

pančenkov, G. M

DRUCKABHÄNGIGKEIT DER VISKOSITÄT VON FLÜSSIGKEITEN

Deutsche Vollübersetzung aus:

Žurnal fizičeskoj chimii. Moskva, 21(1947),
Nr 2, S. 187-195.

Russ.: ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ ОТ ДАВЛЕНИЯ

Zavisimosti vjazkosti židkostej ot davlenija

Experimentelle Untersuchungen über die Druckabhängigkeit der Viskosität von Flüssigkeiten zeigten, daß die Viskosität der Flüssigkeiten im Allgemeinen mit steigendem Druck zunimmt. Die Druckabhängigkeit der Viskosität wird durch die von uns abgeleitete Gleichung für die Viskosität von Flüssigkeiten [1] dargestellt

$$\eta = 3 \sqrt{6R} \sqrt[3]{\frac{\omega^2}{N_0}} \cdot \frac{\rho^{1/3}}{M^{5/6}} \sqrt{T \cdot e^{\epsilon/RT} (1 - e^{-\epsilon/RT})^2}, \quad (1)$$

wobei η die dynamische Viskosität, R die Gaskonstante, N_0 die Loschmidt-Zahl, ω das Eigenvolumen der Moleküle eines Grammol der Substanz, ρ die Flüssigkeitsdichte, M das Molekulargewicht, T die absolute Temperatur und ϵ die Bindungsenergie der Flüssigkeitsmoleküle darstellen.

Da sich Flüssigkeitsdichte und Bindungsenergie der Flüssigkeitsmoleküle mit dem Druck ändern, ändert sich auch die Viskosität. Nach Bridgemans Untersuchungen [2] ist das Eigenvolumen der Moleküle bei hohen Drücken ebenfalls eine Funktion des Drucks. Außerdem kann auch die Koordinationszahl der Flüssigkeit γ eine Druckfunktion sein. Der Einfachheit halber nehmen wir an, das Eigenvolumen der Moleküle und die Koordinatenzahl seien nicht druckabhängig. Für die Berechnung der Druckabhängigkeit der Viskosität von Flüssigkeiten verwenden wir die experimentell bestimmte Flüssigkeitsdichte bei Vorgabe von Temperatur und Druck.

Da die Größe der Bindungsenergie zwischen den Flüssigkeitsmolekülen vom Abstand der Moleküle voneinander abhängt, hängt sie auch von ihrem Volumen und folglich auch vom Druck ab.

Wir wollen nun die Abhängigkeit der Bindungsenergie zwischen dem Flüssigkeitsmolekülen vom äußeren Druck bestimmen. Die Flüssigkeit stehe unter dem äußeren Druck P und habe das Volumen V_p . Bei Ausdehnung der Flüssigkeit (unter konstantem Außendruck) auf das Volumen V_0 , das dem äußeren Druck Null entspricht, wird Energie verbraucht:

$$\Delta E = \int_{V_p}^{V_0} l dV, \quad (2)$$

mit der latenten molaren Ausdehnungswärme l der Flüssigkeit und den molaren Flüssigkeitsvolumina V_p und V_0 .

Die Bindungsenergie (bei einer Koordinationszahl eins) ist bei vorgebenem äußerem Druck P

$$\varepsilon_p = \varepsilon_0 + \frac{2}{\gamma} \int_{V_p}^{V_0} l dV.$$

Mit ausreichender Genauigkeit kann man annehmen, daß die Bindungsenergie zwischen den Flüssigkeitsmolekülen bei äußerem Druck Null ε_0 gleich der Bindungsenergie ε_1 zwischen den Flüssigkeitsmolekülen bei Luftdruck ist:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_1 + \frac{2}{\gamma} \int_{V_p}^{V_0} l dV, \quad (3)$$

da aber

$$l = \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + P,$$

ist deshalb

$$\varepsilon_p = \varepsilon_1 + \frac{2}{\gamma} \int_{V_p}^{V_0} \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + P \right\} dV, \quad (4)$$

oder

$$\varepsilon_p = \varepsilon_1 + \frac{2}{\gamma} \int_{V_p}^{V_0} dU + \frac{2}{\gamma} P (V_0 - V_p). \quad (5)$$

Wir integrieren (5) und erhalten

$$\varepsilon_p = \varepsilon_1 + \frac{2}{\gamma} \{ U_0 - U_p + P (V_0 - V_p) \}, \quad (6)$$

mit U_0 und U_p als den inneren Energien der Flüssigkeit bei einem Druck von 1 atm und von P . Es gibt außerdem

$$\left(\frac{\partial U}{\partial P}\right)_T = -T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P - P \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T.$$

Nach Integration von $P = 1$ atm bis P erhalten wir deshalb

$$U_P = U_1 - T \int_1^P \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP - \int_1^P P dV. \quad (7)$$

Wir setzen (7) in (6) ein und erhalten

$$\varepsilon_P = \varepsilon_1 + \frac{2}{\gamma} \left[T \int_1^P \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP + \int_1^P P dV + P(V_0 - V_P) \right]. \quad (8)$$

Ändert man in Gleichung (5) die Integrationsgrenze nicht und verwendet die Beziehung

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P,$$

dann geht Gleichung (5) über in

$$\varepsilon_P = \varepsilon_1 + \frac{2}{\gamma} \int_{V_P}^{V_0} T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dV. \quad (9)$$

Die unter dem Integral stehende Größe $T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$ ist der thermische Flüssigkeitsdruck.

Somit entspricht die Zunahme der Bindungsenergie mit dem Druck der Arbeit, die beim Komprimieren der Flüssigkeit gegenüber dem thermischen Druck pro Bindung verrichtet wird.

Die Größe $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$ kann man durch den Flüssigkeitsausdehnungskoeffizienten und die isotherme Kompressibilität ausdrücken, d.h.

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = - \frac{\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P}{\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T}. \quad (10)$$

Die Größen im ersten Teil der Gleichung können für die Druckabhängigkeit bei verschiedenen Temperaturen ausgerechnet werden.

Wir setzen (10) in (9) ein und erhalten

$$\varepsilon_P = \varepsilon_1 - \frac{2}{\gamma} \int_{V_P}^{V_0} T \frac{\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P}{\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T} dV. \quad (11)$$

Wie Gleichung (8) so kann auch Gleichung (11) beim Berechnen der Bindungsenergie der unter dem Druck P stehenden Flüssigkeitsmoleküle benutzt werden. Wir führten der Einfachheit halber die Berechnung nach Gleichung (8) aus. Offensichtlich sind die Ergebnisse aus den Gleichungen (8) und (11) identisch. Denn in allen Berechnungen sind die Moleküle unverformbar.

Die zu Gleichung (8) gehörenden Integrale können (durch graphisches Integrieren) leicht ermittelt werden auf der Grundlage der Versuchsangaben für die Abhängigkeit des thermischen Ausdehnungskoeffizienten und des Flüssigkeitsvolumens vom äußeren Druck bei vorgegebenen Temperaturen.

Alle zu Gleichung (8) gehörenden Werte, ausgenommen das Integral, welches die Kompression berücksichtigt, sind bei den meisten Flüssigkeiten positiv und nehmen mit steigendem Druck zu. Der Wert ε_1 ist konstant. Deshalb nimmt der Wert der Bindungsenergie der Flüssigkeitsmoleküle mit höherem Druck zu. Der Wert der Bindungsenergie ε_P steht im Exponenten der Viskositätsgleichung, und daraus läßt sich die starke Zunahme der Viskosität der Flüssigkeit mit dem Druck erklären. Mit erhöhtem Druck steigt außerdem auch die Flüssigkeitsdichte. (Die Dichteänderung aufgrund des Druckes ist allerdings nicht so stark.) Die Veränderung dieser beiden Faktoren mit dem Druck bestimmt auch die Viskositätszunahme aufgrund des höheren Druckes.

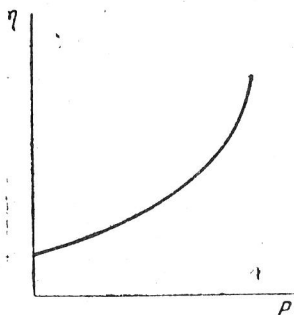


Abb. 1

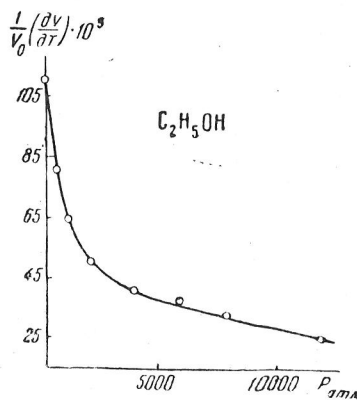


Abb. 2

Der Kurvenverlauf für die Veränderung der Viskosität der Flüssigkeit mit dem Druck ist in Abb. 1 dargestellt. Wie aus Gleichung (1) hervorgeht, nimmt die Viskosität mit erhöhtem Druck annähernd nach dem Gesetz des Hyperbelsinus zu. Ein solcher Verlauf der Druckabhängigkeit der Viskosität ist für die meisten Flüssigkeiten charakteristisch.

Abb. 2 zeigt die Veränderungen der Größe $\frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$ in Abhängigkeit vom Druck, und Abb. 3 die Veränderungen des relativen Volumens mit dem Druck nach den Angaben vom Bridgeman [3] für Äthanol (in beiden Fällen ist V_0 das spezifische Volumen von Äthanol bei 0°C und $P = 1 \text{ atm}$).

Die entsprechenden Kurven sind sich bei den meisten Flüssigkeiten ähnlich. Eine Ausnahme bildet die Kurve für Wasser. Bei Wasser ist der thermische Ausdehnungskoeffizient bei 0° bis zu einem Druck von ca. 700 atm und bei 10° bis zu einem Druck von ca. 300 atm nach Bridgeman [3] negativ. Nur bei Temperaturen über 30° ist er bei allen Drücken positiv (Abb. 4).

Die Kurven für die Druckabhängigkeit bezüglich des Volumens für die Temperatur $0, 10$ und 30°C nach Bridgeman sind in Abb. 5 wiedergegeben. In beiden Fällen bedeutet die Größe V_0 das spezifische Volumen von Wasser bei 0°C und $P = 1 \text{ atm}$.

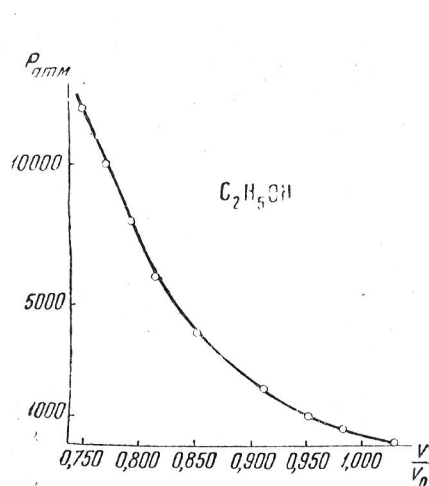


Abb. 3

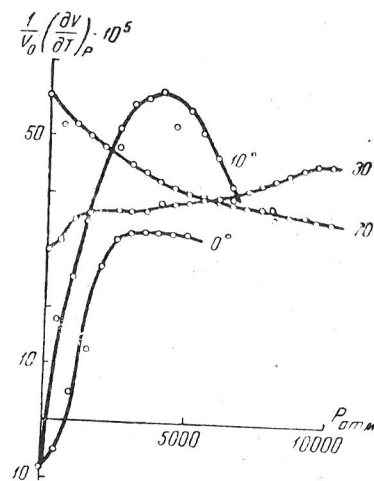


Abb. 4

Die Veränderung des Volumens mit dem Druck bei verschiedenen Temperaturen wurde von Bridgeman durch Kolbenverschiebung gemessen. Bridgeman selbst hat darauf hingewiesen [4], diese Methode sei für genaue Messungen bei Drücken

unter 500 kp/cm^2 ungeeignet. Nach Bridgemans Meinung enthalten die Untersuchungen der thermischen Ausdehnung von Flüssigkeiten, die nach dieser Methode durchgeführt werden, außerdem einen unbestimmten systematischen Fehler. Infolgedessen müße man in quantitativer Hinsicht besonders vorsichtig sein. Qualitativ gesehen geben diese Daten das Verhalten der Flüssigkeiten offensichtlich richtig wieder.

Die Berechnungen anhand der Abbildungen 4 und 5 zeigen, daß das erste Integral in Gleichung (8) für Wasser bei 0°C und einem Druck bis etwa 700 atm negativ ist, das zweite jedoch immer positiv. Die Summe dieser Werte ist bis zu einem Druck von 700 atm ihrem absoluten Wert nach größer als $P(V_o - V_p)$. Deshalb nimmt die Bindungsenergie der Wassermoleküle bei 0° bis 700 atm ab und danach, wenn das erste Integral größer als Null ist, zu. Folglich muß die Viskosität von Wasser bei 0°C fallen bis zu einem Druck von 700 atm und dann zunehmen. Die Erscheinung kann man im Temperaturintervall von 0 bis 30°C beobachten. Dabei verschiebt sich die Lage des Viskositätsminimums mit zunehmender Temperatur zugunsten der geringeren Drücke. Über 30°C erhöht sich die Bindungsenergie der Wassermoleküle mit zunehmenden Druck im gesamten untersuchten Druckintervall (Obergrenze der untersuchten Drücke $12\,000 \text{ atm}$), weil das erste Integral in Gleichung (8), gleich wie bei den meisten Flüssigkeiten, positiv wird.

Dieser Effekt der Viskositätsabnahme des Wassers mit dem Druck bei Temperaturen unter 30°C wurde erstmals von Röntgen festgestellt [5]; unabhängig davon und fast gleichzeitig auch von Warburg und Sachs [6]. Letztere gingen auf einen Druck von bis 150 kp/cm^2 und ermittelten, daß die Viskosität von Wasser linear mit dem Druck abnimmt. Später wurde die Druckabhängigkeit der Viskosität von Wasser bei Temperaturen bis 25°C von Cohen bestimmt [7], der damit die Ergebnisse von Röntgen bzw. Warburg und Sachs bestätigte. Hauser [8] stellte Untersuchungen in einem größeren Temperaturintervall an, und er stellte fest, daß die Wirkung des Druckes mit zunehmender Temperatur abnimmt und bei ca. 32°C völlig verschwinde, da bei zunehmendem Druck von 1 bis 400 atm und dieser Temperatur die Viskosität unverändert bliebe. Über dieser Temperatur führt eine Drucksteigerung zu einer Zunahme der Viskosität. Ähnliche Ergebnisse erzielte auch Bridgeman [9]. Er untersuchte die Veränderung der Viskosität von Wasser in einem noch größeren Druckintervall. Die von ihm ermittelten Ergebnisse sind in Abb. 6 dargestellt. Hinsichtlich der hohen Fehler beim Experiment (aufgrund der Leitfähigkeit des Wassers) ist die Genauig-

keit der Angaben Bridgemans nicht sehr groß, insbesondere bei hohen Temperaturen. Deshalb sind diese Angaben eher als qualitative einzuschätzen.

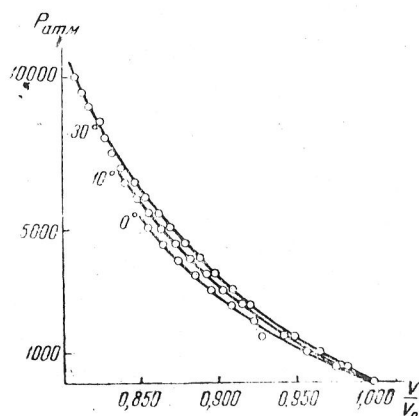


Abb. 5

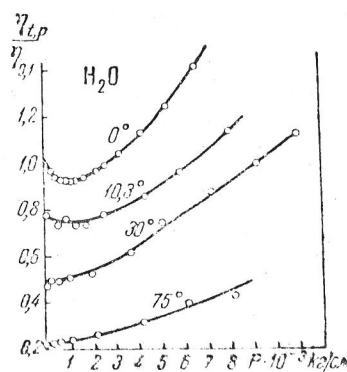


Abb. 6

Wir gingen folgendermaßen vor, um die Anwendbarkeit von Gleichung (1) zur Berechnung der Druckabhängigkeit der Viskosität zu überprüfen. Nach Bridgemans Angaben wählten wir die Größe V_p und berechneten graphisch den Wert der Integrale in Gleichung (8). Somit bestimmten wir den Wert der Bindungsenergie der Moleküle ϵ_p bei vorgegebenem Druck. Das spezifische Gewicht der Flüssigkeit bei vorgegebenem Druck d_p berechneten wir aus Bridgemans Angaben für die Druckabhängigkeit des spezifischen Volumens. Alle übrigen Größen vor dem Exponenten wurden als druckunabhängig angenommen und in der einen Konstante A zusammengefaßt. Die Werte von A wurden aus der Temperaturabhängigkeit der Viskosität der Flüssigkeit bei Luftdruck errechnet und sind in den jeweiligen Tabellen für die Temperaturabhängigkeit der Viskosität von Flüssigkeiten angegeben [1]. Die Temperatur gehört nicht zur Größe A.

Die Gleichung, nach der die Druckabhängigkeit der Viskosität der Flüssigkeit berechnet wurde, hat folgende Gestalt:

$$\eta = A d_p^{4/3} T^{1/2} \exp \left\{ \frac{\epsilon_1}{RT} + \frac{2}{\gamma RT} \left[T \int_1^P \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dP + \int_1^P P dV + P(V_0 - V_P) \right] \right\} \cdot \left[1 - \exp \left\{ - \left[\frac{\epsilon_1}{RT} + \frac{2}{\gamma RT} \left(\int_1^P \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_P dP + \int_1^P P dV + P(V_0 - V_P) \right) \right] \right\} \right]^2. \quad (12)$$

Die Größe ϵ_1 entspricht der Bindungsenergie der Flüssigkeitsmoleküle, wenn die Flüssigkeit unter Luftdruck steht. Der Wert für ϵ_1 wurde nach den Tabellen gewählt, die die Temperaturabhängigkeit der Viskosität der Flüssigkeiten bei Luftdruck wiedergeben [1].

Die Druckabhängigkeit der Viskosität von Flüssigkeiten wurde von uns für Alkohole (Methanol, Äthanol und n-Propanol), Diäthylester und Äthylbromid berechnet, da für sie ausreichend genaue Angaben über die Druckabhängigkeit des Flüssigkeitsvolumens bei unterschiedlichen Temperaturen vorliegen. Die Druckabhängigkeit des Volumens dieser Flüssigkeiten wurde von Bridgeman [3] durch Kolbenverschiebung bestimmt. Diese Angaben wurden auch bei unseren Berechnungen verwendet.

Wie bereits vermerkt, liefert dieses Verfahren bei Messungen in Druckintervallen unter 500 kp/cm^2 ungenaue Ergebnisse. Die größten Schwierigkeiten treten dabei beim Messen des Koeffizienten der thermischen Ausdehnung auf [3]. Bridgeman glaubt, die auf diese Weise durchgeführten Untersuchungen der thermischen Ausdehnung von Flüssigkeiten besäßen somit ohne weiteres einen unbestimmten systematischen Fehler. Richtig könnten nur relative Koeffizienten der thermischen Ausdehnung verschiedener Flüssigkeiten sein, da die Differentialausdehnung allein von der Empfindlichkeit des Widerstandsmessers abhängt, was - im Unterschied zur wesentlich niedrigeren absoluten Genauigkeit - sehr bedeutend ist. Folglich sind auch die von uns berechneten Werte der Bindungsenergie, d.h. aber auch der Viskosität bei verschiedenen Drücken ebenfalls ungenau.

Bei einer Reihe von Flüssigkeiten kann man den Wert der Bindungsenergie bei verschiedenen Temperaturen nicht berechnen, ohne äußerst grobe Extrapolationen zu Hilfe zu nehmen, da die Druckabhängigkeit ihrer Volumina sich nur durch zwei bis drei Temperaturen bestimmen läßt. Aus diesem Grunde beschränkten wir uns auf die Berechnung für Alkohole, Ester und Äthylbromid.

Die rechnerisch ermittelten Werte der Viskosität bei verschiedenen Temperaturen wurden mit den von Bridgeman experimentell gewonnenen verglichen. Bridgemans Bestimmungsmethode [9] für die Viskosität von Flüssigkeiten unter Druck ist ungenau. Sie basiert auf der Bestimmung eines mit Flüssigkeit gefüllten Stahlzylinder, der unter einem bestimmten Druck steht. Auf diese Weise kann man höchstens eine relative Viskosität bestimmen.

Dies sind die beiden Hauptgründe (Ungenauigkeit beim Bestimmen des thermischen Koeffizienten der Ausdehnung und Ungenauigkeit beim Bestimmen der Viskosität), weshalb keine gute Übereinstimmung der errechneten Viskositätswerte der Flüssigkeiten bei verschiedenen Drücken mit den experimentell ermittelten Werten zu erwarten war.

In den Tab. 1 - 7 sind die Werte der Dichten, der Bindungsenergie und der Viskosität angegeben (rechnerische Werte, wie bereits erwähnt). Zum Vergleich geben wir auch die Werte der Viskosität an, wie sie durch Versuche von Bridgeman ermittelt wurden. Da sich, ganz allgemein, die Koordinationszahl einer Flüssigkeit mit zunehmendem Druck ändern muß (aufgrund des abnehmenden freien Raumes muß sich die Ordnung in den Flüssigkeiten der Ordnung im festen kristallinen Körper annähern), wurden die Berechnungen bei Methanol mit zwei Koordinationszahlen ausgeführt: mit der aus der Temperaturabhängigkeit der Viskosität der Flüssigkeit unter Luftdruck ermittelten Koordinationszahl und einer um eine Einheit geringeren. Die Werte dieser Koordinationszahlen sind in den jeweiligen Tabellen angegeben. Außerdem wurde die Viskosität, in Abhängigkeit vom Druck, bei Methanol bei zwei Temperaturen berechnet: bei 30 und 75°C.

T a b e l l e 1

Methanol CH₃OH
 $t = 30^{\circ}\text{C}; \gamma = 7$

p atm	d_p	$\epsilon_p \cdot \text{cal/mol}$	$100 \cdot \eta_{\text{rech}}$	$100 \cdot \eta_{\text{exp}}$
1	0,78186	2456,1	0,514	0,515
500	0,81828	2502,8	0,592	0,640
1 000	0,84618	2545,9	0,636	0,756
2 000	0,88752	2631,8	0,811	0,994
4 000	0,94538	2803,6	1,197	1,419
6 000	0,98762	2980,6	1,710	2,125
8 000	1,02016	3164,7	2,433	2,895
10 000	1,04843	3346,8	3,423	3,852

T a b e l l e 2

Methanol CH_3OH

$t = 30^\circ\text{C}; \gamma = 6$

P atm	ϵ_p cal/mol	$100 \cdot \eta_{\text{rech}}$	$100 \cdot \eta_{\text{exp}}$
1	2455,1	0,514	0,515
500	2510,6	0,600	0,639
1 000	2561,3	0,684	0,756
2 000	2661,1	0,852	0,994
4 000	2861,4	1,320	1,419
6 000	3068,0	1,981	2,125
8 000	3282,7	2,965	2,895
10 000	3495,4	4,389	3,852

T a b e l l e 3

Methanol CH_3OH

$t = 75^\circ\text{C}; \gamma = 6$

P atm	d_p	ϵ_p cal/mol	$100 \cdot \eta_{\text{rech}}$	$100 \cdot \eta_{\text{exp}}$
500	0,78688	2528,6	0,353	0,381
1 000	0,81435	2591,0	0,412	0,481
2 000	0,86186	2703,2	0,326	0,715
4 000	0,92452	2961,8	0,850	1,258
6 000	0,96844	3189,5	1,267	1,917
8 000	1,00171	3434,6	1,899	2,774
10 000	1,03051	3693,6	2,882	4,883
12 000	1,05270	3958,5	4,384	5,349

T a b e l l e 4

Ethanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

$t = 30^\circ\text{C}; \gamma = 6$

P atm	d_p	ϵ_p cal/mol	$100 \cdot \eta_{\text{rech}}$	$100 \cdot \eta_{\text{exp}}$
1	0,78074	3393,6	0,989	0,991
500	0,81760	3466,2	1,166	1,283
1 000	0,84484	3531,5	1,380	1,590
2 000	0,88512	3657,5	1,798	2,315
4 000	0,94210	3922,1	3,060	4,153
6 000	0,98480	4212,8	5,266	6,762
8 000	1,01792	4520,9	9,182	10,568
10 000	1,04730	4837,7	16,140	16,300
12 000	1,07357	5102,2	28,590	24,620

T a b e l l e 5

n-Propanol C_3H_7OH

$t = 30^\circ C; \gamma = 5$

p atm	d_p	ϵ_p cal/mol	$100 \cdot \eta_{rech}$	$100 \cdot \eta_{exp}$
1	0,79766	4309,7	1,778	1,771
500	0,83234	4420,0	2,269	2,519
1 000	0,85842	4522,9	4,805	3,413
2 000	0,89404	4716,1	4,145	5,549
4 000	0,94109	4206,3	9,866	12,190
6 000	0,97639	5492,3	16,060	24,050
8 000	1,00420	5913,7	34,810	44,890
10 000	1,02720	6343,7	74,970	82,640
12 000	1,04660	6783,5	155,900	146,300

T a b e l l e 6

Diäthylester $(C_2H_5)_2O$

$t = 30^\circ C; \gamma = 10$

p atm	d_p	ϵ_p cal/mol	$100 \cdot \eta_{rech}$	$100 \cdot \eta_{exp}$
500	0,75315	1299,2	2,93	3,28
1000	0,78180	1391,9	3,79	4,47
2000	0,82718	1552,3	5,61	6,92
4000	0,88842	1873,4	11,25	13,13
6000	0,92986	2218,5	22,07	23,35
8000	0,96352	2610,3	45,43	38,67

T a b e l l e 7

Äthylbromid C_2H_5Br

$t = 30^\circ C; \gamma = 9$

p atm	d_p	ϵ_p cal/mol	$100 \cdot \eta_{rech}$	$100 \cdot \eta_{exp}$
1	1,43959	1234,5	0,3579	0,3579
500	1,51914	1316,3	0,473	0,473
1 000	1,57345	1386,1	0,553	0,592
2 000	1,65231	1516,2	0,765	0,873
4 000	1,76052	1787,1	1,390	1,531
6 000	1,83799	2042,9	2,336	2,559
8 000	1,89990	2316,1	3,939	3,954
10 000	1,95355	2597,5	6,629	5,985
12 000	1,99636	2884,1	11,090	8,995

Berücksichtigt man das Gesagte hinsichtlich der Meßgenauigkeit von Volumen und Viskosität der Flüssigkeiten unter Druck, dann ist die Übereinstimmung zwischen den Versuchsdaten, die die Veränderung der Viskosität von Flüssigkeiten in Abhängigkeit vom Druck bezeichnen, mit den errechneten Werten als gut anzusehen. Interessanterweise stimmen die errechneten Werte der Viskosität von Methanol dort, wo die Koordinationszahl um eine Einheit kleiner angesetzt wurde ($\gamma = 6$) als aus der Berechnung der Temperaturabhängigkeit der Viskosität unter Luftdruck hervorgeht, besser mit den bei 30° ermittelten Versuchswerten überein.

Somit darf man annehmen, daß die von uns abgeleitete Gleichung (1) der Temperatur- und Druckabhängigkeit der Viskosität von Flüssigkeiten sehr wohl die Experimente bestätigt.

Schlußfolgerungen

1. Die von uns abgeleitete Gleichung der Viskosität von Flüssigkeiten zeigt, daß die Viskosität der Flüssigkeiten nicht nur eine Funktion der Temperatur, sondern auch des Druckes ist.
2. Vernachlässigt man die Veränderung des Eigenvolumens der Moleküle und der Koordinationszahl der Flüssigkeiten mit dem Druck, darf man annehmen, daß die Veränderung der Viskosität von Flüssigkeiten in Abhängigkeit vom Druck hauptsächlich bestimmt wird durch die Veränderung der Flüssigkeitsdichte und der Bindungsenergie. Die Druckabhängigkeit der letztgenannten kann thermodynamisch ermittelt werden.

Vergleicht man die Rechenwerte der Viskosität der Alkohole (Methanol, Äthanol und n-Propanol), von Diäthylester und Äthylbromid unter verschiedenen Drücken mit den Versuchsergebnissen erhält man eine befriedigende Übereinstimmung. Diese bestätigt die Richtigkeit der von uns abgeleiteten Gleichung. Außerdem läßt sich dadurch die anomale Veränderung der Viskosität von Wasser bei Temperaturen und 30°C und bei Drücken von weniger als 1 000 atm erklären.

Moskauer Staatliche
Lomonosov-Universität

Moskauer I.M. Gubkin-
Erdölinstitut
Moskau

Redaktionseingang
7.12.1945

L i t e r a t u r

1. Г. М. Панченков. Журн. физ. хим. 20, 811, 1946; Доклады Ака. Наук 50, 329, 1945.

pančenkov, G.M.: Zavisimost' vjazkosti čistych židkostej ot temperaturey.

In: Žurnal fizičeskoj chimii. Moskva, 20 (1946), Nr 8, s. 811 bis 833.

<Abhängigkeit der Viskosität reiner Flüssigkeiten von der Temperatur; engl. Übers. Nr TT-268, International Translations Center, Delft>

pančenkov, G.M.: Zavisimost' vjazkosti čistych židkostej ot temperaturey.

In: Doklady. Akademija nauk SSSR. (Fizičeskaja chimija). Moskva, 50 (1945), s. 329 - 332.

<Temperaturabhängigkeit der Viskosität reiner Flüssigkeiten; dt. Übers. Nr 284 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek stuttgart>

2. П. В. Бриджмен, Физика высоких давлений, стр. 136, 138, М.-Л., 1935.

Bridžmen, P. V.

Fizika vysokich davlenij.

Moskva/Leningrad: 1935, hier: S. 136, 138.

Engl.: Bridgman, Percy William

The physics of high pressure.

London: Bell, 1958.

3. Bridgman, P.W.: Thermodynamic properties of twelve liquids between 20° and 80° and up to 12.000 kg/cm^2 pressure.
In: Proceedings of the American Academy. Washington, 49 (1913), Nr 1.
4. Bridžmen, P. V.
siehe: [2], S. 127.
5. W. C. Röntgen, Wied. Ann. 22, 510, 1884.
6. E. Warburg u. Sachs, Wied. Ann. 22, 518, 1884.
7. R. Cohen, Wied. Ann. 45, 666, 1892.
8. L. Hauser, Drudes Ann. 5, 597, 1901.
9. Bridgman, P.W.: The viscosity of liquids under pressure.
In: Proceedings of the National Academy of sciences of the United States of America. Washington, 11 (1925), S. 603 - 606.

Stuttgart, den 25. März 1986

**Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek stuttgart**

übersetzt von

Ottmar Pertschi
(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer