

Betrieb des Heißluftmotors als Wärmekraftmaschine

Versuchsziele

- Inbetriebnahme des Heißluftmotors als Wärmekraftmaschine durch elektrische Heizung des Zylinders.
- Qualitative Untersuchung der Abhängigkeit der Leerlaufdrehzahl von der Heizspannung.
- Qualitative Untersuchung der Abhängigkeit der Drehzahl von der Bremskraft (Reibungskraft).

Grundlagen

Der Heißluftmotor (*R. Stirling*, 1816) ist neben der Dampfmaschine die älteste Wärmekraftmaschine. Seine Funktionsweise ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Er besitzt zwei Kolben, die über Kolbenstangen mit einer Kurbelwelle verbunden sind, wobei der Verdrängerkolben dem Arbeitskolben um 90° vorausläuft. Ist der Arbeitskolben im oberen Totpunkt (a), bewegt sich der Verdrängerkolben abwärts und verdrängt die Luft nach oben in den geheizten Teil des Zylinders. Sie wird erwärmt, expandiert und treibt den Arbeitskolben nach unten (b). Dabei wird mechanische Arbeit an die Schwungscheibe abgegeben. Ist der Arbeitskolben im unteren Totpunkt (c), bewegt sich der Verdrängerkolben aufwärts und verdrängt die Luft nach unten in den gekühlten Teil des Zylinders. Sie wird abgekühlt und durch den Arbeitskolben komprimiert (d). Die mechanische Arbeit hierfür liefert die Schwungscheibe.

Durch eine axiale Bohrung im Verdrängerkolben stehen die Luftanteile im Zylinder oberhalb und unterhalb des Verdrängerkolbens in Verbindung. Während die heiße Luft nach unten verdrängt wird, gibt sie ihre Wärme an eine Füllung aus Kupferwolle in der Bohrung ab. Wird anschließend die kalte Luft wieder nach oben verdrängt, nimmt sie aus der Kupferwolle Wärme auf. Die Kupferwolle dient somit als Regenerator.

Erwärmung und Abkühlung der Luft finden stark vereinfacht bei konstantem Volumen statt, während ihre Expansion und Kompression ebenso stark vereinfacht die Temperatur unverändert lassen. Der thermodynamische Kreisprozess des Heißluftmotors besteht daher aus einer isochoren Wärmezufuhr (a), einer isothermen Expansion bei hoher Temperatur (b), einer isochoren Wärmeabgabe (c) und einer isothermen Kompression bei niedriger Temperatur (d). Dieser idealisierte Prozess (siehe Fig. 2) wird allgemein als Stirlingscher Kreisprozess bezeichnet.

Im Versuch wird der Betrieb des Heißluftmotors als Wärmekraftmaschine qualitativ untersucht. Zur Demonstration des Zusammenhangs zwischen der elektrisch zugeführten Wärmeleistung und der abgeführten mechanischen Leistung wird die Spannung an der Heizwendel variiert. Die jeweils erreichte Leerlaufdrehzahl der Maschine dient als Maß für die entnom-

ferwolle in der Bohrung ab. Wird anschließend die kalte Luft wieder nach oben verdrängt, nimmt sie aus der Kupferwolle Wärme auf. Die Kupferwolle dient somit als Regenerator.

Fig. 1 Schema zur Funktionsweise des Heißluftmotors als Wärmekraftmaschine

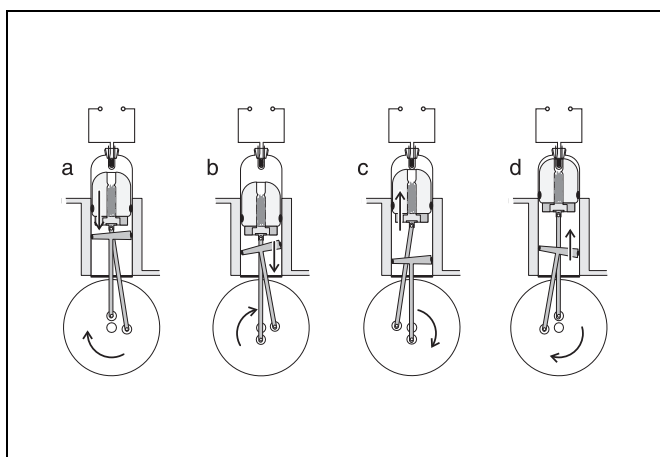
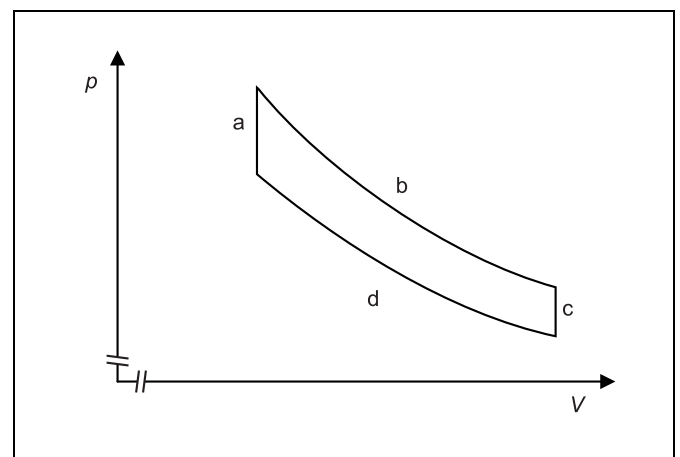


Fig. 2 Stirlingscher Kreisprozess: idealisiertes pV-Diagramm des Heißluftmotors



Geräte

1 Heißluftmotor	388 182
1 U-Kern mit Joch	562 11
1 Spannvorrichtung	562 12
1 Netzspule, 230 V, mit 500 Windungen . .	562 21
1 Kleinspannungsspule, 50 Windungen . .	562 18

Experimentierkabel mit 2,5 mm² Querschnitt

zusätzlich erforderlich:

offener Wasserbehälter (mindestens 10 l)

1 Tauchpumpe 12 V	388 181
1 Kleinspannungs-Netzgerät	522 16
2 Silikonschläuche i.Ø 7 × 1,5 mm, 1 m . .	667 194

oder

Kühlwasserzu- und -abfluss

Sicherheitshinweise

Der Heißluftmotor als Wärmekraftmaschine ist nicht selbst anlaufend und bleibt z. B. nach einem Stromausfall stehen. Auch Blockieren der Kolbenstangen und der Kurbelwelle kann einen Stillstand der Maschine verursachen. Bei einem Stillstand wird die dem Zylinderkopf zugeführte Wärme nicht ausreichend abgeführt.

- Gebrauchsanweisung zum Heißluftmotor beachten.
- Zylinderkopf bei stehender Maschine nicht permanent beheizen.
- Heißluftmotor nicht ohne Aufsicht laufen lassen.
- Bei einem Stillstand elektrische Heizung sofort ausschalten.
- Kolbenstangen und Kurbelwelle durch Aufsetzen des Schutzgitters vor unbefugtem Zugriff schützen.

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

- Heißluftmotor nicht ohne Kühlwasser betreiben und einwandfreien Kühlwasserumlauf überprüfen.
- Temperatur des eintretenden Kühlwassers nicht über 30 °C ansteigen lassen.
- Heizwendel nicht im Dauerbetrieb und nur bei schnell laufendem Motor auf hohe Temperaturen (Gelbglut) heizen.

Achtung: Zylinderkopf-Deckel und Anschlussbuchsen werden bei längerem Betrieb mit maximaler Heizleistung sehr heiß.

- Schutzgitter des Zylinders montieren.
- Heißluftmotor vor Entfernen der Anschlusskabel oder vor Austausch des Zylinderkopf-Deckels abkühlen lassen.

mene mechanische Leistung. Mit einem um die Welle der Schwungscheibe geschlungenen Kupferband kann die Reibungskraft erhöht werden. Dadurch wird der Motor auf eine geringere Drehzahl abgebremst.

Aufbau

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 3 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.

Spannungsversorgung:

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

Durchführung**Betrieb des Heißluftmotors als Wärmekraftmaschine:**

- Kühlwasserversorgung einschalten (dazu z.B. Kleinspannungs-Netzgerät für Tauchpumpe auf Stufe 2 stellen), Durchfluss überprüfen und abwarten, bis Wasser durch den Ablaufschlauch zurückläuft.
- Heizspannung 12 V abgreifen, Netzspule einschalten und Heizwendel beobachten.

Sobald die Heizwendel rot glüht:

- Durch Drehen der Schwungscheibe im Uhrzeigersinn Heißluftmotor anwerfen.

Wenn der Heißluftmotor trotz mehrmaligen Anwerfens nicht anspringt:

- Netzspule ausschalten und Aufbau überprüfen.

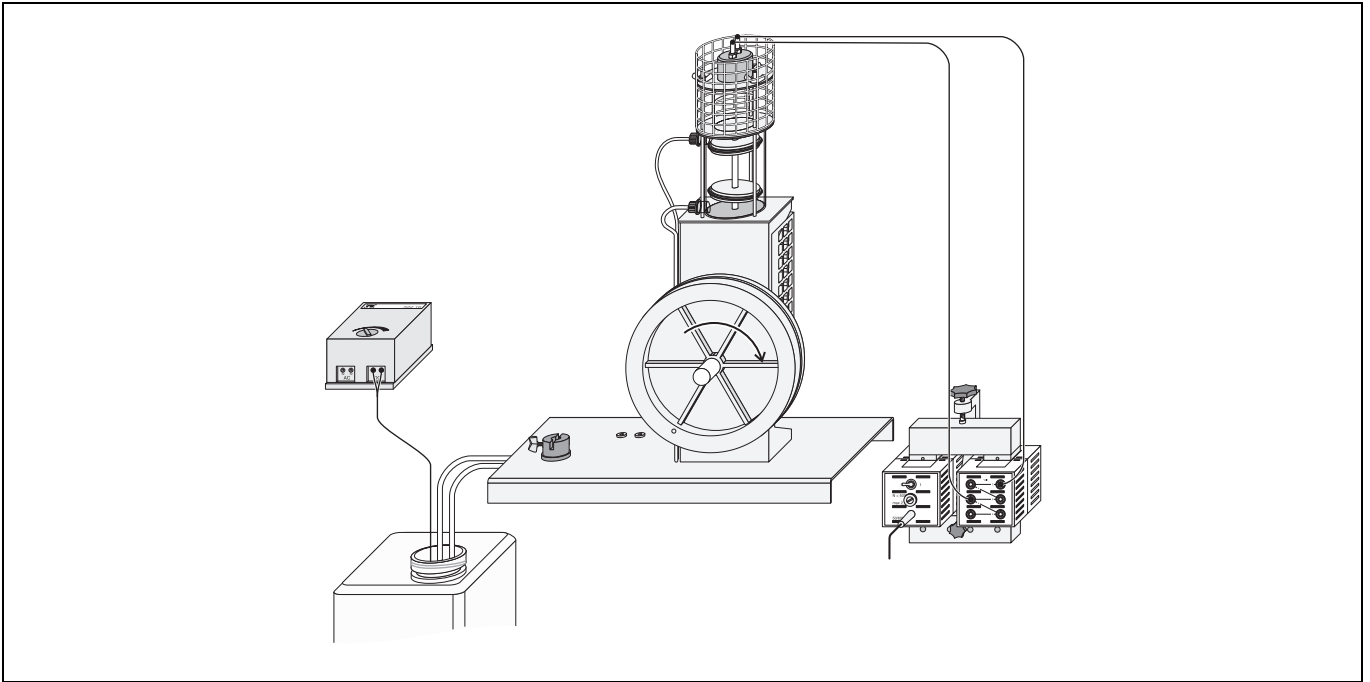


Fig. 3 Versuchsaufbau zum Betrieb des Heißluftmotors als Wärmekraftmaschine (hier dargestellt: Kühlwasserzufuhr aus Wasserbehälter mittels Tauchpumpe).

Variation der Heizspannung:

- Bei laufender Maschine abgegriffene Heizspannung schrittweise bis auf 6 V reduzieren und bis auf 20 V erhöhen; jeweils einige Minuten abwarten und Leerlaufdrehzahl beobachten.

Variation der Bremskraft:

- Heizspannung 12 V abgreifen.
- Kupferband in Drehrichtung um die Welle legen und Maschine durch vorsichtiges Ziehen am Kupferband auf etwa halbe Leerlaufdrehzahl abbremsten.

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 zu Stillstand kommt:

Maschine sofort wieder von Hand anwerfen oder elektrische Heizung sofort abschalten.

Variation der Bremskraft:

Mit steigender Zugkraft auf das um die Welle geschlungene Kupferbandes nimmt die Drehzahl ab:

Durch höhere Reibungskraft wird die Maschine auf eine geringere Drehzahl abgebremst. Beim Abbremsen wird der Maschine mechanische Leistung entnommen, die aber nicht weiter genutzt, sondern in Reibungswärme umgewandelt wird.

Ergebnis

Wird dem Zylinderkopf des Heißluftmotor durch elektrisches Heizen Wärme zugeführt, so kann an der Welle mechanische Leistung abgeführt werden. Gleichzeitig wird ein Teil der Wärme an das Kühlwasser abgeführt. Der Heißluftmotor arbeitet als Wärmekraftmaschine.

Messbeispiel und Auswertung

Variation der Heizspannung:

Bei laufender Maschine kann die Heizspannung zwischen 6 V und 20 V variiert werden. Mit steigender Spannung nimmt die Leerlaufdrehzahl deutlich zu:

Durch Erhöhung der Heizspannung wird dem Heißluftmotor eine größere Wärmeleistung zugeführt. Die Maschine kann eine größere mechanische Leistung abgeben und erreicht deshalb im Leerlauf eine höhere Drehzahl.

