

# AK Stirlingmotor München

 [www.stirlingmotor.org](http://www.stirlingmotor.org)



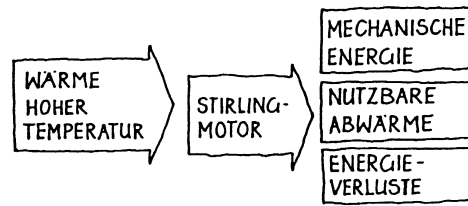
## Basisinfo Stirlingmotoren

Sommer 2014

# BASISINFO STIRLINGMOTOREN

## 1. Was ist ein Stirlingmotor?

Stirlingmotoren sind Wärmekraftmaschinen, d.h. sie wandeln Wärme hoher Temperatur in mechanische Energie und in Wärme niedriger Temperatur um. Die Wärmezufuhr geschieht von außen auf ein im Motor eingeschlossenes Arbeitsgas. Durch metallische Wände wird Wärme hoher Temperatur in den Motor gebracht (Erhitzer), an einer anderen Stelle (Kühler) wird Abwärme bei niedrigerer Temperatur abgegeben, am Schwungrad wird mechanische Energie frei. Sowohl die Abwärme als auch die mechanische Energie lassen sich vielfältig nutzen.



Typischer Energiefluss in einem Stirlingmotor

## 2. Die Vorteile von Stirlingmotoren

### - Vielstofffähigkeit

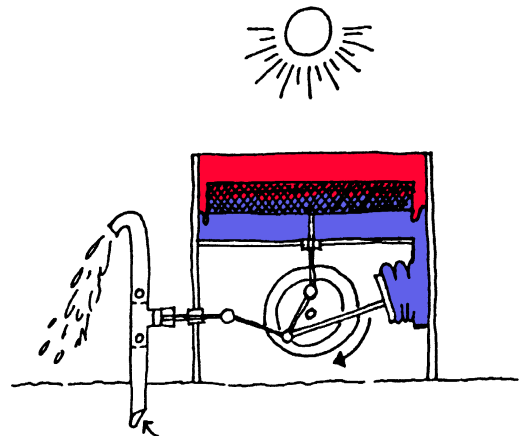
Durch die Art der Wärmezufuhr kann jede Wärmequelle benutzt werden, um den Motor anzutreiben, daher sind alle gasförmigen, flüssigen und festen Brennstoffe, sowie Wärmestrahlung (Sonnenenergie) zum Antrieb geeignet, solange deren Temperatur ausreichend hoch ist.



Energiequellen zum Antrieb

### - Emissionsarmut

Bei der Verwendung von Sonnenlicht als Antriebsenergie entstehen keine Abgase. Bei der Verwendung von Brennstoffen können durch die stetige Verbrennung außerhalb des Motors die besten Abgaswerte im Vergleich zu Motoren mit innerer Verbrennung erreicht werden. Da keinerlei explosionsartige Vorgänge im Inneren des Motors ablaufen und auch keine Ventile vorhanden sind, entstehen nur wenig Lärm und Erschütterungen. Das Getriebeöl wird nicht verbraucht und verschmutzt, daher reicht eine Füllung auf Lebenszeit. Manche Motoren laufen völlig ölfrei.



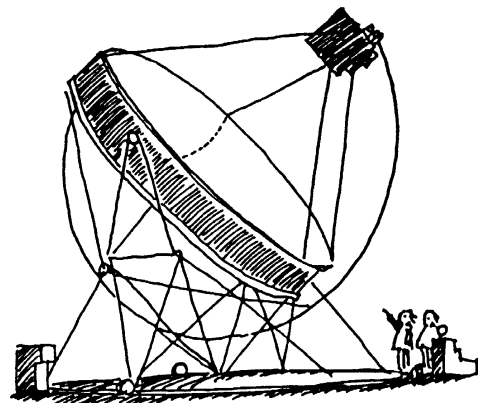
Einfacher Solar-Stirlingmotor als Wasserpumpe

### - 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.

### - Sparsamer Verbrauch

Sind Stirlingmotoren korrekt konstruiert und gebaut, ist deren Wirkungsgrad (Wellenleistung zu Brennerleistung) gleich oder höher als bei den besten Dieselmotoren. In Zukunft lassen sich mit neuen Werkstoffen wie Keramik, Leistung und Wirkungsgrad noch weiter steigern. Stirlingmotoren können auch als kleine Motoren und im Teillastbereich hohe Wirkungsgrade erreichen.

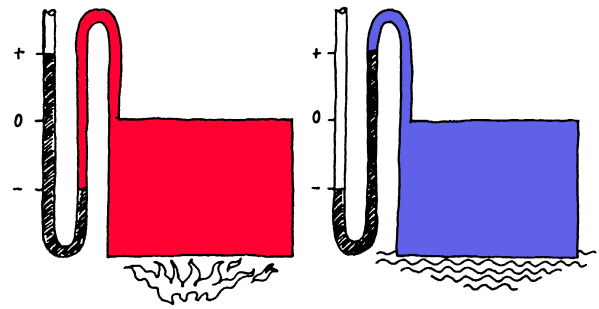


Solar-Stirlingmotor mit Stromgenerator

### 3. Wie funktioniert ein Stirlingmotor?

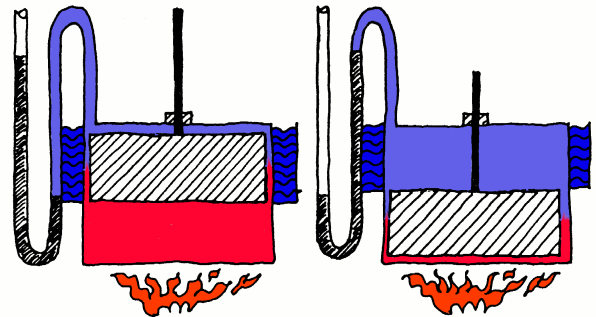
Anhand einer einfachen Bildergeschichte wird gezeigt, wo eigentlich die Kraft herkommt, die einen Stirlingmotor antreibt, d.h. wie ein Temperaturunterschied in mechanische Leistung umgesetzt wird.

a) Die Dose (Bilder rechts) enthält Luft, über eine Öffnung ist ein wassergefülltes U-Rohr angeschlossen, das den Luftdruck in der Dose anzeigt. Wird die Dose erhitzt, steigt der Druck, wird sie abgekühlt, sinkt der Druck.



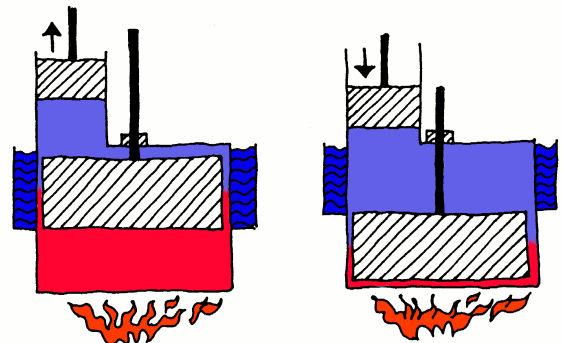
a) Dose einmal heiß, einmal kalt

b) In die Dose wird ein so genannter Verdränger mit einer Gleitdichtung für seine Stange eingebaut. Der Verdränger kann mit wenig Kraftaufwand auf- und abbewegt werden, die Luft streicht dabei an ihm vorbei. Ist der Verdränger oben, befindet sich die Luft im heißen Raum, der Druck ist hoch. Ist der Verdränger unten, so befindet sich die Luft im kalten Raum, der Druck ist niedrig.



b) Luft mal im heißen, mal im kalten Raum

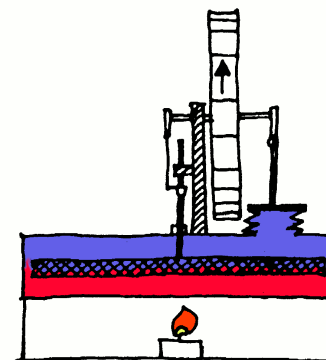
c) Anstelle des U-Rohres wird ein weiterer Zylinder angebaut, der einen Kolben mit Gleitdichtung enthält. Dieser Kolben ist der Arbeitskolben. Ist der Verdränger oben, wird der Arbeitskolben durch den hohen Innendruck nach oben gedrückt, ist er unten, wird durch den geringen Innendruck der Arbeitskolben nach unten „gesaugt“.



c) Die Druckänderung bewegt den Arbeitskolben

d) Verdränger- und Arbeitskolben werden durch Pleuel mit einer Kurbelwelle verbunden. Die Pleuel sind derart auf der Kurbelwelle angeordnet, dass das Luftvolumen verkleinert wird, wenn die Luft im kalten Raum ist und vergrößert wird, wenn die Luft im heißen Raum ist. Der Verdränger eilt dem Arbeitskolben um eine viertel Umdrehung voraus und bewirkt so die Steuerung des Stirlingmotors.

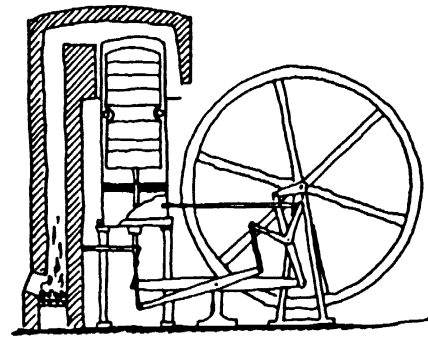
Ein teelichtbeheiztes Modell, aus einer Konservendose hergestellt (© Viebach + Söhne), kann man selbst bauen und laufen lassen. Der Bauplan ist beim AK STIRLINGMOTOR MÜNCHEN erhältlich.



d) Einfacher Stirlingmotor (Dosenmotor)

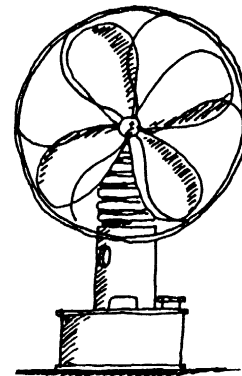
#### 4. Die Geschichte der Stirlingmotoren

Der erste Stirlingmotor wurde 1816 vom schottischen Geistlichen Robert Stirling zum Patent angemeldet. Die erste Maschine arbeitete als Wasserpumpe zur Entwässerung eines Steinbruchs in Schottland. Zu dieser Zeit waren Kesselexplosionen bei Dampfmaschinen relativ häufig. Stirling wollte die Arbeit in den Steinbrüchen und Kohlengruben sicherer machen. Neben der wesentlich verbesserten Sicherheit spielte wohl auch der geringere Brennstoffverbrauch der Stirlingmotoren gegenüber den Dampfmaschinen eine Rolle bei der Entwicklung der neuen Technik.



Stirlingmotor als kohlebefeuerte Wasserpumpe

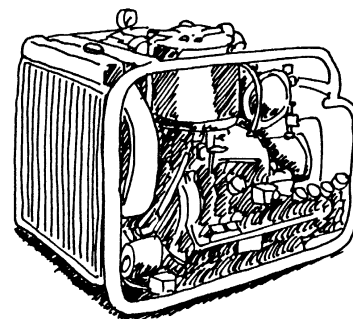
Am Anfang des 20. Jahrhunderts waren weltweit ca. 250.000 Stirlingmotoren im Einsatz, als Tischventilatoren, Wasserpumpen und Antriebe für Kleingeräte wie z.B. Nähmaschinen. Sie versorgten Privathaushalte und kleine Handwerksbetriebe mit mechanischer Energie. Als sich Otto- Diesel- und Elektromotoren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



Tischventilator mit Petroleumantrieb

Allein die Militärs hatten weiterhin Interesse an Stirlingmotoren, sie wussten die Vorteile dieser Technik zu schätzen. In den USA wurde z.B. ein kleines Stromaggregat (Ground-Power-Unit), in Schweden ein Motor für den U-Boot-Antrieb entwickelt. Die Vorteile dabei waren:

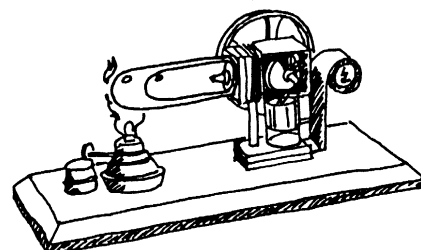
- leiser Lauf
- geringe Wärmeabstrahlung
- Robustheit / Langlebigkeit
- geringer Treibstoffverbrauch



Stromaggregat GPU

Bis vor kurzem gab es im zivilen Bereich nur Spielzeugmotoren zu kaufen.

Derzeit sind auf dem Markt die ersten „stromerzeugenden Heizungen“ auf der Basis des „MICROGEN“ - Stirlingmotors zu erhalten. Diese „Micro – Heizkraftwerke“ haben eine Leistung von 1 kW elektrisch und ca. 5,5 kW Wärme. Sie sind für Ein- und Zweifamilienhäuser eine Alternative zu normalen Heizungen, da nennenswerte Mengen Strom damit produziert werden können. Sie werden derzeit mit Erdgas betrieben, es gibt aber inzwischen auch ein Micro – HKW auf Basis des MICROGEN, der mit Holzpellets als Brennstoff läuft.



Spielzeug-Funktionsmodell

## 5. Hindernisse bei der Markteinführung

Trotz der vielen Vorteile von Stirlingmotoren hat der zivile Markt, von Spielzeugmotoren und den Micro – Heizkraftwerken auf der Basis des MICROGEN einmal abgesehen, wenig anzubieten. Wie ist das zu erklären?

### - Technische Gründe

Wenn man bei kleiner Baugröße und geringem Gewicht hohe Leistungen erzielen will, muss man das Arbeitsgas unter hohem Druck (i.d.R. 50 bar) setzen, Wasserstoff oder Helium als Arbeitsgas verwenden und relativ hohe Drehzahlen erreichen (3000-4000 U/min). Die Schwierigkeiten dabei sind:

- trocken laufende Lager und Dichtungen
- Material für Erhitzer (bis zu 800°C hitze- und druckbeständig)
- hoher Aufwand für schnelle Leistungsregelung

### - Wirtschaftliche Gründe

Stirlingmotoren haben überall dort keine Chance zur Markteinführung, wo sie mit Otto- und Dieselmotoren konkurrieren müssen, z.B. als Antrieb für normale Pkws (ohne Hybridantrieb). Ein Stirlingmotor mit vergleichbarem Leistungsgewicht wie ein Ottomotor würde heute noch ca. 2- bis 3-mal teurer sein.

### - Politische Gründe

Die Preise für fossile und atomare Energieträger sprechen nicht die ökologische Wahrheit, sie werden zu billig angeboten. Daher tun sich alle „alternativen“ Technologien schwer bei der Markteinführung, da sie gegen zwar umweltschädigende, aber vordergründig billigere Technologien konkurrieren müssen.

### - Geringer Bekanntheitsgrad

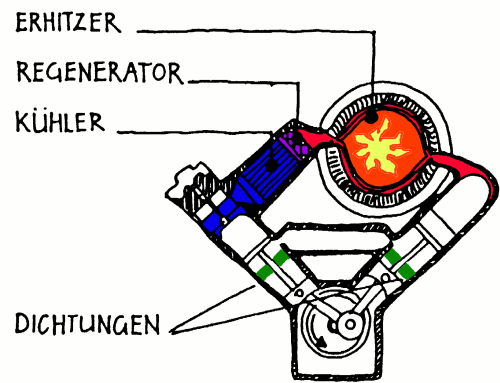
Nur wenige können heute erklären, wie ein Stirlingmotor funktioniert. Die meisten kennen ihn nicht einmal, da er in der Ausbildung, wenn überhaupt, nur am Rande erwähnt wird.

## 6. Was kosten Stirlingmotoren?

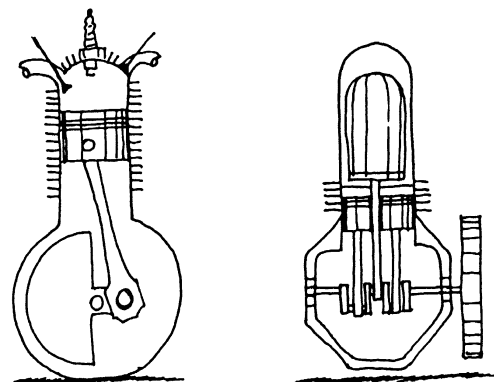
Es ist nicht sinnvoll, Preise für Leistungs – Stirlingmotoren anzugeben, wenn es sich um Geräte kurz nach der Markteinführung handelt. In jedem Fall werden die Preise stark fallen, wenn eine echte Massenproduktion zu hohen jährlichen Stückzahlen führt.

Unabhängig davon rentieren sich Stirling-Micro-Heizkraftwerke umso besser, je länger ihre jährliche Laufzeit ist, da sie sich dann über die vermiedenen Stromkosten optimal refinanzieren.

Wird es in einem Objekt eingebaut, das einen ständigen, minimalen Wärmebedarf in Höhe der Wärmeleistung des Stirlingmotors hat (Brauchwarmwasser – Wärmebedarf im Sommer), dann kann am ehesten von einem wirtschaftlichen Betrieb ausgegangen werden.



Anspruchsvolle Bauteile im Stirlingmotor



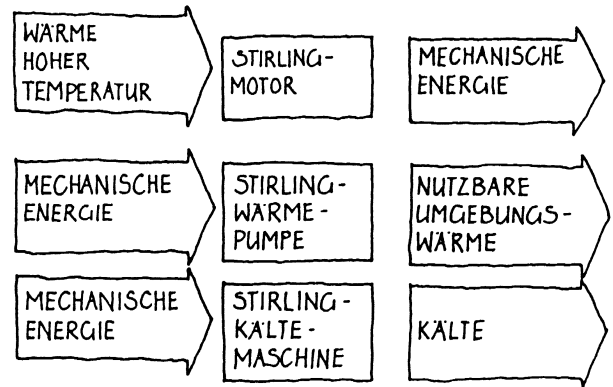
Die Konkurrenz der herkömmlichen Motoren

## 7. Andere Stirlingmaschinen

Der Nutzen eines Motors ist mechanische Energie. Außer mechanischer Energie können Stirlingmaschinen auch Umgebungswärme „hochpumpen“ und diese damit für Heizzwecke und für die Warmwasserbereitung nutzbar machen. Umgekehrt lässt sich mit Stirlingmaschinen auch Kälte erzeugen.

Den Stirling-Kältemaschinen und -Wärmepumpen muss von außen mechanische Energie zugeführt werden. Dabei erwärmt sich eine Seite der Maschine, die andere Seite kühlt ab. Je nach dem ob die heiße oder die kalte Seite genutzt wird, handelt es sich um eine Wärmepumpe oder eine Kältemaschine.

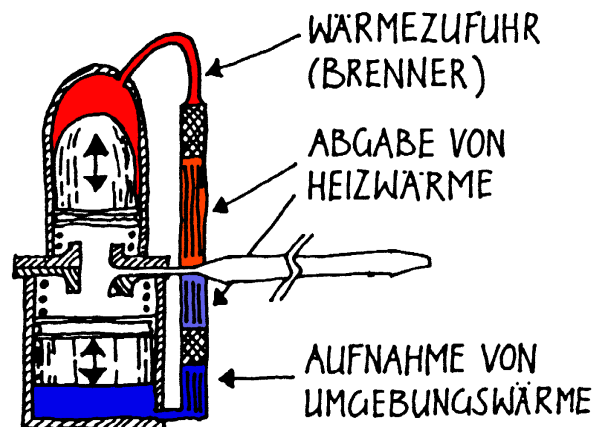
Der große Vorteil von Stirling-Wärmepumpen und Stirling-Kältemaschinen liegt in der ökologischen Unbedenklichkeit der Arbeitsgase Helium, Wasserstoff oder Kohlendioxid, die als Füllung Verwendung finden. Der größte ökologische Nutzen beim Einsatz von Stirling-Wärmepumpen ist dann gegeben, wenn zu ihrem Antrieb ein Stirlingmotor eingesetzt wird anstelle eines Elektromotors. Damit lassen sich die hohen Umwandlungsverluste und Emissionen in den Kraftwerken vermeiden.



Schema Motor, Wärmepumpe, Kältemaschine

### Stirling-Wärmepumpen

Die rechts abgebildete „Vuilleumiermaschine“, so nennt man die Kombination eines Stirlingmotors mit einer Stirling-Wärmepumpe, ist ein Prototyp und enthält lediglich zwei bewegte Teile. Sie wird z.B. mit Erdgas oder Heizöl befeuert und spart Heizenergie, weil sie Umgebungswärme auf das Temperaturniveau für Heizzwecke „hochpumpt“.

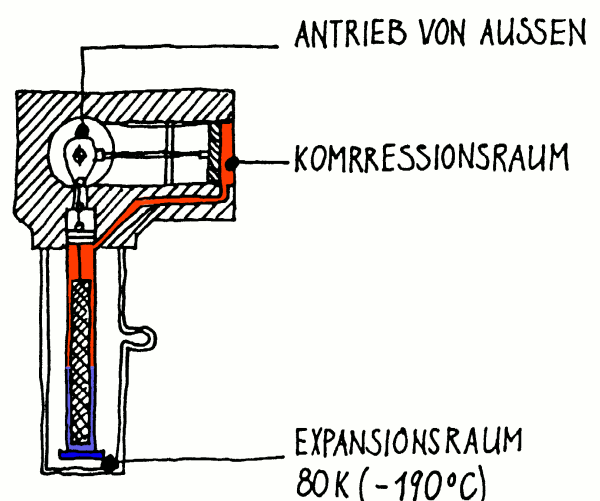


Vuilleumiermaschine

### Stirling-Kältemaschinen

Die Maschine rechts ist eine Tieftemperatur-Stirling-Kältemaschine, mit ihr lassen sich Temperaturen um 80 K (ca.  $-190^{\circ}\text{C}$ ) erreichen. Luft- oder Erdgasverflüssigung und Kühlung von Infrarotsensoren sind typische Beispiele für Tieftemperaturanwendungen. Das Militär kauft seit vielen Jahren diese Maschinen in großen Stückzahlen, da es sehr viele Kühlaggregate für automatische Lenkwaffen und Wärmesichtgeräte benötigt.

Eine mögliche Anwendung für zukünftige Stirling-Kältemaschinen wären solarbetriebene Kühlaggregate für große Bürokomplexe. Die Antriebswärme könnte dabei von handelsüblichen thermischen Solarkollektoren bzw. thermischen Vakuum-Röhrenkollektoren geliefert werden.



Kleines Kühlaggregat für Infrarotsensoren



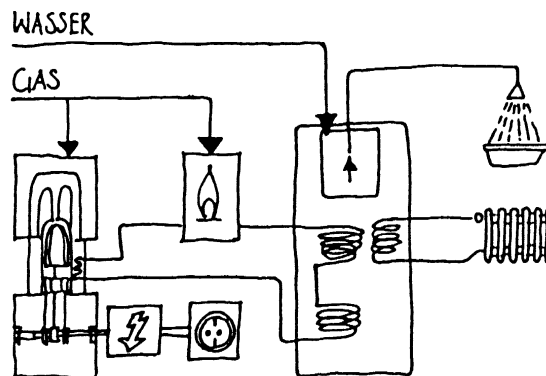
## 8. Ausblick

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. Stirlingmotoren 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:

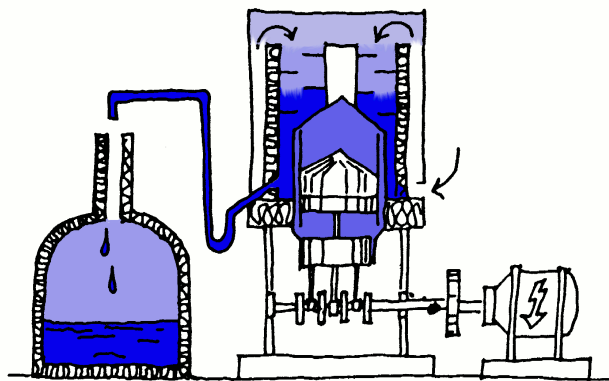
- kleine und mittelgroße Heizkraftwerke (HKW) mit günstigen Betriebskosten, Brennstoff z.B. Holzhackschnitzel oder Holzpellets (aus Säge- und Hobelspänen gewonnen)
- kleine und mittelgroße Wärmepumpen, direkt mit Primärenergie kostengünstig befeuert
- Stirling-Kältemaschinen für Computer mit supraleitender Elektronik, Infrarotsensoren, Wasserstoff- und Erdgasverflüssigung, Kühl- und Gefriergeräte, sowie zur Klimatisierung von Bürokomplexen und für industrielle Verfahrensprozesse

Die meisten Stirlingmotoren werden mechanische Leistungen zwischen 0,5 und 500 kW<sub>mech</sub> haben, wobei der Schwerpunkt um 50 kW<sub>mech</sub> in Zukunft liegen könnte, dort erwartet man das größte Potential zur umweltfreundlichen Energieumwandlung. Leistungen deutlich über 500 kW<sub>mech</sub> bleiben aus technischen und wirtschaftlichen Gründen wahrscheinlich auch in Zukunft die Domäne großer Gas- oder Dampfturbinen. Stirlingmaschinen werden sich daher im unteren und mittleren Leistungsbereich ansiedeln und eine große Bedeutung für viele dezentrale Energiesysteme haben.

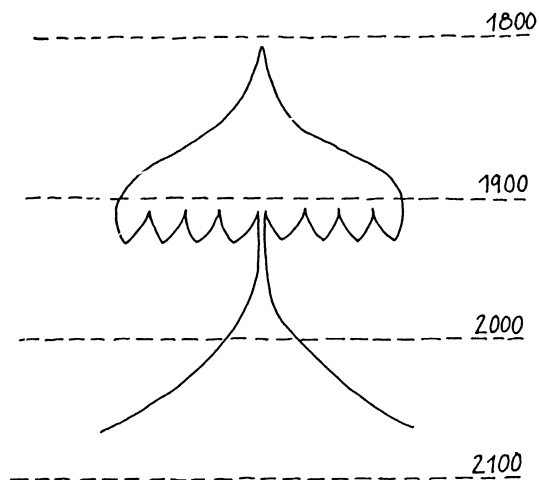
Diese Technik wird mithelfen, das Weltklima zu schonen, neue Arbeitsplätze schaffen und die volkswirtschaftlichen Kosten des Energiesektors verringern. Immer mehr Menschen lassen sich von Stirlingmotoren begeistern. Wir wollen hoffen, dass dies auch in so manchen Vorstandsetagen der Fall sein wird.



Schema eines Stirling-Micro-HKW als stromerzeugende Heizung



Stirling-Luftverflüssiger



Die „Stirling-Palme“, historische und vermutete zukünftige Verbreitung dieser Maschinen