

Der Stirlingmotor

Stirlingmotoren sind Wärmekraftmaschinen, d.h. sie wandeln Wärme hoher Temperatur in mechanische Energie um. Ein im Motor eingeschlossenes Arbeitsgas wird dazu erwärmt. Im Heizeil wird die Wärme höher.



Temperatur in den Motor gebracht und durch den Arbeitsteil in mechanische Energie umgewandelt. Diese mechanische Energie wird an einem Schwungrad frei und lässt sich vielfältig nutzen, zum Beispiel zur Erzeugung von elektrischer Energie.

Die Geschichte des Stirlingmotors

Schottland zu Beginn des 19. Jahrhunderts:



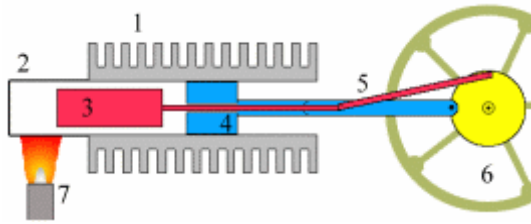
In der Gemeinde des Pfarrers Robert Stirling müssen selbst sechsjährige Kinder in den Kohlebergwerken arbeiten. Sie erhalten als 26-jähriger ein Patent auf ein neues Verfahren zum Antrieb von Maschinen. Der Stirlingmotor ist geboren.



Der erste Motor, der mit Robert Stirlings Prinzip arbeitete, war sehr einfach konstruiert. Er wurde später noch entscheidend weiterentwickelt. So wurde noch ein zweites Schwungrad hinzugefügt und das Arbeitsgas verändert bzw. dessen Druck erhöht.

Am Anfang des 20. Jahrhunderts waren weltweit ca. 250.000 Stirlingmotoren im Einsatz, als Tisch-Ventilatoren, Wasserpumpen und Antriebe für Kleingeräte. Sie versorgten Privathaushalte und kleine Handwerksbetriebe mit mechanischer Energie. Als sich Otto-, Diesel- und Elektromotoren immer weiter verbreiteten, wurden die Stirlingmotoren zunehmend vom Markt verdrängt.

Der Bau des Stirlingmotors



1. Der Kühlzylinder, wie der Name sagt, kühlt die erwärmte Luft wieder ab.
2. Der Heizzylinder erwärmt durch die ihm von außen zugeführte Energie die Luft in seinem Inneren.
3. Er hat die Aufgabe möglichst viel heiße Luft aus dem Heizzylinder zu verdrängen.
Das ist nur möglich, weil er nicht dicht an der Innenwand der Zylinder anliegt.
4. Der Arbeitskolben liegt dicht an der Innenwand des Kühlzylinders an, und bildet somit die abgeschlossene Luftmenge des Motors.
5. Die Pleuelstangen verbinden den Arbeits- bzw. Verdrängerkolben mit dem Schwungrad.
Die Stangen die am Schwungrad um 90° versetzt angebracht sind, lassen somit auch die Kolben versetzt arbeiten.
6. Das Schwungrad dient der Abnahme der erzeugten Energie.
Weiterhin bewegt es durch seinen Schwung die Kolben wieder zurück in ihre Ausgangslage.
7. Die Wärmequelle, die den Heizzylinder und somit die Luft erwärmt, liegt außerhalb des Motors.
Sie ist deshalb frei wählbar, soweit die Energiezufuhr ausreichend ist.

Die beschriebenen Bauteile sind die wesentlichen Elemente eines Stirlingmotors. Zusätze, wie ein zweites Schwungrad oder ein bestimmtes Arbeitsgas, können die Leistung des Motors erhöhen. Auch eine unterschiedliche Anordnung der Bauteile ist möglich. So kann anstatt der Versetzung der Pleuelstangen auch die Zylinder um 90° versetzt werden.

Die Funktion des Stirlingmotors

Die Funktionsweise des Stirlingmotor lässt sich in vier Schritten erklären.

1. Der Druck im Inneren des Heizzylinders steigt und die Luft dehnt sich aus. Der Verdrängerkolben bewegt sich wegen seiner Versetzung zum Arbeitskolben um 90° kaum. Deshalb strömt die erhitzte Luft an ihm vorbei in den Kühlzylinder und schiebt den Arbeitskolben nach hinten.

2. Durch die Bewegung des Verdrängerkolben, aufgrund der Drehung des Schwungrades, wird die gerade erhitzte Luft in den Kühlzylinder verdrängt.

Dort gibt sie Energie in Form von Wärme an den Kühlzylinder ab. Ihre Temperatur sinkt von T_1 auf T_2 . Der Arbeitskolben bewegt sich dabei kaum.

3. Fast die gesamte Luft aus dem Heizzylinder ist jetzt im Kühlzylinder.

Durch das Schwungrad schiebt sich der Arbeitskolben nach vorn und komprimiert dabei die Luft.

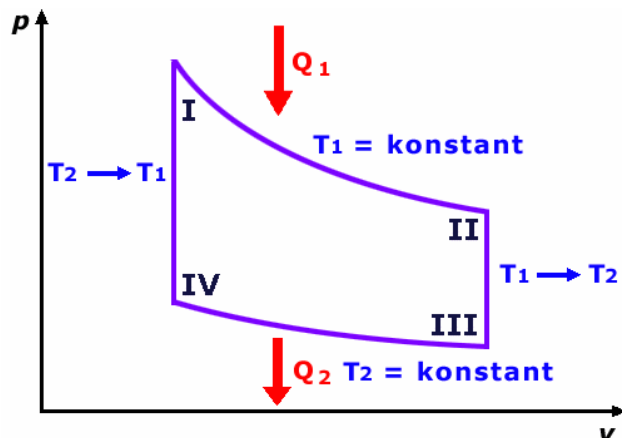
Diese erwärmt sich dadurch aber nicht sondern gibt weiter Energie an den Kühlzylinder ab. Ihre Temperatur bleibt konstant.

Der Verdrängerkolben bewegt sich kaum.

4. Der Arbeitskolben ist nun an seiner innersten Position. Der Verdrängerkolben bewegt sich wieder zurück wobei er die abgekühlte Luft aus dem Kühlzylinder in den Heizzylinder verdrängt. Dort wird die Luft von der Temperatur T_2 auf T_1 erwärmt.

Alle Takte zusammen ergeben die vollständige Bewegung des Stirlingmotor.

Der Stirlingsche Kreisprozess



Den Arbeitszyklus des Stirlingmotor kann man auch anhand eines Arbeitsdiagramms verdeutlichen. Die thermodynamischen Zustandsänderungen fassen sich zusammen in einem Kreisprozess.

I-II (Isotherme Expansion)

Die unter Druck stehende heiße Luft im Zylinder dehnt sich aus wobei ihr Volumen zunimmt (Expansion). Die Luft verrichtet so Arbeit, indem sie den Arbeitskolben bewegt. Der Druck sinkt. Die Energie dafür wurde ihr zuvor durch die Heizung zugeführt. Das heißt, das die Luft nur ein Energieumwandler ist, jedoch sich ihre eigene Energie bzw. ihre Temperatur T_1 nicht ändern (Isotherme).

II-III (Isochore Abkühlung)

Die verdrängte Luft aus dem Heizzylinder kühlt sich von T_1 auf T_2 ab (Abkühlung). Der Kühlzylinder nimmt dabei die Wärmeenergie der heißen Luft auf. Weil das Volumen der Luft gleich bleibt (Isochor), bewegt sich der Arbeitskolben nicht und es wird keine Arbeit verrichtet.

III-IV (Isotherme Kompression)

Der Luft wird durch den Kühlzylinder Energie entzogen. Diese, da sie sich schon auf T_2 abgekühlt hat, ändert ihre Temperatur nicht mehr (Isotherme), sondern verkleinert ihr Volumen (Kompression).

IV-I (Isochore Erwärmung)

Die Luft hat ihr Volumen zu einem Minima verkleinert und ändert dieses jetzt nicht mehr (Isochor). Durch die Heizung wird die Luft wieder erwärmt (Erwärmung), wobei der Kreisprozess wieder von neuem beginnt.

Die Einzelnen Zustandsänderungen gehen fließend ineinander über und überlagern sich auch soweit, so das sie praktisch nur schwer nachzuvollziehen sind.

Der Wirkungsgrad

Keine Wärme- Energie- Maschine ist in der Lage, mit der gesamten zugeführten Wärme Arbeit zu verrichten. Es tritt stets eine Abwärme auf, die für die eigentliche Nutzung verloren ist. Aufgrund der auftretenden Abwärme spricht man von Energieverlusten, die im Verhältnis mit der zugeführten Wärme den Wirkungsgrad bilden. Der Wirkungsgrad einer Wärme-Kraft-Maschine wird bestimmt durch die Temperaturen T1 und T2 der beiden Wärmespeicher. Je größer diese Temperaturdifferenz gemacht werden kann, desto größer ist der Energieanteil.

Wirkungsgrad= (genutzte Energie): (zugeführte Energie)

Die genutzte Energie setzt sich aus der Differenz von der zugeführten Energie Q1 und der abgegebenen Energie Q2 zusammen. Die abgegebene Energie ist hierbei die Abwärme oder Energieverlust. Der Wirkungsgrad des Stirlingmotors setzt sich jedoch aus dem Quotienten von (T1- T2) und T1 zusammen.

Die Vorteile des Stirlingmotors

Vielseitige Heizmöglichkeiten:

Durch die Art der Wärmezufuhr kann jede Wärmequelle benutzt werden, um den Motor anzutreiben. Deshalb sind alle Formen von Wärmestrahlung geeignet, deren Temperatur hoch genug ist. Erzeugt werden kann diese durch Verbrennung von gasförmigen, flüssigen und festen Brennstoffen oder durch Konzentrierung von Sonnenlicht.

Abgasarmut:

Bei der Verwendung von Brennstoffen können durch die ständige Verbrennung außerhalb des Motors die besten Abgaswerte im Vergleich zu Motoren mit innerer Verbrennung erreicht werden. So wird auch durch effektivere Verbrennung weniger Brennstoff verbraucht, also auch weniger Abgase produziert. Heizt man den Stirlingmotor mit Abwärme oder unter Verwendung von Sonnenlicht als Antriebsenergie entstehen keine Abgase.

Geräuscharm:

Da keinerlei explosionsartige Vorgänge im Inneren des Motors ablaufen und auch keine Ventile vorhanden sind, entstehen nur wenig Lärm und Erschütterungen.

Langlebigkeit:

Da keine Fremdstoffe in den Motor gelangen und die Einzelteile relativ wenig belastet werden, kann man längere Laufzeiten erwarten als bei Otto- und Dieselmotoren. Auch wird das Getriebeöl nicht verbraucht oder verschmutzt.

Sparsamer Verbrauch:

Der Stirlingmotor, soweit er korrekt konstruiert und gebaut ist, hat einen Wirkungsgrad der gleich oder höher als bei den besten Dieselmotoren ist. In Zukunft kann der Stirlingmotor mit neuen Werkstoffen wie Keramik eine noch bessere Leistung und einen höheren Wirkungsgrad erzielen.

Praktische Anwendung der Stirlingtechnologie

Der Stirlingmotor wird für diverse Antriebsmotoren, für U-Bootantriebe und für den Modellbau verwendet.

Ein Ausblick auf die Zukunft

Aufgrund von Klima- und Gesundheitsschäden sowie der begrenzten Lagerstätten von Erdgas, Erdöl, Kohle und Uran wird in Zukunft, neben Energiesparen und der Verwendung von erneuerbarer Energie, die umweltschonende Umwandlung von Primärenergie in Energieformen, die wir tagtäglich brauchen eine immer größere Rolle spielen.

Stirlingmaschinen sind wie kein anderer Energiewandler in der Lage, Solarenergie und nachwachsende Brennstoffe emissionsarm und klimaneutral für unsere Zwecke umzuwandeln. Dabei werden sie sich zuerst dort durchsetzen, wo sie mit herkömmlichen Otto- und Dieselmotoren nicht in Konkurrenz stehen.

Diese Anwendungsbereiche sind:

- kleine und mittelgroße Blockheizkraftwerke mit günstigen Betriebskosten, Brennstoff z.B. Holzhackschnitzel.
- kleine und mittelgroße Wärmepumpen, direkt mit Primärenergie kostengünstig beheizt.
- Stirling - Kältemaschinen für Computer mit supraleitender Elektronik, Infrarotsensoren, Wasserstoff- und Erdgasverflüssigung, Kühl- und Gefriergeräte. -Klimatisierung von Bürokomplexen und für industrielle Verfahrensprozesse.

Diese Technik wird mithelfen, das Weltklima zu schonen, neue Arbeitsplätze schaffen und die volkswirtschaftlichen Kosten des Energiesektors verringern.

Immer mehr Menschen lassen sich von Stirlingmotoren begeistern. Wir wollen hoffen, dass dies auch in so manchen Vorstandsetagen der Fall sein wird.