

Viskosität

Katrin Fleischmann, WS 12/13

Gliederung

| | | |
|---|--|---|
| 1 | Messung von Viskosität..... | 1 |
| 2 | Intermolekulare Wechselwirkungen..... | 3 |
| 3 | Definition von Viskosität | 4 |
| 4 | Newtonsche vs. Nicht-Newtonsche Fluide | 4 |

Einstieg: Viskosität von selbstgemachtem und gekauftem Ketchup

Ketchup, der perfekte Partner für den armen Studenten. Eine lang haltbare Soße, die jedem Gericht, sei es Schnitzel, Pommes oder Nudeln... das gewisse Etwas verleiht. Aber Ketchup hat den Ruf ungesund zu sein, darum wurde ein „gesundes“ selbstgemachtes Ketchup hergestellt. (Aus: Wasser, Tomatenmark, Zucker, Balsamico, Zimt-Pulver, Muskat, Pfeffer, Nelken-Pulver und Salz) Der Geschmack des selbstgemachten soll mit dem gekauften Tomaten-Ketchup verglichen werden, dazu gibt man beide Soßen auf deinen Teller mit Pommes. Erstaunlicherweise fließt das selbsthergestellte Ketchup ganz leicht aus der Flasche während das gekaufte Ketchup erst nach kräftigem Schütteln auf den Teller tropft. Warum weist das selbstgemachte Ketchup eine andere Dickflüssigkeit/Viskosität auf als das gekaufte und was ist eigentlich Viskosität? Dies soll im Folgenden geklärt werden.

1 Messung von Viskosität

Mit Hilfe eines Rheometers kann die Viskosität einer Flüssigkeit ermittelt werden. Die zu testende Flüssigkeit wird zwischen eine stationäre und rotierende Platte gegeben. (s. Abb. 1) Dabei wird berechnet welche Schubkraft (Rotationskraft) nötig ist um eine Scherung (Verzerrung) der Flüssigkeit zu ermöglichen.

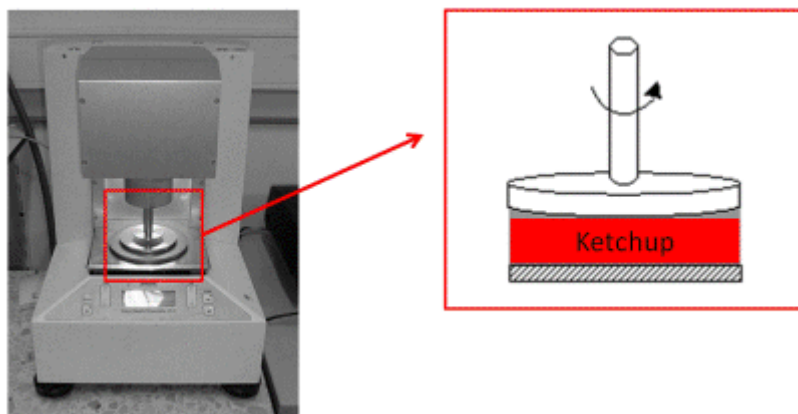


Abb. 1: Rheometer zur Messung von Viskosität [1].

Mittels einer schematischen Darstellung der Vorgänge in einem Rheometer, kann man zeigen, wie sich die Viskosität einer Flüssigkeit berechnen lässt:

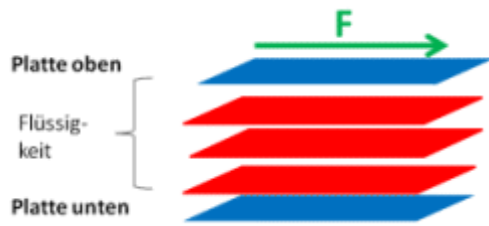


Abb. 2: Die Scherkraft „F“ wirkt auf eine ruhende Flüssigkeit.



Abb. 3: Auswirkung der Scherkraft auf eine Flüssigkeit.

Unter Scherung versteht man eine parallele Verformung/Verzerrung eines flüssigen Körpers. Dabei wird die Flüssigkeit als ein Objekt angesehen, das aus vielen einzelnen Schichten besteht, die bei der Einwirkung einer Scherkraft „F“ in eine vorgegebene Richtung verschoben werden. (s. Abb. 2, Abb. 3) Die nötige Kraft pro Fläche, die auf die bewegte Platte mit der Fläche „A“ zur Verzerrung der Flüssigkeit ausgeübt werden muss, wird als Schubkraft „τ“ bezeichnet:[2]

$$\frac{F}{A} = \tau$$

Die Viskosität nimmt außerdem einen wesentlichen Einfluss darauf mit welcher Geschwindigkeit „v“ die Flüssigkeit verzerrt werden kann. Dabei ergeben sich unterschiedliche Geschwindigkeiten der einzelnen Schichten. Die Schicht, die der bewegten Platte am nächsten ist, weist die höchste Geschwindigkeit, etwa die der Platte, auf. Die Schicht, die der stationären Platte am nächsten ist, weist die geringste Geschwindigkeit auf. Die Geschwindigkeit der dazwischenliegenden Platten nimmt somit in diesem Beispiel von oben nach unten ab. (s. Abb. 2, Abb. 4)

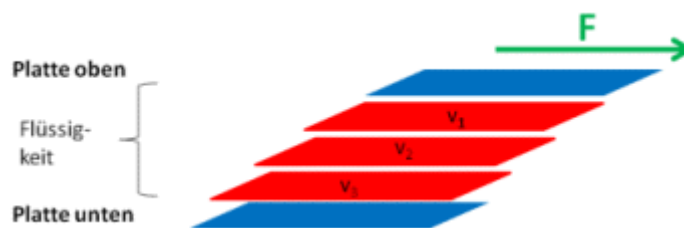


Abb. 4: Die Geschwindigkeiten der einzelnen Flüssigkeitsschichten sind hier von oben nach unten abnehmend.

Ein weiterer Faktor, der bei der Berechnung der Viskosität einer Flüssigkeit zu beachten ist, ist die Menge der Flüssigkeit bzw. der Abstand der beiden Platten. Dieser beeinflusst zusätzlich die Geschwindigkeiten der einzelnen Flüssigkeitsschichten. Dabei gilt: umso größer der Abstand Δx umso geringer ist die Geschwindigkeit der unteren Schichten. [2] (s. Abb. 5)

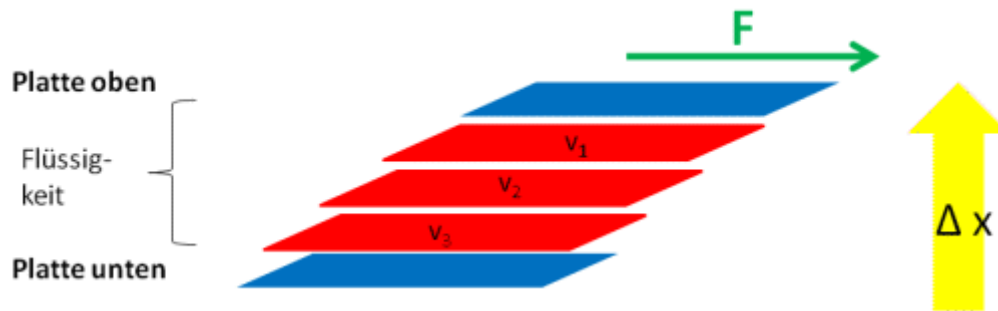


Abb. 5: Das Volumen der Test-Flüssigkeit beeinflusst die Schubkraft.

Diese Abhängigkeit der Geschwindigkeiten der einzelnen Schichten in Bezug zur Menge bzw. Dicke der Flüssigkeitsprobe wird als Scher-Geschwindigkeit „ $\dot{\gamma}$ “ bezeichnet. [2]

$$\frac{v}{h} = \dot{\gamma}$$

Da die Schubkraft „ τ “ direkt proportional zur Scher-Geschwindigkeit „ $\dot{\gamma}$ “ ist, ergibt sich folgende Formel:

$$\tau = \eta * \dot{\gamma}$$

Der Proportionalitätsfaktor spiegelt hierbei die **dynamische Viskosität** „ η “ wieder. (Einheit: Ns/m^2) [3]

Die **kinematische Viskosität** „ ν “ beschreibt dagegen nur die innere Reibung eines Stoffes, da sie unabhängig von der Dichte eines Stoffes ist. (Einheit: m^2s^{-1}) [2]

2 Intermolekulare Wechselwirkungen

Bis jetzt wurde geklärt, wie man Viskosität misst und welche physikalischen Kräfte zum Tragen kommen, jedoch wurde noch nicht aufgedeckt, warum eine Flüssigkeit in Schichten unterteilt werden kann und warum sich unterschiedliche Geschwindigkeiten zwischen den Schichten ausbilden.

Der Grund hierfür sind Zwischenmolekulare Wechselwirkungen, wie beispielsweise Wasserstoff-Brücken, van-der-Waals-Kräfte oder Dipol-Dipol-Wechselwirkungen.

In Tab. 1 sind unterschiedliche Stoffe, die verschiedene intermolekulare Wechselwirkungen und somit auch Viskositäten aufweisen, aufgelistet.

| Substanz | mPa*s |
|-------------------------------------|--------------------|
| Wasser (5°C) | 1,52 |
| Wasser (10°C) | 1.297 |
| Wasser (20°C) | 1,00 |
| Wasser (25°C) | 0,891 |
| Diethylether | 0,240 |
| n-Pentan (25°C) | 0,224 |
| Hexan | 0,320 |
| Heptan | 0,410 |
| Octan | 0,538 |
| Nonan | 0,711 |
| Decan | 0,920 |
| Dodecan | 1,52 |
| Ethanol | 1,19 |
| Glas | > 10 ¹⁸ |
| Flüssiges Helium (⁴ He) | ~ 0 |

Tab. 1: Viskosität verschiedener Stoffe [2].

Die Tabelle oben zeigt, dass Stoffe, die starke zwischenmolekulare Wechselwirkungen aufzeigen auch eine höhere Viskosität haben, beispielsweise zeigt Wasser (25°C) (Wasserstoff-Brücken) eine höhere Viskosität als n-Pentan (25°C) (van-der-Waals-Kraft). Der Grund dafür ist, wie bereits erwähnt, dass die stärkeren intermolekularen Wechselwirkungen eine Verzerrung der Flüssigkeit erschweren und deshalb Wasser einen höheren Wert an Viskosität/Zähflüssigkeit aufweist.

Des Weiteren zeigt die Tabelle, dass die Temperatur eine maßgebliche Rolle in Bezug auf die Viskosität spielt. Dabei gilt umso höher die Temperatur, umso höher ist auch die „Eigenbeweglichkeit“ der Moleküle, die folglich die intermolekularen Wechselwirkungen schwächt und deshalb zu einer Herabsetzung der Viskosität des Stoffes führt.

3 Definition von Viskosität

All diese Erkenntnisse, lassen folgende Definition für Viskosität zu:

„Viskosität beschreibt die **Zähigkeit** von Flüssigkeiten und ist ein **Maß** für den **inneren Widerstand**, den eine Flüssigkeit einer **Deformation entgegensetzt**.“ [4]

4 Newtonsche vs. nicht-newtonsche Fluide

Unter Newtonschen Fluiden versteht man Flüssigkeiten, die bei einer bestimmten Temperatur immer die gleiche Viskosität aufweisen, unabhängig davon mit welcher Schubkraft, bzw. Scher-Geschwindigkeit sie bearbeitet werden. Nicht-Newtonsche Fluide verändern dagegen ihre Viskosität mit der Veränderung von Schubkraft oder Scher-Geschwindigkeit.

Ein klassisches Beispiel für ein nicht-Newtonsches Fluid ist ein Gemisch aus Stärke und Wasser. Dabei wird einer bestimmten Wasser-Menge solange Stärke hinzugegeben, bis sich ein weißer Brei bildet, der bei kräftigen schnellen Bewegungen einen kurzzeitigen festen Zustand annimmt, der mit dem Ende der Kraft-Ausübung wieder verschwindet, d. h. wieder flüssig wird.

Die Graphik (Abb. 6) zeigt, wie sich die Veränderung von Schubkraft und Scher-Geschwindigkeit auf die Viskosität von bestimmten Flüssigkeiten auswirken kann. Der lineare Verlauf, der im Ursprung startet, stellt ein Newtonsches Fluid (z. B. Wasser, Luft, einige Öle) dar, während die anderen drei Graphen nicht-Newtonsche Fluide präsentieren.

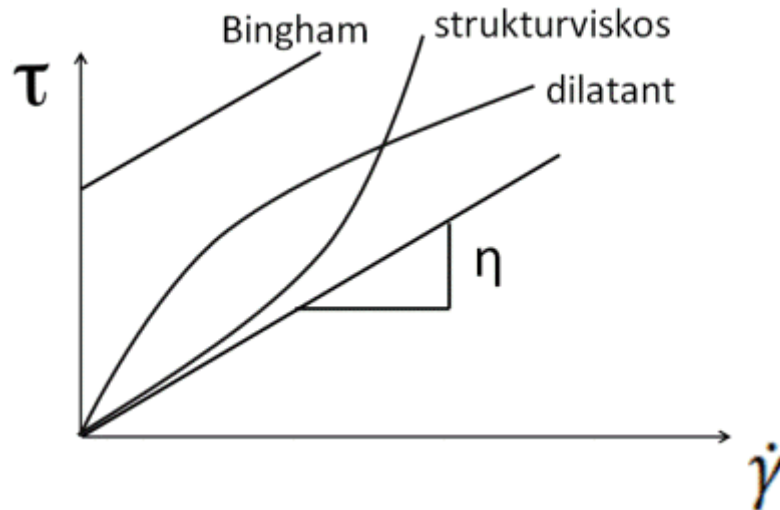


Abb. 6: Das Verhalten Newtonscher (linearer durch den Ursprung laufender) und nicht-Newtonsche Fluide (Bingham, strukturviskoser, dilatanter Fluide) aufgetragen in Abhängigkeit zur Schub-Spannung und Scher-Geschwindigkeit.

Das Bingham Fluid ist dadurch gekennzeichnet, dass ab einer gewissen Mindest-Spannung die Viskosität auf einen gewissen konstanten Wert sinkt, wie es beispielsweise bei dem Ketchup der Fall ist. Strukturviskose Fluide dagegen zeigen bei sehr hohen Scherwerten eine abnehmende Viskosität, dieses Verhalten kann man beispielsweise bei Blut beobachten, da durch die sehr hohen Scherkräfte die zunächst sperrigen Blutzellen in eine Richtung gebracht werden, d. h. sie nehmen dann weniger Raum ein und somit nimmt die Viskosität der Flüssigkeit deutlich ab. Dilatante Fluide, wie die Dispersion aus Stärke und Wasser, weisen bei hohen Scherkräften auch hohe Viskositätswerte auf. [3]

Zusammenfassung:

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für die unterschiedlichen Viskositäten des selbst hergestellten und des gekauften Ketchups unterschiedliche intermolekulare Wechselwirkungen verantwortlich sind, bzw. durch die nicht exakt gleiche Herstellungsweise nicht unbedingt die gleichen Teilchen miteinander in Wechselwirkung treten und es so zu einem unterschiedlichen Verhalten bzgl. des Fließ-Verhaltens kommt.

Zur Viskosität allgemein ist zusammenfassend zu sagen, dass:

- Viskosität ein Maß für die Zähflüssigkeit einer Substanz ist
- Viskosität meist als dynamische Viskosität angegeben (Einheit: Ns/m^2) wird
- Viskosität abhängig von der Temperatur ist
- nur Newtonsche Fluide bei gleicher Temperatur konstante Viskositätswerte aufweisen (sind unabhängig von der Geschwindigkeit)

Quellen:

1. <http://www.chemie.tu-dortmund.de/fb03/de/Forschung/PC/Rehage/Apparaturen/A08/index.html>; [12.10.2012]
2. <http://de.wikipedia.org/wiki/Viskosit%C3%A4t>; [13.10.2012]
3. <http://lp.uni-goettingen.de/get/text/4979>; [16.10.2012]
4. <http://www.schweizer-fn.de/>; [16.10.2012]