

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Versuchsaufbau</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Brechungsindex</b>	<b>2</b>
3.1	Messverfahren . . . . .	2
3.2	Messergebnisse . . . . .	3
3.3	Interpretation . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Fließkurve</b>	<b>5</b>
4.1	Messverfahren . . . . .	5
4.2	Messergebnis . . . . .	6
4.3	Interpretation . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Anhang</b>	<b>8</b>

# 1 Einleitung

Die in diesem Protokoll beschriebenen Experimente wurden am 22.03.2017 an der TU Wien im Rahmen des Praktikums Laborübungen III (134.126) von *Kassandra Kunz* und *Helmut Hörner* durchgeführt. Sie beschäftigen sich mit der Bestimmung der Fließkurve einer unbekanntem Testflüssigkeit bei verschiedenen Temperaturen, sowie der Messung des Brechungsindex dieser Flüssigkeit bei unterschiedlichen Temperaturen.

## 2 Versuchsaufbau

Sowohl für die Bestimmung des Brechungsindex, als auch für die Messung der Fließkurve, wurde folgender, identischer Versuchsaufbau verwendet:

- Das umwälzende Wasser eines Umwälz/Bad-Thermostats [THERM] wurde mittels Schläuchen in einem Kreislauf zum Probenhalter des Refraktometers [AB-6] und der Rotationsviskosimeter-Messeinrichtung [PK-S] geleitet.
- Der Umwälz/Bad-Thermostat [THERM] wurde mit dem Laborkühlwasser verbunden.
- Der Messantrieb des Rotationsviskosimeters [PK-S] wurde mit dem Grundmessgerät [RV-12] verbunden.
- Das Grundmessgerät [RV-12] zusätzlich wurde mit dem Programmgeber [PG142] verbunden.
- Zur Aufzeichnung der Fließkurve wurde der XY-Schreiber [RW-11] mit [RV-12] verbunden.

## 3 Brechungsindex

### 3.1 Messverfahren

- Ein Tropfen der Probenflüssigkeit wurde in die Probenhalterung des Refraktometers [AB-6] eingebracht.
- Die gewünschte Temperatur wurde (grob) an der Magnettrommel des Kontaktthermometers des Umwälz/Bad-Thermostaten [THERM] eingestellt.
- Für die Einstellung der ersten Messtemperatur von 20 °C, welche unterhalb der Raumtemperatur liegt, wurde zusätzlich Laborkühlwasser zugeleitet.
- An Hand der Messwerte des zum Refraktometer [AB-6] gehörenden Digitalthermometers wurde die Zieltemperatur an der Magnettrommel des Kontaktthermometers von [THERM] feinjustiert.
- Nach Erreichen der Zieltemperatur wurde eine Minute gewartet.

- Der Brechungsindex wurde durch Bestimmen der Hell/dunkel-Totalreflexionsgrenze am Refraktometer [AB-6] gemessen.
- Bei den Messtemperaturen 25 °C, 35 °C und 45 °C wurde an dieser Stelle zusätzlich die in Kapitel 4 beschriebene Messprozedur zur Bestimmung der Fließkurve eingeschoben.
- Die Messprozedur wurde, beginnend beim zweiten Schritt mit jeweils um 5 °C erhöhten Temperaturen bis zum Erreichen der Zieltemperatur von 50 °C wiederholt.

### 3.2 Messergebnisse

Die Messreihe brachte folgende Ergebnisse:

Messung	Temperatur	Brechungsindex
i	$\vartheta$ [°C]	n
1	20,0	1,5004
2	25,0	1,4988
3	30,0	1,4972
4	35,0	1,4955
5	40,0	1,4937
6	45,0	1,4919
7	50,0	1,4899

Tabelle 1: Brechungsindex in Abhängigkeit von der Temperatur

Messgenauigkeiten gemäß Datenblatt: Brechungsindex  $\pm 0,0002$ ; Temperatur  $\pm 0,2$  °C.

Die Messreihe zeigt, wie man in Abbildung 1 gut erkennen kann, im gemessenen Temperaturbereich innerhalb der Messtoleranzen einen exakt linearen Zusammenhang, der durch folgende Formel dargestellt werden kann:

$$n = 1.507542 - 0.0003485 \cdot \vartheta [^{\circ}C] \quad (1)$$

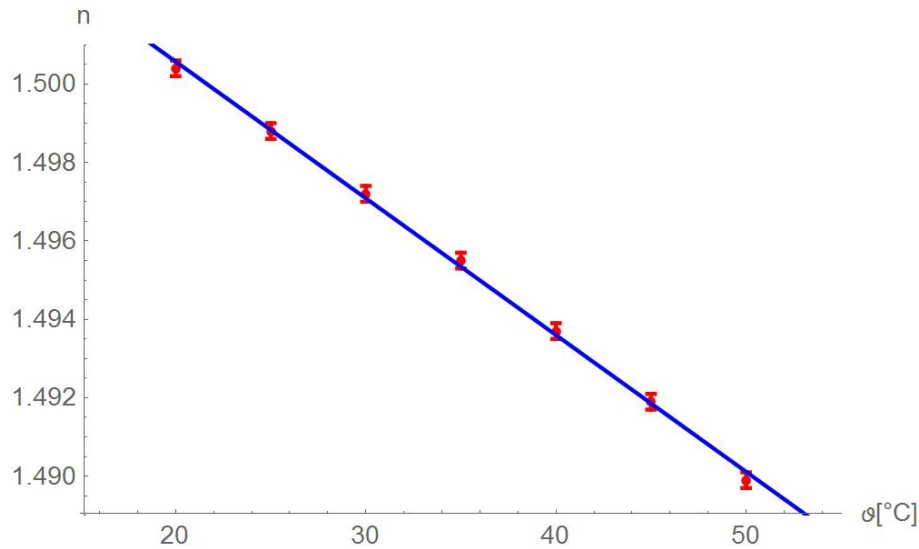


Abbildung 1: Brechungsindex in Abhängigkeit von der Temperatur

### 3.3 Interpretation

Wie aus den Messergebnissen gut erkennbar ist, sinkt im beobachteten Temperaturbereich der Brechungsindex mit steigender Temperatur. Der Zusammenhang ist dabei streng linear (siehe Gleichung 1).

Der Brechungsindex ist durch folgende Beziehung, in der  $c_0$  die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum und  $v$  die Lichtgeschwindigkeit im Medium darstellt, definiert:

$$n = \frac{c_0}{v} \quad (2)$$

Dies bedeutet, dass der Brechungsindex direkt proportional zu  $v$  ist. Die physikalische Ursache für die Änderung der Lichtgeschwindigkeit in einem Medium ist, dass beim Durchgang des Lichtes die Elektronenhülle der Moleküle polarisiert wird. Der Brechungsindex  $n$  hängt in dichten Medien (etwa Flüssigkeiten) gemäß der *Clausius-Mossotti-Gleichung*<sup>1</sup> mit der Polarisierbarkeit  $\alpha$  der Moleküle wie folgt zusammen:

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{\rho}{M} \frac{N_A}{3} \frac{\alpha}{\epsilon_0} \quad (3)$$

Der Brechungsindex hängt nach Gleichung 3 also auch von der Dichte und damit von der Temperatur ab. Mit steigender Temperatur nimmt die Dichte, und damit der Brechungsindex, im Allgemeinen ab. Dies hat sich bei unserer Messung bestätigt.

---

<sup>1</sup>siehe [Choy 2016, S. 8]

## 4 Fließkurve

### 4.1 Messverfahren

Vorbereitung:

- Ein Tropfen der Probeflüssigkeit wurde auf die Messplatte der Messeinrichtung des Rotationsviskosimeters [PK-S] aufgebracht, Platte und Kegel zusammengebracht und arretiert.
- Der XY-Schreiber [RW-11] wurde mit einem Rotovisco Flow Curve Leerformular bestückt und der Nullpunkt justiert.
- Der Programmgeber [PG142] wurde mit den Zeiten  $t_1 = 1 \text{ min}$ ,  $t_2 = 5 \text{ min}$  und  $t_3 = 1 \text{ min}$  und der Maximalgeschwindigkeit  $n_{max} = 128 \text{ min}^{-1}$  auf Einmaldurchlauf programmiert, und die Steuerung durch den Programmgeber [PG142] am Grundmessgerät [RV-12] freigeschaltet.

Bei den Messtemperaturen  $25^\circ\text{C}$ ,  $35^\circ\text{C}$  und  $45^\circ\text{C}$  (abgelesen am zum Refraktometer [AB-6] gehörenden Digitalthermometer, das mit demselben Temperierungskreislauf verbunden war) wurde nach der Bestimmung des Brechungsindex (siehe Kapitel 3) die programmgebergesteuerte, automatisierte Messprozedur gestartet, welche den Drehzahlbereich von  $n = 0 \text{ min}^{-1}$  bis  $n_{max} = 128 \text{ min}^{-1}$  durchläuft und die Fließkurve am XY-Schreiber [RW-11] ausgibt.

## 4.2 Messergebnis

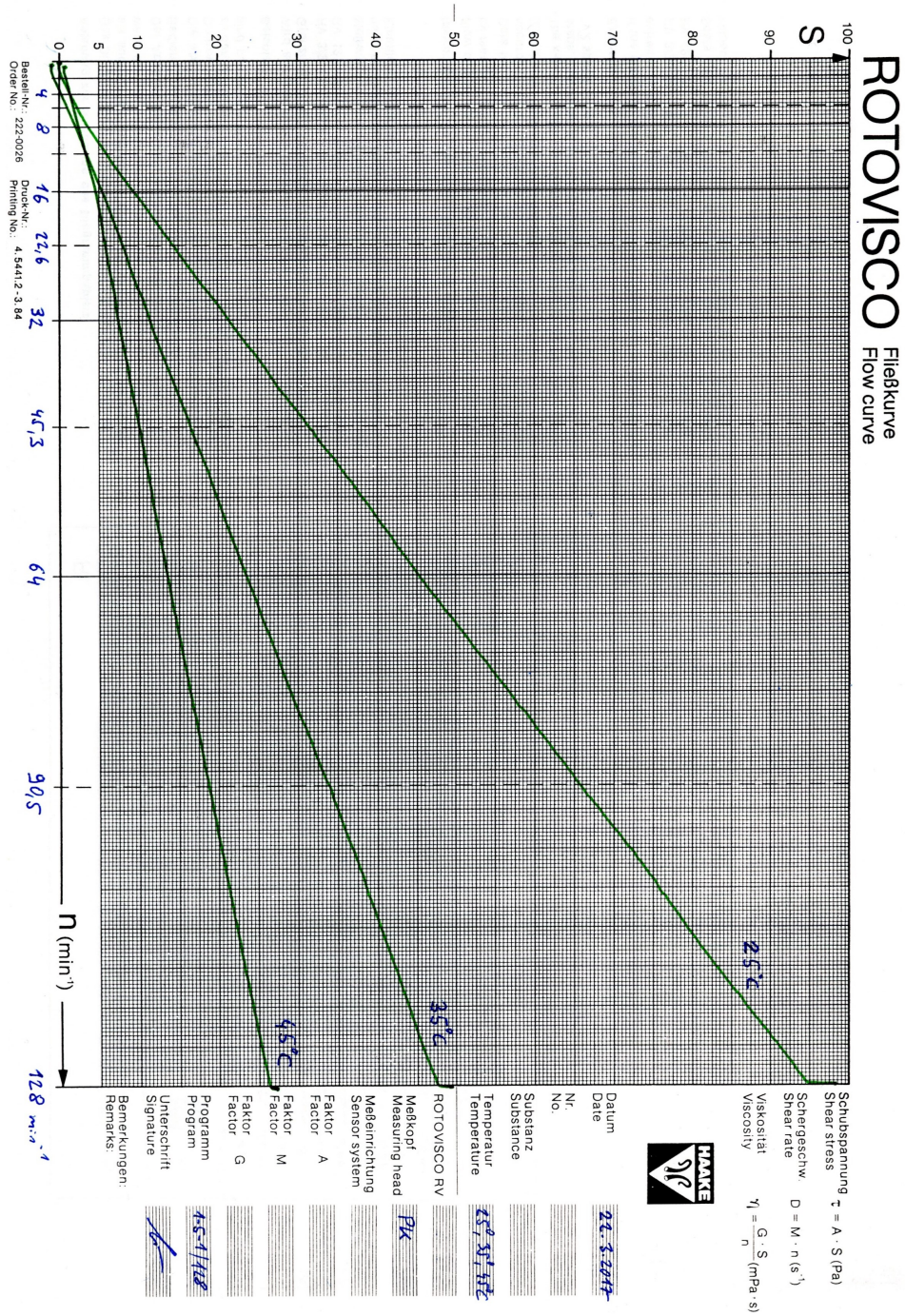


Abbildung 2: Fließkurve bei 25 °C, 35 °C und 45 °C

### 4.3 Interpretation

Wie in Abbildung 2 erkennbar, ergibt sich bei jeder der drei Messtemperaturen ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen Umdrehungsgeschwindigkeit  $n$  und Messwert  $S$ . Da der Messwert  $S$  direkt proportional zur Schubspannung  $\tau$  ist, herrscht bei einer gegebenen Temperatur daher auch ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen  $n$  und  $\tau$ . Dies entspricht dem Verhalten einer normalviskosen (Newtonschen) Flüssigkeit.

Man erkennt zudem, dass die Viskosität mit steigender Temperatur abnimmt. Dies ist in Übereinstimmung mit der *Theorie der Platzwechselvorgänge*, gemäß der für viele Flüssigkeit in guter Näherung gilt<sup>2</sup>:

$$\eta(T) = \eta_0 \cdot e^{\frac{b}{T}} \quad (4)$$

Dieser Zusammenhang kommt aus der Modellvorstellung, dass eine Scherung eines Flüssigkeitsvolumens nur möglich ist, wenn Molekülschichten übereinander hinweggleiten. Zwar sind die Flüssigkeitsmoleküle nicht, wie in Festkörpern, an Ruhelagen fixiert, aber die Verzahnung benachbarter Schichten bedingt Potentialwälle, die umso leichter zu Überwinden sind, je höher die thermische Energie ist. In Gleichung 4 steht  $b$  im Wesentlichen für die Höhe eines solchen Potentialwalles, somit für die notwendige Aktivierungsenergie eines Platzwechsels.

---

<sup>2</sup>siehe [Meschede 2015, S. 111]

## 5 Anhang

### Verwendetes Equipment

[AB-6]	Refraktometer Krüss AB-6
[THERM]	Krüss Umwälz/Bad-Thermostat
[RV-12]	Rotationsviskosimeter Grundmessgerät Haake RV 12
[PG142]	Programmgeber Haake PG 142
[PK-S]	Messantrieb Haake M500 mit Platten-Kegel Messeinrichtung "PK Standard"
[RW-11]	XY-Schreiber Rikadenki RW-11

### Tabellenverzeichnis

1	Brechungsindex in Abhängigkeit von der Temperatur . . . . .	3
---	---	---

### Abbildungsverzeichnis

1	Brechungsindex in Abhängigkeit von der Temperatur . . . . .	4
2	Fließkurve bei 25 °C, 35 °C und 45 °C . . . . .	6

### Literatur

[Choy 2016]	Tuck C. Choy: Effective Medium Theory, Principles and Application, Second Edition. Oxford University Press, 2016
[Meschede 2015]	Dieter Meschede [Hrsg.]: Gerthsen Physik, 25. Auflage. Springer Spektrum, 2015.