

W 7 Gasgesetze

1 Aufgabenstellung

- 1.1 Die **Isotherme** von Luft bei Raumtemperatur ist durch abwechselnde Kompression und Expansion zweimal aufzunehmen und im p-V-Diagramm graphisch darzustellen (V - Volumen des Meßzylinders).
- 1.2 Die funktionalen Abhängigkeiten $p_0/p = f(V)$ (p_0 - Atmosphärendruck) sind graphisch darzustellen, das Gesetz von Boyle und Mariotte ist zu bestätigen. Das Luftvolumen in der Apparatur bei $V = 0$ ist zu bestimmen und mit dem aus den Angaben am Versuchsplatz zu ermittelnden Wert zu vergleichen.
- 1.3 Die **Isobare** von Luft bei Atmosphärendruck ist durch Erwärmung der Luftkammer auf $\vartheta = 80^\circ\text{C}$ aufzunehmen und als $V = f(T/T_0)$ graphisch darzustellen, das Gesetz von Gay-Lussac ist zu bestätigen, das Luftvolumen in der Kammer ist durch lineare Regression zu bestimmen.
- 1.4 Die **Isotherme** von Luft bei $\vartheta = 80^\circ\text{C}$ ist analog der Isotherme bei Raumtemperatur aufzunehmen und gemeinsam mit dieser im p-V-Diagramm graphisch darzustellen.
- 1.5 Durch isochore Abkühlung, isotherme Kompression auf Atmosphärendruck, isochore Erwärmung auf $\vartheta = 80^\circ\text{C}$ und isotherme Expansion auf Atmosphärendruck ist ein **Stirling-Prozeß** mit Luft als Arbeitsstoff zu durchlaufen und im p-V-Diagramm darzustellen. Die gewonnene Arbeit ist zu bestimmen, der Wirkungsgrad des Kreisprozesses mit Regeneration ist zu berechnen und mit dem theoretischen Wirkungsgrad des Stirling-Prozesses mit Regeneration zu vergleichen.

Zusatzaufgabe für Physik- und Lehramtsstudenten:

- 1.6 Welche prozentualen Abweichungen von Druck und Volumen entstehen dadurch, daß Luft unter Raumbedingungen als ideales Gas betrachtet wird?

2 Literatur

- 2.1 Stroppe, H. Physik
Fachbuchverlag Leipzig, Köln
10. Auflage 1994, S. 140 - 150, 164 - 167
- 2.2 Gerthsen, Ch.,
Kneser, H. O.,
Vogel, H. Physik
Lehrbuch zum Gebrauch neben Vorlesungen
Springer Berlin, Heidelberg, New York
16. Auflage 1989, S. 200 - 205, 210 - 213

und andere Lehrbücher der Physik

3 Hinweise zum Versuch

- 3.0 Kernstück der Meßapparatur ist ein **Meßzylinder**, der sich auf Raumtemperatur befindet und in dem ein **Graphitkolben** vom Durchmesser $D = (32,5 \pm 0,1)$ mm reibungsarm gleitet. Ein Digital-Manometer und eine im Wasserbad temperierbare **Luftkammer** sind mit diesem über Schläuche verbunden. Bei der Versuchsauswertung ist zu berücksichtigen, daß nur die Luft in der Kammer erwärmt wird, die Luft außerhalb derselben (z. B. die infolge Erwärmung aus der Kammer verdrängte Luft) jedoch Raumtemperatur annimmt.
 - Zur **Erwärmung** der Luft wird die Kammer in das Wasserbad eines Thermostaten gebracht, zwecks Abkühlung diesem entnommen und in ein Kaltwasserbad getaucht.
 - **Isobare** Zustandsänderungen bei Atmosphärendruck werden in horizontaler Lage des Meßzylinders durchgeführt, solche bei höheren Drücken können in vertikaler Lage mit Zusatzmassen auf dem Teller an der Kolbenstange realisiert werden.
 - Bei **isochoren** Zustandsänderungen wird die Kolbenstange mit Hilfe der Rändelschraube festgeklemmt.

Der Graphitkolben darf nicht geschmiert werden und nicht mit Flüssigkeit in Berührung kommen!

- 3.1 Zwecks Aufnahme der **Isotherme** bei Raumtemperatur wird Luft, ausgehend von einer Kolbenstellung $s_0 = 30$ mm, durch jeweils gleiche Kolbenverschiebung um $\Delta s = 5, 10, 15 \dots 30$ mm abwechselnd komprimiert und expandiert, die Drücke werden registriert.
- 3.2 Zur Bestätigung des Gesetzes von Boyle und Mariotte ist die **Linearität** der Abhängigkeit $p_0/p = f(V)$ zu überprüfen. Aus dem durch lineare Regression bestimmten Anstieg und dem Schnittpunkt mit der Ordinate ist das Luftvolumen in der Apparatur bei Nullstellung des Kolbens zu berechnen und mit dem am Versuchsplatz angegebenen Volumen der Luftkammer, vermehrt um das aus dem Innendurchmesser berechnete Schlauchvolumen, zu vergleichen.
- 3.3 Zur Aufnahme der **Isobare** wird die Luftkammer im Wasserbad eines Thermostaten kontinuierlich auf die vorgewählte Endtemperatur von $\vartheta = 80^\circ\text{C}$ erwärmt. Ausgehend von einer Kolbenstellung von $s_0 = 30$ mm wird die Temperatur nach jeder horizontalen Kolbenverschiebung um $\Delta s = 2$ mm registriert. Zur Bestätigung des Gesetzes von Gay-Lussac ist die **Linearität** der Abhängigkeit $V = f(T/T_0)$ zu überprüfen, die zugrunde liegende Beziehung ist herzuleiten. Aus dem durch lineare Regression zu bestimmenden Anstieg ist das Volumen der Luftkammer (ohne Schlauchvolumen) zu bestimmen.
- 3.4 Die **Isotherme** bei $\vartheta = 80^\circ\text{C}$ wird aufgenommen, indem die Luft, ausgehend vom Endvolumen der isobaren Erwärmung, analog Aufgabe 1.1 durch jeweils gleiche Kolbenverschiebung abwechselnd komprimiert und expandiert wird.
- 3.5 Der **Stirling-Prozeß** wird realisiert, indem Luft von $\vartheta = 80^\circ\text{C}$ und Atmosphärendruck p_0 (Bild 1, Zustand A) bei fixierter Kolbenposition $s \approx 60$ mm durch Entnahme der Kammer aus dem Thermostatenbad und Eintauchen in ein Kaltwasserbad **isochor** abgekühlt wird (Zustand B). Sofort nach Erreichen des (zu registrierenden) Minimaldruckes wird die Luft nach Lösen der Klemmschraube **isotherm** auf Atmosphärendruck p_0 komprimiert (Schritt B-C). Gegen Ende dieses Prozeßschrittes wird die Temperatur des Kaltwasserbades nach dessen gründlicher Durchmischung (durch Schwenken der Kammer) gemessen. Zur anschließenden **isochoren** Erwärmung C-D wird die Kammer nach Fixierung des Kolbens erneut in das Thermostatenbad gebracht. Nach Messung des Maximaldruckes und Lösen der Klemmschraube wird der Kreisprozeß durch **isotherme** Expansion D-A auf Atmosphärendruck p_0 geschlossen.

Arbeit und experimenteller Wirkungsgrad sind aus den Flächen im p-V-Diagramm zu bestimmen, wobei die Isothermen durch Geraden angenähert werden können. **Regeneration** bedeutet, daß die zur isochoren Erwärmung notwendige Wärme durch die bei der isochoren Abkühlung freiwerdende Abwärme gedeckt wird.

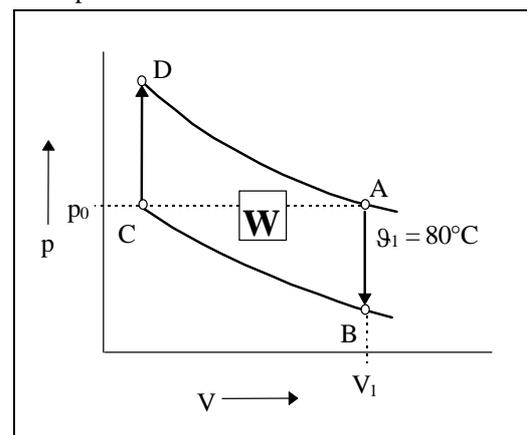


Bild 1: Stirling-Prozeß (schematisch)

- 3.6 Die Abweichungen von Druck und Volumen zwischen realem und idealem Gas werden aus der van-der-Waalsschen Zustandsgleichung mit den entsprechend dem Anteil von Stickstoff (78%) und Sauerstoff (21%) in der Luft gewichtet gemittelten van-der-Waals-Konstanten a und b der beiden Gase abgeschätzt.

4 Zugeordnete Themenkomplexe

Thermische Zustandsgleichung idealer Gase, Zustandsänderungen
 I. Hauptsatz der Thermodynamik, Anwendung auf spezielle Zustandsänderungen, Arbeitsberechnung
 Kreisprozesse; Wärmekraftmaschine, Wirkungsgrad; Wärmepumpe, Kältemaschine, Leistungszahl
 Stirling-Prozeß, Wirkungsgrad, Stirling-Motor
 Reale Gase; p-V-Diagramm, van-der-Waalssche Zustandsgleichung