

UNTERSUCHUNG RHEOLOGISCHER EIGENSCHAFTEN VON POLYOLEFINEN

Von

L. HALÁSZ und I. MONDVAI

Lehrstuhl für Kunststoff- und Gummiindustrie, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 25. August 1969)

Vorgelegt von Prof. Dr. GY. HARDY

Die allgemeine Viskositätsgleichung und ihre Anwendbarkeit für die Auswertung rheologischer Versuche wurde in unseren früheren Arbeiten [1, 2, 3] bereits demonstriert. Ihre Gültigkeit wurde von WINOGRADOW und MALKIN [4, 5, 6] an mehreren Stoffen auch versuchstechnisch nachgewiesen, obwohl die Untersuchungen dieser Forscher nur bezüglich einer konkreten Form, der reduzierten Schergeschwindigkeitskoordinate durchgeführt wurden, und auch die Faktoren der mathematischen Formen gewisse Schwankungen in den einzelnen Fällen aufweisen.

Ziel unserer Untersuchungen war die Fließeigenschaften von für die Verarbeitung interessierenden Polymeren zu studieren bzw. die Anwendbarkeit der allgemeinen Viskositätsgleichung an weiteren Beispielen zu untersuchen. Diese Mitteilung befaßt sich mit der Untersuchung handelsüblicher Polyäthylen- und Polypropylentypen aufgrund von eigenen Messungen und Literaturangaben.

Bei der Untersuchung der Anwendbarkeit der reduzierten Zustandsgleichungen erweist sich die Bestimmung der auf $\dot{\gamma} = 0$ oder $\tau = 0$ extrapolierten d. h. der maximalen Viskosität, als das wichtigste Problem. Oft verursachen die Ungenauigkeiten der einzelnen maximalen Viskositätswerte eine Abweichung von der allgemeinen Viskositätsgleichung. Für solche Fälle scheint es charakteristisch zu sein, daß die auf Grund der Versuchsergebnisse erhaltenen Kurven zu den theoretisch errechneten parallel ausfallen.

Die einfachste, doch die den größten Arbeitsaufwand benötigende Bestimmungsmethode der maximalen Viskosität ist die Bestimmung auf versuchstechnischem Wege. Hierzu muß im allgemeinen ein Viskosimeter benutzt werden, mit dem die Messungen auch im Bereich der kleinen Schubspannungen ($10-10^3$ dyn cm⁻²) durchgeführt werden können.

Die öfters angewendeten Extrapolierverfahren beruhen im allgemeinen auf irgendeiner Fließgleichung. Das bekannteste Verfahren ist das auf der Extrapolierung der Kurven $\log 1/\eta - \tau$ beruhende, dessen Gleichung (7):

$$\eta_0/\eta = Ae^{B\tau} \quad (1)$$

sich auf die Arbeiten von SPENCER und DILLON gründet. Diese Methode wurde auch von WINOGRADOW und PROSOROWSKAJA [10, 11] und auch von uns in früheren Arbeiten angewendet. Zuverlässige Ergebnisse erhält man nur dann, wenn die Meßpunkte in der Nähe des NEWTONSchen Fließbereiches liegen, der durch die Schubspannungen 10^3 und 10^4 dyn cm⁻² begrenzt ist. Bei Polymeren mit starkem nicht NEWTONSchem Verhalten kann die Methode dagegen nur bei Schubspannungen zwischen $5 \cdot 10^2$ und $2 \cdot 10^3$ dyn cm⁻² als zuverlässig bezeichnet werden.

Diese Tatsache wird auch dadurch bestätigt, daß KATAOKA und UEDA [12], nachdem sie diese Methode bei einem Wert von 10^5 dyn cm⁻² anzuwenden versuchten, praktisch vollkommen unzuverlässige, ungenaue Ergebnisse erhielten. Dieselben Verfasser untersuchten die auf der Gleichung nach FERRY [13] beruhende, die Extrapolierung der Geraden $1/\eta - \tau$ anwendende Methode:

$$\eta_0/\eta = 1 + \tau/G_i, \quad (2)$$

wobei G_i den Sprödigkeits-Schermodul darstellt. Sie stellten fest, daß die Versuchsdaten hier auch bei Schubspannungen von 10^5 dyn cm⁻² eine Gerade ergeben, doch die Linearität sowohl durch das Molekulargewicht, als auch durch die Molekulargewichtsverteilung bzw. durch die Kettenverzweigung der Polymeren beeinflusst wird. Die Bestimmung von η_0 ist daher unsicher.

Sie untersuchten auch die Anwendbarkeit der Methode, die sich der Extrapolierung der Kurve $1/\eta - \dot{\gamma}^{2/3}$ bedient, und auf der Gleichung nach CROSS [14]:

$$\eta = \eta_\infty + \frac{\eta_0 - \eta_\infty}{1 + \alpha \dot{\gamma}^{2/3}} \quad (3)$$

beruht (wobei η_∞ die zur unendlich großen Schergeschwindigkeit gehörende Viskosität, α eine Konstante darstellt). Nach der Methode wurde η_0 im Bereich zwischen $10^5 - 6 \cdot 10^5$ dyn cm⁻² bestimmt, und die so erhaltenen Werte wurden mit den versuchstechnisch erhaltenen verglichen. Diese Methode ergab bei einer Scherspannung von 10^5 dyn cm⁻² ein verhältnismäßig gutes Resultat, bei größeren Werten ist aber auch diese unzuverlässig.

Aus diesen Erläuterungen geht deutlich hervor, daß die Bestimmung von η_0 in der Regel ein schwieriges Problem darstellt. Die Schwierigkeit wird durch die Tatsache nur noch erhöht, daß gewisse Polymerenschmelzen bei niedrigen Temperaturen eine Fließgrenze besitzen, d. h. sich als plastische Stoffe verhalten. In solchen Fällen erhält man für die durch Extrapolierung bestimmte maximale Viskosität einen größeren Wert, als in der Wirklichkeit.

Versuchsmethoden und Ergebnisse

Die charakteristischen Eigenschaften der zu unseren Versuchen verwendeten Polyäthylene bzw. Polypropylene sind in den Tabellen 1 bzw. 2 enthalten. Die entsprechenden Werte der auf Grund der Literaturangaben [8, 9] verarbeiteten Polymere wurden in den Tabellen 3 und 4 zusammengefaßt.

Die Messungen wurden mittels Ausfließplastometer und Extruder durchgeführt. Zu dem in der Mitteilung [2] beschriebenen Plastometer wurden 4

Tabelle 1

Die charakteristischen Eigenschaften der untersuchten Polyäthylene

Marke	Dichte g/ml bei 20 °C	Schmelz- index g/10 Min.	Temperatur °C	Maximale Viskosität Poise	Bemerkung
Alkathene SI 47	0,917	1,45	190	$5,72 \cdot 10^5$	I. C. I. Erzeugnis enthält 0,64% Ruß enthält 2,45% Ruß Montecatini-Erzeugnis
Alkathene D 11/02	0,925	1,24	190	$6,38 \cdot 10^5$	
Alkathene D 11/04	0,930	1,37	190	$5,60 \cdot 10^5$	
Celene DFD 6005	0,924	0,21	190	$6,20 \cdot 10^6$	
Celene DFD 2005	0,918	1,04	190	$8,50 \cdot 10^5$	
P 2015 KAS	0,924	1,71	190	$4,20 \cdot 10^5$	Sowjetisches Erzeugnis, enthält Ruß

Schmelzindex wird nach MSz 7753 bei 190 °C mit 2158 ± 5 p Gewicht gemessen.

Tabelle 2

Die charakteristischen Eigenschaften der untersuchten Polypropylene

Marke	Dichte g/ml bei 20 °C	Schmelz- index g/10 Min.	Temperatur °C	Maximale Viskosität Poise	Bemerkung
Daplen AD	0,901	0,13	190	$3,40 \cdot 10^6$	Erzeugnis der Danubia Petro- chemie AG.
			210	$2,45 \cdot 10^6$	
			220	$2,00 \cdot 10^6$	
			240	$1,45 \cdot 10^6$	
Daplen AS	0,903	0,44	190	$3,87 \cdot 10^5$	
			210	$2,12 \cdot 10^5$	
			220	$1,28 \cdot 10^5$	
			240	$9,60 \cdot 10^4$	
Daplen AT	0,905	0,67	190	$2,05 \cdot 10^5$	
			210	$9,80 \cdot 10^4$	
			220	$7,20 \cdot 10^4$	
			240	$4,78 \cdot 10^4$	

Schmelzindex wird nach MSz 7753 bei 190 °C mit 2158 ± 5 p Gewicht gemessen.

Kapillaren folgender Abmessungen verwendet:

$$\begin{array}{ll} L_1 = 7,8 \text{ mm} & D_1 = 2,574 \text{ mm} \\ L_2 = 7,8 \text{ mm} & D_2 = 2,024 \text{ mm} \\ L_3 = 7,8 \text{ mm} & D_3 = 1,150 \text{ mm} \\ L_4 = 7,8 \text{ mm} & D_4 = 0,560 \text{ mm} \end{array}$$

Tabelle 3

Die charakteristischen Eigenschaften
der in Literaturangaben [8, 9] behandelten Polyäthylene

Marke	Dichte g/ml bei 20 °C	Schmelzindex g/10 Mia.	Temperatur °C	Maximale Viskosität Poise
Lupolen H (BASF-Erzeugnis)	0,918	1,3	120	$2,06 \cdot 10^6$
			140	$9,89 \cdot 10^5$
			160	$5,95 \cdot 10^5$
			180	$3,21 \cdot 10^5$
			200	$1,56 \cdot 10^5$
			220	$9,00 \cdot 10^4$
			240	$5,07 \cdot 10^4$
Alkathene VRM 19	0,916	19,8	150	$2,50 \cdot 10^4$
			180	$2,20 \cdot 10^5$
Alkathene VHG	0,935	1,1	180	$2,20 \cdot 10^5$
Fertene QF 1 (Montecatini-Erzeugnis)	0,920	4,6	180	$2,50 \cdot 10^4$
Rigidex 2 (British Resin-Erzeugnis)	0,960	0,2	150	$1,50 \cdot 10^6$
Hostalen GC (Farbwerke Hoechst-Erzeugnis)			160	$7,45 \cdot 10^4$
			190	$3,85 \cdot 10^4$
Hostalen GD	0,950	5	250	$2,46 \cdot 10^4$
			300	$1,40 \cdot 10^4$
			160	$4,40 \cdot 10^5$
Hostalen GF	0,950	1,3	190	$1,90 \cdot 10^5$
			250	$8,50 \cdot 10^4$
			300	$5,20 \cdot 10^4$
Hostalen GM	0,950	0,3	190	$9,50 \cdot 10^5$
			160	$1,04 \cdot 10^7$
			250	$8,02 \cdot 10^6$
			300	$4,51 \cdot 10^6$
				$1,52 \cdot 10^6$

Schmelzindex wird bei 190 °C mit 10 kp Gewicht gemessen.

Um die in der Einleitung beschriebenen Schwierigkeiten zu eliminieren, wurden die Werte von η_0 durch die Extrapolierung der Geraden $\log 1/\eta - \tau$ bei Spannungen um 10^3 dyn cm^{-2} und bei von den Schmelzbereichen entfernt liegenden Temperaturen bestimmt. Die η_0 Werte wurden auf Grund der Geraden $\log \eta_0 - 1/T$ für die erwünschten Temperaturen berechnet und ihre Richtigkeit wurde von Zeit zu Zeit auch durch Messungen kontrolliert.

Zu den Messungen mittels Extruder wurden der in der Mitteilung [3] beschriebene Extruder und Düsensatz verwendet. Die Abmessungen der ein-

zelen Düsen sind wie folgt:

$$\begin{aligned} L &= 7,0 \text{ mm} \\ W &= 6,0 \text{ mm} \\ H_1 &= 1,89 \text{ mm} \\ H_2 &= 1,26 \text{ mm} \\ H_3 &= 0,63 \text{ mm} \\ H_4 &= 0,40 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabelle 4

Die charakteristischen Eigenschaften
der in Literaturangabe [9] behandelten Polypropylene

Marke	Dichte g/ml bei 20 °C	Schmelzindex g/10 Min.	Temperatur °C	Maximale Viskosität Poise
Moplen AD (Montecatini-Erzeugnis)	0,901	0,19	200	$1,20 \cdot 10^6$
			180	$4,00 \cdot 10^5$
			200	$3,10 \cdot 10^5$
Moplen AS	0,903	2,03	220	$2,00 \cdot 10^5$
			240	$1,00 \cdot 10^5$
			260	$4,50 \cdot 10^4$
			200	$1,50 \cdot 10^5$
Moplen AT	0,904	2,10	200	$6,00 \cdot 10^4$
Propathene LWF (I. C. I.-Erzeugnis)				
Propathene GWM		1,0	200	$1,50 \cdot 10^5$
Propathene GSM		3,5	200	$2,70 \cdot 10^5$
Propathene HWH		0,79	200	$1,45 \cdot 10^5$
Propathene HSM		3,4	200	$3,20 \cdot 10^5$
Propathene HPE		0,5	200	$1,25 \cdot 10^5$

Schmelzindex wird bei 230 °C, bei Type Moplen mit 10 kp Gewicht, bei Type Propathene 2,16 kp Gewicht gemessen.

Die Verarbeitung der Versuchsdaten wurde wie in [3] beschrieben durchgeführt. Von den zahlreichen Literaturangaben wurden die in der Praxis am häufigsten verwendeten Stoffe ausgewählt, deren Auswertungsmethode oder die Umrechnung der Werte die Bestimmung der wirklichen Schergeschwindigkeiten, Schubspannungen und Viskositäten ermöglichten.

Die Fließkurven der mit dem Plastometer bei 190 °C untersuchten Polyäthylene sind in Abb. 1 zu sehen. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die reduzierten Viskositätskurven dieser Polyäthylene bzw. der von BARTOS [9] untersuchten Alkathene VRM 19 und VHG, Fertene QF und Rigidex 2.

In den reduzierte Viskosität — reduzierte Schergeschwindigkeit Diagrammen wird die Gleichung:

$$\eta_0/\eta = 1 + 6,12 \cdot 10^{-3} \dot{\gamma}_R^{0,355} + 2,33 \cdot 10^{-4} \dot{\gamma}_R^{0,71} \quad (4)$$

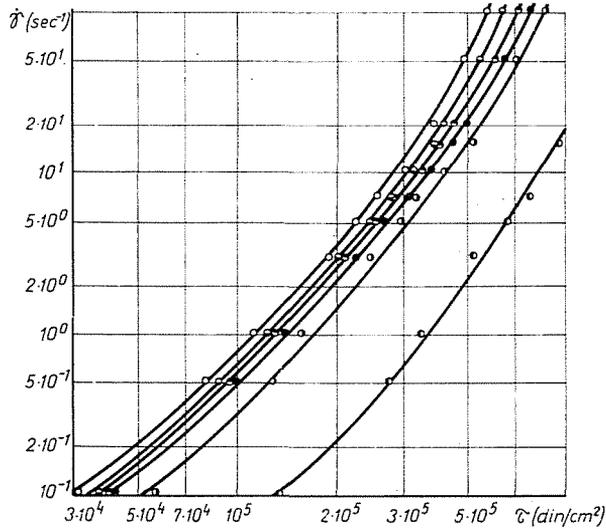


Abb. 1. Fließkurven von Polyäthylenen bei 190 °C
 Alkathene SI 47: \ominus ; Alkathene D 11/02: \bullet ; Alkathene D 11/04: \circ ; Celene DFD 6005: \ominus ;
 Celene DFD 2005: \bullet ; P 2015 KAS: \circ .

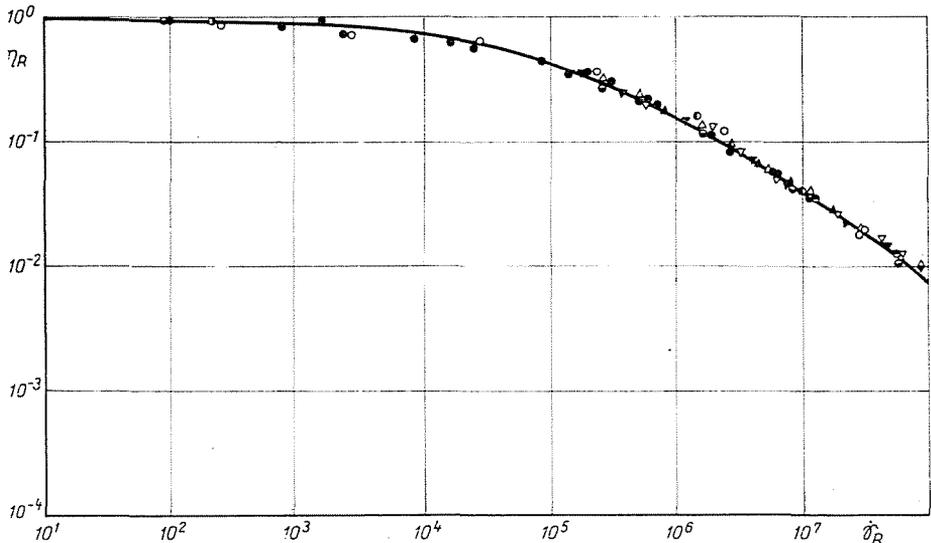


Abb. 2. Zusammenhänge zwischen reduzierter Viskosität und reduzierter Schergeschwindigkeit
 Alkathene SI 47 bei 190 °C: \ominus ; Alkathene D 11/02 bei 190 °C: \bullet ; Alkathene D 11/04 bei
 190 °C: \triangle ; Celene DFD 6005 bei 190 °C: ∇ ; P 2015 KAS bei 190 °C: \blacktriangledown ; Alkathene VRM 19
 bei 150 °C: \circ ; Alkathene VHG bei 180 °C: \bullet ; Rigidex 2 bei 150 °C \ominus .

durch eine stetige Linie dargestellt. In den Diagrammen: reduzierte Viskosität — Schubspannung werden die aus Gleichung (4) transformierten Werte mit einer stetigen Linie gekennzeichnet.

Die zu einer gegebenen Schubspannung und Schergeschwindigkeit gehörende Viskosität ist:

$$\eta = \tau / \dot{\gamma}. \quad (5)$$

Wenn diese Gleichung durch die maximale Viskosität (η_0) dividiert wird, erhält man den Zusammenhang:

$$\eta / \eta_0 = \tau / \dot{\gamma} \eta_0. \quad (6)$$

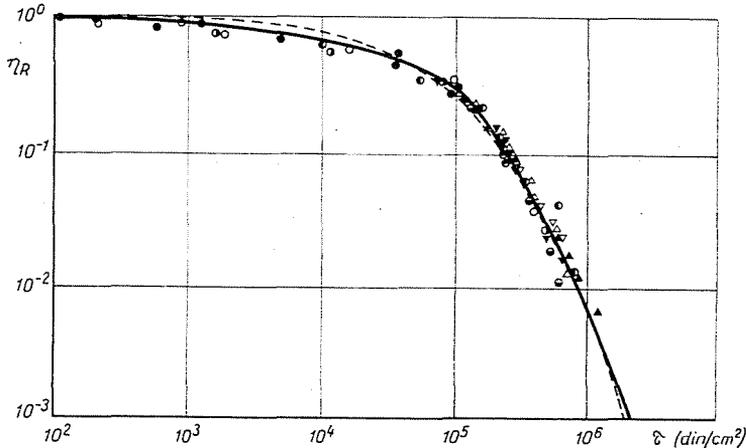


Abb. 3. Zusammenhänge zwischen reduzierter Viskosität und Schubspannung. Die Bezeichnungen sind die gleichen wie in Abb. 2

Diesen umgeordnet ergibt sich die Gleichung:

$$\tau = \frac{\eta}{\eta_0} \dot{\gamma} \eta_0. \quad (7)$$

In einer anderen Form aufgeschrieben, ergibt diese die Gleichung:

$$\tau = \eta_R \dot{\gamma}_R. \quad (8)$$

Daraus können mit Gleichung (4) die zu den einzelnen reduzierten Schergeschwindigkeiten bzw. reduzierten Viskositäten gehörenden Spannungswerte errechnet werden. In den Diagrammen reduzierte Viskosität — Schubspannung wurden die Werte des durch die regressive Analyse der für die Polyäthylene erhaltenen Versuchsdaten bestimmten Zusammenhanges

$$\frac{\eta_0}{\eta} = 1 + 1,72 \cdot 10^{-4} \tau^{0,71} + 1,9 \cdot 10^{-7} \tau^{1,42} + 8,3 \cdot 10^{-16} \tau^{2,84} \quad (9)$$

mit einer gestrichelten Linie dargestellt.

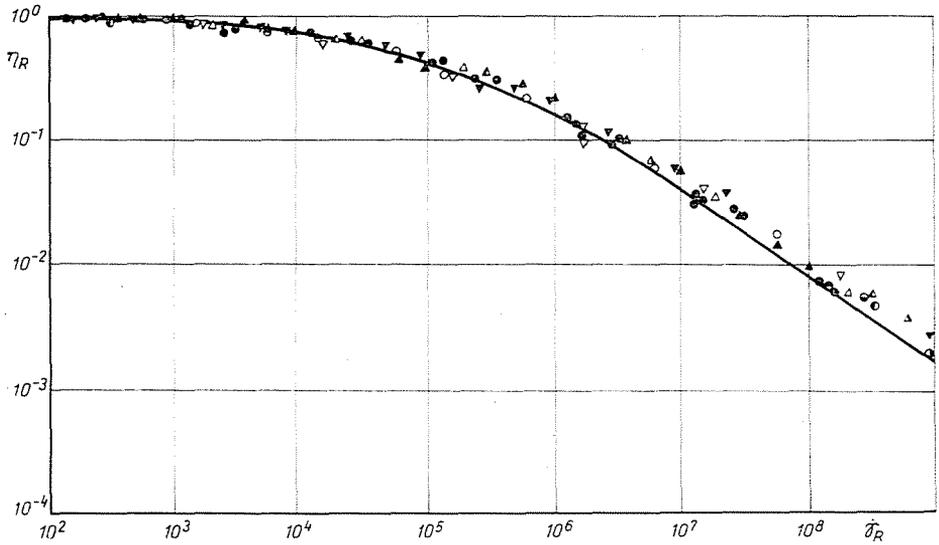


Abb. 4. Zusammenhänge zwischen reduzierter Viskosität und reduzierter Schergeschwindigkeit
 Propathene GWM bei 200 °C: ●; Propathene GSM bei 200 °C: ⊖; Propathene HWH bei
 200 °C: ⊕; Propathene HSM bei 200 °C: ⊙; Propathene HPE bei 200 °C: ⊚; Lupolene H
 bei 120 °C: △; bei 140 °C: ▲; bei 160 °C: ⬆; bei 180 °C: ⬇; bei 200 °C: ▽; bei 220 °C: ▿;
 bei 240 °C: ▾; bei 260 °C: ▹

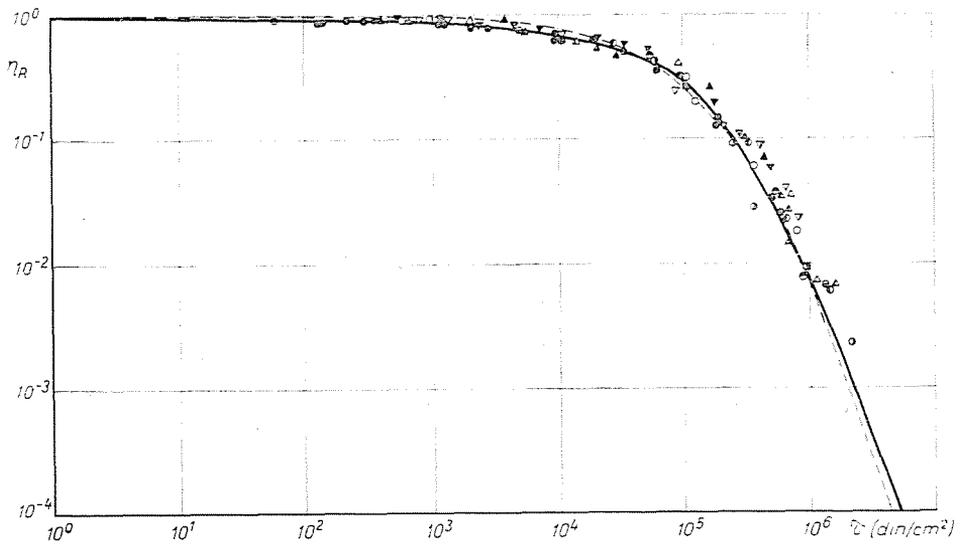


Abb. 5. Zusammenhänge zwischen reduzierter Viskosität und Schubspannung. Die Bezeichnun-
 gen sind die gleichen wie in Abb. 4

In den Abbildungen 4 und 5 sind die aus den von BARTOS [9] bestimmten Werten des Polypropylens Propathene und des Polyäthylens Lupolen berechneten reduzierten Viskositätskurven dargestellt. Die aus den von SCHIEDRUM [8] bestimmten Fließkurven des Polyäthylens Hostalen berechneten reduzierten Viskositätskurven sind in den Abbildungen 6 und 7 erhalten.

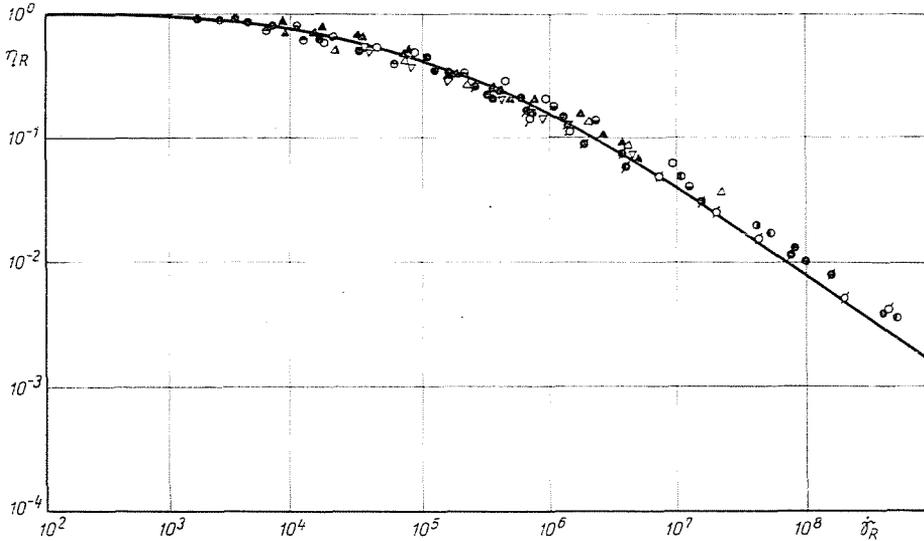


Abb. 6. Zusammenhänge zwischen reduzierter Viskosität und reduzierter Schergeschwindigkeit Hostalen GC bei 160 °C: ○; bei 190 °C: ⊗; bei 250 °C: ⊙; bei 300 °C: ⊕; Hostalen GD bei 160 °C: △; bei 190 °C: ▲; bei 250 °C: ▴; bei 300 °C: ▸; Hostalen GF bei 190 °C: ▽; Hostalen GM bei 160 °C: ⊖; bei 190 °C: ⊗; bei 250 °C: ⊙; bei 300 °C: ⊕.

Die aus den mittels Extruder und Plastometer erhaltenen Meßwerten berechneten Fließkurven der Polypropylene Daplen sind in den Abbildungen 8 und 9, sowie 10 angegeben. Abb. 8 enthält die im Schergeschwindigkeitsbereich $0,1-10 \text{ sec}^{-1}$ mittels Plastometer bzw. die im Schergeschwindigkeitsbereich $10-200 \text{ sec}^{-1}$ mittels Extruder erhaltenen Daten. Die in den Abbildungen 9 und 10 im Bereich $1-100 \text{ sec}^{-1}$ dargestellten Werte wurden plastometrisch bestimmt, die Werte im Bereich $100-20\,000 \text{ sec}^{-1}$ stammen dagegen aus den mit dem Extruder durchgeführten Versuchen.

Die reduzierten Viskositätskurven der Polypropylene Daplen sind in den Abbildungen 11 und 12 angegeben, die der Polypropylene Moplen in den Abbildungen 13 und 14.

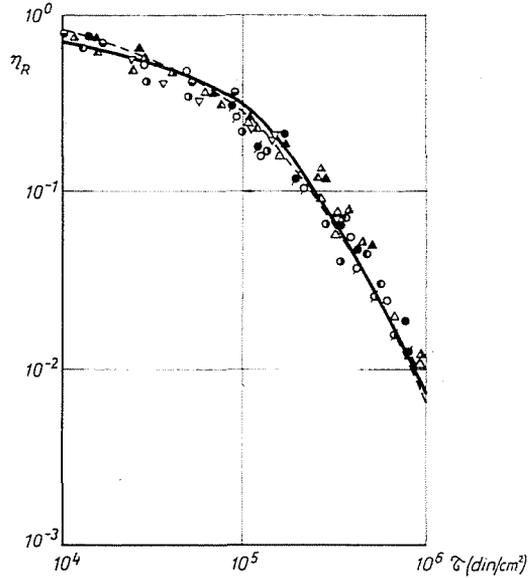


Abb. 7. Zusammenhänge zwischen reduzierter Viskosität und Schubspannung. Die Bezeichnungen sind die gleichen wie in Abb. 6

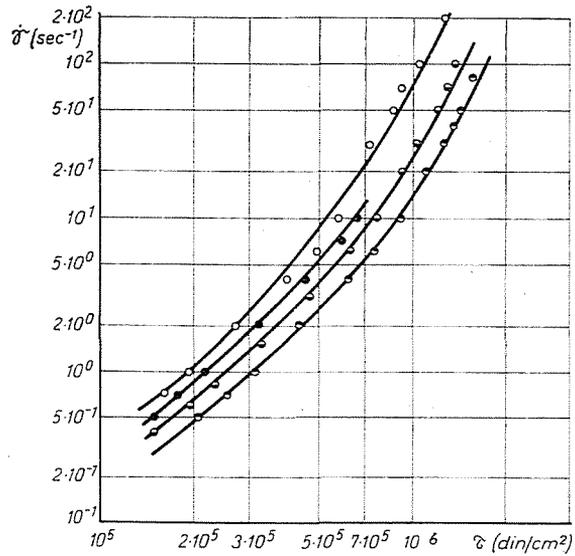


Abb. 8. Fließkurven von Daplen AD Polypropylen
 \odot : 190°C ; \square : 210°C ; \triangle : 220°C ; \diamond : 240°C

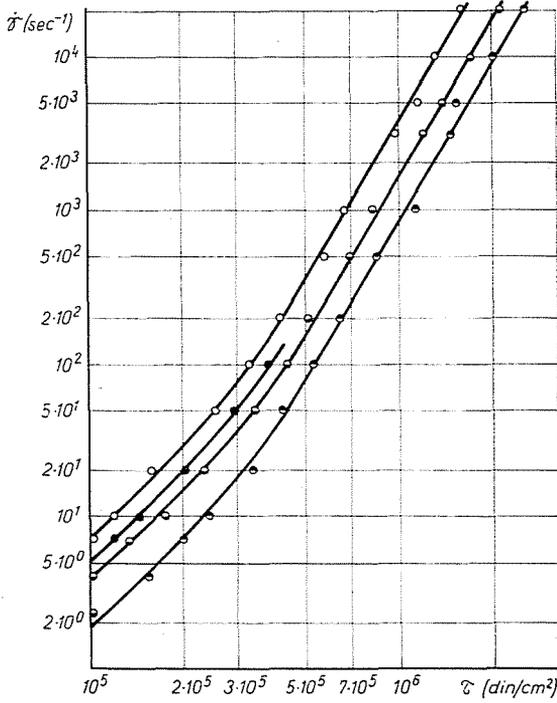


Abb. 9. Fließkurven von Daplen AS Polypropylen
 ●: 190 °C; ◐: 210 °C; ●: 220 °C; ○: 240 °C

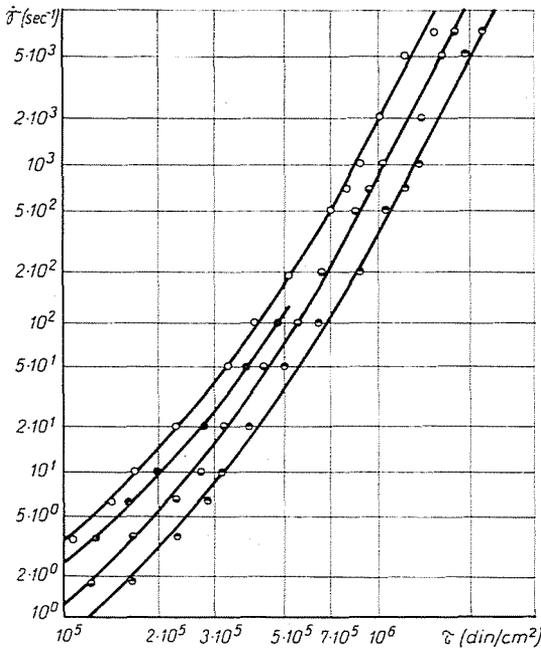


Abb. 10. Fließkurven von Daplen AT Polypropylen
 ◐: 190 °C; ◐: 210 °C; ●: 220 °C; ○: 240 °C

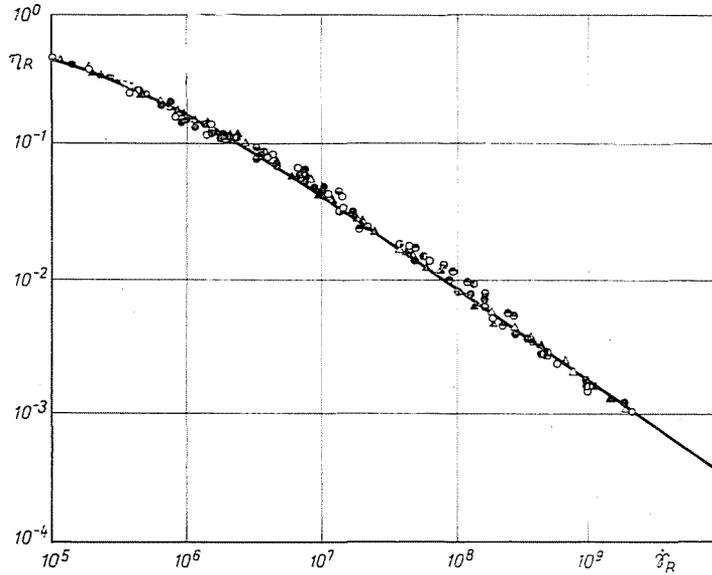


Abb. 11. Zusammenhänge zwischen reduzierter Viskosität und reduzierter Schergeschwindigkeit
 Daplen AD bei 190 °C: \ominus ; bei 210 °C: \oplus ; bei 220 °C: \boxtimes ; bei 240 °C: \otimes ; Daplen AS bei
 190 °C: \triangle ; bei 210 °C: \blacktriangle ; bei 220 °C: \blacktriangleleft ; bei 240 °C: \blacktriangleright ; Daplen AT bei 190 °C: \circ ; bei 210 °C:
 \bullet ; bei 220 °C: \circ ; bei 240 °C: \bullet

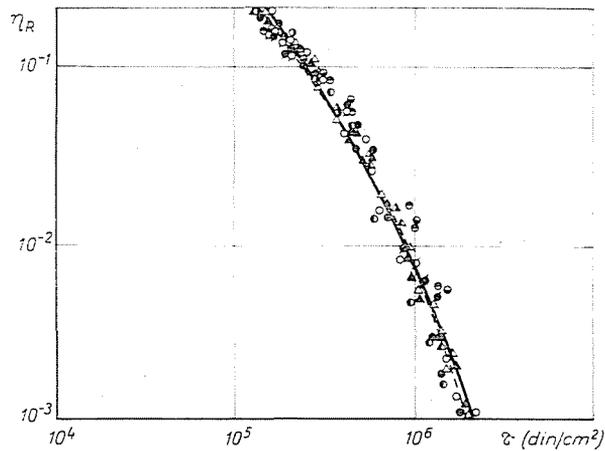


Abb. 12. Zusammenhänge zwischen reduzierter Viskosität und Schubspannung. Die Bezeichnungen sind die gleichen wie in Abb. 11

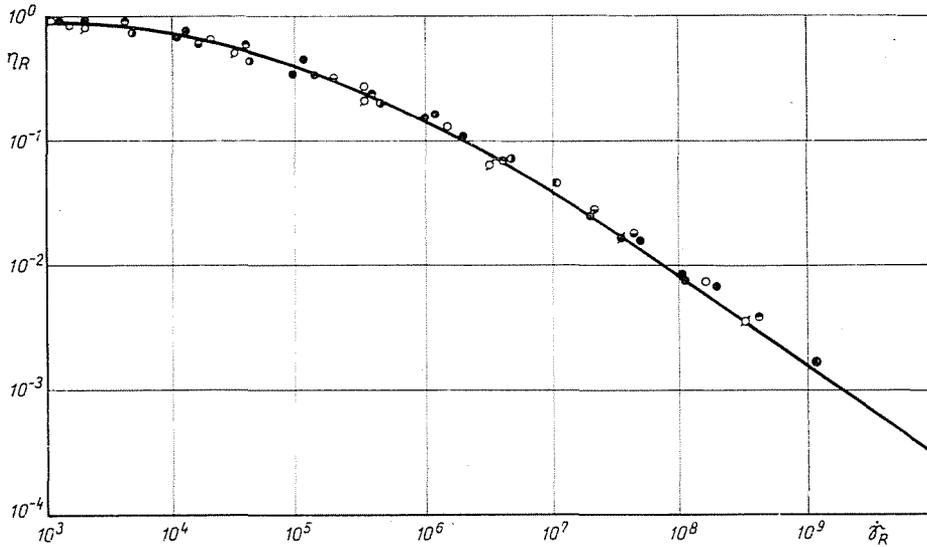


Abb. 13. Zusammenhänge zwischen reduzierter Viskosität und reduzierter Schergeschwindigkeit
 Moplen AD bei 200 °C: \odot ; Moplen AS bei 180 °C: \ominus ; bei 200 °C: \otimes ; bei 220 °C: \otimes ; bei 240 °C:
 \bullet ; bei 260 °C: \circ ; Moplen AT bei 200 °C: \circ

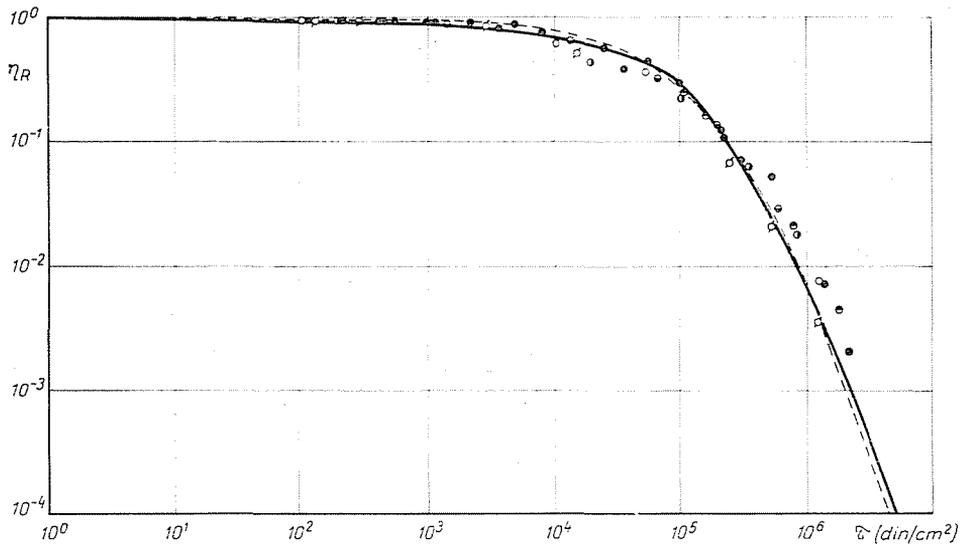


Abb. 14. Zusammenhänge zwischen reduzierter Viskosität und Schubspannung. Die Bezeichnungen sind die gleichen wie in Abb. 13

Besprechung der Versuchsergebnisse

Eine große Zahl von Meßergebnissen wurde zur Bestimmung der reduzierten Viskositätskurven der für die Verarbeitung in Betracht kommenden Polyäthylen- und Polypropylentypen angewendet. Die Meßergebnisse fielen in den Temperaturbereich 120–300 °C, in den Schergeschwindigkeitsbereich 10^{-3} – 10^{-5} sec⁻¹ und in den reduzierten Schergeschwindigkeitsbereich 10 – 10^{10} , wobei das in der Praxis in Betracht kommende volle Gebiet umfaßt war.

Die Meßergebnisse stellen eine weitere Bestätigung der in unseren früheren Arbeiten [2, 3] veröffentlichten Bestimmungsmethoden tatsächlicher Schergeschwindigkeiten und Schubspannungen dar, da die mit zwei verschiedenen rheologischen Einrichtungen erhaltenen Werte stetige Fließkurven ergeben.

Die Versuchsergebnisse weisen eine gute Übereinstimmung mit den aus Gleichung (4) bzw. aus ihrer transformierten Form errechneten Werten auf, die Gleichung (8) stellt einen guten annähernden Zusammenhang dar.

Unsere Ergebnisse bestätigen die über Polyäthylene und Polypropylene bekanntgegebenen Untersuchungen von WINOGRADOW und MALKIN [4, 5]; WINOGRADOW, MALKIN und ISMAILOW [15]; FRIDMANN und Mitarbeiter [16]; WINOGRADOW und PROSOROWSKAJA [10]. Die Abweichungen von den mathematischen Formen der allgemeinen Viskositätsgleichung werden im allgemeinen durch die unzulängliche Verarbeitung der Versuchsergebnisse bzw. durch die ungenaue Bestimmungen der maximalen Viskositäten verursacht. In der Arbeit von FRANK [17] scheint es z. B. wahrscheinlich zu sein, daß die Abweichungen von der allgemeinen Viskositätsgleichung zum Teil durch die Ungenauigkeit der Bestimmung von η_0 , zum Teil durch die Anwendung des Faktors $2,85 \cdot 10^{-4}$ verursacht werden.

Zusammenfassung

Die Fließeigenschaften der für die Verarbeitung interessierenden Polyolefine bzw. die Anwendbarkeit der allgemeinen Viskositätsgleichung wurden an weiteren Beispielen untersucht. Die Messungen wurden im Temperaturbereich 120–300 °C, im Schergeschwindigkeitsbereich 10^{-3} – 10^5 sec⁻¹ und im reduzierten Schergeschwindigkeitsbereich 10 – 10^{10} durchgeführt, wobei das in der Praxis interessierende gesamte Gebiet erfaßt wurde. Die Versuchsergebnisse weisen eine gute Übereinstimmung mit den aus der allgemeinen Viskositätsgleichung bzw. aus deren transformierter Form berechneten Werten auf. Die beschriebenen Abweichungen von den mathematischen Formen der allgemeinen Viskositätsgleichung werden in den meisten Fällen durch die ungenaue Bestimmung der maximalen Viskosität verursacht.

Literatur

1. HALÁSZ, L.—MONDVAI, I.: Műanyag és Gumi 6, 388 (1969). Periodica Polytech. 13, 327 (1969)
2. HALÁSZ, L.—MONDVAI, I.: Műanyag és Gumi 6, 427 (1969). Periodica Polytech. 13, 337 (1969)

3. HALÁSZ, L.—MONDVAI, I.: *Műanyag és Cumi* 7, 8 (1970). *Periodica Polytech.* 14, 57 (1970)
4. WINOGRADOW, G. W.—MALKIN, A. JA.: *Dokl. Akad. Nauk SSSR* 154, 890 (1964)
5. WINOGRADOW, G. W.—MALKIN, A. JA.: *Dokl. Akad. Nauk SSSR* 150, 574 (1963)
6. WINOGRADOW, G. W.—MALKIN, A. JA.: *J. Polymer Sci. A* 2, 2357 (1964)
7. SPENCER, R. S.—DILLON, R. E.: *J. Colloid Sci.* 3, 163 (1948)
8. SCHIEDRUM, H. O.: *Plastverarb.* 18, 519 (1967)
9. BARTOS, O.: *J. Appl. Phys.* 35, 2767 (1964)
10. WINOGRADOW, G. W.—PROSOROWSKAJA, N. V.: *Rheol. Acta* 3, 156 (1964).
11. WINOGRADOW, G. W.—PROSOROWSKAJA, N. V.: *Plast. Massy* 1964, No. 5. 50
12. KATAOKA, T.—UEDA, S.: *J. Appl. Polymer Sci.* 12, 939 (1968)
13. FERRY, J. D.: *J. Am. Chem. Soc.* 64, 1330 (1942)
14. CROSS, M. M.: *J. Colloid Sci.* 20, 417 (1965)
15. WINOGRADOW, G. W.—MALKIN, A. JA.—ISMAILOV, T. M.: *Chim. Wolokna* 1965, No. 2. 7
16. FRIDMAN, M. L.—WINOGRADOW, G. W.: *Plast. Massy* 1967, No. 12. 53
17. FRANK, H. P.: *Rheol. Acta* 7, 344 (1968)

Dr. Imre MONDVAI
Dr. László HALÁSZ

} Budapest XI, Műegyetem rkp. 3, Ungarn