

## Vergleich Auslaufbecher und Rotationsviskosimeter

Die Viskositätsmessung mit dem Auslaufbecher ist, man sollte es kaum glauben, auch in unserer Zeit der allgemeinen Automatisierung und ISO 9000 Zertifizierungen ein weit verbreitetes Verfahren zur Viskositätsmessung bei Flüssigkeiten, insbesondere von Farben und Lacken. Hier wird nun einmal beleuchtet, welcher Zusammenhang zwischen einer Messung mit dem Auslaufbecher und der rheologischen Untersuchung einer Flüssigkeit besteht. Da die Viskosität außer von der Temperatur auch von den Kräften abhängt, die auf den Stoff wirken, ist natürlich insbesondere die Frage zu beantworten: Welche Viskosität wird eigentlich durch eine Messung der Viskosität in Auslaufsekunden bestimmt?

Um die Viskosität einer Flüssigkeit mit einem Auslaufbecher zu bestimmen, besteht zunächst die Frage: Welcher soll es denn nun sein? In Abb. 1 sind unterschiedliche Auslaufbecher zu sehen. Diese unterscheiden sich in Füllvolumen, Material, Form und vor allem im Durchmesser und Länge der Düse. In DIN 53012 sind die allgemeinen Regeln für die Geometrien festgelegt, doch die Wahl des verwendeten Bechers ist meist bestimmt durch die Tradition im Unternehmen: „Das haben wir schon immer so gemacht!“



Abb. 1 verschiedene Auslaufbecher

Zur Messung der Viskosität wird die Düse zugehalten und der Auslaufbecher randvoll gefüllt. Zeitgleich mit dem Öffnen der Düse wird vom Anwender eine Stoppuhr gestartet und er misst die Zeit bis der Strom der Flüssigkeit das erste Mal abreißt. Bei dieser Messung gibt es also unterschiedliche Fehlerquellen. Diese liegen in der Temperatur der Substanz, in der manuellen Zeitmessung, in der Beeinflussung der Messung durch eine verschmutzte Düse und der Bestimmung des richtigen

Abreißzeitpunktes. In diesem Artikel soll jedoch nicht von den möglichen Fehlern gesprochen werden, sondern davon ausgegangen werden, dass alles optimal durchgeführt wird.

Warum ist die Viskositätsmessung mit dem Auslaufbecher so beliebt? Entscheidende Vorteile sind sicherlich, dass das „Messgerät“ extrem preiswert und – scheinbar - einfach zu handhaben ist. Hierzu kommt aber ein weiterer wesentlicher und nicht zu unterschätzender Faktor: Der Laborant sieht beim Befüllen die Flüssigkeit und beurteilt das Fließverhalten, die Oberfläche, die Tropfenbildung usw. Man kann erleben, dass derjenige schon beim Befüllen sagt: Das sind heute 27 s. Er misst dann auch 27 s. Doch stellen Sie sich vor, dieser Mitarbeiter wird krank? Und was ist mit der Dokumentation und ISO 9000 Zertifizierung?

Somit entsteht die Frage: Wie ist der Zusammenhang zwischen der Messung einer Flüssigkeit im Auslaufbecher und einer Viskositätsmessung mit einem Rotationsviskosimeter entsprechend DIN 53 019.

Hierzu ist es erst einmal notwendig zu verstehen, was während der Messung in einem Auslaufbecher passiert. Dann kann man rechnerisch den Zusammenhang zwischen Auslaufzeit und dynamischer Viskosität herstellen.

Das Probenvolumen und die Messzeit (Auslaufsekunden) sind verbunden durch:

$$\text{Gl. 1} \quad \int \dot{V} dt = V$$

mit:

$\dot{V}$  = Volumenstrom an der Düse  
V = Ausgangsvolumen

Der Volumenstrom kann nach dem Gesetz von Hagen- Poisseulle berechnet werden durch folgende Gleichung:

$$\text{Gl. 2} \quad \dot{V} = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 L \eta}$$

mit:

r = Radius der Düse  
L = Länge der Düse  
 $\eta$  = dynamische Viskosität  
 $\Delta p$  = Druckdifferenz

Die Druckdifferenz  $\Delta p$  ist von der Füllhöhe des Auslaufbechers abhängig, ändert sich also während des Auslaufens bzw. der Messung.

$$\text{Gl. 3} \quad \Delta p(t) = \rho g h(t)$$

mit:

$g$  = Erdbeschleunigung  
 $\rho$  = Dichte  
 $h(t)$  = Füllhöhe

Gl. 4 
$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \rho \cdot g \cdot h(t)}{8 \cdot L \cdot \eta}$$

In dieser Gleichung ist die Dichte ein wesentlicher Faktor, was auch logisch ist, denn die Flüssigkeit wird durch ihr Gewicht durch die Düse gedrückt und die Erfahrung bestätigt, dass Flüssigkeiten mit einem höheren spezifischen Gewicht, kürzere Auslaufzeiten haben. Dies bedeutet, dass nicht die Viskosität gemessen wird, sondern die kinematische Viskosität, ein Produkt aus Viskosität und Dichte.

Außerdem enthalten diese Formeln den Faktor  $\eta$ , die stoffspezifische dynamische Viskosität. Leider ist im Allgemeinen die Viskosität keine Konstante (außer bei Newton'schen Substanzen) sondern eine Funktion der Scherbelastung. In Abb. 2 ist als Beispiel die Viskosität verschiedener Lacke in Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit aufgetragen.

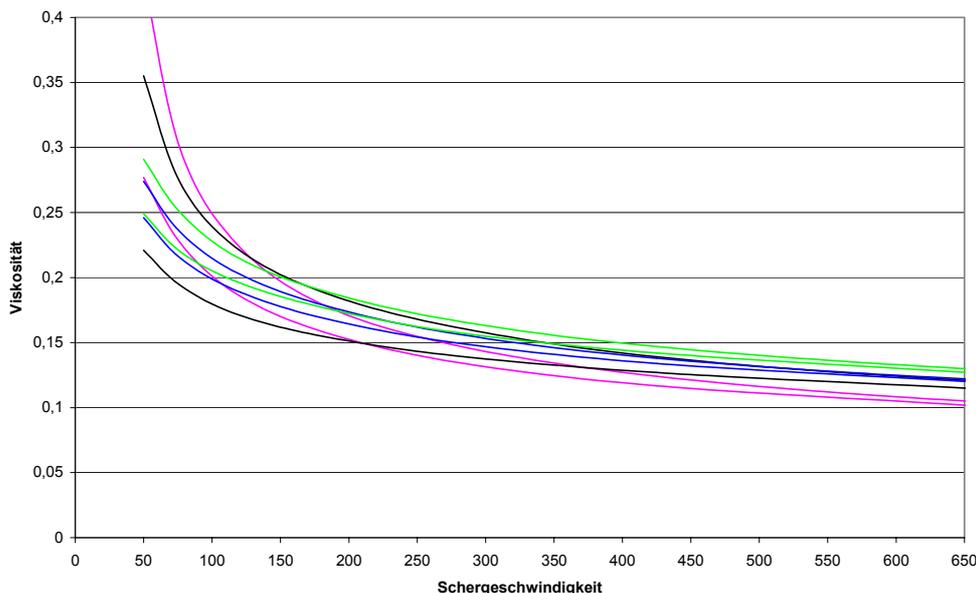


Abb. 2 Viskosität in Abhängigkeit der Schergeschwindigkeit

Die Schergeschwindigkeit ( $\dot{\gamma}$ ) im Auslaufbecher ist abhängig von der Fließgeschwindigkeit und dem Radius der Düse. Nach dem Gesetz von Hagen-Poiseulle ist die maximale Geschwindigkeit in der Mitte des Rohrs:

Gl. 5 
$$c_{\max} = \frac{r^2 \cdot \Delta p}{4 \cdot \eta \cdot L}$$

oder unter Berücksichtigung von Gl. 3 ergibt sich für die Schergeschwindigkeit:

$$\text{Gl. 6} \quad \dot{\gamma} = \frac{r \cdot \rho \cdot g \cdot h(t)}{4 \cdot L \cdot \eta}$$

Es stellt sich nun die Frage: In welchem Schergeschwindigkeitsbereich misst nun eigentlich ein Auslaufbecher? Als Beispiel für die Berechnungen sei der häufig verwendete DIN 4 Becher ( $r = 2 \text{ mm}$ ,  $L = 4 \text{ mm}$ ,  $h_0 = 75 \text{ mm}$ ,  $V = 100 \text{ mm}^3$ ) angenommen. Unter der Annahme der Messung eines newtonschen Normöls ( $\rho = 0,9 \text{ g/mm}^3$ ,  $\eta = 100 \text{ mPas}$ ) ergeben sich Schergeschwindigkeiten von maximal  $0,83 \text{ s}^{-1}$ .

Die Frage ist nun, kann man mit die mit einem Rotationsrheometer gemessene Viskosität in Auslaufsekunden umrechnen?

Unter Berücksichtigung von Gl. 1 und Gl. 4 ergibt sich die Auslaufzeit rechnerisch als:

$$\text{Gl. 7} \quad T = \frac{16 \cdot V \cdot L \cdot \eta}{\pi \cdot r^4 \cdot \rho \cdot g \cdot h_0}$$

Mit Hilfe dieser Formel ergeben sich rechnerisch 19,3 s für die Messung eines Normöls mit 100 mPas im DIN 4 Becher.



Abb. 3: Messungen im Labor mit R 180 und Auslaufbecher

Hierzu wurden Versuche durchgeführt und es zeigte sich, dass Messwerte des Rotationsrheometers nahezu exakt umgerechnet werden können. Bei einem programmierbaren Laborviskosimeter, wie z. B. dem Rheomat R 180, kann die

Anzeige der Viskosität in Auslaufsekunden erfolgen. Dies macht alle Messung reproduzierbar und dokumentierbar, ohne dass hausinterne Arbeitsanweisungen umgeschrieben werden müssen.

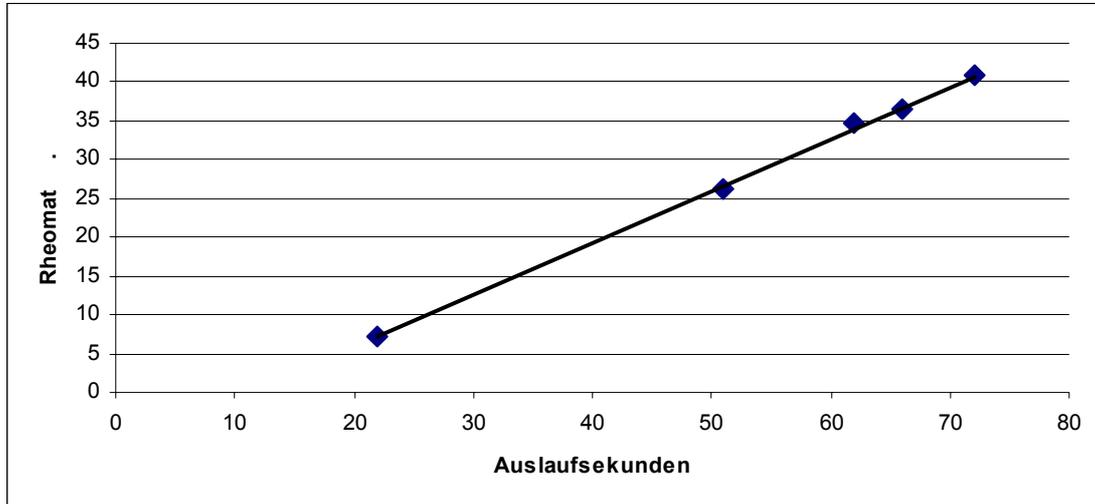


Abb. 4: Zusammenhang Messungen mit Rheomat R 180 und Auslaufbecher

Zusätzlich ergeben sich dann weitere Vorteile:

- Die Viskosität kann auch mit einem Rotationsviskosimeter direkt im Prozess vollautomatisiert gemessen werden, was eine automatische, viskositätsabhängige Regelung ermöglicht.
- Man kann die Substanzen abhängig von der Schergeschwindigkeit näher untersuchen und damit differenziertere Kenntnisse über das Fließverhalten gewinnen.

Dies ist nur ein Ausblick auf weitere Möglichkeiten. Festzuhalten ist, dass die Messung der Auslaufsekunde mit einem einfachen Rotationsviskosimeter entsprechend DIN 53 019 erfolgen kann und damit reproduzierbar, dokumentierbar und unabhängig vom jeweiligen Mitarbeiter wird.

Jutta Schelske-Gehm  
proRheo GmbH  
Bahnhofstr. 38  
75382 Althengstett  
[www.rheologie.de](http://www.rheologie.de)