

# Das Kolbenverhältnis

Das Kolbenverhältnis (KV) ist eine der wichtigsten Größen am Stirlingmotor. Das KV entscheidet darüber, ab welchem Temperaturverhältnis ein Stirlingmotor läuft. Einige laufen bereits mit Handwärme, andere brauchen eine harte Flamme, wie die eines Schweißbrenners. Das Geheimnis liegt alleine im Kolbenverhältnis.

Definition:

**Das Kolbenverhältnis ist das Hubvolumen des Arbeitskolbens geteilt durch das Hubvolumen des Verdrängerkolbens.**

Das Kolbenverhältnis ist dimensionslos. Werte von 0,5 bis 1,0 sind üblich. Für Niedertemperatur-Maschinen werden auch kleinere Zahlen gewählt, im Extremfall bis 0,04. Allerdings wird die Kompression unter 0,5 immer lascher, die Leistung und der Wirkungsgrad immer geringer.

Grundsätzlich kann das Kolbenverhältnis auf zwei Arten gebildet werden:

- Bei gleichem Hub von Arbeits- und Verdrängerkolben wählt man die Durchmesser verschieden.
- Bei gleichem Durchmesser wählt man die Hublängen verschieden

Außerdem kann man beides miteinander kombinieren.

Ganz egal, auf welche Art und Weise das Kolbenverhältnis gebildet wird, es gilt stets:

Je größer das Kolbenverhältnis, umso größer wird die Kompression ausfallen. Und je größer die Kompression, umso größer muss das Temperaturverhältnis zwischen heißem und kaltem Teil gewählt werden, damit die Kompression überwunden wird. Dieses Anwurf-Temperaturverhältnis ( $TV_{an}$ ) scheint dabei in einer direkten mathematischen Beziehung zum Kolbenverhältnis zu stehen:

$$KV + 1 = TV_{an}$$

oder anders herum:  $TV_{an} - 1 = KV$

Bei den Stirlingmotoren, die ich in der Vergangenheit betreut habe, drängt sich jedenfalls diese mathematische Beziehung auf. Eine physikalisch-thermodynamische Herleitung wäre wünschenswert und vielleicht gelingt diese auch einmal in einer wissenschaftlichen Arbeit. Solange dieser Beweis noch nicht erbracht ist, müssen wir uns mit dem empirischen Befund zufriedengeben:

Fangen wir mit Niedrig-Temperatur-Stirlingmotoren an.

Ein Modell, das bereits mit Handwärme im Leerlauf läuft, besitzt ein Arbeitskolben-Hubvolumen, das 25 mal kleiner ist als sein Verdrängerkolben-Hubvolumen. Um das Kolbenverhältnis zu bekommen, muss das Arbeitskolben-Hubvolumen durch das Verdränger-Hubvolumen geteilt werden. 1 durch 25 gleich 0,04.



Die Körpertemperatur eines Menschen beträgt  $36^{\circ}\text{C}$ , an der Hand  $32^{\circ}\text{C}$  ( $309\text{ K}$ ). Auf der kalten Seite setzen wir eine Raumtemperatur von  $20^{\circ}\text{C}$  voraus ( $293\text{ K}$ ). Das Leerlauf-Temperaturverhältnis ergibt sich aus  $309\text{ K}$  durch  $293\text{ K}$  gleich  $1,05$ . Zieht man von  $1,05$   $1$  ab, so ergibt dies fast das Kolbenverhältnis des Modells (geringfügig darüber deshalb, weil sich das Modell ja noch drehen muss).

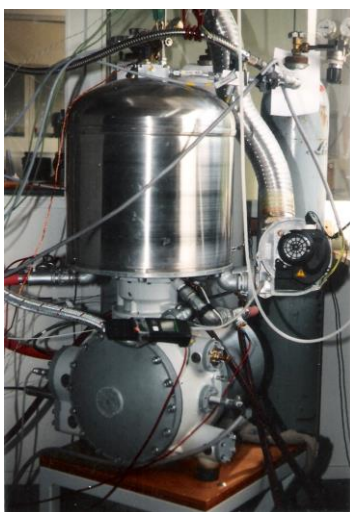
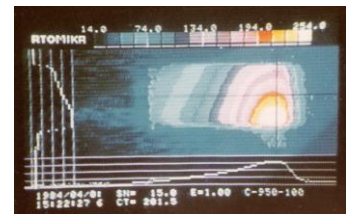
Bei dem Solarmotor Sunwell, den ich 1997 testen konnte, betrug das Hubvolumen des Arbeitskolbens nur ein Zehntel des Hubvolumen des Verdrängerkolbens (Kolbenverhältnis  $0,1$ ). Der Motor war bei  $50^{\circ}\text{C}$  anzuwerfen, wenn er mit  $20^{\circ}\text{C}$  kaltem Wasser gekühlt wurde.  $50^{\circ}\text{C}$  entspricht  $323\text{ K}$ .  $20^{\circ}\text{C}$  entspricht  $293\text{ K}$ .  $323\text{ K}$  durch  $293\text{ K}$  gleich  $1,1$ . Auch hier ist das Temperaturverhältnis um  $1$  größer als das Kolbenverhältnis.



Kommen wir zu dem Glas-Stirling-Modell, das ich in den 80-iger Jahren entwickelt habe. Dieser Motor besitzt ein Kolbenverhältnis von  $0,64$ .

Durch Infrarot-Bilder konnten wir die Temperaturen im heißen Teil ermitteln. Er benötigte zum Anwerfen ungefähr  $220^{\circ}\text{C}$  ( $493\text{ K}$ ). Auf der kalten Seite nehmen wir wieder  $20^{\circ}\text{C}$  an ( $293\text{ K}$ ). Sein

Anwurf-Temperaturverhältnis berechnet sich also folgendermaßen:  $493\text{ K}$  durch  $298\text{ K}$  gleich  $1,65$ . Diese Zahl um  $1$  reduziert ergibt  $0,65$  - wieder beinahe das Kolbenverhältnis des Motors.



Als letztes soll hier ein mit Helium aufgeladener Stirlingmotor genannt werden, damit klar wird, dass auch bei diesen Maschinen die oben genannte Regel gilt. Dieser  $2\text{ kW}$  starke Motor LG1-100, den ich von 1998 bis 2004 entwickelt habe, war ein Beta-Typ mit gleichem Hub und Durchmesser beim Verdränger- und Arbeitskolben. Das Kolbenverhältnis betrug also  $1,0$ .

Ab  $320^{\circ}\text{C}$  ging er vom Schlepp-Modus in den Generator-Modus über und zu diesem Zeitpunkt betrug der kalte Teil bereits  $25^{\circ}\text{C}$ . Das Temperaturverhältnis berechnet sich aus  $593\text{ K}$  durch  $303\text{ K}$  gleich  $1,99$ . Diese Zahl um  $1$  reduziert ergibt  $0,99$  - wieder beinahe das Kolbenverhältnis des Motors.

Sicher trifft diese Regel nicht immer derart genau zu. Sie kann bis zu  $10\text{ Prozent}$  abweichen. Aber das liegt dann meistens an Schwergängigkeiten im Getriebe, Undichtigkeiten oder an Temperaturfühlern, die nicht richtig platziert sind.