

Praktikumsversuch Rheologie

Bachelor

Einleitung

Rheologie ist die Wissenschaft, die sich mit der Verformung und dem Fließverhalten von Stoffen beschäftigt. Unter anderem wird dabei anhand von Spannungs-Dehnungs Beziehungen untersucht, wie ein Material auf eine mechanische Kraft reagiert. Die meisten Materialien sind entweder flüssig oder fest. In diesem Kurs möchten wir Ihnen aber zeigen, dass alle Materialien durch sowohl eine elastische als auch eine viskose Komponente beschrieben werden können. Wie hoch der Anteil der viskosen, bzw. elastischen Antwort eines Materials ist, hängt dabei von der Deformationsrate ab, sowie der Stärke der Deformation. Die Theorie der Viskoelastizität liefert eine gute Beschreibung der mechanischen Eigenschaften eines Materials. Im Bereich der linear visko-elastischen Antwort eines Materials, kann das Verhalten des Materials durch entsprechende Netzwerke aus Federn und Dämpfungszyklindern dargestellt werden. In diesem Praktikum sollen Sie lernen, mit Hilfe eines Plate-Rheometers (hier wird das Material zwischen zwei Platten geschert), die viskoelastischen Eigenschaften eines Materials zu bestimmen.

Grundlagen

Hookescher Festkörper

Die einfachste Form der Deformation, ist wenn ein Material entlang einer Achse durch Anlegen einer Kraft deformiert wird (**Abb.1**). Man misst die relative Dehnung, $\varepsilon = \Delta L/L$, als Funktion der angelegten Kraft F_{\perp} , die senkrecht auf die Fläche A wirkt. Dies wird als "Stress/Belastung", $\sigma_{\perp} = F_{\perp}/A$ bezeichnet.

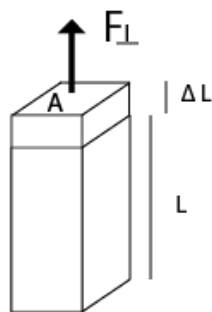


Abb. 1: Hookescher Festkörper. Ein Material wird entlang einer Achse durch Anlegen der Kraft F_{\perp} die senkrecht auf die Fläche A wirkt deformiert. Dies führt zu der relativen Dehnung, $\varepsilon = \Delta L/L$.

Robert Hooke stellte fest, dass für viele Materialien eine lineare Beziehung zwischen der Kraft und der Streckung vorliegt (*ut tensio, sic vis*, "as the extension, so the force"; *Lectures de Potentia Restitutive*, 1678) und daher gilt:

$$\sigma_{\perp} = E \cdot \varepsilon$$

Die Proportionalitätskonstante E wird elastisches Modul oder auch 'Youngs-Modul' genannt. Materialien, die eine lineare Spannungs-Dehnungs Beziehung aufweisen

werden ‚hookesch‘ genannt, und verhalten sich wie eine elastische Feder, $F = k \cdot \Delta L$, mit der Federkonstanten, $k = A \cdot E / L$.

Scherung ist die Deformation eines Materials, wobei zwei parallele Oberflächen gegeneinander geschert werden (**Abb. 2**). Indem die obere Platte durch die Kraft F_{\parallel} parallel verschoben wird, wird die Probe unterhalb der Fläche A geschert.

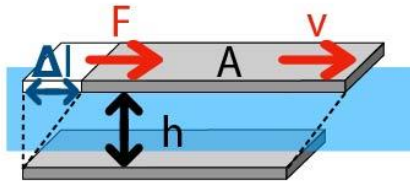


Abb. 2: Zwei-Platten-Model der Scherrheometrie:

Die Probe (blau) wird zwischen den beiden Platten (grau) mit dem Abstand h eingebracht. Die obere Platte (Scherfläche A) wird mit der Scherkraft F bewegt. Die effektive Geschwindigkeit v resultiert aus dem Widerstand der Probe. Dies führt zu einer Verschiebung Δl der unteren Platte.

Man misst den Scherwinkel $\gamma = \Delta x / y$, ($\gamma = \Delta l / h$) d.H. die Verschiebung über die Plattentrennung y , als Funktion der Scherspannung.

$$\sigma_{\parallel} = G \cdot \gamma$$

Das entsprechende Modul G wird Schermodul genannt. Für ein homogenes Material sind das Youngsmodul und das Schermodul verknüpft durch:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

Dabei ist μ die Poisson-Zahl $\mu = (\Delta d / d) / (\Delta L / L)$, und gibt das Verhältnis der relativen lateralen Verdünnung des Materials zu der relativen Verlängerung an.

Bitte beachten sie, dass Ausdehnung und Scherung linear elastische Verformungen darstellen, die als Federartiges Verhalten beschrieben werden können. Die Verformungen sind proportional zur Kraft, sobald diese angelegt wird und ändert sich nicht solange die Belastung konstant bleibt. Das Material kehrt sofort zum Ausgangszustand zurück, sobald die Kraft wegfällt. Die Energie wird gespeichert und vollständig zurückgewonnen.

Nicht-lineare Verformung

Wie gerade erklärt wird das linear-elastische Verhalten eines Materials durch das Hookesche Gesetz beschrieben. Allerdings zeigen viele Materialien wie z.B. Gummi ein nicht-lineares Verhalten. Hier ist die Belastung nicht linear mit der Verformung verknüpft. Die sogenannte Gummielastizität beschreibt das mechanische Verhalten von Polymeren, vor allem solchen die Quervernetzungen aufweisen. Die Verformung eines Polymers führt zu einer Verlängerung der Makromoleküle, bzw. Segmenten davon, welche in den Ausgangszustand reversibel zurückkehren, sobald die Belastung

wegfällt. Wenn die Verformung irreversible ist, liegt eine plastische Verformung vor (**Abb. 3**).

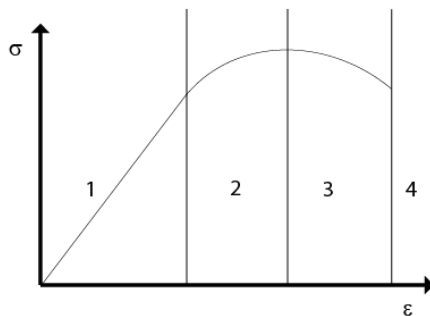


Abb. 3: Spannungs-Dehnungsdiagramm: 1) Linear-elastische Verformung (Hookesches Gesetz). 2) Elastische Verformung (nicht-linear). 3) Plastische Verformung (Einschnürung). 4) Bruch.

Newtonsche Flüssigkeit

Der Widerstand zu Bewegung, wenn Flüssigkeiten verformt werden, wurde zuerst von Sir Isaac Newton beschrieben. Er nannte es *lack of slipperiness* zwischen den Flüssigkeitspartikeln in seinem Buch *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Die notwendige Kraft F um eine konstante Bewegung zweier relativ zueinander bewegten Platten zu erzeugen, ist proportional zu der relativen Geschwindigkeit, u , zwischen den beiden Oberflächen.

$$F = A \cdot \eta \cdot \frac{u}{h}$$

Diese Beziehung definiert die dynamische Viskosität, η . Da das Verhältnis der Geschwindigkeit zum Plattenabstand gleich der Verformungsgeschwindigkeit ist $\dot{\gamma} = du/dy = u/h$, gilt für die Gleichung der Viskosität:

$$\sigma = \eta \dot{\gamma}$$

Die Viskosität ist ebenfalls abhängig von der Konzentration einer Substanz:

$$\eta = \eta_0 + [\eta]c$$

mit η_0 der Viskosität von Wasser, $[\eta]$ der intrinsischen Viskosität der Substanz und c der Konzentration der Substanz.

Für Polymere gilt diese lineare Beziehung nicht. Nur für geringe Polymerkonzentrationen findet man eine lineare Abhängigkeit der Viskosität von der Konzentration. Erhöht man die Konzentration weiter, findet man einen starken Anstieg der Viskosität. Diese Beobachtung ist erklärbar durch das Verhalten der Moleküle in Lösung. In verdünnten Lösungen, sind die Polymerketten getrennt voneinander und liegen als einzelne Schleifen vor. Mit steigender Konzentration überlappen die Polymere und verschlaufen sich miteinander. Die Konzentration bei der dieses Verhalten auftritt nennt man die Überlappungskonzentration c^* für Polymerlösungen. Ist diese Konzentration erreicht, steigt die Viskosität dramatisch an (**Abb. 4**).

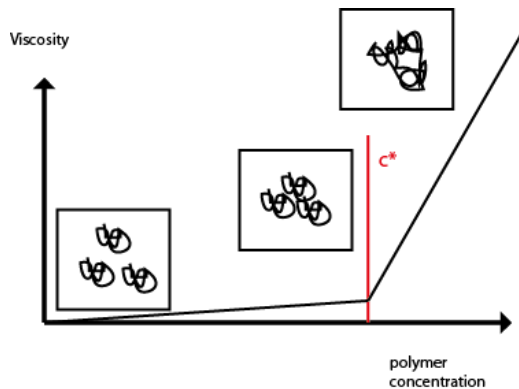


Abb. 4: Viskosität steigt nicht-linear mit der Konzentration an in Polymerlösungen. Die rote Linie zeigt die Überlappungskonzentration c^* an.

Nicht lineares Fließverhalten

In Abhängigkeit der Verformungszeit kann sich ein Material unterschiedlich verhalten. Elastizität bedeutet, dass die Substanz sofort in den Ursprungszustand zurückkehrt. Eine viskose Verformung ist dagegen zu beobachten, wenn die Form des Objektes sich aufgrund der angelegten Kraft ändert. Die Substanz ist dann plastisch verformt. Eine Flüssigkeit kann verschiedene Arten von Fließverhalten aufweisen (**Abb. 5**) die im Folgenden diskutiert werden.

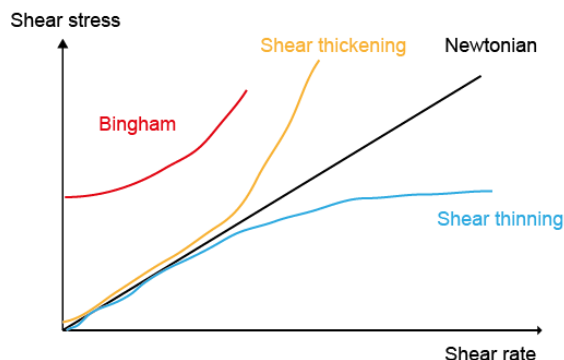


Abb. 5: Nicht-lineare Antwort Flüssigkeitsähnlicher Substanzen. Eine Newtonsche Flüssigkeit zeigt eine lineare Antwort. Daher ist die Viskosität unabhängig von der Scherrate. Wenn die molekulare Struktur einer Flüssigkeit mit steigender Scherrate zusammenbricht, spricht man von Scherverdünnung. Das Gegenteil ist Scherverdickung. Eine Bingham Plastik hat eine Fließspannung. Für hohe Scherraten ist die Viskosität der Bingham Plastik unabhängig von der Scherrate.

Newtonsches Fließverhalten

Newtonsche Flüssigkeiten zeigen eine direkte Proportionalität der Scherrate und des Scherstress (**Abb. 5**). Daher ist die Viskosität unabhängig von der Scherrate für einen großen Scherratenbereich. Beispiele: Wasser, Öl, Glycerol oder Honig.

Scherverdünnung

Scherverdünnung tritt auf, da die molekulare Struktur der Probe, aufgrund hydrodynamischer Kräfte die durch die Scherung erzeugt werden, zerstört wird. Daher führt eine Erhöhung der Scherrate nur zu einer unterproportionalen Erhöhung des Scherstress und die Viskosität nimmt mit der Scherrate ab. Beispiele: Duschgel, Joghurt, Zahnpasta, Marmelade.

Scherverdickung

Die Ursache für Scherverdickung ist eine Größenzunahme der Probe (Volumenzunahme/Dilatanz) oder eine Zunahme der Anzahl der strukturellen Untereinheiten durch die Scherung. Erhöhen der Scherrate führt daher zu einer überproportionalen Erhöhung des Scherstress. Daher steigt die Viskosität mit der Scherrate an. Beispiel: Stärkelösung.

Fließspannung

Manche Materialien 'fließen' erst, wenn ein bestimmter Grenzwert erreicht ist. Solange dieser Grenzwert nicht überschritten ist, verhält sich die Substanz wie ein Feststoff. Die Viskosität ist also abhängig von der Scherrate (Bingham-Plastik).

Thixotropes Verhalten (Zeitabhängig)

Thixotropes Verhalten liegt vor, wenn die Viskosität eines Materials mit der Zeit abnimmt, während die Scherrate konstant ist. Bei geringen Kräften sind die Moleküle in der Flüssigkeit miteinander verknüpft. Bei hohen Scherraten oder andauernden Scherstress werden diese Inter-Molekül Bindungen gebrochen. Thixotropie kann gemessen werden, indem man die Viskosität bei steigender Scherrate misst und direkt im Anschluss mit abnehmender Scherrate (Abb. 6). Wenn die erste Kurve größere Werte für die Viskosität aufweist als die zweite Kurve, ist die Substanz thixotroph (Abb. 6). Beispiele: Farbe, Salatdressing, Weicher Käse. Das Gegenteil des thixotropen Verhaltens wird anti-thixotroph genannt. Hier steigt die Viskosität mit der Zeit bei einer konstanten Scherrate. Das liegt an intermolekularen Interaktionen die mit der Zeit eine größere Reibung erzeugen, wenn ein konstanter Scherstress angelegt wird. Beispiel: Druckertinte.

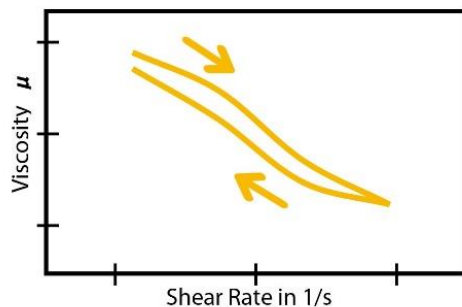


Abb. 6: Thixotropes Verhalten. Thixotropie kann gemessen werden, indem man die Viskosität bei steigender Scherrate und direkt im Anschluss mit abnehmender Scherrate misst. Wenn die erste Kurve größere Werte für die Viskosität aufweist als die zweite Kurve, ist die Substanz thixotroph.

Lineare Visko-Elastizität

Bei linearer Visko-Elastizität zeigt ein Material sowohl elastisches als auch viskoses Verhalten, aber es wird lediglich eine lineare Antwort des Materials in beiden Anteilen berücksichtigt. Diese Kombination wird am besten durch sogenannte Äquivalenzmodelle beschrieben, indem elastische und viskose Komponenten durch Kombinationen von Federn und Dämpfungszyklindern dargestellt werden.

Der Hookesche Festkörper wird, wie bereits erklärt, durch eine Feder beschrieben. Da wir uns im Folgenden mit der Scherverformung beschäftigen, wird die Materialeigenschaft der Feder durch das Schermodul G dargestellt.

Eine Newtonsche Flüssigkeit wird schematisch durch einen Dämpfungszyylinder dargestellt. Hierbei handelt es sich um einen mit Flüssigkeit gefüllten Zylinder. In diesen Zylinder ist ein Presskolben eingetaucht, der die Wände nicht berührt (Abb. 7). Das Verschieben des Presskolbens ist irreversibel und gleicht daher der Verformung einer Flüssigkeit. Die aufgebrachte Energie wird vollständig verbraucht, d.H. in Wärme umgewandelt. Daher kann der Presskolben nicht zum ursprünglichen Zustand zurückkehren. Die Verformungsrate ist proportional zur angewandten Kraft.

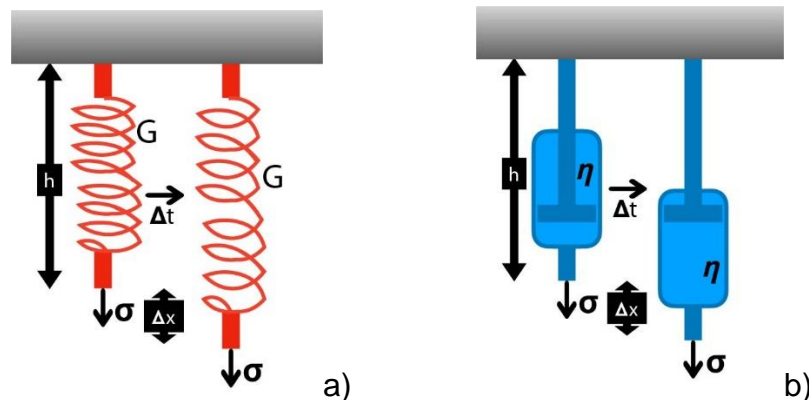


Abb. 7: Der Hookesche Festkörper wird durch eine Feder (a) und die viskose Flüssigkeit durch einen Dämpfungszyylinder (b) dargestellt. a) Die Feder als schematisches Modell für die elastische Komponente einer Probe. Sie hat das Schermodul G und die Anfangshöhe h . Das Ergebnis der Kraft σ über die Zeit Δt ist die Verlängerung Δx . b) Der Dämpfungszyylinder als schematisches Modell für das Newtonsche Fließverhalten. Er ist gefüllt mit einer Flüssigkeit der Viskosität η und hat eine Ursprungshöhe h . Das Ergebnis der Kraft σ über die Zeit Δt ist die Verschiebung Δx .

Maxwellsches Model der Viskoelastizität

James Maxwell argumentiert in seinem Artikel „On the Dynamical Theory of Gases“, dass ein Material, wenn es verformt wird, gleichzeitig Flüssigkeits- als auch Festkörperreaktionen vollziehen kann. Ein Material dieser Art, wird durch einen Dämpfungszyylinder und eine Feder beschrieben, die in Serie angeordnet sind (**Abb. 8**). Wenn eine äußere Kraft angelegt wird und wieder weggenommen wird, wird ein Teil der Verformungsenergie genutzt um wieder in den ursprünglichen Zustand zurückzukehren, während der andere Anteil verloren ist, also in Wärme umgewandelt wurde. Reelle Materialien werden als visko-elastisch bezeichnet, da Sie beide Komponenten aufweisen.

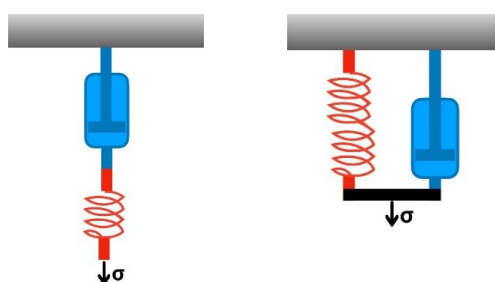


Abb. 8: Maxwell und Voigt Modell. Links) Ein Dämpfungszyylinder und eine Feder in Serie (Maxwell Modell). Rechts) Ein Dämpfungszyylinder und eine Feder parallel angeordnet (Voigt Modell).

Im Maxwell Modell ist der Stress σ , dem beide Komponenten ausgesetzt werden (viskos und elastisch) gleich $\sigma = \sigma_\eta = \sigma_G$, während die Gesamtbelastung γ die Summe der Teilbelastungen der flüssigen und festen Anteile darstellt: $\gamma = \gamma_\eta + \gamma_G$. Daher ist die Verformungsgeschwindigkeit im Maxwell Modell eine lineare Superposition:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{d}{dt} (\gamma_\eta + \gamma_G) = G^{-1} \frac{d\sigma}{dt} + \eta \sigma$$

Für den speziellen Fall einer unverzüglichen Dehnungsverformung, z.B. ein sprunghaftes Ansteigen der Belastung, $\gamma(t) = \gamma_0 \Theta(t)$, wird die Differentialgleichung durch die folgende Zeitabhängige Stressfunktion gelöst:

$$\sigma(t) = G\gamma_0 \cdot \exp(-t/\lambda)$$

Im Maxwell Modell wird also ein Druck aufgrund der elastischen Komponente aufgebaut, dieser Druck nimmt aber exponentiell ab mit der Relaxationszeit $\lambda = G/\eta$ aufgrund des Anteiles der viskosen Komponente. Für große Zeitskalen verhält sich das Maxwell Modell wie eine Flüssigkeit. Daher werden visko-elastische Flüssigkeiten oft in der Form des Maxwell Modells dargestellt.

Voigt Modell

Das Voigt Modell wird verwendet um visko-elastische Festkörper zu beschreiben, die nach einer Verformung wieder in den Ausgangszustand zurückkehren. Hierbei sind ein Dämpfungszylinder und eine Feder parallel angeordnet (**Abb. 8**). Diese Anordnung ermöglicht eine vollständige Rückkehr in den Ursprungszustand.

Visko-elastische Eigenschaften

Um die visko-elastischen Eigenschaften eines Materials zu untersuchen, wird oft ein Oszillationstest durchgeführt. Hier wird die Substanz einer Spannung oder Belastung einer Frequenz von ca. 0.1 Hz to 10 Hz ausgesetzt. Die Belastungs- oder Spannungsantwort wird dann gemessen.

Wir nehmen eine oszillatorische Verformung an.

$$\gamma(t) = \gamma_0 \sin(\omega t)$$

Die sich daraus ergebende Spannung hat dieselbe Frequenz, aber zeigt abhängig vom Material eine Phasenverschiebung:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \sin(\omega t + \delta)$$

Drückt man die phasen-verschobene Oszillation in sin und cos Termen aus, zeigt die Spannung einen Anteil der in Phase mit der Verformung ist und einen zweiten Anteil der in Phase mit der Verformungsgeschwindigkeit ist $\dot{\gamma}(t) = \gamma_0 \cos(\omega t)$. Per Definition folgt dann:

$$\sigma(t) = \sigma_0 (\cos(\delta) \sin(\omega t) + \sin(\delta) \cos(\omega t)) = G \cdot \gamma(t) + \eta \cdot \dot{\gamma}(t)$$

Diese Beziehung kann auch dargestellt werden als ein Spannungsdehnungsverhältnis:

$$\sigma(t) = \gamma_0 (G' \sin(\omega t) + G'' \cos(\omega t)) = G^* \cdot \gamma(t)$$

wobei das Schermodul, G^* , nun eine komplexe Größe darstellt, mit einem reellen und imaginären Anteil:

$$G^* = G' + iG'' = \frac{\sigma_0}{\gamma_0} (\cos(\delta) + i \sin(\delta))$$

G' ist das Speichermodul und G'' das Verlustmodul. Das Speichermodul beschreibt die elastische Komponente des Materials. Der Name kommt daher, dass eine elastische Verformung mechanische Energie speichern kann. Das Verlustmodul repräsentiert die Viskosität $\eta = G''/\omega$ und gibt den Verlust von Energie in viskosen Flüssigkeiten an. Das Verhältnis von Verlustmodul zu Speichermodul ist der sog. Verlustfaktor, $\tan(\delta) = G''/G'$. Für einen elastischen Festkörper ist der Verlustfaktor 0, für eine viskose Flüssigkeit ∞ . Ein Verlustfaktor von 1 beschreibt eine Substanz, die am Übergang zwischen dem flüssigen und festen Zustand steht. Dieser Übergang wird auch der Gelierpunkt genannt.

Schematische Diagramme der Scherverformung γ mit der resultierenden Stressantwort σ sind in **Abb. 9** gezeigt. Eine perfekt elastische Substanz (Hookescher Festkörper) hat einen Phasenwinkel von 0 zwischen Verformungsinput und der Stressantwort. Eine ideale Flüssigkeit zeigt bei einer oszillatorischen Verformung eine Stressantwort σ , die proportional zu Verformungsgeschwindigkeit $\dot{\gamma}$ ist. Der Phasenwinkel ist dann $\delta = \pi/2$.

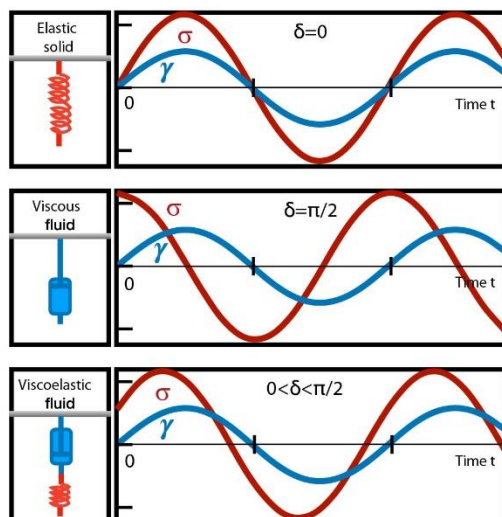


Abb. 9: Oszillatorische Verformung.

Schematische Diagramme der Verformungsgeschwindigkeit γ (blaue Kurve) mit der resultierenden Stressantwort σ (rote Kurve).

Phasenwinkel $\delta = 0$, elastischer Festkörper.

Phasenwinkel $\delta = \frac{\pi}{2}$, viskose Flüssigkeit.

Phasenwinkel zwischen $\delta = 0$ und $\frac{\pi}{2}$, viskoelastische Flüssigkeit.

Grundlagen des Experimentes

Das Gerät das verwendet wird um die visko-elastischen Eigenschaften eines Materials zu bestimmen ist ein Rheometer. Es gibt verschiedene Arten von Rheometern, die je nach zu untersuchender Substanz oder Fragestellung verwendet werden können. In diesem Versuch werden wir ein Rotationsrheometer verwenden (**Abb. 10**). Bei diesem Gerät wird die Probe zwischen 2 Platten aufgetragen. In dem ein Drehmoment an die obere Platte angelegt wird (Erzeugen einer Scherspannung), wird die daraus resultierende Deformation, Verformungsgeschwindigkeit oder Schergeschwindigkeit gemessen.

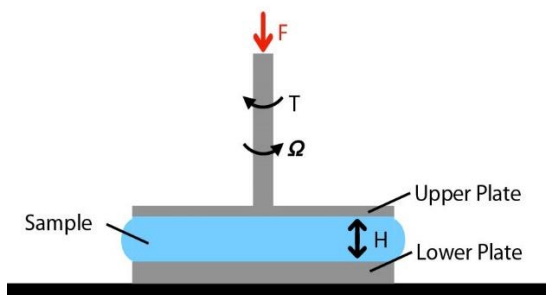


Abb. 10: Das Rotations- Platten-Platten-Rheometer. Die Probe (blau) ist zwischen zwei Platten (grau) aufgetragen. Die angelegte Winkelgeschwindigkeit Ω führt zu einem Drehmoment T unter Berücksichtigung der gesamten Normalkraft F , die auf die fixierte Platte wirkt.

In diesem Versuch benutzen wir das KINEXUS ultra+ Rheometer von Malvern Panalytical. Ein Handout das beschreibt wie das Gerät benutzt wird, befindet sich neben dem Rheometer im Labor. Während des Kurses werden Sie verschiedene rheologische Experimente durchführen, die im Folgenden beschrieben werden.

Viskosität versus Scherrate

Bei diesem Experiment wird die Viskosität als Funktion der Scherrate gemessen. Der Größenbereich der Scherrate beträgt dabei in der Regel 10^0 to 10^2 (1/s). Um die Probe zu charakterisieren, kann diese Abhängigkeit durch ein Potenzgesetz beschrieben werden. Die Viskosität einer Newtonschen Flüssigkeit hängt nicht von der Scherrate ab (**Abb. 11**). Ein Gel zeigt eine Steigung von $-1/2$ und ein visko-elastischer Festkörper zeigt eine Steigung von -1 .

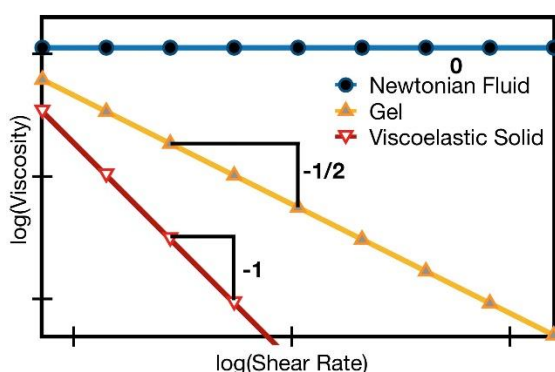


Abb. 11: Das Potenzgesetz als erste Näherung für die Beschreibung einer Probe. Newtonsche Flüssigkeit (blau), Gel (gelb) und visko-elastischer Festkörper (rot).

Oszillatorisches Experiment: Amplituden-Versuch

Hierbei wird die Probe einer oszillatorischen Scherverformung ausgesetzt. Mit der Zeit wird die Amplitude der Scherverformung erhöht, wobei die Frequenz konstant bleibt (**Abb. 12**). Gemessen werden das Speichermodul G' und das Verlustmodul G'' (**Abb. 12**). Ein konstantes Plateau von G' (oder G'') zeigt eine lineare visko-elastische Region an. Ab einer gewissen Scherrate sinkt G' . Ab hier ist die Beziehung zwischen der Scherrate und G' nicht mehr linear und die Probe wird weicher. Im Falle $G'' > G'$ im linearen Bereich, zeigt das dominierende Verlustmodul das Verhalten einer Flüssigkeit an. Im Falle $G' > G''$, liegt ein Feststoff oder eine Gelartige Substanz vor. Falls $G' = G''$ kreuzt, beginnt die Probe zu ‚fließen‘. Das ist der Fließpunkt. Dieses Experiment ist notwendig um den linear visko-elastischen Bereich zu ermitteln. Die dazugehörige Scherdehnung wird für den Frequenz-Versuch verwendet.

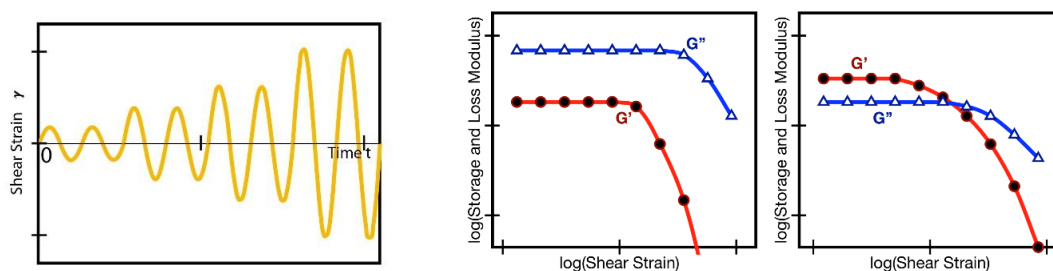


Abb. 12: Amplituden Versuch: Links: Die angelegte Scherverformung steigt schrittweise mit der Zeit an bei einer konstanten Frequenz. Mitte: Exemplarisches Ergebnis des Amplitudenversuchs für eine visko-elastische Flüssigkeit. Rechts: Exemplarisches Ergebnis für ein Gel.

Oszillatorisches Experiment: Frequenz-Versuch

Es ist ebenfalls möglich, die Frequenz zu verändern und die Stärke der Scherverformung konstant zu halten (**Abb. 13**). Die Stärke der Scherverformung sollte wie oben beschrieben aus dem Bereich der linear visko-elastischen Antwort gewählt werden. In diesen Experiment werden ebenfalls G' und G'' ermittelt. Im Falle das bei geringen Frequenzen $G' < G''$, ist die Probe eine visko-elastische Flüssigkeit. In einigen Fällen kreuzt $G' = G''$ bei hohen Frequenzen. Dann ist eine sog. kritische Belastung erreicht. Falls $G' > G''$ unabhängig von der Frequenz ist, verhält sich die Probe wie ein Gel (hat also mehr Struktur). Für hohe Frequenzen kann G'' größer als G' werden. Dies ist wieder der Fließpunkt.

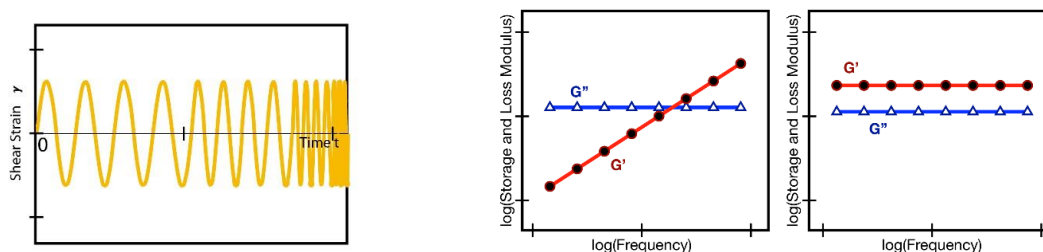


Abb. 13: Frequenz-Versuch. Links: Die angelegte Frequenz wird schrittweise mit der Zeit erhöht bei einer bestimmten Stärke der Scherverformung. Mitte: Exemplarisches Ergebnis für eine visko-elastische Flüssigkeit. Rechts: Exemplarisches Ergebnis für eine gelartige Substanz.

Für Polymere wie der Planzengummi Guaran kreuzt G' G'' bei einer bestimmten Frequenz. An diesem Kreuzungspunkt ändert sich das Verhalten des Polymeres von einem visko-elastischen zu einem rein elastischen. Man kann vier Bereiche für eine Polymerlösung ermitteln (**Abb. 14**).

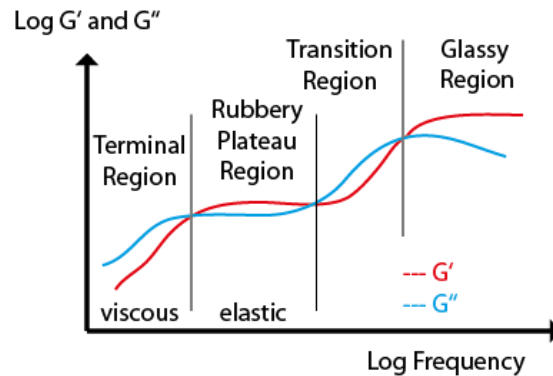


Abb. 14: Das Visko-elastische Spektrum einer Polymerlösung

Ihre Experimente

Eine Anleitung für die Benutzung des Gerätes finden Sie neben dem Gerät im Labor. Sie werden zwei verschiedene Experiment-Reihen durchführen:

Wasser-Saccharose

Saccharose (Sucrose) ist ein Disaccharid aus den Einzelzuckern Fruktose und Glukose.

- Stellen Sie die folgenden Lösungen her: 0%, 10%, 20% und 40% Saccharose-Wasser Lösung.
- Messen Sie die Viskosität in Abhängigkeit der Scherrate (Programm: Shear Rate Table for Waterlike Samples, wählen Sie 10^0 to 10^2 (1/s) Scherrate, 25°C, 5 Messpunkte pro Dekade, Tskip nach 1 min)

Beantworten Sie die folgenden Fragen in Ihrem Protokoll:

- Erstellen Sie einen Graphen Viskosität versus Scherrate (doppelt logarithmisch). Bestimmen Sie die Potenzgesetz Beziehung anhand der Steigung.
- Erstellen Sie einen Graphen der Scherspannung gegen die Scherrate (doppelt logarithmisch) Welches Fließverhalten liegt vor?
- Erstellen Sie einen Graphen der Viskosität gegen die Saccharosekonzentration. Welche Abhängigkeit finden Sie? Bestimmen Sie die intrinsische Viskosität.
- Interpretieren Sie Ihre Ergebnisse. Sind diese so, wie Sie es erwartet haben?

Guaran

Guaran, ein Pflanzengummi, ist ein Polymer. Es handelt sich hierbei um ein Galactomannan Polysaccharid, das aus Guarbohnen gewonnen wird. Das Polymer wird als Verdickungsmittel oder Stabilisator in der Essens-, Erdöl-, oder Papierindustrie genutzt.

- Stellen Sie die folgenden Lösugen her: 0%, 0.25%, 0.5%, 1%, 1.4%, 2% und 2.3% Guaran-Wasser Lösung. Geben Sie das Pulver direkt in das Wasser und schütteln Sie sofort.
- Führen Sie die folgenden Experimente durch:
 - o A) Messen Sie die Viskosität in Abhängigkeit der Scherrate (Programm: Toolkit_V001 Shear rate Table, wählen Sie 10^0 to 10^2 (1/s) Scherrate, 25°C, 5 Messpunkte pro Dekade, Tskip nach 1 min)
 - o B) Frequenz Versuch (Programm: Toolkit_O002 Frequency table (strain control), wählen Sie 0.01 to 200 Hz, 25°C, 5 Messpunkte pro Dekade, Tskip nach 1 min, Stärke der Scherverformung 0.5%).

Beantworten Sie die folgenden Fragen in Ihrem Protokoll:

A)

- Erstellen Sie einen Graphen Viskosität versus Scherrate (doppelt logarithmisch). Bestimmen Sie die Potenzgesetz Beziehung anhand der Steigung.
- Erstellen Sie einen Graphen der Scherspannung gegen die Scherrate (doppelt logarithmisch) Welches Fließverhalten liegt vor?
- Erstellen Sie einen Graphen der Viskosität gegen die Guarankonzentration. Welche Abhängigkeit finden Sie? Bestimmen Sie die Überlappungskonzentration c^* .
- Interpretieren Sie Ihre Ergebnisse. Sind diese so, wie Sie es erwartet haben?

B)

- Tragen Sie G' and G'' gegen die Frequenz auf
- Bestimmen Sie die Frequenz bei der das Polymer vom viskosen zum elastischen Verhalten übergeht.
- Wie viele Bereiche des visko-elastischen Spektrums des Polymers konnten Sie bestimmen?
- Interpretieren Sie Ihre Ergebnisse. Sind diese so, wie Sie es erwartet haben?