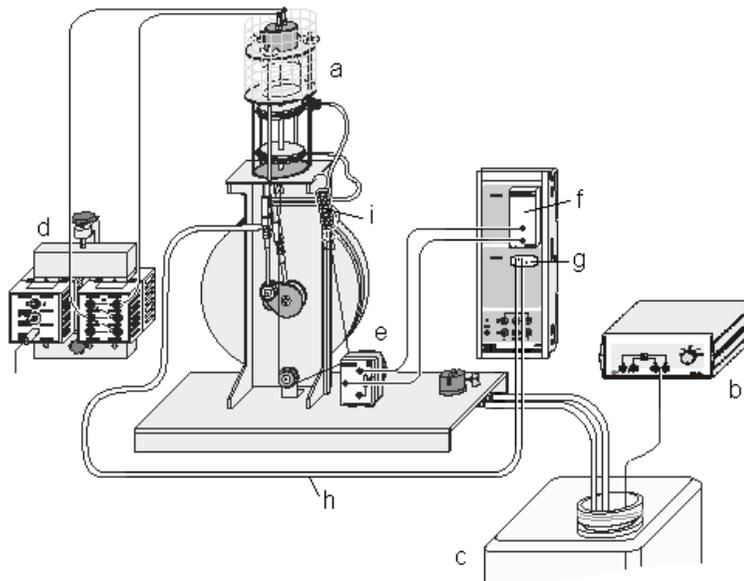


Labor für Technische Physik

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

Versuch 14f:

Heißluftmaschine als Wärmekraftmaschine (Aufzeichnung des pV-Diagramms)



- | | |
|--------------------------------|--------------------------|
| a: Heißluftmotor | f: Drehbewegungssensor S |
| b: Kleinspannungsnetzgerät | g: Drucksensor S |
| c: Kanister mit 10l Kühlwasser | h: Druckluftschlauch |
| d: Zerlegbarer Transformator | i: Schraubenfeder |
| e: Wegaufnehmer mit Rad | |

1. Versuchsziele

Für verschiedene Heizspannungen soll das pV -Diagramm mit Hilfe von CASSY aufgenommen werden. Aus der eingeschlossenen Fläche kann anschließend die mechanische Arbeit pro Umlauf ermittelt werden.

2. Theoretische Grundlagen

Der Kreisprozess einer Wärmekraftmaschine wird häufig als geschlossene Kurve in einem pV -Diagramm (p : Druck, V : Volumen) dargestellt. Die dem System entnommene mechanische Arbeit entspricht hier der durch die Kurve eingeschlossenen Fläche:

$$W = -\oint p \cdot dV \quad (1)$$

Der Kreisprozess des Heißluftmotors wird häufig idealisiert als Stirling-Kreisprozess beschrieben (siehe Abbildung 1), also als eine Abfolge aus isochorer Aufheizung (a), isothermer Expansion (b), isochorer Abkühlung (c) und isothermer Kompression (d). Diese Beschreibung ist jedoch eine grobe Näherung, da sich der Arbeitskolben sinusförmig bewegt und daher z. B. eine isochore Zustandsänderung nicht zu erwarten ist. Zum Vergleich mit dem realen Verhalten des Heißluftmotors wird im Versuch das pV -Diagramm mit dem Messwerterfassungssystem CASSY computerunterstützt aufgezeichnet. In Abhängigkeit von der Zeit misst ein Drucksensor den Druck p im Zylinder und ein Wegaufnehmer die Position s des Arbeitskolbens, aus der das eingeschlossene Volumen V berechnet wird. Die Messwerte werden auf dem Bildschirm unmittelbar in einem pV -Diagramm dargestellt.

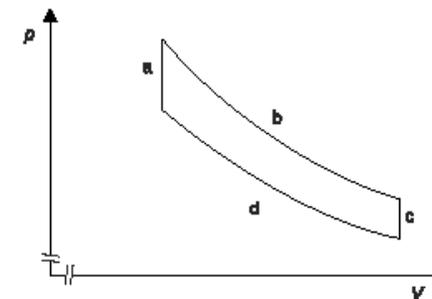


Abbildung 1: Kreisprozess des Heißluftmotors

3. Versuchsaufbau

Geräteliste

1	Heißluftmotor	388 182
1	Zerlegbarer Transformator	562 11P
1	Tauchpumpe 12 V	388 181
1	Kleinspannungs-Netzgerät	521 230
1	Drucksensor S	524 064
1	Drehbewegungssensor S mit Wegaufnehmer und Rad	524 082
1	Angelschnur, 10m	309 48
1	Schraubenfeder, 5N; 0,25N/cm	352 08
2	Silikonschläuche i. Ø 7·1, 5mm, 1m	667 194
1	Sensor-CASSY	524 010
1	Computer mit CASSY Lab 2	524 220
2	Experimentierkabel 16 A	

Der Versuchsaufbau ist auf der Titelseite der Versuchsanleitung dargestellt. Beim Aufbau des Versuchs wie folgt vorgehen:

Kühlwasserversorgung:

- Den offenen Wasserbehälter mit mindestens 10 l Wasser füllen und Tauchpumpe auf den Boden des Behälters legen.
- Den Ausgang der Tauchpumpe an den Kühlwasserzulauf des Heißluftmotors anschließen und den Kühlwasserablauf in Wasserbehälter leiten.
- Die Tauchpumpe an das Kleinspannungs-Netzgerät anschließen.

Anschluss an CASSY:

- Den Drehbewegungssensor S bei INPUT A und den Drucksensor S bei INPUT B aufstecken.
- Das Sensor-CASSY über ein USB-Kabel mit einem Computer verbinden und über ein Steckernetzteil mit Spannung versorgen.
- Den Verschlussstopfen von der Schlauchwelle an der Kolbenstange entfernen und den Schlauch des Drucksensors darauf schieben.
- Den Wegaufnehmer mit Rad mit Hilfe von zwei Kupplungssteckern auf die Grundplatte des Heißluftmotors befestigen.

- Die Angelschnur an dem mit dem Arbeitskolben verbundenen Stift mit Öse festknoten, zweimal (zur Vermeidung von Schlupf) um das Rad des Wegaufnehmers führen und mit zweitem Ende unter leichtem Zug an der in der Öse am Gestellkopf eingehängten Schraubenfeder festknoten (im unteren Totpunkt des Arbeitskolbens muss bereits Spannung vorhanden sein).

Spannungsversorgung:

- Den Zylinderkopf-Deckel mit der Heizwendel so montieren, dass die Markierungen übereinander liegen.
- Die Schwungscheibe drehen und den Heißluftmotor auf Dichtheit überprüfen; ggf. den Schlauch des Drucksensors fester auf die Schlauchwelle schieben.
- Den 12 V-Ausgang den zerlegbaren Transformator mit Hilfe der Experimentierkabel (16 A) an die Anschlussbuchsen des Zylinderkopf-Deckels anschließen.

Einrichtung von CASSY Lab:

Die Voreinstellungen sind in der Versuchsparameterdatei

„V14f - Heißluftmotor als Wärmekraftmaschine- Einstellungen für CASSY-Lab“ gespeichert.

Folgende Einstellungen kontrollieren bzw. erweitern:

Einstellungen aufrufen: F5 oder Button  - Baumstruktur öffnen

- CASSYs - Sensor-CASSY – Eingang A₁ (Drehbewegungssensor S)
 - Messgröße: Weg s_{A1} (cm)
 - Bereich: 15 cm
 - Nullpunkt: mittig
- CASSYs - Sensor-CASSY – Eingang B₁ (Drucksensor S)
 - Messgröße: Relativdruck p_{B1}
 - Bereich: -2000 hPa ... 2000 hPa
 - Messwertaufzeichnung: Momentanwerte
 - Nullpunkt: mittig

- Messparameter (Menu ‚Fenster‘ - Messparameter anzeigen)
 - Aufnahme: automatisch
 - Messzeit: 0,5 s
 - Intervall: 1 ms
- Rechner - Formel
 - Name: Volumen, Symbol: V , Einheit: cm^3 ,
 - Von: 0 cm^3 , bis: 250 cm^3 , Dezimalen: 1
 - Formel eintragen $V(\dots) = sA1 * 28,3$
- Darstellungen – Neu
 - Name: pV-Diagramm
 - Neue Kurve hinzufügen
 - x-Achse: V
 - y-Achse: p_{B1}
 - Stil: Werte & Linien, (evtl. Farbe) wählen
- Darstellungen – Neu:
 - Name: Kurbelwellendiagramm
 - Neue Kurve hinzufügen (2 mal)
 - x-Achse: t und t
 - y-Achse: V bzw. p_{B1}
 - x-Achse für alle Kurven dieser Darstellung aktivieren
 - Stil: Werte & Linien, (evtl. Farbe) wählen

Nullpunkt kalibrieren:

- Die Schwungscheibe von Hand zur Position des kleinsten Volumens V_0 (oberer Totpunkt des Arbeitskolbens) drehen und diese Position zu $s_{A1} = 0 \text{ cm}$ kalibrieren: Rechte Maustaste auf Anzeige von Weg s_{A1} und Button $\rightarrow 0 \leftarrow$ drücken.

Hinweis: Falls sich das angezeigte Volumen verkleinert, das Vorzeichen mit Button $\$ \leftrightarrow -\$$ wechseln.

4. Versuchsdurchführung

- Die Kühlwasserversorgung (Tauchpumpe) einschalten ($U = 9 \text{ V}$). Den Durchfluss überprüfen und abwarten, bis Wasser durch den Ablaufschlauch zurückläuft.
- Vom Trafo eine Heizspannung 12 V abgreifen, den Trafo einschalten und die Heizwendel beobachten.

Sobald die Heizwendel rot glüht:

- Die Schwungscheibe im Uhrzeigersinn von Hand drehen, bis der Heißluftmotor selbstständig läuft.

Wenn der Heißluftmotor trotz mehrmaligen Anwerfens nicht anspringt:

- Die Netzspule ausschalten und den Aufbau überprüfen; ansonsten den Laborbetreuer kontaktieren!

Starten einer Messung des pV-Diagrammes mit dem Button  oder der Taste F9.

- Messen Sie bei stabil laufendem Motor die pV-Diagramme für Heizspannungen von $U = 6 \text{ V}$ bis 16 V in Schrittweiten von 2 V .

Hinweis: Um ein geschlossenes pV-Diagramm zu erhalten muss eventuell die Anzahl der Messungen oder die Messzeit angepasst werden.

Die Bestimmung der Arbeit W pro Umlauf erfolgt durch Drücken der rechten Maustaste und der Wahl des Unterpunktes „Integral berechnen - Peakfläche“. Nach einmaligem Drücken der linken Maustaste umrandet man die Messkurve, bis ein kompletter Umlauf farbig markiert ist. Das Ergebnis erscheint unten in der Statuszeile (vergrößern durch Taste F6). Der errechnete Wert wird in hPa cm^3 ausgegeben ($1 \text{ J} = 104 \text{ hPa cm}^3$).

5. Auswertung

- Darstellung der pV-Diagramme für die gemessenen Heizspannungen.
- Stellen Sie die ermittelte mechanische Arbeit W in Abhängigkeit der Heizspannung in tabellarischer Form zusammen.
- Darstellung des Druckes und des Volumens in Abhängigkeit der Zeit in einem gemeinsamen Diagramm (Kurbelwellendiagramm).
- Erläutern und diskutieren Sie Ihre Messergebnisse.