

Diese Maschine konnte als eine wesentliche Verbesserung der vorhergegangenen vom Jahre 1855 angesehen werden, da nicht nur die ganze Bauart infolge Wegfalles des Regenerators gedrungener war, sondern auch die Heizstelle, beziehungsweise der sogenannte Feuertopf in den Arbeitscylinder verlegt wurde, wodurch die sonst nach außen ausstrahlende Wärme mit nutzbar gemacht werden konnte; die Maschine wurde später von Lehmann bei Konstruktion seiner bekannten, allerdings nicht offenen, sondern geschlossenen Maschine als Grundlage benützt.

Ericsson hatte mit seinen Erfindungen kein Glück; ebensowenig vermochten die zum Teil sehr sinnreichen Konstruktionen von Wilcox, Whipple, Burdin, Bourget, Belou, Laubercan, Windhausen, Roper und anderen mehr als vorübergehende Erfolge zu erzielen und so erlosch wieder langsam das Interesse, welches man den calorischen Maschinen, namentlich zur Zeit ihres Bekanntwerdens, entgegenbrachte.

An diesen Mißerfolgen waren jedoch die Erfinder insofern selbst schuld, da sie sich nicht von dem Gedanken zu trennen vermochten, in der Heißluftmaschine einen ökonomischeren Ersatz der Dampfmaschine zu sehen, daher stets zu Ausführungen im großen drängten. Heißluftmaschinen mit äußerer Verbrennung sind jedoch für große Leistungen aus verschiedenen Gründen unpraktisch und unrationell; einerseits bereitet die Erhitzung so großer Luftmengen außerordentliche Schwierigkeiten, andererseits nehmen die Dimensionen solcher Maschinen in einer Weise zu, daß sie kaum mehr in einem Verhältnisse zur erzielten Leistung stehen. So sollen die vier Maschinen des Dampfes „Caloric“ bei einer Gesamtleistung von 600 PS_e (tatsächlich leisteten dieselben nur 300 PS) 4200 mm Cylinderdurchmesser bei 1800 mm Hub gehabt haben. Durch weitgehende Kompression der Luft und Erhöhung der mittleren Dichte derselben über jene der Atmosphäre können allerdings die Dimensionen der Maschine wesentlich vermindert werden, allein die Schwierigkeiten, welche die Herstellung genügend großer Heizflächen bereitet, bleiben trotzdem bestehen, ebenso wie die stete Gefahr des Durchbrennens der bei so hohen Temperaturen der Einwirkung des Feuers ausgesetzten Teile der Maschine. Heißluftmaschinen mit äußerer Feuerung werden daher heutzutage nur mehr für sehr kleine Leistungen von einem Bruchteile einer Pferdekraft bis höchstens 3 PS_e für gewerbliche und Laboratoriumszwecke aller Art, Wasserversorgungen etc. gebaut. In ihrer allgemeinen Anordnung, sowie hinsichtlich der Wirkungsweise gleichen diese kleinen Luftmaschinen modernerer Bauart dem alten Originale Stirlings.

215. Neuere Heißluftmaschinen mit äußerer Feuerung. Um an einigen Beispielen die Ausführung neuerer Heißluftmaschinen mit

äußerer Feuerung zu erörtern, seien aus der nicht unbedeutenden Anzahl derartiger Konstruktionen einige bekannte Typen herausgegriffen.

Fig. 245 zeigt im Längenschnitt die kleinen, namentlich für Leistungen von wenigen Kilogramm Metern bestimmten Maschinen nach dem Patente H. Robinson.

Die Maschinen arbeiten ohne Kompressionspumpe mit einer mittleren Pressung gleich jener der Atmosphäre. Zufolge der geringen Druckdifferenz ist weder eine eigene Dichtung des Kolbens, noch der übrigen mit der Arbeitsluft der Maschine in Berührung stehenden Teile der Maschine erforderlich.

Der Feuertopf *A* mit dem darüber befindlichen Cylinder dient zugleich als Verdränger. Der Arbeitscylinder *B* steht mit *A* durch den Kanal *D* in steter Verbindung; diese Verbindung wird durch eine im Boden des Arbeitscylinders befindliche, in der Zeichnung nicht ersichtliche zentrale Öffnung hergestellt. Der Feuertopf *A* wird von außen durch eine Koksfeuerung *C* oder durch einen Bunsenbrenner erhitzt. Der Verdrängerkolben *E* erhält seine auf- und niedergehende Bewegung von dem Schwinghebel *F*, welcher durch eine kurze Lenkerstange mit dem Kurbelzapfen verbunden ist. Der Verdrängerkolben läuft infolge dieser Bewegungsübertragung dem Arbeitskolben um ungefähr 90° vor; in der Figur ist ersterer in seiner tiefsten Stellung, während der Arbeitskolben noch seinen halben Hub zu vollenden hat. Der Verdrängerkolben *E* bildet zugleich den Regenerator; derselbe ist derart gebaut, daß die Luft, in gleicher Weise wie bei den Originalkonstruktionen Stirlings, durch denselben nach auf- und abwärts hindurchstreichen kann. Der Verdränger-

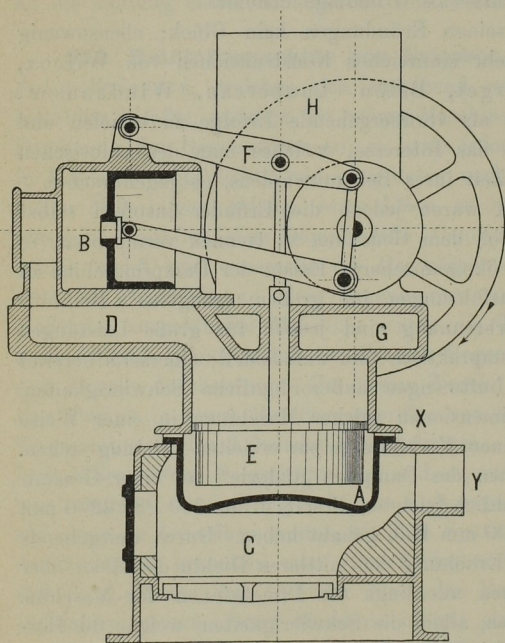


Fig. 245.

Der Feuertopf *A* wird von außen durch eine Koksfeuerung *C* oder durch einen Bunsenbrenner erhitzt. Der Verdrängerkolben *E* erhält seine auf- und niedergehende Bewegung von dem Schwinghebel *F*, welcher durch eine kurze Lenkerstange mit dem Kurbelzapfen verbunden ist. Der Verdrängerkolben läuft infolge dieser Bewegungsübertragung dem Arbeitskolben um ungefähr 90° vor; in der Figur ist ersterer in seiner tiefsten Stellung, während der Arbeitskolben noch seinen halben Hub zu vollenden hat. Der Verdrängerkolben *E* bildet zugleich den Regenerator; derselbe ist derart gebaut, daß die Luft, in gleicher Weise wie bei den Originalkonstruktionen Stirlings, durch denselben nach auf- und abwärts hindurchstreichen kann. Der Verdränger-

cylinder ist nach oben durch den Kühler *G* abgeschlossen; die Kühlung erfolgt durch beständige Wasserzirkulation, indem der Hohlraum von *G* mit dem Wasserbehälter *H* in offener Verbindung steht. Unter Bezug auf den an früherer Stelle erörterten Kreisprozeß der Stirlingmaschine, welchen die vorliegende Luftmaschine gleichfalls befolgt, erscheint eine weitere Besprechung der Wirkungsweise derselben überflüssig.

Eine Eigentümlichkeit der Robinsonmaschine, welche in Anbetracht der kleinen Leistungen, für welche heutzutage Heißluftmaschinen nur mehr Verwendung finden und der zumeist mangelhaften Wartung derselben als ein Vorteil hervorgehoben werden muß, ist das gänzliche Fehlen jeder Packung, aller Ventile und Stopfbüchsen; dieser Vorteil wird allerdings nur dadurch erreicht, daß die Maschine ohne Kompression arbeitet, daher sowohl ihre Leistungsfähigkeit, als auch ihr Wirkungsgrad sehr enge Grenzen nicht überschreiten kann.

Eine andere Konstruktion, welche der Hauptsache nach, jedoch nicht vollkommen, den Kreisprozeß Stirlings befolgt, ist die durch Fig. 246 im Längenschnitte dargestellte Heißluftmaschine von Rider.

In dieser bekannten und vielfach ausgeführten Maschine sind *A* und *B* zwei oben offene Cylinder, deren Plungerkolben *C* und *D* an zwei unter nahezu 90° versetzten Kurbeln angehängt sind. Die beiden Cylinder sind durch den Regenerator *H* verbunden. Der untere Teil des Cylinders *C* ist von einem Kühlmantel *E*, durch welchen Wasser zirkuliert, konzentrisch umgeben. Der untere Teil des anderen Cylinders *B* ist

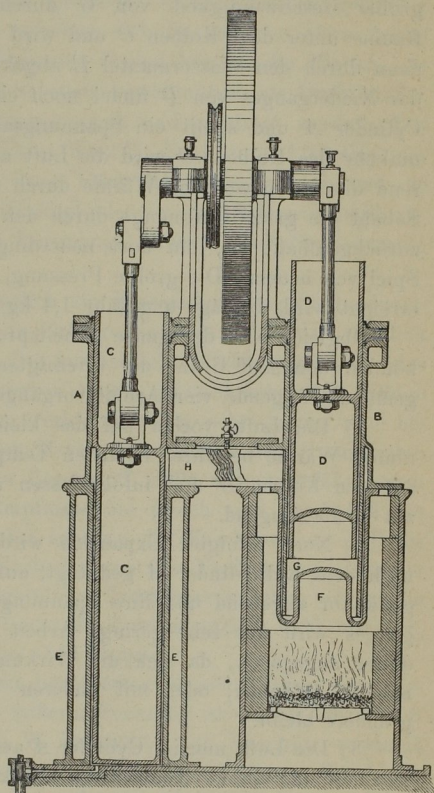


Fig. 246.

mit dem Feuertopfe *F* in den Ofen eingehängt, wodurch die in dem Zwischenraume *G* unterhalb des Plungers *D* eingeschlossene, mit den glühenden Wandungen des Feuertopfes in Berührung tretende Luft erhitzt wird.

In der durch Fig. 246 dargestellten gegenseitigen Stellung der beiden Kolben steht *C* in seiner tiefsten Lage, um den Anhub zu beginnen, während *D* in der Aufwärtsbewegung begriffen ist. Nahezu die ganze Menge der Arbeitsluft war im Raume *G* komprimiert, expandiert in dem Maße, als dieselbe Wärme aufnimmt, Arbeit auf den Kolben *D*, sowie auf den Kolben *C* übertragend. Während dieser Periode erreicht *D* seine höchste Stellung, während sich *C* ungefähr in der Mitte des Hubes befindet; die Luft strömt nun infolge des rasch anwachsenden Volumens mit großer Geschwindigkeit von *G* durch den Regenerator *H* nach dem Raume unter dem Kolben *C* und wird zuerst durch den Regenerator und dann durch den Wassermantel *E* abgekühlt. Während der ersten Periode des Niederganges von *D* findet noch ein Überströmen der Luft nach dem Cylinder *A* und somit ein Spannungsabfall statt. Nach der Bewegungsumkehr des Kolbens *C* wird die Luft unter demselben komprimiert, während die frei gewordene Wärme durch den Kühler *E* aufgenommen wird. Sobald die ganze Luftmenge durch den Regenerator nach dem Feuertopfe zurückgeschafft ist, um dort neuerdings erhitzt zu werden, beginnt das Spiel von neuem. Die größte Pressung, welche während des Kreisprozesses erreicht wird, beträgt ungefähr 1,4 kg/qcm.

Obleich sich der ganze Arbeitsprozeß ohne Unterbrechung vollzieht, können doch auf Grund der vereinigten Bewegung beider Kolben im allgemeinen folgende vier Arbeitsvorgänge unterschieden werden:

1) Die Luft, vorher auf das kleine Volumen *G* zusammengedrückt, nimmt Wärme bei ihrer höchsten Temperatur auf und expandiert, Arbeit auf den Kolben *D* und infolgedessen auch bis zu einem gewissen Grade auf *C* übertragend.

2) Nach erfolgter Expansion wird die Luft durch den Regenerator nach dem Kaltcylinder *A* gedrängt, auf diesem Wege Wärme an den Regenerator abgebend und ihre Spannung verlierend. Während dieses Vorganges wird nur sehr geringe Arbeit an die Luft übertragen oder von dieser abgegeben, da sich die Wirkungen der beiden Kolben *D* und *C* nahezu aufheben, oder mit anderen Worten, das Volumen völlig un geändert bleibt.

3) Die Luft, nun im Cylinder *A* auf ein größeres Volumen ausgedehnt und auf die untere Temperatur abgekühlt, wird beim Niedergange des Kolbens *C* zusammengedrückt, Wärme an den Kühler *E* abgebend. Während dieses Vorganges wird Arbeit an die Luft seitens der Maschine abgegeben.

4) Die gepreßte Luft wird unter Wärmeaufnahme durch den Regenerator nach *G* gedrückt, infolgedessen nehmen Temperatur und Spannung zu. Während dieser Periode wird gleichfalls wenig Arbeit von der Luft geleistet, noch an dieselbe abgegeben.

Die Ridermaschine unterscheidet sich von der eigentlichen Stirlingmaschine dadurch, daß ihr Verdränger gleichzeitig auch als Arbeitskolben dient. Die Maschine hat mancherlei Vorzüge; besonders erwähnenswert ist das im Vergleiche mit anderen Maschinen sehr einfache Getriebe, sowie das bequeme, ohne Auseinandernehmen mögliche Nachdichten der Kolben. Zur Dichtung dienen, wie aus Fig. 246 ersichtlich, Lederstulpe. Allerdings bringt die Anwendung zweier Cylinder den Nachteil mit sich, daß durch zwei Kolben auch zwei Undichtheitsquellen geschaffen sind.

Der Regenerator ist aus einer größeren Anzahl parallel gestellter gußeiserner Platten gebildet, die zwischen sich Spalten von etwa 2 mm Weite lassen. Durch einen abnehmbaren Deckel können die Platten, die bei geschlossenen Maschinen nicht so rasch verschmutzen als Drahtbündel, Drahtgeflechte u. dgl., leicht herausgenommen und gereinigt werden. Der auf diesem Deckel befindliche Hahn (Ventil) dient zum Abstellen der Maschine; öffnet man denselben, dann bläst die heiße Luft ab und die Maschine bleibt stehen. Am Kaltluftcylinder ist ein Schnarchventil angebracht, das sich öffnet, sobald Luftmangel eintritt und die Spannung unter jene der Außenluft sinkt.

Die Ridermaschine hat namentlich zur Wasserförderung für landwirtschaftliche und häusliche Zwecke in Größen bis etwa 3 PS eine ziemlich verbreitete Verwendung gefunden. Der mechanische Wirkungsgrad, d. i. das Verhältnis der effektiven zur indizierten Arbeit, ist, wahrscheinlich zufolge der doppelten Lederstulpdichtung, verhältnismäßig sehr gering und bewegt sich je nach der Größe der Maschine zwischen den Grenzwerten 0,35 bis 0,45. Der Verbrauch an Brennstoff stellt sich ungefähr jenem einer gleich leistungsfähigen Dampfmaschine gleich und beträgt 4 bis 6 kg Gaskoks pro PS_e-Stunde; dabei arbeiten die Maschinen mit 150 bis 100 minutlichen Umdrehungen. Nach den von dem Verfasser an mehreren Ridermaschinen vor Jahren durchgeführten Leistungsversuchen beträgt die mittlere Spannung im Heißluftcylinder *B* durchschnittlich 0,85 bis 0,88, jene im Kaltluftcylinder *A* 0,40 bis 0,44 kg/qcm.

Eine der besten und seinerzeit beliebtesten Konstruktionen einer geschlossenen Heißluftmaschine mit äußerer Feuerung ist die im Jahre 1868 bekannt gewordene Maschine von W. Lehmann. Die Maschine vereinigt Arbeitskolben und Verdränger in einem einzigen, bei älteren Maschinen liegend, bei neueren Maschinen stehend angeordneten Cylinder. Diese Anordnung bedingt, daß die Kolbenstange des im heißen Teile des Cylinders spielenden Verdrängers durch den Arbeitskolben hindurch und mittels Stopfbüchse gedichtet sein muß. Für die Dichtung des im kühlen Teile des Cylinders spielenden Arbeitskolbens genügt ein einfacher Lederstulp. Der Verdränger liegender Maschinen wird auf Rollen geführt, um die

gleitende Reibung durch rollende zu ersetzen. Die Bewegungsübertragung vom Arbeitskolben auf die Kurbel und umgekehrt von dieser zurück auf den Verdränger erfolgt durch ein aus Hebeln und Lenkstangen gebildetes Getriebe und gehört in Anbetracht der geringen Leistungen und zumeist nicht genügend aufmerksamen Wartung dieser Maschinen mit zu den Schattenseiten derselben. Um die Erneuerung des Lederstulpes des Kolbens sowie ein Nachstellen der Führungsrollen ohne Demontierung der Kurbelwelle vornehmen zu können, wurde dieselbe bei den liegenden Maschinen auf den Rücken derselben gelegt; später hat man jedoch diesen Vorteil wieder aufgegeben.

Die Regulierung dieser, sowie der geschlossenen Maschinen überhaupt, ist wohl einer der schwächsten Punkte derselben, da die Veränderung der Nutzleistung durch Vernichtung eines Teiles der indizierten Arbeit erfolgt, und zwar in der Weise, daß man entweder durch ein vom Regulator eingestelltes Ventil bei zu raschem Gange der Maschine Luft aus derselben entweichen läßt oder durch eine Bremse die Arbeit zum Teil direkt abbremsst. Im ersteren Falle wird dann die Luft durch ein Schnarchventil wieder ersetzt.

Der Zug soll so reguliert werden, daß der Feuertopf stets dunkel rotglühend erhalten bleibt.

Eine andere geschlossene Heißluftmaschine, welche hinsichtlich der Bauart sehr viel Ähnlichkeit mit der Lehmannschen Maschine besitzt, ist die im Jahre 1877 bekannt gewordene Heißluftmaschine von O. Stenberg. Diese Maschine wurde gleichfalls in liegender, größtenteils jedoch in stehender Ausführung gebaut und unterschied sich im wesentlichen von der Lehmannschen Maschine nur durch die vereinfachte Verdrängerbewegung, sowie durch die zweckmäßigere Form des Feuertopfes. Verdränger und Arbeitskolben arbeiten auch hier in ein und demselben Cylinder, infolgedessen geht die Stange des Verdrängers wie bei der Lehmannschen Maschine durch eine Stopfbüchse des Arbeitskolbens hindurch. Zur Bewegung des Verdrängers dient ein Winkelhebel, dessen einer Arm an der Stange des Verdrängers angreift, während der andere Arm, als Coulisse ausgebildet, von einer excentrisch am Schwungrade befestigten Rolle auf- und abwärts bewegt wird, wobei die Rolle, welche die Stelle eines Zapfens vertritt, in der Coulisse hin- und hergleitet. Der Arbeitskolben ist an die über dem Cylinder gelagerte gekröpfte Kurbelwelle durch zwei Schubstangen angehängt, während die Verdrängerstange zwischen diesen beiden Schubstangen durch die Mitte des Kolbens hindurchgeht. Die obere Partie des Arbeitscylinders, in welcher sich der durch einen Lederstulp gedichtete Kolben bewegt, ist wie bei Lehmanns Maschine durch einen konzentrischen Wassermantel gekühlt.

Außer diesen Konstruktionen seien noch im Zusammenhange erwähnt die geschlossenen Heißluftmaschinen von Rennes, Buschbaum und anderen.

Hinsichtlich des Brennstoffverbrauches waren alle diese Maschinen ziemlich gleichwertig*).

216. Heißluftmaschinen mit innerer Verbrennung. Die bereits an früherer Stelle erwähnte Schwierigkeit, einer gasförmigen Substanz Wärme durch bloße Berührung mit heißen oder kalten Wandungen zuzuführen oder zu entziehen, war der Hauptgrund, welcher die Verwendung der Heißluftmaschinen mit äußerer Verbrennung für große Leistungen verhinderte. Die Wirksamkeit einer Heizfläche ist bedeutend größer, wenn die zu erheizende Arbeitssubstanz ihren Aggregatzustand vom tropfbar-flüssigen in den gasförmigen Zustand ändert, als wenn dieselbe sich bereits vor der Erhitzung im gasförmigen Zustande befindet. Ebenso wird ein Gas bei Berührung mit kalten Oberflächen seine Wärme viel langsamer abgeben als Dampf, welcher während des Arbeitsprozesses abgekühlt, beziehungsweise kondensiert wird. Diese Schwierigkeit der Wärmeübertragung beziehungsweise Wärmeentziehung durch bloße Leitung der Wärme durch Gefäßwände wird jedoch, insofern es sich um die Erhitzung der gasförmigen Arbeitssubstanz handelt, nahezu gänzlich beseitigt, wenn sich der Verbrennungsprozeß innerhalb der Maschine selbst vollzieht. Der Abkühlungsprozeß vollzieht sich hingegen viel vollkommener und rascher, wenn man die Arbeitssubstanz, welcher Wärme entzogen werden soll, in die Atmosphäre ausströmen läßt, statt dieselbe durch Wärmeleitung abzukühlen und immer wieder von neuem zu benützen. Diesem Umstande verdanken die Maschinen mit innerer Verbrennung in erster Linie ihren verhältnismäßig hohen Wirkungsgrad.

Die erste Konstruktion einer Heißluftmaschine mit innerer Verbrennung — man bezeichnet diese Maschinen auch mit dem Ausdrucke „offene Maschinen“, im Gegensatze zu den geschlossenen Maschinen mit äußerer Feuerung — scheint von George Cayley ausgegangen zu sein**); spätere Konstruktionen, welche durch die Litteratur bekannt wurden, sind die Maschinen von Wenham***), Buckett, Hock, Brown, Benier, Holdorff, Brückner u. a.†).

*) Zeichnung und Beschreibung der seinerzeit bekannt gewordenen Heißluftmaschinen siehe: A. Musil, *Die Motoren für das Kleingewerbe*, 2. Aufl., Braunschweig 1883, sowie J. O. Knoke, *Die Kraftmaschinen des Kleingewerbes*, 2. Aufl., Berlin 1899; dieses Buch enthält zugleich eine ausführliche Theorie der Heißluftmaschine, ergänzt durch die Wiedergabe zahlreicher Versuchsergebnisse.

***) *Nicholsons Art Journal* 1807. — *Min. of Proc. Inst. of Civil Eng.*, Vol. IX.

***) *Proc. Inst. of Mech. Eng.* 1873.

†) Siehe hinsichtlich dieser Maschinen die vorhin erwähnten Arbeiten von Knoke und Musil, von welchen namentlich die erstere die vollständigste, derzeit bestehende deutsche Publikation über Heißluftmaschinen bildet.