

## Der Heißluftmotor – gestern und heute

Um ca. 1800 war die Dampfmaschine die meist eingesetzte Kraftmaschine, die jedoch durch das Betreiben der nötigen Dampfkessel zu dieser Zeit große Gefahren durch explodierende Dampfkessel mit sich brachte.

Nach der Dampfmaschine ist der Heißluftmotor die zweitälteste Wärmekraftmaschine. Nach einem ihrer Erfinder, dem schottischen geistlichen **Robert STIRLING** auch weltweit **STIRLING-Motor** benannt.

Die Geschichte des Heißluftmotors im damaligen Großmaschinenbau reicht zurück in das Jahr **1807** als **Sir George Cayley** (1773–1857) in England die Konstruktionszeichnung und -beschreibung einer Maschine veröffentlichte, die er „calorische Maschine“ nannte. Diese Maschine blieb im Reißbrettstadium und wurde auch später nie verwirklicht. Jedoch regte diese Idee viele Ingenieure an, die Idee weiter zu verfolgen und zu verbessern.

**1816** meldet der Reverent Robert Stirling, damals 26 Jahre alt, die erste „STIRLING-Maschine“ und des „Economizers“ (Regenerator) zum Patent an. Die Auswirkung des Regenerators hat bis heute in der Industrie ihre Bedeutung.

**1827** wird eine verbesserte Heißluftmaschine in Zusammenarbeit mit seinem Bruder **Ing. James Stirling** angemeldet. Diese Heißluftmaschine war die Erste, die mit einem völlig geschlossenen Kreislauf arbeitete, und stellte auch von der Konstruktion her ein heute noch gern benutztes Aussehen (Beta-Type) dar.

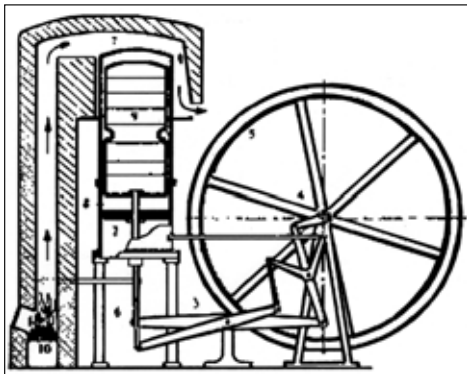


Fig. 1. Demonstration Stirling engine formerly "in Mr. Leslie's class-room, College of Edinburgh" [4], probably donated by Stirling himself (see note in Appendix A). Total height about 70 cm (~28 inches). A similar demonstration engine is in the possession of Glasgow University. (Photo by courtesy of the Director, Royal Scottish Museum, Edinburgh.)

Abb.: Links: Rekonstruktion von Stirlings Patentzeichnung 1816, wie sie um 1818 (nach Finkelstein, 1959) in einem englischen Steinbruch eingesetzt wurde. Rechts: Stirlings erster Eigenbau, ausgestellt im Royal Scottish Museum Edinburgh.

Heute ist der „STIRLING-Motor“ rund um den Globus ein Sammelbegriff für Wärme-Kraftmaschinen die nach diesem Prinzip arbeiten.

Mehrere Namen sind im vorigen Jahrhundert mit der Weiterentwicklung der Maschine verbunden: Der Schwede **J. Ericsson**, wohl der bedeutenste Pionier auf diesem Sektor, **A.K. Rider** (USA), **W. Lehmann** (Deutschland).

Ihre Maschinen und Erfindungen aufzuführen, würde den hier gedachten Informationsrahmen sprengen.

## Bauarten und Maschinentypen

Trotz der Übermacht von Wasser- und Dampfkraft konnte sich das Arbeitsmedium Luft in einigen speziellen Anwendungsbereichen als sinnvolle Alternative behaupten.

Besonders im Kleingewerbe, in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, waren besondere, einfach zu bedienende Kleinantriebe gefragt. Der menschliche Erfindergeist hat viele Maschinen dieses Genres entstehen lassen. Der Verdienst, etwas Ordnung in die verschiedenen Heißluftmaschinentypen gebracht zu haben und sie nach Funktion und Wirkungsweise in Gruppen einzuordnen, gebührt nach *J. O. Knoke* dem Conrector *G. Delabar*. Lange Zeit begleitete *Delabar* als vielbeachteter Fachautor die Entwicklung der Heißluftmaschinen in den damaligen Fachblättern und berichtete über Fortschritte auf diesem Gebiet, hauptsächlich in *Dingler's polytechnischem Journal*.

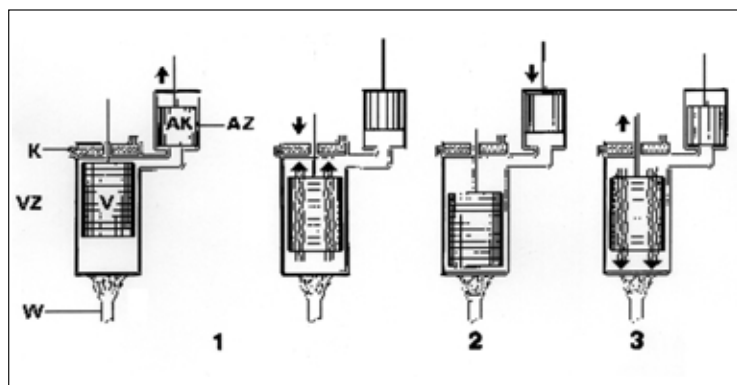
Er beurteilte die Bauarten nach ihrem Funktionsprinzip und unterschied drei Hauptgruppen:

1. **Offene Heißluftmaschinen**, bei denen die Feuergase nicht mit dem Arbeitskolben in Berührung kommen und normale atmosphärische Luft ansaugen und erhitzt wird, arbeitsleistend wirkt und dann die Maschine wieder in die Atmosphäre verläßt. Die bekannteste Maschine dieser Bauart wurde 1861 von der *Firma Wilcox* gebaut.
2. **Feuerluftmaschinen**, in welchen die Feuergase direkt arbeitsleistend auf den Arbeitskolben wirken und die teilweise zwecks Herabminderung der Temperatur Umgebungsluft mit ansaugen. Hier sei auf die *Firma Windhausen* und *Huch* in Braunschweig hingewiesen. Diese hatten 1864 eine Feuerluftmaschine konstruiert, patentiert und wohl nach Aussage von *Knoke* in kleiner Stückzahl gebaut. Die damaligen technischen Möglichkeiten zeigten dieser Bauart ihre Grenzen, sodass ihr wenig Erfolg beschieden war.
3. **Geschlossene Maschinen**, bei denen eine konstante Luftmenge im geschlossenen System einen Kreisprozess durchläuft (**System Stirling**).

## Geschlossene Heißluftmaschinen

Das Prinzip der geschlossenen Heißluftmaschinen, auch „Stirling-Motor“ genannt, beruht auf der Überlegung, eine konstante Luftmenge in einem geschlossenen, variablen Raum einen Kreisprozess durchlaufen zu lassen, und dabei arbeitswirkend die Wärmeenergie in mechanische Energie umzuwandeln. Die Maschinen dieser Gruppe verfügen über einen Arbeits- und Verdrängerkolben, welche wahlweise in einem oder zwei Zylindern angeordnet sein können. Beide Kolben sind über Kolbenstangen mit der Kurbelwelle verbunden, wobei der Verdrängerkolben **VK** dem Arbeitskolben **AK** um etwa eine viertel Umdrehung (zwischen 65° bis 99°) voreilt.

Das Arbeitsprinzip einer geschlossenen kalorischen Maschine ist relativ einfach:\* Denkt man sich eine gewisse konstante Luftmenge in einem zylindrischen Raum so eingeschlossen, dass sich in dem Zylinder ein Kolben



luftdicht verschoben lässt, so wird, sobald die abgeschlossene Luft in irgendeiner Weise erwärmt wird, dieselbe sich ausdehnen und den Raum zu erweitern suchen; die sich dabei äußernde Spannung (Druckanstieg) der heißen Luft treibt dann den verschiebbaren Kolben vor sich her. Kühlt man hierauf die Luft im Zylinder plötzlich ab, so zieht sich dieselbe zusammen; der Druck von innen nach außen hört auf und der Rückgang des Kolbens wird dann durch die Schwerkraft eines auf der Triebwelle des Motors befestigten *schweren* Schwungrades bewirkt. Die Maschine ist daher nur eine *einseitig* wirkende, da bei derselben, die bewegende Kraft nur den Hingang des Arbeitskolbens bewirkt, während dessen Rückgang durch die Schwungmasse besorgt wird. Gemäß dieser Arbeitsweise besitzen Heißluftmaschinen in der Regel zwei Zylinder, den im Durchmesser größeren Verdrängerzylinder **VZ** und den Arbeitszylinder **AZ**. Im **VZ** bewegt sich ein Hohlkolben aus dünnwandigem Eisen-, Kupfer- oder Messingblech, aber auf jeden Fall möglichst leicht gearbeitet, der sogenannte Verdränger **V**, welcher im Zylinder nicht eng anliegt, sodass die Luft an ihm vorbei strömen kann. Hingegen befindet sich der Arbeitskolben **AK** im **AZ** gut geschmiert und gasdicht passend, er verschließt den oben offenen Zylinder, welcher über ein Rohr (Überströmkanal) mit dem **VZ** verbunden ist. **W** ist die unter dem „heißen Teil“ befindliche Wärmequelle und **K** ist die Kühlvorrichtung, die in diesem Beispiel als Wasserkühlung gezeigt wird. Ein Regenerator ist in diesem Schema nicht vorgesehen, wäre aber wohl im Zwischenraum Kolben/ Verdränger am sinnvollsten untergebracht. In der Regel eilt, wie bereits gesagt, der **AK** dem **VK** um 90° vor und bestimmt dadurch die Drehrichtung!

In der Arbeitsphase (1) dehnt sich die durch **W** erhitzte Luft im **VZ** aus, streicht an **V** vorbei und treibt den **AK** nach oben. Durch die entstandene Kurbelwellendrehung bewegt sich jetzt der Verdränger **V** nach unten und verdrängt die im Heizraum befindliche erwärmte Luftmänge. Sie strömt am Verdränger vorbei in den gekühlten Raum oben und gibt ihre Wärmeenergie an die Kühlvorrichtung ab. Diesen Arbeitspunkt kann man als Entspannungsphase (2) betrachten. Der Druck im **AZ** ist dadurch gesunken. Die Trägheit der Schwungmasse treibt den Arbeitskolben **AK** nach unten. Gleichzeitig bewegt sich der Verdränger **V** wieder nach oben und verdrängt die abgekühlte Luft wieder in den warmen Teil des Verdrängerzylinders. Bezogen auf die Bewegung des Arbeitskolbens kann man diesen Arbeitspunkt Rücklaufphase (3) nennen. Hat der Verdränger nun seinen oberen Totpunkt erreicht, beginnt der Kreisprozess von neuem, der nächste Arbeitsakt wird eingeleitet.

Alle in der Geschichte erfolgreichen Heißluftmotoren arbeiten nach diesem Prinzip (*Rider, Ericsson, Lehmann, u.a.*). Die Gründe liegen auf der Hand, denn im Gegensatz zur Dampfmaschine, bei der ständig der Wasserstand im Kessel überprüft und mittels Speisepumpe dosiert nachgespeist werden muss, um das verbrauchte Wasser zu ersetzen, wird die Laufdauer eines Heißluftmotors allein durch die Brennstoffversorgung bestimmt. War eine kontinuierliche Versorgung vorgesehen, zum Beispiel ein flüssiger oder gasförmiger Brennstoff, war die Betriebsdauer praktisch unbegrenzt, von sporadischen „Schmierpausen“ einmal abgesehen. Während dieser Zeit lief der Motor wartungsfrei. Diese spezifischen Qualitäten wurden nur durch den Elektromotor übertroffen.

Eine weitere wichtige Bauform der geschlossenen Maschinen ist die Anordnung der beiden Kolben in nur einem Zylinder. Der Vorteil ist eine kompaktere Bauweise der Maschine und nur ein Zylinder, in dem sich alles abspielt, der Nachteil ein deutlich höherer mechanischer Aufwand bei der Ansteuerung der beiden Kolben. Die Funktion entspricht der oben an der Zweizylindermaschine erklärten Wirkungsweise. Erfolgreich in größeren Stückzahlen gebaut wurden diese Maschinen von den Firmen *Lehmann* in Deutschland, und *Ericsson* in den USA.

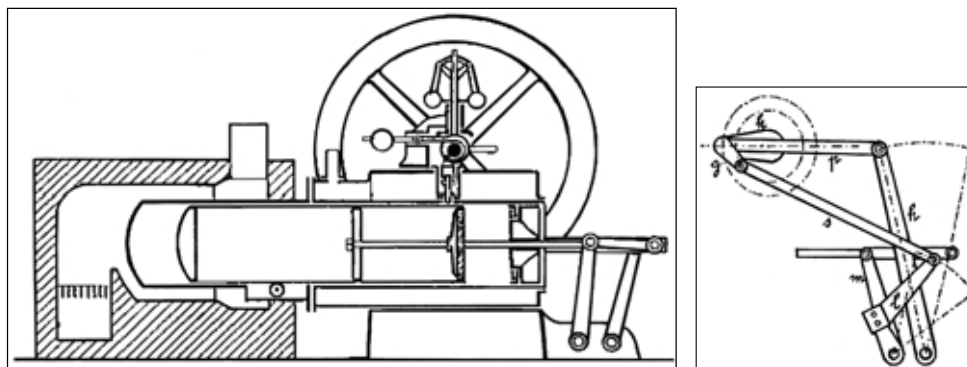
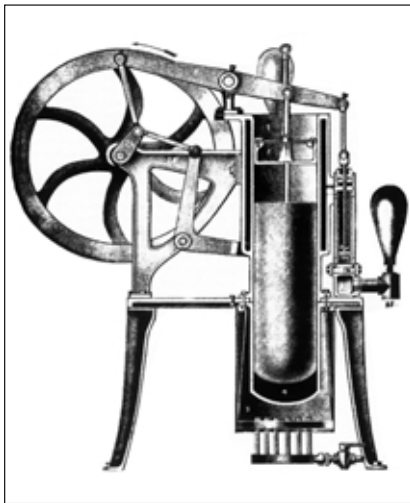


Abb.: *Lehmann*-Maschine im Schnitt, rechts Darstellung des Gestänges zur Ansteuerung der beiden Kolben. Problematisch ist die Ansteuerung des Verdrängerkolbens, welcher durch den Arbeitskolben hindurch mit dem Kurbeltrieb zu verbinden ist.

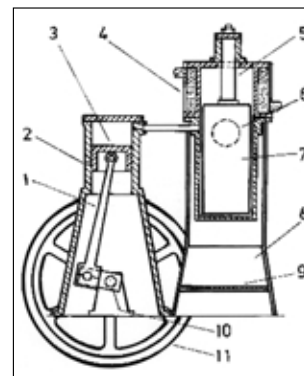
Im Jahre 1868 wurde eine geschlossene Maschine von *Lehmann* bekannt, welche wohl eine Weiterentwicklung von *Ericsson's* letzter offener Maschine darstellt. *Lehmann* übernahm einige wichtige Konstruktionsmerkmale, wechselte aber das Funktionsprinzip. Er wählte ebenfalls eine liegende Anordnung mit einer über der Maschine angeordneten Kurbelwelle. Den Verdränger führte er mit Hilfe einer Rolle im Inneren des Zylinders und durch die Führung im Arbeitskolben. Die Beheizung erfolgte mit Kohle in einem gemauerten Ofen und die Kühlung bestand aus einem um den Zylinder angeordneten Wassermantel. Einen Regenerator hatten die ersten Konstruktionen nicht.



Ericsson's Weiterentwicklung führte zu der hier gezeigten Anordnung. Er wechselte das Funktionsprinzip, denn er hatte wohl auch die Vorzüge der geschlossenen Bauart erkannt. Im Gegensatz zu *Lehmann* baute er seine Maschinen in stehender Ausführung, was die Lagerung und Führung des Verdrängers vereinfachte. Um eine aufwendige Mechanik kam er allerdings auch nicht herum. Die Ansteuerung beider Kolben erfolgte mit nur einer Kurbel. Der Arbeitskolben und die angeflanschte Wasserpumpe wurden mittels Balancier mit der Kurbel verbunden, der Verdränger hatte über einen Winkelhebel Verbindung mit der Kurbel. Bei der Brennstoffversorgung hatte *Ericsson* erkannt, dass für einen möglichst gleichmäßigen Lauf der Maschine

eine kontinuierlich brennende Wärmequelle Grundvoraussetzung ist. Von allen in Frage kommenden Brennstoffen ist auch heute noch Gas der Vorteilhafteste und so versah *Ericsson* diese Maschine mit einem Gasbrenner, der den Vorteil der Regelung hat und der leichteren Handhabung diene.

Mit der Erfindung von *O. Ringbom* hat wohl die klassische Heißluftmaschinenentwicklung ihr Ende gefunden. *Ringbom* patentierte diesen nach ihm benannten Maschinentyp im Jahr 1907, lange nach der Einführung von Gas-, Benzin- und Elektromotoren. Viel zu spät, als dass er hiermit noch eine Chance auf dem Markt gehabt hätte. Es handelt sich hierbei um eine bemerkenswerte geschlossene Maschine, welche eine weitere Untergruppe in diesem Typus darstellt. Sie verfügt über einen federnd aufgehängten Verdränger, welcher keine mechanische Verbindung mit der Kurbelwelle hat. Nur der Arbeitskolben steht mit der Kurbelwelle in Verbindung. Der eng, aber nicht luftdicht passende Verdrängerkolben wird nur durch die Luftbewegung der vom warmen zum kalten Teil und zurück strömenden Luft bewegt. Diese Maschine ist zwar selbstanlaufend, d.h. die Verdrängersteuerung. Die Drehrichtung, nach der diese sich in Gang setzt, lässt sich aber im Voraus nicht bestimmen.



Da gegen Ende des 19. Jahrhundert neue Erfindungen auf den Markt kamen, die wieder eine neue Epoche der Industrialisierung darstellten (Otto-, Diesel-, Elektromotor), wurde der Heißluftantrieb sehr schnell durch diese Aggregate verdrängt.

Die Heißluftmaschine war von Größe und Leistung eben nur für's Kleingewerbe geeignet. D. h. er wurde eingesetzt als Antrieb für Pumpen, Rührwerke, Ventilatoren, Schleifsteine, Nähmaschinen, Gramophone usw. Für diese Zwecke wurde sie auslaufend bis ca. 1920 gebaut. Dann wurde es sehr ruhig um diese Antriebsart.

Da seit der Blütezeit der Heißluftmaschine ein Jahrhundert mit zwei Weltkriegen vergangen ist, ist erklärlich, dass sich nur sehr wenige dieser interessanten Maschinen über die Zeit erhalten haben und sie somit sehr selten sind. Nur wenige Museen und Sammler verfügen über alte Originale.

**1938** griff **Firma Philips** die Idee wieder auf. Der Gedanke war, einen Stromgenerator mit Stirlingantrieb zu entwickeln, um die damaligen Röhren-Radios vom Stromnetz unabhängig betreiben zu können. Als das Aggregat serienreif war, stellte sich auf anderer Ebene der Transistor und leistungsfähige Batterien dem Stirlingaggregat gegenüber und traten ihren Siegeszug an. Philips hat jedoch den Stirling-Motor weiterentwickelt bis in die 70er Jahre und sehr viel erreicht. Es wurden viele technische Neuerungen und Patente erarbeitet. So entstanden Stromaggregate, Jachtmotore, U-Bootmotore, Verdichter. Diese technische Entwicklung ließ manches Unternehmen in der Welt aufhorchen. Patente und Lizenzen wurden vergeben u. a. an General Motors, MAN, Ford Motor Company. Es sind nicht wenige Firmen die heute über Antriebe zwischen 45–800PS verfügen. Fast alle Autokonzerne haben ihren Prototypen laufen, vor allem in Japan. In Schweden wird der Stirling-Motor als Hybridsystem in U-Booten eingesetzt. Für kleine U-Boote wird ein 100 KW Stirling-Motor angeboten mit einer Lebensdauer von 30 Jahren. Insgesamt beschäftigen sich weltweit ca. 100 Unternehmen mit der STIRLING-Technologie.

Dass der Stirlingmotor inzwischen (fast) wieder in aller Munde ist, verdankt er offensichtlich der Energieverteuerung und dem wachsenden Umweltbewusstsein der letzten Jahre. Die Bedeutung des Stirling-Motor nimmt kontinuierlich zu.

Wenngleich in einer größeren Anzahl von Unternehmen an der Weiterentwicklung gearbeitet wird, besteht auch in technisch interessierten Kreisen noch teilweise Unkenntnis über die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten. Bedauerlicherweise wirkt sich dieser Umstand negativ auf die Fertigungskosten und somit den Endpreis aus und hemmt eine wünschenswerte Verbreitung.

Wir dürfen gespannt sein, trotz der ein oder anderen technischen Schwierigkeit, in welchen Bereichen wir noch in den nächsten Jahren von Maschinen und Aggregaten erfahren, die nach dem STIRLING-Prozess arbeiten. Weitere umfassende Information entnehmen Sie bitte unserem Angebot an Schriften und Bücher.



## **Heißluftmaschinen im Modellbau**

Der Faszination, die von dieser interessanten Technik ausgeht, kann sich wohl kein Motoren- und Maschinen-Modellbauer über kurz oder lang entziehen.

Ob man sich nun beim Modellbau für den Nachbau von Historischen Vorbildern entscheidet oder lieber eigene Konstruktionen und Ideen verwirklicht, in beiden Fällen wird man wohl das Funktionsprinzip der geschlossenen Bauart nach STIRLING anwenden.

Der Stirling-Modellbau erfordert eine exakte, ordentliche Bearbeitung, da das Modell nur durch den Temperaturunterschied zwischen kalter und heißer Zone bewegt wird. Ein Stirlingmodell hat demzufolge motorgemäß erheblich weniger Kraft als ein gleichgroß dimensioniertes Dampfmodell. Im Stirling-Modellbau geht es jedoch in erster Linie um den Bau von schönen voll funktionierenden Modellen und nicht um Kraftentfaltung. Ein Angebot von Fertig-Bausätzen wird kaum angeboten, da es bei der Montage von ungeübten Erbauern zu Fehler kommen kann und der Erfolg sich nicht einstellt.

Eine große Unterstützung ist für den Modellbauer mit entsprechender Möglichkeit (drehen, fräsen, bohren, löten) der Erwerb von guten Zeichnungen und evtl. Materialbausätzen mit den entsprechenden Einzelteilen. Der wesentliche Vorteil ist hierbei aber der Wegfall von zeitraubender Suche nach geeigneten Materialien und speziellen Bauteilen, die im Materialsatz dann in der Dimension und richtigen Materialpaarung stimmen.

Alle WIGGERS-Modelle, ob originalgetreuer Nachbau oder eigener Entwurf, arbeiten mit dem geschlossenen System, wie in den Anfängen dieser faszinierenden Technik vor über 180 Jahren.