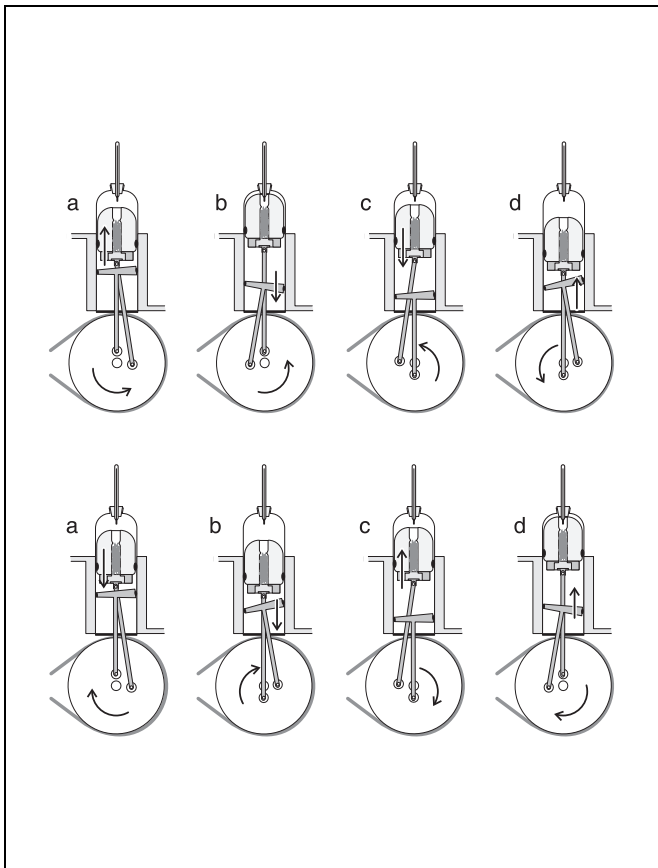


Betrieb des Heißluftmotors als Wärmepumpe und Kältemaschine

Versuchsziele

- Inbetriebnahme des Heißluftmotors als Wärmepumpe durch Antrieb der Schwungscheibe gegen den Uhrzeigersinn.
- Bestimmung der Maximaltemperatur im Zylinderkopf.
- Inbetriebnahme des Heißluftmotors als Kältemaschine durch Antrieb der Schwungscheibe im Uhrzeigersinn.
- Bestimmung der Minimaltemperatur im Zylinderkopf.

Fig. 1 Schema zur Funktionsweise des Heißluftmotors als Wärmepumpe (oben) und als Kältemaschine (unten)



Grundlagen

Der Heißluftmotor (*R. Stirling*, 1816) arbeitet als Wärmepumpe oder als Kältemaschine, wenn seine Schwungscheibe mechanisch von außen angetrieben wird. Sein Verdrängerkolben und sein Arbeitskolben sind so über Kolbenstangen mit der Kurbelwelle verbunden, dass sie um 90° versetzt laufen. Wird die Schwungscheibe gegen den Uhrzeigersinn gedreht, bewegt sich der Verdrängerkolben aufwärts, während der Arbeitskolben im oberen Totpunkt ist, und verdrängt die Luft in den unteren, wassergekühlten Teil des Zylinders (siehe Fig. 1 oben). Dort wird die Luft anschließend durch den Arbeitskolben expandiert und nimmt Wärme aus dem „Kühlwasser“ auf. Während der Arbeitskolben im unteren Totpunkt ist, bewegt sich der Verdrängerkolben abwärts und verdrängt die Luft in den oberen Teil des Zylinders. Dort wird die Luft durch den Arbeitskolben komprimiert und gibt Wärme an den Zylinderkopf ab; d.h. der Heißluftmotor arbeitet als Wärmepumpe.

Bei Drehung der Schwungscheibe im Uhrzeigersinn drängt der Verdrängerkolben die Luft nach oben, während der Arbeitskolben im oberen Totpunkt ist (siehe Fig. 1 unten). Bei der anschließenden Expansion der Luft durch den Arbeitskolben wird daher dem Zylinderkopf Wärme entzogen. Die Luft wird nun durch den Verdrängerkolben nach unten gedrängt und dort durch den Arbeitskolben komprimiert. Daher gibt sie Wärme an das Kühlwasser ab; d.h. der Heißluftmotor arbeitet als Kältemaschine.

Im Versuch wird der Betrieb des Heißluftmotors als Wärmepumpe und Kältemaschine qualitativ untersucht. Zur Demonstration des Zusammenhangs zwischen der zugeführten mechanischen Leistung und der Wärme- bzw. Kälteleistung wird die Drehzahl des antreibenden Elektromotors mit dem Steuer- und Regelgerät variiert und die Änderung der Temperatur im Zylinderkopf mit einem Thermometer gemessen.

Geräte

1 Heißluftmotor	388 182
1 Thermometer, -50 °C bis 120 °C	38819
1 Experimentiermotor	347 35
1 Steuer- und Regelgerät	347 36
1 Stativstange 25 cm	300 41

zusätzlich erforderlich:

offener Wasserbehälter (mind. 10 l)	
1 Tauchpumpe 12 V	388 181
1 Kleinspannungs-Netzgerät	522 16
2 Silikonschläuche i. $\varnothing 7 \times 1,5\text{ mm}$, 1 m . .	667 194

oder

Kühlwasserzu- und -abfluss

Aufbau

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 2 dargestellt.

Kühlwasserversorgung:

- Offenen Wasserbehälter mit mindestens 10 l Wasser füllen und Tauchpumpe einhängen.
- Ausgang der Tauchpumpe an Kühlwasserzulauf des Heißluftmotors anschließen und Kühlwasserablauf in Wasserbehälter leiten.
- Tauchpumpe an Kleinspannungs-Netzgerät anschließen.

oder

- Kühlwasserzulauf des Heißluftmotors an Wasserhahn anschließen und Kühlwasserablauf in Wasserabfluss leiten.

Temperaturmessung:

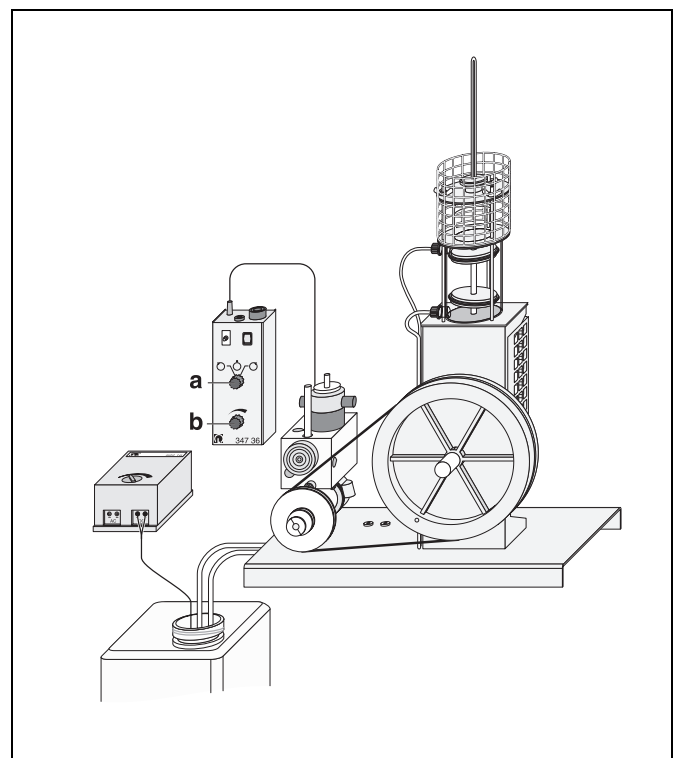
- Zylinderkopf-Deckel mit Schraubverschluss montieren (siehe Gebrauchsanweisung zum Heißluftmotor) und Schraubverschluss abschrauben.
- Thermometer durch Schraubverschluss und Dichtring schieben.
- Verdrängerkolben durch Drehen der Schwungscheibe in den oberen Totpunkt fahren und überprüfen, ob der Verdrängerkolben gegen das Thermometer stößt.
- Thermometer durch Anziehen des Schraubverschlusses festklemmen.

Sicherheitshinweise

Die Glasbauteile des Heißluftmotors dürfen thermisch nicht zu stark belastet werden.

- Gebrauchsanweisung zum Heißluftmotor beachten.
- Heißluftmotor nicht ohne Kühlwasser betreiben und einwandfreien Kühlwasserumlauf überprüfen.
- Temperatur des eintretenden Kühlwassers nicht über 30 °C ansteigen lassen.

Fig. 2 Versuchsaufbau zum Betrieb des Heißluftmotors als Wärmepumpe und Kältemaschine (hier dargestellt: Kühlwasserzufuhr durch Tauchpumpe).



Hinweis:

Beim Betrieb des Heißluftmotors entsteht Überdruck und das Thermometer könnte nach oben herausgeschossen werden.

- Schwungscheibe drehen und Heißluftmotor auf Dichtheit überprüfen; ggf. Schlauchwelle für Drucksensor mit Verschlussstopfen verschließen.

Antrieb:

- Elektromotor montieren und an das Steuer- und Regelgerät anschließen.
- Antriebsriemen über Schwungscheibe und Antriebsscheibe legen und durch Schwenken des Elektromotors spannen.

Durchführung**a) Betrieb des Heißluftmotors als Wärmepumpe:**

- Kühlwasserversorgung einschalten (dazu z.B. Kleinspannungs-Netzgerät für Tauchpumpe auf Stufe 2 stellen), Durchfluss überprüfen und abwarten, bis Wasser durch den Ablaufschlauch zurückläuft.
- Drehrichtungsschalter **(a)** in Mittelstellung (Stillstand) schalten, Drehzahlsteller **(b)** auf mittlere Position stellen und Steuer- und Regelgerät einschalten.
- Mit Drehrichtungsschalter den Linkslauf des Heißluftmotors (gegen Uhrzeigersinn) starten
- Temperatur im Zylinderkopf des Heißluftmotors messen und Temperaturzunahme beobachten.
- Ggf. Drehzahl langsam mit Drehzahlsteller steigern.
- Wenn der Maximalwert erreicht ist, Drehrichtungsschalter wieder in Mittelstellung schalten.

b) Betrieb des Heißluftmotors als Kältemaschine:

- Mit Drehrichtungsschalter den Rechtslauf des Heißluftmotors (im Uhrzeigersinn) starten
- Temperatur im Zylinderkopf des Heißluftmotors messen und Temperaturabnahme beobachten.
- Ggf. Drehzahl langsam mit Drehzahlsteller steigern.
- Wenn der Minimalwert erreicht ist, Drehrichtungsschalter wieder in Mittelstellung schalten.

Messbeispiel**a) Betrieb des Heißluftmotors als Wärmepumpe:**

maximale Temperatur nach Langzeitbetrieb: 110 °C.

b) Betrieb des Heißluftmotors als Kältemaschine:

minimale Temperatur nach Langzeitbetrieb: –32 °C.

Auswertung

Dem Zylinderkopf des Heißluftmotors wird je nach Drehsinn Wärme zugeführt oder entzogen. Die Temperatur im Zylinderkopf ändert sich so lange, bis die Gleichgewichtstemperatur erreicht ist, d. h. bis die Wärmeabgabe an die Umgebung gleich der Wärmeaufnahme aus der Umgebung ist.

Ergebnis

Wird dem Heißluftmotor über seine Schwungscheibe mechanische Arbeit zugeführt, so kann der Zylinderkopf je nach Drehsinn Wärme abgeben oder aufnehmen. Gleichzeitig wird dem Kühlwasser Wärme entzogen oder zugeführt.

Der Heißluftmotor arbeitet bei Drehung der Schwungscheibe gegen den Uhrzeigersinn als Wärmepumpe und bei Drehung im Uhrzeigersinn als Kältemaschine.

Zusatzinformation

Die Wirkungsweise des Heißluftmotors als Wärmepumpe oder Kältemaschine kann eindrucksvoll demonstriert werden, wenn man das Thermometer im Zylinderkopf durch ein Reagenzglas (aus dem Lieferumfang des Heißluftmotors) ersetzt und dieses mit 0,5–1 cm³ destilliertes Wasser füllt. Nach einigen Minuten Betrieb beginnt das Wasser zu sieden oder zu gefrieren.

Die Demonstration ist besonders eindrucksvoll, wenn man die Temperatur des Wassers mit einem Temperaturfühler misst und als Funktion der Zeit aufzeichnet. Dabei kann man einen Gefrierverzögerung beobachten, denn das Wasser wird zunächst deutlich unter 0 °C abgekühlt und gefriert dann schlagartig bei 0 °C.

