

F5 DICHT FESTER KÖRPER

PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

Grundbegriffe: *Dichte, Auftriebskraft, Analysenwaage, Pyknometer, Messunsicherheit, Fehlerfortpflanzungsgesetz.*

Das Pyknometer ist ein Gerät zur Bestimmung der Dichte fester Körper. Es besteht aus einem Glasgefäß mit eingeschliffenem Stopfen, der eine kapillare Bohrung hat. Das Pyknometer kann reproduzierbar mit großer Genauigkeit mit Wasser gefüllt werden. Zur Dichtebestimmung mit dem Pyknometer sind drei Wägungen mit der Analysenwaage nötig, wobei der Auftrieb der zu wägenden Körper (Probe bzw. Pyknometer) in Luft (Dichte ρ_L) zu berücksichtigen ist.

1. Wägung der Probe in Luft: Für die Probe (Masse m_1 , Volumen V_1) wird die Gewichtskraft $F_1 = m_1 g$ durch die entgegengesetzt gerichtete Auftriebskraft $F_{A1} = V_1 \rho_L g$ vermindert, so dass im Gleichgewicht die Waage den Wert m_1' anzeigt. Es gilt die Gleichgewichtsbedingung

$$m_1 - V_1 \rho_L = m_1'. \quad (1)$$

2. Wägung des wassergefüllten Pyknometers: Das mit Wasser gefüllte Pyknometer (Volumen V_p) hat die Gesamtmasse m_2 und erfährt die Auftriebskraft $V_p \rho_L g$. Im Gleichgewicht zeigt die Waage m_2' an, so dass gilt

$$m_2 - V_p \rho_L = m_2'. \quad (2)$$

3. Wägung des wassergefüllten Pyknometers mit Probe: Das mit Wasser und der Probe gefüllte Pyknometer hat die Gesamtmasse m_3 und erfährt die Auftriebskraft $V_p \rho_L g$. Im Gleichgewicht zeigt die Waage m_3' an, so dass gilt

$$m_3 - V_p \rho_L = m_3'. \quad (3)$$

Zwischen den Massen m_1 , m_2 und m_3 besteht der Zusammenhang

$$m_1 - V_1 \rho_W = m_3 - m_2 = m_3' - m_2'. \quad (4)$$

Zur Bestimmung der Dichte ρ_1 der Probe kann man aus den Gleichungen (1) und (4) die Unbekannten m_1 und V_1 ermitteln und man erhält

$$\rho_1 = \frac{m_1}{V_1} = \frac{m_1' \rho_W - (m_3' - m_2') \rho_L}{m_1' - (m_3' - m_2')}. \quad (5)$$

AUFGABEN

1. Bestimmung der Werte m_1' durch Wägung der drei Metallproben in Luft. Für jede Probe erfolgt die Wägung dreimal. Bestimmung der Mittelwerte.

2. Bestimmung der Werte m_2' durch Wägung des mit Wasser gefüllten Pyknometers. Die Füllung und Wägung des Pyknometers erfolgt 10 mal, Bestimmung des Mittelwertes.
3. Bestimmung der Werte m_3' durch Wägung des mit Wasser und Probe gefüllten Pyknometers. Die Füllung und Wägung des Pyknometers erfolgt für jede Probe sechsmal. Bestimmung der Mittelwerte.
4. Berechnung der Dichte der drei Metallproben nach Gl. (5).
5. Bestimmung der Messunsicherheit für die Messgrößen m_1' , m_2' und m_3' für Aluminium.
6. Größtfehlerabschätzung für die Dichte von Aluminium.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die Wägungen werden mit einer elektronischen Analysenwaage durchgeführt, bei der die aufgelegte Last (Abb. 1, oberer Pfeil) durch eine elektromagnetische Kraft kompensiert wird.

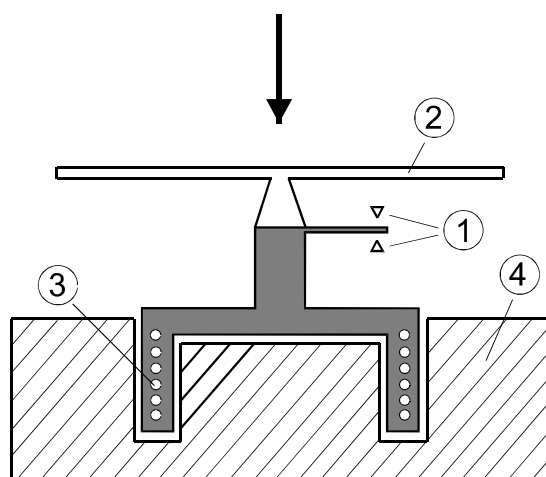


Abb.1 MESSPRINZIP

Mit einer optoelektronischen Abtastung (1) wird die Stellung der Waagschale (2) gemessen und mit diesem Signal der Kompensationsstrom in der Spule (3) gesteuert. Der Kompensationsstrom erzeugt zwischen Permanentmagnet (4) und Spule eine Kraft, so dass die Waagschale in die Null-Lage zurückgeführt wird; er ist der Last proportional. Zur Durchführung der Wägungen beachte man die Hinweise in der Platzanleitung. Für Aufgabe 2 wird das Pyknometer bis zum Rand mit destilliertem Wasser gefüllt, wobei die Bildung von Luftbläschen zu vermeiden ist. Verschließt man das Pyknometer mit dem angeschliffenen Stopfen, so läuft Wasser über, das

sorgfältig mit Filterpapier abzuwischen ist. Das Anfassen des Pyknometers muss vorsichtig erfolgen, um eine Erwärmung des Pyknometers zu vermeiden. Nach dem Abwischen wird mit Filterpapier der auf der Kapillare stehende Tropfen abgenommen, so dass die Kapillare bis oben mit Wasser gefüllt ist. Für die 10 durchzuführenden Wägungen ist das Pyknometer stets erneut zu füllen.

Für Aufgabe 3 wird der Probekörper in das Pyknometer gebracht und dann mit destilliertem Wasser aufgefüllt, wobei entsprechend wie bei Aufgabe 2 zu verfahren ist.

Für Aufgabe 4 sind zusätzlich zu den Werten m_1' , m_2' und m_3' der Luftdruck p sowie die Zimmer- und Wassertemperatur zu bestimmen. Die Temperaturen können als gleich vorausgesetzt werden, da das destillierte Wasser sich bereits sehr lange im Raum befindet. Die Dichte des

Wassers ρ_W entnehme man einer Tabelle am Versuchsplatz. Die Dichte der Luft ρ_L berechne man nach der Gleichung

$$\rho_L / \text{kgm}^{-3} = \rho_0 \frac{T_0}{T} \cdot \frac{p}{p_0} = 3,4851 \cdot 10^{-3} \frac{p/\text{Pa}}{T/\text{K}},$$

wobei $\rho_0 = 1,2928 \text{ kg/m}^3$ die Luftdichte unter Normalbedingungen ist, d. h. bei der Temperatur $T_0 = 273,15 \text{ K}$ und dem Luftdruck $p_0 = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Für Aufgabe 5 sind die zufälligen und die systematischen Fehler der Wägungen zu ermitteln. Die Massenwerte m_1' , m_2' und m_3' werden alle mit der gleichen Analysenwaage ermittelt, für die vom Hersteller eine Garantiefehlergrenze (systematischer Restfehler) von $0,0002 \text{ g}$ angegeben wird. Diese Garantiefehlergrenze ist für alle drei Massenwerte als systematischer Fehler zu berücksichtigen. Für die Messwerte m_1' , m_2' und m_3' hängt es von der sorgfältigen Versuchsdurchführung (Abtupfen des Wassers, ...) ab, ob der zufällige und/oder der systematische Fehler die Messunsicherheit bestimmt.

Für Aufgabe 6 ist nur die Messunsicherheit der Massenwerte m_1' , m_2' und m_3' zu berücksichtigen. Die Werte für die Dichten von Luft und Wasser können als fehlerfrei angenommen werden.

FRAGEN

1. Welche Unterschiede bestehen zwischen Masse, Gewicht und Kraft?
2. Ist die Masse bzw. das Gewicht eines Körpers am Äquator, am Nordpol oder auf dem Mond gleich groß?