

VII Physikalische Größen von Fluiden

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	2
	2.1 Beschreibung von Fluiden	2
	2.2 Physikalische Größen	3
	2.2.1 Dichte	3
	2.2.2 Dynamische Viskosität	3
3	Versuchsteil	5
	3.1 Versuchsaufbau	5
	3.2 Versuchsplanung	8
	3.3 Rücksprache vor Versuchsbeginn	9
	3.4 Versuchsdurchführung und -auswertung	10
	3.5 Bewertung der Versuche	11
4	Was war wichtig?	12
5	Formelzeichen	13
6	Literaturverzeichnis	14

VII Physikalische Größen von Fluiden

1 Einleitung

Fluide ist der Sammelbegriff für Flüssigkeiten und Gase.

Von Flüssigkeiten kennt man als physikalische Größe hauptsächlich die Dichte. Von Gasen ist selbst diese weitgehend unbekannt.

Bekannt dagegen sind einige Eigenschaften der Fluide, beispielsweise daß sie die Form der Behälter annehmen, in denen sie sich befinden. Desweiteren weiß man, daß die Größe Dichte, aber auch das Verhalten der Fluide sich mit der Temperatur ändert.

Überlegt man etwas weiter, fällt einem als physikalische Größe, insbesondere für Flüssigkeiten, die Viskosität ein. Es ist bekannt, daß Fette und Öle mit zunehmender Temperatur dünnflüssiger werden. Beispiele hierfür sind Margarine oder Bratfette aus der Küche und Motorenöle im Kraftfahrzeug.

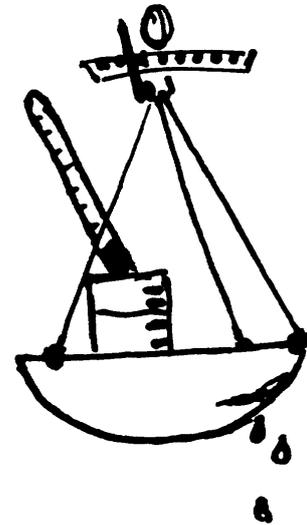
Die Verfahrenstechnik handelt von der Umwandlung von Stoffen. Bei diesen Stoffen handelt es sich auch um Flüssigkeiten oder Gase. Diese Stoffe können durch ihre physikalische Größen beschrieben werden. Dadurch erhält man ein Maß für die Qualität der verfahrenstechnischen Prozesse, bei denen die Stoffe hergestellt oder verändert wurden.

Welches sind nun die wichtigsten physikalischen Größen der Stoffe? Das müssen sinnvollerweise die Größen sein, die das Verhalten der Stoffe am besten beschreiben.

Diese physikalischen Größen werden in diesem Praktikumsversuch als erstes festgelegt.

Dann wird gezeigt, wie diese Größen definiert sind und wie sie gemessen werden.

Durch Messung der Größen lernen wir nicht nur die dazu erforderlichen Vorgehensweisen, darüber hinaus können wir die Ergebnisse zum Beurteilen der Qualität anderer Versuche verwenden.



2 Grundlagen

2.1 Beschreibung von Fluiden

Als Fluide bezeichnet man allgemein Flüssigkeiten und Gase, weil diese mehrere gemeinsame Eigenschaften haben.

Vom atomaren Aufbau her bestehen Flüssigkeiten und Gase aus Molekülen oder Atomen, die sich nebeneinander befinden.

Bei den Flüssigkeiten sind diese kleinsten Teilchen dicht beisammen und berühren sich, sind jedoch leicht gegeneinander beweglich. Man kann sich die Flüssigkeiten im Modell als einen Haufen kleiner Kugeln vorstellen. Zwischen den einzelnen Teilchen bestehen dabei Anziehungskräfte, die jedoch relativ gering sind.

Aus diesem Aufbau erklären sich auch die Eigenschaften von Flüssigkeiten. Diese nehmen immer die Form des Behälters oder Gefäßes an, in dem sie sich befinden. Würde man im Modell die kleinen Kugeln in ein Gefäß beliebiger Form geben, würden diese auch immer den ganzen Raum auffüllen und somit als Ganzes die Form des Gefäßes annehmen.

Bei Gasen hingegen sind zwischen den kleinsten Teilchen praktisch keine Anziehungskräfte vorhanden. Auch sie nehmen von der Form her den Raum des Gefäßes ein, der ihnen zur Verfügung steht. Da die Anziehungskräfte jedoch so gering sind, nehmen sie jeweils den ganzen Raum ein, sie dehnen sich beliebig aus. Das erkennt man recht gut an Gerüchen, die sich durch Räume verbreiten.

Diese unterschiedlichen Anziehungskräfte zwischen den Teilchen der Flüssigkeiten und der Gase führen dazu, daß die Dichten in beiden Aggregatzuständen sich deutlich unterscheiden. Die Dichte ist eine wichtige Größe zum Beschreiben eines Fluids.

Eine weitere wichtige Größe ist die sogenannte Viskosität. Diese beschreibt den Zusammenhalt zwischen den einzelnen Teilchen der Flüssigkeit oder des Gases.

Stoffe können flüssig oder gasförmig vorliegen. Ihr Aggregatzustand hängt von der Temperatur (und dem Druck) ab. Durch Temperaturänderungen können die Aggregatzustände ineinander übergeführt werden. Unter Betrachtung der vorhergehenden Überlegungen ergibt sich daraus, daß die Eigenschaften Dichte und Viskosität ebenfalls von der Temperatur abhängen.

2.2 Physikalische Größen

2.2.1 Dichte

Während die Dichte bei Gasen eher von geringer Bedeutung ist, stellt sie bei Flüssigkeiten oft eine wichtige physikalische Größe dar.

Sie läßt sich auf mehrere Arten messen.

Da sie als das Verhältnis aus der Masse zu dem Volumen eines Körpers definiert ist, kann sie durch Messen dieser beiden Größen berechnet werden. Die Bestimmung des genauen Volumens ist kein Problem, weil Flüssigkeiten immer die Form des Gefäßes annehmen, in dem sie sich befinden.

Eine weitere Meßmethode besteht darin, daß man einen Körper mit genau definierter Masse bzw. Dichte in die Flüssigkeit eintaucht.

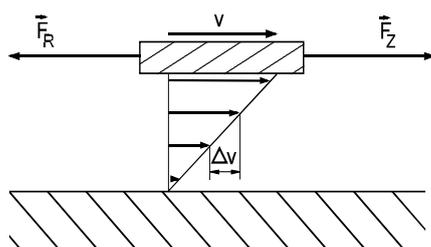
- Sinkt der Körper auf den Grund, ist die Dichte der Flüssigkeit geringer.
- Schwimmt hingegen der Körper, ist die Dichte der Flüssigkeit höher.

Je nachdem, wie tief der Körper in die Flüssigkeit eintaucht, läßt sich bei bekannter Geometrie des Körpers durch Bilanzieren der Kräfte, die auf den Körper wirken, die Dichte der Flüssigkeit berechnen.

Nach diesem Meßprinzip funktionieren die sogenannten Aräometer, auch Senkwaagen genannt.

2.2.2 Dynamische Viskosität

Zieht man einen Gegenstand, beispielsweise eine ebene Platte, parallel zu einer ebenen Wand (Abb.VII-1) durch eine Flüssigkeit [*Kuchling*], so spürt man einen Widerstand.



Diese Reibungskraft F_R , die gegen die Bewegungsrichtung wirkt, ist die resultierende Kraft aus der inneren Reibung der Flüssigkeit.

Abb. VII-1: Bewegte Platte

Das Maß für die innere Reibung ist die dynamische Viskosität η (oder Zähigkeit) der Flüssigkeit. Sie wird in Pascal-Sekunden (Pa·s) gemessen, eine veraltete Einheit sind Poise (1 P = 0,1 Pa·s).

Je größer die dynamische Viskosität einer Flüssigkeit ist, desto größer ist die Reibungskraft, die überwunden werden muß, um einen Gegenstand durch die Flüssigkeit zu bewegen. In gleicher Weise wird bei großer dynamischer Viskosität mehr Kraft benötigt, um die Flüssigkeit durch eine Leitung oder ein Bauteil hindurchzubewegen.

Neben den Flüssigkeiten haben auch Gase eine dynamische Viskosität, die allerdings wesentlich geringer (Zahlenwerte ca. 10^2 bis 10^6 mal kleiner) ist.

Die dynamische Viskosität nimmt bei Flüssigkeiten mit steigender Temperatur sehr stark ab, bei Gasen hingegen nimmt sie mit steigender Temperatur zu.

Messung der dynamischen Viskosität

Die dynamische Viskosität kann gemessen werden, indem man einen Körper über eine festgelegte Strecke durch ein Fluid bewegt und die dazu erforderliche Kraft und Zeit mißt.

Läßt man nun beispielsweise eine Kugel durch ein Fluid fallen, wirken auf diese Kugel folgende Kräfte (Abb.VII-2):

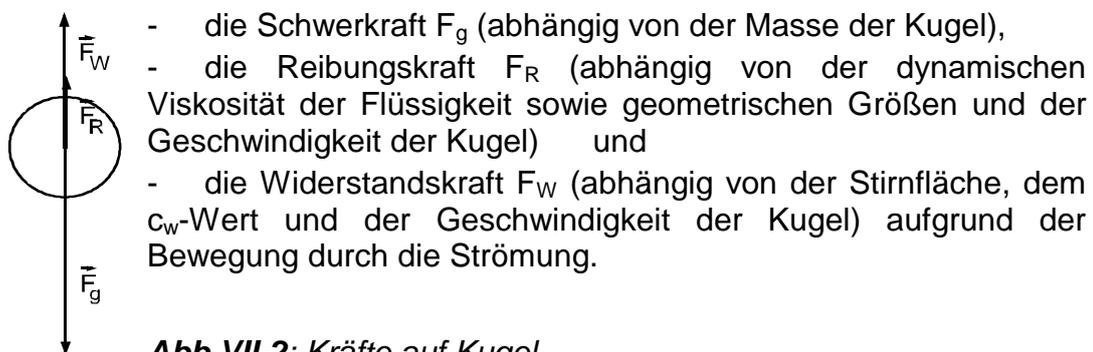


Abb. VII-2: Kräfte auf Kugel

Aus dem Gleichgewicht dieser drei Kräfte ergibt sich für die Kugel nach kurzer Beschleunigungsstrecke eine konstante Geschwindigkeit.

Die meisten physikalischen Größen wie Masse und geometrische Abmaße der Kugel sowie c_w -Wert können einmalig gemessen und/oder aus Tabellen bestimmt werden.

Letztendlich läßt sich alleine durch Messen der Fallgeschwindigkeit der Kugel anschließend die jeweilige dynamische Viskosität der Flüssigkeit berechnen.

Die Viskositäten von Flüssigkeiten werden nach diesem Meßprinzip bestimmt, beispielsweise in einem sogenannten Kugelfall-Viskosimeter.

3 Versuchsteil

3.1 Versuchsaufbau

Zur Versuchsdurchführung werden unter anderem Aräometer und ein Kugelfall-Viskosimeter verwendet.

Aräometer

Ein Aräometer oder eine Senkwaage (Abb.VII-3) ist eine Art Glasstab mit Markierungen und einer Füllung aus Bleikugeln.

Die Masse des Aräometers ist genau festgelegt. Beim Eintauchen in eine Flüssigkeit wirken auf das Aräometer die Gewichtskraft und die Auftriebskraft. Je nach Dichte der Flüssigkeit sinkt das Meßgerät mehr oder weniger tief in diese Flüssigkeit ein. An der Markierung, die gerade auf dem Niveau der Flüssigkeit ist, kann man direkt deren Dichte ablesen.

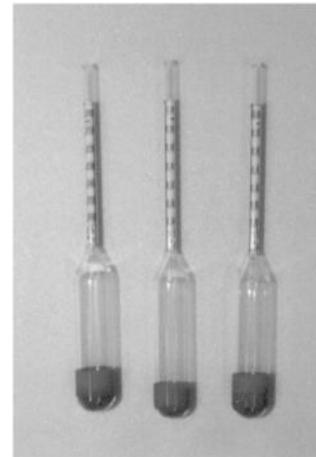
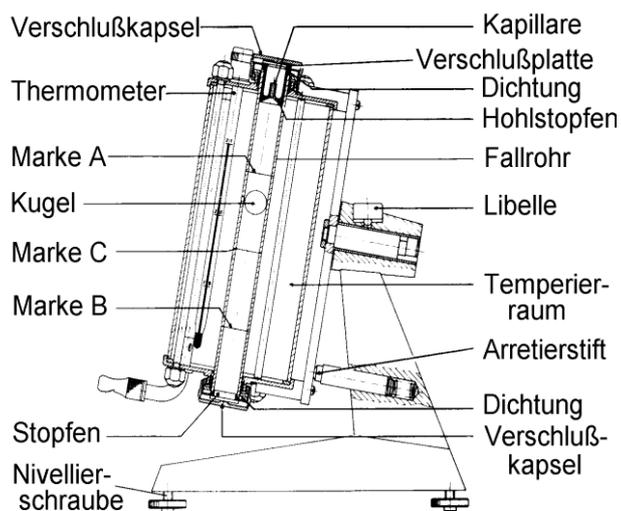


Abb.VII-3: Aräometer

Kugelfall-Viskosimeter

Das Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler [*Haake*] (Abb.VII-4) besteht im wesentlichen aus einem Fallrohr (aus Borosilicatglas) und einem Satz Kugeln (Abb.VII-5).



Am Fallrohr sind im Abstand von 100 mm zwei Ringmarken (A und B), die die Meßstrecke begrenzen.

Exakt in der Mitte dazwischen liegt eine weitere Ringmarke (C). Das Fallrohr ist um 10° gegen die Senkrechte geneigt.

Abb.VII-4: Aufbau des Kugelfall-Viskosimeters

Zwischen dem Fallrohr und dem äußeren Glasmantelrohr ist ein Temperierraum. An diesem sind zwei Anschlüsse fixiert, die Messungen bei bestimmten Temperaturen ermöglichen. Hierzu werden Heiz- oder Kühlflüssigkeit durch den Temperierraum gepumpt.

Fallrohr und Glasmantelrohr sind schwenkbar und mittels eines Arretierstiftes vertikal unter je 180° fixierbar.

Das Fallrohr ist an den Enden mit je einem Stopfen verschlossen, von denen der obere eine Kapillare und einen Hohlraum hat. Dieser Verschluss verhindert Druckänderungen in der Flüssigkeit oder Lufteintritt beispielsweise bei Temperaturänderungen.

Das Fallrohr muß bis etwa 20 mm unterhalb des Rohrendes mit Flüssigkeit aufgefüllt werden. Hierzu werden ca. 40 ml Flüssigkeit benötigt. Diese muß luftblasenfrei sein und ihr Niveau sollte etwas oberhalb der Kapillare liegen.



Abb.VII-5: Kugelfall-Viskosimeter und Kugeln

Die dynamische Viskosität berechnet sich für die Fallstrecke von 100 mm nach folgender Formel:

$$\eta = t \cdot (\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot K \quad (\text{VII.1})$$

η : Dynamische Viskosität in Pa·s

t : Zeit in s

ρ_K : Dichte der Kugel in kg/m³

ρ_{Fl} : Dichte der Flüssigkeit in kg/m³

K : Konstante in Pa·m³/kg

Die Konstante K berücksichtigt alle weiteren Größen, die den Vorgang beeinflussen und nicht einzeln in die Berechnungsformel eingehen.

Dem Meßgerät liegt ein Set mit sechs unterschiedlichen Kugeln (Abb.VII-6) bei. Je nach dynamischer Viskosität der Flüssigkeit soll eine Kugel gewählt werden, deren Fallzeit durch die Flüssigkeit vernünftig meßbar ist. (Sehr kurze Zeiten führen zu hohen Ungenauigkeiten bei der Zeitnahme, sehr lange Zeiten ziehen die Versuchsdurchführung unnötig in die Länge).

Kugel-Werkstoff	Nr.	D in m	m in kg	ρ_K in kg/m^3	K in $\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}$
Borosilicatglas	1	$15.81\cdot 10^{-3}$	$4.603\cdot 10^{-3}$	$2.224\cdot 10^3$	$0.00726\cdot 10^{-6}$
Borosilicatglas	2	$15.66\cdot 10^{-3}$	$4.460\cdot 10^{-3}$	$2.219\cdot 10^3$	$0.0550\cdot 10^{-6}$
Vacodil 42 (Nickel-Eisen)	3	$15.62\cdot 10^{-3}$	$16.277\cdot 10^{-3}$	$8.153\cdot 10^3$	$0.0788\cdot 10^{-6}$
Vacodil 42 (Nickel-Eisen)	4	$15.25\cdot 10^{-3}$	$15.115\cdot 10^{-3}$	$8.140\cdot 10^3$	$0.553\cdot 10^{-6}$
1.4034	5	$14.28\cdot 10^{-3}$	$11.767\cdot 10^{-3}$	$7.713\cdot 10^3$	$4.7\cdot 10^{-6}$
1.4034	6	$11.12\cdot 10^{-3}$	$5.567\cdot 10^{-3}$	$7.734\cdot 10^3$	$33.4\cdot 10^{-6}$

Abb. VII-6: Eigenschaften der Kugeln des Viskosimeters

3.2 Versuchsplanung

- Welche physikalischen Größen müßt Ihr ermitteln?
- Wie bestimmt Ihr diese Größen?
- Überlegt Euch genau, wie Ihr bei der Versuchsdurchführung vorgehen werdet. Notiert die wichtigsten Schritte in kurzen Sätzen.
- Schreibt die Formeln heraus, die Ihr braucht.
- Bereitet Tabellen vor, in die Ihr während der Versuchsdurchführung die Meßwerte eintragt. Seht dabei Platz vor um die Meßwerte mit Hilfe der Formeln auswerten und die Ergebnisse ebenfalls eintragen könnt.
- Was braucht Ihr alles zur Versuchsdurchführung?

3.3 Rücksprache vor Versuchsbeginn

Besprecht den Versuch mit dem Lehrer.

Zeigt ihm die geplante Vorgehensweise zur Versuchsdurchführung und die Tabellen zum Eintragen der Meßwerte und Berechnen der Ergebnisse.

3.4 Versuchsdurchführung und -auswertung

Vorsicht beim Umgang mit dem Aräometer:

Ist die Dichte der Flüssigkeit geringer als der entsprechende Meßbereich des Aräometers, sinkt das Meßgerät auf den Grund des Behälters.

Das Aräometer ist aus Glas und die schweren Bleikugeln liegen ganz unten. Durch zu festes Aufprallen auf den Boden des Behälters, in dem die Flüssigkeit ist, **bricht das Aräometer**.

Beachtet den Meßbereich des Aräometers und taucht es vorsichtig in die Flüssigkeit ein.

Achtet darauf, daß das Kugelfall-Viskosimeter eben ("im Wasser") steht. Die Luftblase der Libelle muß in der Mitte sein.

Zum Ausrichten sind die Nivellierschrauben an den Stellfüßen zu verstellen.

Vorsicht bei der Handhabung der Waage:

Es handelt sich um eine Präzisionswaage, die sehr empfindlich ist. Deshalb ist sie auch **sehr teuer**.

Die Drucksensoren zum Wiegen befinden sich an den vier Ecken unterhalb der Auflage. Nicht von oben auf diese Platte drücken!

Beim Transport darf die Waage nur von unten angehoben und getragen werden.

Achtet darauf, daß die Waage eben ("im Wasser") aufgestellt ist. Die Luftblase der Libelle muß in der Mitte sein.

Zum Ausrichten sind die Nivellierschrauben an den Stellfüßen zu verstellen.

Während der Versuchsdurchführung sind die Meßwerte in die vorbereiteten Tabellen einzutragen.

! Vergeßt nach der Versuchsdurchführung nicht das **Auswerten** der Meßwerte.

Das Meßprotokoll ist mit der Versuchsauswertung abzugeben.

3.5 Gemeinsame Bewertung der drei Versuche Extraktion, Destillation und Physikalische Größen von Fluiden

Für die drei Praktikumsversuche ist ein gemeinsamer Bericht zu erstellen und dem Lehrer abzugeben. Beim Bericht sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Die Versuchsprotokolle (notierte Messwerte bei der Versuchsdurchführung) und Versuchsauswertungen von jedem Versuch sind abzugeben.
- Wie könnt Ihr allgemein die Qualität Eurer Extraktion überprüfen?
Was ergibt diese Überprüfung für Eure Messungen?
- Wie könnt Ihr allgemein die Qualität Eurer Destillation überprüfen?
Was ergibt diese Überprüfung für Eure Messungen?
- Bei den 6 bisher durchgeführten Versuchen ging es darum, Rapsöl zu gewinnen. Wie hoch war der Ölgehalt der Rapssamen?
- Versuche den Einfluß des Zerkleinerungsvorganges auf die gewonnene Ölmenge heraus zu finden.
- Alle eingestellten **Versuchparameter** und alle **Ergebnisse** sind **übersichtlich** darzustellen.
- Alle Ergebnisse sind mit den Ergebnissen aller anderen Schülergruppen (der **ganzen** Klasse) zu **vergleichen**. Vergleichen beinhaltet selbstverständlich Interpretieren, nach Erklärungen suchen und Schlüsse ziehen.
- Überlegt Euch (und haltet die Früchte Eurer Überlegungen schriftlich fest ☺) welche Faktoren zu falschen Ergebnissen führen konnten? (Fehlersuche).
- Zu allen Versuchen sind jeweils eine Versuchskritik und Verbesserungsvorschläge zu verfassen.

4 Was war wichtig?

- Erklärt in eigenen Worten die Begriffe "Dichte" und "dynamische Viskosität".
- Wie verändert sich die dynamische Viskosität einer Flüssigkeit bei sinkender Temperatur? Gebt ein Beispiel für eine Anwendung, bei der man dies beobachten kann.

5 Formelzeichen

Symbol	Bezeichnung	Einheit
K	Konstante	$\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}$
t	Zeit	s
η	Dynamische Viskosität (Zähigkeit)	$\text{Pa}\cdot\text{s}$ (= P)
ν	Kinematische Viskosität	m^2/s (= St)

6 Literaturverzeichnis

- [*Haake*] Haake Mess-Technik GmbH u. Co
Betriebsanleitung für Kugelfall-Viskosimeter und Viskosaage
Bestell-Nr. 800-0137
Druck-Nr. 101.2051-10.79
Dieselstr.6
D-7500 Karlsruhe 41
- [*Kuchling*] Kuchling, Horst:
Taschenbuch der Physik
Verlag Harri Deutsch 1981
Thun und Frankfurt/Main
ISBN 3 87144 097 3
- [*TUM*] Technische Universität München
Verwendungen von Rapsöl zu Motorentreibstoff und als
Heizölersatz in technischer und umweltbezogener Hinsicht
"Gelbes Heft" Nr.40 (Kurzfassung)
RB-Nr. 08/92/05
Mai 1992