

### 3 Grenzflächenspannung und Viskosität



Abbildung 3.1: Messung der Temperaturabhängigkeit der Viskosität. Rechts: Ubbelohde-Viskosimeter im Temperiermantel, links: Wasserbad mit Thermostat und Ausgleichstabelle.

#### 3.1 Grundlagen

##### 3.1.1 Grenzflächenspannung – Oberflächenspannung; Kohäsion und Adhäsion

Zwischen den Molekülen bzw. Atomen eines Körpers bestehen Wechselwirkungskräfte, die einerseits den Zusammenhalt des Körpers bewirken, zum anderen die Moleküle in dem für den betreffenden Aggregatzustand typischen Abstand halten. Ob die Moleküle sich gegenseitig anziehen oder abstoßen, hängt i.a. von ihrem Abstand ab. Die Reichweite der Anziehungskräfte liegt im Bereich  $10^{-8}$  m, also einige 10 Nanometer. Solche Kräfte, die den Zusammenhalt der Moleküle eines und desselben Stoffes bewirken, heißen *Kohäsionskräfte*.

Kohäsionskräfte treten im Prinzip bei Körpern in allen Aggregatzuständen auf. Sie sind jedoch in ihrer Größe sehr unterschiedlich. In Gasen sind sie zwar nachweisbar, treten aber wegen der kinetischen Energie der Wärmebewegung der Gasmoleküle

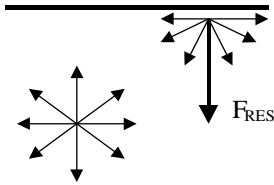


Abb. 3.2: zur Entstehung der Oberflächenspannung:

leküle nach außen hin nicht in Erscheinung. In Flüssigkeiten ist die Wirkung der Kohäsionskräfte im Vergleich zur kinetischen Energie der Moleküle groß genug, um den Zusammenhalt der Flüssigkeit und damit ein bestimmtes Volumen und eine definierte Oberfläche zu bewirken.

Jedes Molekül im Inneren einer Flüssigkeit ist von allen Seiten von weiteren Molekülen umgeben (s. Abb. 3.2). Die an einem Molekül innerhalb einer Flüssigkeit angreifenden Molekularkräfte heben sich bei gleichmäßiger Verteilung der Moleküle gegenseitig auf. An der Oberfläche der Flüssigkeit ergibt die Zusammensetzung dieser Kräfte jedoch eine resultierende Kraft, die auf der Oberfläche senkrecht steht und in das Innere der Flüssigkeit hinein gerichtet ist.

Um ein Molekül aus dem Inneren der Flüssigkeit an die Oberfläche zu bringen, muss demnach eine Arbeit gegen diese Kraft verrichtet werden. Moleküle an der Oberfläche besitzen daher eine größere potentielle Energie als die Moleküle im Inneren der Flüssigkeit. Diese Oberflächenenergie strebt zur Einstellung des Gleichgewichts einem Minimum zu. Wenn keine äußeren Kräfte einwirken, nimmt sie diejenige Form an, bei der die Oberfläche am kleinsten ist, d.h. die Kugelform (die typische Tropfenform entsteht durch Reibung der fallenden "Flüssigkeitskugel" an der umströmenden Luft).

Will man die Oberfläche vergrößern, muss man Energie aufwenden. Der Quotient Energie pro Fläche heißt "spezifische Oberflächenenergie"  $\sigma$ .<sup>1</sup>

$$\sigma = \frac{\text{Energieaufwand } \Delta W}{\text{Oberflächenzuwachs } \Delta A} \quad (\text{N/m}) \quad (3-1)$$

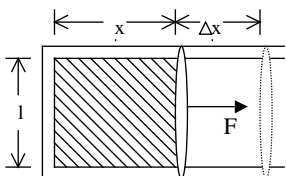


Abb. 3.3: mögliche Anordnung zur Messung der Oberflächenspannung.

Eine denkbare (jedoch unpraktische) Möglichkeit zur Messung der spezifischen Oberflächenenergie zeigt die Abb. 3.3: Auf einem kleinen U-förmigen Bügel aus dünnem Draht ist ein an zwei Ösen geführter, in x-Richtung verschiebbarer Draht der Länge  $l$  angebracht.

Bringt man einen Tropfen einer Flüssigkeit in die schraffierte Masche, so bildet sich eine Lamelle aus. Mittels einer Kraft  $F$  lässt sich der Draht um die Strecke  $\Delta x$  verschieben, so dass die Lamelle auseinandergezogen wird.

Der hierdurch bewirkte Oberflächenzuwachs  $\Delta A$  beträgt  $2l \Delta x$  (Faktor 2, weil die zusätzliche Oberfläche auf beiden Seiten entsteht), die aufgewendete Energie ist  $\Delta W = F \Delta x$ . Damit erhält man:

$$\sigma = \frac{\Delta W}{\Delta A} = \frac{F \Delta x}{2l \Delta x} = \frac{F}{2l} \quad (3-2)$$

Das Verhältnis

$$\frac{F}{2l} = \sigma \quad (\text{N/m}) \quad (3-3)$$

<sup>1</sup> Bemerkung:  $\sigma$  bedeutet hier nicht die Standardabweichung der Einzelmessung. Es tritt (nicht nur) in der Physik häufig der Fall auf, dass ein und derselbe Buchstabe für mehrere ganz unterschiedliche Größen steht. Welche jeweils gemeint ist, muss natürlich eindeutig aus dem Zusammenhang hervorgehen.

wird als Oberflächenspannung bezeichnet. Gl. (3.2) zeigt, dass die spezifische Oberflächenenergie und die Oberflächenspannung identische Größen sind.

Als störend erweist sich bei dieser Messmethode die unvermeidliche Reibung an den Ösen des beweglichen Drahtes. Man verwendet daher besser die sogenannte "Abreißmethode" (siehe unten).

Unter der "Oberfläche" einer Flüssigkeit ist die Grenzfläche zwischen der Flüssigkeit und der Luft zu verstehen. Grenz eine Flüssigkeit an eine andere (z.B. Öl an Wasser), so spricht man nicht von Oberfläche, sondern von "Grenzfläche" und dementsprechend von spezifischer Grenzflächenenergie bzw. Grenzflächenspannung. Die zur Vergrößerung der Grenzfläche erforderliche Energie wird als spezifische Grenzflächenenergie bezeichnet. Es zeigt sich, dass die Grenzflächenspannung zweier Flüssigkeiten gleich der Differenz ihrer Oberflächenspannungen gegen Luft ist.

Während der Zusammenhalt der Flüssigkeitsmoleküle untereinander durch die Kohäsionskräfte bedingt ist, bewirken die *Adhäsionskräfte* u.a. das Anhaften von Flüssigkeiten an festen Körpern. Ist die Adhäsionskraft zwischen einer Flüssigkeit und einem Festkörper größer als die Kohäsionskraft, so wird die Grenzfläche des Festkörpers *benetzt* (z.B. Wasser an sauberem Glas); im umgekehrten Fall "perlt" die Flüssigkeit von der Grenzfläche ab (z.B. Quecksilber an Glas).

In engen Kapillarröhrchen bildet eine Flüssigkeit je nach dem Verhältnis zwischen Adhäsion und Kohäsion entweder eine konvexe oder konkave Oberfläche aus. Bei der Kombination Wasser – Glas ist die Adhäsion größer als die Kohäsion, daher benetzt das Wasser die Glaswand und bildet eine konkave, halbkugelförmige Oberfläche.

Wenn man eine Kapillare senkrecht in eine Flüssigkeit taucht und Adhäsion vorliegt, steigt die Flüssigkeit in der Kapillare bis zu einer Höhe  $h$  über den äußeren Spiegel an (s. Abb. 3.4). Diese Steighöhe berechnet sich zu

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g} \cdot \frac{1}{r} \quad (3-4)$$

Dabei ist  $\rho$  die Dichte,  $g$  die Fallbeschleunigung,  $r$  der Kapillarradius.

Die Steighöhe ist demnach umgekehrt proportional zum Kapillarradius. Je dünner das Röhrchen ist, desto höher kann die Flüssigkeit in ihm steigen. Mit der Gl. (3.4) können Sie nun den Radius einer Kapillare berechnen, in der das Wasser 15 m hochsteigen kann, z.B. in einem Baum vom Wurzelbereich bis in die Spitze. Setzen Sie hierzu ein:  $\sigma = 73 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$ ,  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.1.2 Viskosität von Flüssigkeiten

In strömenden Flüssigkeiten tritt als Folge der beschriebenen Kohäsionskräfte eine "innere Reibung" auf. Diese Reibungskräfte hängen entscheidend von der *Zähigkeit* oder *Viskosität* der strömenden Flüssigkeit ab. Ohne eine strömungserzeugende Kraft würde ein Flüssigkeitsstrom infolge der Reibungskräfte sehr schnell zur Ruhe kommen.

#### Definition, Hagen-Poiseuillesches Gesetz

Zur Definition des Begriffs Viskosität gehen wir vom Modell einer *laminaren* Strömung einer Flüssigkeit aus.

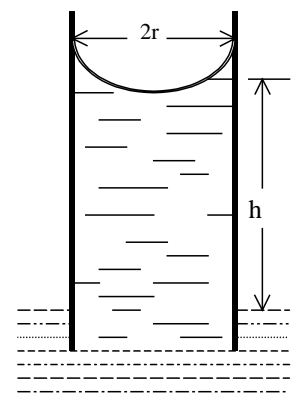
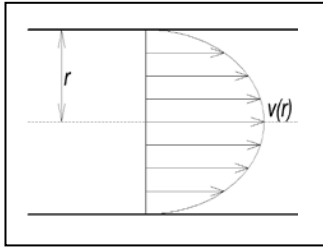


Abb. 3.4: Steighöhe in einer Kapillare.



**Abb. 3.5:** Parabelförmiges Geschwindigkeitsprofil in einer Kapillare.

Eine laminare Strömung (Schichtenströmung) liegt vor, wenn man den Flüssigkeitsstrom als ein aneinander Gleiten sehr dünner Flüssigkeitsschichten auffassen kann. Im Gegensatz dazu steht die sog. *turbulente* Strömung, bei der nicht Flüssigkeitsschichten parallel aneinander vorbeigleiten, sondern sich Wirbel bilden.

Beim laminaren Durchströmen einer Kapillare bleibt längs der Rohrwand eine Flüssigkeitsschicht infolge der Reibungskraft (Adhäsion) in Ruhe ( $v=0$ ). Die Geschwindigkeit nimmt parabelförmig zur Mitte der Kapillare hin zu und erreicht dort ihr Maximum (Abb. 3.5). Man kann berechnen, dass das Volumen  $dV$ , das in der Zeit  $dt$  laminar durch die Querschnittsfläche der Kapillare fließen kann, gegeben ist durch

$$dV = \frac{\pi r^4}{8\eta l} \Delta p dt \quad (3-5)$$

$\Delta p$  ist die zwischen den Enden der Kapillare herrschende Druckdifferenz;  $l$  ist die Länge,  $r$  der innere Radius der Kapillare;  $\eta$  ist die dynamische Viskosität bzw. die Zähigkeit der Flüssigkeit. Die Beziehung (3.5) heißt Hagen - Poiseuillesches Gesetz, da sie etwa gleichzeitig, jedoch unabhängig voneinander, von dem französischen Arzt Poiseuille und dem deutschen Ingenieur Hagen gefunden wurde. Sie gilt nur unter den Voraussetzungen,

- dass die Temperatur während der Fließdauer konstant bleibt (die Viskosität  $\eta$  hängt stark von der Temperatur ab), und
- dass die Strömung in der Kapillare laminar und nicht turbulent erfolgt.

Der Ausdruck

$$J = \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p \pi r^4}{8\eta l} \quad (3-6)$$

heißt *Volumenstromstärke* und gibt das pro Zeiteinheit durch die Querschnittsfläche der Kapillare fließende Volumen an.

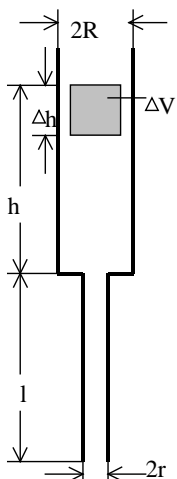
Der Zähler der Hagen-Poiseuilleschen Beziehung enthält den Faktor  $r^4$ . Geringfügige Änderungen des Kapillardurchmessers haben erhebliche Auswirkungen auf die Volumenstromstärke: Wird  $r$  z.B. um 10 % kleiner, so wird die Volumenstromstärke auf ca.  $2/3$  reduziert ( $0,9^4 \approx 0,66$ ).

Obwohl die Voraussetzungen für die Gültigkeit des Hagen-Poiseuilleschen Gesetzes für den Blutkreislauf nur annähernd erfüllt sind, gibt es auch in diesem Fall eine starke Abhängigkeit der Volumenstromstärke vom Kapillarradius und entsprechend einen großen Einfluss auf z.B. die Durchblutung der Körperoberfläche und damit auf die Oberflächentemperatur der Haut.

#### Bestimmung der dynamischen Viskosität mit dem Ausflussviskosimeter

Aus einem zylindrischen Gefäß mit dem Radius  $R$  fließt die Probe-Flüssigkeit über eine Kapillare mit dem Radius  $r$  aus. Bei dieser Versuchsanordnung ist der Druck der Kapillaren durch den hydrostatischen Druck der Flüssigkeitssäule über der Einlauföffnung bestimmt:

$$\Delta p = \rho g h \quad (3-7)$$



**Abb. 3.6:** Messung der Volumenstromstärke und der Viskosität

( $\rho$ : Dichte der Flüssigkeit,  $g$ : Fallbeschleunigung). Fließt aus der Kapillare das kleine Volumen  $\Delta V$  während der Zeit  $\Delta t$  aus, so ist  $h$  annähernd konstant. Dann ergibt sich aus der Kombination der Gleichungen (3-6) und (3-7)

$$J = \frac{\rho g h \pi r^4}{8 \eta l} = kh \quad (3-8)$$

ein linearer Zusammenhang zwischen  $J$  und  $h$  mit dem Proportionalitätsfaktor  $k$  (Steigung der Geradengleichung). Die Messung von  $\Delta t$  für ein konstantes Volumen in Abhängigkeit verschiedener Höhen  $h$  erlaubt die Bestimmung von  $k$  und daraus die Bestimmung der dynamischen Viskosität  $\eta$ .

## 3.2 Aufgaben

### 3.2.1 Oberflächenspannung von Wasser und Netzmittellösungen

Geräte: Petrischale, Torsionswaage, Alu-Ring mit Durchmesser  $d=19,2$  mm (fehlerfrei, **nicht nachmessen!**), höhenverstellbarer Tisch, destilliertes Wasser, Messzylinder, Spülmittellösung

Ein gut gereinigter Ring aus Aluminium mit scharfer Schneide, der an der Waage hängt, ist von der Probenflüssigkeit vollständig benetzt. Hebt man die Waage an (bzw. senkt man die Schale mit der Flüssigkeit ab), so wird aus der Flüssigkeitsoberfläche ein *doppelwandiger* Flüssigkeitsfilm herausgezogen (siehe Abb. 3.7).

Schließlich reißt bei weiterem Anheben der Waage bzw. beim Absenken der Schale der Flüssigkeitsfilm ab. Bei Verwendung der Torsionswaage wird das Gewicht des Ringes durch eine Verdrehung des Torsionsdrahtes vor der Messung kompensiert (Stellschraube an der Rückseite der Waage).

Bei der Abreißmethode zieht der Ring **innen und außen** einen Wasserfilm um eine Strecke  $h$  nach oben, dessen Fläche einem Zylinder mit Durchmesser  $2R$  entspricht. Gemäß der Definition in Gl (3.2)

ist dann

$$\sigma = \frac{\Delta W}{\Delta A} = \frac{F \cdot h}{4\pi R \cdot h} = \frac{F}{2\pi d} \quad (3-9)$$

Da an der Oberfläche des Rings durch Kapillarkräfte ein Volumen aus der Probe herausgezogen wird, muss die berechnete Oberflächenspannung mit einem Korrekturfaktor  $f_{H_2O} = 0,91$  für Wasser und  $f_{Spüli} = 0,85$  multipliziert werden, um die endgültige Oberflächenspannung zu erhalten.

Der Literaturwert für Wasser ist  $\sigma_{H_2O}(20^\circ\text{C}) = 72,75 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$ , das Spülmittel reduziert diesen Wert deutlich.

Da sich die Oberflächenspannung schon bei geringen Spuren von Beimengungen erheblich ändern kann, müssen der Ring und die Schale vor der Befüllung sorgfältig mit destilliertem Wasser gespült und getrocknet werden.

Zur Bedienung der Torsionswaage: Es ist darauf zu achten, dass der Waagebalken während der Messung stets in horizontaler Stellung verbleibt (d.h. die auf den Ring wirkende Oberflächenspannung und die Gegenkraft der Waage müssen im

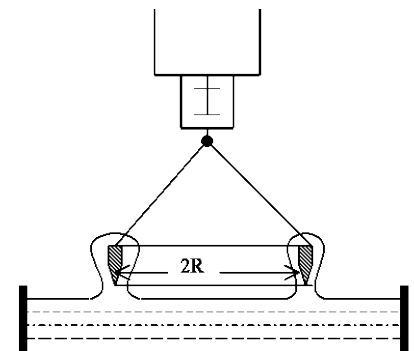


Abb. 3.7: Schematischer Aufbau der Abreißmethode

Gleichgewicht bleiben). Deshalb: Schale mit der Probeflüssigkeit absenken und *gleichzeitig* und erschütterungsfrei die Gegenkraft an der Waage vergrößern.

#### Aufgaben:

Die Oberflächenspannung (= Grenzflächenspannung gegen Luft) soll für

- a) Wasser bei Zimmertemperatur,
- b) Wasser mit einigen Tropfen Spülmittel

mit Hilfe der "Abreißmethode" gemessen werden.

Dafür wird der Wert der Kraft unmittelbar vor dem Abreißen für jede Probe 10mal gemessen. Mit der Gleichung (3-9) unter Berücksichtigung des jeweiligen Korrekturfaktors berechnen Sie die jeweilige Oberflächenspannung, daraus die Mittelwerte und die Standardabweichungen.

### 3.2.2 Bestimmung der Viskosität mit dem Ausflussviskosimeter

*Geräte: Vorratsgefäß mit Kapillare (Herstellerangabe Durchmesser  $d=(0,8\pm0,08)$  mm), Stoppuhr, Probesubstanz (z.B. Wasser), Bechergläser, Stativmaterial.*

Eine gut gereinigte und freigeblasene Kapillare wird am Zulaufschlauch des Vorratsgefäßes befestigt, wobei der Zulaufschlauch mit der Schlauchklemme verschlossen ist. Die Kapillare wird waagrecht in einer Halterung ausgerichtet. Der Abstand der Flüssigkeitsoberfläche und der Mitte des Kapillarröhrchens entspricht der Höhe  $h$ .

Mit der Freigabe der Öffnung wird die Zeitmessung gestartet und die Probeflüssigkeit fließt in ein Becherglas, das auf einer Waage steht. Sobald 25 g der Flüssigkeit ausgeflossen sind, wird die Zeitmessung gestoppt. Danach wird die ausgeflossene Flüssigkeit wieder in den Vorratsbehälter zurück gefüllt. Die jeweilige Höhe  $h$  wird nun zwischen 1 m und 0,4 m in 0,1 m Schritten verändert und die jeweilige Messung wiederholt.

Zur Auswertung trägt man die jeweilige Volumenstromstärke  $J$  (Masse in Volumen umrechnen, dafür  $T$  messen) über der gemessenen Höhe auf, vgl. Gleichung (3-8). Berechnen Sie aus der Steigung der gemittelten Geraden die Viskosität  $\eta$ . Wie groß ist der Fehler bei der Ermittlung der Steigung?

**Hinweis:** Die übliche Regressionsfunktion in Excel liefert keinen Fehler für die ermittelten Größen der Geradengleichung. Um diese ermitteln zu können, müssen Sie einmalig die Add-Ins zur Datenanalyse aktivieren. Dazu führen Sie folgende Schritte aus:

- Datei -> Optionen -> Add-ins
- Unten im Dialogfeld bei »Verwalten«: »Excel-Add-ins« auswählen und »Los...« klicken.
- Häkchen setzen bei »Analyse-Funktionen« -> OK.
- Anschließend finden Sie die Analysefunktionen im Menü »Daten« -> »Datenanalyse«.; die Analysedaten (incl. der Fehler) werden in einem gesonderten Arbeitsblatt angezeigt.



### 3.2.3 Temperaturabhängigkeit der Viskosität

*Geräte: Ubbelohde-Viskosimeter in Temperiermantel (befüllt mit der Probe-substanz), Thermostat, Thermoelement, Schläuche, Glasröhrchen, Schlauchmaterial, Stoppuhr*

Das Viskosimeter (siehe Abb. 3.8) befindet sich in einem Temperiermantel und wird von Wasser umspült, dessen Temperatur mit einem Thermostaten zwischen Raumtemperatur und ca. 80° C eingestellt und reguliert wird. Nach Einstellen einer Temperatur muss darauf geachtet werden, dass zwischen Probe und Temperierbad kein Temperaturgefälle mehr besteht (Zeitverhalten beobachten).

**Durchführung der Messung:** Die Öffnung des Rohres (2) wird mit dem Finger verschlossen. Mit Hilfe eines aufgesetzten Schlauches saugt man an Rohr (1), wodurch sich nacheinander das Niveaugefäß (5), die Kapillare (7), die Messkugel (8) und die kleine Vorlaufkugel (9) füllen.

Jetzt wird das Saugen beendet und die Öffnung des Rohres (2) wieder freigegeben; dabei reißt die Flüssigkeitssäule am unteren Ende der Kapillare (7) ab. Gemessen wird die Zeitspanne (Durchlaufzeit  $t$ ), in der der untere Rand des Meniskus der Probe von der oberen Kante der Ringmarke  $M_1$  zur oberen Kante der Ringmarke  $M_2$  absinkt.

Von der ermittelten Durchflusszeit ist der Zeitbetrag für die sog. Hagenbach-Korrektur abzuziehen (Tabelle liegt aus). Die Viskosität beträgt dann

$$\nu = K_V (t - g) \quad (3-10)$$

Dabei bedeutet  $\nu$  die kinematische Viskosität ( $= \eta / \rho$ ),  $t$  die gemessene Zeit,  $g$  die Hagenbach-Korrektur; die Konstante  $K_V$  (Viskosimeterkonstante) fasst wesentliche Parameter zusammen und hat hier den Wert  $K_V = (3,04 \pm 0,07) \cdot 10^{-3} \frac{\text{mm}^2}{\text{s}^2}$ .

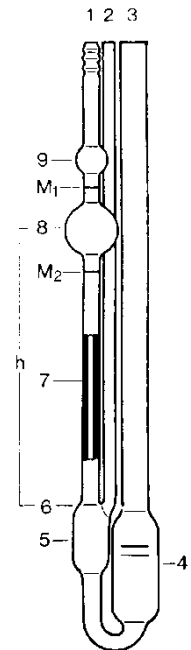
Zur Hagenbach-Korrektur: Das Hagen-Poiseuille-Gesetz gilt exakt nur für unendlich lange Kapillaren. Die Hagenbach-Korrektur (eigentlich Hagenbach-Couette-Korrektur) berücksichtigt Randstörungen (z.B. Druckverlust) beim Ein- und Auslauf der Flüssigkeiten in die bzw. aus der Kapillare. Diese Störungen führen zu einer zu großen Ausflusszeit und täuschen so eine zu große Viskosität vor. Die Hagenbach-Korrektur behebt diesen Fehler.

Die kinematische Viskosität von Wasser im Temperaturbereich von 20 °C und 90 °C lässt sich in guter Näherung beschreiben durch ein Polynom 4. Grades ( $T$  in °C):

$$\nu_{\text{H}_2\text{O}}(T) = (1,781 - 5,562 \cdot 10^{-2}\{T\} + 1,007 \cdot 10^{-3}\{T^2\} - 9,372 \cdot 10^{-6}\{T^3\} + 3,385 \cdot 10^{-8}\{T^4\}) \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad (3-11)$$

#### Aufgabe:

Für verschiedene Temperaturen zwischen Raumtemperatur und ca. 80° C soll die Viskosität der Probe gemessen und graphisch dargestellt werden (2 Messungen pro Team, wobei die Teams in gegenseitiger Absprache jeweils eine unterschiedliche Temperatur wählen). Messwerte aller Teams sammeln und grafisch darstellen. In das gleiche Diagramm wird auch der theoretische Verlauf nach Gl. (3.16)



**Abb. 3.8:**  
Ubbelohde-Viskosimeter

eingezeichnet. Diskutieren Sie das erhaltene Ergebnis.

### 3.2.4 Viskosität von Glycerin – Wasser - Mischungen

*Geräte: Drei Viskosimeter mit versch. Messbereichen, Bechergläser, Stativmaterial, Stoppuhr, Messzylinder, Glycerin*

Es stehen drei Viskosimeter mit verschiedenen Messbereichen (d.h. mit verschiedenen Kapillardurchmessern) und aufgedruckten Viskosimeterkonstanten (notieren!) zur Verfügung:

Kennfarbe (am Gerät)	Gelb	grün	blau
für Glycerin - Konzentration	>70 %	40 – 70 %	10 – 40 %

Durchführung und Auswertung:

- Entscheiden Sie sich zunächst für zwei **Konzentrationen**, die **zwischen 10% und 80%** liegt und in einem sinnvollen Abstand zu den Werten ist, die die anderen Teams bereits vermessen haben.
- Es gibt drei Viskosimeter. Welches Sie benutzen sollen, hängt von der Konzentration ab (siehe obige Tabelle).  
**Wichtig:** achten Sie unbedingt darauf, das jeweilig passende Viskosimeter zu benutzen. Ansonsten besteht die Gefahr, dass die dünnen Kapillaren verstopfen. **Die Reinigung übernehmen dann Sie!**
- Befüllen Sie das Viskosimeter mit Ihrer Glycerinlösung. Achten Sie auf die richtige Menge: Der Füllstand im Vorratsgefäß (4) sollte zwischen den beiden **Markierungen** liegen.
- Benutzen Sie einen entleerten Peleusball und schließen Sie ihn an den Schlauch oben am Viskosimeter (bei 1) an. Halten Sie einen Finger auf das dafür vorgesehene Rohr (2). Lassen Sie die Flüssigkeit ansaugen, bis genug Lösung in die Messkugel (8) geflossen ist.
- Der andere Teampartner stoppt die Durchlaufzeit mit einer **Stoppuhr**. Start ist, wenn der Meniskus die Markierung oberhalb des oberen Reservoirs ( $M_1$ ) passiert, Stopp ist bei der unteren Markierung ( $M_2$ ).
- Notieren Sie auch die **Raumtemperatur**.
- Leeren Sie das Viskosimeter aus (umdrehen) und **säubern** Sie es anschließend mit destilliertem Wasser, indem Sie es mehrmals ansaugen und durch die Kapillare strömen lassen. Anschließend lassen Sie das Viskosimeter einfach kopfüber in ein Becherglas austropfen und trocknen.
- Tragen Sie Ihren Wert in die **Tabelle** an der Tafel ein. Wenn alle Teams gemessen haben, übertragen Sie die gesamte Tabelle in Ihr Messprotokoll und erstellen ein Konzentrations-Viskositäts-Diagramm.

#### Aufgaben:

Für 2 verschiedene Konzentrationen pro Team soll die Viskosität bei Zimmertemperatur bestimmt werden. Die Messwerte aller Teams werden gesammelt und grafisch dargestellt.