

Viskosität - Temperatur: Eine starke Abhängigkeit

Die Kenntnis der Abhängigkeit von Viskosität und Temperatur ist überall dort von großem Interesse, wo die rheologischen Eigenschaften von Substanzen bei unterschiedlichsten Temperaturen betrachtet werden. Bestes Beispiel sind Treib- oder Schmierstoffe, die in Motoren eingesetzt werden. Die Fließfähigkeit des Treibstoffs muss bei tiefsten Temperaturen gewährleistet sein, der Schmierfilm eines Schmierstoffs darf auch bei höchsten Betriebstemperaturen nicht abreißen. Der Nachweis dieser Eigenschaften kam in der letzten Zeit insbesondere mit der Zulassung von biologischen Treibstoffen verstärkt in die Diskussion. Doch welche Messungen sind möglich und wie viel Messaufwand ist sinnvoll und notwendig?

Die Viskosität einer Substanz ist, bis auf Ausnahmen, von der Temperatur abhängig. Das kennt jeder, der schon einmal während eines ausgedehnten Frühstücks im Sommer seine Brötchen mit Butter schmierte. Zunächst ist die Butter kaum zu streichen, da sie aus dem Kühlschrank kommt, doch nach einiger Zeit fließt sie bei Berührung mit dem Messer nur so dahin.

Was heißt das für die rheologischen Eigenschaften? Die Viskosität von Butter nimmt mit steigender Temperatur ab. Auch bei gleich bleibender Temperatur ist die Viskosität keine Konstante, sondern nimmt durch die Scherbelastung (z. B. beim Streichen auf das Brötchen) ab.

Die Viskosität ist eine Messgröße, die sowohl von der Temperatur, als auch von der Scherbelastung abhängig ist. Was folgt nun daraus? Zunächst einmal sollte bei Viskositätsangaben immer darauf geachtet werden, dass

1. die Viskosität entsprechend DIN (z. B. 53 019) gemessen wird
2. die Schergeschwindigkeit und
3. die Temperatur angegeben sind.

Die Viskosität ist eine Funktion von mehreren Parametern. Über die Abhängigkeit der Viskosität von der Scherbelastung gibt es viele Veröffentlichungen (vgl. 1,2). Im Folgenden beschränken wir uns darauf, Messungen zur Viskositäts- Temperatur- Abhängigkeit näher unter die Lupe zu nehmen. Hierzu gehen wir von Messungen gemäß DIN 53 019 (Rotationsrheometer) mit konstanter Scherbelastung aus. Es wurde ein Laborviskosimeter Typ Rheomat 180 der Firma proRheo GmbH (vgl. Abb. 1), Althengstett, mit Temperierkammer (vgl. Abb. 2) benutzt. Die Temperierung erfolgte über einen handelsüblichen programmierbaren Kryostaten. Natürlich können mit diesem Rotationsviskosimeter R 180 auch alle Formen von Fließkurven bei den verschiedenen Temperaturen aufgenommen werden. Doch wollen wir dies für die Untersuchung der Viskositäts- Temperatur- Abhängigkeit zunächst vernachlässigen.

Messung der Viskosität - Temperatur- Abhängigkeit

Die Probe wird in das Meßsystem des Rotationsviskosimeters eingefüllt und temperiert. Bei konstanter Schergeschwindigkeit wird die Viskosität bestimmt. Das Viskosimeter Typ R 180 nimmt über einen Temperatursensor, der sich während der Messung in der Probe befindet, die aktuelle Proben temperatur auf. Diese Form der Messung ist sehr zeitaufwendig.

Für scherstabile Stoffe ist es in dieser Versuchsanordnung möglich, die Viskosität kontinuierlich bei unterschiedlicher Temperatur zu messen. Hierzu kann z. B. mit der rheologischen Mess-Software Rhesy S eine Temperaturrampe gefahren und die Viskosität und Temperatur kontinuierlich aufgenommen. Auf diese Weise lässt sich die V-T-Abhängigkeit der Substanz einfach bestimmen.

Dies gilt jedoch nur für die wenigen scherstabilen Stoffe. Bei den meisten Stoffen sieht man, dass bei einer Messung der Viskosität bei konstanter Scherbelastung die Viskosität mit der Zeit abnimmt. Dafür sind unterschiedliche Gründe, wie z. B. Strukturabbau oder Schichtenbildung in der Substanz möglich. Das heißt, für die Messung der Temperaturabhängigkeit kommt eine Dauermessung mit variabler Temperatur, wie oben beschrieben, nicht in Frage. Es muss also für jeden Messpunkt der V-T-Kurve immer neues Probenmaterial in das Messsystem gefüllt, temperiert und dann gemessen werden. In Abb. 3 sind exemplarisch die Messergebnisse unterschiedlicher Produkte aufgetragen. Da diese Messungen zeitaufwändig sind, stellt sich die Frage, nach der Anzahl der Messpunkte, die notwendig ist, um die Abhängigkeit der Viskosität von der Temperatur mit hinreichender Genauigkeit approximieren zu können.

Rechnen statt Messen?

Kann man diesen Versuch bei minimaler und maximaler Temperatur durchführen und dann interpolieren? In Abb. 4 sehen Sie unterschiedliche Viskositäts - Temperatur - Abhängigkeiten. Ist eine Klassifizierung des zu untersuchenden Stoffs vorgenommen worden, kann mit Hilfe einer Funktion die Viskosität ermittelt werden. Hierfür müssen mehrere Voraussetzungen erfüllt sein:

- Die Charakteristik der Viskositäts- Temperatur- Abhängigkeit muss zunächst, wie oben beschrieben, ermittelt werden.
- Es ist immer nur eine Interpolation, keine Extrapolation, anzuraten, d. h. die Viskosität darf immer nur zwischen zwei gemessenen Temperaturwerten berechnet werden. Rückschlüsse auf das Verhalten der Substanz bei sehr hoher oder sehr niedriger Temperatur außerhalb des Versuchsbereichs ähneln Wahrsagerei.

Das Viskositäts - Temperaturverhalten kann sich durch Zuschlagstoffe grundsätzlich ändern.

Generell gilt natürlich, wie überall in der Physik: Ist der Temperaturbereich klein genug, darf linear interpoliert werden.

Die Berechnung wäre dann wie folgt: Gewünscht ist die Viskosität bei Temperatur T. Es wurde jedoch bei den Temperaturen T₁ und T₂ eine Viskosität von η₁ und η₂ gemessen.

$$\eta = \eta_1 + (\eta_2 - \eta_1) \cdot (T - T_1) / (T_2 - T_1)$$

Hierbei ist zu beachten, dass T zwischen T₁ und T₂ liegen muss.

Berechnung der Viskosität bei einer Referenztemperatur

Wie bereits erwähnt, kann sich das Viskositäts - Temperatur - Verhalten deutlich ändern, wenn einem Stoff Zuschlagsstoffe beigemischt werden. Abb. 3 zeigt beispielsweise das Viskositäts - Temperatur - Verhalten unterschiedlicher Mineralölprodukte. Üblicherweise werden diese Funktionen logarithmisch aufgetragen, was den visuellen Eindruck einer linearen Abhängigkeit erweckt. Wie man leicht sieht, ist die Abhängigkeit von Viskosität und Temperatur jedoch keineswegs linear und das Verhalten der niederviskosen Produkte ist deutlich anders als das der hochviskosen. Zur Klassifizierung dieser Stoffe ergab sich nun die Fragestellung, ob die Messung der Temperatur und Viskosität an einer beliebigen Temperatur zwischen 10°C und 60°C ausreicht, um den Stoff zu klassifizieren, d. h. die Viskosität bei z.B. 40° C zu berechnen. Dies kann mit einem klaren Ja beantwortet werden.

Die Viskositäts - Temperatur - Abhängigkeitsfunktionen können durch eine Kurvenschar dargestellt werden. Durch Messung eines Punkts (Temperatur und Viskosität) im gesamten Feld ist der Rückschluss auf die Abhängigkeitsfunktion möglich und somit auch die Berechnung der Viskosität bei der Referenztemperatur.

$$\eta_1 = F(\eta, T) = G(40, a, b)$$

Messung von Viskosität h und Temperatur T erlauben die Berechnung der Scharparameter a und b und damit die Berechnung der Referenzviskosität η_1 bei 40 °C.

Diese Berechnungen brauchen natürlich nicht vom Benutzer ausgeführt werden, sondern sind z. B. für Mineralölprodukte wie oben beschrieben in dem Laborviskosimeter Typ Rheomat R123 BW der Firma proRheo realisiert.

Dipl. Math. Jutta Schelske-Gehm
proRheo GmbH

Weiterführende Literatur:

1. Lothar Gehm, Rheologie, praxisorientierte Grundlagen und Glossar, Vincentz Verlag, 1998 zu bestellen unter www.rheologie.de
2. W.-M. Kulicke, Fließverhalten von Stoffen und Stoffgemischen, Hüthig & Wepf Verlag, 1986



Abb. 1: Laborviskosimeter Rheomat R 180



Abb. 2: Thermostatisierkammer

de Guzman	$\ln \eta = A + B \cdot \frac{1}{T}$
Combs und Nations	$\ln \eta = A + B \cdot \frac{T_E}{T}$
Fox und Flory	$\ln \eta = A + B \cdot T^{-6}$
Litovitz	$\ln \eta = A + B \cdot T^{-3}$
Cornelissen u.a.	$\ln \eta = A + B \cdot T^{-c}$
Walther	$\ln(\eta + A) = B \cdot T^{-c}$
Umstätter	$\arcsin \ln \frac{\eta}{\eta_0} = A - B \cdot \ln T$
Le Chatelier	$\ln \eta = A \cdot e^{\frac{c}{T}}$
Bradbury u.a.	$\ln \eta = A + B \cdot e^{\frac{c}{T}}$
Gross und Zimmermann	$\ln \eta = A + B \cdot \frac{\left(1 - e^{-\frac{c}{T}}\right)^{\frac{1}{3}}}{1 - \left(1 - e^{-\frac{c}{T}}\right)^{\frac{1}{3}}}$
Waterton	$\ln \eta = A + B \cdot \frac{e^{-\frac{c}{T}}}{T}$
Jenckel	$\ln \eta - \frac{C}{T} = A + B \cdot \frac{e^{-\frac{c}{T}}}{T}$
Vogel	$\ln \eta = A + B \cdot \frac{1}{T - T_E}$
Williams, Landel und Ferry	$\ln \eta = A + B \cdot \frac{T - T_E}{D + T - T_E}$
Marschalko und Barna	$\ln \eta + \ln T = A + B \cdot \frac{1}{T - T_E}$
Barna	$\ln \eta + 2 \ln T = A + B \cdot \frac{1}{T - T_E}$
Cohen und Turnbull	$\ln \eta + \frac{1}{2} \ln T = A + B \cdot \frac{1}{T - T_E}$
Adam und Gibbs	$\ln \eta = A + B \cdot \frac{1}{T \cdot \ln\left(\frac{T}{T_E}\right)}$

Abb. 3: Klassifizierung V-T-Abhängigkeit

Messergebnisse V-T-Abhängigkeit verschiedener Produkte

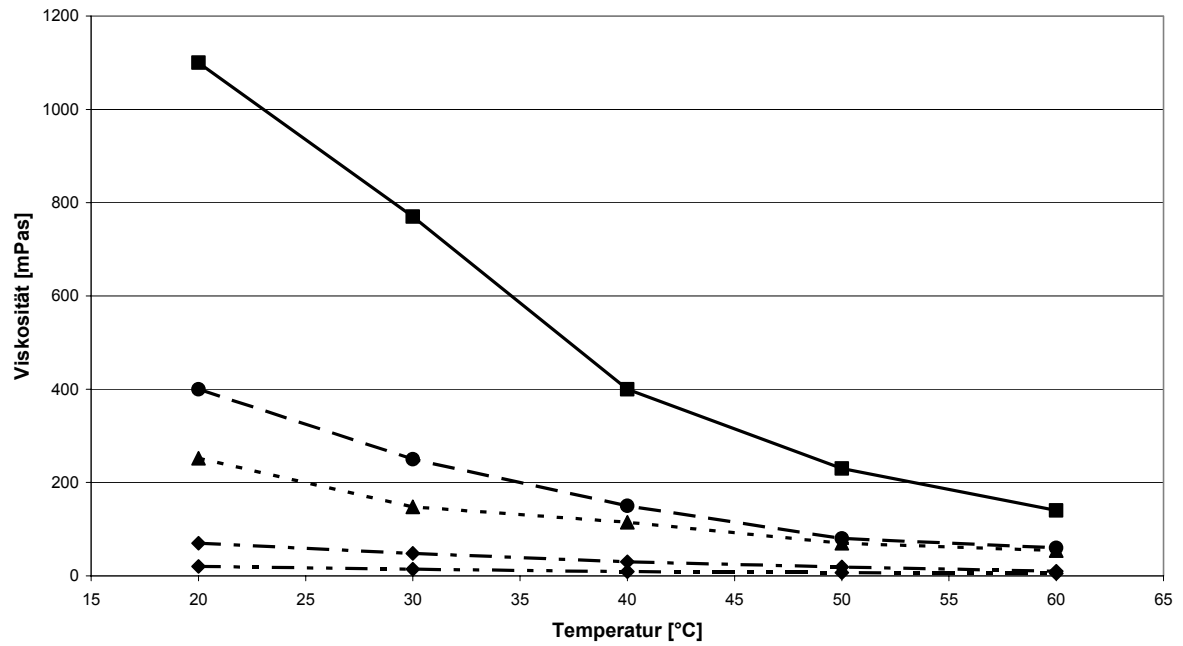


Abb. 4: V-T- Abhängigkeit verschiedener Öle