespritzt wird. Durch dieses verdampfende Wasser wird den Oberflächen des Wärmofens eine grössere Wärmemenge entzogen und mit der Druckluft der Luftmaschine zugeführt und hierdurch eine grössere Leistungsfähigkeit der Maschine bzw. ein der zugeführten Dampfmenge entsprechend verminderter Luftverbrauch

erzielt, selbstverständlich auf Kosten eines grösseren Brennstoffverbrauchs (etwa  $\frac{1}{4}$  bis 0,3 Kilogramm Kohle für 1 Stunde und Pferdekraft) im Wärmofen.

Die Vorrichtung besteht aus einem Wassertopf, welcher in steter regulirbarer Verbindung mit dem Luftrohre steht, und von diesem Wassertopf aus erfolgt, ebenfalls regulirbar, die selbstthätige tropfenweise Einspritzung des Wassers.

In dem Maasse, als mehr Wasser eingespritzt wird, wird die Endtemperatur der auspuffenden Luft erhöht. Die vermehrten Kosten der Heizung haben sich auch für diesen Betrieb als geringfügige, für praktische Zwecke wenig in Betracht kommende erwiesen. Bei diesem Vorgang der Wassereinspritzung wird die Endtemperatur des Auspuffs auch bei weit getriebener Expansion weit über Null sein, kann sogar durch vermehrte Wassereinspritzung auf beliebige Höhe, über  $100^{\circ}$ , gebracht werden, so dass die Auspuffdämpfe, gemischt mit der Auspuffluft, als Nebenprodukt auch für Heizungszwecke Anwendung finden können. In grossem Maassstabe ist diese Betriebsart der Luftmaschinen mit Einspritzung bisher in Paris noch nicht eingebürgert. Die ganze Sache ist noch im Entstehen begriffen, bedeutet aber zweifellos eine wichtige Verbesserung der Luftmaschinen und eine Vergrösserung ihrer Leistungs- und Verwendungsfähigkeit.

### Erzeugung von Kaltluft.

Von ganz ausserordentlicher Tragweite erscheint die Verwendung der Luftmaschinen für die Erzeugung von Kaltluft. Nach dem Vor erwähnten ist klar, dass Kaltluft mit jeder Luftmaschine ohne weiteres erzeugt werden kann, je nach dem Grade der Vorwärmung. Wird genügend vorgewärmt, dann kann die Luftmaschine beliebige Auspufftemperaturen über  $0^{\circ}$  liefern; wird weniger vorgewärmt, dann ist die Temperatur im Auspuffrohr beliebig unter  $0^{\circ}$ . Es hängt nur von dem Grade der Vorwärmung ab, mit welcher Temperatur die Auspuffluft die Luftmaschine verlässt und als Kaltluft für beliebige andere Zwecke, sei es als Neben- oder Hauptprodukt, Verwendung finden kann. Solche Verwendungen ergeben sich für den praktischen Betrieb in unabsehblichen Mengen, sowohl zur Kühlung als auch zur Lüftung. Lüftung wird als Nebenprodukt überhaupt bei jedem Betrieb der Luftmaschinen gewonnen, gleichgiltig ob dabei Kaltluftgewinnung mit beabsichtigt ist oder nicht. Dieser Nebenvortheil der Lüftung durch die Auspuffluft bedeutet in vielen Fällen an und für sich einen Gewinn, insbesondere bei der Aufstellung der Maschinen in dicht mit Menschen besetzten Räumlichkeiten, in Gross- und industriellen Städten.

Kaltluft kann durch Luftmaschinen erzeugt werden erstens als Nebenprodukt der Kraftgewinnung derart, dass durch eine Luftmaschine Kraft für irgend welchen Maschinenbetrieb abgegeben, aber die Vorwärmung nur so weit getrieben wird, dass die Auspuffluft eine Temperatur unter  $0^{\circ}$  besitzt, also für beliebige Kühlzwecke nebenbei benutzbar ist. In dieser Weise findet Kaltluft jetzt schon in Paris ausgedehnte Verwendung, z. B. dadurch, dass die Kaltluft von den Luftmaschinen in Wein- oder Bierkeller geleitet wird, oder die Luftmaschinen selbst in diesen Kellern zu Lüftungs- und Kühlzwecken aufgestellt werden, oder, wie beispielsweise in Cafés und Restaurants, dass die ausströmende Kaltluft in Behälter geleitet wird, in welchen Wasser oder dergleichen kostenlos zum Gefrieren gebracht wird.

Zweitens kann Kaltluft als Hauptzweck und die Kraft der Luftmaschine als Nebenprodukt gewonnen werden. Da die Luftmaschine behufs Kälteerzeugung unter allen Umständen mit Arbeitsverrichtung betrieben werden muss, so kann die erzeugte Arbeit gewonnen werden, wie es beispielsweise jetzt schon in grossem Umfange in Paris geschieht, dadurch, dass durch die Kaltluftmaschinen nebenbei Dynamomaschinen tagsüber zum Speisen von Akkumulatoren betrieben werden, welche abends für Beleuchtungszwecke Verwendung finden.

Drittens kann es vorkommen, dass Kaltluft durch Luftmaschinen erzeugt werden soll, ohne dass sich für die dabei frei werdende Betriebskraft irgend welche zweckmässige Verwendung finden lässt. In solchem Falle wird wieder der Luftmaschine die Luft entsprechend vorgewärmt zugeführt und verlässt sie mit niedriger Endtemperatur, und diese Auspuffluft findet für beliebige Kühlzwecke Verwendung. Der erforderliche Widerstand für die Luftmaschine wird aber durch einen Luft-Kompressor erzeugt, der unmittelbar von der Luftmaschine angetrieben wird. Durch diesen Kompressor wird Luft aus dem Freien angesaugt und verdichtet, die verdichtete Luft aber wieder an das Luftrohr zurückerstattet, welches die Luftmaschine speist. Hierbei kann etwa 50 % der aufgewandten Kraft in Form von Druckluft wieder zurückgehalten werden, mit anderen Worten: es kann die Kaltluft mit der Hälfte der Kraft gewonnen werden gegenüber der Betriebsart, wo die frei werdende Betriebskraft für Nebenzwecke Anwendung findet.

Für die Verwendung der Luftmaschinen zur Kaltlufterzeugung ist die möglichste Entwässerung Hauptbedingung. Diese Entwässerung wird in der Centralstation in ausgiebiger Weise bewirkt, wird ferner besorgt durch die vorerwähnten, alle 100 Meter in die Druckleitung eingeschalteten selbstthätigen Entwässerungsvorrichtungen und noch dadurch vervollständigt, dass die Druckluft, welche den Luftmaschinen zugeführt

wird und nachher als Kaltluft Verwendung finden soll, vor ihrer Zuströmung zur Luftmaschine in dem abzukühlenden Raum selbst abgekühlt wird. Bei dieser Temperaturerniedrigung können die geringen Reste Wassers genügend ausgeschieden werden.

Für diese Kaltlufterzeugung eröffnet sich der Druckluft ein unabhsehbare Feld, auf welchem ein ernster Wettbewerber, insbesondere für den Kleinbetrieb, überhaupt nicht zu entdecken ist.

Ich weiss sehr wohl, dass dagegen die Einwendung gemacht werden wird: Kaltluft kann durch andere Prozesse, insbesondere durch Vermittelung von Ammoniak u. s. w., im Gegensatz zu Druckluft mit wirtschaftlich viel günstigerem Wirkungsgrad erzeugt werden. Dies ist ganz richtig, beschränkt aber in keiner Weise die weittragende Verwendungsfähigkeit der Druckluft für die Kaltlufterzeugung, weil es auch hierbei, wie schon eingangs erwähnt, durchaus nicht auf den Wirkungsgrad in erster Linie und allein ankommt und es in vielen Fällen gleichgiltig ist, mit welchem Kraftaufwand die Kaltluft erzeugt wird, weil es vielmehr sehr häufig nur darauf ankommt, mit welchen Mitteln und mit welchem Betrieb diese Kaltluft zur Verfügung gestellt wird. Es ist meines Erachtens verkehrt, bei der Beurtheilung solcher Fragen einen an sich ganz richtigen wissenschaftlichen Grundsatz als Pfahl festzurammen, um den sich dann die ganze Beurtheilung so vielgestaltiger Verhältnisse ausschliesslich drehen soll.

Heutzutage giebt es Eismaschinen und Kaltluftmaschinen, welche gegenüber den Luftmaschinen theoretisch viel vollkommener arbeiten. Aber es ist unmöglich, diese Maschinen im kleinen Maassstabe, so wie ihn der Kleinbetrieb oder etwa gar der Haushalt erfordert, überhaupt auszuführen. Solches kommt auf technischem Gebiete sehr häufig vor, dass für sonst sehr vollkommene Maschinen der kleine Maassstab, und die dafür unerlässliche Einfachheit fehlt. Der kleine und kleinste Maassstab, in welchem sonst vollkommene Maschinen überhaupt nicht ausführbar sind, ist aber durch die Druckluft gegeben, wenn diese Druckluft nur ganz allgemein in jedem einzelnen Hause so zu haben ist, wie heute Gas oder Wasser. Wenn letztere Voraussetzung zutrifft, so ist die Erzeugung von Kaltluft in jeder einzelnen Räumlichkeit, bis herab zur Haushaltung, geeignet, unsere ganzen Lebensbedürfnisse umzugestalten, neue Bedürfnisse hervorzurufen und zu befriedigen, die heute noch gar nicht in allen Einzelheiten zu überschauen sind. Zweifellos liegt hierin eine ausserordentliche Wichtigkeit für die allgemeine Verwendung der Druckluft.

Aus dem vorerwähnten ergibt sich zunächst, dass die Druckluft zur Zeit in Paris schon eine ausserordentlich grosse Verwendung gefunden

hat, wie die nachfolgend angeführten Beispiele noch näher zeigen werden, und dass es sich hier um eine weittragende Angelegenheit handelt, wegen der Möglichkeit, einerseits Druckluft in Centralstationen in einer bisher ungekannten Vollkommenheit und Billigkeit zu erzeugen, und andererseits die Druckluft unter Zuhilfenahme einfacher und praktisch zweckmässiger Detaileinrichtungen an beliebigen Stellen auszunutzen, und zwar mit einem Wirkungsgrade, wie er bisher, wegen Mangel einer geeigneten Vorwärmung der Luft, ebenfalls unbekannt war. Weiter lassen die allgemeinen höchst vortheilhaften Eigenschaften der Druckluft noch ein weites unabsehbares Feld der Verwendung offen, wie aus den früheren Andeutungen über die Verwendung der Kaltluft sich ergibt.

---

## Betriebsergebnisse.

(Fig. 18—21.)

Bevor ich näher auf die besonderen Verwendungen der Druckluft eingehe, möchte ich zunächst einige Angaben über Betriebsverhältnisse und Betriebserfahrungen vorausschicken. Hierbei beziehe ich mich im Wesentlichen auf Versuche, welche Radinger in Paris durchführte, die weiter auszudehnen ich leider wenig Gelegenheit fand. Die Versuche von Radinger bezogen sich im Wesentlichen auf die Feststellung des Wirkungsgrades der Maschinen der Centralanlage, auf die Bestimmung des Wirkungsgrades der Luftmaschinen und auf deren Luftverbrauch. Die Ergebnisse dieser Versuche sind folgende:

1. Centralanlage. Die Verbunddampfmaschinen, welche je 2 Kompressoren antreiben, indizierten 341 Dampf-Pferdekräfte, die Kompressoren 296 Pferdekräfte; dem entspricht ein

Maschinenwirkungsgrad von . . . . . 0,568.

Wären aber die Einzelmaschinen grösser und vollkommener, wie sie einer vieltausendpferdekraftigen Maschinenanlage am besten entsprechen, also etwa Maschinen von über 500 Pferdekräften und bester Ausführung, so könnte ohne Anwendung irgendwie schwieriger oder bedenklicher Einzelheiten der

Maschinenwirkungsgrad auf . . . . . 0,9

gebracht werden. Es ist auch nicht zu zweifeln, dass bei jeder weiteren Vergrösserung der Centralanlage, insbesondere bei Beschaffung neuer Centralstationen, nur grosse Maschinen von dem erwähnten vollkommeneren Wirkungsgrade Anwendung finden werden.

Bei der vorhandenen Pariser Anlage verlässt die Druckluft mit etwa 60° Temperatur die Kompressoren. Der Arbeitsverlust entspricht dem Unterschiede zwischen thatsächlich aufgewandter Arbeit im Kompressor und der Arbeit, welche die Luft bei isothermischer Kompression beanspruchen würde. Diesem Wärme- bzw. Arbeitsverlust entspricht ein Kompressionswirkungsgrad von . . . . . 0,77. Wenn aber die Eingangs erwähnten Verbesserungen in der Kühleinrichtung der Kompressoren durchgeführt würden, so könnte hinsichtlich dieser Wärmeverhältnisse der

Kompressionswirkungsgrad auf . . . . . 0,85 erhöht werden.

Dem entsprechend arbeitet daher die bestehende Pariser Centralanlage mit einem

Wirkungsgrad von . . . . . 0,66,  
inbegriffen den Verlust durch Maschinenreibung und durch die Wärmeverhältnisse. Wären aber die Kompressoren vollkommener Ausführung, so könnte der

Wirkungsgrad auf . . . . . 0,76  
erhöht werden, d. h. also, während in der vorhandenen Centralanlage gegenwärtig der Kraftverlust . . . . .  $\frac{1}{3}$   
beträgt, könnte dieser in der Centralanlage bei Druckluftherzeugung unvermeidliche Gesamtverlust auf weniger als . . . . .  $\frac{1}{4}$   
der aufgewandten Kraft verringert werden. Hierbei ist angenommen, dass alle Wärme der Druckluft in der Druckleitung vollständig verloren geht.

Ich will hier auch erwähnen, dass die in Paris jetzt in Betrieb befindliche Centralanlage mit einem beträchtlichen Ventilverlust arbeitet, hervorgerufen durch Zurückströmen von Druckluft in den Kompressor in Folge verspäteten Schliessens der Ventile. François berechnet diesen

Ventilwirkungsgrad mit . . . . . 0,95.  
Meiner Ansicht nach ist dieser Verlust aber bei der bestehenden mangelhaften Ventilanordnung der Kompressoren noch höher. Bei richtiger Ventilkonstruktion könnte der  
Ventilverlust auf . . . . . Null  
vermindert werden.

Die Kostenberechnung ergibt sich nach Obigem wie folgt:

Bei 38 Umdrehungen eines Doppelkompressors werden stündlich 3000 Kubikmeter atmosphärische Luft auf 6 Atmosphären verdichtet. Hierzu sind erforderlich 341 indizierte Pferdekkräfte. 1 indizierte Pferdekraft kann in der Centralanlage erzeugt werden mit stündlich 0,8 Kilogramm Kohle; bei einem Kohlenpreis von 2 Francs für 100 Kilogramm ergibt sich daher, dass

1 Kubikmeter Luft . . 0,11366 indizierte Pferdekkräfte  
bzw. 1 Kubikmeter . . . . . 0,18 Centime  
(Kohlenverbrauch) kostet; oder anders ausgedrückt: es verdichtet  
1 indizierte Pferdekraft . . . 8,798 Kubikmeter  
Luft von atmosphärischer Spannung auf 6 Atmosphären Ueberdruck.

Diese Zahlen betreffen den gegenwärtigen Zustand der Centralanlage; werden aber die Kompressoren und Maschinen der Centralanlage mit den wiederholt erwähnten Verbesserungen ausgestattet, so würden sich die Zahlen annähernd wie folgt stellen:

1 Kubikmeter Luft kostet 0,09866 indizierte Pferdekraft  
 1 " " " " . . . . . 0,15 Centime  
 oder es verdichtet

1 indizierte Pferdekraft . . . 10,14 Kubikmeter  
 Luft von atmosphärischer Spannung auf 6 Atmosphären.

2. Luftmaschinen. Ausser dem Wirkungsgrade der Maschinen in der Centralanlage ist der maschinelle Wirkungsgrad der Luftmaschinen zu berücksichtigen. Um ihn festzustellen, wurden von Radinger nominell 10pferdige Luftmaschinen gebremst und indiziert. Hierbei ergab sich bei mehreren Versuchen im Mittel ein

Maschinenwirkungsgrad von . . . . . 0,88.

Bei vollkommener Ausführung dieser Luftmaschinen ist ein

Maschinenwirkungsgrad von . . . . . 0,92

erreichbar, wie er auch bei einzelnen Luftmaschinen in der That jetzt schon durch Bremsung gefunden wurde. Dies zusammengesetzt mit dem früher erwähnten Wirkungsgrade der Maschinen in der Centralanlage, ergibt einen

gesamten Wirkungsgrad von . . . . . 0,58

mit Einschluss der Wärmeverluste. Erreichbar ist ein

gesamter Wirkungsgrad von . . . . . 0,7.

Zur Feststellung des Wirkungsgrades der Druckluft ist aber der Luftverbrauch der Luftmaschinen zu bestimmen. Er steht nicht in unmittelbarem Zusammenhange mit dem eben angegebenen Nutzeffekt, weil vor Verwendung der Druckluft Wärmezuführung stattfindet. Der Luftverbrauch hängt wesentlich ab von der Menge der zugeführten Wärme und vom Grade der Ausnutzung der Luft in den Luftmaschinen. Radinger hat den Luftverbrauch mehrerer gleichfalls 10pferdigen Luftmaschinen festgestellt, und zwar durch unmittelbare Messung der verbrauchten Luft aus einem Behälter von 32 $\frac{1}{2}$  Kubikmeter Inhalt, der mit 6 Atmosphären Druckluft gefüllt und dessen Inhalt bis herunter auf 4 Atmosphären Druck verbraucht wurde. Aus der Abnahme der Luftspannung unter Berücksichtigung der Wärmeverhältnisse wurde der Luftverbrauch berechnet. Dieser Vorgang ergab wesentliche Ungenauigkeiten, weil es schwierig ist, alle Wärmevergänge, die der Luftausdehnung entsprechen, durch Rechnung genügend genau zu verfolgen. Es wurde deshalb die verbrauchte Luftmenge weiter durch einen Luftmesser bestimmt und dieser nach Normaluhren kontrollirt. Diese Art von Bestimmung ergab grosse Genauigkeit.

Bei einer 10pferdigen Luftmaschine von 208 Millimeter Durchmesser und 303 Millimeter Hub, welche mit 128 Umdrehungen normal betrieben wurde, ergab sich:

## 1. ohne Luftvorwärmung

bei einer Anfangstemperatur der Luft von . . . . . 17°  
 und einer Temperaturerniedrigung im Auspuff auf . . . . . — 60°  
 ein Luftverbrauch von . . . . . 38 Kubikmeter  
 für 1 Stunde und Brems-Pferdekraft;

## 2. bei Betrieb der Luftmaschine mit einfacher Vorwärmung

bei einer Anfangstemperatur von . . . . . 17°,  
 Vorwärmung auf . . . . . 170°  
 und Abkühlung im Auspuffe auf . . . . . + 8°  
 ein Luftverbrauch von . . . . . 22 Kubikmeter  
 für 1 Stunde und Brems-Pferdekraft;

## 3. bei Betrieb der Luftmaschine mit Vorwärmung und mit Wassereinspritzung

bei Vorwärmung . . . . . von 17 auf 170°  
 und einer Auspufftemperatur von . . . . . + 70°  
 ein Luftverbrauch von . . . . . 16 Kubikmeter  
 für 1 Stunde und Brems-Pferdekraft.

Hierbei betrug der Verbrauch an Einspritzwasser 4 Liter für 1 Stunde und Brems-Pferdekraft.

Der Luftverbrauch von 22 bzw. 16 Kubikmeter kann als maassgebend für Maschinen dieser Grösse gelten.

Bei grösseren Maschinen, d. s. Maschinen von über 50 Pferdekraften, stellt sich mit einfacher Vorwärmung der

Luftverbrauch auf . . . . . 15 bis 16 Kubikmeter;  
 bei Betrieb mit Wassereinspritzung sinkt bei solchen grösseren Maschinen der

Luftverbrauch unter . . . . . 12 Kubikmeter.

Kleinere Maschinen erfordern selbstverständlich höheren Luftverbrauch, und zwar beispielsweise eine 4pferdige Maschine 30 Kubikmeter mit Vorwärmung bzw. 22 Kubikmeter mit Vorwärmung und Einspritzung. Eine 1pferdige Maschine verbraucht 45 Kubikmeter für 1 Pferdekraft und Stunde mit einfacher Vorwärmung und 27 Kubikmeter mit Vorwärmung und Einspritzung. Bei ganz kleinen Maschinen steigt der Luftverbrauch auf 1 Kubikmeter für 1 Meterkilogramm stündlich geleisteter Arbeit.

Aus diesen Angaben ergibt sich folgende Uebersicht. 1 Kubikmeter Luft erfordert gegenwärtig in der Centralstation 0,11366 indizierte Pferdekraften; unter Voraussetzung eines Luftverbrauchs von 22 Kubikmeter für 1 Pferdekraft sind deshalb für die Erzeugung dieser 22 Kubikmeter 2,5 indizierte Dampfpferdekraften nöthig. Dies entspricht einem Wirkungsgrade von . . . . . 0,4,

oder mit anderen Worten: um 1 Bremspferdekraft der Luftmaschine in der Stadt zu erzeugen, sind in der Centralstation . . . . . 2,5 indizierte Dampfpferdekräfte nöthig, unter Berücksichtigung des gesammten Maschinen- und Wärmeverlustes, aber unter Ausschluss besonderer Leitungsverluste durch Undichtheiten.

Bei richtiger Ausführung der Maschinen der Centralstation kann dieser Wirkungsgrad erhöht werden auf . . . . . 0,46  
d. h. 1 Bremspferdekraft in der Stadt erfordert

2,17 indizierte Dampfpferdekräfte  
in der Centralstation.

Wird aber ein Luftverbrauch von 16 Kubikmeter in der Stunde angenommen, wie er bei 10pferdiger Maschine mit Vorwärmung und Einspritzung gemessen wurde, so erhöht sich der Wirkungsgrad auf . . . . . 0,55,  
d. h. für 1 Bremspferdekraft in der Stadt sind

1,82 indizierte Dampfpferdekräfte  
in der Centralstation erforderlich, und mit Berücksichtigung der wiederholt erwähnten erreichbaren Verbesserungen der Centralanlage lässt sich ein Wirkungsgrad von . . . . . 0,63  
erreichen, d. h. 1 Bremspferdekraft in der Stadt erfordert

1,58 indizierte Pferdekräfte  
in der Centralstation.

Dieser jetzt schon, ohne Zuhilfenahme vollkommenster Ausbildung aller Einzelheiten thatsächlich erzielte Wirkungsgrad der Druckluft steht im Gegensatz zum bekannten ausserordentlich schlechten Wirkungsgrad der Druckluft, bei Bergbau- und Tunnelbauten, bei welchen aber stets mit sehr unvollkommenen kleinen Maschinen und daher auch stets nur mit sehr geringer Ausnutzung, meist unter  $\frac{1}{3}$ , gearbeitet werden musste.

Dieses günstige Ergebniss der Pariser Anlage ist zuzuschreiben: der centralisirten vollkommenen Krafterzeugung, die noch wesentlich weiter vervollkommnet werden könnte, und dem Wiedergewinn an Arbeit durch die Vorwärmung der Druckluft vor deren Verwendung in den Luftmaschinen. Im übrigen sind, wie ich nochmals hervorheben muss, alle Maschinen und alle Einzelheiten sehr einfach, so dass bei weiterer technischer Ausbildung auch noch weitere Fortschritte erzielbar sind.

Bei einem Luftverbrauche von 10 Kubikmeter für die Stunde und Bremspferdekraft würden sich die Gesammtergebnisse wie folgt stellen:

10 Kubikmeter Druckluft beanspruchen gegenwärtig im Hauptwerke 1,1366 indizierte Dampfpferdekräfte, und diesem Luftverbrauch entspricht ein Wirkungsgrad von . . . . . 0,88,

oder 1 Bremspferdekraft in der Stadt erfordert  $1\frac{1}{7}$  indizierte Dampfpferdekraft im Hauptwerke.

Werden die ausführbaren Verbesserungen in der Centralanlage berücksichtigt, dann beanspruchen 10 Kubikmeter Druckluft 0,9866 indizierte Dampfpferdekräfte, entsprechend einem Wirkungsgrade grösser als . . . . . 1,0.

Damit ist schon die Grenze überschritten, wo die Druckluft mehr Nutzarbeit abgiebt, als zu ihrer Verdichtung im Hauptwerk aufgewandt wurde, bzw. alle Verluste durch die Vorwärmung mehr als gedeckt sind.

Ein Luftverbrauch von 10 Kubikmeter für die Stunde und Bremspferdekraft ist bei grösseren Luftmaschinen jetzt schon erreichbar, ist aber auch bei mittleren Maschinen bei vermehrter Wärmezuführung erreichbar und kann wahrscheinlich sogar unterschritten werden, wenn die Druckluft mit höherer Spannung verwendet und bei vertheilter Expansion in 2 Cylindern und bei genügender Vorwärmung vor jedem Cylinder ausgenutzt wird.

In den vorausgegangenen Berechnungen ist die indizierte Dampfarbeit in der Centralanlage mit der Nutzarbeit der Luftmaschinen verglichen. Es sind mithin alle Verluste inbegriffen ausser dem Leitungsverlust durch Undichtheiten. Dieser konnte nicht genauer bestimmt werden, ist aber, wie früher erwähnt, äusserst gering. Diese Vergleichung der erwähnten beiden Leistungen bildet den richtigen Maassstab für die Beurtheilung des gesammten Wirkungsgrades, nicht aber, wie es häufig geschieht, die Vergleichung der Arbeit vom Beginn der Vertheilungsleitung an mit der Nutzarbeit.

Nur für den unmittelbaren Vergleich mit gewöhnlichen Dampfmaschinen kann die Vergleichung mit der indizierten Luftarbeit dienen. Hierbei bleibt der Reibungsverlust in der Luftmaschine unberücksichtigt, und der Wirkungsgrad drückt sich durch entsprechend höhere Ziffern aus. Z. B.: Ein Luftverbrauch von 22 Kubikmeter (Betrieb einer 10 pferdigen Luftmaschine mit Vorwärmung) für 1 Stunde und Bremspferdekraft entspricht einem solchen von 19,3 Kubikmeter, auf die indizierte Luftleistung bezogen, und diesem entspricht ein

Gesamtwirkungsgrad von . . . . . 0,46.

Ein Luftverbrauch von 16 Kubikmeter (Betrieb mit Vorwärmung und Einspritzung) würde, auf die indizierte Luftleistung bezogen, einem Luftverbrauche von 14 Kubikmeter und einem

Gesamtwirkungsgrade von . . . . . 0,62 entsprechen.

Ein Luftverbrauch von 10 Kubikmeter bezw. 8,8 Kubikmeter ergäbe einen

Gesamtwirkungsgrad von . . . . . 1,0.

In obigen Zahlen ist wieder der jetzige Zustand der Maschinen der Centralanlage vorausgesetzt. Unter Voraussetzung der erreichbaren Verbesserungen erhöht sich der Wirkungsgrad.

Unter Annahme, dass in der Centralstation 1 indizierte Dampferde kraft 0,8 Kilogramm Kohle verbraucht, würde demnach bei einem Gesamtwirkungsgrad von 0,5 je eine stündlich in der Stadt nutzbar abgegebene Pferdekraft einem Verbrauche von 1,6 Kilogramm Kohle entsprechen. Einem Gesamtwirkungsgrade von 0,7 würde ein Verbrauchswerth von 1,143 Kilogramm für eine Stunde und Pferdekraft entsprechen. Hierbei sind gewöhnliche 10pferdige Luftmaschinen als Grundlage an genommen, und hiermit wären zu vergleichen einzelne Dampfmaschinen von gleicher Leistung mit zugehörigen Kesseln, deren Kohlenverbrauch, auf die Nutzpferdekraft bezogen, 4 bis 5 Kilogramm in der Regel überschreiten wird.

Also auch in Hinsicht auf den Nutzeffekt stellt sich jetzt schon das Ergebniss der Pariser Anlage sehr günstig, so günstig, wie man es auf Grund der bisherigen Erfahrungen nicht annehmen konnte. Der Werth der Druckluftübertragung ist daher auch im günstigen Wirkungsgrade begründet, noch mehr aber in der vielseitigen Verwendungsfähigkeit der Luft für die verschiedenartigsten Betriebe.

Um von letzterer ein Bild zu entwerfen, möchte ich noch, wenigstens in kurzen Zügen, eine Uebersicht über die weitgehende und vielgestaltige Verwendung geben, welche die Druckluft in Paris jetzt schon gefunden. Als Beispiele wären besonders hervorzuheben: Beleuchtungsanlagen für zahlreiche Theater, u. a. Edentheater, Variététheater, Déjazet, verschiedene grosse Vergnügungslokale, zahlreiche Cafés, Restaurants, Klubs u. s. w., meist mit Luftmaschinen von etwa 50 Pferdekraften ausgerüstet, welche die Dynamomaschinen antreiben und den erwähnten Beleuchtungszwecken dienen. Bemerkenswerth bei diesen Maschinen ist der sehr einfache Betrieb und die Aufstellung in ausserordentlich beschränkten Räumlichkeiten, in welchen Dampfmaschinen mit zugehörigen Kesseln oder selbst Gasmaschinen überhaupt nicht aufstellbar wären.

Noch ausgedehnter ist der Werkstättenbetrieb für die verschiedenartigsten Industriezweige.

Zu erwähnen wären zahlreiche Druckereien, und zwar von den kleinsten angefangen, wo nur zeitweilig eine Presse in Bewegung zu

setzen ist, bis zu grossen Zeitungsdruckereien. Unter letzteren wären zu nennen: die Druckerei des „Figaro“ mit 50 Pferdekräften, die des „Petit Journal“ mit 100 Pferdekräften.

Kleine Werkstätten einrichtungen sind sehr zahlreich, und zwar ist für die Werkstätten des Pariser Kleingewerbes charakteristisch die meist ausserordentlich beschränkte Räumlichkeit und die Aufstellung der Maschinen in so gedrängter Weise, dass nach unseren Begriffen die Sicherheit des Betriebes sehr viel zu wünschen übrig lässt; und dazu kommt, dass in Paris auch die Gasmaschine eine grosse Verbreitung nicht gefunden hat und der Betrieb der zahlreichen Werkstätten überwiegend durch Dampfmaschinen erfolgt, deren Dampfkessel auch in diesen engen Werkstätten aufgestellt sind und selbstverständlich arge Belästigungen verursachen. In vielen dieser Werkstätten sind nun die Dampfkessel ausser Betrieb gesetzt, und die Maschinen werden statt mit Dampf durch Luft betrieben, ohne jegliche weitere Aenderung.

In dieser Hinsicht hatte ich Gelegenheit, die Einrichtung mehrerer Kleinbetriebe für Metallindustrie näher kennen zu lernen. Weiter erwähne ich kleine Tischlereien für die Herstellung von Kisten u. dergl., die ihre Kreissägen und Hobelmaschinen durch kleine Luftmaschinen antreiben und dadurch wesentlich leistungsfähiger geworden sind. Eisenhandlungen haben in ihren Kellern einzelne Werkzeugmaschinen aufgestellt, Scheeren, Lochmaschinen u. dergl., um das Eisen so, wie es die Käufer augenblicklich verlangen, zuzuschneiden, aus Blechen Band Eisen herzustellen u. s. w.; diese Maschinen waren früher nur mit Handbetrieb eingerichtet, und für die jeweilige Ingangsetzung mussten erst Arbeiter angenommen werden; die Besorgung der Arbeiten war in Folge dessen kostspielig und konnte nicht immer zur gewünschten Zeit erfolgen. Gegenwärtig werden diese Arbeitsmaschinen durch Luftmaschinen angetrieben, und die Handhabung sowohl der Luft- als der Arbeitsmaschinen wird durch die Ladendiener besorgt.

Zahlreiche andere Betriebe können in den Einzelheiten hier nicht besprochen werden. Ich erwähne nur dem Namen nach: Wurstfabriken, Werkstätten mit kleinen Drehbänken, Pfeifenschneider, Drechsler u. dergl., weiter Zahnärzte, die ihre Bohrmaschinen mit Luft betreiben, Spielwaarenfabriken, Knopffabriken u. s. w. u. s. w., welche vielfach erst durch die Einführung des Maschinenbetriebes durch Druckluft gegenüber dem ausländischen — deutschen — Wettbewerb leistungsfähig geworden sind.

Hier lernte ich vor kurzem neue Maschinchen für Bearbeitung von Stein, Metall u. s. w. kennen, deren allgemeine Einführung angestrebt wird, und die meiner Ueberzeugung nach auch einem wichtigen Bedürfniss entsprechen. Dieselben arbeiten, ähnlich wie Gesteinsbohrmaschinen, mit

einem selbststeuernden hin- und hergehenden Kolben, jedoch mit sehr geringem Hub von einigen Millimetern, dabei aber mit über 1000 Hübten in 1 Minute. Der Arbeiter hält das Maschinchen in der Hand, durch einen Schlauch wird die Betriebskraft zugeführt, und die rasch hin- und herbewegte Kolbenstange trägt das Bearbeitungswerkzeug, mit dem der Arbeiter mit erstaunlicher Leistungsfähigkeit jede beliebige Stein- oder Metallbearbeitung vornehmen kann.

Für solche und ähnliche Werkzeuge steht ein unermessliches Feld offen, es fehlt nur an Betriebskraft; diese ist aber durch die Druckluft in der zweckmässigsten Weise gegeben, und für den Betrieb von Werkzeugen der mannigfachsten Art wird die Druckluft zweifellos ein neues, grosses Verwendungsfeld erschliessen, so wie dies in Paris jetzt schon in grossem Umfange der Fall ist.

Nicht unerwähnt will ich weiter lassen die zahlreichen Nähmaschinen mit Luftbetrieb. Die Nähmaschinen bleiben vollständig unverändert, es wird nur an den Ständer eine kleine Luftmaschine angeschraubt und von dieser aus die Nähmaschine wie gewöhnlich angetrieben. Durch den Fusstritt wird der Luftzutritt regulirt.

Höchst bedeutungsvoll ist in Paris jetzt schon die Verwendung der Kaltluft, und zwar ebensowohl als Nebenprodukt der Kraftgewinnung wie auch für Kaltluftherzeugung als Hauptzweck. Die Nebenverwendung, welche die kalte Auspuffluft in Cafés und Restaurants findet, erwähnte ich bereits vorhin und füge dem noch hinzu, dass in verschiedenen anderen Kleinbetrieben, beispielsweise in Konditoreien, die Luftmaschinen tagsüber Rührwerke in Bewegung setzen, abends die Räumlichkeiten beleuchten, und während der ganzen Zeit die Kaltluft als Nebenprodukt für Gefrierzwecke ausgenutzt wird.

In der neugebauten „Bourse de commerce“ sind 140 Kellerräume für Kaltlufteinrichtungen ausgeführt, derart, dass künftighin alle Lebensmittel, welche nicht unmittelbar auf die benachbarte Centralhalle gebracht werden, dort aufgespeichert und in Kaltluft nach Belieben aufbewahrt werden können. Ebenso sind in der Nähe der Centralhalle mehrere Kaltluft-Anlagen schon in Betrieb oder in der Ausführung begriffen, welche die Lagerung von zugeführtem Schlachtvieh zum Zwecke haben, u. a. Kühleinrichtungen für 400 Hammel, die in gefrorenem Zustand in Kaltluftschiffen aus Australien oder Südamerika zugeführt, nach Havre gebracht, in Eiswagen nach Paris befördert und in den erwähnten Kaltkammern so lange aufbewahrt werden, als dies wünschenswerth ist.

Welche Bedeutung die Konservirung der Lebensmittel durch solche Kaltlufteinrichtungen für die Versorgung jeder Grossstadt hat, liegt ohne

weiteres auf der Hand; denn darüber ist kein Zweifel, dass für die Massen von Lebensmitteln, welche täglich in einer Grossstadt, mangels passender Einrichtungen für ihre Aufbewahrung, dem Verderben ausgesetzt sind, die Kosten stets nur vom Abnehmer getragen werden müssen.

In der Verwendung der Kaltluft liegt daher, und zwar insbesondere in Kleinbetrieben bis herab zu Haushaltungen, ein weites zukunftsreiches Feld für Druckluft, auf welchem, wie erwähnt, auch eine Konkurrenz durch andere Maschinen kaum erwartet werden kann, am allerwenigsten in der Weise, dass die Kaltluft nahezu kostenlos als Nebenprodukt eines anderen nützlichen Betriebes gewonnen werden kann. Hierin ist eine der erfolgreichsten Verwendungen der Druckluft zu suchen.

Den vorangegangenen Besprechungen der Einzelheiten der Pariser Einrichtungen möchte ich zum Schlusse noch die folgende allgemeine Uebersicht anschliessen. Die Pariser Anlage ist, wie erwähnt, unvollkommen hinsichtlich einiger Einzelheiten der Maschinen der Centralstation, aber sehr zweckmässig in Bezug auf die praktischen Einzelheiten, die mit der Vertheilung, der Abgabe und Verwendung der Druckluft in Verbindung stehen. Jede andere Anlage, welche ähnliches anstrebt, wird an die in Paris gemachten Erfahrungen anknüpfen müssen, um eigenes Lehrgeld zu ersparen. In Paris werden die Einrichtungen von der „Compagnie Parisienne de l'air comprimé Procédés Victor Popp“ betrieben. Die Verwerthung der Druckluft hat dort auch bereits solche Ausdehnung gewonnen, dass die Gesellschaft augenblicklich gar nicht in der Lage ist, den Anforderungen nach Neuinstallationen überhaupt nachzukommen, bis nicht die Centralanlage durch neue Maschinen wesentlich vergrössert ist.

Der ungeheure Aufschwung der Druckluftübertragung in Paris hat meiner unmaassgeblichen Meinung nach allerdings einige besondere Verhältnisse als Ursache, wenigstens in Hinsicht auf Beleuchtungsanlagen. Die Entwicklung der elektrischen Beleuchtung datirt bekanntlich von der Pariser Ausstellung 1878, und kurz nach dieser Ausstellung war Paris durch elektrische Beleuchtung nach dem System Jablochhoff in der ausgiebigsten Weise erhellt, um kurze Zeit nachher wieder in früheres Dunkel zu versinken. Es hat den Anschein, dass dieses System sich nicht bewährte, und dass französisches Kapital stark in Mitleidenschaft gezogen wurde. Die Folge hiervon scheint die gewesen zu sein, dass in Paris Unternehmungen grossen Stils zur Einführung der elektrischen Beleuchtung überhaupt nicht mehr lebens- bzw. leistungsfähig wurden. Sicher aber ist, dass die Pariser Gesellschaften für elektrische Beleuchtung bisher

nichts geleistet haben, was mit den grossartigen Unternehmungen dieser Art in anderen Städten verglichen werden könnte.

Das Bedürfniss nach elektrischer Beleuchtung ist aber dort selbstverständlich ein eben so grosses, wenn nicht grösseres, wie in jeder anderen hoch entwickelten Stadt. So scheint es gekommen zu sein, dass mit dem Auftauchen der Druckluft für Kraftübertragungen einem höchst dringlichen Bedürfnisse entsprochen wurde und eine Reihe von elektrischen Beleuchtungsanlagen ohne weiteres diesem Unternehmen zufielen. In anderen Städten dürfte sich die Druckluft für elektrische Beleuchtungsanlagen das Feld nur in starkem Wettbewerb mit elektrischen Centralstationen erobern können. Dies ergibt keineswegs irgend welchen Gegensatz zur eigentlichen Elektrotechnik; im Gegentheil: die Verwendung der Druckluft als Betriebskraft für Beleuchtungszwecke wird stets den Vortheil ergeben, dass sie eine grosse Verbreitung einzelner kleiner Anlagen ermöglicht und Beleuchtungsanlagen auch dort zulässt, wo in grosser Entfernung von elektrischen Centralstationen sonst die Beleuchtung nur schwer entstehen könnte. Die einzelnen Beleuchtungsbezirke können hierbei viel weitgehender den örtlichen Verhältnissen angepasst werden.

Ein wesentlicher Vortheil der Luftübertragung ergibt sich unbedingt auch in dem Umstande, dass Luftleitungen wesentlich billiger hergestellt werden können als Kabel oder Druckwasserleitungen bei gleichen Leistungen. So z. B. reicht das Druckrohr von 300 Millimeter, wie es gegenwärtig in Paris auf 7 Kilometer Entfernung geführt ist, für eine Kraftübertragung von 4—5000 Pferdekräften vollständig aus, wenn etwas grössere Druckverluste in der Leitung zugelassen werden. Kabel oder Druckwasserröhren für gleich grosse Leistungen fallen ungleich kostspieliger aus.

Weiter ergibt sich der Vortheil der Luftübertragung in dem Umstande, dass alle Belästigungen, alle Gefahren und Verantwortungen des Dampfkesselbetriebes nicht in die Stadt, sondern ausserhalb derselben verlegt sind. Im übrigen ist selbstverständlich die Verwendung der Druckluft für den Betrieb von Dynamomaschinen gegenüber elektrischer Centralleitung umständlicher, da in der ganzen Anordnung zwei Maschinen mehr nöthig werden; aber die erwähnten Umstände sowie die Möglichkeit, den Luftbetrieb viel enger an die örtlichen Verhältnisse anzupassen, bilden immerhin einen wichtigen Faktor, welcher den Wettbewerb der Druckluft auch unmittelbar gegenüber elektrischen Centralstationen möglich macht, wenn auch die Verhältnisse anderswo so günstig wie in Paris nicht liegen werden und die Druckluft als ernster, gefährlicher Konkurrent von anderen Unternehmungen voraussichtlich heftig bekämpft werden wird.

Auf dem Gebiet der Kraftversorgung liegen die Verhältnisse für die Zukunft der Druckluft viel günstiger; denn Dampfmaschinen und Dampfkessel, als gegenwärtig billigste Betriebskraft, sind innerhalb der Städte überhaupt nur mit grossen Schwierigkeiten zu verwenden und an Konzessionen, grosse Belästigungen und Gefahren gebunden. Unter allen Umständen ist die Entfernung der Dampfkessel aus der Stadt in die Centralstation, wo der Betrieb viel vollkommener, mit den geringsten Kosten und unter sachgemässer Leitung durchgeführt wird, ein selbstverständlicher Gewinn. Gegenüber den Gasmaschinen ist die Luftmaschine erheblich im Vortheil durch die geringeren Anschaffungs- und Betriebskosten und leichtere Instandhaltung. Unter solchen Umständen darf die Druckluft, sobald sie nur in den Städten allgemein zur Verfügung steht, eine grosse und aller Voraussicht nach segensreiche Zukunft erhoffen.

Im Wettbewerb werden ausser den sonstigen technischen Erwägungen gegebene Verhältnisse, insbesondere gegebene geschäftliche Verhältnisse, eine grosse Rolle spielen. Unabhängig von diesen scheint es mir aber, dass die Druckluft in vieler Beziehung für ihren Sieg grosse Aussichten besitzt, und zwar durch die Gefahrlosigkeit ihres Betriebes, die in gleicher Weise, wenigstens bisher, durch andere Kraftübertragungsarten unerreicht geblieben ist. Die Bequemlichkeit des Betriebes, der Umstand, dass die Luft an und für sich indifferent ist, an jeder Stelle wieder ausgeblasen werden kann u. dergl. und die Aufstellung von Luftmaschinen an beliebigen Orten zulässt, ermöglichen die weitestgehende Anpassung an gegebene Verhältnisse, und hierin liegt meines Erachtens eine Hauptsache für die Verwendungsfähigkeit von Maschinen für die oft sehr eigenthümlichen und schwierigen Verhältnisse innerhalb der Städte. Weiter ist, wie erwähnt, für die Behandlung der Luftmaschinen keine wesentliche Sachkenntniss nöthig, gleichfalls im Gegensatz zu konkurrierenden Kraftübertragungsarten, insbesondere auch im Gegensatz zu elektrischen Einrichtungen, deren Kenntniss und Handhabung in weitere Kreise bisher überhaupt nicht gedungen ist.

Als wesentlich muss weiter hervorgehoben werden, dass durch die Kraftübertragung mittelst Druckluft hervorragende Sicherheit gegenüber Betriebsstörungen erreicht wird. Die betreffenden Verhältnisse sind auch ohne Erläuterung klar, und ich möchte nur das Eine hervorheben, dass bei der Maschinenanlage in Paris die Luftbehälter der Centralstation einen Luftvorrath von 260 Kubikmeter und die 7 Kilometer lange Hauptleitung einen solchen von 500 Kubikmeter besitzen. In Folge dessen ist es jetzt schon, ohne den neu zu erbauenden grossen Luftbehälter, möglich und in der That auch schon vorgekommen, dass der Maschinenbetrieb in der Centralstation plötzlich unterbrochen, diese Störung aber

in der Stadt nirgendwo bemerkt wurde, weil der Luftbetrieb dort inzwischen aus dem Luftvorrath unterhalten wurde; eine Sicherung des Betriebes, die durch weitere Ausführung von Luftbehältern noch wesentlich erhöht werden kann.

Im Gegensatz hierzu ist hervorzuheben, dass sowohl elektrische Uebertragungen als solche durch Druckwasser Kraftaufspeicherungen in nennenswerthem Maasse nur mit unerschwinglichem Kostenaufwand zulassen und letztere daher in der Regel vollständig unterbleiben müssen.

Die Druckluft scheint deshalb gerade wegen ihrer praktischen und allgemein bekannten Eigenschaften, wegen ihrer universellen Verwendbarkeit und wegen des Umstandes, dass das wichtige Nebenprodukt der Kaltluft ohne irgend welche Schwierigkeit gewonnen werden kann, befähigt, eine sehr weitgehende Ausnutzung innerhalb von Städten für Fabrikbetrieb sowohl als auch für unmittelbare Verwendung und für Nebenzwecke zu finden und durch die Kaltluftherzeugung einzugreifen in die Lebensmittel-Versorgung von Städten und in die Konservirung der Lebensmittel, nicht nur im Grossen, sondern auch im Kleinen, bis herab zu jeder Haushaltung. In letzterer Beziehung ist es insbesondere wahrscheinlich, dass Bedürfnisse entstehen und Befriedigung finden werden, wie sie heute kaum geahnt werden können. Es ist das genau dasselbe, wie mit vielen weittragenden neuen Erfindungen, welche vielfach zur Zeit ihrer ersten Entwicklung, wie z. B. das Telephon, als Spielzeuge betrachtet wurden, während sie heute als unentbehrliches Bedürfniss in weittragende Verhältnisse eingreifen.

Von hervorragender Bedeutung ist die Ausnutzung der Druckluft für die sanitären Verhältnisse jeder Gross- und Fabriksstadt. Eindringlicher als alle Erörterung spricht in dieser Hinsicht der Eindruck der unglaublich engen Pariser Werkstätten, in welchen die äusserste Ausnutzung dazu zwingt, die Dampfkessel inmitten der überfüllten Arbeitsstätten zu betreiben und die Arbeiter mit allen Plagen solchen Betriebes zu quälen. Mit der Einführung des Luftbetriebes sind in zahlreichen Werkstätten alle diese Uebelstände mit einem Schlage beseitigt, und die nach Belieben abgekühlte Auspuffluft der Luftmaschinen lässt noch einige Nebenvortheile gewinnen.

Insbesondere aber scheint die Druckluft berufen zu sein, dem hart bedrängten Kleingewerbe die erwünschte Hilfe zu bringen. Bestrebungen, welche dem Kleingewerbe aus seiner ungünstigen Lage aufzuhelfen vermögen, verdienen die mächtigste Unterstützung. Damit meine ich selbstverständlich keineswegs, dass die Zuführung von Druckluft gegenüber konkurrierenden Unternehmungen ausnahmslos zu fördern sei; ich meine damit überhaupt nur die Unterstützung, welche

solche wichtige Fragen der ganzen Natur der Sachlage nach in der nachdrücklichsten Weise finden sollten. Der Wettbewerb der einzelnen Betriebsarten ist dadurch selbstverständlich nicht ausgeschlossen, und wer die Sache am billigsten, bequemsten, sachgemässesten leisten kann, wird ja den Sieg erringen.

Die Verwendung der Druckluft in Paris für das Kleingewerbe ist jetzt schon nicht bloss durch die mannigfaltige bunte Reihe von besonderen Anwendungen von hoher Bedeutung, sondern ebensowohl durch die Ausdehnung dieser Betriebe und damit verknüpfte Erhöhung des Einflusses des Kleingewerbes. Zur Veranschaulichung dessen mag die Darstellung (Fig. 18) der in Paris im Monat Dezember 1888 in die Stadt gelieferten Luftmengen dienen. Der Luftbedarf beschränkt sich Sonntags, wo alle gewerblichen Betriebe ruhen, nur auf den Verbrauch der Beleuchtungsanlagen und wächst in den Wochentagen in Folge des Gewerbebetriebes bedeutend an. Nur gegen Ende dieses Monats nimmt in Folge des ausgedehnten Weihnachts- und Neujahrgeschäftes auch der sonntägliche Luftbedarf zu, um nach Neujahr wieder auf den regelmässigen Verbrauch zu sinken. In den Figuren 19—21 sind die stündlichen Luftmengen an drei verschiedenen Tagen des Monats Februar 1889 dargestellt. Sie zeigen das bedeutende Anwachsen des Luftverbrauches in den Abendstunden bei gleichzeitigem Gewerbe- und Beleuchtungsbetrieb. Die Darstellung vom 2. auf 3. Februar lässt durch den Luftbedarf in den späten Abend- bzw. frühen Morgenstunden den Beleuchtungsbetrieb der Boulevard-Restaurants erkennen.

Ausnahmslos sucht in neuerer Zeit jeder Staat seine Industrie zu schützen und zu fördern. Der Schutz kommt aber ganz unverhältnissmässig der Grossindustrie zu Gute, und die Entwicklung dieser hat zweifellos das Kleingewerbe in eine höchst bedrängte Lage gebracht, weil nur die Grossindustrie in der Lage ist, sich billige

Fig. 18. Diagramm der Druckluft-Erzeugung im Monat Dezember 1888.

Ordinaten = Kubikmeter in 24 Stunden angesaugter Luft.

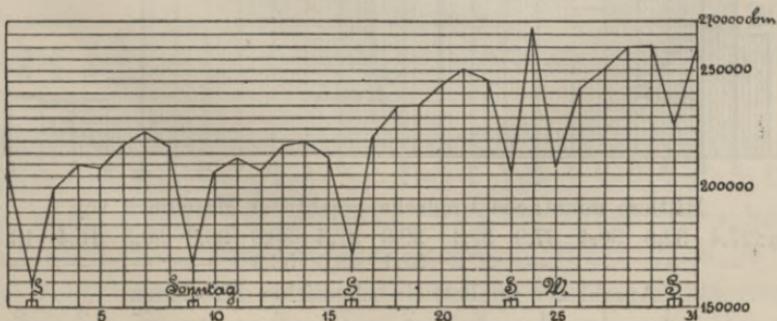
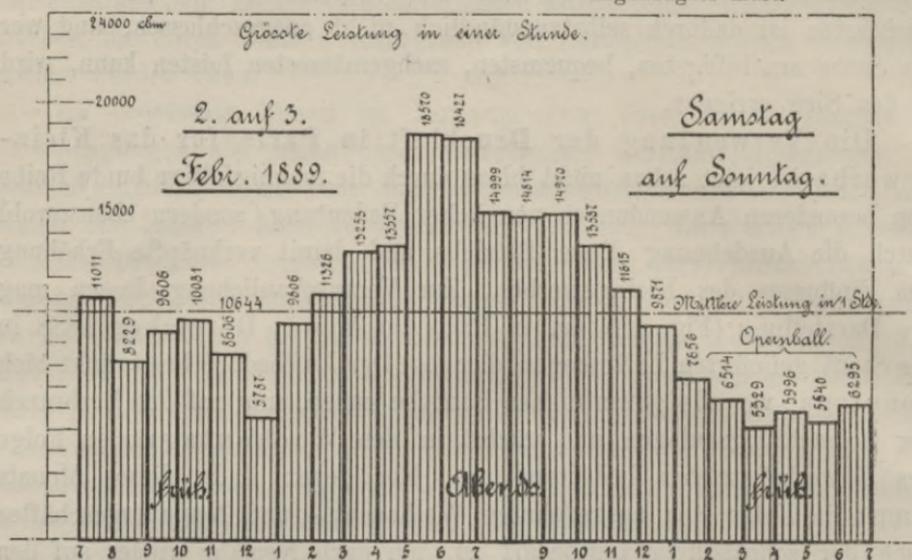


Fig. 19—21. Diagramm der Druckluft-Erzeugung an 3 Tagen des Monats Februar 1889.

Ordinaten = Kubikmeter in 1 Stunde angesaugter Luft.

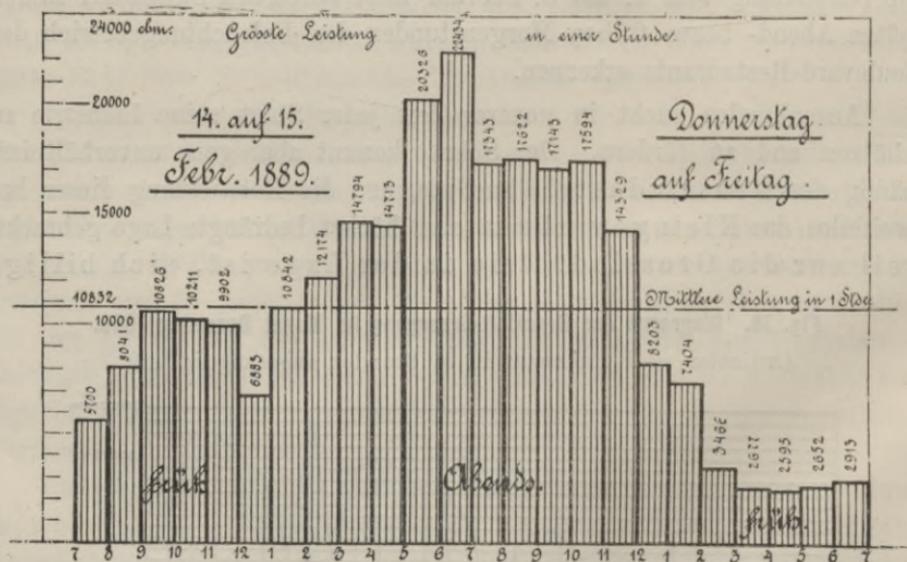


Mittlere minutliche Umdrehungszahl der Maschinen von

Paxman: 38,5 38,2 27,8 35,4 34,5 36,2 32,8 31,6 26,8 21,7 21,8 22,7  
 Casse: — — — — 41,4 48,3 50,1 49,7 — — — —

Anzahl der im Betrieb befindlichen Maschinen:

3 3 3 4 5 7 6 6 5 4 3 3

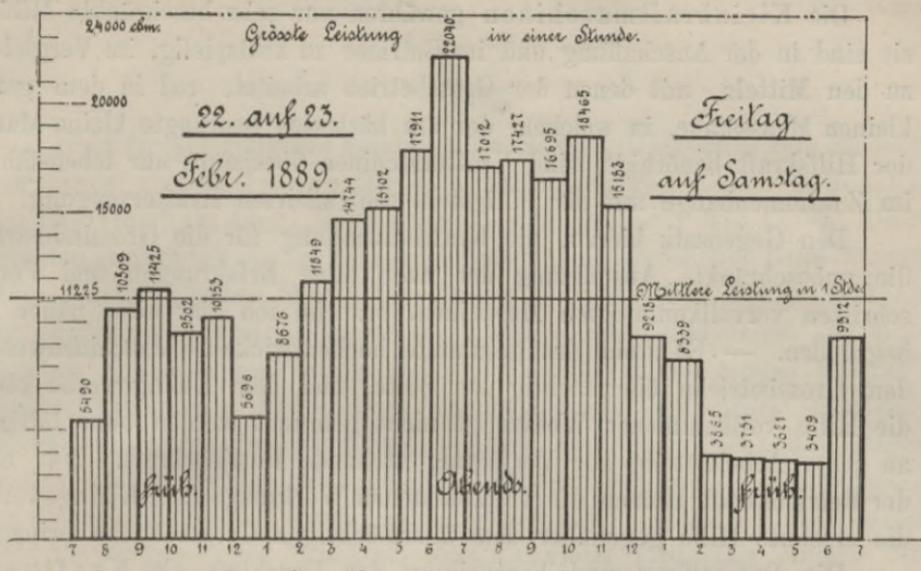


Mittlere minutliche Umdrehungszahl der Maschinen von

Paxman: 27,4 32,6 30,4 37,9 32,1 39,9 32,4 38,9 30,0 30,3 16,4 16,3  
 Casse: — — — — 52,3 52,1 49,6 53,9 — — — —

Anzahl der im Betrieb befindlichen Maschinen:

3 4 3 4 6 7 7 6 5 3 2 2



Mittlere minutliche Umdrehungszahl der Maschinen von  
 Paxman: 33,4 36,6 32,6 29,0 35,0 37,7 36,8 31,0 36,1 34,1 23,0 20,9  
 Casse: — — — — 55,2 50,0 49,3 46,0 48,7 — — —

Anzahl der im Betrieb befindlichen Maschinen:  
 3 4 4 4 6 7 6 7 6 3 2 2

Betriebskräfte zu verschaffen und durch letztere die Maschinenarbeit in unbegrenztem Umfange auszunützen, und der Gegensatz zwischen selbstständiger Arbeit und Massenerzeugung droht immer schroffer zu gehässiger Feindschaft heranzuwachsen.

Die Lage des Kleingewerbes ist aber auch, vom rein technischen Standpunkte betrachtet, gegenüber den heute gegebenen Industrieverhältnissen die ungünstigste. Der Kleinbetrieb arbeitet im Grossen und Ganzen auf sehr vielen Gebieten heute noch mit Werkzeugen im weiteren Sinne des Wortes, die im Wesentlichen nicht andere sind als vor Jahrhunderten; vielleicht lässt sich sogar behaupten, dass die Art und Weise, wie heute beispielsweise der Steinmetz oder Bildhauer dem Steinblock die erste Gestaltung giebt u. s. w., auch vor Jahrtausenden keine wesentlich andere war.

Die gewaltigen technischen Fortschritte ziehen zum grössten Theil am Kleingewerbe spurlos vorüber, weil die Mehrzahl dieser Fortschritte die Befreiung von der rohen Menschenkraft voraussetzt. Was nützt es auch, auf neue Werkzeuge zu sinnen, da ihre Verwendung doch immer an die Kraft und an immer vermehrte Kraft gebunden bleibt, letztere aber nicht beschafft werden kann!

Die Kleinkraftmaschinen gewähren nur sehr beschränkte Hilfe; sie sind in der Anschaffung und im Betriebe zu kostspielig, im Vergleich zu den Mitteln, mit denen der Grossbetrieb arbeitet, und in dem ganz kleinen Maassstabe, in welchem der am härtesten bedrängte kleine Mann der Hilfskraft benöthigt, sind Kraftmaschinen überhaupt nur lebensfähig im Zusammenhange mit der billigsten, centralisirten Krafterzeugung.

Den Gegensatz hierzu, die Kraftbeschaffung für die Grossindustrie, die unbeschränkte Ausnützung der nach allen Erfahrungen und Fortschritten vervollkommeneten Maschinen, brauche ich hier nicht näher zu begründen. — So steht das gesammte hochentwickelte Maschinenwesen dem Grossbetriebe übermächtig zur Seite, und dem Kleingewerbe kann die Hilfe vollkommener Werkzeuge nicht gebracht werden ohne billige, an jeder Arbeitsstelle zur Verfügung stehende Betriebskraft. Nur mit der Betriebskraft können die vollkommenen Werkzeuge dem Kleingewerbe die ersehnte Hilfe gegenüber dem übermächtigen Grossbetriebe bringen.

Die Beschaffung und Vertheilung der Druckluft als Kraftversorgung von Städten sollte daher in Erwägung aller wichtigen und bedeutungsvollen Verhältnisse nur von weitblickendem Gesichtspunkte aus beurtheilt werden. Die allgemeine Benutzung der Druckluft als Betriebskraft für das Kleingewerbe, alle hochwichtigen Nebenverwendungen derselben verdienen die grösste Beachtung und genauestes Studium, da die Druckluft, wie nichts anderes, befähigt ist, nach den verschiedensten Richtungen hin empfindlichen Bedürfnissen zu entsprechen und in wichtige Lebensverhältnisse segensreich einzugreifen.

### Nachtrag.

Nach Drucklegung des Vorstehenden fand ich Gelegenheit zum Studium der neuen grossen Anlage für Kraftübertragung durch Druckluft in Birmingham (der „Birmingham Compressed Air Co.“). Diese Studien bestätigten die im Vorangegangenen ausgesprochenen Bemerkungen über den praktischen Werth der Pariser Anlage. Die Anlage in Paris ist aus den kleinsten Anfängen des Uhrenbetriebes entstanden, alle technischen Einrichtungen hatten nach und nach den immer grösser und zahlreicher gewordenen Bedürfnissen nachzukommen, und diesem Umstande sowie dem praktischen Sinn, mit welchem dort jedem neu auftauchenden Bedürfnisse Rechnung zu tragen und jede neu entstandene Schwierigkeit zu überwinden gesucht wurde, ist es zuzuschreiben, dass die Einrichtungen für Verwerthung der Druckluft dort in vieler Beziehung einfach und zweckmässig sind, dass insbesondere die Druckluft in der Stadt in einer Weise zur Verfügung gestellt wird, welche einerseits das Vertrauen des Abnehmers erweckt, ihn andererseits jeder Belästigung überhebt.

Die Anlage in Birmingham ist auf entgegengesetztem Wege entstanden. Dort ist eine grosse nunmehr 3000pferdige Centralanlage nach einheitlichem Plan geschaffen und in grösstem Stil erhöhter Betrieb mit über 30 000 Pferdekräften vorgesehen. Für die Verwerthung der Druckluft aber und die hierfür nothwendigen technischen Vorkehrungen ist bisher verhältnissmässig wenig geschehen, und so ist denn auch die Centralanlage seit längerer Zeit betriebsfertig, aber es ist nur eine Maschine zeitweilig in Betrieb. An Abnehmern der Druckluft wird es in einer so industriereichen Stadt kaum fehlen, wohl aber fehlt es gegenwärtig noch an den für den Betrieb erforderlichen Einzelheiten und erprobten Einrichtungen, z. B. an zuverlässigen einfachen Luftmessern, an erprobten Luftmaschinen u. s. w. Diese und andere Einrichtungen sind dort noch im Stadium des Versuchs und naturgemäss noch unvollkommen; Erfahrungen werden im Laufe der Zeit Besseres schaffen, wenn nicht die in Paris bereits gemachten Erfahrungen unmittelbar benutzt werden. Gegenwärtig sind in der Stadt erst wenige Anlagen in Betrieb, u. A. Giessereien, welche ihre Kupolöfen mit Luftdüsen statt mit Gebläsen und ihre Betriebs-Dampfmaschinen mit Druckluft statt mit Dampf speisen. Kleinere Luftmaschinen sind versuchsweise in Verwendung, und zwar Modelle kleiner Wassersäulenmaschinen, der bekannte Schmid'sche Motor mit Steuerung im schwingenden Zapfen, und Armstrong'sche einfachwirkende Dreicylinder-Maschinen oder aber

Modelle ganz kleiner gewöhnlicher Dampfmaschinen. Solche Maschinen eignen sich zweifellos für einen Anfangsbetrieb, sind aber nicht das Beste, denn der Luftbetrieb erfordert für eine gute Luftmaschine auch seine besonderen Konstruktionen der Einzelheiten; zum Mindesten schienen mir diese noch unvollkommenen kleinen Luftmaschinen nicht im Einklang mit der bedeutend geplanten Centralanlage zu stehen.

Die Vorwärmung der Druckluft vor der Verwendung in der Luftmaschine erfolgt auch nicht einheitlich durch eigene erprobte Vorwärmöfen, sondern ist allzusehr den örtlichen Verhältnissen überlassen. So ist z. B. bei einer Anlage das Luftrohr behufs Erhitzung durch den Feuerraum eines grossen Glühofens geführt und wird darin zu stark erhitzt und deshalb in den kalt gestellten Dampfkessel der Dampfmaschine behufs Auskühlung geleitet; bei einer andern Anlage ist das Luftrohr in einen kleinen gemauerten Ofen geleitet. Kurz, es fehlt in Anbetracht der in grossem Stile durchgeführten und schon lange betriebsfertigen Anlage an vielen Einzelheiten für den Betrieb und die Verwerthung, und die Unternehmung wird zweifellos in dieser Richtung noch manches verbessern müssen, um der Pariser Anlage gleichzukommen. Es will mir scheinen, dass es für ein durchaus neues Unternehmen so grossen Stiles wichtiger sei, für die zweckmässigste Anordnung derjenigen Maschinen und Apparate zu sorgen, mit welchen der wenig oder gar nicht sachverständige Abnehmer zu thun hat, als zu viel Werth auf die Eigenart der Centralanlage zu legen. Der Abnehmer fragt schliesslich wenig oder gar nicht darnach, mit welchen vollkommenen Mitteln die Centralstation die Druckluft erzeugt, sondern nur nach den Kosten und der Bequemlichkeit des Betriebs.

Aber auch die grossartige Centralstation in Birmingham ist nach meiner Ansicht, trotz der einheitlichen Grundgedanken und obwohl sie in sehr vieler Hinsicht ausserordentlich interessant ist, nicht vollkommen. Ich möchte dies nur als eine ganz unmaassgebliche Meinung ausdrücken, da ich sowohl den berathenden Ingenieur der Unternehmung, Professor Robinson vom King's College in London, sowie den bauleitenden Ingenieur Sturgeon in Birmingham nur flüchtig und den Konstrukteur der maschinentechnischen Details gar nicht zu sprechen Gelegenheit fand, demnach eine Meinung nur auf Grund der eigenen Beobachtung der Maschinen abgeben kann.

Die Gasfeuerung für die Kesselheizung, insbesondere für Verwerthung von Abfall-Produkten geplant, ist zur Zeit noch nicht in Thätigkeit, kann das zweckmässiger Weise auch nicht sein, da die Anlage erst mit einer Maschine und mit dieser nur zeitweilig mit geringer Geschwindigkeit,

etwa 300 Pferdekräften entsprechend, im Betrieb ist, so dass der ununterbrochene Betrieb der Gasfeuerung naturgemäss jetzt noch ausgeschlossen ist.

Die Anordnung der Dampfkessel und Kompressoren ist anscheinend durch sehr weitgehend angestrebte Raumersparniss beherrscht worden. Zwingende Gründe waren mir nicht erkenntlich. Die allgemeine Anordnung sowie die ausgeführten Einzelheiten lassen durchgehends den Schiffsmaschinen-Konstrukteur vermuthen. Nur gegenüber dem Streben nach erreichbar grösster Raumersparniss ist es erklärlich, dass man Wasserröhren-Kessel in Nischen des Maschinenfundamentes einbaute, dass man Luftpumpen, Speisepumpen und Kaltwasserpumpen für die Kompressoreinspritzung in Seitennischen der Fundamentpfeiler, kaum zugänglich, aufstellte, wo sie der Beschädigung durch die Abfälle der Kesselheizung ausgesetzt sind.

Die Luftkompressoren sind in ihrer Bauart gleichfalls vom Streben nach Raumersparniss beeinflusst, und ausserdem scheint ein Grundsatz weitgehend für die Konstruktion maassgebend gewesen zu sein: man scheint angenommen zu haben, dass der Wirkungsgrad einfachwirkender Kompressoren ein höherer sei als der doppelt wirkender Kompressoren, weil bei ersteren die angesaugte Luft viel weniger Gelegenheit findet, schon während des Ansaugens Wärme aufzunehmen und sich auszudehnen. Es wurden deshalb Dreicylinder-Expansionsmaschinen in Verbindung mit 6 einfach wirkenden Luftkompressionsmaschinen aufgestellt, von denen 3 unmittelbar mit den Dampfmaschinen-Kolbenstangen gekuppelt und 3 durch Vermittlung von Balanciers angetrieben werden. Die Hubbegrenzung bildet eine Kurbelwelle ohne Schwungrad mit 2 Stirnkurbeln und einer Wellenkröpfung. In Folge dieser Anordnung sind die Kompressionsmaschinen sehr komplizirt. Der Gewinn, der möglicherweise durch die einfachwirkenden Kompressoren erzielt werden kann, wird durch die Nebenwiderstände der hinzukommenden 3 Kolben wahrscheinlich mehr als aufgebraucht. Ausserdem ist die Maschine bei ihrer sehr knappen Bauart theilweise nicht gut zugänglich. Die grossen Druckventile sowohl als auch die auf dem Kolben angebrachten 16 Saugventile arbeiten flatternd und mit grossem Geräusch, und zwar schon bei niedriger Umdrehungszahl, etwa 30 in 1 Minute. Bei Steigerung auf 45 in der Minute sind Lärm und Stösse sehr beträchtlich. Mit grösserer Geschwindigkeit hatte ich die Maschine zu beobachten nicht Gelegenheit. Jede Dreicylindermaschine muss aber, um die verlangten 1000 Pferdekräfte zu leisten, mit 90 Umdrehungen in 1 Minute betrieben werden. — Die Luftkühlung während der Verdichtung war zur Zeit meines Besuches eine wenig wirksame; die Temperatur der Druckluft in den Druckleitungen

betrug etwa 70<sup>o</sup>, und zwar bei einer Luftpressung von unter 4 Atmosphären. Auch bei den Birminghamer Maschinen sind die Kanal- und Druckrohrquerschnitte viel zu niedrig bemessen.

Die Rohrleitung für die Vertheilung der Druckluft in der Stadt (aus gewalzten schmiedeeisernen Röhren), deren Dichtungen (mit Muffen, Schnur und verstemmter Bleidichtung), alle Vorrichtungen für Rohrabzweigungen, Sicherheitsvorkehrungen u. s. w. sind in Birmingham musterhaft durchgeführt. —

Die Unternehmung in Birmingham wird sich im Laufe der Zeit jedenfalls Bahn brechen und dort gegenüber der höchst ausgedehnten Industrie die beabsichtigte und verdiente Bedeutung erlangen, und die erwähnten Mängel lassen sich nach Erfahrung zweifellos beseitigen. Aber Unvollständigkeit der Erfahrungen und Unvollkommenheit der Mittel können die Entwicklung arg hemmen, insbesondere in England, wo konkurrierende grosse Unternehmungen für Kraftübertragung durch andere Mittel eine sehr schroffe Beurtheilung gross gezogen haben.





S. 61

S-96



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

5360

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294763