

## Modulabschlussprüfung:

### “Einführung in die Rheologie”

### des Moduls MWT BSc 08 (Physikalische Chemie und Rheologie)

## Klausur

**Termin:** Do, 12.09.2024, 10:00 Uhr

**Ort:** Geb. 11.21, Seminarraum 1. OG

**Dauer:** 90 min

## Anmeldung / Voraussetzung

Anmeldung (in die Warteliste) erfolgt über das CAS System des KIT:  
7100005 Einführung in die Rheologie (Schriftliche Prüfung), SS 2023

**Unabhängig von der Anmeldung sind nur Personen teilnahmeberechtigt, die das Praktikum Rheologie erfolgreich, einschließlich der Protokollabgabe und –Anerkennung, abgeschlossen haben.**

## Prüfungstoff:

Vorlesung Einführung in die Rheologie (mit Skript)

Praktikum Rheologie (Skript, Lehreinheiten im Videostream, Seminare zu den einzelnen Versuchen)

Inhalt der Klausur:

zum großen Teil Wissensfragen (Ja/Nein-Fragen, Skizzen, Formeln),  
einige Anwendungsbeispiele mit Rechnungen

## Hilfsmittel:

Keine Hilfsmittel erlaubt außer: Stift und eigene „Formelsammlung“, **nur handschriftlich!**

Die „Formelsammlung“ darf nur 1 A4-Seite (einseitig) umfassen und muss **spätestens am Mi, 11.9., 12:00 Uhr**, versehen mit Name und Matrikelnummer, bei Herr Dingenouts (Geb. 11.23, R 314 oder bei Fr. Weiland (Geb.11.23, R 310) abgegeben werden!

Scan (nur als PDF, vollständige Seite und gute Qualität) per Email ([nico.dingenouts@kit.edu](mailto:nico.dingenouts@kit.edu)) ist ebenfalls möglich, die Formelsammlung darf nach dem Absenden nicht mehr verändert werden, dies wird vor Klausurantritt kontrolliert.

# Beispielaufgaben für Rheologieklausuren

## 1.1 Definieren Sie "Rheologie" in einem lehrbuchreifen Satz:

(1 Pt.)

Rheologie beschreibt die Reaktion eines Materials unter mechanischer Belastung oder "Rheologie ist die Lehre vom Fließen unter Belastung"

## 1.2 Was sind die SI-Einheiten von Spannung, G-Modul, Viskosität und Scherrate ?

(2 Pt.)

Spannung: Pascal (Pa) = N/m<sup>2</sup>

Module: Pascal (Pa) = N/m<sup>2</sup>

Viskosität: Pascalsekunden (Pa s)

Scherrate: 1/sec

## 1.3 Leiten Sie die SI-Einheit der Viskosität aus dem Newtonschen Gesetz her:

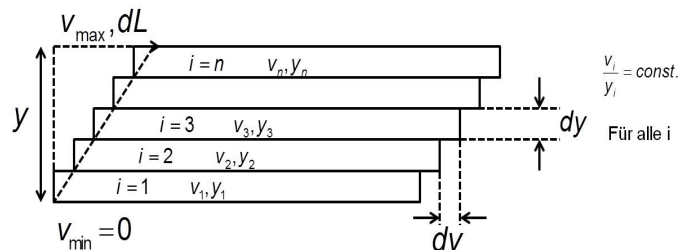
(2 Pt.)

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad \eta = \frac{F/A}{\dot{\gamma}} \quad [\dot{\gamma}] = \frac{1}{\text{sec}} \quad [\eta] = \frac{N}{m^2} \cdot s = Pa \cdot s$$

## 1.4 Skizzieren Sie das Schichtmodell für laminares Fließen und definieren Sie die Scherrate für ein lineares Geschwindigkeitsgefälle (laminaire Strömung).

(2Pt.)

Skizze:



Scherrate:  $\dot{\gamma} = \frac{v_{max}}{y} [s^{-1}]$

**1.5 Grundlegende Unterschiede Viskoelastischer Materie zu Elastischer Materie:**

**a) Im „klassischen“ Zugversuch wird die Dehnung variiert und die Spannung gemessen.**

**Die resultierende Auftragung ist dann die Spannung gegen die Dehnung.**

**Im Falle viskoelastischer Materie genügt es zur vollständigen Charakterisierung nicht, nur eine Größe zu variieren. Die Variation welcher beiden weiteren Größen ist bei viskoelastischer Materie ebenfalls wichtig?**

*(Allgemeine Formulierung bitte, keine Größen, die sich speziell auf Scherung oder oszillatorische Belastung beziehen)*

**b) Geben Sie für diese beiden Größen jeweils eine kurze Begründung, wieso diese Größen für die Charakterisierung viskoelastischer fester Materie wichtig sind.**

*(je ein-zwei stichwortartige Sätze genügen, keine Formeln)*

**c) Welche grundlegende Formel der Rheologie belegt eine der beiden Begründungen aus b) für den Fall der Scherung (Name und Formel)?**

*(6PT.)*

*a) 2 Pt. Viskoelastisch: Geschwindigkeit der Belastung, Temperatur*

*(2 PT, je 1 (auf Scherrate oder Frequenz 0 P., siehe Aufgabenstellung)*

*b) Gesamt 3 Pt:*

*Begründung Temperatur (2 Pt.):*

*- Eigenschaften (z.B. E-Modul hängen von Temperatur, auch bei Raumtemperatur)  
da man sich (oft) schon in der Nähe von  $T_g/T_m$  befindet*

*(viskoelastische Materie ist weiche Materie, d.h. hat niedrige Übergangstemperaturen)*

*(Beispiele aus Praktikum: Zugversuch an PMMA ändert sich drastisch schon bei 50-60°, Kriechen nimmt immer zu mit steigender Temperatur)*

*Bewertung: 1Pt auf Eigenschaften ändern sich deutlich mit der Temp, 2Pt wenn erwähnt wird, dass dies an der Nähe zu Übergangstemp liegt)*

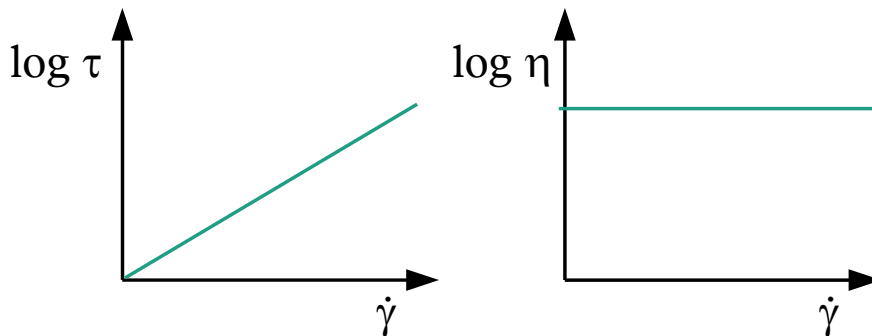
*Begründung Geschwindigkeit (1PT):*

*- Viskose Stoffe: Kraft ist geschwindigkeitsabhängig*

*c) 1 Pt, 0.5 auf Name, 0.5 auf Formel*

*Newton,  $\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$*

**1.6 Skizzieren Sie das Verhalten einer Newton'schen Flüssigkeit (Spannung gegen Scherrate und Viskosität gegen Scherrate):**  
(2 Pt.)



**1.7 Geben sie jeweils beide Gleichungen, für Spannung und für Viskosität an, einmal für Newton'sches Verhalten und einmal nach der HERSCHEL-BULKLEY-Beziehung wieder:**  
(3 Pt.)

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

(1 Pt auf Newton, 2Pt auf Herschel-Bulkey)

$$\eta = const.$$

*Newton*

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n$$

*Herschel-*

$$\eta = \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + k \cdot \dot{\gamma}^{n-1}$$

*Bulkley*

**1.8 Zug-Dehnungsdiagramm:**

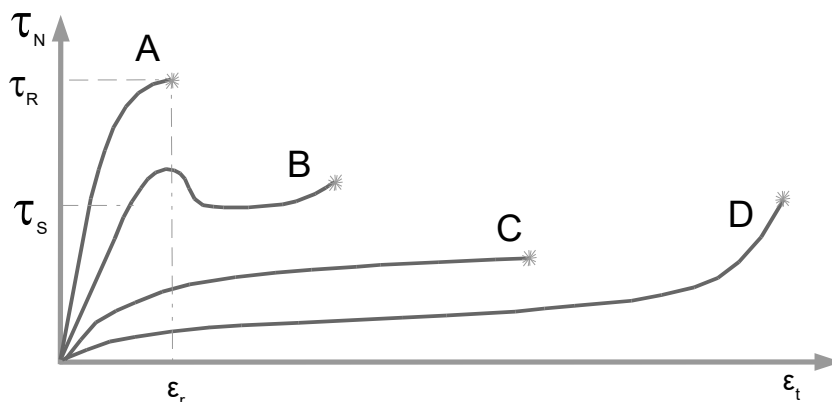
Zeichnen Sie ein schematisches Zug-Dehnungsdiagramm für Polymere.

Geben Sie hierin alle typischen Verläufe für Polymere wieder.

Geben Sie Streckgrenze  $\tau_s$ , Reißfestigkeit  $\tau_r$  und Reißdehnung  $\epsilon_r$  für eine der Kurven an den Achsen an.

Woraus erhält man das E-Modul ?

(5 Pt.)



2 Punkte für die 4 Verläufe

1 Punkt für die korrekte Beschriftung der Achsen ( $\tau + \epsilon$ , F gegen x oder  $\epsilon$  nur 0,5 Pt, da hier kein E-Modul erhältlich und auch  $\tau_s$  etc passt dann nicht wirklich)

1.5 Punkte für korrekte Einzeichnung der 3 Parameter  $\tau_s, \tau_R, \epsilon_R$

0.5 Punkte für Erläuterung oder erkennbare Einzeichnung des E-Moduls als Steigung im linearen Bereich)

### 1.9 Geben Sie das Neo-Hook'sche Gesetz an.

(1 Pt.)

$$\tau_N = \frac{E}{3} \cdot \left( \lambda - \frac{1}{\lambda^2} \right)$$

### 1.10 Viskositätsverhalten von GAS:

Argon hat eine Viskosität von 21  $\mu\text{Pas}$  bei 25°C. Was erwartet man bei 330°C?

a) Höhere oder niedrigere Viskosität?

b) welche Abhängigkeit von der Temp zeigen Gase (Proportionalität)

c) Rechnen Sie den Wert für 330°C aus. Grobes Runden bis 10% erlaubt.

(4 Pt.)

a) 1 Pt. Höhere

b) 1 Pt.  $\propto \sqrt{T}$

c) 2Pt.

0,5 Pt auf Umrechnen in Kelvin, 1Pt auf Rechnung, 0,5 Pt auf Einheit nicht vergessen

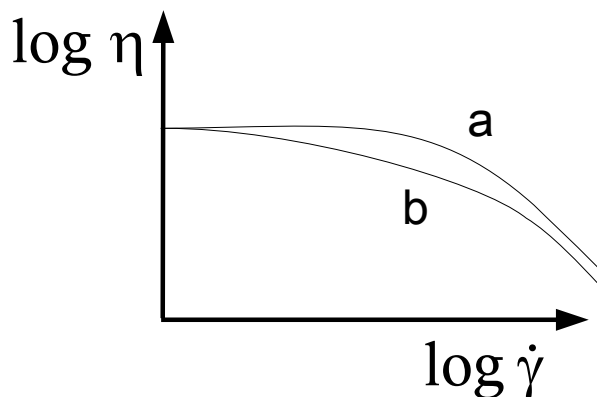
Umrechnen auf Kelvin

etwas runden 25 $\approx$ 300 K, 330 $\approx$ 600 K also Faktor 2 in T

, Abhängigkeit ist sqrt(T), also Faktor 1.41 = 29.61

oder 21 $\approx$ 20  $\sqrt{2}=1.41\approx 1.5$  Visko=30  $\mu\text{Pas}$

### 1.11 Betrachten Sie folgende Scherverdünnung. Gehen Sie davon aus, dass es sich um lineare Polymere aus identischem Monomer mit übereinstimmenden mittleren Molgewicht handelt.



Durch welche Eigenschaft unterscheiden sich die beiden Materialien?

Mit welchem Modell können Sie das Material a beschreiben (für Material b würden Sie ein Modell mit einem weiteren Parameter benötigen)? Geben Sie den Namen und die Definition des Modells an.

(3 Pt.)

Unterschied ("width of the knee") ist die Polydispersität der Polymere (1Pt.)

Modell ist das "Carreau"-Modell:  $\eta = \frac{\eta_0}{1 + (\beta \cdot \dot{\gamma})^c}$  oder  $\eta = \frac{\eta_0}{(1 + \beta \cdot \dot{\gamma})^c}$

(1Pt auf Name und 1 Pt. auf Gleichung)

**1.12 Aussagen zur Viskosität und Fließeigenschaften:**

(2 Pt.)

(Studenten erhalten 4 Fragen für 2 Punkte)

Das grundlegende Gesetz nach Ostwald–de-Waele ist notwendig für die Beschreibung von idealen Newtonschen Flüssigkeiten:

**JA / NEIN**

Für eine Newton'sche Flüssigkeit ist die Viskosität  $\eta$  unabhängig von der Schergeschwindigkeit: **JA / NEIN**

Die Viskosität von Flüssigkeiten hängt nicht nur von der Scherrate, sondern auch vom Druck und der Temperatur ab: **JA / NEIN**

Bei Gasen verringert sich die Viskosität mit steigender Temperatur: **JA / NEIN**

Unvernetzte Polymere zeigen viskoelastisches Verhalten: **JA / NEIN**

Newton'sche Flüssigkeiten zeigen Fließinstabilitäten bei hohen Scherraten: **JA / NEIN**

**1.13 Geben Sie die Namen der beiden einfachsten linearen viskoelastischen Modelle (  $G, \eta$  sind konstant) an.**

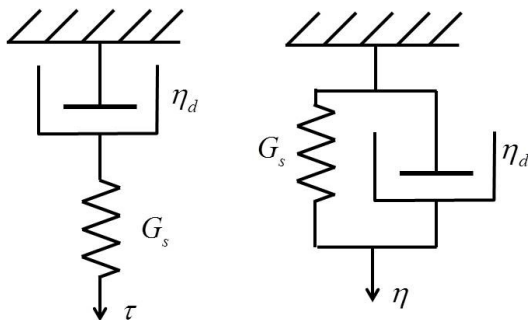
**Zeichnen Sie schematisch den Aufbau der beiden Modelle.**

**Sie haben zwei Systeme, ein Elastomer und ein thermoplastisches Polymer. Welches können Sie mit welchem der Modelle am besten beschreiben und wieso?**

(6 Pt.)

*Namen sind Maxwell-Modell und Kelvin-Voigt-Modell (1 Pt.)*

*Skizzen der beiden Modelle, links Maxwell, rechts Kelvin Voigt (2 Pt.)*



*Kelvin-Voigt für Elastomere, Maxwell für Thermoplaste (1Pt. für korrekte Zuordnung)*

*Begründung (2Pt.):*

*KV zeigt eine vollständige Rückstellung einer Auslenkung (elastisch), benötigt aber Zeit im Gegensatz zu einer idealen Feder*

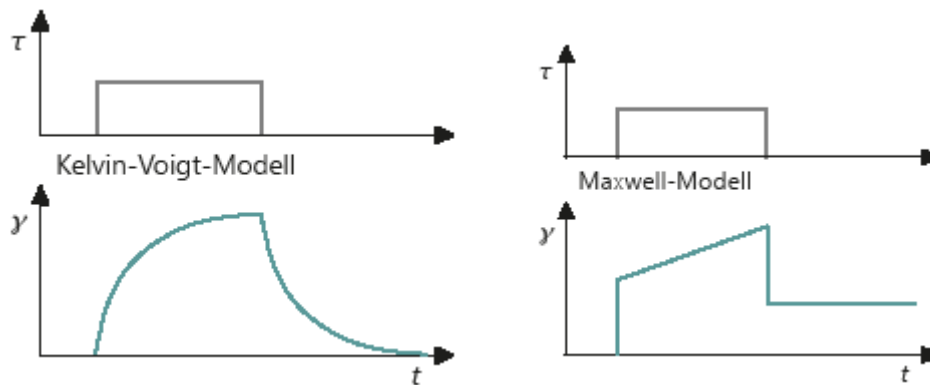
*Maxw. zeigt wirkliches Fließen (bleibende Auslenkung nach Ende der Belastung) mit leichtem elastischen Anteil*

**1.14 Verhalten der Grundkörper I:**

**Geben Sie das Verhalten der beiden Standardmodelle (Auslenkung als Funktion der Zeit) bei Anregung durch einen Rechteckimpuls in der Kraft/Spannung.**

**Zeichnen sie auch den Zeitbereich des Rechteckimpuls ein, damit klar ist, wo die Anregung endet.**

(4 Pt.)



Wichtig ist der Verlauf (jeweils 1 Punkt), Name und die korrekte Zuordnung (je 0,5Pt) und die korrekte Darstellung (1Pt. (Zeitbereich des Rechtecksimpulses 0,5, Achsenbeschriftung 0,5))

### 1.15 Kennzahlen für Fließeigenschaften (Reynolds):

**Reynoldszahl:** Wie ist sie allgemein definiert?

Was ergibt sich für eine kreisförmige Kapillare?

Was beschreibt die Reynolds-Zahl und bei welchem typischen Wert?

(3 Pt.)

Reynolds: Verhältnis kinetische Energie zu Energieverlust durch viskose Strömungsanteile

(1Pt.)

$$Re = \frac{E_{kin}}{E_{viskos}} = \frac{2r \rho \cdot v}{\eta} \text{ für Kreiskapillare (1Pt)}$$

Übergang lamellare zu turbulente Strömung bei ca  $Re \approx 2000$  (1Pt., 1000-3000 ist OK)

### 1.16 Fließkurven und verschiedene Typen/Arten der Viskosität:

a) Welche Viskosität können Sie in Scherrheologie und Kapillarrheologie messen?

Welche Form der Belastung müssen Sie hierzu in der Scherrheologie verwenden?

b) Welche Viskosität erhalten Sie in der Scherrheologie, aber nicht in der Kapillarrheologie und bei welcher Belastungsform müssen sie hierzu messen?

c) Was besagt die Cox-Merz Regel, ist die Regel analytisch bewiesen?

d) Zeigen Sie schematisch die Fließkurve für ein einfaches Maxwellmodell unter oszillatorischer Belastung.

e) Begründen sie das Verhalten bei kleinen und hohen Scherraten in Auf. d) analytisch aus der Formel  $G^*(\omega)$  für das Maxwellmodell.

(7 PT.)

Typen Viskosität (2PT)

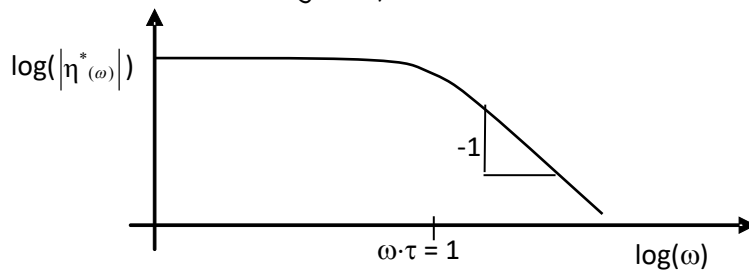
normale dynamische Viskosität  $\eta$  aus "steady shear" Experimenten, also aus Kapillarrheologie und Scherrheologie mit konstanter Rotation.

komplexe Viskosität  $\eta^*(\omega) = \frac{G^*(\omega)}{i\omega}$  aus oszillatorischen Scherexperimenten.

Cox-Merz: empirische Regel (1Pt),

$|\eta^*(\omega)| = \eta(\dot{\gamma})$  oder in Worten: dynamische Viskosität als Funktion der Schwerrate ist gleich dem Betrag der komplexen Viskosität als Funktion der Kreisfrequenz (1 Pt)

Skizze (mit korrekter Beschriftung 1Pt)



Begründung Grenzerhalten aus Maxwellmodell (2Pt):

kleine Frequenzen:  $G''$  leading Term, asymptotisches Verhalten  $G'' \sim \omega$

$$|\eta^*(\omega)| = \frac{1}{\omega} \cdot \sqrt{G'(\omega)^2 + G''(\omega)^2} \approx \frac{1}{\omega} \cdot \sqrt{G''^2} \propto \frac{1}{\omega} \cdot \sqrt{\omega^2 \cdot \tau^2} = \text{const.} = \eta_0$$

hohe Frequenzen:  $G'$  leading Term

$$|\eta^*(\omega)| = \frac{1}{\omega} \cdot \sqrt{G'(\omega)^2 + G''(\omega)^2} \approx \frac{1}{\omega} \cdot \sqrt{G'^2} \propto \frac{1}{\omega} \cdot \sqrt{\left(\frac{\omega^2 \cdot \tau^2}{1 + \omega^2 \cdot \tau^2}\right)^2} = \frac{\text{const.}}{\omega}$$

### 1.17 Reptationsmodell, Annahmen

a) Was ist die allgemeine Intention des Modells, was möchten Sie Berechnen?

(Keine Kenngrößen/Eigenschaften des Modells, allgemeine Ideen)

b) Bitte geben Sie schematisch eine Skizze zum Reptationsmodell wieder

c) Beschreiben Sie die Grundideen des Reptationsmodells

(kurz und prägnant, auch Schlagworte können ausreichen)

d) Erläutern Sie die Existenz der wichtigsten Relaxationszeit im Reptationsmodell.

(Betrachten Sie dabei eine einzelne Polymerkette und deren Beweglichkeit)

e) Welche Eigenschaften (viskos oder elastisch) hat das Material oberhalb/unterhalb der Relaxationszeit ?

(7 Pt.)

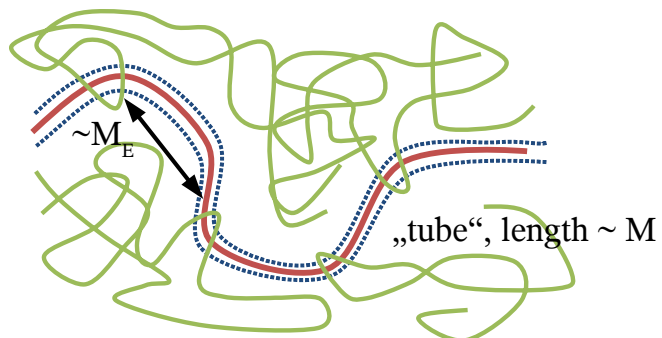
a) 1 Pt

Beweglichkeit von Polymeren in der Schmelze

(daraus ergibt sich die Viskosität, diese wird alternativ auch anerkannt)

b) Skizze (1Pt, wenn Röhre erkennbar und Verschlaufungen sichtbar,

Molgewichte nicht nötig)



c) Grundideen (4 Stück, 2 PT gesamt):

Polymer ist in einer "tube" eingesperrt, kann nur entlang der Tube durch eindimensionale Diffusion sich bewegen.



"tube" wird durch die Nachbarketten gebildet, diese bewegen sich in dem Modell nicht, nur die eine Kette kann sich bewegen

Abstand zweier Verschlaufungen ist proport. zu  $M_e$ , dem Entanglement-Molgewicht

Die gesamte Länge der Röhre ist proport. zu dem Molgewicht der Kette.

d) 2PT:

Die Polymerkette kann nur entlang ihrer eigenen Kontour diffundieren, kann also „ihrer Röhre, d.h. der Umgebung“ nicht entkommen. Aber wenn Sie einmal um ihre gesamte Länge diffundiert ist, ist sie der Röhre entkommen und kann sich neu orientieren und sich (im einfachsten Bild) frei diffundieren. Die Zeit die sie benötigt, um der Röhre zu entkommen, muss also eine ausgezeichnete Zeit sein, eine Relaxationszeit.

Wichtige Stichpunkte: Entkommen aus der Röhre nach **Diffusion um eigene Länge**, wenn entkommen, **dann freie Beweglichkeit**

e) 1Pt gesamt

unterhalb Relaxationszeit: elastisch (da verschlauftes Netzwerk)

oberhalb Relaxationszeit: viskos

### 1.18 Welche Theorie beschreibt die Wechselwirkung von Kollidien besser als die einfache Annahme von Einstein?

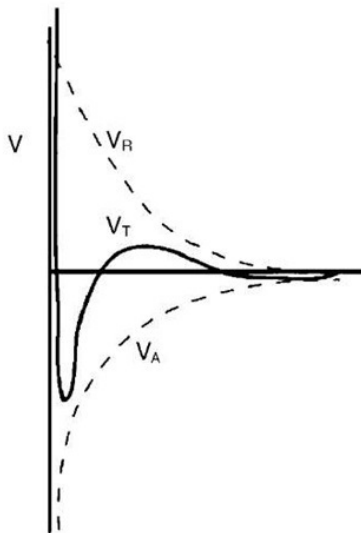
Geben Sie den Kurznamen der Theorie an und die vier Teilbeiträge.

Zeichnen Sie schematisch den Verlauf eines einfachen Potentials nach dieser Theorie. (5 Pt.)

DLVO-Theorie (1 Pt.) genauer (nicht nötig): Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek

$$V_{DLVO} = V_{\text{van-der-Waals}} + V_{\text{electrostatic}} + V_{\text{depletion}} + V_{\text{steric}} \quad (2 \text{ PT})$$

Skizze (2Pt, 1.5 Pt ohne sekundäres Minimum, die beiden Einzelpotentiale sind nicht nötig, in der Frage ist ja nur das resultierende Potential gefragt)



**1.19** Für rheologische Messungen kann man (u.a.) Platte-Platte-Geometrien oder Couette-Geometrien verwenden. Zählen Sie Nachteile und Vorteile (jeweils 2) der beiden verschiedenen Geometrien auf.

(4 Pt)

**Vorteile Platte-Platte:**

Materialmenge klein

Messspalt variabel (Scherrate flexibel)

**Nachteile Platte-Platte:**

Scherfeld inhomogen

Geringe Fläche = weniger sensitiv

Austreten von Proben am Rand möglich (edge leakage)

**Vorteile Couette:**

Dünnflüssige Proben ohne Probleme messbar

Hohe Schergeschwindigkeiten möglich auch ohne Austreten der Probe

Homogene Schergeschwindigkeitsverteilung

weniger empfindlich gegenüber Sedimentation in Suspensionen

**Nachteile Couette:**

Hohe Materialmenge (10 ml versus 0.1 ml)

Endeffekte (undefinierte Scherbedingungen), Korrektur notwendig

Entstehung von Taylorwirbeln möglich (Searl-Typ)

**1.20** Schubfaktoren: Der Schubfaktor  $S_F$  einer Geometrie ist der Proportionalitätsfaktor zwischen der rheologischen Grundgröße, der Schubspannung, und der technischen Messgröße.

a) Welche Größe ist die technische Messgröße?

Wie lautet der mathematische Zusammenhang?

Wie lautet der Zusammenhang zwischen der Schubspannung und der benötigten Kraft?

b) Der Schubfaktor einer Platte-Platte-Geometrie ist  $S_F = 2/\pi R^2$  (Berechnung kompliziert).

Berechnen Sie den Schubfaktor eines sehr dünnen Kreisrings (Radius  $R$ , Dicke  $\Delta R$ ).

Tip: Zusammenhang technische Messgröße mit der Kraft nutzen,

Technische Messgröße als Funktion der Schubspannung berechnen und invertieren.

c) Berechnen Sie den Schubfaktor für eine Kegel-Platte-Geometrie.

(6 Pt.)

a) 1 Pt (0.5 auf Messgröße, 0.5 auf zweite Formel, 1. Formel trivial, da in Aufgabentext enthalten)

Drehmoment  $M$

$$\tau = S_F \cdot M \quad (\text{trivial, siehe Aufgabenstellung})$$

$$\tau = F / A \quad \text{oder (besser für die spätere Rechnung)} \quad F = \tau \cdot A$$

b) 2 Pt.

$$\text{Allgemein: } M = \vec{r} \times \vec{F} = |\vec{r}| \cdot |\vec{F}| \cdot \sin 90^\circ = r \cdot F \quad \text{und} \quad F = \tau \cdot A \quad (1 \text{ Pt.})$$

$$\text{Für Kreisring Radius } R \quad M = R \cdot \tau \cdot A = R \cdot 2\pi R \cdot \Delta R$$

$$\tau = M \cdot \frac{1}{R \cdot 2\pi R \cdot \Delta R} \Rightarrow S_F = \frac{1}{2\pi R^2 \Delta R} \quad (1 \text{ Pt.})$$

c) 3 Pt.

Hier benötigt man das Integral:  $M = \int_0^R F(r) \cdot r \, dr \quad (1 \text{ Pt.})$

für eine radiale Geometrie gilt dann:  $M = \int_0^R \tau(r) A(r) \cdot r \, dr$

Kegel-Platte Geometrie: Scherfeld konstant, damit gilt auch  $\tau = \tau_0 \neq f(r) \quad (1 \text{ Pt.})$

damit folgt:  $M = 2\pi \cdot \tau_0 \int_0^R r^2 \, dr = \frac{2\pi}{3} \tau_0 R^3 \quad S_F = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{1}{R^3} \quad (1 \text{ Pt.})$

### 1.21 Oszillatorische Scherversuche:

a) Wofür ist die Frequenz wichtig, welche gerade für viskoelastische Stoffe wichtige Kenngröße der Belastung soll die Frequenz abdecken?

b) Was sind zwei wichtige grundlegenden Vorteile der oszillatorischen Belastung gegenüber einer stetigen Belastung (z.B. gegenüber Zugversuch)

(3 Pt.)

a) Frequenz variiert die Geschwindigkeit der Belastung, für viskose und damit auch viskoelastische Stoffe wichtig (1Pt)

b) 2 PT gesamt, mehr Beispiele nicht mehr Punkte!

möglich

- keine Materialzerstörung durch geringe Auslenkung, Alterungsmessungen sind daher möglich (1Pt für jedes der beiden Stichworte, keine 2 für beide, da diese direkt zusammenhängen und auch die beiden anderen mindestens ebenso wichtig sind)

- quantitative Bestimmung der viskosen und elastischen Anteile einfach durch Phasenverschiebung ( $\tan \delta$ ) (1 Pt)

- Hohe Sensitivität auch für geringe Anteile an Viskosität/Elastizität (1Pt)

(Beispiel Kriechen: geringste viskose Anteile können quantifiziert werden, da Phasenbestimmung durch Verwendung ausreichend vieler Oszillationen beliebig genau bestimmt werden kann)

**1.22 Zeichnen Sie den Grundaufbau eines Kapillarrheometers.**

Welche beiden grundsätzlichen Möglichkeiten (mit Namen) haben Sie bei dem Betrieb, was geben sie jeweils vor, was messen sie?

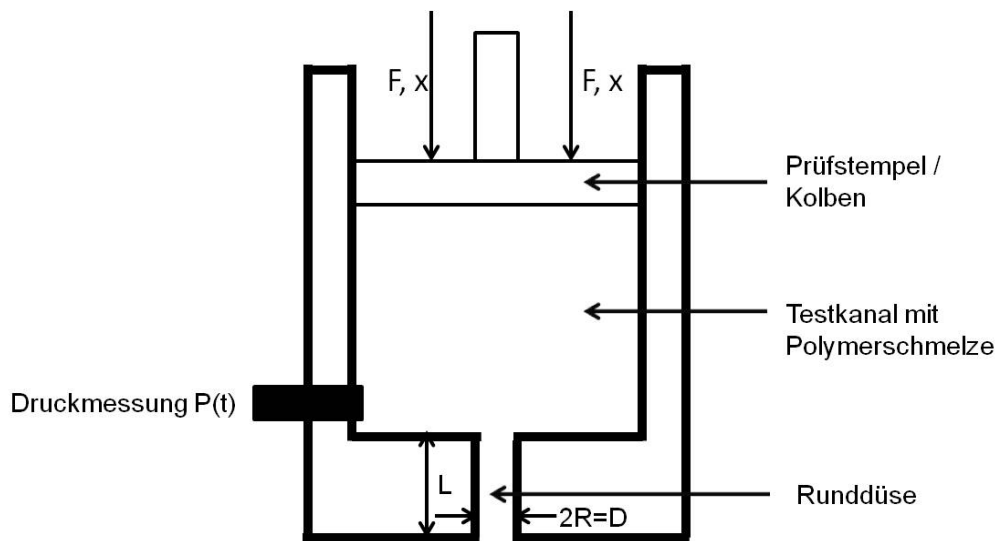
Was sind die beiden unabhängigen Variablen, die Sie bei der im Praktikum verwendeten Methode (die üblichere der beiden) dann variieren können?

Was ist der prinzipielle Vorteil des Kapillarrheometers im Vergleich zu Scherrheometern?

Grundlegende Auswertung: Volumenstrom, Scherrate, Schubspannung und Viskosität (für Newton'sche Flüssigkeit)

(7 Pt)

Skizze 1Pt:



Möglichkeiten (2 Pt, aber mit Namen und Erläuterung)

Constant Stress = Vorgabe eines Drucks im Kolben und Messung der Durchflussrate

Constant rate = Vorgabe konstanter Kolbengeschwindigkeit und Messung des Drucks

Variablen:

Scherrate und Temperatur (Scherrate indirekt über Kolbengeschwindigkeit) (1Pt.)

Prinzipieller Vorteil: Hohe Scherraten (relevant in der Polymerverarbeitung) sind nur über Kapillarrheologie zugänglich (1Pt.)

Grundlegende Gleichungen (4 Stück, zusammen 2 Punkte, mit Definition der auftretenden Größen, sonst nur die Hälfte):

$$\dot{V} = \frac{dV}{dt} = \frac{\pi}{4} \cdot D_K^2 \cdot v_k \quad \dot{\gamma}_w = \frac{4\dot{V}}{\pi R_d^3} = \frac{32 \dot{V}}{\pi d_d^3}$$

$$\tau_w = \frac{\Delta P \cdot R_d}{2L} = \frac{\Delta P \cdot d_d}{4L} \quad \eta = \frac{\tau_w}{\dot{\gamma}_w}$$

**1.23 Welche Scherinstabilitäten kennen Sie? Geben Sie sie in der korrekten Reihenfolge des Auftretens als Funktion steigender Scherrate an.**

(2 Pt.)

*Sharkskin - Stick-Slip - Gross-Melt-Fracture*

*(je 0,5 Pt. Auf die 3 Begriffe, einmal 0,5 Pt. Auf die Reihenfolge (nur bei vollständig korrekt))*

**1.24 Effekte Topologie auf Scherverdünnung in Polymeren:**

**a) Welche Topologie zeigt einen deutlichen Einfluss auf die Scherverdünnung?**

**In welche Richtung geht dieser?**

**b) Geben Sie eine kurze Begründung für diesen Effekt an.**

**c) Nennen Sie ein typisches Polymer (Voller Name) und dessen beide hier wichtigen Modifikationen (Abkürzung genügt), bei denen dieser Effekt im Praktikum auftrat.**

**Welche der beiden Modifikationen hat die höhere Scherverdünnung?**

(3 Pt.)

a) 1Pt. (0.5 für Begriff, 0,5 für Richtung)

*(Langketten)verzweigung, diese verringert die Scherverdünnung im Vergleich zu linearen Polymeren*

b) 1Pt.

*Sie Seitenketten verschlaufen mit anderen Seitenketten oder Hauptketten und behindern so das Abgleiten der Ketten aneinander.*

c) 1Pt. (je 0.25 Pt für den Namen, die beiden Abkürzungen und 0,5 für die richtige Zuordnung)

*Polyethylen, LDPE, HDPE, LDPE hat geringere Scherverdünnung*

**1.25 Verhalten von Werkstoffen:**

**a) Was ist eine wichtige Ursache dafür, dass die empfohlene Gebrauchstemperatur bei amorphen Werkstoffen deutlich unterhalb der Glastemperatur liegt?**

**b) Geben Sie eine Definition dieses Effekts**

**c) Mit welcher Größe konnten Sie im Versuch diese Gebrauchstemperatur sehen?**

**d) Geben Sie eine schematische Skizze der relevanten Größe als Funktion der Temperatur wieder und zeichnen Sie in diese die beiden Varianten der Gebrauchstemperatur in dieses Schema ein**

(5 Pt.)

a) 1 Pt.

*Kriechen*

b) 1,5 Pt. (wichtig irreversibel, erhöhte T, unter Last)

*Irreversible Verformung eines Werkstoffes bei erhöhter Temperatur, trotz geringer Spannungen weit unter der Fließgrenze*

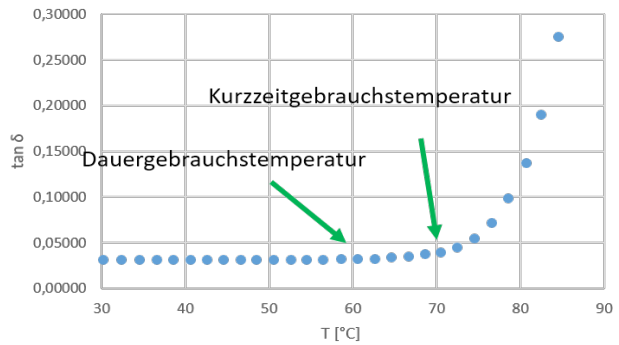
c) 1 Pt.

Tan δ

d) 1.5 Pt.

0.5 auf Grafik (konstant bis T1, leicht steigend bis T2, deutlich abbiegend nach T2, Skalierung in Schema natürlich unwichtig

je 0.5 auf Dauer- und Kurzzeitgebrauchstemp.



**1.26 Berechnen Sie die maximale Dicke des Schokoladenüberzuges eines Snickers®-Riegels. Nehmen Sie hierzu an, dass das Verhalten der aufgeschmolzenen Schokoladenmasse bei 40° ( $\rho = 1250 \text{ kg/m}^3$ ) durch ein plastisches Fluid mit einer Fließgrenze  $\tau_{FG}$  von 25 Pa beschrieben werden kann. Verwenden Sie sinnvolle gerundete Werte der auftretenden Konstanten. (4 Pt.)**

Gewichtskraft  $F_G$  der Schicht (Dicke  $d$ ) = Tangentialkraft an der Fläche  $A$

$$\tau = \frac{F_G}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot A \cdot d \cdot g}{A} = \rho \cdot d \cdot g$$

$$d = \frac{\tau_{FG}}{\rho \cdot g}$$

$$[d] = \frac{N \cdot m^3 \cdot s^2}{m^2 \cdot kg \cdot m} = \frac{\frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot m^3 \cdot s^2}{m^2 \cdot kg \cdot m} = m$$

$$d = \frac{4 \cdot 25}{5 \cdot 1000 \cdot 10} m = \frac{2}{1000} m = 2mm$$

**1.27 Betrachten Sie eine Flasche mit Salatdressing. Nach dem Schütteln finden Sie, dass Blasen bis zu einer Größe von 1mm nicht nach oben wandern. Schätzen Sie die ungefähre Fließgrenze des Dressings unter der Annahme, dass das rheologische Verhalten dem einer Bingham-Flüssigkeit entspricht. Verwenden Sie einfache Annahmen, z.B. für die Blasenform, und gesunden Menschenverstand. (6 Pt.)**

Bingham-Flüssigkeit (1Pt):  $\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} + \tau_{FG}$

Wenn die Luftblasen nicht weiter nach oben steigen, entspricht der Auftrieb der Fließgrenze:

Auftriebskraft (1Pt):  $F_{\text{Auftrieb}} = g \cdot \rho \cdot V$   $g$ : Erdbeschleunigung

$\rho$ : Dichte Salatdressing

$V$ : Volumen der Blasen

Fließgrenze= Auftriebskraft / Relevante Fläche (1pt):

Was ist die relevante Fläche ?

a) Würfel: Oberflächen/Unterflächen: Kraft senkrecht auf Fläche, keine Schubspannung  
also:  $A = 4 \cdot \text{Seitenfläche}$

$$\tau_{FG} = \frac{F_{\text{Auftrieb}}}{4 \cdot l^2} = \frac{g \cdot \rho \cdot V}{4 \cdot l^2} = \frac{g \cdot \rho \cdot l^3}{4 \cdot l^2} = \frac{1}{4} \cdot g \cdot \rho \cdot l \quad (2\text{Pt})$$

$$\tau_{FG} = \frac{1}{4} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10^{-3} \text{m} = \frac{10}{4} \text{Pa} \approx 2,5 \text{Pa} \quad (1\text{Pt})$$

b) Abschätzung für Kugel:

$A = 4\pi r^2$ , aber Winkel der Kraft variabel zu Oberfläche

exakt: Integral über  $\vec{F} \cdot d\vec{A}$ , hier einfache Abschätzung: Fläche ca  $0,5 \cdot$  Kugeloberfläche,  
dafür wird die Kraft als senkrecht zur Fläche angenommen.

$$\tau_{FG} = \frac{F_{\text{Auftrieb}}}{2\pi r^2} = \frac{g \cdot \rho \cdot V}{2\pi r^2} = \frac{g \cdot \rho \cdot \frac{4}{3}\pi r^3}{2\pi r^2} = \frac{2}{3} \cdot g \cdot \rho \cdot r \quad (2\text{Pt})$$

$$\tau_{FG} = \frac{2}{3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{m} = \frac{10}{3} \text{Pa} \approx 3,3 \text{Pa} \quad (1\text{Pt})$$

wichtig ist bei der relevanten Fläche nur, dass NICHT die gesamte Fläche verwendet wird,  
sondern irgendwie die wirksame Fläche oder auch  $\int \vec{F} \cdot d\vec{A}$  irgendwie abgeschätzt sind,  
der genaue Wert spielt für die Bewertung keine Rolle