

Niedertemperatur-Stirlingmaschinen

von B. Johannhörster / O. Mayer

Universität der Bundeswehr München
Institut für Wasserwesen
Abteilung für Regenerative Energien, BauV 6.1
Werner-Heisenberg-Weg 39,
D-85577 Neubiberg
E-mail: Bauv61kb@b6axs1.bauv.unibw-muenchen.de
Tel.: 089/6004-3781, -3840
Fax: 089/6004-3853

1. Allgemeines zum Stirlingmotor

Eine Stirlingmaschine könnte mit dem bestmöglichen Wirkungsgrad Wärme in mechanische Energie sowie auch mechanische Energie in Wärme wandeln. Der einfache Aufbau und die zumindest theoretisch mustergültige Effizienz beflügelt schon seit fast 200 Jahren die Phantasien von Ingenieuren, Naturwissenschaftlern und Bastlern. Abgesehen von unbedeutenden Sparten kam diese Technologie jedoch nie zum Einsatz.

Der Stirling-Motor ist eine Wärmekraftmaschine wie der Otto oder Diesel-Motor, mit der Besonderheit, daß die Wärme nicht im Motor durch explosive Verbrennung entsteht, sondern von Außen zugeführt wird. Dieser Motorentyp ist also nicht auf Erwärmung durch Verbrennung angewiesen, sondern arbeitet auch mithilfe von gewandelter Solarstrahlung als Wärmequelle. Eine befriedigende praktische Umsetzung dieses theoretisch idealen Prozesses ist erst seit wenigen Jahren mit der Entwicklung neuer Materialien, Fertigungsverfahren und Berechnungsmethoden möglich geworden. Weil es allerdings andere hochentwickelte Wärmekraftmaschinen, wie die erwähnten Otto- und Dieselmotoren oder Dampf- und Gasturbinen gibt, deren theoretischer Wirkungsgrad nicht bedeutend schlechter, und die außerdem einen über 100-jährigen Entwicklungsvorsprung haben, ist der mittelfristige Einsatz von Stirlingmotoren nur in Bereichen vorstellbar, in denen die anderen Technologien nur mit großem technischen Aufwand oder schlechtem Wirkungsgrad verwandt werden können.

Die Nutzung von Wärmeenergie bei geringem Temperaturgefälle (kleiner als 150K) ist mit den herkömmlichen Kraftmaschinen fast unmöglich. Jedoch mit einem speziell für diese niedrigen Temperaturen konzipierten Stirlingmotor lassen sich auch diese Energien, mit geringem technischen Aufwand, und einem carnotnahen Wirkungsgrad von bis zu 10% nutzen.

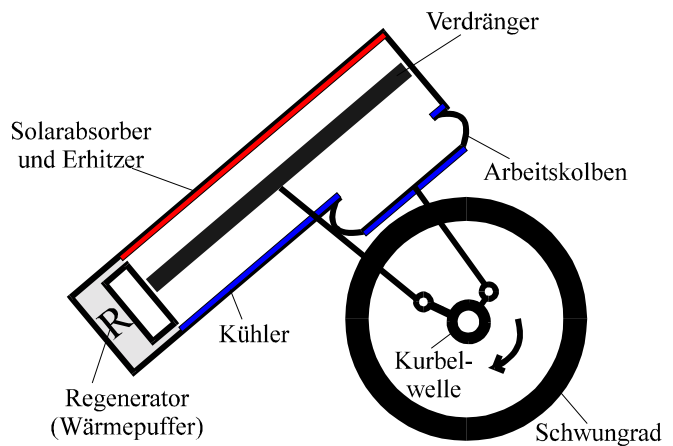
2. Die Funktionsweise

Es gibt sehr viele unterschiedliche Stirlingmotoren-Typen, deren einzige Gemeinsamkeit der angestrebte thermodynamische Kreislauf ist. Eine einfache Variante soll hier anhand des "SoKraTech-Stirlings" erklärt werden.

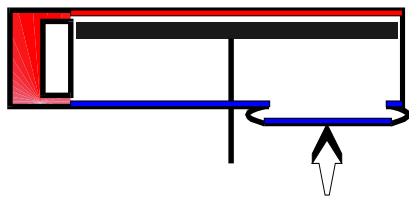
In einem geschlossenen Arbeitsraum wird Luft zyklisch mit einem Verdränger von einer heißen Seite des Raumes zur kalten bewegt. Während der Erwärmung expandiert die Luft, um sich dann innerhalb des Abkühlungsprozesses wieder zusammenzuziehen. Es entsteht eine Druckdifferenz, die auf einen Arbeitskolben wirkt, der damit auf und ab bewegt wird.

Die Hauptfunktionselemente sind damit der Verdränger, der die Luft im Prozeßraum vom heißen in den kalten Bereich befördert, und der Arbeitskolben, der die Druckdifferenz in Bewegung umwandelt.

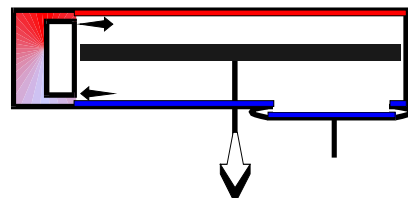
Alle Funktionselemente werden über einen Kurbeltrieb 90° phasenverschoben gesteuert. Anhand der vier dargestellten Arbeitspunkte des Kreisprozesses läßt sich das Funktionsprinzip des Motors erkennen. In den Skizzen ist die obere Seite des Prozeßraumes solar erwärmt, die untere Seite gekühlt.



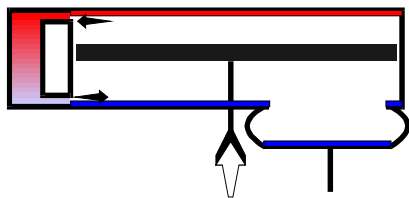
Funktionskizze "SoKraTech"-Stirling



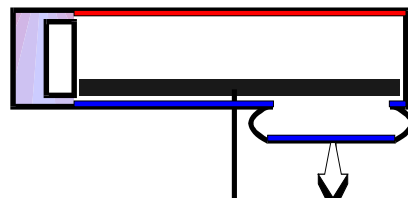
1.) Das Arbeitsgas ist im kalten Raum. Es wird vom Arbeitskolben komprimiert und



2.) Durch den Pleuellager in den Pleuellager. Der Gasdruck steigt durch die Erwärmung.



4.) Der Pleuellager inzwischen kalten Regenerator, wo es einen Teil seiner Wärme abgibt, zurück in den kalten Raum. Der Druck sinkt.

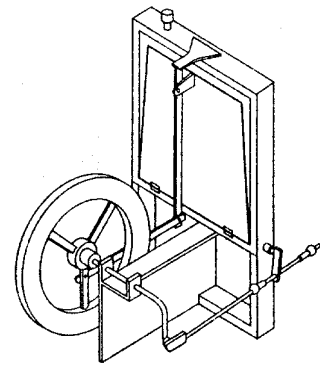


3.) Im Pleuellager wird dem Gas weiter Wärme zugeführt. Es dehnt sich aus und drückt den Arbeitskolben heraus.

3. Der solare Niedertemperatur- Stirlingmotor

Zur direkten Wandlung solarer Strahlung in mechanische Energie wurden bisher Expansionsmaschinen und Hochtemperatur-Stirlings eingesetzt. Man war auf hohe Temperaturen angewiesen, die durch nachgeführte Konzentratoren erreicht wurde. Der große technische Aufwand bei unbefriedigender Nutzleistung, regte zur Suche nach Alternativen an.

In den 70er Jahren, begann Prof. Ivo Kolin in Zagreb Modelle von Flachplattenstirlingmotoren zu entwickeln. Damit wurde erstmals der Weg zur Nutzung geringer Temperaturunterschiede beschritten. Während die Hochtemperatur-Stirlings als klassische Kolbenmaschine konzipiert werden, kann man sich den Arbeitsraum eines Kolin-Stirling eher wie eine flache Holzschachtel vorstellen, in dem sich eine Platte bewegt, um die Luft von der mittels Sonnenenergie erwärmten Seite zur luftgekühlten, kalten Seite zu bewegen. Kolin lieferte theoretische Grundlagen und faszinierende Funktionsmodelle. Ende der 80er Jahre setzte E. Weber in Nürnberg Kolin's Erfahrungen in größerem Maßstab um und so entstanden eine ganze Reihe unterschiedlicher Prototypen die erstmals Nutzleistung erbrachten.



*Flachplattenstirling
nach Prof. Ivo Kolin*

Physikalisch bedingt ist die Wandlung niedriger Temperaturdifferenzen in mechanische Energie stark entropiebehaftet. Im Bereich der regenerativen Energien ist es allerdings bedeutend, solche Temperaturgefälle überhaupt nutzbar zu machen. Die geringe Erhitzertemperatur bringt aber auch bedeutende Vorteile für die konstruktive Gestaltung der Maschine. Die thermische Beanspruchung der Materialien ist im Gegensatz zu den Hochtemperatur-Stirlings, mit einfachen Mitteln zu beherrschen. Da die Maschine bei geringer Drehzahl und geringem Druck arbeitet sind auch die mechanischen Belastungen unproblematisch. Wegen der anspruchslosen Materialien und Fertigungstechniken, sowie einer unproblematischen Wartung sieht man ein großes Einsatzpotential dieses Systems in der "Dritten Welt".

Um den nötigen Innovationsschub zu leisten, ist es zunächst notwendig konzentriert ein mögliches Einsatzgebiet zu ermitteln, in dem die Arbeit mit konkurrierenden, autarken Kraftsystemen problematisch ist. Die Universität der Bundeswehr und ihre Partner entschieden sich für die Entwicklung eines solaren Niedertemperaturstirlings (NT-Stirling) als Antriebssystem für Hubkolben-Wasserpumpen für technisch weniger entwickelte Länder.

4. Die Einsatzmöglichkeiten von NT-Stirlings

Allgemein ist der Einsatz überall da denkbar, wo es nötig ist, Wärmeenergie bei einem geringen Temperaturgefälle (kleiner 150K) in mechanische Energie zu wandeln. In folgenden Sparten ist zumindest langfristig die Applikation des Niedertemperatur-Stirlingmotors möglich.

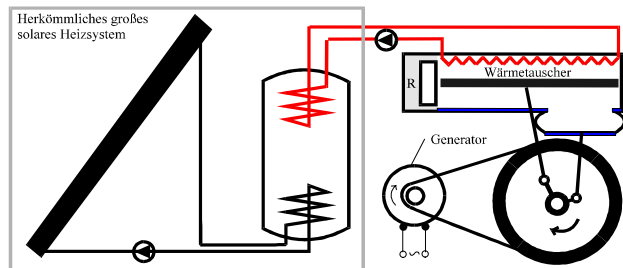
- Autark solarthermische Wasserpumpensysteme

Konzepte für den Einsatz von autarken Wasserpumpensystemen spielen vor allem in Entwicklungsländern eine immer größere Rolle. Dort herrschen ideale Rahmenbedingungen für den Einsatz solarer Technologien. Photovoltaische Pumpenanlagen arbeiten schon in einem weiten Leistungsbereich wirtschaftlicher als die herkömmlichen Alternativen. Weniger industrialisierte Länder sind allerdings auf den Import der sehr teuren Komponenten angewiesen und auch eine selbständige Instandhaltung und Wartung dieser "high tech Produkte" ist kritisch. Billigere und einfache Lösungen sind daher vonnöten. Um geeignete Systeme für den ländlichen Einsatz zu finden, entwickelte die Univ der Bundeswehr eine

Wasserpumpe mit Stirlingmotorantrieb. In den kleinen Leistungsklassen von 20-500W könnten sie eine wirtschaftliche Alternative zur Photovoltaik darstellen.

- Kraft-Wärme-Kopplung in thermischen Solaranlagen zur Heizungsunterstützung

In den Sommermonaten liegen die großen Solaranlagen zur Heizungsunterstützung brach. Diese großen Energiemengen sollten jedoch auch in diesem Zeitraum genutzt werden. Ein NT-Stirling könnte ohne großen Aufwand in ein bestehendes Solarheizungssystem integriert werden und mit kleiner Leistung, täglich 24 Stunden, die Wärme des Pufferspeichers abarbeiten. Die so erzeugte Kraft kann auch direkt zur Raumklimatisierung verwendet werden.



- Energiewandler von Abwärme und Geothermik in elektrische Energie

In vielen Regionen der Erde ist die Nutzung der Erdwärme ohne großen Aufwand möglich. Wegen dem geringen Temperaturniveau konnte man sie bisher nur die zu Heizen verwenden. Eine NT-Stirlingmaschine könnte daraus Kraft gewinnen. Ebenso konnte auch die bisher unbrauchbare Prozeßabwärme, wie die der Brennstoffzellen, oder die aus Fertigungsanlagen in die hochwertigste Energieform, die Elektrizität, gewandelt werden.

- Allgemeine Kraft-Wärme-Kopplung für mechanische Leistungen kleiner als 1kW

Abgesehen von der Solaren Kraft Wärme Kopplung ist auch der Einsatz von Niedertemperatur-Stirlingmotoren in normalen Heizungssystemen zur Doppelt-Energie-Nutzung vorstellbar. Zunächst erscheint es unsinnig die Verbrennungswärme bei einem hohem Temperaturniveau in einer Niedertemperaturmaschine mit ihrem physikalisch bedingten, schlechten Wirkungsgrad zu wandeln. Jedoch ist eine Nutzung mit schlechtem Wirkungsgrad besser als gar nichts, denn in absehbarer Zeit werden keine KWK-Systeme für kleine Leistungsbereiche erhältlich sein. Ein entscheidender Vorteil dieser Technologie ist außerdem die Verwertung von Wärme aus unterschiedlichen Quellen in einer Anlage, z.B. Gas, Biomasse und Sonne.

5. Entwicklung der solaren NT-Stirling-Technologie in der Abteilung Regenerative Energien der Uni Bw

Das Projekt "SoKraTech"

"SoKraTech" (Solare Kraft Technik) wurde zur Untersuchung des thermodynamischen Prozesses von solaren Niedertemperatur-Stirlingmotoren an der FH Bielefeld entwickelt. Da Berechnungsgrundlagen oder Erfahrungen zur Dimensionierung dieser Maschinen nicht hinreichend vorhanden sind, ist es notwendig diese Grundlagen experimentell zu bestimmen. Alle prozeßrelevanten Größen und Materialien sind variabel. Der Solarollektor ist hier in die Maschine integriert. Dieser Umstand vereinfacht den Bauaufwand bedeutend, das Leistungsvermögen bleibt jedoch begrenzt. Optimierung und Vermessung des "SoKraTech" erfolgte an der Universität der Bundeswehr.

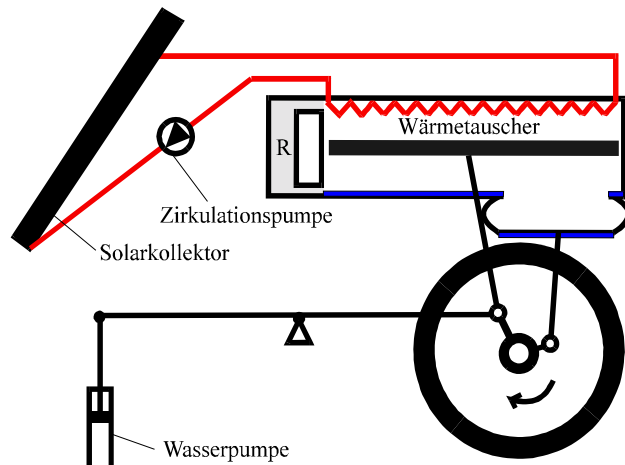
Die Wellenleistung beträgt derzeit erst 20 Watt, eine Steigerung auf bis zu 50 Watt pro

Quadratmeter Absorberfläche ist möglich. Mit den gesammelten Erfahrungen und Berechnungsgrundlagen ist man nun, am Ende des Projektes in der Lage, effiziente Motoren für unterschiedliche Einsatzgebiete bis zur Serienreife zu entwickeln.

Das Projekt S.P.R.Y :

Neben dem Solarstirling mit direkter Einstrahlung wird bei der hier untersuchten Variante die Wärme dem Motor über ein Solar-Kollektorfeld zugeführt. Ein der-artiges System wurde von der Firma Thermo-Solar entwickelt und gebaut. Die Europäische Union fördert dieses Gemeinschafts-projekt, an dem auch der DLR Köln beteiligt ist.

Im Rahmen des Projektes S.P.R.Y. (Development and Test of a Stirling Pumping Unit utilizing Renewable Energy), wurde die Maschine im Labor der Universität der Bundeswehr München untersucht, und in einem Feldversuch der spanischen Universität Cordoba wird zur Zeit die tatsächlichnutzbare Leistung und die Betriebscharakteristik ermittelt.



Obwohl 65% der indizierten Gasarbeit als Reibung in der Mechanik verlohren gehen, liegt der Wirkungsgrad der Kraftmaschine bei 3,5%. Die mechanische Peak-Leistung, die etwa 150 Watt bei einem Temperaturgefälle von 90 K beträgt, ist in einem brauchbaren Bereich, doch der dazu relativ zu betrachtende bauliche Aufwand, müßte noch erheblich verkleinert werden.

Das "Projekt NiSMek" :

Erfahrungen mit NT-Stirlings zeigen, daß bei geringer Nutzleistung sehr große und dynamische Momente zu beherrschen sind, die zwischen Arbeitskolben und Schwunghenergiespeicher nutzlos hin und her bewegt werden müssen. Hieraus resultiert zum einen ein großer baulicher Aufwand um die nötigen Festigkeiten zu gewährleisten, und zum anderen ein großer mechanischer Energieverlust durch Reibung mit großen Kräften.

Bei dem Nismek-Motor sollen sich diese kritischen Kräfte durch Doppeltwirkung ausgleichen, und wesentlich direkter zur Arbeitsmaschine geführt werden. Teure Maschinenelemente wie Kurbeltriebe, schwere Schwungräder, Hebel und Gelenke sollen durch ein einfaches hydraulisch-elektronisches Steuerungssystem ersetzt werden. Diese Maschine wird zur Zeit im Labor des Institutes für Wasserwesen an der Universität der Bundeswehr gefertigt. Eine mechanische Leistung von 400 Watt bei einem Wirkungsgrad von über 6% wird dabei angestrebt. Dieser Motor soll sowohl als Antrieb für Wasserpumpen dienen, als auch elektrischen Strom erzeugen können.

Literatur:

- Martin Werdich, Stirling-Maschinen, Grundlagen, Technik, Anwendung
Ökobuch ISBN 3-922964-35-4
1. Tagungsbände der europäischen Stirling Foren '92, '94, '96 ECOS-Gesellschaft für Entwicklung und Consulting mbH