



## B 2 TEELICHT-STIRLINGMOTOR – SO FUNKTIONIERTS

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

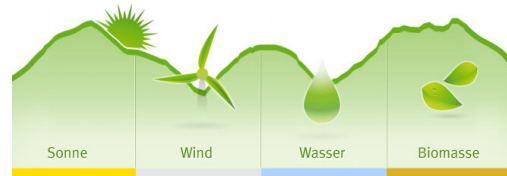
Schottland zu Beginn des 19. Jahrhunderts: In der Gemeinde des Pfarrers Robert Stirling müssen selbst sechsjährige Kinder in den Kohlebergwerken arbeiten. Er erhält als 26-jähriger ein Patent auf ein neues Verfahren zum Antrieb von Maschinen. Der Stirlingmotor ist geboren. Der erste Motor, der mit Robert 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 Antrieb 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 Stirlingsche Kreisprozess

Sieh dir dazu die Grafik genau an und lies die Beschreibung der Bilder durch:

Im abgeschlossenen Gasraum bewegen sich bei der sogenannten Beta-Konfiguration zwei Kolben: der sogenannte Verdrängerkolben und der Arbeitskolben. Beide Kolben arbeiten mit um 90 Grad versetzten Kurbeltrieben auf ein Schwungrad. Die nutzbare Arbeit wird alleine vom Arbeitskolben aufgebracht, der Verdrängerkolben wird bewegt, um das Gas zu verschieben. Der Arbeitsablauf des Stirlingmotors kann in die folgenden vier Takte unterteilt werden:

# LERNGARTEN DER ERNEUERBAREN ENERGIEN



**Bild 1→2:** Das Gas wird im Inneren des Stirlingmotors im heißen Bereich erhitzt, indem von außen Wärme zugeführt wird. Durch die Erwärmung dehnt sich das Gas aus. Dadurch wird der Arbeitskolben fortgeschoben. Durch die Bewegung des Arbeitskolbens wird auch der Verdrängerkolben bewegt. Der Arbeitskolben und der Verdrängerkolben bewegen sich um 90° phasenverschoben. Dadurch wird im ersten Takt der Verdrängerkolben kaum bewegt (Sinusfunktion). In diesem Takt verrichtet der Arbeitskolben am Schwungrad Arbeit.

**Bild 2→3:** Das Schwungrad dreht sich aufgrund seiner Massenträgheit weiter. Der Verdrängerkolben schiebt nun das Gas vom heißen in den kalten Bereich, wo es abkühlt. Meistens übernimmt der Verdrängerkolben auch gleichzeitig die Aufgabe eines Wärmespeichers (Regenerator genannt): er nimmt einen Teil der Wärme des heißen, zur kalten Seite strömenden Gases auf. Im kalten Bereich wird das Gas durch Kühlrippen (Luftkühlung) oder z. B. durch einen wassergekühlten Mantel abgekühlt. Die Position des Arbeitskolbens ändert sich dabei kaum. Der Druck im Gasraum fällt aufgrund der Abkühlung ab.

**Bild 3→4:** Nun gilt es zu unterscheiden: Wenn im Stirlingmotor ein hoher Innendruck herrscht, muss Arbeit zugeführt werden, um den Arbeitskolben wieder zurückzuschieben, weil dafür das unter hohem Druck stehende Gas komprimiert werden muss. Die Arbeit, die zugeführt werden muss, wird vom Schwungrad aufgebracht. Herrscht im Stirlingmotor dagegen ein geringer Innendruck, so kann auch bei diesem Takt Arbeit verrichtet werden, indem die Außenluft auf den Stirlingmotor drückt.

**Bild 4→1:** Das Schwungrad dreht sich, dadurch wird der Verdrängerkolben nach oben bewegt. Das hat zur Folge, dass das Gas aus dem oberen kühlen Bereich in den heißen Bereich verschoben wird, wo es sich erwärmen kann. Der Regenerator gibt dabei die im zweiten Takt gespeicherte Wärme an das Gas ab und wärmt es so vor. Der Zyklus beginnt von vorne.

Im Regenerator (bei Bauformen ohne Verdrängerkolben auch Diaphragma genannt) bildet sich im Betrieb ein Temperaturverlauf von der heißen zur kalten Seite aus. Er speichert aufgrund seiner Wärmekapazität die Wärme zwischen den Gaswechseltakten und sorgt im Idealfall dafür, dass heißes Gas nach Durchlauf des Regenerators auf der anderen Seite kalt herauskommt bzw. kaltes Gas in der

# LERNGARTEN DER ERNEUERBAREN ENERGIEN



Gegenrichtung am anderen Ende heiß ankommt, analog einem Gegenstrom-Wärmeübertrager. Der Wirkungsgrad des idealen Stirlingmotors ist bei einem idealen Regenerator gleich dem Carnotwirkungsgrad. Der Carnot-Wirkungsgrad, auch Carnot-Faktor genannt, ist der höchste theoretisch mögliche Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische oder elektrische Energie. Sein Name leitet sich ab vom Carnot-Prozess, einem vom französischen Physiker Nicolas Léonard Sadi Carnot erdachten idealen Kreisprozess, dessen Wirkungsgrad er beschreibt.

## 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 hochgenug 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 so 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.