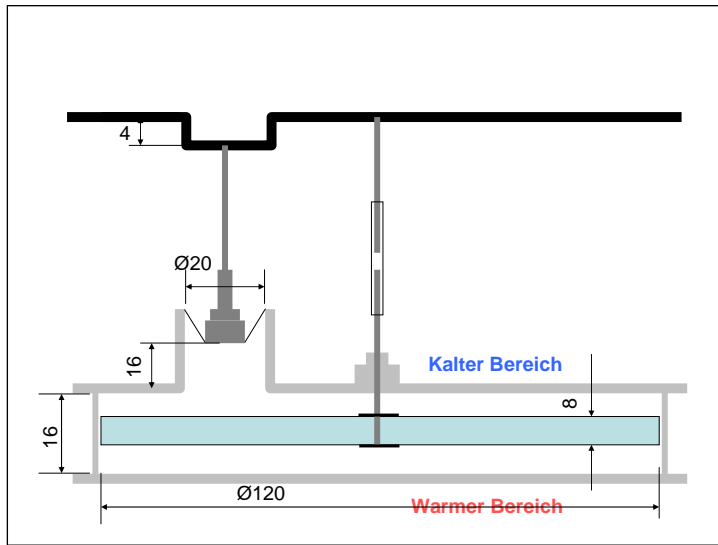


# Projekt: Es ist das Kartonmodell eines Stirling-Motors thermodynamisch zu berechnen.

Gegeben sind die thermodynamisch relevanten Maße des Modells



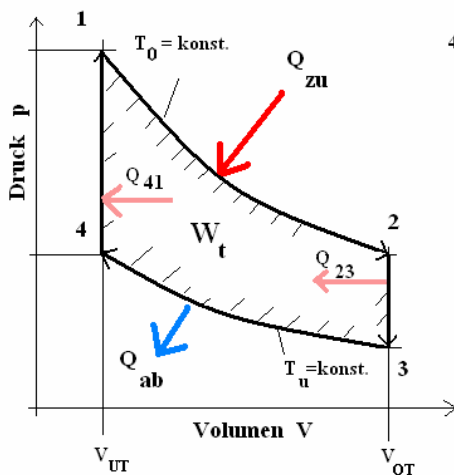
**Ferner sind folgende Daten bekannt:**

- $\vartheta_L$  = Raumtemperatur  $20^\circ\text{C} = \text{const.}$
- $p_L$  = Luftdruck in Umgebung  $1000\text{hPa}$
- $T_o$  = hohe Betriebs-Temperatur in der warmen Zonen =  $100^\circ\text{C}$  (siedenes Wasser bei  $p_n=1,013\text{bar}$ ) = .
- $T_u$  = niedrige Betriebs-Temperatur in der kalten Zonen =  $30^\circ\text{C}$
- $n$  = Drehzahl  $150\text{min}^{-1}$
- $\eta_i$  = innere Wirkungsgrad im Zylinder  $67\%$  d.h.  $1/3$  Verluste
- $m_w$  = Wassermasse in der Tasse  $0,42\text{kg}$  bei  $100^\circ\text{C}$
- $t_L$  =  $30\text{min}$  Laufzeit

Dem Stirling-Motor liegt folgender Kreisprozess zu Grunde (in dem Modell befindet sich kein Regenerator).

## Stirling - Prozess

- 1 - 2 Isotherme Expansion Bild 1
- 2 - 3 Isochore Wärmeabfuhr Bild 2
- 3 - 4 Isotherme Kompression Bild 3
- 4 - 1 Isochore Wärmezufuhr Bild 4



Abgegebene technische Arbeit:

$$W_t = Q_{zu} - |Q_{ab}|$$

Innerer Wärmeaustausch mit dem Verdrängerkolben (Regenerator):

$$Q_{41} = |Q_{23}|$$

Bearbeiten Sie folgende Punkte:

1. Übertragen Sie das gegebene p-V-Diagramm in ein entsprechendes T-s-Diagramm und erklären Sie die Vor- und Nachteile. Warum sollte man beide zusammen für den Prozess betrachten?
2. Errechnen Sie das Volumen des eingeschlossenen Arbeitsgases in cm<sup>3</sup>
  - a) im unteren Totpunkt des Arbeitskolbens
  - b) im oberen Totpunkt des Arbeitskolbens
3. Bestimmen Sie das Verdichtungsverhältnis des Modells
4. Ermitteln sie die Zustandsgrößen in den vier Punkten 1..4 und tragen sie die Werte in die Tabelle ein:

Nr.	p in bar	V in cm <sup>3</sup>	T in K	Bemerkung
1				
2				
3				
4				

5. Bestimmen sie die spezifische Kreisprozessarbeit in Nm/U
6. Ermitteln Sie die thermisch theoretische Leistung des Modells in W
7. Kontrollieren Sie Ihr Ergebnis unter 6) mit der empirischen Formel nach nach Prof. Ivo Kolin:(Quelle : <http://de.wikibooks.org/wiki/Stirlingmotoren>)

$$N = \frac{V \cdot \Delta T^3}{2 \cdot 10^8}$$

N = Wellenleistung in KW

V = kleinstes Arbeitsvolumen in dm<sup>3</sup> oder Liter,

wobei alle Toträume abgezogen werden sollten. V = V<sub>Zylinder</sub> - V<sub>Verdränger</sub>

ΔT = Temperaturdifferenz in [Kelvin](#) (ΔT = T<sub>max</sub> - T<sub>min</sub>)

T<sub>max</sub> = maximal Temperatur (T<sub>3</sub> im PV Diagramm) in Kelvin

T<sub>min</sub> = minimal Temperatur (T<sub>1</sub> im PV Diagramm) in Kelvin

8. Berechnen Sie die zugeführte spezifische Wärme in J/U
9. Ermitteln Sie den thermisch theoretischen Wirkungsgrad des Modells in %
10. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem thermisch theoretischen Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses in %
11. Nennen Sie Gründe, warum der reale Prozess nicht dem theoretischen entsprechen kann. Geben Sie die thermische Leistung in W an bei einem η<sub>i</sub> = innere Wirkungsgrad im Zylinder 67%
12. Welche Wärme wird der Tasse vom Modell während seiner Laufzeit entzogen in kJ

13. Welche Endtemperatur herrscht am Ende der Laufzeit in der Tasse in °C (andere Verluste, wie z.B. durch Wärmeleitung durch die Wand bleiben unberücksichtigt)
14. Wie verändert sich die abgegebene theoretische thermische Leistung des Modells, wenn einige Parameter verändert werden. Für die Parameter kommen in Frage:
  - a) Die obere Temperatur  $T_o$
  - b) Die untere Temperatur  $T_u$
  - c) Der Hauptzylinderdurchmesser
  - d) usw

Anleitung: Erstellen Sie für den Stirling-Motor ein mathematisches Modell z.B. mit Hilfe des EXCEL - Programms. Erhöhen Sie nur einen den Parameter z.B. „obere Temperatur  $T_o$ “ in geeigneten Schritten. Lassen Sie sich die theoretische thermische Leistung vom mathematischen Modell berechnen und anzeigen. Stellen Sie dann  $P_{th}$  über  $T_o$  graphisch dar ( z.B. in ein Diagramm mit dem Programm EXCEL)

Weiterführende Aufgabenstellung:

Das Modell soll gedanklich (oder auch real?) geändert werden. Es soll von einer Kraftmaschine in eine Arbeitsmaschine umgebaut werden. Dazu wird die Schwungscheibe des Modells von einem kleinen E-Motor mit 0,4W Leistung und  $150\text{min}^{-1}$  angetrieben. Alles andere bleibt an dem Modell gleich. Der E-Motor kann mal links, mal rechtsherum laufen.

Linkslaufender Prozess (gegen dem Uhrzeigersinn)

15.) Wie groß ist dann die spezifische Kreisprozessarbeit in Nm/U, wenn innere Verluste wieder  $\eta_i = 67\%$  sind (innere Wirkungsgrad im Zylinder).

16.) Wie hoch sind dann die Drücke  $p_1$  und  $p_2$  in bar und die Temperatur  $T_o$  in °C ( $T_u$  und  $p_3$  und  $p_4$  bleiben aus Aufg.4) gleich)

17) Was für eine Arbeitsmaschine liegt dann vor, eine Wärmepumpe oder eine Kältemaschine (Begründung mittels p-V- und T-s-Diagramm)?

18.) Wie groß ist die abgegeben bzw. aufgenommene spezifische Wärmemenge in J/U.

19.) Wie groß ist die abgegeben bzw. aufgenommene Wärmemenge während der gesamten Laufzeit des Modells?

Rechtslaufender Prozess (im Uhrzeigersinn)

20.) Wie groß ist dann die spezifische Kreisprozessarbeit in Nm/U

21.) Wie hoch sind dann die Drücke  $p_1$  und  $p_2$  in bar und die Temperatur  $T_o$  in °C ( $T_u$  und  $p_3$  und  $p_4$  bleiben aus Aufg.4) gleich)

22) Was für eine Arbeitsmaschine liegt dann vor, eine Wärmepumpe oder eine Kältemaschine (Begründung mittels p-V- und T-s-Diagramm)?

23.) Wie groß ist die abgegeben bzw. aufgenommene spezifische Wärmemenge in J/U.

24.) Wie groß ist die abgegeben bzw. aufgenommene Wärmemenge während der gesamten Laufzeit des Modells?