

Kalorische Bestimmung der Reibungsverluste des Heißluftmotors

Versuchsziele

- Messung der Erwärmung des Kühlwassers durch die Kolbenreibung des Heißluftmotors.
- Bestimmung der Kolbenreibungsarbeit des Heißluftmotors pro Umlauf.

Grundlagen

Der Heißluftmotor entnimmt als Wärmekraftmaschine pro Umlauf einem Reservoir 1 die Wärmemenge Q_1 , erzeugt die mechanische Arbeit W und gibt die Differenz

$$Q_2 = Q_1 - W \quad (I)$$

an ein Reservoir 2 ab. Als Kältemaschine wird dem Heißluftmotor bei gleicher Drehrichtung pro Umlauf von außen die mechanische Arbeit W zugeführt, er entzieht dem Reservoir 1 die Wärmemenge Q_1 und führt dem Reservoir 2 die Wärmemenge Q_2 zu.

In beiden Fällen treten Verluste auf, die in die Leistungsbilanz des Heißluftmotors eingehen. So wird z. B. pro Umlauf für die Kolbenreibung im Zylinder und für die Lagerreibung mechanische Energie (Reibungsarbeit) aufgewandt und in thermische Energie (Wärme) umgewandelt. Die Reibungsarbeit durch die Kolbenreibung im Zylinder kann quantitativ bestimmt werden, da sie eine Erwärmung des Kühlwassers verursacht. Die Lagerreibung entzieht sich dieser Messung.

Zur Bestimmung der Kolbenreibungsarbeit wird im Versuch der Temperaturanstieg $\Delta\vartheta$ im Kühlwasser gemessen, während der Heißluftmotor bei offenem Zylinderkopf mit einem Elektromotor angetrieben wird. Die an das Kühlwasser abgegebene Leistung beträgt

$$P = c \cdot \rho \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \cdot \Delta\vartheta \quad (II)$$

$c = 4,185 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$: spezifische Wärmekapazität von Wasser,
 $\rho = 1 \text{ g cm}^{-3}$: Dichte von Wasser

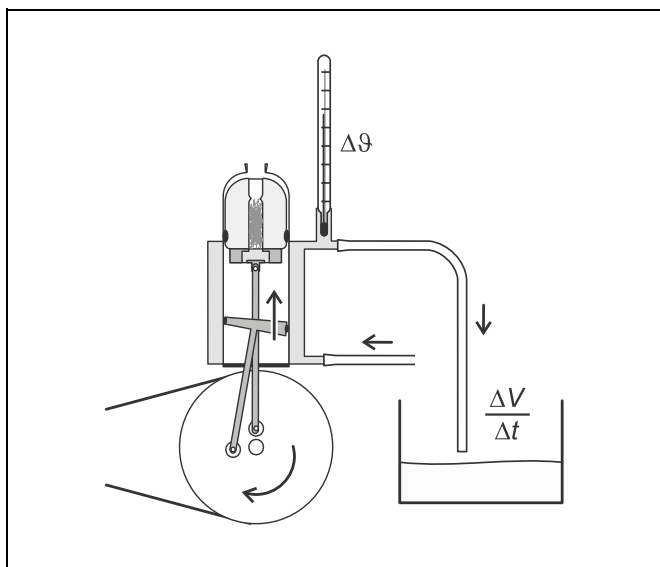
$\frac{\Delta V}{\Delta t}$: Volumendurchsatz des Kühlwassers

Daraus berechnet sich die gesuchte Reibungsarbeit pro Umlauf des Heißluftmotors wie folgt:

$$W_R = \frac{P}{f} \quad (III).$$

f : Drehzahl des Heißluftmotors

Kalorische Bestimmung der Reibungsverluste des Heißluftmotors



Geräte

1 Heißluftmotor	388 182
1 Zubehör zum Heißluftmotor	388 221
1 Thermometer, -10° bis $+ 40^{\circ} \text{C}$	382 36
1 Experimentiermotor	347 35
1 Steuer- und Regelgerät	347 36
1 Zählgerät P	575 45
1 Gabellichtschränke, infrarot	337 46
1 Transformator, 6 V~, 12 V~/30 VA	562 73
1 Adapterkabel, 4polig, 1,5 m	501 18
1 Experimentierkabel, rot, 25 cm	500 411
1 Kunststoffbecher, 1000 ml	590 06
1 Handstoppuhr II, 60s/30 min	313 17
1 Kleiner Stativfuß, V-förmig	300 02
2 Stativstangen, 25 cm	300 41
<i>zusätzlich erforderlich:</i>	
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	

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.

Aufbau

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 1 dargestellt.

Temperaturmessung:

- GL14-Verschraubung vom Kühlwasserabfluss des Zylinderkopfes lösen und Temperaturadapter (**c**) aus dem Zubehör des Heißluftmotors montieren (siehe Gebrauchsanweisung 388 221).
- Thermometer in Temperaturadapter einführen und mit GL18-Verschraubung festklemmen.

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.
- Ggf. GL-Verschraubung des Thermometers kurz lösen, Wasser im Glasrohr etwas ansteigen lassen und GL-Verschraubung festziehen.

Aufbau und Antrieb des Heißluftmotors:

- Zylinderkopf-Deckel entfernen (siehe Gebrauchsanweisung zum Heißluftmotor).
- Ggf. Schlauchwelle für Drucksensor mit Verschlussstopfen verschließen.
- Elektromotor montieren und an das Steuer- und Regelgerät anschließen.
- Antriebsriemen über Schwungscheibe und Antriebsscheibe legen und durch Schwenken des Elektromotors spannen.

Frequenzmessung:

- Lochscheibe aus dem Zubehör zum Heißluftmotor auf die Kurbelwelle heften.
- Gabellichtschränke auf Stativmaterial montieren und auf ein Loch der stehenden Lochscheibe ausrichten.
- Gabellichtschränke mittels 4-poligem Adapterkabel zur Spannungsversorgung (schwarze Stecker) an 6-V-Ausgang des Transformators und zur Frequenzmessung (roter und grauer Stecker) an Starteingang des Zählgerätes P anschließen.
- Starteingang zum Stoppeingang schleifen, Schalter auf „f“ stellen und Zählgerät P einschalten.

Messung des Kühlwasserdurchflusses:

- Kunststoffbecher und Handstoppuhr bereit legen.

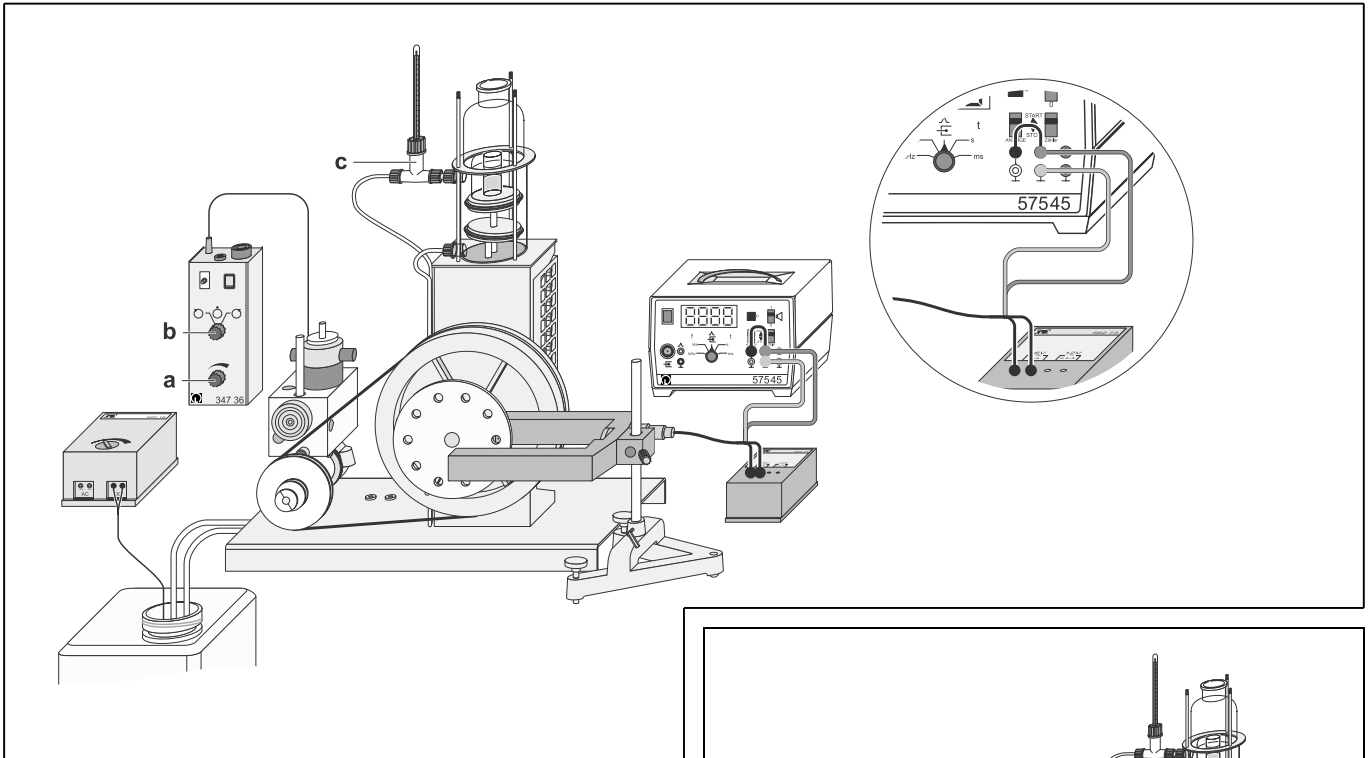
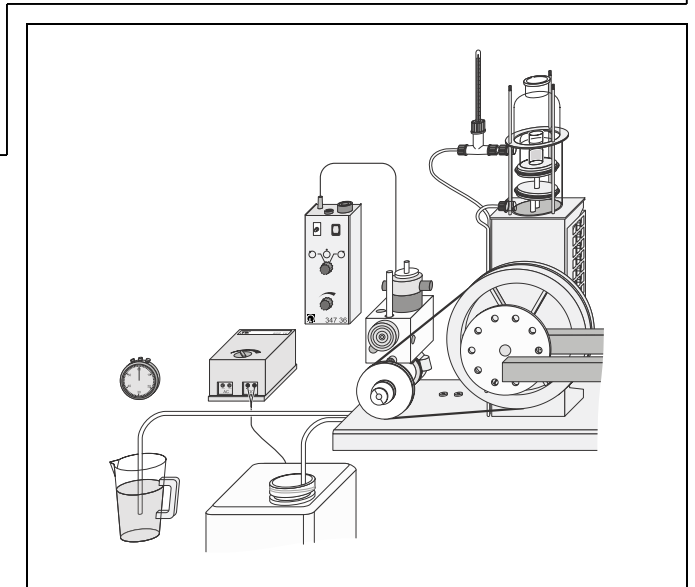


Fig. 1 Versuchsaufbau zur kalorischen Bestimmung der Reibungsverluste des Heißluftmotors

Fig. 2 Bestimmung des Volumendurchsatzes ΔV pro Zeiteinheit Δt



Durchführung

- Drehrichtungsschalter **(b)** in Mittelstellung (Stillstand) schalten, Drehzahlsteller **(a)** auf mittlere Position stellen und Steuer- und Regelgerät einschalten.
- Kühlwasserversorgung einschalten (dazu z. B. Kleinspannungs-Netzgerät für Tauchpumpe auf Stufe 2 stellen), Durchfluss überprüfen und abwarten, bis Wasser durch den Ablaufschlauch zurückläuft.
- Temperatur des ablaufenden Kühlwassers Abständen von 2 min messen und warten, bis der Verlauf eindeutig extrapolierbar ist.
- Mit Drehrichtungsschalter den Rechtslauf des Heißluftmotors (im Uhrzeigersinn) starten und Drehzahl des Heißluftmotors messen.

Die Drehzahl des Motors ergibt sich aus der gemessenen Frequenz und der Zahl der Löcher in der Lochscheibe.

- Weiterhin Temperatur des ablaufenden Kühlwassers in Abständen von 2 min messen, Temperaturzunahme beobachten und warten, bis der Verlauf eindeutig extrapolierbar ist.
- Wenn der Maximalwert erreicht ist, Rechtslauf des Motors ausschalten und weiterhin Temperatur des Kühlwassers in Abständen von 2 Minuten messen, bis die Temperatur einen eindeutig extrapolierbaren Verlauf aufweist.
- Ablaufschlauch in Kunststoffbecher führen und Volumendurchsatz ΔV des Kühlwassers pro Zeitintervall Δt bestimmen (siehe Fig. 2).
- Mit Drehzahlsteller **(a)** die Drehzahl variieren und Messung wiederholen.

Messbeispiel

Volumendurchsatz des Kühlwassers: 420 cm^3 in 5 min

Tab. 1: Temperatur des Kühlwassers gemessen in Zeitabständen von 2 Minuten (der Elektromotor wurde nach 10 Minuten eingeschaltet und nach 32 Minuten ausgeschaltet). Drehzahl: $f = 1,6 \text{ s}^{-1}$

t min	ϑ °C	t min	ϑ °C
0	21,8	24	22,1
2	21,7	26	22,2
4	21,6	28	22,2
6	21,55	30	22,2
8	21,5	32	22,2
10	21,5	34	22,1
12	21,6	36	22,0
14	21,8	38	21,8
16	21,9	40	21,6
18	22,0	42	21,6
20	22,0	44	21,5
22	22,1	46	21,5

Tab. 2: Temperaturänderungen $\Delta\vartheta$ des Kühlwassers gemessen für verschiedene Drehzahlen f des Heißluftmotors.

$\frac{f}{s^{-1}}$	$\frac{\Delta\vartheta}{^{\circ}C}$
1,1	0,6
1,6	0,7
2,2	0,4
2,7	0,5
3,4	0,6

Tab. 3: In Abhängigkeit von der Drehzahl f ermittelte Werte für die Reibungsarbeit pro Umlauf W_R .

$\frac{f}{s^{-1}}$	$\frac{W_R}{J}$
1,1	3,2
1,6	2,6
2,2	1,1
2,7	1,1
3,4	1,0

Auswertung

In Fig. 3 ist der zeitliche Verlauf der Temperatur des Kühlwassers während der Erwärmung durch die Kolbenreibung exemplarisch bei einer Drehzahl von $f = 1,6 s^{-1}$ (siehe Tab. 1) dargestellt. Aus der Darstellung lässt sich die Temperaturänderung zu $\Delta\vartheta = 0,7 ^{\circ}C$ ablesen.

Der Volumendurchsatz ist

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{420 \text{ cm}^3}{300 \text{ s}} = 1,4 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

Gemäß (II) und (III) beträgt die an das Kühlwasser abgeführte Leistung $P = 4,1 \text{ W}$ und die Reibungsarbeit pro Umlauf somit $W_R = 2,6 \text{ J}$.

In Tab. 3 sind die entsprechende Werte zusammengefasst, die man aus den in Tab. 2 angegebenen Temperaturänderungen für verschiedene Drehzahlen f berechnet. Fig. 4 enthält eine graphische Darstellung der Werte.

Ergebnis

Ein Teil der Arbeit des Heißluftmotors als Wärmekraftmaschine wird als Reibungsarbeit in Wärme umgewandelt und an das Kühlwasser abgegeben. Die Reibungsarbeit pro Umlauf ist abhängig von der Drehzahl des Heißluftmotors.

Fig. 3 Temperaturverlauf im Kühlwasser während der Erwärmung durch die Kolbenreibung im Zylinder. Drehzahl: $f = 1,6 s^{-1}$

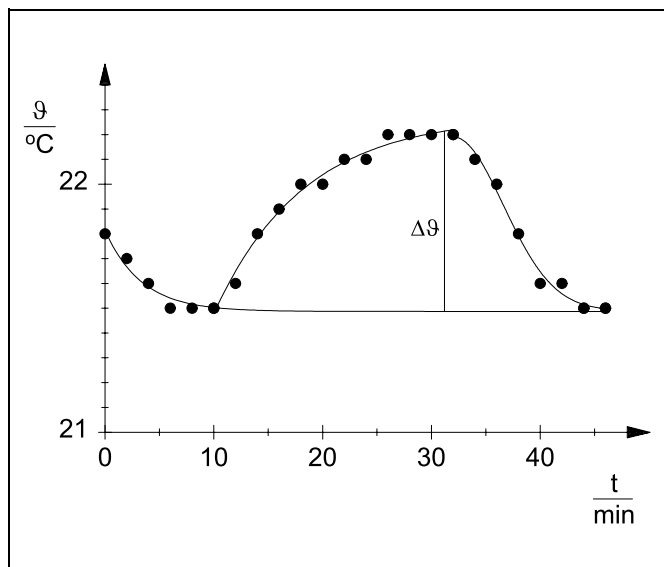


Fig. 4 Reibungsarbeit W_R pro Umlauf in Abhängigkeit von der Drehzahl f des Heißluftmotors

