

# Stirling-Maschine, Thermodynamische Kreisprozesse (STI)

Manuel Staebel 2236632 / Michael Wack 2234088

## 1 Versuchsaufbau

### 1.1 Physikalische Grundlagen

Unter Kreisprozessen versteht man im Allgemeinen periodisch ablaufende Prozesse, die nach einigen Zustandsänderungen wieder in den Anfangszustand zurückkehren. Im folgenden wird besonders der Stirling-Prozess untersucht. Dazu wird die in der Praktikumsanleitung beschriebene Versuchsanordnung, der Stirling-Motor verwendet. Die im Stirling-Prozess verrichtete Nettoarbeit in Kreisprozess beträgt:

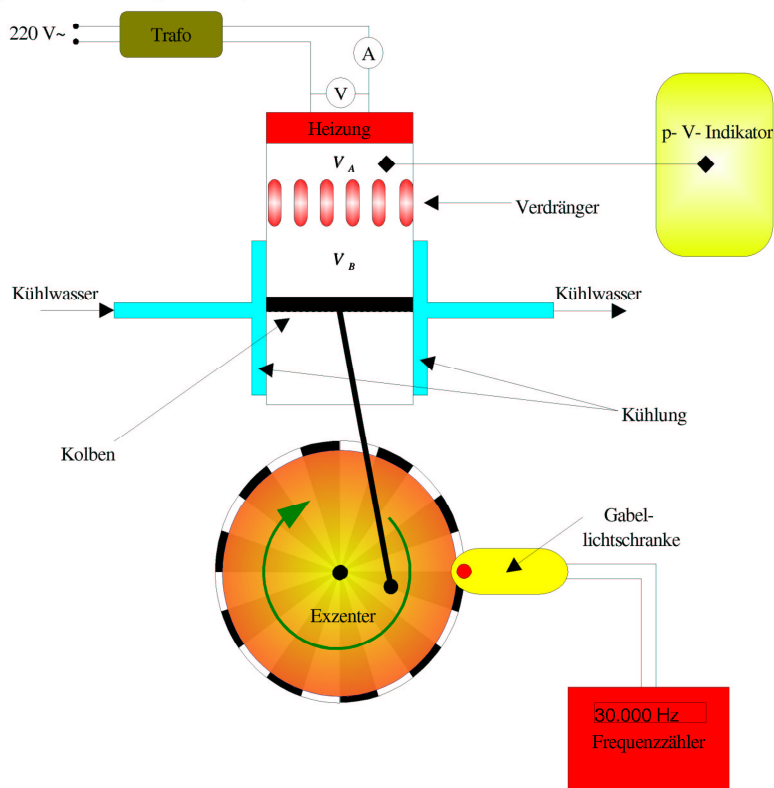
$$W = n R (T_1 - T_2) \cdot \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) < 0$$

Ein Vorteil des Stirling-Prozesses ist, daß er in beide Richtungen ablaufen kann, also sowohl Wärmeenergie in mechanische Energie umwandeln kann (Rechtsprozess) als auch umgekehrt.

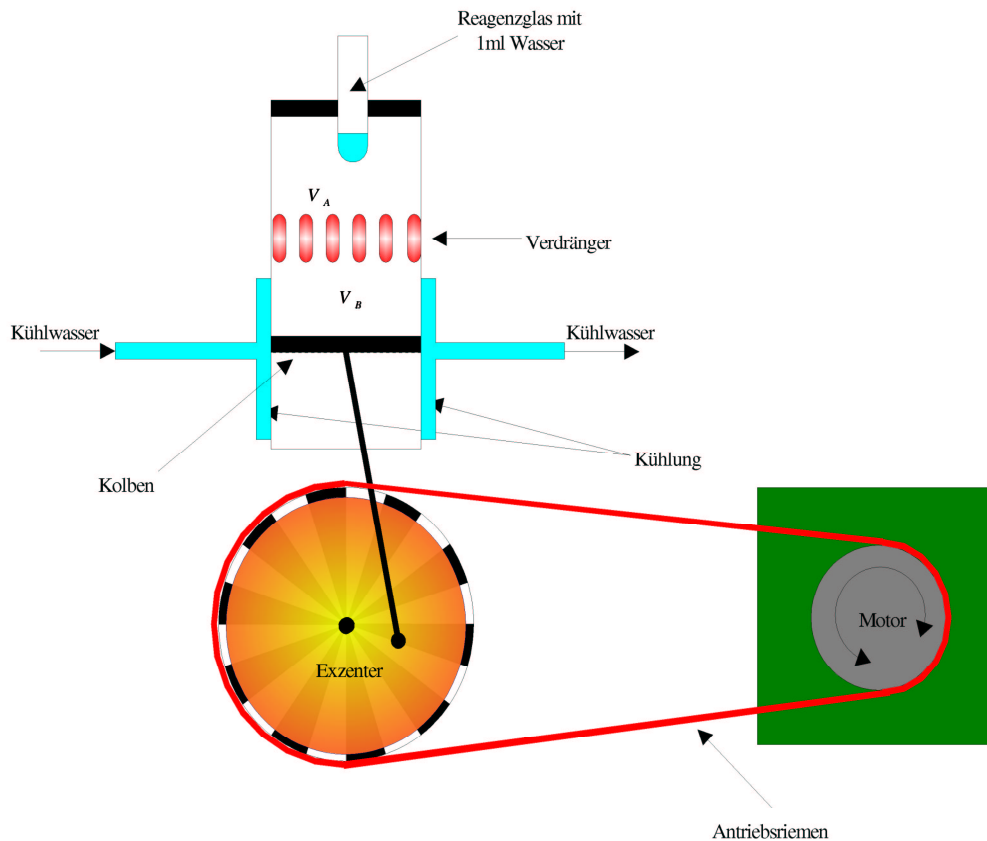
### 1.2 Versuchsaufbau

Im folgenden sei der schematische Aufbau des Stirling-Motors noch einmal dargestellt:

#### 1.2.1 Stirling-Maschine (Motor)



### 1.2.2 Betrieb als Wärmepumpe / Kältemaschine



### 1.3 Probleme bei unserem Versuchsaufbau

Bei der Inbetriebnahme der Stirling-Maschine als Motor sind bei unserer Praktikumsanordnung schon zu Beginn Probleme aufgetreten. Vermutlich durch Undichtigkeit zwischen Kolben und Zylinder war die Leistung des Motors derartig niedrig, daß die in der Versuchbeschreibung genannten Zahlenwerte zu den Aufgaben nicht brauchbar waren. Bei einer Heizspannung von  $\approx 18V$  erreichten wir nur Drehzahlen von durchschnittlich  $3,5 \text{ U s}^{-1}$ , wobei in Aufgabe 2 Drehmomente des Motors zwischen Umdrehungsgeschwindigkeiten von  $4 \text{ s}^{-1}$  und  $6 \text{ s}^{-1}$  gemessen werden sollten.

Im Verlauf des Versuchs verbesserte sich der Wirkungsgrad (Erwärmung des Dichtungsgummiringes? Es wurden von unserer Seite keine Veränderungen an der Versuchapparatur vorgenommen) der Maschine und wir erreichten Drehzahlen von bis zu  $4 \text{ U s}^{-1}$ .

## 2 Versuchdurchführung

### 2.1 Aufgabe 1: Kalibrierung der Druckanzeige des p-V-Indikators, Aufnahme p-V-Diagramm

Wurde nach Versuchbeschreibung durchgeführt, die Kalibrierung ist auf dem p-V-Diagramm (auf Millimeterpapier) zu sehen.

Messung der mechanischen Leistung:

Mit dem zwischen die Heizung und den Trafo geschalteten Ampéremeter haben wir den Strom durch die Heizung gemessen. Daraus konnten wir die Leistung der Heizung berechnen:

Strom:  $(19,3 \pm 0,05)A$

Spannung:  $\approx 18V$

$$\Rightarrow P = U I \approx 18V \cdot 19,3A \approx 347,4 \text{ W (bei unbelastetem Motor)}$$

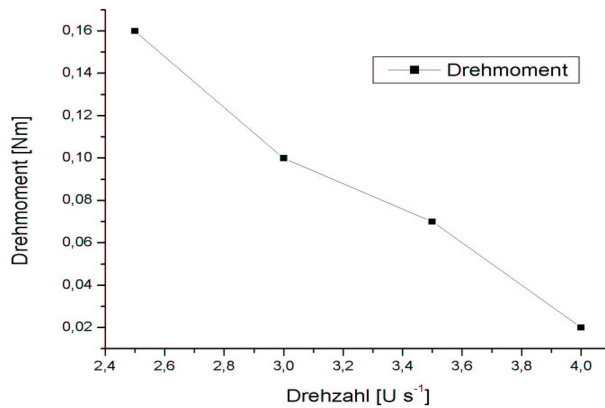
Bei unbelastetem Motor nahmen wir ein p-V-Diagramm auf, welches auf dem Millimeterpapier mit gekennzeichnet ist.

### 2.2 Aufgabe 2: Bestimmung der Drehmomente bei verschiedenen Drehfrequenzen

Die in der Versuchsbeschreibung angegebene Heizspannung von zunächst 12V konnte bei uns nicht verwendet werden, da bei dieser (zu geringen) Spannung unser Motor nicht zum Funktionieren zu bewegen war. Aus diesem Grund führten wir die Messungen nur mit einer Heizspannung von 16V durch. Der dabei gemessene Strom betrug  $(17,7 \pm 0,05)A$  woraus sich eine Leistung der Heizung von  $L_h = 283,2W$  ergab.

Durch den Prony'schen Zaum wurde eine bremsende Kraft auf den Motor ausgeübt, zugleich war am Prony'schen Zaum ein Drehmoment zu messen. Die vom Motor abgegebene Leistung errechnet sich bei einer Drehfrequenz  $f$  zu  $L_m = 2 \pi f I G$ .

Drehfrequenz $f$	Kraft $G$	Hebelarm $l$	Drehmoment	$L_m$
$4,0 \pm 0,1$ Hz	$0,10 \pm 0,02$ N	0,23 m	0,02 J	0,58 W
$3,5 \pm 0,1$ Hz	$0,31 \pm 0,02$ N	0,23 m	0,07 J	1,57 W
$3,0 \pm 0,1$ Hz	$0,43 \pm 0,02$ N	0,23 m	0,10 J	1,86 W
$2,5 \pm 0,1$ Hz	$0,70 \pm 0,02$ N	0,23 m	0,16 J	2,53 W

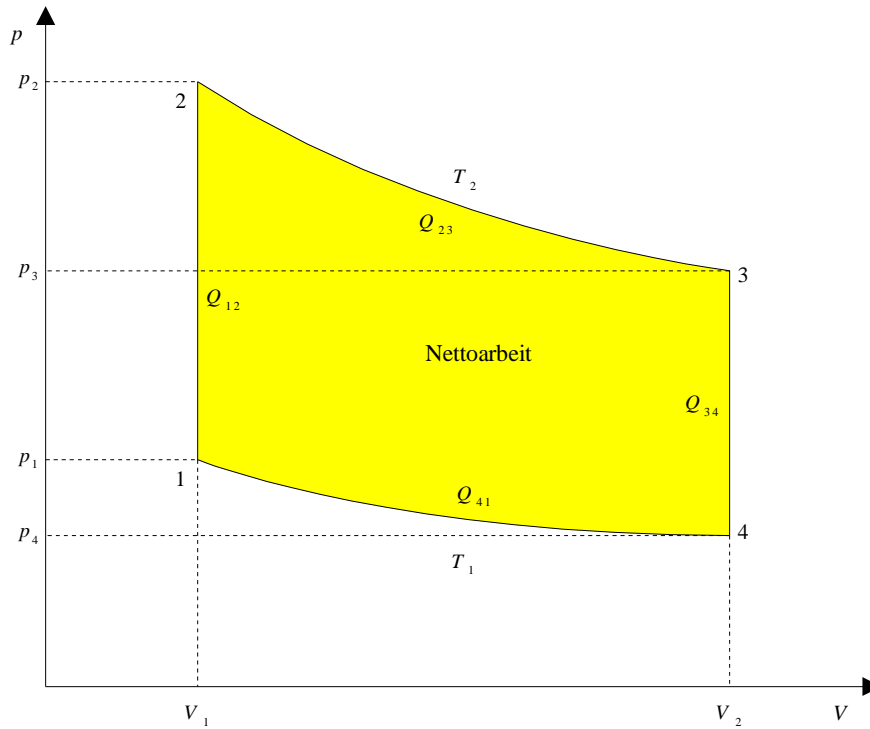


Wir erhalten den Umrechnungsfaktor um von der Diagrammfläche auf die Nettoarbeit schließen zu können:

$$1,00 \text{ bar} \cdot 150 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 0,219 \text{ m} \cdot 0,252 \text{ m} \cdot \alpha \Rightarrow$$

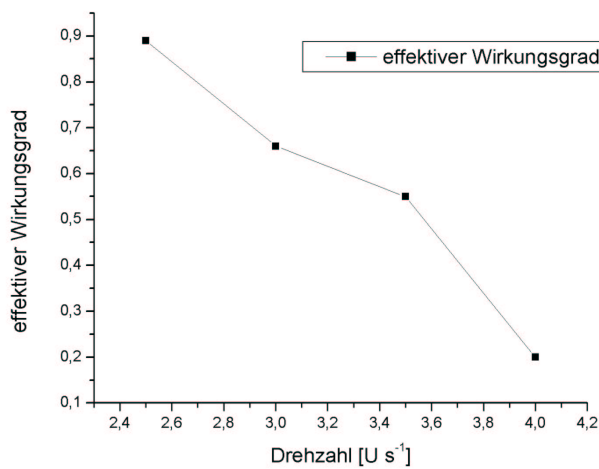
$$\alpha = \frac{1,00 \text{ bar} \cdot 150 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{0,219 \text{ m} \cdot 0,252 \text{ m}} = 271 \frac{N}{m}$$

Diagramm	, 18V, 3,5 U/s	, 16V, 2,5 U/s
Fläche	$168,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$	$131,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
Nettoarbeit W	4,58 J	3,56 J
Leistung $L_p$	16,0 W	8,90 W

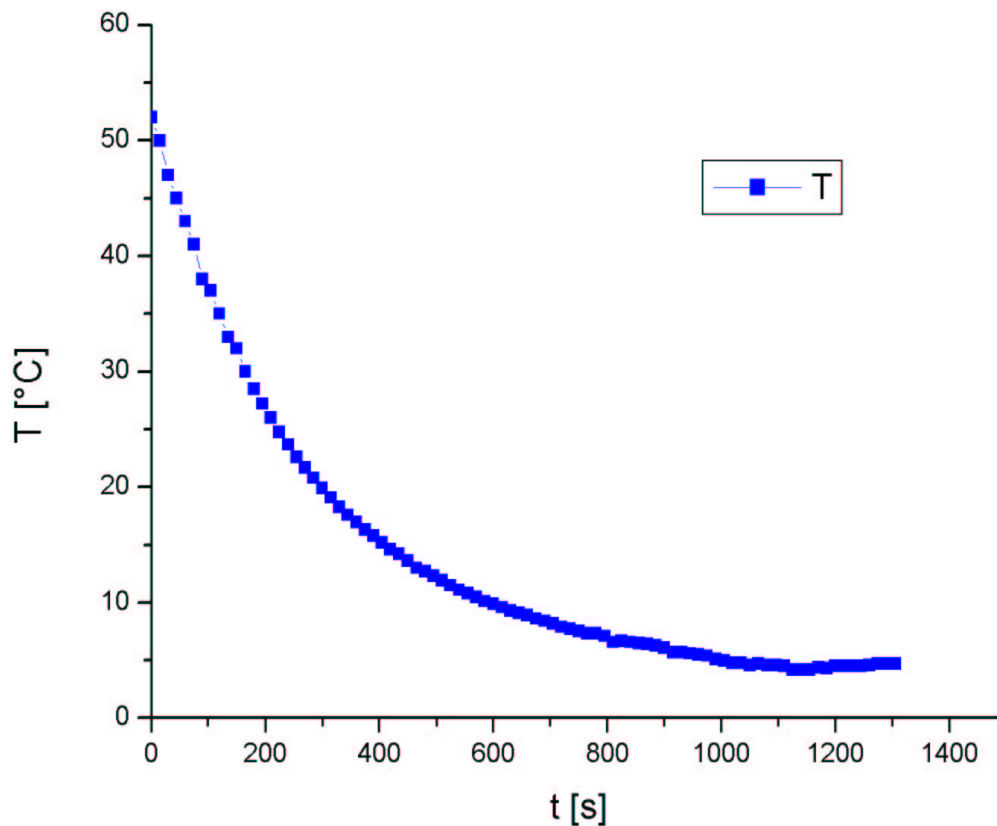


Da die Größe des geschlossenen Kurvenintegrals sowohl aufgrund der Eigenschwingungen der Meßapparatur und deren Trägheitsungenauigkeit als auch wegen der Auszählung aufgrund gewisser Approximationsfiguren sicherlich sehr ungenau war, soll hier an die Stelle der Fehlerrechnung nur eine Fehlerabschätzung treten; man nehme an, daß der Fehler sicherlich in der Größenordnung von  $\pm 5\%$  liege.

Drehfrequenz $f$	$\eta_t, 18V$	$\eta_t, 16V$	$\eta_e, 16V$
4			0,20%
3,5	4,60%		0,55%
3			0,66%
2,5		3,10%	0,89%



### 2.3 Aufgabe 3: Stirling-Maschine als Kältemaschine



Für den Betrieb als Kältemaschine muss mechanische Arbeit (in unserem Fall durch einen Elektromotor) geleistet werden. Durch einen Keilriemen wird das Schwungrad des Kolbens im Uhrzeigersinn angetrieben.

Die Heizwendel wird nun durch ein kleines mit 1ml Wasser gefülltes Reagenzglas ausgetauscht. Zur messung der Temperatur wird ein elektronischer Temperaturfühler in das Reagenzglas gegeben. Nach dem Start des elektrischen Motors wird die Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit (in 15s Intervallen) gemessen.

Bei dem Betrieb als Kältemaschine gelang es uns nicht, Temperaturen unter  $4,2^{\circ}\text{C}$  zu erreichen, was in Anbetracht des schlechten Wirkungsgrades unserer Versuchsapparatur nicht anders zu erwarten war. Bei der Abkühlung ist jedoch deutlich ein exponentieller Abfall der Temperatur zu erkennen.

### 2.4 Aufgabe 4: Stirling-Maschine als Wärmepumpe

Beim Betrieb als Wärmepumpe musste im Unterschied zur Kältemaschine lediglich die Laufrichtung des Schwungrades umgedreht werden. In dieser Betriebsart, in der andere Gruppen die zu erhitzende Substanz (1ml Wasser im Reagenzglas) zum Kochen brachten, gelang es uns nicht, Temperaturen über  $87,3^{\circ}\text{C}$  zu erreichen. Dem Verlauf der Kurve zu urteilen handelt es sich um einen logarithmischen Anstieg der Temperatur.

Das Abflachen der Kurven ist damit zu erklären, daß das Verhältnis zwischen der zugeführten Energie der Stirling-Maschine und der Energieverlust an die Umgebung beinahe 1 ist.

