

# Versuchsprotokoll F5 Dichte fester Körper

*This document to be found in the internet*

<https://github.com/jaseg/physik-einf-hrungspraktikum>

Sebastian Götte, 546408

Partner: Erik Lehmann, 546031 und Markus Hube

12-01-18

## 1 Aufgabenstellung und Vorbetrachtungen

Bestimme die Dichte metallischer Probekörper mit einem Pyknometer und einer Waage. Ermittle die Messunsicherheiten.

## 2 Aufbau und Durchführung

Der Versuchsaufbau ist vorgegeben und besteht aus einer Analysewaage, Metallproben, einem Pyknometer incl. Pinzette und einer Flasche destillierten Wassers. Die Durchführung erfolgt nach den Aufgaben auf dem Aufgabenblatt.

## 3 Auswertung

Das elektronische Messdatenprotokoll findet sich in Anhang A.

## 4 Aufgaben 1,2,3

Der Mittelwert von  $n$  Messwerten wird nach  $\bar{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$  berechnet.

### 4.1 Ergebnis Aufgabe 1

Wägung der Probekörper

#### 4.1.1 Kupfer

$$\overline{m} = 8.9939\text{g} \quad (1)$$

#### 4.1.2 Alu

$$\overline{m} = 2.7506\text{g} \quad (2)$$

### 4.2 Ergebnis Aufgabe 2

Masse des vollen Pyknometers (ohne Probekörper)

$$\overline{m} = 51.5760\text{g} \quad (3)$$

### 4.3 Ergebnis Aufgabe 3

Masse des vollen Pyknometers mit Probe

#### 4.3.1 Kupfer

$$\overline{m} = 53.3146\text{g} \quad (4)$$

#### 4.3.2 Alu

$$\overline{m} = 59.5562\text{g} \quad (5)$$

## 5 Aufgabe 4

Formel zur Dichtebestimmung:

$$\rho = \frac{m_{\text{Probe in Luft}} \cdot \rho_{\text{Wasser}} - (m_{\text{Pyknometer mit Probe}} - m_{\text{Pyknometer ohne Probe}}) \cdot \rho_{\text{Luft}}}{m_{\text{Probe in Luft}} - (m_{\text{Pyknometer mit Probe}} - m_{\text{Pyknometer ohne Probe}})} \quad (6)$$

Das Pyknometer ist hier jeweils Wassergefüllt und der Auftrieb der Proben ist in den Messwerten enthalten.

## 5.1 Ergebnis für Kupfer

$$\rho = 8843.1756 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (7)$$

## 5.2 Ergebnis für Alu

$$\rho = 2709.7934 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (8)$$

# 6 Aufgabe 6

## 6.1 Fehlerfortpflanzung

Die Fehlerfortpflanzung erfolgt durch das Gauß'sche Fehlerfortpflanzungsgesetz nach der folgenden Formel:

$$u_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \cdot u_1\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \cdot u_2\right)^2 + \dots} \quad (9)$$

(aus Wikipedia (de): [http://de.wikipedia.org/wiki/Fehlerfortpflanzung#Voneinander\\_unabh.C3.A4ngige\\_fehlerbehaftete\\_Gr.C3.B6.C3.9Fen](http://de.wikipedia.org/wiki/Fehlerfortpflanzung#Voneinander_unabh.C3.A4ngige_fehlerbehaftete_Gr.C3.B6.C3.9Fen), Stand: Jan. 2012)

Die hier einzusetzenden Ableitungen habe ich mit Maxima berechnet. Gleichung 6 sieht in Maxima-Notation folgendermaßen aus:

```
(%i1) eq: (m1*pw-(m3-m2)*p1)/(m1-(m3-m2));
              m1 pw - (m3 - m2) p1
(%o1)  -----
          - m3 + m2 + m1
```

Die Ableitung  $\rho_{m_1}$  von  $\rho$  (aus Gl. 6) sieht in dieser Notation wie folgt aus:

```
(%i2) diff(eq, m1);
              pw          m1 pw - (m3 - m2) p1
(%o2)  ----- - -----
          - m3 + m2 + m1          2
                                   (- m3 + m2 + m1)
```

Ableitung  $\rho_{m_2}$ :

(%i3) diff(eq, m2);

(%o3)

$$\frac{p_1}{-m_3 + m_2 + m_1} - \frac{m_1 p_w - (m_3 - m_2) p_1}{2(-m_3 + m_2 + m_1)}$$

Ableitung  $\rho_{m_3}$ :

(%i4) diff(eq, m3);

(%o4)

$$\frac{m_1 p_w - (m_3 - m_2) p_1}{2(-m_3 + m_2 + m_1)} - \frac{p_1}{-m_3 + m_2 + m_1}$$

Die Messunsicherheit wurde anhand der Standardabweichung der Messwerte ermittelt, da sie bei den Wasser involvierenden Messungen wesentlich größer als die Messgenauigkeit der Waage ist. Die Standardabweichungen wurden mit der LibreOffice-Funktion **STDEVP** ermittelt. Die daraus berechneten Messunsicherheiten sind:

**Kupferprobe**  $u = 6.83 \cdot 10^{-5} \text{g}$

**Aluprobe**  $u = 2.04 \cdot 10^{-5} \text{g}$

**Volles Pyknometer**  $u = 2.97 \cdot 10^{-3} \text{g}$

**Volles Pyknometer mit Kupferprobe**  $u = 5.52 \cdot 10^{-3} \text{g}$

**Volles Pyknometer mit Aluprobe**  $u = 8.21 \cdot 10^{-4} \text{g}$

Setzt man nun diese Ergebnisse in Gleichung 9 ein, erhält man für die Messunsicherheit der ermittelten Dichtewerte:

**Kupfer**  $u = 27 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

**Alu**  $u = 17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

## 6.2 Vergleich der Ergebnisse mit Referenzwerten, Fehlerbetrachtung

Der Vergleich der ermittelten Werte mit Dichtewerten aus der deutschsprachigen Wikipedia ergibt, dass der Wert für Aluminium mit  $2.7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  exakt mit dem Referenzwert übereinstimmt. Die ermittelte Dichte des Kupfers liegt mit ca.  $80 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  um einen Betrag jenseits der Messunsicherheit über dem Referenzwert. Das kann man z.T. durch unterschiedliche Messbedingungen erklären (v.A. die Temperatur des Kupfers – wir maßen bei  $22^\circ$ , der Referenzwert ist für  $20^\circ$  angegeben), zum Teil durch offenbar fälschlicherweise vernachlässigte oder falsch eingeschätzte Messfehler und ein zu kleines Probenset. Primärer Faktor dürfte die kleine Samplemenge sein, da sich hier die großen Variationen, die beim Umgang mit Wasser und Analysewaagen entstehen, noch stark im Mittelwert niederschlagen können.

## A Messdatenprotokoll

Versuchende: Sebastian Götte (546408), Markus Hube <hube@physik.hu-berlin.de>, Erik Lehmann

Temperatur  $22.0 \pm 0.5$

Druck  $52+48.6 \pm 0.1$

Waage: Systematisch  $\pm 0.2\text{mg}$

Zufällig  $\pm 0.1\text{mg}$

Dichte des Wassers lt. Diagramm:  $997.77 \text{ kg/m}^3$

Kupfer

8.9938g

8.9941g

8.9938g

8.9941g

8.9937g

8.9938g

Alu

2.7506

2.7506

2.7506

2.7505

2.7505

2.7505

Pyknometer (voll)

51.5614

51.5776

51.5830

51.5810

51.5803

51.5728

Pyknometer (voll) m. Alu

53.3395

53.3153

53.3200

53.3040

53.3121

53.2965

Pyknometer (voll) m. Kupfer

59.5539

59.5548

59.5552

59.5599

59.5577

59.5559

# Anhang B: Tabelle

Messumstände			Quelle			
Temperatur 22.0 +/- 0.5	295.15	K	Thermometer im Labor			
Druck 52+48.6 +/- 0.1	102600	pa	Barometer im Labor			
Systematische Messunsicherheit der Waage	+/- 0.2	mg	Lag am Arbeitsplatz aus			
Zufällige Messunsicherheit der Waage	+/- 0.1	mg	Lag am Arbeitsplatz aus			
Dichte des Wassers lt. Diagramm in kg/m <sup>3</sup>	997.77	kg/m <sup>3</sup>	Nach Tabelle am Arbeitsplatz			
Rs für trockene Luft	287.058	J/(kg*K)	Nach Wikipedia (DE)			
Luftdichte	1.2109742781	kg/m <sup>3</sup>	Nach Formel aus Wikipedia			
Messergebnisse (Masse in g)	Nach A.1 bis A.4 berechnete Werte		Berechnung der Messunsicherheit			
Kupferprobe						
b	Mittelwert	8.9939 g	partial m1	-7739.5034	Unsicherheit der Dichte	
8.9941	Dichte	8843.1756 kg/m <sup>3</sup>	partial m2	-8722.6103	26.9190 kg/m <sup>3</sup>	
8.9938	Messunsicherheit u	6.8313E-05 g	partial m3	-8724.9995		
8.9941	Zzgl. den o.g. +/- 0.1mg		(Partielle Ableitungen zur Fehlerfortpflanzung. Mit maxima berechnet.)			
8.9937						
8.9938						
Aluprobe						
2.7506	Mittelwert	2.7506 g	partial m1	-1691.7227	Unsicherheit der Dichte	
2.7506	Dichte	2709.7934 kg/m <sup>3</sup>	partial m2	-2676.4649	16.7875 kg/m <sup>3</sup>	
2.7506	Messunsicherheit u	2.0412E-05 g	partial m3	-2678.8581		
2.7505	Zzgl. den o.g. +/- 0.1mg					
2.7505						
2.7505						
Pyknometer (voll)						
51.5614	Mittelwert	5.1576E+01 g				
51.5776						
51.5830	Messunsicherheit u	2.9742E-03 g				
51.5810	Zzgl. den o.g. +/- 0.1mg					
51.5803						
51.5728						
Pyknometer (voll) m. Aluprobe						
53.3395	Mittelwert	53.3146 g				

53.3153							
53.3200	Messunsicherheit u	5.5173E-03 g					
53.3040	Zzgl. den o.g. +/- 0.1mg						
53.3121							
53.2965							
Pyknometer (voll) m. Kupferprobe							
59.5539	Mittelwert	59.5562 g					
59.5548							
59.5552	Messunsicherheit u	8.2113E-04 g					
59.5599	Zzgl. den o.g. +/- 0.1mg						
59.5577							
59.5559							