

# RHEOLOGISCHE UNTERSUCHUNG MAKROMOLEKULARER SUBSTANZEN. VII.

## EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF PVC-FLÜSSIGKEITSSYSTEME

Von

Z. CSÚRÖS, M. GARA und GY. BERTALAN

Institut für Organisch-Chemische Technologie der Technischen Universität, Budapest

(Eingegangen am 16. November 1959)

Die Temperaturabhängigkeit der Wirkung von Lösungs- und Weichmachungsmitteln auf PVC wurde nach dem viskosimetrischen Verfahren erstmalig von EHLERS und GOLDSTEIN (1) untersucht. Sie prüften die Änderungen, die in verdünnten PVC-Lösungen vor sich gehen, da sich diese zum Studium der Zusammenhänge am besten eignen und der Untersuchung methodisch am zugänglichsten sind. Wir befaßten uns auf Grund ihrer Beobachtungen mit der praktisch wichtigeren Frage der Temperaturabhängigkeit von Weichmachern auf PVC-Pasten (2). Das Übergangsintervall zwischen Lösungen und Pasten stellt ein bisher nicht geprüftes Gebiet dar, dessen Untersuchung von umso größerem Interesse sein kann, als sich aus den Arbeiten von EHLERS und GOLDSTEIN bzw. CsÚRÖS und Mitarbeiter feststellen ließ, daß für die Quellung und Lösung des PVC charakteristischen Temperaturen unter anderem auch konzentrationsabhängig sind. In der gegenwärtigen Arbeit setzten wir uns daher zum Ziele, einen Teil des Gebietes der Übergangskonzentration sowie einige weitere Detailfragen zu untersuchen.

Bisher wurde die Wirkung von Lösungs- und Weichmachungsmitteln auf PVC untersucht, doch beziehen sich bereits die Mitteilungen von EHLERS und GOLDSTEIN auch auf Verbindungen (Chlorbenzol, o-Dichlorbenzol), die keine Weichmacher und Lösungsmittel des PVC sind, viskosimetrisch jedoch eine ähnliche Wirkung wie diese aufweisen. Unsere vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß sich Nitrobenzol und Tetrachloräthan in ihrer Wirkung gegenüber PVC genau so verhalten, wie die Dialkylphthalate oder andere Weichmacher des PVC, eine Tatsache, die eine viel umfassendere Behandlung der Frage nötig macht, als es bisher geschah und aus praktischen Gesichtspunkten gefordert wurde. Zweckmäßig werden alle Flüssigkeiten, die auf PVC nur eine physikalische Wirkung ausüben, dieser Wirkung gemäß eingereiht. Da diese Reihe nicht nur Lösungsmittel und Weichmacher umfaßt, konnte auf Grund der anfänglichen Untersuchungen statt der bisherigen Gruppeneinteilung, die auf den auf einem begrenzteren Gebiet gemachten Erfahrungen beruhte, eine solche von allgemeinerer Gültigkeit erwartet werden. In diesem Sinne stellten wir eine Einreihung der auf PVC physikalisch wirkenden Flüssigkeiten auf,

auf die wir bei der Besprechung unserer Versuchsergebnisse zurückkommen werden.

Bekanntlich wirken gewisse Flüssigkeiten unter dem Einfluß der Temperatur quellend und sodann lösend auf PVC. Bekannt ist auch, daß sich die Eigenschaften der Lösungen mit der Temperatur ändern. (So kann z. B. bei sinkender Temperatur Gelbbildung eintreten.) Diese Änderungen lassen sich mittels Viskositätsmessung verfolgen. EHLERS und GOLDSTEIN definierten an den beim Erwärmen (Erwärmungskurve) und Abkühlen ermittelten Viskositätskurven charakteristische Temperatur-Punkte und gaben für diese eine qualitative Deutung.

Die Messung der Temperaturabhängigkeit der Viskosität ermöglicht zugleich die Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Lösungsmittel und Polymeren. Untersuchungen dieser Art wurden bisher nur spärlich ausgeführt.

EHLERS und GOLDSTEIN [1] übernahmen die zur Untersuchung der Wechselwirkungen von Stärke-Wasser Systemen angewandte Methode OSTWALDS [3]. Wir bedienten uns einer anderen Methodik, wobei sich unsere Arbeiten an die Untersuchungen anschließen, die den Zusammenhang zwischen Quellung und Lösung des PVC und den physikalischen Eigenschaften der Lösungsmittel prüften [4, 5, 6, 7].

### Versuche

Wir setzten uns mithin hauptsächlich das Studium der Temperaturabhängigkeit der Viskosität auf dem Gebiet des Übergangintervalls der Konzentration zum Ziel. Die Vorversuche hatten gezeigt, daß sich hierzu das

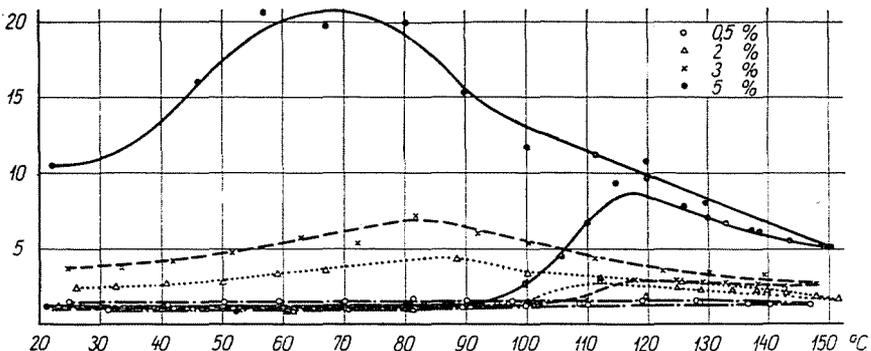


Abb. 1.1  $\eta$ -t Diagramme der PVC-Dimethylphthalat-Systeme

Rotationsviskosimeter nach Emila (Fabrikat H. Schau A/S) eignet. Bei den Versuchen von EHLERS und GOLDSTEIN [1] betrug der höchste untersuchte PVC-Gehalt 2 %. Unsere Versuche auf dem Gebiet der Übergangskonzentra-

tion wurden mit den meisten Lösungs- und Weichmachungsmitteln bei PVC-Konzentrationen von 0,5–10% ausgeführt. (Beim Cyclohexanon betrug die obere Grenze 15%.) Bei verdünnten (0,5%) Dispersionen führten wir Versuche

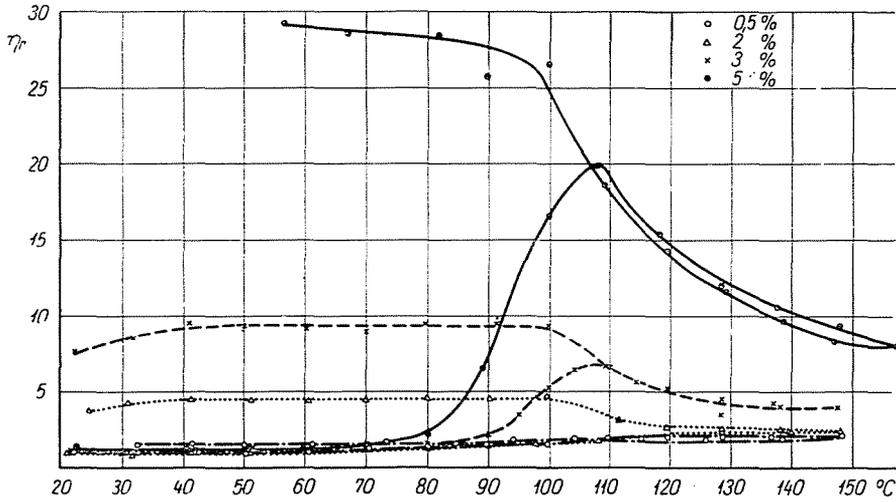


Abb. 2.  $\eta_r$ -t Diagramme der PVC-Diäthylphthalat-Systeme

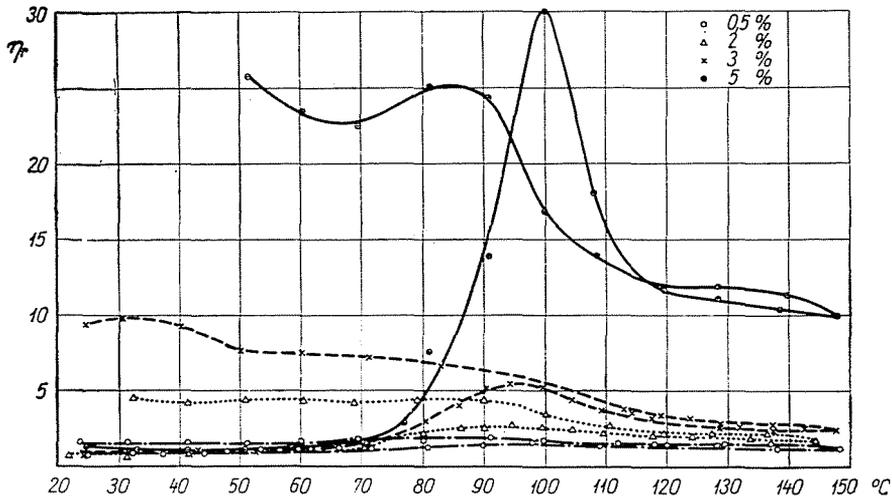
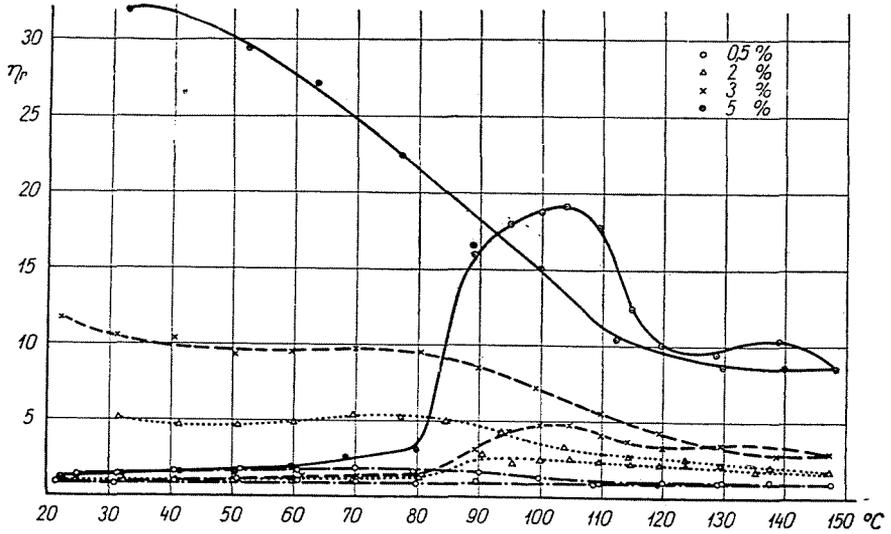
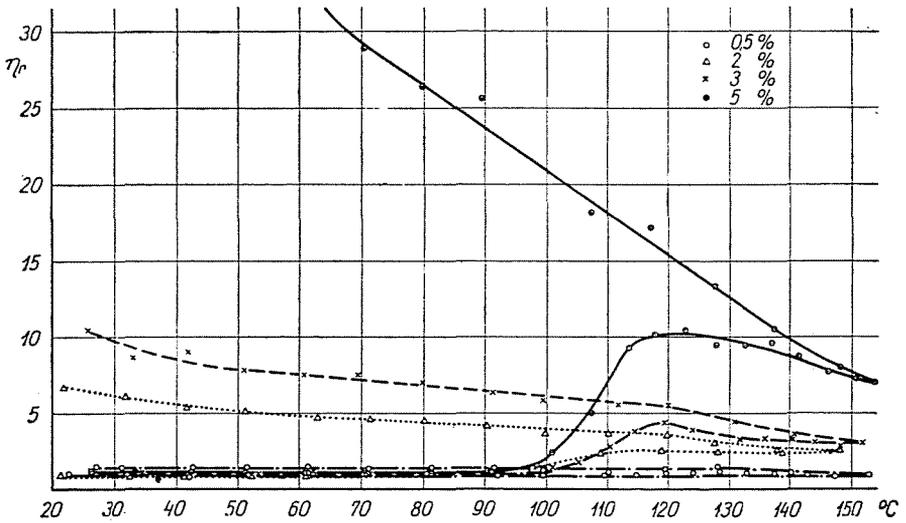


Abb. 3.  $\eta_r$ -t Diagramme der PVC-Dibutylphthalat-Systeme

aus, um die Empfindlichkeit des Apparates zu prüfen. (EHLERS und GOLDSTEIN bedienten sich des Kapillarviskosimeters nach Ostwald.) Bei Konzentrationen von über 10% gelatinierte das PVC bei Erwärmung, was die Messungen am Rotationsviskosimeter unmöglich machte. Die Erwärmung und

Abb. 4.  $\eta_r$ -t Diagramme der PVC-Diamylphthalat-SystemeAbb. 5.  $\eta_r$ -t Diagramme der PVC-Dioctylphthalat-Systeme

Abkühlung erfolgte bei allen Untersuchungen einheitlich mit einer Geschwindigkeit von  $1^\circ \text{C}/\text{min}$ .

Die erste Untersuchungsreihe bezog sich auf die n-Dialkylphthalate im Konzentrationsbereich von 0,5–10%. Es wurden hierzu die üblichen Weichmacher: Dimethyl-, Diäthyl-, n-Dibutyl-, n-Dyamyl- und n-Dioctyl-phthalat verwendet. Die physikalischen Konstanten dieser Weichmacher enthält Tabelle I/a.

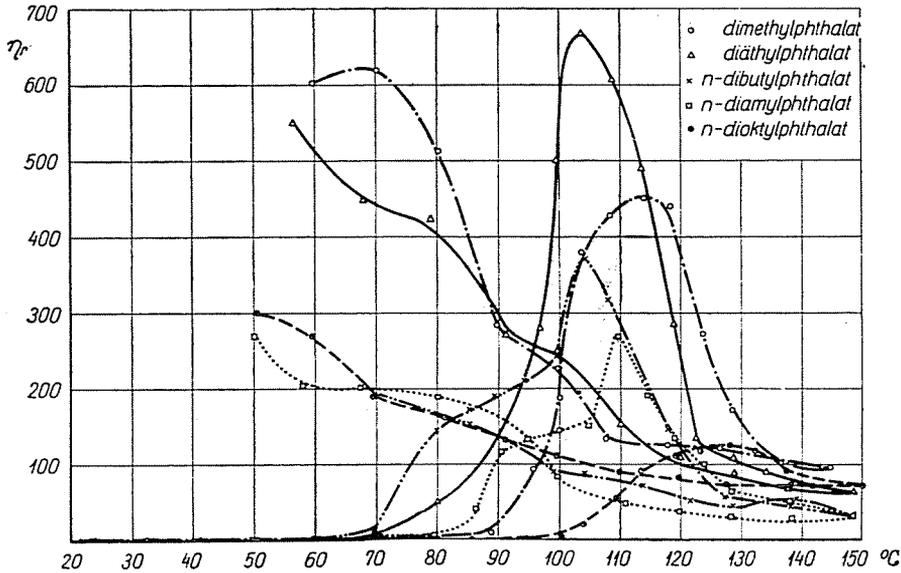


Abb. 6.  $\eta_r$ -t Diagramme 10%iger PVC-Dialkylphthalat-Systeme

Das verwendete Polymer war PVC F.

Molekulargewicht 72,000;

Aschegehalt 1,14%;

Alkaligehalt 0,64%;

Flüchtige Substanz 0,39%;

Zersetzungstemperatur 178° C.

Die PVC-Weichmacher-Gemische wurden vor den Versuchen bei 20° C abwechselnd einige Minuten gerührt und stehen gelassen, bis das ganze System in allen Teilen homogen war und eine gut meßbare Konsistenz hatte. Die Versuche zeigten, daß die Homogenisierungsdauer keinen Einfluß auf den Verlauf der Kurven und auf die charakteristischen Temperaturwerte ausübt.

Die Viskositäten bzw. relativen Viskositäten der verschieden stark konzentrierten PVC-Dialkylphthalat-Systeme sowie der Weichmacher sind für verschiedene Temperaturen in den Tabellen I—VI zusammengefaßt. Die Werte von  $\eta$  sind in cP angegeben.

$$\eta_r(\text{relative Viskosität}) = \frac{\eta_{\text{Lösung}}}{\eta_{\text{Lösungsmittel}}}$$

Wegen der hohen Werte der 10%igen Lösungen wurden deren Daten in besondere Tabellen und Diagramme aufgenommen.

Es wurden die Viskositäten der PVC-Dimethylphthalat-, Diäthylphthalat-, n-Dibutylphthalat-, n-Diamylphthalat- und n-Dioktylphthalat-Systeme in Abhängigkeit von der Temperatur gemessen.

Die Messungen ermöglichten auch die Prüfung der Verwendbarkeit des Emilaschen Rotationsviskosimeters. Die Genauigkeit des Kapillarviskosimeters ist größer. Bei Anwendung des Rotationsviskosimeters — besonders für verdünnte Lösungen — sank  $\eta_r$  mehrfach unterhalb 1, was offenbar dem Meßfehler von einigen Prozenten zuzuschreiben ist, den das Emilaschen Viskosimeter aufweist. Die geringe Schwankung der Meßpunkte ist an dem oberhalb des Lösungspunktes befindlichen Kurvenabschnitt gut zu erkennen. Während sich bei den mit dem Kapillarviskosimeter ausgeführten Messungen von EHLERS und GOLDSTEIN die oberhalb des Lösungspunktes befindlichen Abschnitte der Erwärmungs- und Abkühlungskurven hinreichend decken, wurde die Bestimmung des Lösungspunktes bei unseren Messungen in einigen Fällen durch die Bildung einer »Hysteresisschleife« unsicher. Die Hysteresisschleife ist theoretisch begründet, jedoch spielen bei ihrem Zustandekommen auch die Meßfehler eine Rolle.

### Wirkung der Alkylkohlenstoffketten auf die Werte der Übergangs-Temperaturpunkte

Die an PVC-Dialkylphthalat-Systemen ausgeführten Versuche ermöglichen es, die Wirkung der Alkyl-Kohlenstoffkettenlänge auf die charakteris-

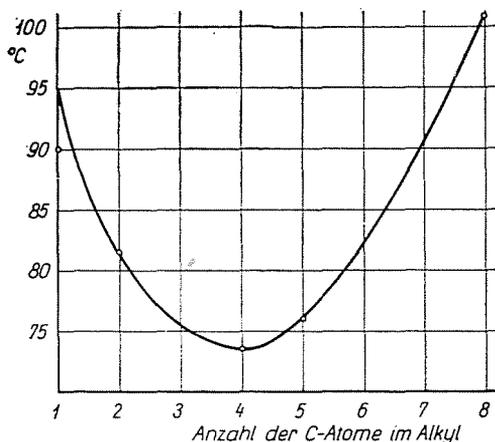


Abb. 7. Änderung der Quellungspunkte 5%iger PVC-Dialkylphthalat-Systeme in Abhängigkeit von der Kohlenstoffzahl der Alkylkette

tische Temperaturpunkte festzustellen. Zweckmäßig wird die Änderung der Quellungspunkte von Lösungen gleicher Konzentration in Abhängigkeit von der Alkylkettenlänge beobachtet.

Abb. 7 zeigt die Quellungspunkte von 5% PVC enthaltenden Dialkylphthalatlösungen als Funktion der Alkylkettenlänge.

Andere Konzentrationen ergeben einen ähnlichen Kurvenverlauf.

WÜRSTLIN und KLEIN [11] befaßten sich mit dieser Frage ebenfalls, sie untersuchten jedoch eine andere charakteristische Temperatur, den Gelatinierungspunkt, als Funktion der Alkylkettenlänge von Phthalsäureestern. Sowohl unsere frühere Arbeit [2] als auch die von WÜRSTLIN und KLEIN [11] gestatteten die Folgerung, daß der Einfluß der Alkylkette auf die charakteristischen Temperaturpunkte bei 4 kohlenstoffatomigen Ketten am größten ist. Diese Wirkung offenbart sich nämlich in unserer früheren Untersuchung [2] im Auftreten eines Inflexionspunktes, in den Mitteilungen von WÜRSTLIN und KLEIN [11] und in unserer gegenwärtigen Arbeit hingegen im Erscheinen eines Minimums.

Die von der Konzentration abhängigen Temperaturpunkte fallen im untersuchten Konzentrationsbereich mit den von EHLERS und GOLDSTEIN mitgeteilten zusammen.

### Wirkung von Flüssigkeiten ohne weichmachende Eigenschaft auf PVC

Die bisher beschriebenen Untersuchungen galten der Wirkung von Weichmachern auf PVC in Abhängigkeit von der Temperatur. Auf Grund der Arbeiten von EHLERS und GOLDSTEIN tauchte die Frage auf, ob die auftreten-

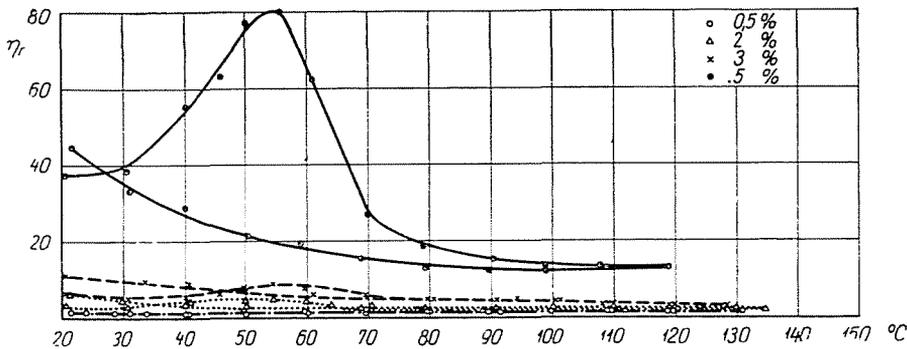
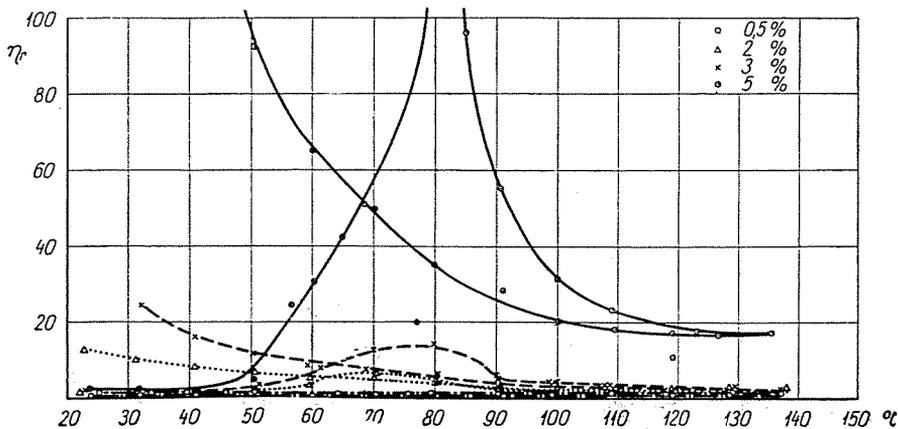
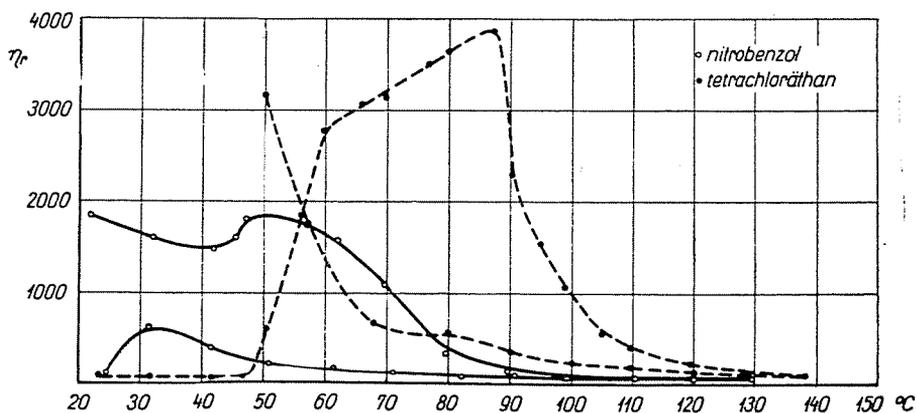


Abb. 8.  $\eta$ - $t$  Diagramme der PVC-Nitrobenzol-Systeme

den Änderungen signifikant sind oder durch nicht weichmachende Flüssigkeiten ebenfalls hervorgerufen werden können? Als nicht weichmachende Flüssigkeiten verwendeten wir Nitrobenzol und sym.-Tetrachloräthan.

Die Ergebnisse der an PVC-Nitrobenzol und an PVC-sym.-Tetrachloräthan-System ausgeführten Untersuchungen enthalten die Tabellen VII und VIII bzw. die Abb. 8, 9 und 10.

Abb. 9.  $\eta_r$ -t Diagramme der PVC-sym.-Tetrachloräthan-SystemeAbb. 10.  $\eta_r$ -t Diagramme 10%iger PVC-Nitrobenzol- bzw. PVC-Tetrachloräthan-Systeme

Beim Vergleich der von Nitrobenzol und sym.-Tetrachloräthan auf PVC herrührenden mit der Wirkung von Dialkylphthalat lassen sich folgende Feststellungen machen:

- a) Der Charakter der Erwärmungs- und Abkühlungskurven stimmt überein.
- b) Bei 0,5%igem PVC-Nitrobenzol bzw. PVC-sym.-Tetrachloräthan ist  $\eta_r$  beim Erwärmen nahezu temperaturunabhängig.

Die Änderung der Viskosität übertrifft die durch die Versuchsfehler verursachten Schwankungen nicht. Dies konnte auch an einigen Gliedern der PVC-Dialkylphthalate (besonders beim 0,5%igen PVC-Dialkylphthalat) beobachtet werden.

- c) Der Vergleich der Quellpunkte der PVC-Dialkylphthalat-Systeme mit denjenigen der PVC-Nitrobenzol- bzw. PVC-sym.-Tetrachloräthan-Systeme zeigt, daß die Quellpunkte der letzteren bei viel niedrigeren Temperaturen auftreten. Weiters stimmen die Quellpunkte des Nitrobenzol-Systems mit

denen des Tetrachloräthan-Systems mit guter Annäherung überein. Die Struktur der beiden Flüssigkeiten ist sehr verschieden, ihre Kohäsionsenergiedichten sind dagegen nahezu gleich (Tetrachloräthan 9,44, Nitrobenzol 9,58) [8]. Diese Beobachtung läßt auf die wesentliche Rolle der Kohäsionsenergiedichte bei der untersuchten Erscheinung schließen.

d) Da die temperaturabhängige Wirkung des Nitrobenzols und des Tetrachloräthans auf PVC mit der Wirkung der Dialkylphthalate völlig übereinstimmt, werden diese Flüssigkeiten zweckmäßig in die gleiche Gruppe eingereiht. Auf Grund ihrer im untersuchten Konzentrationsbereich auf PVC ausgeübten Wirkung sollten im weiteren all jene Flüssigkeiten in diese Gruppe eingereiht werden, deren Temperaturabhängigkeit viskosimetrisch ähnlich ist. Wir reihen diese Flüssigkeiten, ihrer auf PVC ausgeübten Wirkung entsprechend, in die *Flüssigkeitsgruppe I*. Hierher gehören nach EHLERS und GOLDSTEIN sowie gemäß unserer früheren und der gegenwärtigen Arbeit die Dialkylphthalate, das Trikresylphosphat, Chlorbenzol, Nitrobenzol und Tetrachloräthan. Außer den aufgezählten gehört in diese Gruppe noch eine große Anzahl — von uns nicht untersuchter — Flüssigkeiten.

#### Wirkung von Lösungsmitteln auf PVC

In diesem Abschnitt befassen wir uns mit jenen Flüssigkeiten, die als Lösungsmittel des PVC angesehen werden.

Die Tabellen IX und X sowie die Abb. 11 und 12 enthalten die Meßergebnisse der an PVC-Cyclohexanon und an PVC-Tetrahydrofuran ausgeführten Untersuchungen.

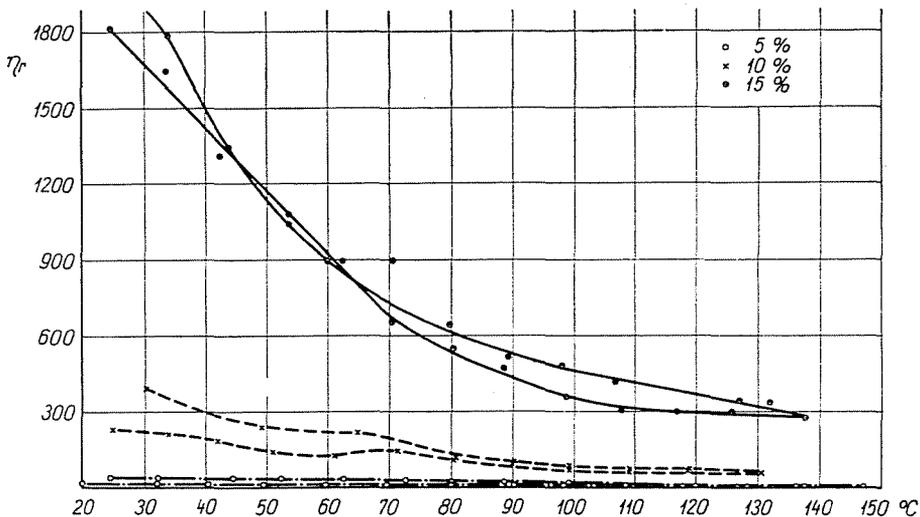


Abb. 11.  $\eta_r$ -t Diagramme von PVC-Cyclohexanon-Systemen

Auf Grund der Wechselwirkung zwischen PVC und den Flüssigkeiten besteht gemäß EHLERS und GOLDSTEIN kein prinzipieller Unterschied zwischen der erwähnten Flüssigkeitsgruppe und den Lösungsmitteln des PVC. Ihren Feststellungen zufolge zeigt sich ein Unterschied bloß darin, daß der Lösungs-

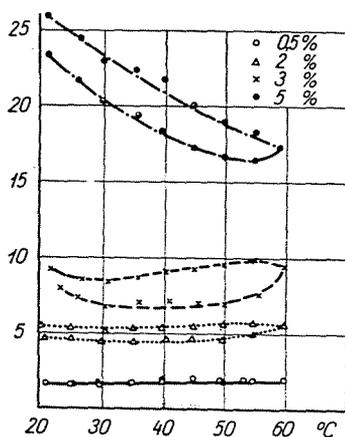


Abb. 12.  $\eta_r$ -t Diagramme von PVC-Tetrahydrofuran-Systemen

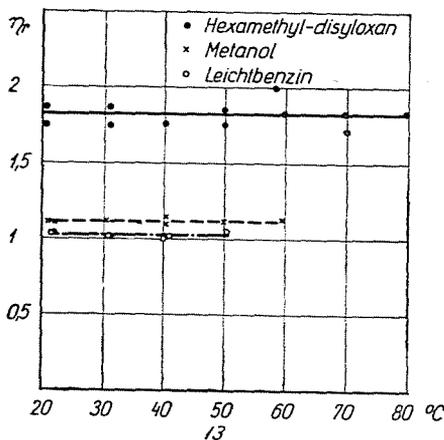


Abb. 13.  $\eta_r$ -t Diagramme 2%iger PVC-Flüssigkeits-Systeme

punkt bei tieferen Temperaturen liegt so, daß die tiefste Temperatur des untersuchten Temperaturintervalles, die Zimmertemperatur, bereits über dem Lösungspunkt liegt. Daher zeigt die Viskositätsänderung, von den früheren abweichend, einen »glatten Verlauf«. Daß PVC durch ein Lösungsmittel bei Zimmertemperatur gelöst wird, beweist, daß der Lösungspunkt bei Zimmertemperatur oder unter dieser liegen muß. Der Quellungspunkt sowie der stark

steigende und abfallende Abschnitt der Viskosität muß mithin unterhalb des untersuchten Temperaturintervalles liegen. Es besteht somit die Möglichkeit, die Lösungsmittel des PVC auch viskosimetrisch zu erkennen. Die Änderung des Lösungszustandes (Gelbindung) läßt sich auch hier beobachten. Bei dem Lösungsmittel Tetrahydrofuran zeigt sich besonders klar, daß die Viskositätsdifferenzen zwischen Erwärmungs- und Abkühlungskurven bei steigender Konzentration ständig zunehmen. Wir reihen alle Flüssigkeiten, die sich hinsichtlich ihrer Wirkung auf PVC dem Cyclohexanon und dem Tetrahydrofuran ähnlich verhalten, auf Grund der Wechselwirkung zwischen Flüssigkeit und PVC in die *Flüssigkeitsgruppe II*.

#### *Flüssigkeiten, die keine Wechselwirkung mit PVC aufweisen*

Es liegt auf der Hand, daß es auch Flüssigkeiten geben muß, die mit PVC keine Wechselwirkung aufweisen, was soviel bedeutet, daß  $\eta_r$  von der Temperatur unabhängig ist. Als Modelle dieser Flüssigkeiten wählten wir Hexamethyl-disyloxan, Methanol und Leichtbenzin.

Tabelle XI und Abb. 13 enthalten die Meßergebnisse der an PVC-Hexamethyl-disyloxan, PVC-Methanol und PVC-Leichtbenzin-Systemen ausgeführten Untersuchungen.

Aus Tabelle und Abbildung geht hervor, daß die relative Viskosität innerhalb der Versuchsfehlergrenzen von der Temperatur unabhängig ist. Die Viskosität der erwähnten System beschreibt die Gleichung EINSTEINS [9], bzw. deren ergänzte Form [10]. Wir reihen die Flüssigkeiten, die mit PVC keine Wechselwirkung aufweisen, in die *Flüssigkeitsgruppe III*.

### **Auswertung der Versuchsergebnisse**

Die erste Flüssigkeitsgruppe bewirkt die meisten Änderungen des PVC bei veränderlicher Temperatur. Auf eine klar feststellbare Quellungstemperatur folgt ein steiler Anstieg der relativen Viskosität, die nach Überschreiten eines Maximums bis zum Lösungspunkt stark abfällt. Ursache der Viskositätsänderung ist die Änderung des Dispersitätsgrades bzw. der Verteilungsfunktion der Teilchen (Teilchen verschiedener Größe quellen und lösen sich nämlich verschieden). Die Verteilungsfunktion hingegen wird sowohl von der Quellung als auch von Lösungsvorgang beeinflusst.

EHLERS und GOLDSTEIN [1] unterschieden zwei verschiedene Fälle der Lage des Viskositätsmaximums.

1. Das Viskositätsmaximum liegt oberhalb der Viskosität der Lösung (Abkühlungskurve).

2. Das Viskositätsmaximum liegt auf der Abkühlungskurve.

Unsere Untersuchungen ergaben, daß es auch einen dritten Fall gibt, bei dem das Viskositätsmaximum unterhalb der Abkühlungskurve liegt, wie z. B. bei den PVC-Dialkylphthalat-Systemen. Ein besonders extremer Fall liegt beim PVC-Dioctylphthalat-System vor. Hier verläuft die Abkühlungskurve der 3%igen und 10%igen Lösungen des PVC unterhalb des Viskositätsmaximums, bei 5%iger Lösung hingegen über diesem.

Die Änderung des Dispersitätsgrades bzw. der Verteilungsfunktion kann auf verschiedene Umstände zurückgeführt werden. Die Übergangszustände der Verteilungsfunktion werden offenbar vom Verhältnis der Flüssigkeitsmengen zu den Mengen an fester Substanz, d. h. von der Konzentration beeinflusst. Es ist also durchaus verständlich, daß sich die Lage des Viskositätsmaximums zur Abkühlungskurve mit der Konzentration ändert und daher für Stoffsysteme nicht charakteristisch sein kann.

An der Abkühlungskurve treten die Änderungen des Lösungszustandes, d. h. Gelbildung hervor, die mit oder ohne Ausscheidung von Teilchen eintreten kann. Geht sie auch mit Teilchenausscheidung einher, so wirkt die Verteilungsfunktion auf die Viskosität im obigen Sinn.

In der zweiten Flüssigkeitsgruppe, d. h. bei den Lösungsmitteln des PVC liegen die Verhältnisse wesentlich einfacher, da sich die Änderungen auf die in der Lösung eintretenden beschränken.

In der dritten Gruppe kommt es zu keiner Wechselwirkung zwischen PVC und Flüssigkeit. Die Systeme verhalten sich wie gewöhnliche Suspensionen.

Tabelle Ia

Physikalische und chemische Konstanten der Dialkylphthalate

Name	Mol Gew.	Siedep. °C bei 20 mm Hg	Viskosität bei 20° C in cP	Dichte bei 20° C in g/ml	Berechnungsexponent $n_D^{20}$	Säurezahl	Verseifungszahl
Dimethylphthalat	194	160—164	12—15	1,183—1,192	1,513	0,1	576
Diäthylphthalat	222	172—175	10—12	1,117—1,118	1,500	0,1	505
n-Dibutylphthalat	278	212—218	19—20	1,047—1,050	1,491	0,1	403
n-Diamylphthalat	306	218—230	32	1,025—1,029	1,487	0,2	363
n-Dioctylphthalat	390	246	40	0,978	1,488	0,3	288

Tabelle Ib

Erwärmungs- und Abkühlungsdaten der PVC-Dimethylphthalat-Systeme

0,5%				2,0%				3%				5%			
t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$												
31,3	11,9	11,8	1,00	22,7	18,3	15,3	1,19	22,0	17,8	15,6	1,14	21,0	19,5	16,0	1,21
42,2	9,0	8,6	1,04	32,7	12,2	11,2	1,08	33,0	11,3	11,1	1,01	32,3	12,1	11,6	1,04
51,8	6,8	6,5	1,04	42,2	8,9	8,6	1,03	44,7	8,0	7,9	1,01	42,4	8,8	8,6	1,02
61,0	5,7	5,8	0,98	51,8	6,7	6,7	1,00	52,7	6,0	6,4	0,93	51,8	6,3	6,5	0,96
70,8	4,9	4,7	1,04	61,5	5,2	5,7	0,91	61,2	5,7	5,6	1,01	60,7	5,3	5,7	0,92
80,6	3,9	4,0	0,97	70,6	4,6	4,7	0,97	70,8	4,8	4,7	1,02	70,8	4,9	4,7	1,04
89,8	3,5	3,1	1,13	81,0	4,0	3,9	1,02	81,4	3,9	3,8	1,02	80,8	4,4	3,9	1,12
99,7	3,2	2,7	1,18	90,5	3,7	3,1	1,19	90,6	3,7	3,1	1,19	90,3	3,9	3,1	1,25
108,6	3,0	2,2	1,36	99,8	3,7	2,7	1,37	100,2	3,5	2,7	1,29	99,8	7,3	2,7	2,70
119,0	2,9	2,0	1,45	108,5	3,6	2,7	1,33	109,5	3,5	2,2	1,59	105,3	10,9	2,4	4,54
128,5	2,8	2,0	1,40	119,6	3,8	2,0	1,90	117,7	5,9	2,0	2,95	109,8	14,9	2,2	6,77
136,5	2,5	1,9	1,31	124,7	4,9	2,0	2,43	124,7	5,9	2,0	2,95	114,8	19,5	2,1	9,28
147,0	2,3	1,9	1,21	128,8	4,4	2,0	2,20	129,1	5,8	2,0	2,90	119,9	19,3	2,0	9,65
140,3	2,2	1,7	1,29	133,7	4,3	1,9	2,26	133,1	5,4	1,9	2,84	125,7	15,5	2,0	7,75
128,0	2,3	1,5	1,53	137,9	4,1	1,9	2,16	138,2	5,2	1,9	2,73	129,5	14,0	2,0	7,00
119,7	2,3	1,6	1,43	142,8	3,9	1,9	2,05	143,0	5,1	1,9	2,61	133,2	12,9	1,9	6,78
110,0	2,3	1,7	1,35	147,6	3,5	1,9	1,84	148,0	5,0	1,9	2,63	138,4	11,6	1,9	6,10
97,5	2,7	1,8	1,50	151,7	3,3	1,9	1,73	139,2	5,0	1,6	3,12	143,3	10,4	1,9	5,47
90,3	2,9	1,9	1,52	139,6	3,5	1,6	2,18	130,8	5,0	1,5	3,33	150,5	9,6	1,9	5,05
81,2	3,3	2,0	1,65	125,4	4,0	1,5	2,66	121,9	5,4	1,6	3,45	137,3	10,0	1,6	6,25
70,0	4,7	3,0	1,56	112,0	4,9	1,7	2,88	111,0	7,3	1,7	4,29	129,0	12,0	1,5	8,00
59,3	5,7	3,8	1,50	100,0	6,0	1,8	3,33	100,0	9,6	1,8	5,33	119,4	17,0	1,6	10,62
50,3	7,3	5,1	1,43	88,3	8,0	1,9	4,21	91,8	11,5	1,9	6,05	111,0	19,0	1,7	11,18
41,0	9,3	7,0	1,32	66,6	11,0	3,2	3,43	81,5	14,5	2,0	7,25	100,0	21,0	1,8	11,67
32,0	12,3	9,9	1,24	58,6	12,9	3,9	3,30	72,2	17,8	2,8	6,35	89,4	29,0	1,9	15,26
24,7	16,7	11,9	1,47	50,5	14,3	5,0	2,86	62,8	20,2	3,6	5,61	80,0	40,0	2,0	20,00
				40,8	18,9	7,0	2,70	51,7	22,4	4,8	4,66	67,0	63,0	3,2	19,68
				32,3	24,2	9,8	2,58	42,2	28,4	6,7	4,23	56,8	85,0	4,1	20,73
				25,7	29,2	11,8	2,47	32,7	35,2	9,6	3,66	46,0	93,0	5,8	16,03
								24,5	43,8	12,0	3,64	34,0	103,0	9,2	11,19
												21,7	134,0	12,6	10,63

**Tabelle II**  
Erwärmungs- und Abkühlungsdaten der PVC-Diäthylphthalat-Systeme

0,5%				2,0%				3,0%				5,0%			
t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$												
22,3	11,5	11,7	0,98	21,3	11,9	11,9	1,00	21,5	12,9	12,0	1,07	22,8	14,2	11,2	1,26
32,5	9,0	8,5	1,05	31,5	8,8	8,9	0,98	32,1	9,4	8,9	1,05	31,0	10,6	9,7	1,09
42,5	7,0	6,14	1,14	41,3	6,6	6,5	1,00	41,7	7,4	6,3	1,17	40,6	8,2	6,5	1,26
50,6	5,4	5,2	1,03	51,3	5,0	4,8	1,04	50,7	5,9	5,0	1,18	50,5	6,2	5,0	1,24
60,7	4,7	4,1	1,14	61,0	4,3	4,1	1,27	60,0	5,0	4,2	1,19	59,8	5,3	4,2	1,26
70,3	4,3	3,3	1,27	70,3	4,2	3,4	1,37	70,8	4,2	3,4	1,23	70,0	4,9	3,4	1,44
80,7	3,8	2,7	1,40	80,0	3,7	2,7	1,37	80,0	4,2	2,7	1,55	80,0	6,0	2,7	2,22
89,3	3,6	2,2	1,63	89,5	3,6	2,2	1,63	89,9	4,8	2,2	2,18	88,8	15,2	2,3	6,60
99,3	3,4	1,9	1,78	99,7	3,2	1,9	1,68	95,5	7,0	2,0	3,50	99,8	31,8	1,9	16,73
109,6	3,2	1,64	1,91	108,5	3,3	1,7	1,94	99,8	9,9	-1,9	5,21	108,0	33,9	1,7	19,93
119,5	3,0	1,5	2,00	119,5	3,3	1,5	2,20	104,8	11,0	1,7	6,47	117,7	23,0	1,5	15,33
128,8	2,8	1,4	2,00	128,5	3,3	1,4	2,35	110,2	10,7	1,6	6,68	128,0	16,9	1,4	12,07
137,3	2,7	1,3	2,07	138,0	3,2	1,3	2,46	114,5	9,2	1,6	5,75	137,7	13,8	1,3	10,61
148,0	2,5	1,2	2,08	148,0	2,8	1,2	2,33	119,8	7,9	1,5	5,26	147,6	11,2	1,2	9,33
138,5	2,3	1,2	1,91	140,0	2,8	1,2	2,33	128,8	6,5	1,4	4,64	157,5	9,6	1,2	8,00
125,8	2,3	1,2	1,91	128,0	3,0	1,2	2,50	137,2	5,8	1,3	4,46	147,0	9,9	1,2	8,25
115,2	2,3	1,2	1,91	119,4	3,4	1,2	2,83	147,5	4,8	1,2	4,00	137,8	11,8	1,2	9,83
104,8	2,3	1,2	1,91	111,5	3,8	1,2	3,16	138,2	4,9	1,2	4,08	129,0	14,2	1,2	11,83
94,0	2,4	1,3	1,84	99,7	5,1	1,0	4,81	128,0	5,3	1,2	4,41	119,3	17,2	1,2	14,33
84,6	2,5	1,5	1,66	90,8	6,2	1,4	4,53	120,0	6,2	1,2	5,16	109,1	22,4	1,2	18,66
73,3	3,6	2,1	1,71	79,8	8,0	1,7	4,70	109,8	8,1	1,2	6,75	99,6	28,3	1,06	26,69
61,3	4,9	3,0	1,63	69,8	10,7	2,4	4,45	99,5	9,9	1,06	9,34	89,8	36,2	1,4	25,85
50,0	6,2	4,0	1,55	60,8	13,2	3,0	4,40	91,5	12,3	1,3	9,46	82,0	45,4	1,6	28,37
41,6	8,0	5,0	1,60	51,3	17,7	3,9	4,52	79,8	16,3	1,7	9,58	67,0	71,0	2,5	28,40
32,3	10,5	6,8	1,54	41,4	23,3	5,0	4,66	70,0	20,7	2,3	9,00	56,7	99,0	3,4	29,11
				31,0	31,3	7,2	4,34	60,0	27,3	3,0	9,10				
				24,3	38,0	9,6	3,95	50,2	36,3	3,9	9,30				
								41,2	47,6	5,0	9,52				
								32,0	60,7	7,1	8,54				
								22,0	82,0	10,5	7,80				

Tabelle III

## Erwärmungs- und Abkühlungsdaten der PVC-Dibutylphthalat-Systeme

0,5%				2,0%				3,0%				5,0%			
t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$												
25,0	17,3	19,5	0,88	21,7	20,3	21,0	0,96	23,2	21,4	21,3	1,00	24,7	22,3	17,6	1,26
32,5	15,0	16,0	0,93	31,3	14,6	16,4	0,89	33,2	15,4	15,4	1,00	33,0	16,3	14,7	1,10
37,6	12,0	13,1	0,91	41,0	10,5	11,4	0,92	43,0	11,0	10,7	1,02	41,4	12,7	11,3	1,12
44,2	10,1	10,3	0,98	50,6	8,4	8,2	1,00	52,8	8,8	7,7	1,14	50,7	10,0	8,2	1,21
48,0	9,3	8,9	1,04	59,7	7,4	6,3	1,17	62,3	7,4	6,0	1,23	58,7	9,2	6,8	1,35
53,5	8,1	7,5	1,08	70,5	6,4	5,1	1,25	71,2	7,0	5,0	1,40	70,0	9,0	5,2	1,73
59,3	7,5	6,4	1,17	80,0	9,3	4,4	2,11	80,3	13,2	4,4	3,00	77,0	14,0	4,7	2,97
66,3	6,8	5,5	1,23	86,3	9,7	4,0	2,42	86,3	16,7	4,1	4,07	81,3	33,0	4,3	7,67
71,8	5,7	5,0	1,14	90,0	9,8	3,8	2,57	90,3	19,5	3,8	5,13	91,0	53,0	3,8	13,95
81,0	5,4	4,4	1,22	94,7	9,8	3,6	2,72	94,6	19,8	3,6	5,50	100,0	102,0	3,4	30,00
90,0	5,3	3,8	1,42	99,8	9,0	3,3	2,72	99,8	17,2	3,3	5,21	107,7	50,0	3,1	18,06
98,7	5,2	3,4	1,52	104,5	7,9	3,2	2,46	104,5	14,0	3,2	4,37	119,7	33,0	2,8	11,78
109,0	4,3	3,1	1,38	109,4	7,0	3,1	2,25	108,7	12,0	3,1	3,87	128,5	30,0	2,7	11,11
118,4	4,0	2,8	1,42	117,6	6,0	2,9	2,06	114,5	10,3	2,9	3,55	138,6	26,0	2,5	10,40
128,7	3,7	2,7	1,37	124,0	5,4	2,7	2,00	118,7	9,4	2,8	3,35	148,0	24,0	2,4	10,00
138,2	3,2	2,5	1,28	134,3	5,1	2,6	1,96	124,0	8,4	2,7	3,11	139,8	24,0	2,1	11,43
148,4	2,9	2,3	1,26	144,7	4,5	2,4	1,87	127,7	7,7	2,7	2,85	128,3	25,0	2,1	11,91
137,7	3,0	2,1	1,41	136,0	4,5	2,1	2,14	132,7	7,2	2,6	2,76	119,3	26,0	2,2	11,89
129,5	3,1	2,1	1,47	127,5	4,7	2,1	2,23	137,8	7,0	2,5	2,80	108,7	31,0	2,2	14,09
120,0	3,2	2,2	1,45	119,3	5,0	2,2	2,21	142,7	6,0	2,4	2,50	99,5	39,0	2,3	16,95
112,7	3,3	2,2	1,50	110,3	6,2	2,2	2,81	147,5	5,4	2,3	2,34	90,7	50,0	2,3	24,39
99,5	4,0	2,3	1,73	100,0	8,0	2,3	3,47	137,7	5,6	2,1	2,67	80,8	68,0	2,7	25,18
91,0	4,5	2,3	1,95	89,8	10,2	2,3	4,43	128,6	6,0	2,1	2,89	69,8	90,0	4,0	22,50
80,0	5,3	3,0	1,70	78,8	13,0	3,0	4,33	117,2	7,7	2,2	3,50	60,8	120,0	5,1	23,53
69,5	7,3	4,0	1,82	68,8	17,3	4,1	4,21	113,0	8,6	2,2	3,90	51,3	173,0	6,7	25,82
60,0	8,8	5,2	1,69	60,6	22,7	5,2	4,36	83,0	18,1	2,7	6,70				
51,0	11,0	6,9	1,59	51,4	30,1	6,9	4,36	71,6	26,2	3,7	7,08				
41,4	15,8	9,8	1,61	41,8	40,3	9,8	4,21	60,0	38,5	5,2	7,40				
31,7	20,8	12,6	1,65	32,3	59,4	12,4	4,79	50,0	54,0	7,1	7,60				
23,5	28,7	17,1	1,67					40,3	78,0	8,4	9,28				
								30,5	130,0	13,1	9,92				
								24,5	150,0	16,5	9,09				

**Tabelle IV**  
Erwärmungs- und Abkühlungsdaten der PVC-Diamylphthalat-Systeme

0,5%				2,0%				3,0%				5,0%			
t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$	t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$	t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta$	t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$
21,5	32,3	31,6	1,02	22,8	29,9	29,9	1,00	22,3	32,4	30,0	1,08	22,0	38,0	30,9	1,23
31,0	21,0	21,9	0,95	32,7	20,3	20,3	1,00	31,8	21,9	21,0	1,04	32,3	30,0	20,4	1,47
40,7	15,0	15,0	1,00	41,0	14,9	14,9	1,00	41,7	15,3	15,0	1,02	41,8	25,0	15,0	1,66
51,0	10,8	10,5	1,03	50,4	10,8	10,7	1,01	50,7	11,6	11,0	1,05	50,7	21,0	11,0	1,90
60,7	8,3	8,0	1,01	59,8	8,4	8,3	1,01	61,5	8,9	7,8	1,13	59,8	17,0	8,3	2,05
70,3	6,2	6,2	1,00	69,8	6,9	6,2	1,11	70,0	7,8	6,2	1,26	68,5	16,0	6,5	2,46
79,8	5,2	5,3	0,98	80,4	6,3	5,2	1,21	80,3	7,5	5,2	1,44	80,0	16,0	5,2	3,07
89,5	5,0	4,7	1,06	90,7	9,0	4,3	2,09	89,2	15,0	4,7	3,20	89,4	75,0	4,7	16,0
98,4	4,9	4,3	1,14	95,5	9,7	4,3	2,26	95,0	18,8	4,4	4,27	95,2	78,0	4,3	18,1
108,6	3,5	3,8	0,92	100,0	10,0	4,2	2,38	100,0	20,0	4,2	4,76	100,2	79,0	4,2	18,8
119,0	3,2	3,3	0,97	105,0	9,9	4,0	2,48	105,0	19,0	4,0	4,75	104,2	79,0	4,1	19,3
129,0	3,0	2,7	1,11	109,5	8,7	3,8	2,29	110,0	15,0	3,7	4,05	109,5	68,0	3,8	17,9
137,5	2,7	2,4	1,13	115,0	7,7	3,5	2,20	114,3	13,2	3,5	3,77	114,8	44,0	3,5	12,5
147,6	2,2	2,3	0,95	119,3	7,0	3,2	2,19	120,0	11,0	3,2	3,44	119,5	32,0	3,2	10,0
137,2	2,3	2,3	1,00	124,0	6,3	2,9	2,17	129,7	9,2	2,6	3,54	128,6	27,0	2,8	9,64
130,0	2,3	2,3	1,00	129,2	5,8	2,7	2,15	138,3	7,8	2,4	3,25	139,0	24,0	2,4	10,0
120,1	2,4	2,3	1,04	137,7	5,0	2,5	2,00	147,5	6,8	2,3	2,96	148,2	20,0	2,3	8,69
109,6	2,5	2,3	1,09	147,0	4,2	2,3	1,83	138,3	6,8	2,3	2,96	140,0	20,0	2,3	8,69
99,4	3,0	2,3	1,30	136,0	4,4	2,3	1,91	129,3	7,8	2,3	3,48	129,7	20,0	2,3	8,69
90,1	4,1	2,5	1,64	124,0	5,3	2,3	2,30	119,5	9,9	2,3	4,30	119,4	23,0	2,3	10,0
79,5	5,4	3,1	1,74	114,5	6,3	2,3	2,74	109,7	12,7	2,3	5,52	112,5	24,0	2,3	10,4
70,0	7,5	3,9	1,92	104,2	7,9	2,3	3,43	99,0	16,7	2,3	7,26	100,0	35,0	2,3	15,2
60,5	9,8	5,8	1,69	94,8	10,3	2,3	4,48	90,0	21,2	2,5	8,48	89,0	43,0	2,6	16,5
51,3	13,9	8,1	1,72	85,0	13,6	2,7	5,04	80,4	28,0	3,0	9,33	77,4	72,0	3,2	22,5
40,9	19,9	12,4	1,61	77,5	17,0	3,3	5,15	70,0	38,4	3,9	9,84	63,4	136,0	5,0	27,2
31,5	28,8	18,1	1,59	69,8	21,0	3,9	5,39	59,2	56,4	5,9	9,56	52,6	229,0	7,7	29,7
24,5	39,5	24,8	1,59	60,0	29,0	5,9	4,91	50,8	76,6	8,2	9,34	42,9	334,0	12,5	26,7
				51,0	39,9	8,2	4,87	40,8	128,0	12,4	10,3	32,7	563,0	17,5	32,2
				41,7	58,7	12,0	4,89	31,5	188,0	18,1	10,4				
				31,7	90,8	18,0	5,04	22,0	326,0	27,8	11,7				

**Tabelle V**  
Erwärmungs- und Abkühlungsdaten der PVC-Dioctylphthalat-Systeme

0,5%				2,0%				3,0%				5,0%			
t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$												
22,6	70,0	69,3	1,01	21,0	77,4	75,6	1,02	26,3	67,0	57,0	1,17	26,0	72,9	57,4	1,27
32,1	44,0	43,5	1,01	32,5	52,2	53,5	0,97	34,5	41,0	39,0	1,05	33,4	49,0	40,8	1,20
42,2	27,3	27,6	0,98	41,4	27,8	28,1	0,98	43,5	27,9	26,0	1,07	42,5	30,6	27,0	1,13
51,7	19,0	18,5	1,02	52,2	19,0	17,8	1,06	53,5	18,3	17,1	1,07	51,2	21,3	18,6	1,14
61,7	13,7	12,9	1,06	61,6	14,0	12,9	1,08	62,6	10,7	12,7	1,15	60,8	15,2	13,4	1,13
70,2	10,0	9,9	1,01	70,9	11,0	9,8	1,12	71,7	10,9	9,6	1,13	70,6	12,0	9,8	1,22
80,7	8,0	8,0	1,00	82,0	8,5	7,8	1,09	80,8	9,0	8,0	1,12	81,3	10,0	7,9	1,26
92,1	6,1	6,1	0,99	90,5	7,7	6,8	1,13	90,4	8,0	6,8	1,17	90,6	9,0	6,8	1,32
99,4	5,4	5,5	0,98	99,6	7,3	5,5	1,32	101,2	7,8	5,2	1,50	98,7	9,3	5,5	1,69
109,6	5,1	5,5	0,92	108,6	10,5	4,8	2,25	105,5	9,0	4,8	1,87	101,0	11,1	5,2	2,43
114,8	5,1	5,0	1,02	118,2	10,8	4,5	2,33	110,8	13,4	4,7	2,85	107,6	24,5	4,9	5,00
119,7	5,0	4,3	1,16	127,8	9,2	4,0	2,24	114,7	19,0	5,0	3,87	113,6	42,0	4,6	9,43
124,2	4,9	4,1	1,19	138,0	7,2	3,2	2,25	119,2	19,2	4,4	4,34	117,8	44,8	4,4	10,18
128,7	4,7	3,8	1,23	147,9	6,8	2,9	2,34	124,2	16,2	4,1	3,95	122,8	43,5	4,2	10,35
133,2	3,6	3,5	1,02	138,5	6,5	2,6	2,50	128,0	13,9	4,0	3,47	127,8	38,0	4,0	9,50
137,5	3,3	3,3	1,00	127,5	7,9	2,6	3,03	132,4	12,2	3,7	3,29	132,7	34,3	3,6	9,52
143,0	3,1	3,1	1,00	119,3	9,2	2,6	3,53	136,0	11,1	3,4	3,26	136,7	31,2	3,2	9,75
147,2	3,1	2,9	1,09	110,1	11,2	3,1	3,61	140,7	10,3	3,2	3,21	141,5	27,0	3,1	8,71
153,0	3,1	2,8	1,10	99,8	15,0	4,0	3,75	144,0	9,8	3,0	3,06	146,5	23,7	3,0	7,90
140,6	3,1	2,6	1,19	90,6	20,1	4,9	4,10	148,5	8,9	2,9	2,99	150,8	21,3	2,9	7,34
128,2	3,3	2,5	1,32	80,5	28,7	6,2	4,62	152,0	8,7	2,8	3,10	153,9	19,9	2,8	7,10
119,2	3,4	2,6	1,30	71,6	39,1	8,2	4,76	141,0	8,8	2,6	3,38	148,3	20,7	2,6	7,96
110,2	3,7	3,1	1,19	63,0	54,7	11,2	4,88	131,0	10,3	2,5	4,11	137,3	27,2	2,6	10,46
99,3	5,1	4,1	1,24	51,3	89,5	17,6	5,08	120,2	13,8	2,6	5,30	117,6	34,9	2,6	13,42
91,2	6,5	4,8	1,35	42,0	153,0	28,0	5,46	112,8	16,5	3,0	5,50	116,7	46,3	2,7	17,15
81,3	8,9	6,1	1,45	32,0	249,0	41,0	6,07	99,5	24,5	4,1	5,97	107,5	60,1	3,3	18,21
71,5	11,7	8,2	1,43	22,5	376,0	56,0	6,71	91,8	30,1	4,8	6,27	89,2	131,0	5,1	25,68
61,7	16,7	11,6	1,44					80,1	43,6	6,2	7,03	79,7	169,0	6,4	26,41
51,7	24,0	17,3	1,38					69,2	66,8	8,9	7,50	70,4	249,0	8,6	28,95
43,3	34,8	24,5	1,42					60,8	93,6	11,9	7,50	62,8	370,0	11,1	33,33
31,6	63,6	42,4	1,53					51,0	161,0	17,8	7,86	51,5	680,0	17,5	38,85
^6,4	83,3	53,7	1,55					42,0	240,0	28,0	9,04	44,0	968,0	23,7	40,84
								33,0	373,0	39,4	8,57	35,0	1800,0	36,3	49,58
								25,4	550,0	56,1	10,34	27,0	2900,0	52,0	55,76

**Tabelle VI**  
Erwärmungs- und Abkühlungsdaten, 10%iger PVC-Dialkylphthalat-Systeme

dimethylphthalat				diethylphthalat				dibutylphthalat				diamylphthalat				dioctylphthalat			
t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$	t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$	t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$	t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$	t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$
22,7	26,0	15,3	1,69	22,3	23	11,6	1,98	21,8	50,0	21,0	2,39	23,6	47,0	29,2	1,61	23,5	85,0	65,0	1,3
33,2	17,0	11,0	1,54	31,7	20	8,7	2,29	31,8	42,0	15,8	2,66	32,0	42,0	21,1	1,99	32,1	54,2	43,7	1,24
41,8	12,2	8,7	1,40	41,0	19	6,4	2,96	41,2	33,0	11,1	2,97	41,7	25,0	14,5	1,72	36,8	42,0	35,0	1,2
52,7	9,7	6,4	1,48	50,0	18	5,1	3,52	49,9	32,0	8,7	3,67	50,7	19,0	10,6	1,79	42,6	33,0	27,0	1,22
60,7	8,0	5,7	1,40	60,0	17	4,2	4,04	59,8	32,0	6,2	5,16	61,0	18,0	7,9	2,27	48,7	26,0	20,1	1,29
70,5	7,5	4,8	1,56	70,2	19	3,4	5,57	69,5	58,0	5,3	10,9	70,3	19,0	6,1	3,11	51,8	23,5	18,4	1,28
80,0	7,7	4,0	1,92	80,0	127	2,7	47,04	79,8	645,0	4,4	146,6	79,8	37,0	5,3	6,98	58,0	19,9	14,7	1,35
89,0	30,0	3,2	9,37	96,7	561	2,0	280,5	85,3	710,0	4,1	173,0	86,7	202,0	4,9	41,22	64,8	16,5	11,8	1,39
96,0	270	2,9	94,6	99,4	950	1,9	500,0	89,5	755,0	3,9	193,5	90,7	555,0	4,7	118,8	70,6	15,2	9,8	1,55
100,2	500	2,7	189,7	103,4	1210	1,8	670,7	94,5	768,0	3,6	213,4	95,0	601,0	4,4	136,5	76,4	14,9	8,7	1,71
104,3	930	2,5	380,0	108,0	1040	1,7	611,7	99,7	810,0	3,3	245,4	100,0	605,0	4,2	144,0	81,5	14,5	7,9	1,83
108,7	940	2,2	427,0	113,8	780	1,6	487,5	104,7	1190,0	3,2	371,9	105,0	606,0	4,0	151,5	86,4	14,5	7,3	1,98
114,4	930	2,1	454,0	118,7	430	1,5	286,7	108,8	990	3,1	319,3	109,8	1030	3,8	271,5	90,8	14,7	6,7	2,19
118,7	880	2,0	440,0	123,7	704	1,5	136,0	117,8	410,0	2,8	146,4	114,8	680,0	3,5	194,2	95,0	17,5	6,1	2,86
124,3	530	2,0	275,0	128,9	152	1,4	108,5	127,3	156,0	2,7	57,8	119,1	450	3,3	136,3	100,7	27,3	5,3	5,15
128,7	340	2,0	170,0	134,0	120	1,3	92,31	138,3	105,0	2,5	42,0	124,3	280,0	2,8	100,0	104,2	100,0	5,0	20,0
137,0	200	1,9	109,3	139,0	100	1,3	76,92	148,0	81,0	2,3	35,2	128,5	180,0	2,8	64,2	109,2	250,0	4,7	53,19
145,1	180	1,9	97,4	148,7	77	1,2	64,17	139,3	88,4	2,1	55,2	138,0	120,0	2,5	48,0	113,5	432,0	4,6	93,91
136,7	170	1,6	101,5	138,0	85	1,2	70,83	128,3	116,0	2,1	41,9	148,5	80,0	2,3	34,7	119,4	487,0	4,4	110,6
126,4	180	1,5	120,0	128,3	107	1,2	89,17	121,9	132,0	2,2	50,9	138,0	80,0	2,3	34,7	123,8	501,0	4,2	119,3
118,2	200	1,6	125,0	119,8	136	1,2	113,3	113,9	166,0	2,2	75,4	128,6	80,0	2,3	34,7	128,7	480,0	3,9	123,0
107,8	230	1,7	135,3	109,8	188	1,2	156,6	104,5	218,0	2,3	94,78	120,0	90,0	2,3	39,1	132,7	430,0	3,6	119,4
99,7	410	1,8	227,8	99,7	263	1,0	248,1	99,0	256,0	2,3	94,7	110,7	110,0	2,3	47,8	137,8	300,0	3,2	93,7
89,5	540	1,9	284,2	91,0	359	1,3	276,1	85,7	410,0	2,6	108,7	99,5	190,0	2,3	82,6	142,0	220,0	3,2	68,7
80,3	1030	2,0	515,0	79,0	588	1,8	326,6	70,8	708,0	3,8	157,7	91,0	330,0	2,4	137,5	146,0	200,0	3,0	66,6
70,2	1800	2,9	620,7	68,0	873	2,5	349,2				190,6	80,0	580,0	3,0	193,3	150,5	200,0	2,9	68,96
59,5	2300	3,8	605,3	56,5	1890	3,4	555,8					67,5	880,0	4,3	204,6	138,1	200,0	2,6	76,92
												58,8	1290	6,2	208,0	127,5	200,0	2,6	76,92
												50,1	2250	8,2	271,3	119,7	210,0	2,6	80,7
																109,8	290,0	3,2	90,62
																99,4	470,0	4,1	114,6
																91,2	650,0	4,8	135,4
																81,5	1000,0	6,1	163,9
																69,5	1680	8,9	188,7
																69,5	3450	12,6	273,8
																51,0	5400	17,8	303,3

Tabelle VII

Erwärmungs- und Abkühlungsdaten von PVC-Nitrobenzol-Systemen

0,5%				2,0%				3,0%				5,0%				10,0%				
t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$																	
21,7	3,0	2,10	1,43	20,6	6,7	2,12	3,16	20,3	13,4	2,12	6,32	20,6	79,0	2,12	37,25	21,7	3870,0	2,10	1842,85	
31,2	2,9	1,86	1,56	30,7	5,9	1,97	3,00	30,7	11,3	1,97	5,74	30,4	76,0	1,98	38,3	31,7	3120,0	1,95	1600,0	
40,0	2,8	1,83	1,51	40,0	6,7	1,83	3,66	40,0	10,7	1,83	5,85	40,0	102,0	1,83	55,7	41,6	2700,0	1,81	1491,7	
49,8	2,8	1,70	1,65	45,7	7,2	1,75	4,11	45,7	12,0	1,75	6,86	45,7	110,0	1,75	62,85	45,4	2840,0	1,76	1613,6	
59,5	2,8	1,60	1,75	50,0	7,6	1,70	4,47	49,7	13,3	1,70	7,82	50,3	132,0	1,70	77,64	47,1	3130,0	1,73	1809,2	
69,7	2,7	1,55	1,74	54,7	7,6	1,65	4,61	54,3	13,7	1,65	8,30	55,7	131,0	1,63	80,36	57,0	2800,0	1,62	1728,3	
79,7	2,7	1,50	1,80	59,6	6,4	1,60	4,00	59,3	12,1	1,60	7,56	61,0	99,0	1,59	62,26	62,3	2540,0	1,59	1597,4	
90,3	2,4	1,45	1,65	63,8	5,9	1,58	3,74	69,8	8,4	1,55	5,41	69,8	42,0	1,55	27,09	69,5	1700,0	1,55	1096,7	
99,2	2,1	1,40	1,50	70,7	5,2	1,54	3,38	79,8	7,3	1,50	4,86	79,0	28,0	1,50	18,66	79,5	500,0	1,50	333,33	
108,7	2,0	1,35	1,48	79,5	4,6	1,50	3,07	94,5	6,2	1,43	4,33	90,5	23,0	1,45	15,86	89,5	220,0	1,45	1517,24	
118,5	1,9	1,30	1,45	90,8	4,3	1,44	2,99	101,5	5,8	1,39	4,17	99,0	18,0	1,40	12,85	99,0	130,0	1,40	92,85	
131,2	1,9	1,24	1,53	100,0	3,6	1,39	2,59	110,0	5,3	1,34	3,81	109,0	18,0	1,35	13,33	110,5	90,0	1,34	67,16	
119,0	1,8	1,21	1,49	110,0	3,4	1,34	2,54	119,8	5,0	1,30	3,84	119,0	17,0	1,30	13,07	120,0	80,0	1,30	61,53	
109,2	1,8	1,24	1,45	119,5	3,0	1,30	2,31	128,0	4,6	1,27	3,62	108,0	17,0	1,24	13,75	129,8	70,0	1,26	55,55	
99,7	1,8	1,27	1,42	129,8	2,9	1,26	2,30	118,7	4,6	1,21	3,80	98,7	17,0	1,27	13,38	119,5	70,0	1,21	57,85	
91,8	1,8	1,29	1,40	135,0	2,3	1,22	1,88	108,4	4,7	1,24	3,79	89,7	17,0	1,29	13,17	110,2	80,0	1,23	65,04	
81,5	1,9	1,31	1,44	123,5	2,4	1,20	2,00	100,5	4,9	1,27	3,85	79,2	18,0	1,31	13,74	98,4	80,0	1,28	62,50	
69,5	1,9	1,32	1,43	112,0	2,4	1,23	1,95	90,7	5,3	1,29	4,10	68,8	20,0	1,32	15,15	90,7	90,0	1,29	69,76	
60,3	1,9	1,35	1,40	100,3	2,7	1,27	2,13	80,7	6,3	1,30	4,84	58,7	26,0	1,35	19,25	82,2	100,0	1,30	76,92	
50,2	2,0	1,40	1,43	88,8	2,9	1,30	2,23	69,5	7,7	1,32	5,80	50,5	30,0	1,40	21,42	70,6	150,0	1,32	113,63	
40,3	2,0	1,50	1,33	78,3	3,6	1,31	2,75	61,3	8,9	1,35	6,59	40,0	43,0	1,51	28,47	61,7	210,0	1,35	156,50	
34,5	2,1	1,58	1,33	68,3	4,5	1,33	3,23	50,0	10,9	1,40	7,78	31,3	55,0	1,64	33,53	50,8	290,0	1,40	207,14	
28,5	2,6	1,69	1,54	59,0	4,9	1,35	3,63	40,7	12,8	1,50	8,53	21,7	82,0	1,83	44,80	41,5	560,0	1,49	385,83	
24,5	2,9	1,76	1,65	50,7	5,5	1,40	3,93	33,3	14,8	1,60	9,25					31,5	980,0	1,63	601,23	
				40,9	6,9	1,50	4,60	20,4	20,3	1,85	10,97					24,4	1830,0	1,76	103,97	
				29,7	8,2	1,67	4,91													
				20,9	10,1	1,86	5,43													

RHEOLOGISCHE UNTERSUCHUNG MAKROMOLEKULARER SUBSTANZEN

Tabelle VIII

Erwärmungs- und Abkühlungsdaten von PVC-Tetrachloräthan-Systemen

0,5%				2,0%				3,0%				5%				10,0%			
t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$																
23,7	1,9	1,89	1,00	22,2	2,90	1,90	1,52	23,7	3,5	1,89	1,85	24,2	6,2	1,88	3,29	23,2	150,0	1,89	79,36
31,8	1,80	1,85	0,97	32,0	2,80	1,85	1,51	31,5	3,0	1,85	1,62	32,0	5,8	1,85	3,13	31,7	130,0	1,85	70,27
40,9	1,75	1,80	0,97	41,7	2,75	1,80	1,52	41,7	3,0	1,80	1,66	41,0	5,2	1,80	2,88	41,2	110,0	1,80	61,11
50,4	1,70	1,75	0,97	50,7	3,75	1,75	2,14	51,2	7,5	1,74	4,31	50,7	11,9	1,75	6,80	46,2	120,0	1,77	67,79
60,0	1,70	1,72	0,98	59,8	5,85	1,72	3,40	61,8	16,1	1,71	9,41	57,0	43,0	1,72	25,00	50,5	1080,0	1,75	617,1
70,1	1,70	1,68	1,02	70,3	9,20	1,68	5,47	70,0	25,5	1,68	15,17	60,5	54,5	1,71	31,87	56,5	3180,0	1,73	1838,15
79,8	1,70	1,65	1,03	80,0	7,80	1,65	4,72	79,7	29,2	1,65	17,69	65,0	71,8	1,70	42,20	59,7	4760,0	1,72	2767,44
91,1	1,65	1,63	1,01	91,3	5,50	1,63	3,37	89,9	11,3	1,63	6,93	68,4	86,8	1,69	51,36	65,9	5200,0	1,70	3058,82
99,2	1,65	1,61	1,02	99,3	5,20	1,61	3,23	99,8	8,7	1,61	5,40	77,0	340,0	1,66	20,48	69,4	5640,0	1,68	3133,33
109,1	1,60	1,55	1,03	108,0	4,00	1,56	2,56	109,0	7,0	1,55	4,51	80,3	293,0	1,65	177,5	76,7	5780,0	1,66	3481,92
118,9	1,55	1,51	1,03	119,0	3,85	1,51	2,54	119,8	6,0	1,51	3,97	85,0	157,0	1,64	95,73	80,2	6000,0	1,65	3636,36
128,5	1,50	1,48	1,01	128,5	3,80	1,48	2,56	129,8	5,2	1,48	3,51	90,7	90,0	1,63	55,20	87,0	5000,0	1,64	3048,78
137,0	1,50	1,45	1,03	138,7	3,20	1,45	2,21	137,0	4,8	1,45	3,31	94,5	72,0	1,62	44,44	90,5	3730,0	1,63	2288,34
128,5	1,50	1,45	1,03	129,7	3,20	1,45	2,20	128,0	4,8	1,45	3,31	100,0	51,0	1,60	31,87	94,5	2500,0	1,62	1543,2
117,9	1,55	1,45	1,07	119,8	3,20	1,45	2,20	117,8	5,4	1,45	3,72	109,0	37,0	1,55	23,87	99,0	1830,0	1,61	1136,64
112,8	1,60	1,45	1,10	109,7	3,35	1,45	2,31	108,0	6,7	1,45	4,62	119,0	32,0	1,51	11,19	105,5	840,0	1,58	531,64
99,0	1,65	1,45	1,14	100,0	4,00	1,45	2,75	99,0	7,5	1,45	5,17	123,5	28,0	1,50	18,06	109,5	630,0	1,55	406,45
90,4	1,65	1,45	1,14	91,5	4,45	1,45	3,06	90,8	9,2	1,45	6,34	135,6	26,0	1,45	17,95	119,3	330,0	1,51	218,54
75,6	1,80	1,45	1,24	80,0	5,50	1,45	3,79	80,5	11,2	1,45	7,72	126,8	24,0	1,45	16,55	128,2	220,0	1,48	148,64
64,0	1,80	1,45	1,24	70,3	6,60	1,45	4,55	68,8	13,8	1,45	9,51	119,0	25,0	1,45	17,24	138,4	130,0	1,45	89,65
50,0	1,95	1,47	1,24	59,8	8,20	1,45	5,65	59,2	17,0	1,45	11,72	109,7	26,0	1,45	17,93	128,7	160,0	1,45	110,34
39,7	2,20	1,52	1,44	50,5	9,50	1,47	6,46	50,4	21,3	1,47	14,48	100,2	29,0	1,45	20,00	120,0	180,0	1,45	124,10
32,3	2,80	1,55	1,80	41,0	12,20	1,51	8,07	41,0	28,8	1,51	19,07	91,0	42,0	1,45	28,96	109,4	270,0	1,45	186,20
25,1	3,10	1,59	1,94	31,5	16,40	1,56	10,51	32,0	39,0	1,55	25,16	79,8	52,0	1,45	35,86	100,0	350,0	1,45	241,37
				22,7	20,70	1,61	12,85					70,4	72,0	1,45	49,65	90,4	500,0	1,45	344,83
												59,8	95,0	1,45	65,51	79,8	780,0	1,45	537,93
												50,8	136,0	1,47	92,51	68,0	970,0	1,45	668,96
												41,0	340,0	1,51	225,16	57,0	2250,0	1,46	1746,5
																50,0	4650,0	1,47	3163,2



**Tabelle X**  
Erwärmungs- und Abkühlungsdaten von PVC-Tetrahydrofuran-Systemen

0,5%				2,0%				3,0%				5,0%			
t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$												
21,0	0,91	0,50	1,78	20,8	2,8	0,5	5,60	22,0	4,7	0,50	9,40	21,0	13,0	0,5	26,0
25,0	0,87	0,50	1,80	25,0	2,7	0,5	5,40	27,1	4,3	0,50	8,60	26,7	12,3	0,5	24,6
30,2	0,85	0,50	1,70	30,8	2,6	0,5	5,20	31,5	4,2	0,50	8,40	30,2	11,5	0,5	23,0
35,0	0,81	0,46	1,90	35,2	2,5	0,46	5,43	36,3	4,0	0,45	8,88	35,8	10,2	0,45	22,56
40,0	0,80	0,43	1,95	39,8	2,4	0,44	5,45	40,7	4,0	0,44	9,09	40,0	9,6	0,44	21,81
49,0	0,78	0,40	1,96	45,2	2,4	0,43	5,58	45,8	4,0	0,43	9,30	44,8	8,7	0,43	20,23
53,6	0,78	0,39	2,00	50,0	2,3	0,40	5,75	50,0	3,9	0,40	9,75	49,6	7,7	0,40	19,25
59,7	0,78	0,39	2,00	54,5	2,3	0,39	5,89	54,8	3,5	0,39	8,97	55,0	7,2	0,39	18,46
54,7	0,80	0,40	2,00	59,8	2,2	0,39	5,64	59,7	3,3	0,39	8,46	59,0	6,8	0,39	17,43
49,5	0,80	0,41	1,95	54,5	2,0	0,40	5,00	55,7	3,20	0,41	7,80	55,3	6,8	0,41	16,58
45,0	0,90	0,42	2,14	49,8	1,9	0,41	4,64	50,0	2,90	0,41	7,07	50,0	6,9	0,41	16,82
40,0	0,90	0,44	2,05	44,7	2,0	0,42	4,76	46,2	3,00	0,42	7,14	45,0	7,3	0,42	17,38
34,7	0,90	0,46	1,96	40,8	2,0	0,43	4,65	41,1	3,10	0,43	7,21	39,8	8,1	0,44	18,40
29,7	0,90	0,48	1,87	35,8	2,0	0,45	4,44	36,0	3,2	0,45	7,11	35,8	8,8	0,45	19,55
25,6	0,90	0,49	1,84	30,0	2,10	0,48	4,38	30,5	3,3	0,48	6,88	30,0	9,8	0,48	20,42
				25,0	2,30	0,49	4,69	25,9	3,6	0,49	7,34	25,5	10,7	0,49	21,83
				21,0	2,40	0,50	4,80	23,2	4,0	0,50	8,00	21,0	11,7	0,50	23,40

Tabelle XI

Erwärmungs- und Abkühlungsdaten 2%iger PVC-Flüssigkeits-Systeme

Hexamethyldioxan				Methanol				Leichtbenzin			
t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$	t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$	t(°C)	$\eta$	$\eta_0$	$\eta_r$
20,8	0,7	0,4	1,75	21,0	0,50	0,45	1,11	21,5	0,50	0,48	1,04
31,4	0,7	0,4	1,75	30,8	0,40	0,35	1,14	31,5	0,45	0,44	1,02
40,7	0,7	0,39	1,79	40,7	0,35	0,35	1,00	40,5	0,40	0,40	1,00
50,0	0,65	0,35	1,85	50,0	0,35	0,30	1,16	50,5	0,40	0,38	1,05
58,8	0,6	0,30	2,00	59,4	0,30	0,25	1,20	41,2	0,40	0,39	1,02
70,1	0,6	0,35	1,71	50,0	0,35	0,30	1,16	31,4	0,45	0,44	1,02
80,0	0,55	0,30	1,83	41,0	0,40	0,30	1,33	22,0	0,45	0,43	1,04
69,5	0,55	0,30	1,83	30,7	0,40	0,35	1,14				
59,8	0,55	0,30	1,83	22,2	0,50	0,45	1,11				
50,5	0,55	0,31	1,77								
40,7	0,55	0,31	1,77								
41,3	0,6	0,32	1,875								
20,8	0,6	0,32	1,875								

### Zusammenfassung

Die Wechselwirkung zwischen PVC »F« und verschiedenen Flüssigkeiten wurde in Abhängigkeit von der Temperatur viskosimetrisch untersucht.

Zunächst studierten wir den Einfluß der Alkylkette der Dialkylphthalate auf die charakteristischen Temperaturpunkte, wobei wir feststellten, daß der Quellpunkt mit zunehmender Länge der Alkylkette sinkt, bei 4 Kohlenstoffatomen ein Minimum aufweist und danach ansteigt. Ferner stellten wir fest, daß sich einzelne Flüssigkeiten bezüglich ihrer Wirkung auf PVC wie die Weichmacher verhalten, obgleich sie keine Weichmacher sind. Zu diesen gehören beispielsweise das Nitrobenzol und das Tetrachloräthan. Sämtliche Flüssigkeiten, die mit PVC eine Wechselwirkung aufweisen, die der Wechselwirkung der Dialkylphthalate ähnlich ist, reihen wir in die Flüssigkeitsgruppe I ein.

Die Lösungsmittel des PVC haben ebenfalls viskosimetrisch charakteristisch verlaufende Kurven. Auf Grund ihrer Wechselwirkung mit PVC reihen wir sie in die Flüssigkeitsgruppe II ein.

Flüssigkeiten ohne Wechselwirkung mit PVC wurden in die Flüssigkeitsgruppe III eingereiht. Von den zu dieser Gruppe gehörigen Flüssigkeiten untersuchten wir Hexamethyldisylloxan, Methanol und Leichtbenzin.

### Literatur

1. EHLERS, J. F., GOLDSTEIN, K. R.: Kolloid Z. **118** 137 (1950).
2. CSÜRÖS Z., GROSZMANN M., GÉCZY I., JUHÁSZ K.: MTA Kém. Tud. O. Közl. **10** 467 (1958).
3. OSTWALD, W.: Praktikum der Kolloidchemie, Dresden und Leipzig (1943).
4. MOLL, W., I., H.: Kolloid Z. **85** 335 (1938).
5. STAUDINGER H. und SCHNEIDERS, J.: Liebigs Ann. Chem. **541** 151 (1939).
6. DELORME J. und BLUMA, R.: Ind. des Plastiques **2** 80 (1944).
7. FROMM, H.: Kolloid Z. **102** 86 (1943).
8. MAGAT, : J. Chim. Phys. **46** 344 (1949).
9. EINSTEIN, A.: Ann. Physik **19** 289 (1906).
10. EIRICH, F., SVERAK, J.: Trans. Faraday Soc. **42B** 57 (1946).  
ROBINSON, J. V.: J. Phys. Colloid Chem. **53** 1042 (1949).
11. WÜRSTLIN, F., KLEIN, H.: Makromolekulare Chem. **16** 1 (1955).

Prof Z. CSÜRÖS, M. GARA, GY. BERTALAN,	}	Budapest, XI., Műegyetem rakpart 3. Ungarn.
--	---	---