

In diesem Versuch sind Dichtebestimmungen von festen Körpern unterschiedlicher Geometrien und Flüssigkeiten nach verschiedenen Methoden durchzuführen. Dabei sind die Messgenauigkeiten der einzelnen Methoden zu bestimmen.

## 1. Theoretische Grundlagen

Die Dichte  $\rho$  eines homogenen Körpers ist das Verhältnis seiner Masse  $m$  zu seinem Volumen  $V$ :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\rho] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ bzw. } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad (1)$$

Die Einheit der Dichte ist im SI-Einheitensystem  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (gebräuchlich auch  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ).

### 1.1. Dichte fester Stoffe

Die experimentelle Bestimmung der Dichte eines homogenen Stoffes wird immer auf ihre Definition zurückgeführt - auf eine Masse- und eine Volumenbestimmung.

#### 1.1.1 Wägen und Ausmessen

Liegt ein fester Stoff in einfacher geometrischer Form (z.B. als Quader oder Zylinder) vor, dann bestimmt man sein Volumen durch Ausmessen und seine Masse durch Wägen.

Für überschlägige Volumenbestimmungen von homogenen festen Körpern mit unregelmäßiger Form genügt es oft, den Körper in einen mit einer Flüssigkeit gefüllten Messzylinder vollständig einzutau-chen. Aus dem Ansteigen der Flüssigkeit im Messzylinder kann direkt das Volumen des Körpers ermit-telt werden.

##### 1.1.1.1 Analysenwaage

Die im Versuch verwendete Analysenwaage ist eine mechanische Analysenwaage. Diese ist für eine maximale Last von 200g (Auflösung = 1mg) zugelassen.

Vor Gebrauch sind die Nullstellung des Stellrades der Feingewichte sowie die Arretierung zu überprü- fen.

Der Vorgang des Wägens beginnt mit einer Grobabschätzung des Wägegutes. Durch die linke Tür wird das Wägegut und durch die rechte Tür werden die Wägestücke mit einer **Pinzette**, beginnend mit dem größtmöglichen Gewicht, aufgelegt. Die Waage ist nur von den Seiten zu bestücken, niemals von vorn! Während des Wägevorganges sind die Seitentüren immer geschlossen zu halten. Die Waage muss zum Wägen entriegelt, um Wägestücke zu ändern, immer arretiert werden. Schlägt der Zeiger im unteren Sichtfenster (*unterhalb der Frontscheibe*) nach links aus, so ist das Wägestück zu schwer. Die Wägestü-cke müssen solange variiert werden, bis der Zeigerausschlag sich verlangsamt. Die Feineinstellung er- folgt ohne Arretierung.

#### Beispiel:

$$4 \text{ Wägestücke} = 20\text{g} + 10\text{g} + 5\text{g} + 2\text{g} = 37\text{g}$$

$$\text{Feineinstellung am Stellrad} = 0,92\text{g}$$

$$\text{Zeigeranzeige} = -0,009\text{g}$$

$$\text{Wägestücke} + \text{Stellrad} + \text{Zeigeranzeige} = 37\text{g} + 0,92\text{g} - 0,009\text{g} = \underline{\underline{37,911\text{g}}}$$

Die zweite im Versuch zu verwendende Analysenwaage ist eine elektronische Analysenwaage (*Kern & Sohn ABJ 220-4NM*). Diese ist für eine maximale Last von 220g (*Linearität  $\pm 0,3\text{mg}$* ) zugelassen. Vor Gebrauch sind die Mittelstellung der Libelle und die Nullpunktstellung der Waage zu überprüfen. Das Wägegut wird durch das geöffnete Seitenfenster (*schiebbar*) auf den Wägeteller gelegt. Zum Wägen muss dieses Fenster geschlossen sein, und am Tisch sollte während dieser Zeit nicht gewackelt oder sich abgestützt werden. Nach ca. 3 Sekunden ist die Einschwingzeit abgeschlossen. Das Messergebnis kann nun abgelesen werden.

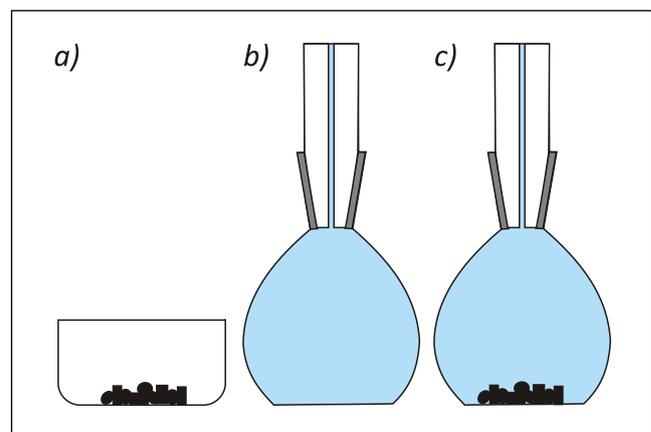
### 1.1.1.2 Pyknometer

Eine andere Methode von einem festen Körper verdrängte Flüssigkeitsvolumen zu ermitteln, ist der Einsatz eines Pyknometers. Pyknometer (**Bild 1**) sind Wägefläschchen mit einem definierten Flüssigkeitsvolumen, die in erster Linie zur Dichtebestimmung von Flüssigkeiten verwendet werden.

Man kann sie aber auch zur Dichtebestimmung von festen Stoffen verwenden, wenn sich diese in das Pyknometer bringen lassen bzw. sie mit einer Flüssigkeit in Berührung kommen dürfen.

Zur Dichtebestimmung dieser festen Stoffe sind folgende drei Wägungen notwendig:

- Bestimmung der Masse  $m_K$  des Körpers.
- Bestimmung der Masse  $m_1$  des vollständig mit Flüssigkeit der Dichte  $\rho_{Fl}$  gefüllten Pyknometers
- Bestimmung der gesamten Masse  $m_2$  des Pyknometers, in dem sich der Körper befindet und der restliche Raum mit der gleichen Flüssigkeit der Dichte  $\rho_{Fl}$  aufgefüllt ist.



**Bild 1:** Pyknometer

Bei gleichem Gesamtvolumen des Pyknometers und Wägung von **b)** und **c)** ergibt sich damit

$$m_2 = m_1 + m_K - \rho_{Fl} \cdot V_K \quad (2)$$

und für das Volumen des Körpers

$$V_K = \frac{m_1 + m_K - m_2}{\rho_{Fl}} \quad (3)$$

Mit der Dichte des Körpers  $\rho_K = m_K/V_K$  und Gleichung (3) erhält man

$$\rho_K = \frac{m_K}{m_1 + m_K - m_2} \cdot \rho_{Fl} \quad (4)$$

Ist die Dichte der Flüssigkeit  $\rho_{Fl}$  (*abhängig von der Temperatur der Flüssigkeit*) bekannt, errechnet sich die Dichte des festen Stoffes nach Gleichung (4) aus den drei Wägungen **a)**, **b)** und **c)**.

Bei den Messungen ist darauf zu achten, dass sich keine Luftblasen im Pyknometer absetzen und die Außenwand des Pyknometers vollkommen flüssigkeitsfrei ist. Der Glasstopfen muss immer in jedem Fall mitgemessen werden. Es sei erwähnt, dass bei genauen Messungen eventuelle Temperaturunterschiede zwischen Wägung **b)** und **c)** berücksichtigt werden müssen.

### 1.1.2 Auftriebsmethoden

Jeder Körper, der sich in einer Flüssigkeit mit der Dichte  $\rho_{FL}$  befindet, erfährt eine Auftriebskraft  $F_A$  (entgegen der Schwerkraft), die gleich der Gewichtskraft  $g \cdot m_{FL}$  der vom Körper mit dem Volumen  $V_K$  verdrängten Flüssigkeit ist (Archimedisches Prinzip):

$$F_A = m_{FL} \cdot g = \rho_{FL} \cdot V_K \cdot g \quad (5)$$

$m_{FL}$ : Masse der vom Körper verdrängten Flüssigkeit  
 $g$ : Fallbeschleunigung

#### 1.1.2.1 Jollysche Federwaage

Die Jollysche Federwaage besteht aus einer langen Schraubenfeder, an deren sich am unteren Ende zwei Schälchen befinden. Das Schälchen 2 soll bei allen drei Messungen immer gleich tief in das Wasser (Dichte  $\rho_W$  bekannt) eintauchen, um gleiche Auftriebsbedingungen auch für die beteiligte Aufhängung zu gewährleisten.

- Ohne Körper lässt sich mit Hilfe eines Längenmaßstabes mit Zeiger ein Markierungspunkt  $s_0$  willkürlich festlegen.
- Der Körper, dessen Dichte bestimmt werden soll, wird dann auf die Schale 1 gelegt. Die Schraubenfeder dehnt sich aus, und es ist dafür zu sorgen, dass die Schale 2 wieder genau so tief in die Flüssigkeit eintaucht wie bei der ersten Ableseung für  $s_0$ . Man liest jetzt den Wert  $s_1$  ab und die Verlängerung der Schraubenfeder ( $s_0 - s_1$ ) ist proportional dem Gewicht des Körpers  $m_K \cdot g$ :

$$m_K \cdot g = k \cdot (s_0 - s_1) \quad (6)$$

$k$ : Federkonstante der Schraubenfeder

- Anschließend wird der Körper auf die Schale 2 gelegt, so dass er ganz in die Flüssigkeit eintaucht. Dabei sollte die Schale 2 wieder so tief wie bei den beiden Ableseungen zuvor in die Flüssigkeit eintauchen. Jetzt liest man den Wert  $s_2$  ab. Der Auftrieb oder Gewichtsverlust des Körpers im Wasser ist proportional  $(s_2 - s_1)$ , man kann daher schreiben, wenn  $m_K$  die Masse des vom Körper verdrängten Wassers und  $V_K$  das Volumen des Körpers ist:

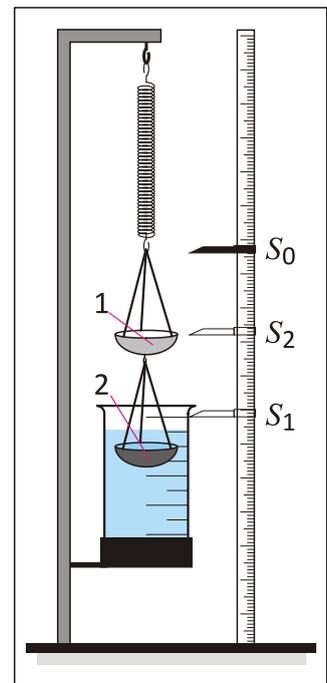
$$F_A = (s_2 - s_1) \cdot k = m_W \cdot g = \rho_W \cdot V_K \cdot g \quad (7)$$

oder

$$V_K = \frac{(s_2 - s_1) \cdot k}{\rho_W \cdot g} \quad (8)$$

Aus Gleichung (6) und (8) ergibt sich schließlich für die Dichte des Körpers

$$\rho_K = \frac{m_K}{V_K} = \frac{s_0 - s_1}{s_2 - s_1} \cdot \rho_W \quad (9)$$



**Bild 2:** Jollysche Federwaage

### 1.1.2.2 Balkenwaage

Führt man die Dichtebestimmung eines festen Stoffes mit Hilfe einer Balkenwaage durch, so wird zunächst die Masse  $m_K$  des Körpers durch Wägung in Luft bestimmt (*Der Auftrieb des Körpers in Luft wird bei Dichtebestimmungen geringerer Genauigkeit im Allgemeinen vernachlässigt*).

Anschließend wiegt man den Körper so, dass er sich dabei vollständig in einer Flüssigkeit (Wasser) der bekannten Dichte  $\rho_{Fl}$  befindet. Dann ist infolge des Auftriebs, den der Körper in der Flüssigkeit erhält, das Gleichgewicht der Waage gestört. Dieser Auftrieb lässt sich durch Auflegen einer Masse  $\Delta m$  auf der Seite der Waage, an dem der Körper hängt kompensieren.

Dann gilt mit den oben eingeführten Symbolen nach Gleichung (5):

$$F_A = \Delta m \cdot g = m_{Fl} \cdot g = \rho_{Fl} \cdot V_K \cdot g \quad (10)$$

und für die Dichte des Körpers ergibt sich:

$$\rho_K = \frac{m_K}{V_K} = \frac{m_K}{\Delta m} \cdot \rho_{Fl} \quad (11)$$

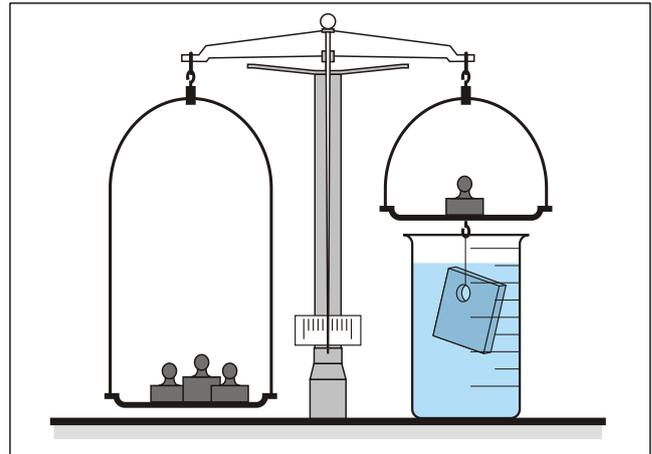


Bild 3: Balkenwaage

## 1.2. Dichte von Flüssigkeiten

### 1.2.1 Wägen und Ausmessen

Mit Messkolben, Messzylindern, Pipetten und Büretten lassen sich die Dichten von Flüssigkeiten mit unterschiedlicher Genauigkeit bestimmen. Die Genauigkeit hängt davon ab, wie exakt man das Flüssigkeitsvolumen mit diesen Instrumenten fixieren kann.

Am häufigsten verwendet man zur Bestimmung von Flüssigkeitsdichten die bereits behandelten Pyknometer (Bild 4).

- Man bestimmt zunächst die Masse des leeren Pyknometers.
- Dann wird das Pyknometer mit der Vergleichsflüssigkeit (Wasser) bekannter Dichte bis zur angebrachten Marke gefüllt, und man bestimmt erneut seine Masse.
- Anschließend füllt man das Pyknometer wieder bis zur gleichen Marke mit der zu untersuchenden Flüssigkeit und ermittelt erneut seine Masse wieder.

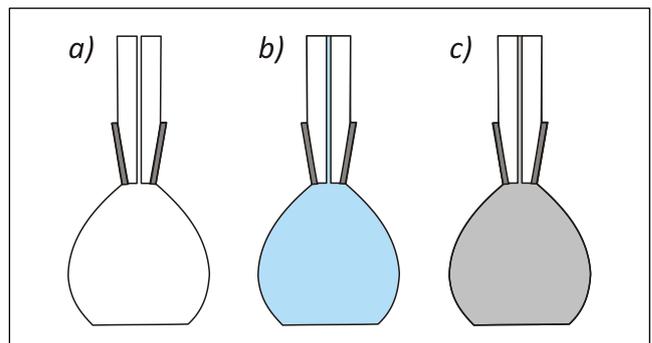
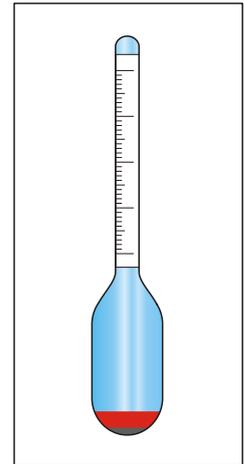


Bild 4: Pyknometer

Das Verhältnis der Massen der beiden Flüssigkeiten ist gleich dem Verhältnis ihrer Dichten. Da die Dichte der Vergleichsflüssigkeit bekannt ist, lässt sich damit die Dichte der zu untersuchenden Flüssigkeit errechnen. Ist das Volumen des Pyknometers bekannt, dann lassen sich auch Absolutmessungen der Dichte von Flüssigkeiten bestimmen (*Tipp: erst Arbeitsschritt c) dann b) durchführen*).

### 1.2.2 Auftriebsmethoden mit Aräometer

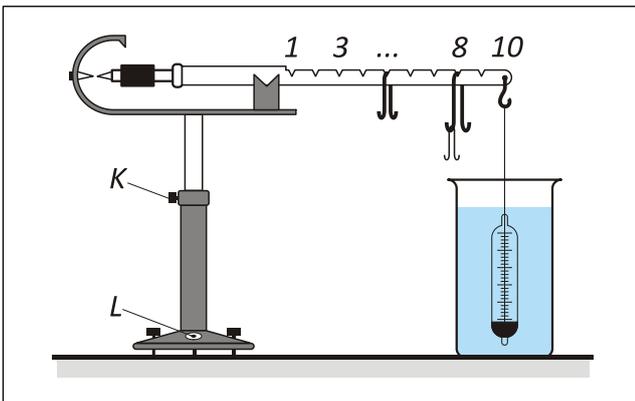
Mit dem Skalenaaräometer (**Bild 5**), kann die Dichte von Flüssigkeiten sehr schnell angenähert bestimmt werden. Dabei sinkt der Senkkörper jeweils so weit in die Flüssigkeit ein, bis das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeit gleich seinem Eigengewicht ist. Er sinkt also umso tiefer in die Flüssigkeit ein, je kleiner ihre Dichte ist (*Archimedisches Prinzip*). Die in der Spindel angebrachte Skala lässt sich als Dichteskala eichen (*Bezogen auf eine festgelegte Flüssigkeitstemperatur*).



**Bild 5:** Aräometer

### 1.2.3 Auftriebsmethode mit der Mohr- Westphalsche Waage

Die Mohr-Westphalsche Waage (**Bild 6**) ist eine ungleicharmige Waage. An einem Ende des Waagebalkens hängt ein Tauchkörper an feinem Draht und taucht vollkommen in die Flüssigkeit ein. Diese Seite des Waagebalkens von der Länge  $L$  zwischen Mittelschneide und Aufhängung des Tauchkörpers ist dezimal geteilt. Mit Hilfe von verschiedenen schweren Reitern, deren Massen sich wie  $(1/1) : (1/10) : (1/100)$ , verhalten, ist es möglich, die Waage auszutarieren.



**Bild 6:** Mohr-Westphalsche Waage

Die Waage sei so eingestellt, dass sie sich ohne Reiter im Gleichgewicht befindet, wenn der Tauchkörper in Luft hängt. Wird der Tauchkörper mit dem Volumen  $V_K$  in eine Vergleichsflüssigkeit bekannter Dichte  $\varrho_N$  so gehängt, dass er völlig eintaucht, dann ist infolge des Auftriebs, den der Tauchkörper in der Flüssigkeit erhält, das Gleichgewicht der Waage gestört. Durch Aufsetzen der verschiedenen Reiter lässt sich wieder ein Gleichgewicht einstellen. In diesem Fall gilt für die Drehmomente:

$$\varrho_N \cdot V_K \cdot L \cdot g = g \sum_{v=1}^3 m_v \cdot l_v \quad (12)$$

Dabei ist  $g$  die Fallbeschleunigung,  $m_v$  die Masse eines aufgesetzten Reiters,  $L$  die Länge des dezimal geteilten Waagebalkens und  $l_v$  der Abstand dieses Reiters vom Drehpunkt. Wenn

$$l_v = \frac{L}{10} \cdot n_v,$$

wobei  $n_v$  ganze Zahlen von 1 bis 10 sind,

und  $m_1 = (1/1) \cdot m$ ,  $m_2 = (1/10) \cdot m$ ,  $m_3 = (1/100) \cdot m$ , wobei  $m$  die Masse des größten Reiters ist, dann kann man die Gleichung (12) folgendermaßen schreiben:

$$\varrho_N \cdot V_K \cdot L = \left( \frac{1}{10} \cdot n_{1N} + \frac{1}{100} \cdot n_{2N} + \frac{1}{1000} \cdot n_{3N} \right) \cdot m \cdot L \quad (13)$$

$n_{1N}$  gibt die Stelle an, wo der größte Reiter auf dem dezimal geteilten Waagebalken sitzt,  $n_{2N}$  die Stelle des nächst kleineren, usw. Für den in **Bild 6** dargestellten Fall ergibt sich als Wert für die Klammer 0,858.

Lässt man anschließend den gut gereinigten Tauchkörper in eine Flüssigkeit unbekannter Dichte  $\rho_x$  eintauchen, so erhält man nach Austarieren der Waage einen nach Gleichung (13) entsprechenden Ausdruck:

$$\rho_x \cdot V_K \cdot L = \left( \frac{1}{10} \cdot n_{1x} + \frac{1}{100} \cdot n_{2x} + \frac{1}{1000} \cdot n_{3x} \right) \cdot m \cdot L . \quad (14)$$

Im Folgenden sollen die den Klammern der Gleichungen (13) und (14) entsprechenden Zahlenwerte mit  $n_N$  und  $n_x$  bezeichnet werden

$$n_N = \frac{1}{10} \cdot n_{1N} + \frac{1}{100} \cdot n_{2N} + \frac{1}{1000} \cdot n_{3N} \quad n_x = \frac{1}{10} \cdot n_{1x} + \frac{1}{100} \cdot n_{2x} + \frac{1}{1000} \cdot n_{3x} .$$

Die Division der Gleichungen (13) und (14) ergibt dann

$$\frac{\rho_x}{\rho_N} = \frac{n_x}{n_N} . \quad (15)$$

Es ist somit möglich, mit der Mohr-Westphalschen Waage relative Dichtemessungen von Flüssigkeiten durchzuführen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass bei genauen Messungen die Vergleichsflüssigkeit und die unbekannte Flüssigkeit gleiche Temperatur haben müssen, denn nur in diesem Fall ist das Volumen des Tauchkörpers in den Gleichungen (13) und (14) gleich und hebt sich bei der Division heraus; andernfalls müsste der Volumenausdehnungskoeffizient des Tauchkörpers berücksichtigt werden.

Als Vergleichsflüssigkeit verwendet man meist Wasser, dessen Dichte als Funktion der Temperatur recht genau bekannt ist (*siehe Abschnitt 3, Tabelle 1*).

## 2. Versuch

### 2.1 Vorbetrachtung

**Aufgabe:** Ein ungeeichtes Pyknometer hat eine Leermasse von  $m_{\text{Leer}}=20,000$  g. Mit destilliertem Wasser gefüllt beträgt die Masse  $m_1=69,425$  g (bei  $\vartheta=20$  °C). Welche Dichte hat eine unbekannte Flüssigkeit, wenn das damit befüllte Pyknometer eine Masse  $m_2=63,180$  g (bei  $\vartheta=20$  °C) aufweist?

### 2.2 Versuchsdurchführung

#### 2.2.1 Verwendete Geräte

Messschieber, Analysenwaage, Pyknometer, Balkenwaage, Jolly-Waage, Mohr-Westphalsche Waage, verschiedene Aräometer, Thermometer

#### 2.2.2 Versuchshinweise

*Alle Hinweise zur Versuchsdurchführung sind im **Abschnitt 1** Theoretische Grundlagen enthalten. Die Dichte ist eine temperaturabhängige Größe. Ihre Messung hat nur dann einen Sinn, wenn gleichzeitig die Temperatur des Körpers (fest oder flüssig), auch der Vergleichskörper gemessen, angegeben und bei der Bestimmung der Messunsicherheit berücksichtigt wird.*

**Aufgabe 1:** Bestimmung der Dichte eines festen Stoffes nach **4 Methoden**

**1a)** Ausmessen mit dem Messschieber und Wägen durch verschiedene Analysenwaagen

- Bestimmen Sie die geometr. Abmessungen des vorgegebenen Körpers mit dem Messschieber.

- Ermitteln Sie die Masse dieses Körpers vergleichend mit der Analysenwaage 1 (*Freiberger Analysenwaage*) sowie mit der Analysenwaage 2 (*Kern & Sohn*).

**1b)** mit dem Pyknometer (*siehe Abschnitt 1.1.1.2*),

- Verwenden Sie zur Bestimmung der Massen die Analysenwaage 2 (Kern & Sohn).
- Benutzen Sie für die Ermittlung der Masse  $m_K$  (*Metallspäne*) ein kleines Glasgefäß. Beachten Sie, dass die Gesamtmasse = Glasmasse + Körpermasse der Späne ist.
- Ermitteln Sie die Temperatur des Wassers.
- Befüllen Sie blasenfrei das Pyknometer 1 komplett mit destilliertem Wasser und setzen Sie den Stopfen auf. Streifen Sie mit dem Finger überschüssiges Wasser von der Spitze des Stopfens ab. Trocknen Sie das Pyknometer mit einem Papiertuch ab. Bestimmen Sie nun die Masse  $m_1$ .
- Füllen Sie zum Wasser die Metallspäne dazu und vermeiden Sie dabei Luftblasen. Mit dem Finger wieder überschüssiges Wasser abstreichen und mit einem Papiertuch das Pyknometer abtrocknen. Bestimmen Sie jetzt die Masse  $m_2$ .

**1c)** mit einer Balkenwaage nach der Auftriebsmethode (*Siehe Abschnitt 1.1.2.2*),

- Hängen Sie den Körper an den Haken des rechten Wägetellers der Balkenwaage und ermitteln Sie die Körpermasse  $m_K$  durch Auflegen der Gewichte auf den linken Wägeteller.
- Ermitteln Sie die Temperatur des Wassers im Becherglas.
- Stellen Sie das Becherglas unter den rechten Wägeteller und sorgen Sie dafür, dass der Körper komplett in das Wasser eintaucht.
- Bestimmen Sie die Differenzmasse  $\Delta m$  durch Auflegen der Gewichte auf den rechten Wägeteller. Die Gewichte des linken Wägetellers werden dabei nicht verändert.

**1d)** mit der Jollyschen Federwaage (*Siehe Abschnitt 1.1.2.1*).

- Tauchen Sie durch Veränderung der Höhenverstellung des Wassergefäßes die untere Schale in das Wasserglas bis zu einer bestimmten Marke (z.B. 500ml-Marke) ein.
- Stellen Sie den Zeiger des Maßstabes auf einen konstant bleibenden Punkt (z.B. *Unterkante des Federhakens*) und lesen Sie den Wert für  $s_0$  am Maßstab ab.
- Legen Sie den Körper in die obere Schale und justieren Sie das Becherglas so, dass sich die untere Schale wieder bei der 500ml-Marke befindet. Stellen Sie den Zeiger wieder auf die Unterkante des Federhakens und lesen Sie den Wert für  $s_1$  am Maßstab ab.
- Zur Bestimmung von  $s_2$  legen Sie den Körper in die untere Schale und justieren Sie erneut das Wassergefäß auf die 500ml-Marke. Der Wert kann abgelesen werden, wenn sich der Zeiger auf der Unterkante des Federhakens befindet.

**Aufgabe 2:** Bestimmung der Dichte einer unbekanntem Flüssigkeit nach **3 Methoden**

**2a)** durch Wägen des Pyknometers (*Siehe Abschnitt 1.2.1*),

- Verwenden Sie zur Bestimmung der Massen die Analysenwaage 2 (Kern & Sohn).
- Bestimmen Sie zunächst die Leermasse  $m_a$  des Pyknometers 2.
- Ermitteln Sie die Temperatur des Wassers.
- Zur Vermeidung von Verdünnungen der zu bestimmenden Flüssigkeit, messen Sie zuerst die Masse  $m_c$ . Befüllen Sie blasenfrei komplett das Pyknometer 2 mit der unbekanntem Flüssigkeit und setzen Sie den Stopfen auf. Streifen Sie mit dem Finger überschüssige Flüssigkeit von der Spitze des Stopfens ab. Trocknen Sie das Pyknometer mit einem Papiertuch ab. Bestimmen Sie nun die Masse  $m_c$ .

- Führen Sie nach der Messung die unbekannte Flüssigkeit wieder zurück und spülen Sie sorgfältig mit destilliertem Wasser das Pyknometer 2 sowie die Kapillare des Stopfens aus.
- Befüllen Sie nun blasenfrei das Pyknometer 2 komplett mit destilliertem Wasser und setzen Sie den Stopfen wieder auf. Streifen Sie das überschüssige Wasser von der Spitze des Stopfens ab. Trocknen Sie das Pyknometer erneut mit einem Papiertuch. Bestimmen Sie nun die Masse  $m_b$ .

**2b)** mit dem Aräometer (Siehe **Abschnitt 1.2.2**).

**2c)** mit der Mohr-Westphalschen Waage (Siehe **Abschnitt 1.2.3**).

## 2.3 Versuchsauswertung

### Aufgabe 1: Bestimmung der Dichte eines festen Stoffes nach **4 Methoden**

- Vergleichen Sie die Messergebnisse der Massebestimmung aus der **Aufgabe 1a** hinsichtlich Messwert und Abweichung.
- Ermitteln Sie die Dichten aus den 4 Messmethoden.
- Bestimmen Sie jeweils die Messunsicherheiten dieser Dichten durch eine Fehlerrechnung.
- Vergleichen Sie die Ergebnisse einschließlich ihrer Fehler (*absolut und relativ*) in tabellarischer Form mit dem Tabellenwert. Zu welchem Schluss kommen Sie? Begründen Sie Ihre Aussage.

### Aufgabe 2: Bestimmung der Dichte einer unbekanntes Flüssigkeit nach **3 Methoden**

- Ermitteln Sie die Dichten aus den 3 Messmethoden und bestimmen Sie die jeweiligen Messunsicherheiten durch eine Fehlerrechnung.
- Vergleichen Sie die Ergebnisse einschließlich ihrer Fehler (*absolut und relativ*) in tabellarischer Form mit dem Tabellenwert. Zu welchem Schluss kommen Sie? Begründen Sie Ihre Aussage.

## 3. Ergänzungen

$\vartheta$ °C	$\rho$ g/cm <sup>3</sup>						
0	0,99984	12	0,999500	24	0,997300	60	0,9832
1	0,99990	13	0,999377	25	0,997047	65	0,9806
2	0,99994	14	0,999243	26	0,996785	70	0,9778
3	0,99996	15	0,999100	27	0,996515	75	0,9749
4	0,99997	16	0,998943	28	0,996234	80	0,9718
5	0,99996	17	0,998775	29	0,995945	85	0,9686
6	0,99994	18	0,998596	30	0,995648	90	0,9653
7	0,99990	19	0,998406	35	0,9940	95	0,9619
8	0,99985	20	0,998205	40	0,9922	100	0,9583
9	0,99978	21	0,997994	45	0,9902		
10	0,99970	22	0,997771	50	0,9880		
11	0,99961	23	0,997540	55	0,9857		

**Tabelle 1:** Abhängigkeit der Dichte  $\rho$  des Wassers von der Wassertemperatur  $\vartheta$