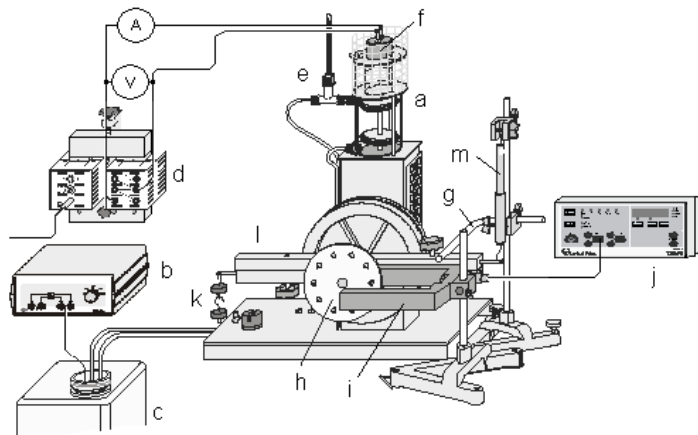


## Labor für Technische Physik

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kraus, Dipl.-Ing. W.Pieper

### Versuch 14d:

### Bestimmung des Wirkungsgrades des Heißluftmotors als Wärmekraftmaschine



- |                                 |                                   |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| a: Heißluftmotor                | g: Stativstange, 90° abgewinkelt  |
| b: Kleinspannungsnetzgerät      | h: Lochscheibe                    |
| c: Kanister mit 10 l Kühlwasser | i: Gabellichtschränke             |
| d: zerlegbarer Transformator    | j: Zählgerät                      |
| e: Thermometer –10°C bis 40°C   | k: Gewichte und Temperaturadapter |
| f: Heizwendel                   | l: Pronyscher Zaum                |
|                                 | m: Newtonmeter                    |

### 1. Versuchsziele

Es sollen die Wärme  $Q_2$ , welche dem Kühlwasser pro Umlauf zugeführt wird, und die pro Umlauf verrichtete mechanische Arbeit  $W$  gemessen und anschließend der Wirkungsgrad  $\eta$  der Wärmekraftmaschine bestimmt werden.

### 2. Theoretische Grundlagen

Eine Wärmekraftmaschine entnimmt einem Reservoir pro Umlauf die Wärmemenge  $Q_1$ , verrichtet die mechanische Arbeit  $W$  und gibt die Wärme  $Q_2$  an ein zweites Reservoir ab. Wenn keine thermischen Verluste auftreten, hat die innere Energie des Systems zu Beginn und am Ende denselben Wert; dann ist

$$Q_1 = Q_2 + W \quad (1)$$

Der Heißluftmotor zeigt dieses ideale Verhalten nicht, da er für Unterrichtszwecke optimiert wurde. Hier ermöglichen durchsichtige Maschinenteile den Einblick in den Funktionsablauf und auf eine thermische Isolierung des Zylinderkopfes wurde vollständig verzichtet. Ein erheblicher Teil der zugeführten elektrischen Leistung geht durch Wärmeleitung und –strahlung „verloren“. D.h.

$$Q_1 > Q_2 + W \quad (2)$$

Als Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschine bezeichnet man normalerweise das Verhältnis

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \quad (3)$$

Beim Heißluftmotor ist es jedoch sinnvoller, das Verhältnis

$$\eta = \frac{W}{Q_2 + W} \quad (4)$$

als Wirkungsgrad zu betrachten.

Die Wärme  $Q_2$  wird an das Kühlwasser des Heißluftmotors abgegeben und macht sich dort als Temperaturanstieg bemerkbar. Einen solchen Temperaturanstieg verursachen jedoch auch die Reibungsverluste  $W_R$  des Heißluftmotors, jedenfalls soweit es sich um die Kolbenreibung im Zylinder handelt. Diese Reibungsverluste müssen in einer Energiebilanz als mechanische Arbeit verbucht und zu der an der Schwungscheibe verrichteten mechanischen Arbeit hinzugerechnet werden.

Im Versuch übt ein *Pronyscher Zaum* ein Drehmoment  $N$  auf die Kurbelwelle des

Heißluftmotors aus (siehe Abb. 1). Der Heißluftmotor wird dadurch auf eine Drehzahl  $f$  abgebremst. Hier ist

$$W' = 2\pi \cdot N \quad (5)$$

die pro Umlauf an die Achse abgegebene mechanische Arbeit und

$$W = W' + W_R \quad (6)$$

die gesamte pro Umlauf verrichtete mechanische Arbeit.

Die an das Kühlwasser abgegebene Leistung  $P$  wird aus der Temperaturänderung  $\Delta\vartheta$  bestimmt:

$$P = c \cdot \rho \frac{\Delta V}{\Delta t} \cdot \Delta\vartheta \quad (7)$$

wobei  $c$  die spezifische Wärmekapazität ( $c = 4,185 \text{ Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ),  $\rho$  die Dichte ( $\rho = 1 \text{ gcm}^{-3}$ ) und  $\Delta V/\Delta t$  den Volumendurchsatz von Wasser bezeichnet.

Daraus ergibt sich die dem Kühlwasser pro Umlauf zugeführte Wärme

$$Q'_2 = \frac{P}{f} \quad (8)$$

und die auf den eigentlichen Kreisprozess zurückzuführende Wärme  $Q_2$

$$Q_2 = Q'_2 - W_R \quad (9)$$

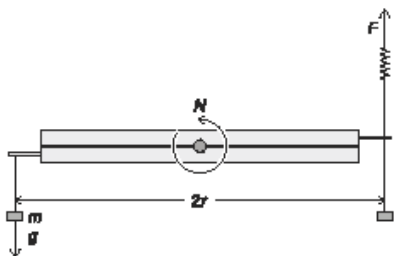


Abb. 1: Pronyscher Zaum

### 3. Versuchsaufbau

#### Geräteliste

1	Heißluftmotor	388 182
1	Zubehör zum Heißluftmotor	388 221
1	U-Kern mit Joch	562 11
1	Spannvorrichtung	562 12
1	Netzspule mit 500 Windungen	562 21
1	Kleinspannungsspule, 50 Windungen	562 18
1	Vielfach-Messgerät METRAMax 2	531 100
1	Vielfach-Messgerät METRAMax 3	531 712
1	Satz 12 Laststücke, je 50 g	342 61
1	Präzisions-Kraftmesser 1,0 N	314 141
1	Zählgerät	575 45
1	Gabellichtschranke, infrarot	337 46
1	Transformator, 6 V~, 12 V~/30 VA	562 73
1	Thermometer, -10°C bis + 40 °C	382 36
1	Adapterkabel, 6 polig, 1,5 m	501 16
1	Kunststoffbecher, 1000 ml	590 06
1	Handstoppuhr II, 60s/30 min	313 17
2	Kleine Stativfüße, V-förmig	300 02
1	Stativstangen, 25 cm	300 41
1	Stativstange, 47 cm	300 42
1	Stativstange, 90° abgewinkelt	300 51
2	Leybold-Muffen	301 011
1	Tauchpumpe 12 V	388 181
1	Kleinspannungs-Netzgerät	521 230
2	Silikonschläuche i. Ø 7·1, 5mm, 1m	667 194
1	offener Wasserbehälter (mind. 10 l)	

#### Temperaturmessung im Kühlwasser:

- GL14-Verschraubung vom Kühlwasserabfluss des Zylinderkopfes lösen und Temperaturadapter (e) aus dem Zubehör des Heißluftmotors montieren.
- Thermometer, □10°C bis + 40°C, 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.

#### Spannungsversorgung:

- Zylinderkopf-Deckel mit Heizwendel (300 W) montieren (auf Markierung achten).
- Schwungscheibe drehen und Heißluftmotor auf Dichtheit überprüfen; Schlauchwelle für Drucksensor mit Verschlussstopfen verschließen.
- Zerlegbaren Transformator aufbauen, 12 V abgreifen und an Anschlussbuchsen des Zylinderkopf-Deckels anschließen.

#### 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 6-poligem Adapterkabel mit Zählgerät (j) am Eingang „E“ verbinden.
- Zählgerät in den Modus fE stellen.

## 4. Versuchsdurchführung

#### Hinweis:

Durch die mechanische Belastung darf die Maschine **nicht** zum **Stillstand** kommen. Die Drehzahl soll daher die halbe Leerlaufdrehzahl nicht unterschreiten. Falls die Maschine dennoch zum Stillstand kommt: **Maschine sofort wieder von Hand anwerfen oder elektrische Heizung sofort abschalten.**

#### (a) Leerlaufbetrieb

zunächst

- Kühlwasserversorgung einschalten (Kleinspannungs-Netzgerät für Tauchpumpe auf 9V stellen), Durchfluss überprüfen und abwarten, bis Wasser durch den Ablaufschlauch zurückläuft.
- Ablaufschlauch in Kunststoffbecher führen und Volumendurchsatz  $\Delta V$  des Kühlwassers pro Zeitintervall  $\Delta t$  bestimmen
- Temperatur  $\vartheta$  des Kühlwassers in Abständen von 2 Minuten messen und warten, bis die Temperatur konstant bleibt.

danach

- Zerlegbaren Transformator mit Ausgangsspannung  $U = 12 \text{ V}$  einschalten.

Sobald die Heizwendel rot glüht:

- Durch Drehen der Schwungscheibe im Uhrzeigersinn Heißluftmotor anwerfen.

Wenn der Heißluftmotor trotz mehrmaligen Anwerfens nicht anspringt:

- Zerlegbaren Transformator ausschalten und Aufbau überprüfen.

*Sobald der Heißluftmotor selbständig läuft:*

- Heizspannung auf  $U = 8 \text{ V}$  reduzieren.
- Drehzahl  $f$  des Heißluftmotors messen und notieren. Die Drehzahl des Motors ergibt sich aus der gemessenen Frequenz und der Zahl der Löcher in der Lochscheibe.
- Weiterhin Temperatur  $\vartheta$  des Kühlwassers in Abständen von 2 min messen, Temperaturzunahme beobachten und warten, bis der Maximalwert erreicht ist.

anschließend

- Zerlegbaren Transformator ausschalten und weiterhin den Temperaturverlauf des Kühlwassers beobachten.
- Temperaturänderung  $\Delta \vartheta$  des Kühlwassers bestimmen und notieren.
- Messung mit den Heizspannungen  $U = 10 \text{ V}$ ,  $12 \text{ V}$  und  $14 \text{ V}$  wiederholen.

#### (b) Betrieb mit Pronyschem Zaum:

- Beide Hälften des Pronyschen Zaums (I) auf die Kurbelwelle des Heißluftmotors setzen, Rändelschrauben leicht anziehen und Zaum waagrecht ausrichten.

- Stativstange 47 cm auf kleinen V-förmigen Stativfuß montieren und daran Stativstange, 90° (g) abgewinkelt befestigen.
- Präzisions-Kraftmesser 1,0 N (m) mit Leybold-Muffe an Stativstange befestigen, „rechte“ Öse des Pronyschen Zaums einhängen und Nullpunkt des Kraftmessers mit Hilfe der abgewinkelten Stativstange einstellen.
- Durch Zusammenschrauben der beiden Hälften des Pronyschen Zaums gewünschte Reibungskraft einstellen.
- Zum Ausgleich der Reibungskraft ein 50 g-Massenstück (k) an die linke Seite anhängen.
- Heißluftmotor mit Heizspannung  $U = 14 \text{ V}$  betreiben und dabei Temperaturverlauf des Kühlwassers beobachten.
- Kraft  $F$  an Präzisionskraftmesser ablesen.

Abbremsendes Drehmoment:  $N = (F + m g) 0,25 \text{ m}$

- Drehzahl  $f$ , Temperaturerhöhung des Kühlwassers, Gegenmasse  $m$  und Reibungskraft  $F$  bestimmen.
- Reibungskraft des Pronyschen Zaums erhöhen und Messung wiederholen.

## 5. Auswertung

- Darstellung der Drehzahl  $f$  in Abhängigkeit von der Heizspannung  $U$ .
- Darstellung der Drehzahl  $f$  in Abhängigkeit vom abbremsenden Drehmoment  $N$  für die verschiedenen Heizspannungen  $U$ .
- Darstellung der Wärme  $Q_2$  vom abgebremsten Betrieb sowie des Leerlaufbetriebs in Abhängigkeit vom der Drehzahl  $f$  für die verschiedenen Heizspannungen  $U$ .
- Darstellung der mechanischen Arbeit vom abgebremsten Betrieb sowie des Leerlaufbetriebs in Abhängigkeit vom der Drehzahl  $f$  für die verschiedenen Heizspannungen  $U$ .
- Diskutieren Sie Ihre Beobachtungen und Ergebnisse.