

ÜBER EINEN ZUSAMMENHANG ZWISCHEN VISKOSITÄT UND OBERFLÄCHENSPANNUNG DER FLÜSSIGKEITEN

Von

P. MÓRITZ

Institut für Anorganische Chemie der Technischen Universität, Budapest

(Eingegangen am 15. April 1959)

Die Oberflächenspannung γ von Flüssigkeiten kann, sofern keine Meßdaten aus der Literatur zur Verfügung stehen, und auch ihre unmittelbare experimentelle Bestimmung auf Schwierigkeiten stößt, aus der bei den meisten Verbindungen bereits bekannten oder aus der auch experimentell bequemer bestimmbar Viskosität η berechnet werden.

Bei einer gegebenen Flüssigkeit verändert sich bekanntlich sowohl die Viskosität als auch die Oberflächenspannung im gleichen Sinne, weshalb man verschiedentlich versucht hat, den Zusammenhang der beiden Größen durch verschiedene monotone Funktionen auszudrücken.

So ist nach Mukherjee¹

$$\gamma = z \sqrt{\eta},$$

nach Silvermann und Roseveare²

$$\eta^{-1} = k \gamma^{-\frac{1}{3}} + c$$

und nach Buehler³ und Tripathi⁴

$$\log \log \eta = m \gamma^{\frac{1}{3}} + C. \quad (1)$$

Gleichung (1) wurde von Buehler aus der Gleichung

$$\log \log \eta = \mu \varrho + C'$$

von Souders⁵ und aus der Definitionsgleichung des Parachors

$$\bar{P} = \frac{M}{\varrho} \gamma^{\frac{1}{3}}$$

abgeleitet, und wurde gefunden, daß die Konstante :

$$m = \frac{\mu M}{\bar{P}}$$

bei nicht assoziierten Verbindungen im Durchschnitt 1,2, die Konstante C hingegen $-2,9$ beträgt, wenn die Viskosität in Millipoise, die Oberflächenspannung in dyn/cm angegeben ist. Die Gleichung

$$\log \log \eta = 1,2 \gamma^{\frac{1}{2}} - 2,9$$

wäre solcherart zur Berechnung der Oberflächenspannung jeder beliebigen Flüssigkeit bei jeder Temperatur aus der bei derselben Temperatur gemessenen Viskosität (oder umgekehrt) geeignet.

Obwohl m und C von der Temperatur weitgehend unabhängig sind, variieren sie — wie dies Tripathi⁴ nachgewiesen hat —, dennoch beträchtlich mit der stofflichen Beschaffenheit der Flüssigkeit. Es gibt besonders bei assoziierten Flüssigkeiten wesentliche Abweichungen von dem bereits erwähnten Durchschnittswert für m . Darüber hinaus fanden wir aber, daß m auch bei Kohlenwasserstoffen mit mehreren Kohlenstoffatomen, die zwar nicht assoziiert sind, mit der Zahl der Kohlenstoffatomen monoton anwächst und sich einem von 1,2 wesentlich verschiedenen Grenzwert nähert, bei normalen Paraffinen z. B. einem Wert von $m = 1,39$.

Um die Viskosität (bzw. die Oberflächenspannung) bloß aus den beim Messen der Oberflächenspannung (bzw. der Viskosität) gewonnenen Werten mit größerer Genauigkeit berechnen zu können, als dies die Buehlersche Gleichung zuläßt, schien es zweckmäßig zu untersuchen, ob die Konstanten m und C in irgendeinem Zusammenhang mit der Molekülstruktur stehen.

Die Frage kann folgendermaßen vereinfacht werden: Im kritischen Punkt ist $\gamma = 0$, dennoch ist C auf Grund der Gleichung [1] die Viskosität im kritischen Punkt. Diese ist aber wesentlich kleiner als die Viskosität der verschiedenen Flüssigkeiten bei Zimmertemperatur, man begeht mithin keinen großen Fehler, wenn man mit dem Durchschnittswert $C = -2,9$ rechnet.

Da sich aber m innerhalb einer homologen Reihe mit der Zahl der Kohlenstoffatome monoton ändert, erschien auch die Untersuchung jener anderen Frage nicht uninteressant, ob sich m in Atom- und Bindungsinckremente zerlegen läßt. Die Abhängigkeit des Wertes m von der Zahl der Kohlenstoffatome kann bei den bei Zimmertemperatur flüssigen Repräsentanten der meisten Verbindungsarten tatsächlich durch eine lineare Funktion gut angenähert werden, m läßt sich somit, wie sich zeigen wird, auch in Atom und Bindungsinckremente zerlegen.

Offenbar wäre es das richtigste gewesen, den wahrscheinlichsten Wert der Konstante m für jede Verbindung aus allen zur Verfügung stehenden experimentellen Daten der Viskosität bzw. Oberflächenspannung zu bestimmen und aus den so gewonnenen m -Werten die Atom- und Bindungsinckremente zu berechnen. Statt dessen wurden der Einfachheit halber und weil Versuchsdaten meist nur für Zimmertemperaturen zur Verfügung stehen, oder am

häufigsten für solche zu berechnen sind, zur Feststellung der Inkremente von m im allgemeinen nur Daten für 20° C verwendet ; auch die Genauigkeit dieser Rechenmethode wurde im allgemeinen nur unter diesen Umständen geprüft.

Die aus den bei 20° C gemessenen η - bzw. γ -Werten berechneten Atominkremente — nach dem periodischen System angeordnet —, und die Bindungs- bzw. Gruppeninkremente sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Zur Berechnung der Inkremente wurden die Viskositätswerte in Millipoise, die der Oberflächenspannung in dyn/cm eingesetzt.

Tabelle 1

			H
			0,588
			0,624 ^{a)}
			F
			0,600
C	N	O	
—1,163	—0,599 ^{c)}	0,003	
—1,118 ^{b)}	—0,627 ^{d)}		
			Cl
Si			0,600
—1,117 ^{e)}			
			Br
			0,600
			J
			0,600
Doppelbindung		1,129	
Dreifachbindung		2,365	
—OH (in Alkoholen)		0,754	
—CO		—0,014	
—COOH		0,685	
—COO		—0,040 \pm 0,016 n — 0,000932 n^2 ^{f)}	
—NO ₂		0,573	
Naphtenring		1,186	
—C ₆ H ₅ (Phenylgruppe)		0,608	
		0,570 ^{g)}	
—SiO _x - (in Alkoxy- und Aroxy-			
silanen)		—1,064 — 0,0096 x ^{h)}	
—SiO—		—1,191	
Siloxankette		0,126	
Siloxanring		1,458	

a) zu Stickstoff gebunden

b) quaternäres Kohlenstoffatom bzw. zur Hydroxylgruppe gebundenes Kohlenstoffatom tertiärer Alkohole

c) in aliphatischen Verbindungen

d) in aromatischen Verbindungen

e) aus einer Verbindung : Triäthylfluorsilan bestimmt

f) n ist die Gesamtzahl der im Molekül vorkommender Kohlenstoffatome

g) in Aroxy-silanen

h) bei mono-, di-, tri-, bzw. tetrafunktionellen Silanen ist $x = 1, 2, 3$, bzw. 4.

Um die Brauchbarkeit des geschilderten Rechenverfahrens zu zeigen, sind in Tabelle 2 für eine Reihe von Verbindungen die Viskositäten (η), die

Tabelle 2

	η	m	$\gamma_{\text{ber.}}$	γ	δ
n-Pentan	2,27	1,241	15,21	16,00	-0,79
n-Hexan	3,18	1,254	18,50	18,42	+0,08
n-Heptan	4,09	1,267	20,20	20,25	+0,15
n-Oktan	5,42	1,280	21,77	21,77	\pm 0,00
n-Nonan	7,11	1,293	22,96	22,91	+0,05
i-Pentan	(2,21)	1,241	14,25	15,00	-0,75
3-Methylpentan	(3,23)	1,254	18,68	18,10	+0,58
2-Methylhexan	3,78	1,267	19,45	19,17	+0,28
3-Methylhexan	3,72	1,267	19,30	19,56	-0,26
23-Dimethylpentan	4,28	1,267	20,62	19,82	+0,80
24-Dimethylpentan	3,60	1,267	19,01	18,12	+0,89
25-Dimethylhexan	(4,86)	1,280	20,89	19,80	+1,09
22-Dimethylbutan	3,75	1,292	17,94	16,18	+1,76
22-Dimethylpentan	3,85	1,305	17,46	18,05	-0,59
33-Dimethylpentan	4,54	1,305	18,79	19,44	-0,65
223-Trimethylbutan	5,79	1,305	20,66	18,86	+1,80
224-Trimethylpentan	5,03	1,318	18,86	18,90	-0,04
Amylfluorid	3,72	1,253	20,20	20,06	+0,14
Hexylfluorid	4,875	1,266	21,85	21,83	+0,02
Heptylfluorid	6,26	1,279	23,00	23,20	-0,20
Äthylchlorid	[10° C] 2,79	1,214	19,45	20,64	-1,19
Propylchlorid	(3,52)	1,227	21,36	21,78	-0,42
n-Butylchlorid	(4,48)	1,240	22,96	23,90	-0,94
Kohlenstofftetrachlorid ..	9,65	1,282	25,95	26,76	-0,81
Chloroform	5,68	1,225	26,41	27,28	-0,87
Methylendichlorid	(4,35)	1,213	24,73	28,12	-3,39
11-Dichloräthan	(4,90)	1,226	24,91	24,75	+0,16
12-Dichloräthan	(8,34)	1,226	29,78	32,23	-2,45
111-Trichloräthan	9,03	1,238	29,32	26,17	+3,15
1122-Tetrachloräthan ..	[15° C] (16,95)	1,250	32,74	36,04	-3,30
22-Dichlorpropan	(7,19)	1,239	27,31	23,62	+3,69
i-Butylchlorid	(4,48)	1,240	23,13	21,99	+2,14
tert-Butylchlorid	(5,08)	1,240	24,16	19,56	+4,60
Allylchlorid	(3,30)	1,180	24,07	23,06	+1,01
Äthylbromid	3,968	1,214	23,64	24,15	-0,51
Propylbromid	(5,168)	1,227	25,36	25,85	-0,49
i-Propylbromid	(4,818)	1,227	24,64	22,90	+1,74
n-Butylbromid	6,33	1,240	26,13	26,33	-0,20
sec-Butylbromid	5,73	1,240	25,26	25,18	+0,08
tert-Butylbromid	(8,14)	1,285	24,51	22,45	+2,06
i-Amylbromid	[15° C] 7,92	1,253	26,92	26,40	+0,52
Heptylbromid	(13,09)	1,279	28,23	28,56	-0,23
Oktylbromid	(16,30)	1,292	28,42	28,89	-0,47
Methyljodid	(4,87)	1,201	26,98	30,14	+3,16
Äthyljodid	5,93	1,214	27,83	28,83	+1,00
Propyljodid	(7,21)	1,227	28,42	29,56	+1,14
i-Propyljodid	(6,90)	1,227	28,04	27,42	-1,62
Butyljodid	(8,60)	1,240	28,72	29,15	-0,43
i-Butyljodid	(8,73)	1,240	28,82	27,97	+0,85
sec-Butyljodid	(8,25)	1,240	28,38	28,34	+0,04
Heptyljodid	(17,93)	1,279	30,18	30,38	-0,20

Tabelle 2 (Fortsetzung)

		η	m	$\gamma_{\text{ver.}}$	γ	δ
Äthylalkohol		17,16	1,368	22,28	22,28	+0,60
n-Propylalkohol		22,30	1,381	23,17	23,70	+0,53
i-Propylalkohol		21,90	1,381	21,92	21,35	+0,57
n-Butylalkohol	[15° C]	33,79	1,394	23,98	25,00	-1,02
i-Butylalkohol		47,03	1,394	25,18	22,98	+2,20
sec-Butylalkohol		42,10	1,394	24,77	23,89	+0,88
tert.-Butylalkohol	[30° C]	33,16	1,432	21,45	19,10	+2,35
n-Amylalkohol	[15° C]	46,50	1,407	24,24	26,03	-1,79
i-Amylalkohol		48,11	1,407	24,37	24,77	-0,40
sec-Amylalkohol		51,30	1,407	24,60	24,42	+0,18
Diäthylkarbinol		73,37	1,407	25,81	25,02	+0,79
tert.-Amylalkohol		54,80	1,445	22,30	23,22	-0,92
n-Hexylalkohol		62,03	1,420	24,33	24,94	-0,61
n-Oktylalkohol		106,40	1,446	24,21	26,50	-2,29
Diäthyläther		2,345	1,231	16,14	17,04	-0,90
di-n-Propyläther		(4,25)	1,257	21,21	20,53	+0,68
di-n-Butyläther	[15° C]	7,41	1,283	23,98	23,40	+0,58
di-n-Amyläther	[15° C]	11,88	1,309	25,13	25,25	-0,12
Methylal	[15° C]	3,40	1,221	21,37	21,79	-0,42
Äthylal	[15° C]	4,42	1,247	22,30	21,71	-0,41
Azeton	[15° C]	3,371	1,188	23,73	23,92	-0,19
Methyläthylketon	[15° C]	4,23	1,201	25,40	25,00	+0,40
Diäthylketon	[15° C]	4,93	1,214	25,95	25,87	+0,08
di-n-Propylketon		7,51	1,227	28,77	25,60	+3,17
Essigsäure		12,34 ¹⁴	1,286	27,21	27,42	-0,21
Propionsäure		11,09 ¹⁴	1,299	25,49	26,70	-1,21
Buttersäure		15,99 ¹⁴	1,312	26,65	26,74	-0,09
i-Buttersäure		13,35 ¹⁴	1,312	25,58	25,22 ¹⁴	+0,36
n-Valeriansäure		23,00 ¹⁴	1,325	27,50	27,36	+0,14
i-Valeriansäure		24,11 ¹⁴	1,325	27,74	25,30	+2,44
n-Kapronsäure	[25° C]	28,40 ¹⁴	1,338	27,46	27,49	-0,03
n-Önantsäure		(43,6)	1,351	28,23	28,31 ¹⁴	-0,08
Kaprylsäure		58,28	1,364	28,23	28,30 ⁷	-0,07
Methylformiat		3,47	1,177	25,00	25,08 ⁸	-0,08
Äthylformiat		4,13	1,202	25,08	23,84	+1,24
n-Propylformiat		5,134	1,224	25,54	24,50 ¹⁴	+1,04
n-Oktylformiat	[15° C]	17,50	1,309	27,40	28,92	-1,52
Methylazetat		3,831	1,202	24,21	24,60 ¹⁴	-0,39
Äthylazetat		4,521	1,224	24,24	23,75	+0,49
Propylazetat		5,92	1,245	25,13	24,30	+0,83
Hexylazetat	[15° C]	12,54	1,295	26,59	26,99	-0,30
Methylpropionat		4,61	1,224	24,46	24,90	-0,44
Äthylpropionat		5,367	1,245	24,24	24,27	-0,03
Hexylpropionat	[15° C]	13,77	1,309	26,04	27,28	-1,24
Oktylpropionat	[15° C]	21,28	1,329	26,79	28,17	-1,38
Methyl-n-butyrat		5,73	1,245	24,91	25,00 ¹⁴	-0,09
Äthyl-n-butyrat		6,67	1,263	24,73	24,58	+0,15
n-Oktyl n-butyrat	[15° C]	24,91	1,337	26,88	27,55	-0,67
Methyl-i-butyrat		5,17	1,245	23,94	23,80	+0,14
Äthyl-i-butyrat		5,88	1,263	23,68	23,26	+0,42
n-Oktyl-n-valerat	[15° C]	29,08	1,342	27,22	28,92	-1,70
n-Oktyl-n-kapriat	[15° C]	34,51	1,346	27,65	28,59	-0,94

Tabelle 2 (Fortsetzung 2)

		η	m	$\gamma_{\text{ber.}}$	γ	δ
Äthyl-n-önantat	[15° C]	13,88	1,309	26,09	26,91	—0,82
Oktylönantat	[15° C]	39,98	1,348	28,13	28,65	—0,52
Athyl-n-kaprilat	[15° C]	17,22	1,320	26,41	27,39	—0,98
n-Amyl-n-kaprilat	[15° C]	29,16	1,342	27,22	28,18	—0,96
n-Heptyl-n-kaprilat	[15° C]	39,81	1,348	28,13	28,76	—0,63
n-Oktyl-n-kaprilat	[15° C]	48,25	1,349	28,82	28,85	—0,03
Äthyl-n-pelargonat	[15° C]	21,06	1,337	26,09	28,02	—1,93
Diäthylamin	[25° C]	3,46 ^s	1,253	19,45	19,39	+0,06
Triäthylamin		(3,67)	1,243	20,70	20,66	+0,04
i-Butyronitril		(5,15)	1,230	25,09	24,93	+0,16
n-Valeronitril		(7,25)	1,243	27,02	27,44	—0,42
i-Valeronitril		(7,83)	1,243	27,69	25,93	+1,76
Zyklohexylzyanid		28,96	1,279	32,96	34,37	—1,41
Benzol		6,49	1,196	30,44	28,88	—1,56
Toluol	[15° C]	6,23	1,209	28,77	29,10	—0,33
Äthylbenzol	[15° C]	6,97	1,222	28,57	29,75	—1,18
n-Propylbenzol	[15° C]	9,17	1,225	29,72	29,52	+0,20
n-Butylbenzol	[15° C]	11,14	1,248	29,99	29,84	+0,15
n-Amylbenzol	[15° C]	14,87	1,261	30,70	30,18	+0,52
n-Hexylbenzol	[15° C]	18,33	1,274	30,81	30,70	+0,11
o-Xylol	[15° C]	8,66	1,222	30,49	30,75	—0,26
m-Xylol	[15° C]	6,50	1,222	27,98	29,15	—1,17
p-Xylol	[15° C]	6,82	1,222	28,38	28,91	—0,53
Fluorbenzol		5,82	1,208	28,17	27,78	+0,39
Chlorbenzol		7,94	1,208	31,18	33,28	—2,10
Brombenzol		11,24	1,208	34,19	36,34	—2,15
Jodbenzol		(17,10)	1,208	37,58	41,45	—3,87
m-Fluortoluol		6,08	1,221	27,40	27,97	—0,57
o-Chlortoluol		(9,81)	1,221	31,65	33,44	—1,79
p-Chlortoluol	[25° C]	(8,50)	1,221	30,45	32,24	—1,79
m-Difluorbenzol		5,743	1,220	26,98	25,93	+1,05
p-Difluorbenzol		6,39	1,220	27,98	27,05	+0,93
Trifluortoluol		5,74	1,209	27,98	23,39	+4,59
Methylanilin	[15° C]	25,68	1,206	40,84	39,97	+0,87
Dimethylanilin		(13,75)	1,183	36,74	36,60	+0,14
o-Toluidin		(42,91)	1,242	39,44	40,03	—0,59
m-Toluidin		(36,72)	1,242	38,56	38,02	+0,54
p-Toluidin	[45° C]	19,45	1,242	34,47	36,06	—1,59
Nitrobenzol		20,13 ¹⁵	1,181	42,48	43,35	—0,87
o-Nitrotoluol		23,70	1,194	41,89	41,67	+0,23
m-Nitrotoluol	[15° C]	25,63	1,194	42,55	41,73	+0,82
p-Nitrotoluol	[60° C]	12,04	1,194	36,44	36,83	—0,39
Dimethyldiäthoxysilan ..		5,03 ⁹	1,308	19,41	22,5 ¹⁰	—3,09
Methylphenyldiäthoxysilan		16,91 ⁹	1,325	26,59	27,7 ¹⁰	—1,11
Diäthyldiäthoxysilan		6,60 ⁹	1,315	20,98	22,0 ¹⁰	—1,02
Diäthyldipropoxysilan		9,65 ⁹	1,322	22,92	25,3 ¹⁰	—0,38
Diäthyldibutoxysilan		12,57 ⁹	1,329	23,98	25,2 ¹⁰	—1,22
Diäthyldiisobutoxysilan ..		13,36 ⁹	1,329	24,33	23,1 ¹⁰	+1,23
Diäthyldiamyloxysilan ..		18,62 ⁹	1,336	25,49	24,8 ¹⁰	+0,69
Diäthyldilauroxysilan ...		112,12 ⁹	1,385	28,92	29,5 ¹⁰	—0,58

stoffkette, um so größer ist die Differenz zwischen den gemessenen und den berechneten Werten. Noch größere Abweichungen kommen bei den ersten Gliedern einiger homologer Reihen vor, so daß diese in die Tabelle meist gar nicht aufgenommen wurden. Zu größeren Abweichungen führt es ferner, wenn sich Halogene an irgendeinem Kohlenstoffatom akkumulieren.

Bei aromatischen Verbindungen mit längerer Seitenkette standen nur einzelne Daten zu Verfügung, weshalb auch in diesem Falle keine wesentlich besseren Resultate erzielt wurden als bei Berechnung mit dem Durchschnittswert $m = 1,2$. Dies läßt sich vielleicht damit erklären, daß die Längen der Seitenketten im Vergleich zum Benzolring bei den meisten hier untersuchten aromatischen Verbindungen so klein sind, daß ihr Einfluß neben demjenigen, den der Benzolring auf den Wert von m ausübt, vernachlässigt werden kann.

Zur Demonstration, daß die Oberflächenspannung mit dem erwähnten Verfahren nicht nur bei 20° C, sondern auch in einem größeren Temperaturintervall mit hinreichender Genauigkeit berechnet werden kann, wurden die Oberflächenspannungen einiger Verbindungen bei verschiedenen Temperaturen aus der Viskosität berechnet und in Tabelle 3 den beobachteten Werten zwecks Vergleich gegenübergestellt.

Aus Tabelle 1 erhellt, daß die Atominkremente der hier in Betracht kommenden Nichtmetalle innerhalb einer Gruppe des periodischen Systems praktisch konstant sind, und daß ihr Mittelwert eine lineare Funktion des Minimalwertes der Oxydationszahl ist. Die Atominkremente können mithin näherungsweise anhand der Formel $0,591 \nu + 1,192$ berechnet werden, wobei ν den überhaupt vorkommenden kleinsten Wert der Oxydationszahl des betreffenden Atoms bedeutet (für Wasserstoff ist z. B. $\nu = -1$, für Sauerstoff $\nu = -2$, usw.¹⁵). Hieraus ergibt sich in erster Annäherung

$$m = 1,192 \cdot z + 0,591 \sum \nu_i z_i, \quad (2)$$

wo die Summierung über alle Atomarten des Moleküls durchzuführen, und z die totale Zahl der Atome $z = \sum z_i$ ist.

Da für die Atominkremente, wie gezeigt, der Minimalwert der Oxydationszahl ausschlaggebend ist, hängt die Viskosität bei gegebenem Wert der Oberflächenspannung hauptsächlich bloß davon ab, in wieviele Richtungen von den einzelnen Atomen Bindungen ausgehen. Diese Erscheinung kann am Beispiel von Wasserstoffverbindungen der allgemeinen Formel $H_{\xi} X$ ($\xi = 1, 2, 3, 4$) (z. B. HCl, H₂S, PH₃ und SiH₄) folgendermaßen erklärt werden.

Da bei diesen Verbindungen $z = \xi + 1$ und $\sum \nu_i z_i = -2 \xi$, ergibt sich aus Gleichung [2]

$$m = 1,192 + 0,010 \xi,$$

Tabelle 3
n-Heptan $m = 1,267$

$t^{\circ}C$	η	$\gamma_{\text{per.}}$	γ	δ
0	5,21	22,38	22,19	+0,19
10	4,38	20,86	21,12	-0,26
15	4,29	20,66	20,85	-0,19
20	4,09	20,20	20,31	-0,11
30	3,64	19,11	19,26	-0,15
40	3,33	18,12	18,33	-0,11
50	3,03	17,25	17,24	+0,01
i-Butylalkohol $m = 1,394$				
20	(38,87)	24,5	23,0	+1,5
30	(28,47)	23,3	22,3	+1,0
50	(16,05)	20,9	22,7	-1,8
75	(8,67)	18,0	18,6	-0,6
105	(4,75)	14,7	15,9	-1,2
Essigsäure $m = 1,286$				
10	(14,16)	28,08	28,8 ¹⁴	-0,7
15	(13,04)	27,59	27,95	-0,3
20	(12,04)	27,07	27,8	-0,7
30	(10,38)	26,09	26,34	-0,2
50	(7,93)	24,24	24,8	-0,6
75	(5,91)	22,05	22,3	-0,2
100	(4,57)	20,01	19,8	+0,2
118	(3,87)	18,54	18,1	-0,5

woraus klar hervorgeht, daß die Viskosität im Sinne der Gleichung [1] bei gleichem Wert der Oberflächenspannung mit ξ monoton anwächst, was leicht einzusehen ist, denn mit zunehmendem ξ wird die Packung des Moleküls dichter, d. h. sein Hohlraumgehalt vermindert sich. Die Viskosität gemäß der Formel von Batschinski¹⁶

$$\eta = \frac{C}{V - \omega}$$

ist aber unter sonst gleichen Umständen dem Hohlraumgehalt $V - \omega$ umgekehrt proportional.

Ich danke Herrn Prof. Dr. J. Proszk für sein stetes Interesse und für seine wertvollen Ratschläge sowie Herrn Ing. J. Nagy für die freundliche Überlassung einiger Präparate und Messergebnisse.

Zusammenfassung

Die Oberflächenspannung γ der Flüssigkeiten kann aus der Viskosität η unter anderem nach Tripathi⁴ anhand der Gleichung

$$\log \log \eta = m \gamma^{1/4} + C$$

berechnet werden. Diese Gleichung enthält zwei individuelle Konstanten: m und C . Bei nicht assoziierten Flüssigkeiten kann man, wenn auch mit verminderter Genauigkeit, nach Buehler³ mit den Durchschnittswerten $m = 1,2$ und $C = -2,9$ rechnen, falls die Viskosität in Millipoise, und die Oberflächenspannung in dyn/cm eingesetzt wird.

Es wurde gezeigt, daß die Oberflächenspannung der meisten Flüssigkeiten mit hinreichender und das Buehler-Verfahren übertreffender Genauigkeit aus der Viskosität unter Beibehaltung $C = -2,9$ und auf Grund der Annahme der Additivität der Konstante m berechnet werden kann. Die Atominkremente der Konstante m werden für die wichtigsten Nichtmetalle angegeben.

Literatur

1. MUKHERJEE, A. K.: Journ. Ind. Chem. Soc. **30**, 670 (1953).
2. SILVERMAN, ROSEVEARE: J. Am. Chem. Soc. **54**, 4460 (1932).
3. BUEHLER, C. A.: J. Phys. Chem. **42**, 1207 (1938).
4. TRIPATHI, R. C.: J. Indian Chem. Soc. **19**, 51 (1942).
5. SOUDERS jr., M.: J. Am. Chem. Soc. **60**, 154 (1938).
6. TIMMERMANS, J.: Physico-chemical Constants of Pure Organic Compounds. Elsevier, New York 1950.
7. D'ANS, J., LAX, E.: Taschenbuch für Chemiker und Physiker. Springer, Berlin 1949.
8. HODGMAN, Ch. D.: Handbook of Chemistry and Physics, 36. Ausg. Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland 1954.
9. Privatmitteilung von J. NAGY.
10. Eigene Messungen.
11. MILLS, A. P., MACKENZIE, Ch. A.: J. Am. Chem. Soc. **76**, 2672 (1954).
12. WILCOCK, D. F.: J. Am. Chem. Soc. **68**, 691 (1946).
13. FOX, H. W., TAYLOR, P. W., ZISMAN, W. A.: Ind. Eng. Chem. **39**, 1401 (1947).
14. WASHBURN, E. W.: International Critical Tables, New York 1928.
15. HOLLEMAN, A., WIBERG, E.: Lehrbuch der Chemie, I. Anorganische Chemie. Gruyter, Berlin 1951. S. 166.
16. BATSCHENSKI, A.: Z. phys. Chem. **84**, 643 (1913).
17. HUNTER, H. J., HYDE, J. F., WARRICK, E. L., FLETCHER, H. J.: J. Am. Chem. Soc. **68**, 667 (1946).

P. MÓRITZ, Budapest XI., Gellért tér 4. Ungarn.