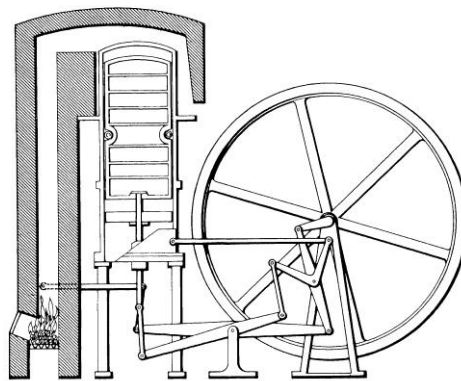
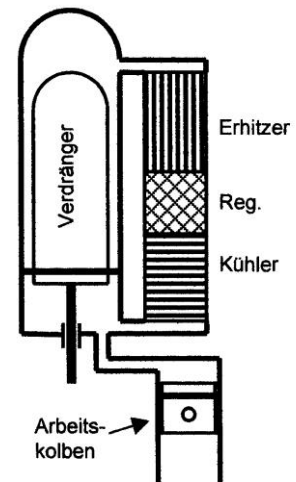


Definition Stirlingmotor / Ridermotor



Robert Stirling 1790-1878 und seine Erfindung: 1816 in Schottland

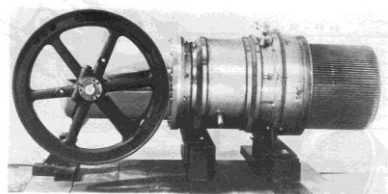


Grundschemata Stirlingmotor

Der Stirlingmotor (Beta- und Gamma-Typ) besitzt einen Arbeitskolben und einen Verdrängerkolben, wobei die Druckdifferenz zwischen Ober- und Unterseite des Verdrängerkolbens nur aus den Strömungswiderständen des Erhitzers, des Regenerators und des Kühlers resultieren. Verdrängerkolben werden (außer bei der Ringbom-Maschine) immer über ihre Kolbenstange mechanisch angetrieben. Das Optimum des Phasenwinkels liegt beim Stirlingmotor zwischen 55 und 90 Grad.

Aktuelle Beispiele Stirlingmotor:

St5 von Sunpower



alle Niedertemperatur-Motoren wie z.B. der Sunwell

alle Stirling-Freikolbenmaschinen

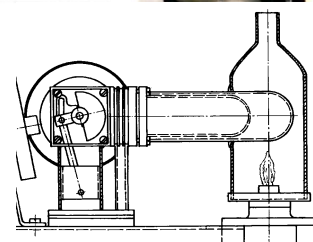


der Viebachmotor ST05-G

der Ecker-Motor 1-75

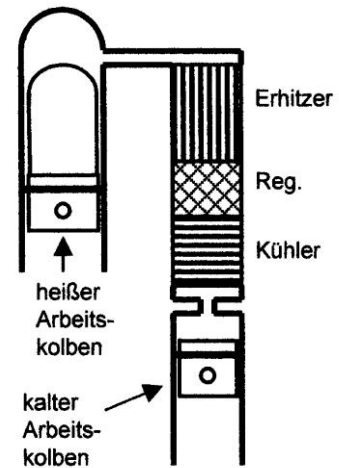
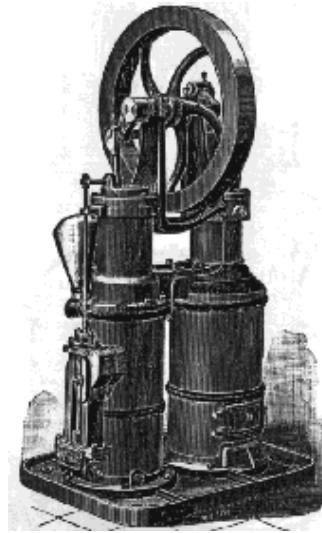
der Mayer&Cie-Motor LG1-100

und alle Modellmotoren.





Alexander Kirk Rider und sein Motor ca.1870 in den USA



Grundschemata Ridermotor

Der Ridermotor (Alpha-Typ) besitzt keinen Verdrängerkolben, sondern in der Regel nur zwei Arbeitskolben, die den Arbeitsraum begrenzen. Einer dieser Arbeitskolben befindet sich in dem Zylinder, in dem die heiße Expansion stattfindet. Damit dieser Kolben selbst aber nicht zu heiß wird, kann er einen Dom tragen, der zufällig äußerliche Ähnlichkeiten mit einem Verdränger aufweist. Dieser Heißsteilkolben wird aber nicht mechanisch angetrieben, sondern trägt selbst zum Drehmoment des Motors bei.

Die beiden Arbeitskolben laufen ähnlich wie beim Stirlingmotor in Phase zueinander und schieben sich dabei gegenseitig das Arbeitsgas zu. Das Optimum des Phasenwinkels liegt beim Ridermotor zwischen 105 und 175 Grad.

Aktuelle Beispiele Ridermotor:

Ridermotor mit Magnetauskopplung von Bomin-Solar, hier beim Kältetest



SOLO-161



der SI-1, ein kleiner Doppel-Rider mit ringförmigen Erhitzern und Regeneratoren

30kW-Maschine vom Johanneum-Research in Graz / Österreich



STA520-32 von Sunmachine

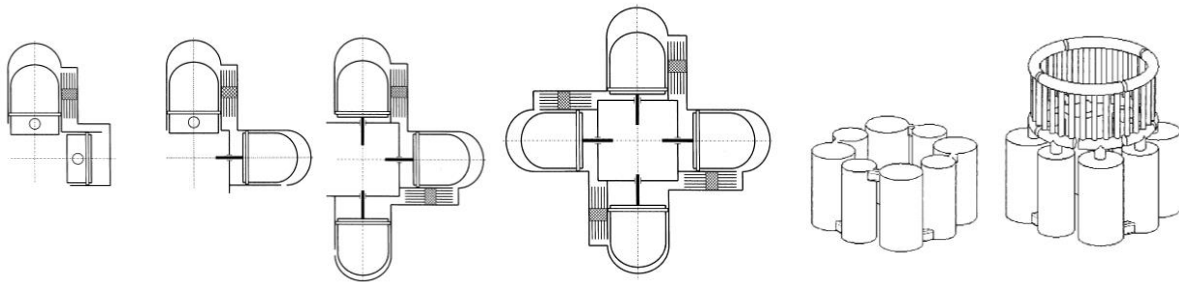
Alexander Kirk Rider ist nicht der Erfinder, aber er war der Einzige, der mit 80.000 verkauften Maschinen eine erfolgreiche Massenproduktion mit den Alpha-Typ umsetzen konnte. Ihm gebührt die Ehre, dass der Motor seinen Namen trägt. Wer den Alpha-Typ erfunden hat, ist nicht sicher. Möglicherweise war es Franchot oder einer seiner Studenten in Paris.

Vor-und Nachteile der beiden Motoren

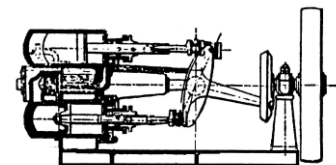
Der Vorteil des Ridermotors ist die Vermeidung von Totvolumina, wie sie bei Gamma-Stirlingmotoren unvermeidlich sind. Damit erhält der Ridermotor theoretisch eine Leistungsdichte, die des Beta-Stirlingmotors entspricht, bei gleichzeitiger Einfachheit des Kurbeltriebwerkes wie bei einem Gamma-Stirlingmotor.

Allerdings gibt es auch zwei Nachteile, die die Leistungsdichte wieder fast auf die Leistungsdichte eines Gamma-Stirlingmotors herabsetzt. Beim Stirlingmotor hatte man die Reibung von einem Kolbenring und die sehr kleine Reibung eines Kolbenstangen-Dichtrings, aber beim Rider hat man die Reibung von zwei vollen Kolbenringen. Der zweite Nachteil ist die thermische Wärmeleitung, die nun zweimal an Druckgefäßwandungen auftaucht, am Heißteilzylinder und am Regenerator-Gehäuse.

Diese Nachteile werden allerdings wieder aufgehoben, wenn die Kolben des Ridermotors doppelwirkend genutzt werden. Rund 20 Jahre bevor Alexander Rider seine erste Motorenproduktion aufnahm, waren solche doppelwirkenden Heißluftmaschinen bereits bekannt. C.L.F. Franchot, ein französischer Gelehrter aus Paris patentierte 1853 einen Vierzylinder-Motor, der später auch als Siemensmotor bekannt wurde. Sir William Siemens, ein Bruder des deutschen Firmengründer Werner von Siemens zeichnete um 1870 einen solchen Motor mit Taumelscheiben-Getriebe. Der gedankliche Werdegang von einem Rider- zu einem Siemensmotor ist folgender:



Man ersetze den kalten Tauchkolben durch eine Kolbenscheibe mit Kolbenstange und führe das Arbeitsgas, das vom Kühler kommt, statt auf den Kolben, unter diesen Kolben, versehe diesen Kolben mit einem Dom und füge ein weiteres Wärmetauscherpaket dazu und einen weiteren Kolben, und so weiter, bis eine sternförmige Anordnung entsteht. Solche Sternmotoren würden tatsächlich funktionieren, aber die Punkte für die Beheizung liegen sehr weit auseinander. Klappt man nun den ganzen Stern zusammen, etwa wie es eine Blume mit ihren Blütenblätter am Abend macht, dann kann man alle vier Heißteil-Wärmetauscher mit einer einzigen Flamme beheizen (rechts William Siemens und sein Motor).



Meist wurden vier Zyklusräume mit vier doppelbeaufschlagten Kolben gebaut, auch wenn man Temperaturen über 600°C zum Betrieb für einen solchen Motor benötigt. Besser ist es, man wählt eine Anordnung mit sechs Systemen (MAN), und mit acht Systemen könnte man sogar problemlos eine einfache Hackschnitzel-Verbrennung als Feuerung einsetzen. Weiter unten dazu eine Tabelle und ein Diagramm.

Die Kolben solcher Ridermotoren sehen Verdrängern von Stirlingmotoren übrigens auf den ersten Blick verblüffend ähnlich. Aber die Kolbenstangen müssen viel

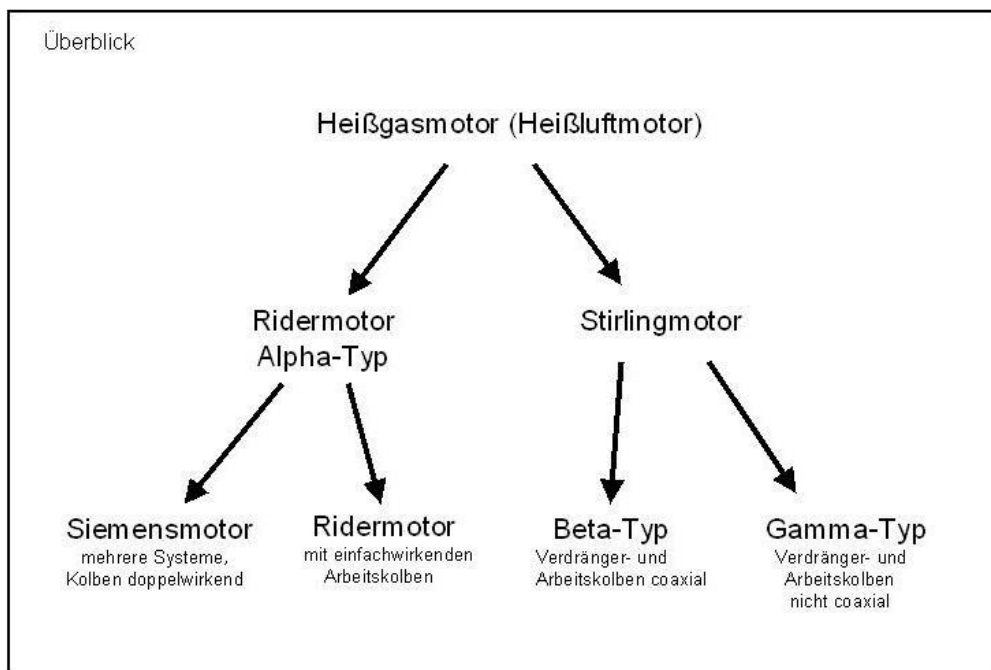
größere Kräfte übertragen und besitzen deshalb einen ca. doppelt so großen Durchmesser. In der Literatur, über das Internet bis hin zu Hochglanz-Broschüren einiger Firmen werden die beiden Motoren immer wieder verwechselt. Das ist aber nicht zuletzt aus urheberrechtlichen Gründen ein unhaltbarer Zustand. Ehre wem Ehre gebührt, schließlich nennt man einen Dieselmotor auch nicht Ottomotor. Bedauerlich und tragisch wird die Verwechslung, wenn eine Firma einen Ridermotor baut, aber den Phasenwinkel wie bei Stirlingmotoren üblich ansetzt, in der irrigen Annahme, der fälschlich „Stirlingmotor nach dem Alpha-Typ“ bezeichnete Motor wäre ein Stirlingmotor. (Auch zum Phasenwinkel unten mehr.) Einige Firmen gingen deshalb schon baden oder gaben ihr Engagement in Sachen Heißgasmotor auf. Neben dem finanziellen Desaster und den gekündigten Mitarbeitern, bleiben oft verbitterte Kunden zurück, die sich verprellt fühlen. Das alles dient nicht einem guten Ruf des Stirling- bzw. Ridermotors.

Eine Besonderheit gibt es noch beim Getriebe. Der Siemensmotor hatte bereits ein Taumelscheibentriebwerk, das sich heute auch im WisperGen wiederfindet. Alternativ kann man auch rotierende Schiefscheibentriebwerke einsetzen, deren Achsneigung sogar während des Betriebes verstellbar ist, so dass man verschiedene Kolbenhübe bekommt. Und dann gibt es natürlich auch hier das klassische Pleueltriebwerk, als V-Motor, U-Motor und als Reihenmotor.

Der große Nachteil des Ridermotors gegenüber dem Stirlingmotor, die hohe Reibung aufgrund der zwei vollen Kolbenringe, gibt es beim Siemensmotor nicht mehr, weil die Kolbenringe jetzt doppelt beaufschlagt werden.

Aktuelle Beispiele von Ridermotoren nach dem Siemenstyp sind der WisperGen aus Neuseeland, der für Segeljachten als Stromaggregat in Serie produziert und der V 4-275R von Kockums der für U-Boote in Schweden eingesetzt wird.

Alle anderen doppelwirkenden Ridermotoren sind Prototypen wie zum Beispiel die Vier- und Sechszylindermotoren von Philips, General Motors, United Stirling, MAN und Ford in den 60-iger und 70-er Jahren sowie in neuerer Zeit die SM34 aus Dänemark.



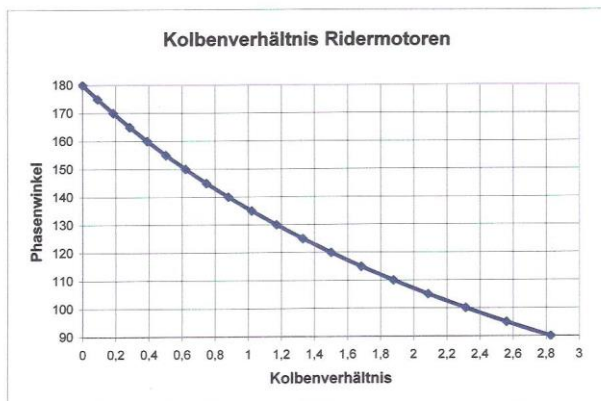
Ein weiterer grundlegender Unterschied zwischen Stirling- und Ridermotoren besteht im Phasenwinkel und dem Kolbenverhältnis:

Beim Gammatyp wählt man gerne für die beiden Zylinder unterschiedliche Durchmesser. Je kleiner das Hubvolumen des Arbeitskolbens zum Hubvolumen des Verdrängers ausfällt, umso kleiner die zu erwartende Leistung und der Wirkungsgrad. Aber solche Maschinen haben den ungemeinen Vorteil, dass sie nicht erst bei 350°C anlaufen, sondern schon bei viel niedrigeren Temperaturen! Dieses Hubvolumenverhältnis zwischen den beiden Kolben – oder einfach das Kolbenverhältnis, ist eine ganz wichtige Größe in der Stirling-Technologie. Folgende Tabelle zeigt, bei welchen Heißteil-Temperaturen in etwa zu erwarten ist, dass sich ein Motor mit einem ganz bestimmten Kolbenverhältnis anwerfen lässt. (Auf der kalten Seite wird Raumtemperatur angenommen.)

Beispiel	Kolbenverhältnis	Temp.	PWR	Anz.Zyl
Höchsttemperaturmotor	2:1 (2,8:1)	600°C	90°	4
Hochtemperaturmotor	1,2:1 (1,5:1)	350°C	120°	6
Biogas/Biomassemotor	0,72:1 (0,85:1)	250°C	135°	8
Glas-Modellmotor	1:1,5 (0,6:1)	150°C		
Niedertemperaturmotor Sunwell	1:10 (0,1:1)	60°C		
Handwärme-Niedertemp.-Modell	< 1:20	30°C		

Diese Tabelle gilt auch für Beta-Stirlingmotoren (und für Ridermotoren in Klammern). Der Phasenwinkel bei Ridermotoren (PWR) und die Anzahl der Zylindersysteme (An.Zyl) bei Siemensmotoren sei hier auch für drei Kolbenverhältnisse erwähnt, wobei 120° genau genommen einem Kolbenverhältnis von 1,15 entspricht und die Anwurf-Temperatur bei 400°C liegen dürfte. Und das sind nur die Anwurf-Temperaturen. Eine Leistung auf wirtschaftlichem Niveau gibt z.B. ein Hochtemperaturmotor erst bei 600°C ab.

Beim Betatyp kann man zwar kein unterschiedliches Hubvolumen durch zwei verschiedene Durchmesser erreichen, aber man kann die Hübe verschieden lang realisieren. Gebaut wurden auf diese Weise schon Kolbenverhältnisse zwischen 0,6 und 1,0.



Bei Ridermotoren realisiert man unterschiedliche Kolbenverhältnisse, indem man den Phasenwinkel (bei einer V-Anordnung) variiert. Fangen wir bei einer extremen Niedertemperatur-Variante an: Wenn der Phasenwinkel fast 180° beträgt (sagen wir 175°), schieben sich die beiden Kolben das Arbeitsgas fast nur noch gegenseitig zu, immer hin und her. Dieses verschobene Volumen entspricht bei Stirlingmotoren

dem Hubvolumen des Verdrängers. Die winzige Volumenänderung, die durch die nicht ganz vollständigen 180° (nämlich der 175°) entsteht, entspricht einem sehr

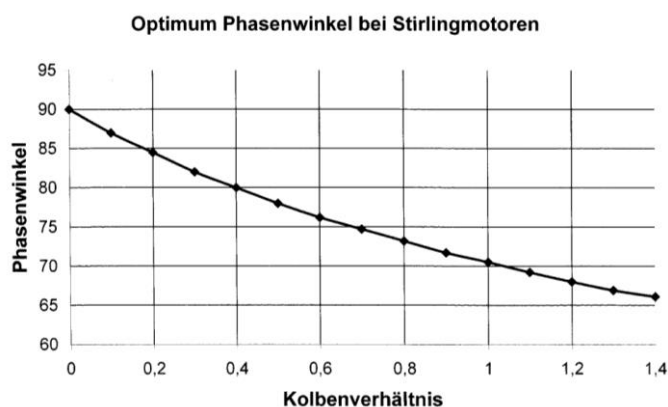
kleinen Arbeitskolben-Hubvolumen. Das Kolbenverhältnis bei 175° entspricht 0,087, was bedeutet, dass wir es hier mit einem Niedertemperatur-Rider zu tun haben.

Der Phasenwinkel von 120° entspricht dann einem Kolbenverhältnis von 1,15 und der Phasenwinkel von 90° entspricht einem Kolbenverhältnis von 2,8. Diesen letztgenannten Phasenwinkel besitzen fast alle Ridermotoren, weil er leicht zu bauen und auszuwuchten ist. An der Tabelle oben sieht man allerdings, dass solche Phasenwinkel durchaus nicht das Optimum darstellen und extreme Anforderungen stellen! Kraft-Wärme-Kopplung mit Pellets-Feuerung ist mit einem solchen Motor zwar physikalisch machbar, aber nicht wirtschaftlich.

Dies zum Kolbenverhältnis von Ridermotoren. Genaueres im Artikel "Berechnung Biomassemotor".

Doch kommen wir zurück zum Stirlingmotor. Darüber hinaus gibt es bei ihm nun noch die Möglichkeit, nicht nur das Kolbenverhältnis zu variieren, sondern auch den Phasenwinkel. Dies bewirkt dann eine Reduzierung der Kolben- und Lagerkräfte und nicht wie beim Ridermotor eine Änderung des Kolbenverhältnisses. Wenn man sich vergegenwärtigt, dass eine Reduzierung der Lagerkräfte um 10% bereits eine Lebensdauer-Verbesserung um 42% bedeutet, dann ist die Optimierung des Phasenwinkels ein Muss für jeden professionellen Stirlingmotor.

Trotzdem besitzen fast alle Stirlingmotoren einen Phasenwinkel von 90° . Das liegt wieder an der einfacheren Bauweise und dem einfacheren Auswuchten. Aber wirklich optimal ist ein Wert von 90° nur bei extremen Niedrigtemperatur-Stirlingmotoren. Je größer das Kolbenverhältnis, umso niedriger sollte der Phasenwinkel gewählt werden. Das Drehmoment und damit die Leistung nehmen



dabei sogar erst einmal geringfügig zu. Erst ab einem bestimmten Winkel nimmt die Leistung dann endgültig ab. Folgendes Diagramm zeigt das Optimum.

Last but not least soll erwähnt werden, dass Ridermotoren mit fremder Energie, meist mit großen Anlassmotoren angefahren werden müssen, während Stirlingmotoren so gebaut werden können, dass sie selbstanlaufen können.

Abschließend kann man sagen, dass sich Stirlingmotoren wahrscheinlich nur bis zum Vierzylinder-Motor durchsetzen werden (zwei Verdränger und zwei Arbeitskolben).

Soll eine Leistung über 100kW erreicht werden, ist der Ridermotor als 6-, 8-, 12- und 16-Zylindermotor dem Stirlingmotor wahrscheinlich überlegen, trotz aller Möglichkeiten der Kräfteerzeugung. Typische Anwendungen von solchen Ridermotoren wären Schiffsantriebe und Kraft-Wärme-Kopplungen. Das gilt allerdings nicht für Lokomotiven und andere Fahrzeuge auf Rädern – aber das ist ein anderes Thema, das Thema Rekuperation.