Hermann Sams ©Österreichischer Naturschutzbund; download unter www.biologiezentrum.at

Der Stirlingmotor
(= Heißluftmotor, Heißgasmotor)

Bei der großen Sturmflutkatastrophe 1952 in Holland mußten alle Pumpenaggregate, die zu diesem Zeitpunkt verfügbar waren, für die Räumungs- und Bergungsarbeiten eingesetzt werden. Dabei fielen kleine, äußerst leise laufende und sehr sparsame Pumpenmotore auf. Es waren Stirling-Motore von Philips.
Diese Firma hatte sich knapp vor Ausbruch des Zweiten Weltkrieges an die Weiterentwicklung der bereits 120 Jahre alten Erfindung gemacht. Ein technisches »Fossil« erwachte zu neuem Leben, denn das Patent stammte aus dem Jahre 1816!
Wenige Jahrzehnte vor diesem Datum war die Dampfmaschine erfunden worden. Aber die hohen Kosten und lebensgefährliche Dampfkesselexplosionen verlangten nach anderen Lösungen: So erfand der damals 26-jährige schottische Pfarrer Robert Stirling ein neues Motorprinzip: Den »Heißluftmotor«, von der Nachwelt auch »Stirling-Motor« genannt.

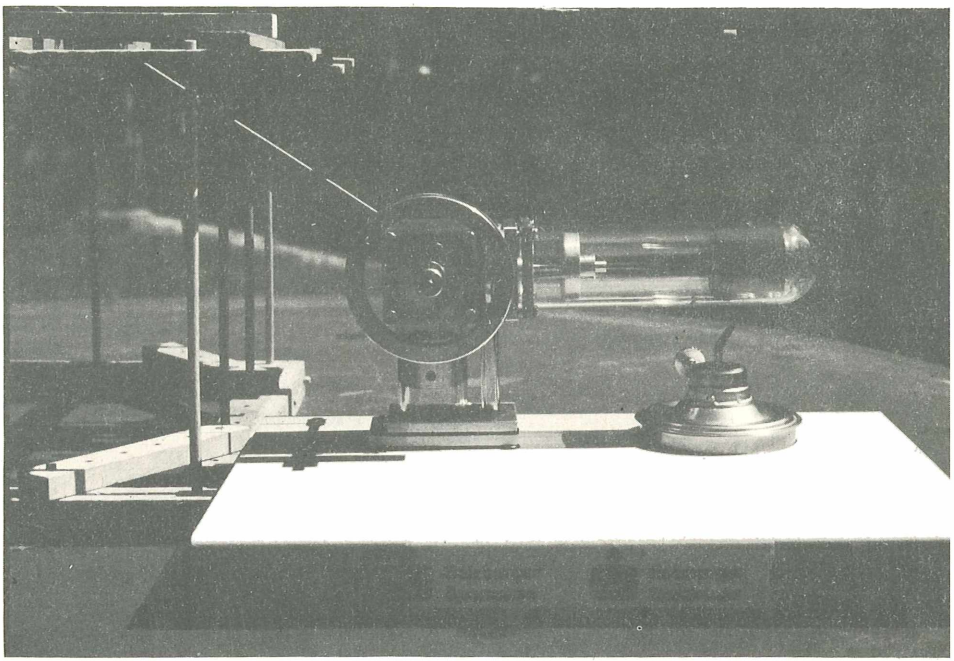
Was macht den Heißluftmotor nun so interessant?

Der Heißluftmotor funktioniert auch ohne Dampf, ohne Ventile und Ventilsteuerung. Er braucht keine Zündanlage und keine Einspritzpumpe. Er ist treibstoffneutral, d.h. es ist gleichgültig, wie die vom Motor benötigte Wärme erzeugt wird. Sowohl Benzin, Diesel, Petroleum, Altöl, Gas, Holz, Stroh als auch Abfälle, kurz: jeder brennbare Stoff – sofern die benötigte Hitze entsteht – ist zum Antrieb geeignet. Natürlich funktioniert der Motor auch, wenn mit Hilfe eines Hohlspiegels Sonnenstrahlung zum Aufheizen verwendet wird.

Wie funktioniert der Heißluftmotor?

Der technische Aufbau ist denkbar einfach, wenngleich der physikalische Hintergrund des Motorprinzips immer wieder Bewunderung abverlangt. Der Motor besteht prinzipiell aus einem heißen (beheizten) und einem kalten (gekühlten) Raum bzw. Zylinder. Diese beiden Räume stehen miteinander in Verbindung, sind aber nach außen hermetisch dicht.
In jedem Zylinder befindet sich ein Kolben. Über eine gemeinsame Kurbelwelle sind diese Kolben 90° zueinander versetzt. Das im Motorinneren eingeschlossene »Arbeits«-Gas (Luft, Wasserstoff, Helium o.ä.) wird von den beiden Kolben (nämlich dem Verdrängungskolben und dem Arbeitskolben) ständig zwischen dem heißen und dem kalten Zylinderraum hin- und hergeschoben. Dabei ändert das Arbeitsgas ständig sein Volumen: Es dehnt sich im beheizten Zylinderraum aus und zieht sich im gekühlten Zylinder zusammen. Dabei hat der Verdrängerkolben

im heißen Zylinder die Aufgabe, den Gastransport zum kalten Zylinder zu bewerkstelligen.
Der Arbeitskolben im kalten Zylinder hat die Aufgabe, den Druckanstieg, den das vom heißen Bereich herübergeschobene sich ausdehnende Gas erzeugt, in mechanische Arbeit umzuwandeln, ehe es sich durch Abkühlung gleich wieder zusammenzieht und zum Aufheizen wieder zurückgeschoben werden muß.
Druckanstieg und Druckabfall – bedingt durch Aufheizung und Abkühlung des Arbeitsgases – wechseln einander etwa in sinusförmigem Verlauf ab.



Modell des Stirlingmotors *Foto: H. Sams*

Bei umgekehrtem Antrieb entsteht Wärmepumpe

Noch ein interessantes Detail am Rande: Wird der Heißluftmotor nicht beheizt und seine Kurbelwelle durch einen fremden Motor in umgekehrter Drehrichtung angetrieben, so entsteht eine Wärmepumpe. Der normalerweise beheizte Zylinder wird kalt, der vorher gekühlte Zylinder heizt sich – bei fehlender Kühlung – bis zur Rotglut auf.
Heute werden solche Miniaturwärmepumpen im Zündholzschachtelformat in Satelliten eingesetzt und halten dort die Infrarotsensoren nahe dem absoluten Nullpunkt – und dies in jahrelangem Dauerbetrieb. Denn auch das gehört zum Prinzip des Heißluftmotors: Die extrem lange, wartungsfreie Betriebsdauer.

Wie war es aber angesichts so vieler Vorteile möglich, daß ein solches »Wunderding« in Vergessenheit geraten konnte?

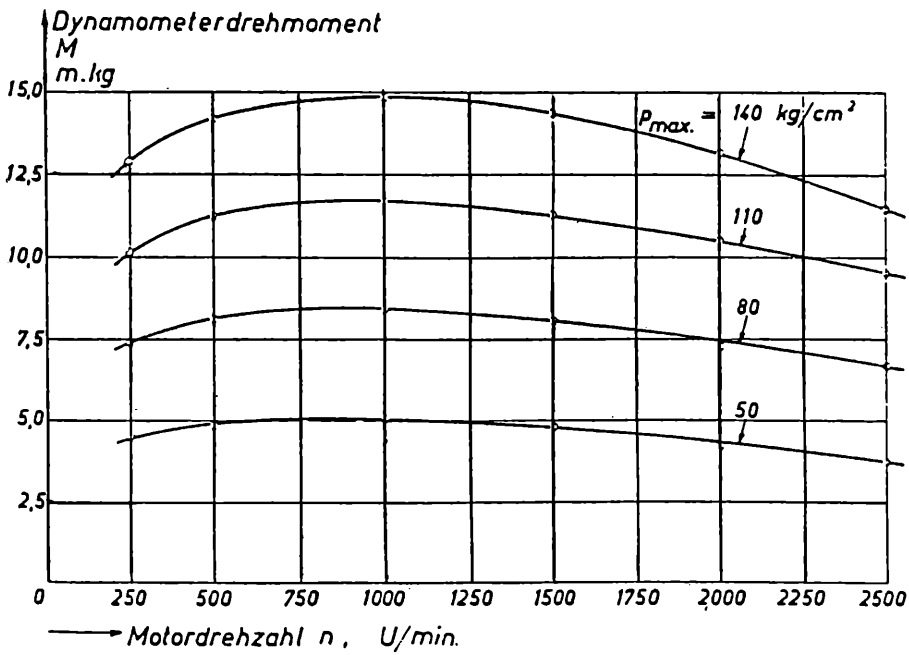
Die Ursache dafür ist in der Technologie der Jahrhundertwende zu suchen. Obwohl Heißluftmotore in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts zu tausenden gebaut wurden, hatten sie alle ein Problem: Den schlechten Wirkungsgrad und ein hohes Leistungsgewicht.

Die Wirkungsgrade lagen um 3%, die Maschinen litten sehr an »Übergewicht«, deshalb waren die Kosten auch beträchtlich.

Das eigentliche Problem bestand aber darin, daß damals niemand gut dichtende Kolben erzeugen konnte; pro Motor waren aber zwei Stück vonnöten! Pfarrer Stirling selbst mußte eine Art Luftpumpe am Motor mitbetreiben, um die Gasverluste aus dem Motorinneren ständig zu ersetzen.

Trotz laufender Verbesserung machte am Motor die Aufrechterhaltung einer ausreichend großen Temperaturdifferenz zwischen heißem und kaltem Bereich sowie Getriebeprobleme alle hochgesteckten Ziele zunichte, da gerade zu dieser Zeit eine verstärkte Entwicklung des Otto- und Dieselmotors einsetzte. Außerdem bediente man sich auf Grund des Ausbaus des öffentlichen Stromnetzes lieber des bequemen Elektromotors.

So blieb der Heißluftmotor mehr oder weniger auf dem Entwicklungsstand der Jahrhundertwende stecken, nach seiner Neuentdeckung durch Philips waren gut vierzig Jahre an Entwicklungsarbeit nachzuholen – und die ist noch lange nicht an ihrem Ende angekommen.



Welche Lösungen führten nun zum »modernen« Heißluftmotor und was leistet diese Maschine?

Erst durch den Einsatz moderner Werkstoffe, wirkungsvoller Wärmeübertragung und günstiger Strömungsverhältnisse konnte der entscheidende Durchbruch gelingen:

- Bau von Mehrfachmotoren durch kreisförmige Anordnung funktionell entgegengesetzter Zylinderteile zu einem wirkungsvollen Ganzen, wobei anstatt der Kurbelwelle nun eine Taumelscheibe die Kolben führt.
- Umkonstruktion zu einer kompakten Einheit (nur ein Zylinder) mit Hilfe eines Rhombengetriebes, welches gestattet, beide Kolben hintereinander anzuordnen. Vorteil: Nahezu Halbierung des spezifischen Leistungsgewichtes.
- Erhöhung des Motorinnendruckes: Arbeitsdrücke von 12 bis über 200 bar rückten Hubraumleistungen von 70 kW pro Liter in die Realität. Trotzdem behielten die Aggregate wegen ihres sanften Druckwechsels und wegen des perfekten Masseausgleichs ihren ruhigen Gang.
- Entscheidende Verbesserung der Gasdichtigkeit: Es gelingt heute, praktisch ohne nennenswerten Verlust, Helium oder Wasserstoff bei mittleren Drücken um 60 bis 80 bar als Arbeitsgas einzusetzen (dies rechtfertigt auch die Bezeichnung »Heißgasmotor«).
- Einbau eines wirkungsvollen »Regenerators« (= Wärmetauschers) in die Gasleitung zwischen heißem und kaltem Zylinder: Mit Hilfe hochporöser Stoffe mit extremem Wärmespeichervermögen und der rund 400-fachen Masse der durchströmenden Gasmenge gelingt eine noch stärkere Abkühlung bzw. Aufheizung des pendelnden Gasstromes. So ist es gelungen, im Kühler dem Gas die Wärme dreimal besser zu entziehen, als dies mit herkömmlichen Stahlteilen möglich wäre.
- Verwendung nichtoxidischer keramischer Materialien im Heißgasteil, die bis 1.400° C nutzbar sind.
- Erhöhung der Energiedichte durch leichtere Bauteile und verfeinerte Getriebe.

Wie ist die Leistungsabgabe dieses Motors steuerbar?

1. Durch Veränderung der Größe der Brennerflamme. Nachteil: Sehr träge, oft Minutenverzögerung bis zur ersten Reaktion.
2. Durch Verändern des Gasdruckes: Reaktion des Motors relativ rasch.
3. Durch Verändern des Phasenwinkels zwischen den beiden Kolben: Sofortige Reaktion.

Wie und wo kann der Heißluftmotor eingesetzt werden?

Philips baute in der Nachkriegszeit kleine, lautlos laufende Stromaggregate mit Kerosinflamme zum Betrieb größerer Röhrenempfänger (ca. 200 kW). Später entstanden jene auch im Weltraum eingesetzten Kühlmaschinen verschiedener Größe. Noch vor dem Krieg baute Bristol einen Motor mit 110 kW für Omnibusse.
1971 wurde im Brüsseler Autosalon ein Daf-Omnibus mit einem Vierzylinder-Reihenmotor gezeigt: 4 kurzhubige Arbeitskolben, zusammen 940 cm^3, bei 100 bar Gasdruck und 3000 U/min., 70 kW.
Entwicklungen in den USA, Südafrika, Europa und besonders in Japan führten zu erprobten Versuchsmotoren bis zu 500 kW Leistung. Die schwedische Firma Unidet Stirling baute ein 75 kW-Aggregat zum KFZ-Antrieb. Das Anheizen ist technisch gelöst: Elektrische Brennerzündung, isolierte Brennerkammern – nach 13 – 18 Sekunden Vorheizzeit kann aus dem kalten Zustand losgefahren werden. Neueste Entwicklungen werden diese Vorheizzeit auf einige Augenblicke reduzieren. Ein Motor der Mechanical Technology inc. (USA) mit 60 kW und 42% Wirkungsgrad (max.) beschleunigt in 14,4 Sekunden von 0 auf 100 km/h. Im Fahrbetrieb wurde gegenüber vergleichbaren Vergasermotoren 30% Treibstoffersparnis festgestellt.
Die errechneten Kosten bei Serienfertigung und die Beschleunigung liegen im gewohnten Rahmen von Diesel-PKWs. Allerdings fallen die Kühler wesentlich größer aus, weil sie rund 45% der anfallenden Wärme ableiten müssen, etwa das Doppelte von Otto- und das Zweieinhalbfache von Dieselmotoren. Dafür spart der Heißluftmotor zwei Drittel der Abgasverluste nebst der bereits erwähnten Schadstoffarmut.
Angeblich fahren vom Toyota-Modell Corolla bereits Exemplare mit Heißgasmotor auf japanischen Straßen herum.

Weitere Anwendungsbereiche

Der Anwendungsbereich reicht aber weit über den KFZ-Antrieb hinaus: So wurde in Saudi-Arabien die Modellanlage »Hysolar« errichtet. Zwei Parabolspiegel wurden mit je einem 60 kW-Heißgasmotor im Brennpunkt aufgestellt; jeder Motor liefert 50 kW und treibt einen Generator an. Die Japaner kombinieren Warmwasserbereitung und Kühlung, nebenbei wird gleichzeitig Haushaltsstrom dezentral erzeugt. Im Dauerbetrieb und fast ohne Schadstoffe.
Mitsubishi und Toshiba haben je eine 3 kW-Haushaltswärmepumpe mit einer Art Wankel-Kompressor, Aisin Seiki und Tokyo Sanyo einen 30 kW-Heißluftmotor mit Kolbenwärmepumpe für Industrieeinsatz oder mit elektrischem Generator. Selbstverständlich wird die Motor-Abwärme der Wärmepumpe als Vorlaufwärme zugeführt und somit nutzbar gemacht. Somit wird also etwa die doppelte Wärmemenge (als eingesetzt wurde) erzeugt und nebenbei lassen sich noch 10 bis 20% der Leistung abzweigen für den Betrieb des Haushaltsstromgenerators.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at

Warum drängt dieses vielseitige Gerät heute nicht stärker auf den Markt?

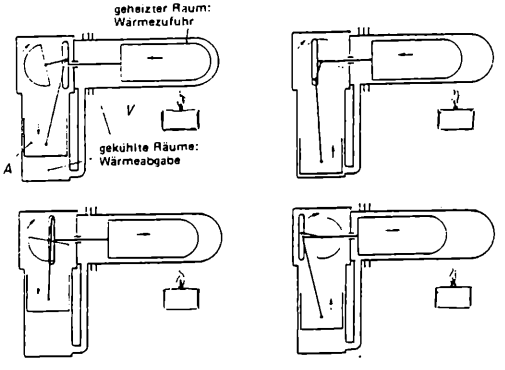
Der erfreuliche Aspekt der Dezentralisierung unserer Stromversorgung steht derzeit noch den Interessen des Versorgungsmonopols entgegen, welches die Zentralisierung in Form von Großkraftwerken betreibt. Zumindest in Europa scheint der politische Wille noch zu gering zu sein, um grünes Licht für eine forcierte Entwicklung zu geben. Immer noch fließen die dringend erforderlichen Gelder der alteingeführten harten Technologie zu, bremsen restriktive Gesetze den wirtschaftlich sinnvollen Einsatz. Außerdem besteht die konkrete Gefahr – und dies hat sich bereits bestätigt – daß entgegen jeder zivilen Vernunft die verläßlichen und vielseitigen Maschinen als Teile von militärischen Projekten unter Verschluß geraten.

Das Schicksal ist nicht auf der Seite des Stirlings, denn: Was den KFZ-Sektor anbelangt, wird der wasserstoffbetriebene Motor dem Stirling den Rang ablaufen, ganz einfach deshalb, weil die bisherigen, bewährten Verbrennungsmotoren für den Treibstoff Wasserstoff lediglich adaptiert werden müssen, während für den Stirling erst eine teure Produktion aufgebaut werden müßte.

Und der zweite – noch weit sinnvollere Einsatz des Stirlings – nämlich: Blockheizkraftwerke bis max. 250 kW und dezentrale Stromversorgung in kleinem und kleinstem Rahmen durch die hauseigene Heizung hat einen Haken: Für diese wenig anspruchsvolle Verwendung gab es bisher schlicht keine Motorentwicklung. Ein High-Tech-Stirling-Motor für Autos läßt sich nicht einfach so ohne weiters in einen Heizungsofen stecken.

Doch der Dornröschenschlaf des Stirlings ist vorbei: Schon gilt es an allen Ecken und Enden engagierte Leute, die sich den Bau und Vertrieb von einfachen, robusten, kleinen Stirlings zum Ziel gesetzt haben. Die Industrie wird dabei unweigerlich in Zugzwang geraten.

Einige Einfach-Stirlings gibt es schon bzw. stehen vor der Fertigstellung, u.a. ein 5 kW-Typ, ein 100 W-Typ, ein 500 W-Typ und andere. Der 5 kW-Typ für Holz-Hackschnitzelheizungen soll bei Serienfertigung einen erhofften Zielpreis von nicht mehr als 3.500 DM haben. Hoffen wirs!



ARBEITSWEISE DES STIRLING-MOTORS

Phase 1: *Fast die gesamte Gasmenge befindet sich in den gekühlten Räumen und wird durch den abwärtsgehenden Arbeitskolben A komprimiert. Der Druck steigt.*

Phase 2: *Das „kalt" komprimierte Gas wird durch den Verdränger V in den geheizten Raum verschoben und dehnt sich unter Wärmeaufnahme aus. Der Arbeitskolben bewegt sich aufwärts.*

Phase 3: *Der Druck hat sein Maximum durch Wärmezufuhr erreicht, die der Arbeitskolben bei seiner Aufwärtsbewegung in Arbeit umwandelt. Diese Arbeit ist größer als die Kompressionsarbeit in Phase 1, so daß der beabsichtigte Arbeitsgewinn möglich ist.*

Phase 4: *Das Gas hat sein maximales Volumen erreicht und wird nun wieder in die gekühlten Räume verschoben, so daß es nach Wärmeabgabe wieder „kalt" zur Kompression bereit ist.*

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Natur und Land (vormals Blätter für Naturkunde und Naturschutz)

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: 1989_2

Autor(en)/Author(s): Sams Hermann

Artikel/Article: Der Stirlingmotor (= Heißluftmotor, Heißgasmotor) 52-57