

VERSUCHSPROTOKOLL F5
DICHTE FESTER KÖRPER

JOHANN FÖRSTER 519519
VERSUCHSPARTNER MEIKEL SOBANSKI
MESSPLATZ 1

HUMBOLDT UNIVERSITÄT ZU BERLIN
INSTITUT FÜR PHYSIK

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1) Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung	3
2.1) Ergebnisse der Wägung der drei Metallproben in der Luft	3
2.2) Ergebnisse der Wägung des mit Wasser gefüllten Pyknometers	3
2.3) Ergebnisse der Wägung des mit Wasser und der Metallprobe gefüllten Pyknometers	4
2.4) Berechnung der Dichte der drei Metallproben	4-5
3) Fehleranalyse und kritische Selbsteinschätzung	5
4) Quellenangabe	5
Anhang: Messprotokoll	6

1) Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung

Ziel des Versuches war es, mit Hilfe eines Pyknometers und einer Analysenwaage unter Ausnutzung des Archimedisches Prinzipis die Dichte dreier Metallkörper gemäß der Anleitung Quelle [1], Seite 9 zu ermitteln. Hierfür wurde weiterhin die Dichte des benutzten Wassers und der Luft mit Hilfe eines Thermo- und eines Barometers nach [1], Seite 10-11 bestimmt.

2.1) Ergebnisse der Wägung der drei Metallproben in der Luft

Messung	Metall 1 m'_1 in g	Metall 2 m'_1 in g	Metall 3 m'_1 in g
1	2,7508	8,2492	8,9943
2	2,7506	8,2493	8,9944
3	2,7505	8,2493	8,9945
Mittelwert $\overline{m'_1}$ $= \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 m'_1(i)$	2,75063	8,24927	8,9944
statistische Unsicherheit u_1	0,0003	0,0001	0,0002

($n \hat{=}$ Anzahl der Messungen)
 $n=3 (< 6) \rightarrow$ Standardabweichung und Vertrauensbereichsbestimmung nicht sinnvoll, stattdessen (grobe) Größtfehlerabschätzung mittels Differenz zwischen größtem und kleinstem Messwert einer Messreihe.
 systematische Messunsicherheit der Analysenwaage (Herstellerangabe):
 $\Delta m = 0,0002g$

Ergebnis: $\underline{m'_1} = \overline{m'_1} \pm \sqrt{u_1^2 + \Delta m^2}$

$\underline{m'_1}$ in g Metall 1	$\underline{m'_1}$ in g Metall 2	$\underline{m'_1}$ in g Metall 3
$2,7506 \pm 0,0004$	$8,2493 \pm 0,0003$	$8,9944 \pm 0,0003$

2.2) Ergebnisse der Wägung des mit Wasser gefüllten Pyknometers

Messung	m'_2 in g
1	48,3080
2	48,2897
3	48,2996
4	48,3001
5	48,2868
6	48,2892
7	48,2909
8	48,2880
9	48,2889
10	48,2926

$n=10$
 Mittelwert: $\overline{m'_2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m'_2(i) = 48,29338$
 Standardabweichung: $s_2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\overline{m'_2} - m'_2(i))^2} = 0,00690g$
 Vertrauensbereich: $\overline{s}_2 = \sqrt{\frac{1}{n}} s_2 = 0,00218g$
 systematische Messunsicherheit (Analysenwaage): $\Delta m = 0,0002g$

Ergebnis: $\underline{m'_2} = \overline{m'_2} \pm \sqrt{\overline{s}_2^2 + \Delta m^2} = (48,293 \pm 0,003)g$

2.3) Ergebnisse der Wägung des mit Wasser und der Metallprobe gefüllten Pyknometers

Messung	Metall 1 m'_3 in g	Metall 2 m'_3 in g	Metall 3 m'_3 in g
1	50,0164	55,4847	56,2809
2	50,0127	55,4939	56,2866
3	50,0189	55,4949	56,2755
4	50,0104	55,4952	56,2832
5	50,0005	55,4940	56,2857
6	50,0091	55,5079	56,2831
Mittelwert $\overline{m'_3} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 m'_1(i)$	50,01133	55,4951	56,2825
Standardabweichung $s_3 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\overline{m'_3} - m'_3(i))^2}$	0,00645	0,007412	0,00399
Vertrauensbereich $\overline{s}_3 = \sqrt{\frac{1}{n}} s_3$	0,00263	0,00303	0,00163

n=6
systematische
Messunsicherheit
(Analysenwaage):
 $\Delta m = 0,0002\text{g}$

Ergebnis: $\overline{m'_3} = \overline{m'_3} \pm \sqrt{\overline{s}_3^2 + \Delta m^2}$

$\overline{m'_3}$ in g Metall 1	$\overline{m'_3}$ in g Metall 2	$\overline{m'_3}$ in g Metall 3
$50,011 \pm 0,003$	$55,495 \pm 0,004$	$56,283 \pm 0,002$

2.4) Berechnung der Dichte der drei Metallproben

Zur Berechnung der Dichte der Metallproben nach Gleichung (5), Quelle [1], Seite 9 unten, ist zusätzlich die Dichte des Wassers und der Luft zu bestimmen. Die Raumtemperatur, die gleichzeitig auch der Temperatur des Wassers entspricht (da sich das Wasser schon lange im Raum befand), betrug zum Zeitpunkt des Messens $T = 24^\circ\text{C} = 297,15\text{K}$. Nach der am Versuchsplatz vorhandenen Tabelle erhält man damit: $\rho_W = 997,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Der zum Messzeitpunkt im Raum vorhandene Luftdruck betrug $p = 100\text{kPa}$, womit sich jetzt per Formel [1], Seite 11 die Dichte der Luft bestimmen lässt zu $\rho_L = \rho_0 \frac{T_0 p}{T p_0} = 3,4851 * 10^{-3} \frac{\text{p}}{\text{T}} * \frac{\text{Pa}}{\text{K}} = 1,173 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Im Folgenden werden ρ_W und ρ_L als fehlerfrei angenommen ([1], Seite 11). Somit ergibt sich für die Dichten der Metallproben:

	Metall 1 in $\frac{kg}{m^3}$	Metall 2 in $\frac{kg}{m^3}$	Metall 3 in $\frac{kg}{m^3}$
$\rho = \frac{\overline{m_1} \rho_W - (\overline{m_3} - \overline{m_2}) \rho_L}{\overline{m_1} - (\overline{m_3} - \overline{m_2})}$	2654,618	7845,496	8913,681
Unsicherheit (Größtfehler)* $u_\rho = \left \frac{\partial \rho}{\partial \overline{m_1}} u(\overline{m_1}') \right + \left \frac{\partial \rho}{\partial \overline{m_2}} u(\overline{m_2}') \right + \left \frac{\partial \rho}{\partial \overline{m_3}} u(\overline{m_3}') \right $	12,982	43,736	36,259
Ergebnis: $\rho = \rho \pm u_\rho$	$(26,5 \pm 0,2) * 10^2$	$(78,5 \pm 0,5) * 10^2$	$(89,1 \pm 0,4) * 10^2$

* mit $u(\overline{m_1}') = \sqrt{u_1^2 + \Delta m^2}$; $u(\overline{m_2}') = \sqrt{s_2^2 + \Delta m^2}$; $u(\overline{m_3}') = \sqrt{s_3^2 + \Delta m^2}$;

$$\frac{\partial \rho}{\partial \overline{m_1}'} = \frac{(\rho_W - \rho_L)(\overline{m_2}' - \overline{m_3}')}{(\overline{m_1}' + \overline{m_2}' - \overline{m_3}')^2}; \quad \frac{\partial \rho}{\partial \overline{m_2}'} = \frac{(\rho_L - \rho_W)\overline{m_1}'}{(\overline{m_1}' + \overline{m_2}' - \overline{m_3}')^2}; \quad \frac{\partial \rho}{\partial \overline{m_3}'} = \frac{(\rho_W - \rho_L)\overline{m_1}'}{(\overline{m_1}' + \overline{m_2}' - \overline{m_3}')^2}$$

Ein Vergleich der Dichten mit Quelle [2], Seite 11 zeigt, dass die Dichte von Metall 1 sehr nahe bei dem Wert von Aluminium ($\rho = 2,7 \frac{g}{cm^3}$), die Dichte von Metall 2 sehr nahe bei dem Wert von Eisen bzw. Stahl ($\rho = 7,86 \frac{g}{cm^3}$) und die Dichte von Metall 3 sehr nahe bei der von Kupfer ($\rho = 8,96 \frac{g}{cm^3}$) liegt. Dass die gemessenen Werte kleiner sind als die Vergleichswerte ist naheliegend, da sich die Vergleichswerte auf $T=20^\circ C$ und $p=1013$ hPa beziehen, während die tatsächlichen Raumbedingungen $T=24^\circ C$ und $p=1000$ hPa betragen, was beides zu einer geringeren Dichte führt.

3) Fehleranalyse und kritische Selbsteinschätzung

Die erzielten Ergebnisse entsprechen den ungefähren Erwartungen und alle Metallproben konnten durch ihre Dichten relativ sicher identifiziert werden. Allerdings könnten nicht beachtete systematische Messunsicherheiten das Ergebnis beeinflusst haben. Es wurden beispielsweise die Messunsicherheiten beim Messen des Luftdrucks und der Raumtemperatur vernachlässigt. Weiterhin kam es bei der Berührung des mit Wasser gefüllten Pyknometers zu einer unvermeidbaren Erwärmung des Pyknometers und auch die Bläschenbildung innerhalb des Pyknometers ließ sich nicht vollständig verhindern. Auch beim Abtupfen des Wassers vom Pyknometer konnte nicht immer die gleiche Menge Wasser beseitigt werden. Weiterhin war die benutzte Analysenwaage eine zusätzliche Fehlerquelle, da sich auf ihrer Anzeige auch noch nach längerer Zeit die letzten Ziffern verändert haben, obwohl die Messzeit normalerweise nach Angabe des Herstellers nur bis zu 2,5s betragen sollte.

4) Quellenangabe

[1] Skript "Phys. Grundpraktikum I: Mechanik und Thermodynamik", 2005, online verfügbar unter <http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/GPRI.html> (Stand: 30.04.2008)

[2] Formeln und Tabellen, Paetec, 8. Auflage 1996