

## Über binäre flüssige Mischungen VI.

Mischungswärmen, Molwärmen, Volumeffekte und Zustandsdiagramme von 1,2-Dichloräthan mit Benzol und n-Alkylbenzolen.

Von  
**H. Tschamler.**

Aus dem I. Chemischen Laboratorium der Universität Wien.

Mit 5 Abbildungen.

(Eingelangt am 27. Februar 1948. Vorgelegt in der Sitzung am 11. März 1948.)

In Fortsetzung der begonnenen systematischen Untersuchung von binären flüssigen Mischungen über den gesamten Konzentrationsbereich wurde in dieser Arbeit 1,2-Dichloräthan (DCh) als gleichbleibende Komponente gewählt; dieser Stoff ist ein ausgezeichnetes Lösungsmittel (z. B. für Fette, Harze, Kautschuk usw.), so daß seine quantitative Charakteristik als Lösungspartner größeres, auch technisches Interesse besitzt.

Meßmethodik. Die Mischungswärmen und spezifischen Wärmen wurden in demselben Mischungskalorimeter und wie in Arbeit I<sup>1</sup> durchgeführt. Dasselbe gilt auch für die Dichtemessung und die Aufnahme der Erstarrungskurven. Die verwendeten Abkürzungen sind dieselben, wie in Arbeit I<sup>1</sup> angegeben.

Darstellung, Reinigung und physikalische Konstanten der verwendeten Reinstoffe.

*1,2-Dichloräthan.* Das käufliche Produkt „Merck p. A.“ wurde über  $\text{CaCl}_2$  getrocknet und in einer 20-cm-Kolonne mit Greiner-Friedrich-Füllkörpern fraktioniert destilliert. Die Hauptfraktion hat die folgenden physikalischen Konstanten:

$$\begin{aligned}M &= 98,97; \quad \text{Sdp. } 83,1^\circ\text{C}; \quad \text{Schmp. } -35,8^\circ\text{C} \pm 0,1^\circ; \quad c_p^{21} 0,307 \text{ cal;} \\d_{20}^{20} &= 1,2504 \pm 0,0005; \quad n_D^{20} 1,44445 \pm 0,00012; \\&\varepsilon^{20} 10,55 \pm 0,03 \quad (\lambda = 300 \text{ m}); \quad \gamma^{20} 32,45 \pm 0,15 \text{ dyn/cm;} \\&\eta^{20} 0,819 \pm 0,002 \text{ c. P.}\end{aligned}$$

Das verwendete Benzol und die zur Verwendung kommenden n-Alkylbenzole sind dieselben Präparate, die für die Chlorexmischungen genommen wurden:

<sup>1</sup> H. Tschamler, Mh. Chem. 79, 162 (1948).

Für die Dichte des DCh und Benzols als  $f(t)$  finden wir:  
DCh:  $d_t = 1,2777 - 0,00138 \cdot t$  ( $0^\circ$  bis  $50^\circ$  C).  
Benzol:  $d_t = 0,8993 - 0,00104 \cdot t$  ( $0^\circ$  bis  $50^\circ$  C).

### Versuchsergebnisse und deren Deutung.

#### a) Die Mischungswärmen.

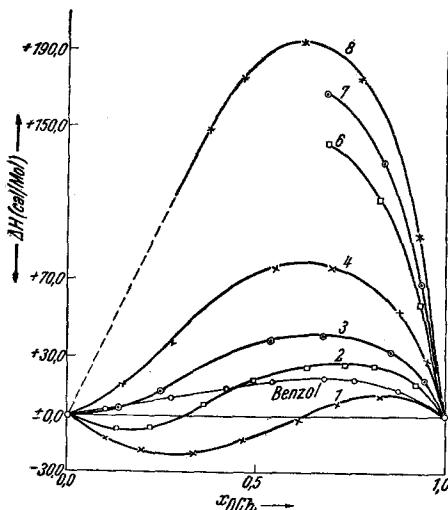


Abb. 1. Die Mischungswärmen  $\Delta H$  von DCh mit Benzol und den verschiedenen n-Alkylbenzenen ( $T = 21,5$  bis  $23,0^\circ$  C).

Tabelle 1.

Dichloräthan mit	$x_{\text{DCh}}$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Benzol .....	+ 3,0	+ 6,0	+ 9,5	+ 12,0	+ 15,5	+ 18,0	+ 19,0	+ 16,0	+ 11,0
Toluol .....	- 13,0	- 20,0	- 21,0	- 16,0	- 9,5	- 2,5	+ 5,0	+ 9,0	+ 8,5
Äthylbenzol ....	- 8,0	- 8,5	- 1,0	+ 9,5	+ 17,5	+ 24,0	+ 26,5	+ 26,0	+ 19,0
n-Propylbenzol .	+ 2,0	+ 8,0	+ 19,0	+ 29,5	+ 37,0	+ 41,0	+ 42,5	+ 38,5	+ 28,0
n-Butylbenzol ..	+ 9,5	+ 26,5	+ 44,0	+ 61,0	+ 73,0	+ 79,5	+ 79,5	+ 71,0	+ 49,0
n-Hexylbenzol ..							+ 140	+ 122	+ 83,0
n-Heptylbenzol ..							+ 166	+ 144	+ 97,0
n-Octylbenzol ..			+ 120	+ 157	+ 183	+ 194	+ 188	+ 169	+ 119

Abb. 1 enthält die Meßpunkte (die Nummer der Kurven ist die C-Zahl der normalen Seitenkette des betreffenden n-Alkylbenzols); Tabelle 1 gibt die aus den experimentell gefundenen Werten extrapolierten  $\Delta H$ -Werte für runde Molenbrüche  $x_{\text{DCh}}$  wieder.

Allgemein stellen wir aus Abb. 1 fest, daß 1. nur die Kurve des Systems DCh—Benzol in ihrem Gesamtverlauf nicht zu den folgenden

Kurven paßt, 2. vom Toluolsystem angefangen die  $\Delta H-x$ -Kurven in ihrer Gesamtheit immer stärker endotherm werden, 3. auf der DCh-reichen Seite bei *allen* Systemen endotherme Mischungswärmen — monoton mit der Länge der Kette steigend — auftreten und daß aber 4. auf der DCh-armen Seite das System DCh—Toluol schwach exotherm ist, von da ab aber jede  $\text{CH}_2$ -Gruppe eine deutliche Abschwächung des exothermen bzw. Verstärkung des endothermen Charakters bedingt.

Die Mischungswärme des Systems DCh—Benzol ist im gesamten Konzentrationsbereich sehr schwach, aber deutlich endotherm, wobei zwischen  $x_{\text{DCh}} = 0,1$  und 0,2 ein Inflextionspunkt möglich erscheint. In diesem Falle würde eine ähnliche Kurvenform wie bei den folgenden Systemen angedeutet sein. Die  $\Delta H-x$ -Kurve ist unsymmetrisch;  $\Delta H_{\max} = + 19,0 \text{ cal/Mol}$  liegt bei  $x = 0,67$ .

Dieses System wurde auch von anderen Verfassern untersucht. A. Schulze und F. Hock<sup>2</sup> geben  $\Delta H = 0$  (ohne Versuchsangaben) an und meinen, es dürfte auch keine Wärmetonung auftreten, da die von ihnen beobachtete Totaldruckkurve zwischen  $+ 8,75^\circ \text{C}$  und  $95^\circ \text{C}$  linear verläuft. E. Baud<sup>3</sup> findet bei 15 bis  $20^\circ \text{C}$  für  $x_{\text{DCh}} = 0,740$  ein  $\Delta H = + 17,5 \text{ cal/Mol}$  (eigener Wert:  $+ 18,0 \text{ cal}$ ). R. Kremann<sup>4</sup> gibt für  $x_{\text{DCh}} = 0,5$  ein  $\Delta H = + 10,6 \text{ cal/Mol}$  an (eigener Wert:  $+ 15,5 \text{ cal}$ ). O. Faust<sup>5</sup> findet bei  $20^\circ \text{C}$  *keine* Mischungswärme. Schließlich stellen W. A. Kirejew, Bykow und Chodortschenko<sup>6</sup> fest, daß eine Mischungswärme auftritt (Originalliteratur nicht zugänglich).

Nach unseren Erfahrungen bedeutet das „Nichtauftreten“ einer Mischungswärme bei diesem System nur, daß zu unempfindlich gearbeitet wurde.

Die Unsymmetrie des Systems kommt besonders deutlich im Verlauf der integralen Lösungswärmenden  $L_1$  und  $L_2$  (s. Abb. 2) zum Ausdruck.  $L_1$  ist von der kleinsten DCh-Konzentration bis über  $x_{\text{DCh}} = 0,5$  praktisch konstant, während  $L_2$  — die Lösungswärme des Benzols in der

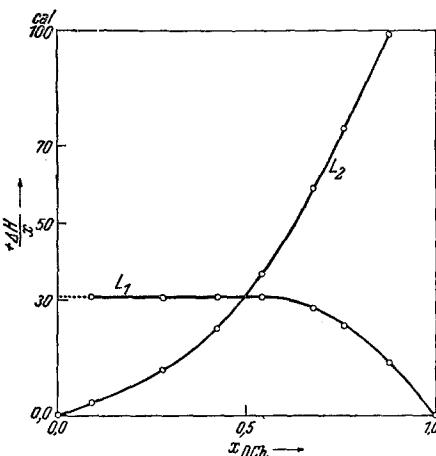


Abb. 2.

<sup>2</sup> Z. physik. Chem. 86, 446 (1914).<sup>3</sup> Bull. Soc. chim. France (4) 17, 329 (1915).<sup>4</sup> R. Kremann, Eigenschaften binärer Flüssigkeitsgemische, S. 64. 1916.<sup>5</sup> Z. physik. Chem. 113, 483 (1924).<sup>6</sup> Chem. Zbl. 1939 II, 831.

Dipolflüssigkeit DCh — im Grenzfall  $x_B \rightarrow 0$  viel höher ist und mit wachsendem  $x_B$  schon bald rasch abfällt. Hiernach bewirken kleine Mengen Benzol im Dipolstoff DCh sehr starke endotherme Effekte, während sich wenig DCh in viel Benzol fast indifferent auflöst. Für  $L_1$  lässt sich ein Grenzwert für  $x_1 \rightarrow 0$  extrapolieren; für  $L_2$  und  $x_2 \rightarrow 0$  wären (vgl. Abb. 2) weitere Messungen nötig.

Die Mischungswärmekurven der Systeme  $DCh$ -Toluol und  $DCh$ -Äthylbenzol sind noch durch einen exotherm-endothermen Verlauf gekennzeichnet. Das Minimum des exothermen Kurvenstückes rückt von  $x_{DCh} = 0,28$  beim Toluolsystem nach  $x_{DCh} = 0,16$  beim Äthylbenzolsystem; das endotherme Maximum von  $x_{DCh} = 0,85$  nach  $x_{DCh} = 0,73$ . Der Nullpunkt der  $\Delta H$ -Kurve liegt beim Toluolsystem bei  $x_{DCh} = 0,64$ , beim Äthylbenzolsystem bei  $x_{DCh} = 0,31$ .

Die Mischungswärmen des DCh—Toluol-Systems wurden auch von E. Baud<sup>3</sup> gemessen (Versuchstemperatur: 15° bis 20° C); Baud fand denselben Kurvenverlauf wie wir, auch die Absolutwerte stimmen mit unseren gut überein.

Die Kurven von *DCh-n-Propylbenzol* und *DCh-n-Butylbenzol* sind durchwegs endotherm und weisen deutliche Inflextionspunkte auf (s. Abb. 1). Die  $\Delta H_{\max}$  nehmen ständig zu und verschieben sich weiter in den Bereich größerer Kw.-Konzentrationen.

Aus Mangel an den reinen Kohlenwasserstoffen konnten die Systeme  $DCh-n\text{-Hexylbenzol}$ ,  $DCh-n\text{-Heptylbenzol}$  und  $DCh-n\text{-Oktylbenzol}$  nicht über den gesamten Mischungsbereich untersucht werden, jedoch ist auch so gut zu ersehen, daß der positive Wärmebedarf von System zu System größer wird und die  $\Delta H_{max}$ -Punkte sich weiter in den Bereich größerer Kohlenwasserstoffkonzentrationen verschieben.

### b) Die Molwärmen.

Tabelle 2. Die spezifischen Wärmen  $c_p$  (bei 21 bis 23°C) der einzelnen Systeme für runde Molenbrüche  $x_{\text{DCH}}$ .

Dichloräthan mit	$\alpha_{\text{DCh}}$											
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Benzol . . . . .	0,410	0,396	0,385	0,373	0,363	0,353	0,342	0,332	0,322	0,314	0,308	
Toluol . . . . .	0,416	0,399	0,387	0,378	0,368	0,359	0,352	0,345	0,337	0,326	0,311	
Äthylbenzol . . .	0,419	0,405	0,394	0,388	0,380	0,371	0,359	0,348	0,335	0,322	0,302	
n-Propylbenzol ..	0,423	0,419	0,412	0,402	0,390	0,378	0,365	0,352	0,338	0,324	0,307	
n-Butylbenzol . .	0,426	0,416	0,410	0,401	0,392	0,381	0,370	0,357	0,342	0,326	0,307	
n-Hexylbenzol ..	0,430							0,364	0,351	0,338	0,324	0,307
n-Heptylbenzol ..	0,437							0,365	0,352	0,338	0,324	0,308
n-Oktylbenzol . .	0,445			0,408	0,395	0,382	0,368	0,354	0,339	0,324	0,307	

Im größten Teil des Systems *DCh—Benzol* ist  $\Delta C_p$  praktisch Null, d. h. innerhalb der Meßgenauigkeit ist hier die Mischungswärme *temperaturunabhängig*; ein deutlich negatives  $\Delta C_p$  ( $-0,9\%$ ) tritt im Gebiet hoher DCh-Konzentrationen auf. Hiernach wird die Mischungswärme mit steigender Temperatur weniger endotherm, nähert sich also dem idealen Fall. Unsere Meßergebnisse stimmen mit denen von *A. Schulze*<sup>2</sup> überein.

Die  $\Delta C_p$ -Werte der Systeme *DCh—Toluol* und *DCh—Äthylbenzol* zeigen dort, wo  $\Delta H$  exotherm ist, ein  $\Delta C_p < 0$  und dort, wo  $\Delta H$  endotherm ist, ein  $\Delta C_p > 0$  (beim Toluolsystem betragen die Maxima  $-1,8\%$  bzw.  $+2,1\%$ , beim Äthylbenzolsystem zirka  $-0,8\%$  und  $+3,0\%$ ). Die Mischungswärmekurven dieser beiden Systeme *verstärken* also bei steigender Temperatur ihre Abweichung vom idealen (athermischen) Verhalten, und Athermie wäre z. B. beim Äthylbenzolsystem bei etwa  $-10^\circ\text{C}$  zu erwarten.

Die Molwärmen der beiden Systeme *DCh—n-Propylbenzol* und *DCh—n-Butylbenzol*, deren Mischungswärmen durchwegs endotherm gefunden wurden, zeigen ohne Ausnahme ein  $\Delta C_p > 0$  mit einem bei beiden Systemen gleichgroßen  $\Delta C_{p(\max)}$  von zirka  $+1,9\%$ . Mit steigender Temperatur weichen also beide Systeme stärker vom athermischen Verhalten ab.

Die Systeme *DCh—n-Hexylbenzol*, *DCh—n-Heptylbenzol* und *DCh—n-Oktylbenzol* zeigen eine zunehmende Vergrößerung ihrer negativen  $\Delta C_p$ -Werte ( $-2,1\%$ ;  $-3,5\%$ ;  $-5,0\%$ ), also eine Verkleinerung ihrer endothermen  $\Delta H$ -Werte mit steigender Temperatur.

Zwischen dem n-Butylbenzol- und dem n-Hexylbenzolsystem findet also eine sprunghafte Veränderung des Vorzeichens von  $\Delta C_p$  und damit der Temperaturabhängigkeit der Mischungswärmnen statt.

### c) Die Molvolumina.<sup>7</sup>

Tabelle 3. Die Dichten  $d_{20}^{20}$  der einzelnen Systeme.

Dichloräthan mit	$d_{20}^{20}$ DCh										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Benzol .....	0,8784	0,911	0,944	0,980	1,015	1,050	1,087	1,127	1,165	1,209	1,2506
Toluol .....	0,8634	0,891	0,923	0,955	0,990	1,027	1,065	1,104	1,150	1,199	1,2503
Äthylbenzol ..	0,8679	0,890	0,918	0,947	0,980	1,018	1,053	1,095	1,140	1,193	1,2503
n-Propylbenzol ..	0,8622	0,883	0,909	0,937	0,967	0,998	1,037	1,085	1,133	1,186	1,2501
n-Butylbenzol ..	0,8673	0,885	0,910	0,934	0,963	0,992	1,031	1,072	1,126	1,184	1,2509
n-Hexylbenzol ..	0,8545						0,990	1,043	1,100	1,172	1,2510
n-Heptylbenzol ..	0,8510						0,975	1,029	1,096	1,165	1,2510
n-Oktylbenzol ..	0,8521					0,950	0,986	1,031	1,085	1,159	1,2509

<sup>7</sup> Dieses Kapitel wurde gemeinsam mit *R. Reiberger* durchgeführt. (Einzelheiten in dessen Dissertation, Wien 1947.)

Die Bezeichnung der einzelnen Kw. entspricht der in Abb. 1 angegebenen.

Wie Abb. 3 zeigt, wurde für sämtliche Systeme über den gesamten Konzentrationsbereich *Dilatation* gefunden. Ein Vergleich von Abb. 1 und Abb. 3 lehrt erneut, daß zwischen Vorzeichen und Größe der Mischungswärme und  $\Delta V$  *kein bindender Zusammenhang* besteht.

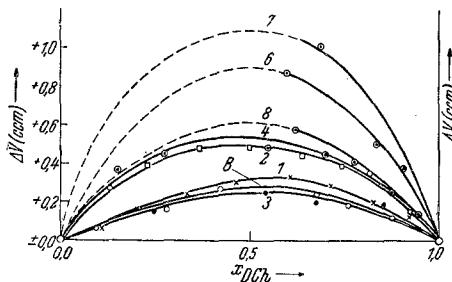


Abb. 3. Die  $\Delta V$ -Werte der einzelnen Systeme bei 20,0° C.

Die molekulare Konfiguration des Dichloräthanmoleküls wurde eingehend untersucht;<sup>8</sup> hiernach ist die Drehbarkeit um die C—C-Bindung behindert, was wahrscheinlich durch die relativ großen und schweren Chloratome verstärkt wird.

Die  $\Delta V$ — $x$ -Kurve des Systems *DCh*—*Benzol* ist — im Gegensatz zur  $\Delta H$ — $x$ -Kurve — fast symmetrisch ( $\Delta V_{\max} = +0,34\%$ ). Zu demselben Ergebnis kamen auch *R. Kremann*<sup>9</sup> und *O. Faust*.<sup>10</sup> Die geringe Dilatation ist aus der ähnlichen Größe und der dadurch relativ günstigen gegenseitigen Lagerungsmöglichkeit der Moleküle verständlich.

Um die Annäherung an das „ideale“ Verhalten dieses Systems mit steigender Temperatur, wie dies aus  $\Delta C_p$  folgt, auch an  $\Delta V$  zu überprüfen, haben wir  $\Delta V$  auch für 35° und 50° C bestimmt.

Wie Tabelle 4 zeigt, nimmt  $\Delta V$  tatsächlich mit steigender Temperatur ab; die weitere Annäherung an ideales Verhalten wird also bestätigt.

<sup>8</sup> *A. Weißberger*, Z. physik. Chem., Abt. B 15, 97 (1931). — *Ken'iti Higasi*, Chem. Zbl. 1933 I, 2369; 1934 I, 3563. — *A. E. Stearn* und *Smyth*, J. Amer. chem. Soc. 56, 1667 (1934). — *M. A. Govinda-Rau* und *Naragagasanthy*, Proc. Indian Acad. Sci. 1, 14 (1934); Chem. Zbl. 1935 I, 1032. — *B. Trumpp*, Z. Physik 93, 624 (1935). — *S. Mizushima*, *Morino* und *Higasi*, Chem. Zbl. 1935 I, 2155; 1937 I, 4489. — *C. J. C. Böttcher*, Chem. Zbl. 1939 I, 1957. — *A. Langseth* und *Bernstein*, J. chem. Physics 8, 415 (1940); Chem. Zbl. 1941 I, 30. — *G. J. M. Bloom* und *Sutton*, J. chem. Soc. London 1941, 727.

<sup>9</sup> *R. Kremann*, l. c., S. 160.

<sup>10</sup> Z. physik. Chem. 79, 99 (1912); Z. anorg. allg. Chem. 154, 61 (1926).

Tabelle 4.  $\Delta V$ -Werte des Systems DCh—Benzol bei  $20^\circ$ ,  $35^\circ$  und  $50^\circ$  C.

$x_{\text{DCh}}$	$\Delta V^{20^\circ}$	$\Delta V^{35^\circ}$	$\Delta V^{50^\circ}$
	ccm		
0,091	+ 0,07	+ 0,08	+ 0,05
0,352	+ 0,18	+ 0,18	+ 0,16
0,663	+ 0,15	+ 0,14	+ 0,12
0,888	+ 0,11	+ 0,10	+ 0,05

Die  $\Delta V_{\max}$ -Werte der übrigen Systeme zeigen kein einfaches Verhalten; eine Andeutung von Oszillation liegt vor; ob sie reell ist, kann angesichts der möglichen Meßfehler nicht entschieden werden, zumal bei den höheren Kw. nur die DCh-reiche Seite gemessen werden konnte.

d) Die Zustandsdiagramme.

1. Das System DCh—Benzol.

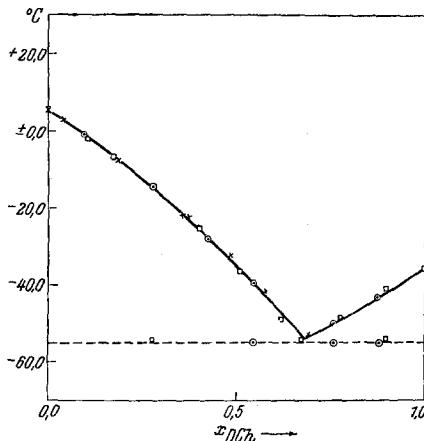


Abb. 4. Das Zustandsdiagramm des Systems DCh—Benzol (eigene Werte: ○; Werte von E. Baud: ×; Werte von Huetting jun. und P. Smyth: □).

Tabelle 5. Das Zustandsdiagramm DCh—Benzol.

$x_{\text{DCh}}$	Erstarrungspunkte °C	Eutektikum °C
Benzol	+ 5,4	
0,090	— 1,1	
0,277	— 14,2	
0,421	— 28,3	
0,542	— 40,3	— 55,4
0,678	— 55,0	
0,759	— 50,6	— 55,4
0,878	— 43,7	— 55,7
Dichloräthan	— 35,8	

Der eutektische Punkt (vgl. Abb. 4) liegt bei  $x_{\text{DCh}} = 0,68$  und bei  $-55,4^\circ \text{C}$ . Wie Abb. 4 weiters zeigt, stimmen unsere Werte mit denen der anderen Autoren gut überein. Der vom Benzol ausgehende Ast der Kurve ist leicht konvex gekrümmt, der DCh-Ast fast linear. Dies paßt zu dem nahezu athermischen Charakter der benzolreichen gegenüber dem schwach endothermen Charakter der DCh-reichen Seite des  $\Delta H$ -Diagrammes.

Aus den beiden Grenztangenten lassen sich die molaren Gefrierpunktserniedrigungen  $E_0''$  und die molaren Schmelzwärmen  $L_F$  berechnen:

	$T_F$ ( $^{\circ}\text{K}$ )	$E_0''$	$L_F$
Benzol .....	278,6	5,1°	2345 cal/Mol
Dichloräthan .....	237,4	5,8°	1985 „

Der für Benzol gefundene  $L_F$ -Wert stimmt mit den Literaturwerten und dem von uns aus dem Chlorex—Benzol-System<sup>1</sup> ermittelten sehr gut überein. Unser  $L_F$ -Wert für DCh ist im Vergleich zu einem bei *L. Deffet*<sup>11</sup> wiedergegebenen um 5% kleiner.

## 2. Das System DCh—Toluol.

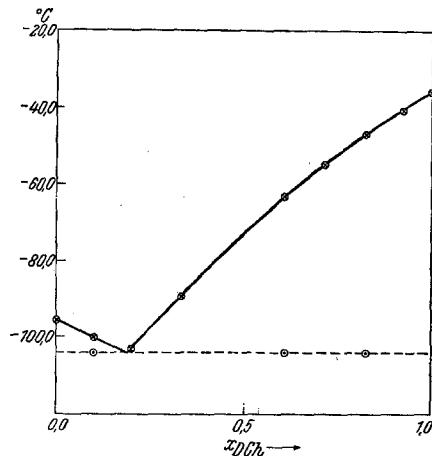


Abb. 5. Das Zustandsdiagramm des Systems DCh—Toluol.

Auch dieses System weist ein Eutektikum auf. Der eutektische Punkt liegt bei  $x_{\text{DCh}} = 0,19$  und  $-104,0^\circ \text{C}$ . Der vom Toluol ausgehende Ast der Abkühlungskurve ist fast linear, der vom DCh ausgehende konvex

<sup>11</sup> *L. Deffet*, Repertoire des Composés Organiques Polymorphes, S. 17. Brüssel. 1942.

Tabelle 6. Das Zustandsdiagramm des Systems DCh—Toluol.

$x_{DCh}$	Erstarrungspunkt °C	Eutektikum °C
Toluol	— 95,5	
0,105	— 101,1	— 104,0
0,201	— 103,0	
0,331	— 89,5	
0,606	— 63,0	— 104,2
0,712	— 54,5	
0,825	— 47,0	— 104,0
0,921	— 40,8	
Dichloräthan	— 35,9	

gekrümmt; dies würde also bedeuten, daß die (bei 20°C schwach exotherme) toluolreiche Systemhälfte bei —95°C deutlich endotherm geworden ist, während die (bei 20°C schwach endotherme) DCh-Seite bei —36°C jedenfalls keine starke Abweichung von Athermie zeigt. Wir stellen somit fest, daß dieses System, dessen  $\Delta H$ -Kurve bei 20°C exotherm-endotherm war, bei niedererer Temperatur athermisch wird und sogar bei noch tieferer Temperatur diese Athermie überschreitet. Dies steht mit der unter b) gefundenen Temperaturabhängigkeit der Mischungswärme völlig im Einklang.

Die Berechnung der molaren Gefrierpunktserniedrigung  $E_0''$  und der molaren Schmelzwärme  $L_F$  ergibt:

	$T_F$ (°K)	$E_0''$	$L_F$
Toluol.....	177,7	3,6°	1600 cal/Mol
Dichloräthan .....	237,3	5,6°	1960 „

Unser  $L_F$ -Wert für Toluol stimmt mit den besten Literaturwerten vorzüglich überein.

#### Zusammenfassung.

Die Mischungswärme des Systems Dichloräthan—Benzol ist schwach endotherm. Die  $\Delta H$ -Kurve des Toluolsystems ist ex-endotherm, und zwar exotherm an der Kw.-Seite. Sämtliche folgenden  $\Delta H$ -Kurven werden fortlaufend stärker endotherm (Äthylbenzolsystem noch ex-endotherm, n-Propylbenzolsystem durchwegs endotherm, aber mit deutlichem Infektionspunkt usw.). Sämtliche Systeme zeigen Volumsdilatationen. Die untersuchten Zustandsdiagramme weisen Eutektika auf.