

**Zur Ermittlung und rechnerischen Überprüfung
thermodynamischer Daten
aus experimentell gefundenen Werten, 4. Mitt.¹:
Zur Bestimmung der Partialdrucke im System
Phenol (2)—Aceton(3)***

Von

F. Göllés

Aus dem Institut für Pharmakognosie der Universität Graz

Mit 4 Abbildungen

(Eingegangen am 2. September 1963)

Das Dreistoffsystem Wasser(1)—Phenol(2)—Aceton(3) ist für die Mikrobestimmung wäßriger Acetonlösungen nach *R. Fischer*² von Bedeutung. Das zugehörige binäre System Phenol(2)—Aceton(3), für das bisher nur Totaldampfdruckmessungen vorliegen, wird mit Hilfe der numerischen Integration der *Abelschen* Differentialgleichung hinsichtlich seiner Partialdrucke, Aktivitätskoeffizienten und *Van-Laarschen* Konstanten untersucht. Das Totaldampfdruckdiagramm, das nur unvollständig von *Schreinemakers* untersucht wurde, wird ergänzt und sein mutmaßlicher Verlauf in denjenigen Konzentrationsbereichen, für welche keine Messungen vorliegen, untersucht. Die für das System errechneten Aktivitätskoeffizienten werden für die vorkommenden Temperaturen von 50, 56,3, 68 und 75° C linear ausgeglichen und mit ihrer Hilfe die Partialdrucke errechnet. Bemerkenswert ist, daß die Aktivitätskoeffizienten des Acetons im ganzen System stets kleiner als Eins sind. Die *Van-Laarschen* Konstanten des Systems ergeben sich aus der Temperaturabhängigkeit als Grenzwerte der dekadischen Logarithmen und sind in den Abb. 3 und 4 als diejenigen Geraden eingetragen, für welche der Molenbruch x_1 gleich Null ist.

* Herrn Univ.-Prof. Dr. *Willibald Hauser* zum 60. Geburtstag ergebenst gewidmet.

¹ 1. Mitt.: *F. Göllés*, Mh. Chem. **92**, 981 (1961); 2. Mitt.: *F. Göllés*, Mh. Chem. **93**, 191 (1962); 3. Mitt.: *F. Göllés*, Mh. Chem. **93**, 201 (1962).

² *R. Fischer*, Mikrochemie, ver. Mikrochim. Acta **1951**, 296—301.

Die Bestimmung der kritischen Mischungstemperatur (*MTk*) durch das Mikroverfahren nach *R. Fischer*² geschieht durch Erwärmen der zu untersuchenden Probe (Reinsubstanz oder binäres Gemisch) mit einer Testflüssigkeit (*TFl*), die mit der Probe bei Zimmertemperatur nicht mischbar ist. Probe und *TFl* werden in eine Kapillare eingeschmolzen und auf dem *Kofler*-Heiztisch unter dem Mikroskop der Meniskus eingestellt. Sodann wird langsam bis zum Verschwinden des Meniskus erhitzt. *R. Fischer*³ hat erst kürzlich ausführlich die Ausführung derartiger Analysen beschrieben.

Es sei darauf hingewiesen, daß die so festgelegte kritische Mischungstemperatur zweier Reinsubstanzen eine Konstante ist, die ebenso wie die üblichen physikalischen Konstanten (*Sdp.*, Brechungsindex) zur Identifizierung und Reinheitsprüfung der Substanz herangezogen werden kann. In sehr vielen Fällen ist auch die quantitative Zusammensetzung eines Stoffgemisches leicht und elegant zu ermitteln.

Das System Wasser(1)—Phenol(2)—Aceton(3) ist ein Beispiel für den Fall, daß oberhalb einer gewissen Temperatur, nämlich der kritischen Mischungstemperatur des Systems Wasser(1)—Phenol(2), alle drei binären flüssigen Systeme unbeschränkt mischbar sind.

*Schreinemakers*⁴ hat die Gleichgewichte unseres ternären Systems untersucht, indem er Lösungen von Aceton in Wasser (System 3/1) mit steigenden Gewichtsmengen Phenol zusammenbrachte und die Mischungstemperatur in zugeschmolzenen Gefäßen ermittelte.

Die Mikromethode nach *R. Fischer* zeigte sich für die Bestimmung von Wasser—Aceton-Gemischen bis zu einem Gehalt von ungefähr 12 Gew.-% Aceton [im binären System Wasser(1)—Aceton(3)] brauchbar. Abb. 1 zeigt die Maxima nach *Schreinemakers*⁴ (Kreise) und daneben ausgezogen die nach der Mikromethode erhaltenen Werte. Nur im linken Teil des Kurvenastes steigen beide Kurven steil an und decken sich die *Schreinemakers*-Maxima in etwa mit den Werten nach *Fischer*. Nur dieser Teil

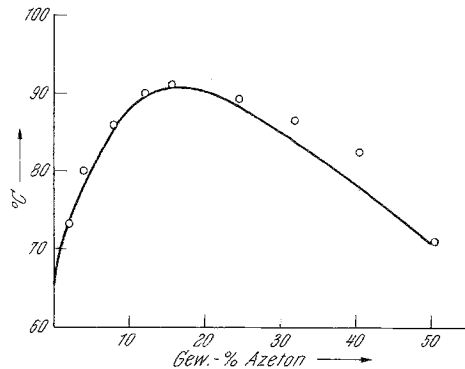


Abb. 1 Mikrobestimmung des Acetons in wässrigen Lösungen nach *Fischer*. *TFl* Phenol. Ausgezogene Kurve Mikrowerte, Kreise Maxima der Bestimmungen von *Schreinemakers*. Nur der linke Kurvenast vor dem Maximum ist für die Bestimmung brauchbar, was einer Bestimmungsmöglichkeit von etwa 12% Aceton in der wässrigen Lösung entspricht

³ *R. Fischer*, Proceed. Internat. Sympos. Microchim. Techniques (1961), Pennsylvania University (USA), S. 979.

⁴ *F. A. H. Schreinemakers*, Z. physik. Chem. **39**, 485 (1901).

des Diagramms stellt die Brauchbarkeit des Systems zur quantitativen Analyse dar. Die kleinen Differenzen im linken Kurvenast sind auf die Tatsache zurückzuführen, daß das von *Schreinemakers* verwendete Phenol nicht ganz analysenrein war.

Die Theorie der Entmischung ternärer Phasen ist noch nicht sehr weit vorgeschritten; in jüngster Zeit hat *J. L. Meijering*⁵ die Entmischungserscheinungen in ternären regulären Lösungen theoretisch untersucht.

Von unserem ternären System kennt man zunächst nur die Konstanten des binären Systems Wasser(1)—Phenol(2)⁶. Die beiden anderen binären Systeme wurden bis jetzt hinsichtlich der Konstanten des *Van-Laars*chen Ansatzes noch nicht eingehend untersucht. Im System Phenol(2)—Aceton(3) liegen nur die in der Arbeit von *Schreinemakers* publizierten Totaldampfdruckmessungen vor. In vorliegender Arbeit werden aus diesen Totaldrücken die Partialdrücke, die Aceton- und Phenolkonzentrationen im Dampfraum und schließlich die Aktivitätskoeffizienten des Systems errechnet.

In Abb. 2 sind die experimentell gefundenen Totaldampfdrucke für vier untersuchte Temperaturen, nämlich 50, 56,3, 68 und 75° C, gezeichnet. Die Angaben wurden der *Schreinemakers*schen Arbeit und dem Zitat im Landolt—Börnstein-Nachschlagewerk⁷ entnommen. Die strichlierten Linien bei den Temperaturen von 68 und 75° C stellen Extrapolationen dar von den letzten gemessenen Temperaturwerten auf die Reindampfdrucke 1186 und 1444 mm Hg.

Wir stehen nun vor der Aufgabe, die zu den „klassischen Anliegen“ der Thermodynamik gehört, nämlich aus Totaldampfdrucke die Partialdrücke zu errechnen. Die *Gibbs—Duhem—Margules*sche Differentialgleichung⁸ läßt sich auf jeden Fall nach *Runge—Kutta*⁹ numerisch integrieren. Unter der Voraussetzung, genügend genaue Anfangswerte verwendet zu haben, stellt diese Integrationsmethode den sichersten Weg zur exakten Berechnung der Partialdrücke aus den Totaldrücken dar.

Im vorliegenden System treten insofern Besonderheiten auf, als die Aktivitätskoeffizienten des Acetons im ganzen Konzentrationsbereich kleiner als Eins sind. Sie sind aber dennoch normiert nach

$$\lim_{x_2 \rightarrow 0} \log f_3 = \log \lim_{x_2 \rightarrow 0} f_3 = 1$$

⁵ *J. L. Meijering*, Philips Research Rep. **5**, 333 (1950).

⁶ *F. Göllés*, Mh. Chem. **93**, 1020 (1962).

⁷ *Landolt—Börnstein*, Physikalisch-Chem. Tabellen (1961) Bd. II.

⁸ Siehe 1. und 2. Mitteilung¹.

⁹ S. bei *L. Collatz*, Numerische Beh. von Differentialgleichungen, Springer, Berlin 1951.

Ebenso sind die *AK* des Phenols festgelegt durch

$$\lim_{x_3 \rightarrow 0} \log f_2 = \log \lim_{x_3 \rightarrow 0} f_2 = 1$$

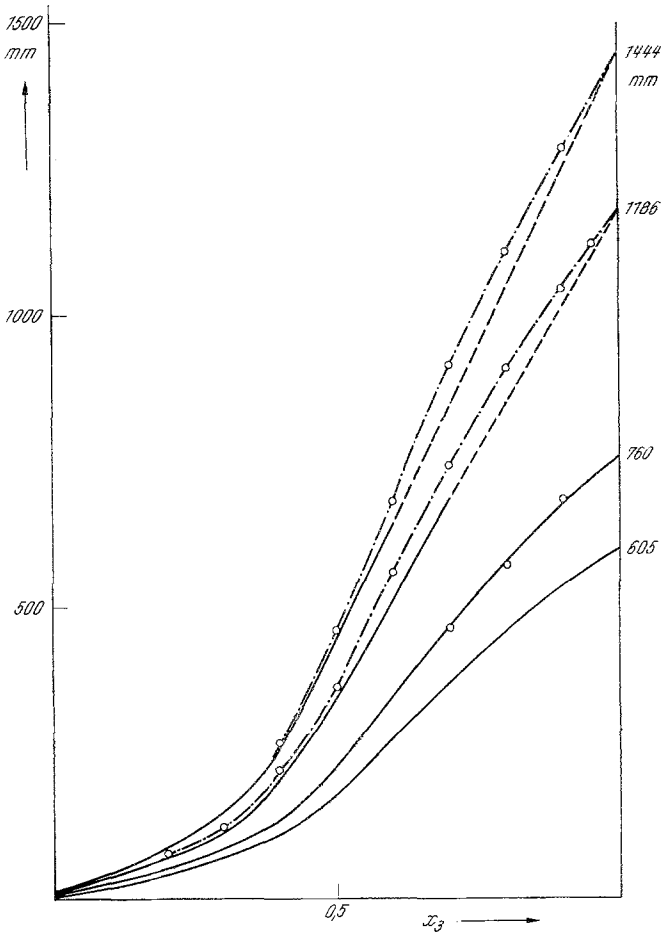


Abb. 2. Totaldampfdrucke des Systems Phenol (2)—Aceton (3) nach *Schreinemakers*. Strichliert bei 68 und 75° extrapolierte Werte bis zum Reindampfdruck des Acetons (rechte Ordinatenachse!). Kreise errechnete und von den experimentellen Bestimmungen abweichende Dampfdruckwerte. Strichpunktirt errechnete Totaldampfdruckkurven bei 68 und 75°

(Wir verwenden hier für das Phenol die Zahl 2 und für das Aceton die Zahl 3 zur Kennzeichnung der Reihenfolge der Komponenten im ternären System.)

Zur Bestimmung der Anfangswerte wurden aus der allgemein gültigen Beziehung

$$P = p_2 + p_3, \quad p_2 = p_{02} \cdot x_2 \cdot f_2, \quad p_3 = p_{03} \cdot x_3 \cdot f_3 \quad (1)$$

durch Umformung

$$f_3 = \frac{P - p_{03} \cdot x_2 \cdot f_2}{p_{03} \cdot x_3} \quad (1a)$$

wobei für die hier in Frage kommenden sehr kleinen Konzentrationen x_2 der AK f_2 gleich Eins gesetzt werden darf, für die in Tab. 1 angegebenen Konzentrationswerte x_3 die Rohwerte von f_3 ermittelt.

Tabelle 1. Rohwerte für f_3 und die Acetonkonzentration y_3 im Dampfraum, berechnet nach Gl. (1)

	x_3	P	$p_{02} \cdot x_2$	$P - p_{02} \cdot x_2$	$p_{03} \cdot x_3$	y_3	f_3
50° ; $p_{02} = 2,2$ $p_{03} = 605$	0,005	3,0	2,19	0,81	3,03	0,270	0,268
	0,01	4,0	2,18	1,82	6,05	0,453	0,300
	0,02	6,0	2,17	3,83	12,1	0,639	0,317
	0,03	7,5	2,13	5,37	18,2	0,717	0,296
	0,04	10,0	2,11	9,89	24,2	0,968	0,410
$56,3^\circ$; $p_{02} = 3,5$ $p_{03} = 760$	0,005	4,7	3,48	1,22	3,8	0,258	0,321
	0,01	6,0	3,46	2,54	7,6	0,424	0,334
	0,02	8,5	3,43	5,07	15,2	0,597	0,334
	0,03	10,5	3,39	7,11	22,8	0,678	0,312
	0,04	13,0	3,36	9,64	30,4	0,742	0,317
68° ; $p_{02} = 7$ $p_{03} = 1186$	0,005	8,5	6,96	1,54	5,93	0,181	0,260
	0,01	10,0	6,93	3,07	11,86	0,307	0,259
	0,02	12,5	6,86	5,64	23,72	0,451	0,238
	0,03	15,0	6,79	8,21	35,58	0,547	0,231
	0,04	18,0	6,71	11,29	47,44	0,627	0,238
75° ; $p_{02} = 11$ $p_{03} = 1444$	0,005	12,0	10,93	1,07	7,22	0,089	0,148
	0,01	13,0	10,89	2,11	14,44	0,162	0,146
	0,02	16,5	10,78	5,72	28,96	0,347	0,198
	0,03	19,5	10,67	8,83	43,32	0,403	0,204
	0,04	22,2	10,55	11,65	57,76	0,525	0,202
	0,05	25,0	10,45	14,55	72,30	0,583	0,201

Die Integration nach *Runge—Kutta* wurde mit einer „Anfangsmaschenweite“ von $h = 1,0$ begonnen.

Tab. 2 bringt die Integrationsergebnisse für die untersuchten Temperaturen. Aus diesen Werten wurden mit Hilfe der *Gibbs—Duhem—Margules* Beziehung

$$\log f_2 = - \int_0^{x_3} \frac{x_3}{x_2} \cdot d \log f_3 \quad (2)$$

die AK des Phenols f_2 ermittelt und in Tab. 3 wiedergegeben.

Tabelle 2. Integration nach *Runge—Kutta* für die Temperaturen 50, 56,3, 68 und 75°Anfangsmaschenbreite $h = 1,0$, später $h = 2,0$ und $4,0$ Aus den Werten wurden die Partialdrucke des Acetons p_2 und die $AK f_3$ berechnet (Rohwerte)

x	P	50°			P	56,3°		
		p_2	γ_2	f_2		p_2	γ_2	f_2
0,05	12	9,97	0,831	0,330	16	12,11	0,763	0,321
0,1	22	20,06	0,912	0,332	28	24,61	0,879	0,324
0,2	44	42,24	0,960	0,349	54	51,03	0,954	0,335
0,3	72	70,89	0,979	0,388	88	85,54	0,972	0,375
0,4	110	108,80	0,988	0,449	140	138,18	0,987	0,465
0,5	180	178,20	0,990	0,589	230	228,85	0,9948	0,598
0,6	280	278,60	0,995	0,767	350	348,88	0,9968	0,765
0,7	365	363,90	0,997	0,857	470	468,59	0,9975	0,881
0,8	460	459,08	0,998	0,948	580	578,80	0,9980	0,952
0,9	545	544,45	0,999	1,000	685	683,63	0,9982	1,000
0,95	575	574,44	0,9995	1,000	730	729,63	0,9995	1,000
		68°				75°		
0,05	21	14,39	0,685	0,243	25	14,60	0,584	0,202
0,1	37	30,45	0,823	0,259	43	33,24	0,773	0,230
0,2	71	65,53	0,923	0,276	87	78,56	0,903	0,272
0,3	114	109,33	0,958	0,307	147	139,94	0,952	0,319
0,4	215	212,53	0,986	0,448	262	257,28	0,982	0,445
0,5	345	343,00	0,994	0,561	454	450,82	0,993	0,624
0,6	510	507,00	0,994	0,714	640	636,16	0,994	0,734
0,7	688	685,00	0,995	0,825	—	—	—	—
0,8	—	—	—	—	—	—	—	—
0,9	—	—	—	—	—	—	—	—
0,95	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelle 3. Aktivitätskoeffizienten des Phenols f_2 im System Phenol(2)—Aceton(3) aus den obigen Rohwerten durch graphische Integration, mit Hilfe der *Gibbs—Duhemschen* Beziehung erhalten, und korrigierte Werte nach *Othmer*¹⁰

x_2	50°		56,3°		68°		75°	
	f_2	γ_2	f_2	γ_2	f_2	γ_2	f_2	γ_2
0,05	1,06	1,09	1,05	1,07	1,06	1,02	1,01	1,00
0,1	1,13	1,14	1,12	1,13	1,13	1,11	1,12	1,10
0,2	1,32	1,32	1,31	1,33	1,32	1,35	1,36	1,36
0,3	1,58	1,58	1,59	1,60	1,51	1,65	1,69	1,69
0,4	1,96	1,95	1,95	1,98	2,00	2,06	2,11	2,12
0,5	2,45	2,41	2,44	2,45	2,47	2,54	2,63	2,61
0,6	3,01	2,94	2,96	3,00	2,94	3,10	3,20	3,19
0,7	3,61	3,64	3,48	3,69	3,31	3,80	3,81	3,88
0,8	4,25	4,03	4,06	4,06	—	4,12	4,33	4,18
0,9	4,79	4,78	4,69	4,81	—	4,86	4,83	4,90
0,95	5,14	4,87	4,95	4,93	—	5,03	5,25	5,12

¹⁰ D. F. Othmer, Ind. Engng. Chem. **32**, 841 (1940); **36**, 858 (1944); **37**, 299 (1945).

Die Korrektur der AK wurde nach der Methode von *Othmer*¹⁰ vorgenommen.

Die Temperaturabhängigkeit der AK eines binären Systems läßt sich nach diesem Autor nach der Formel

$$\log f_i = \frac{\Delta \bar{H}_i}{L_i} \cdot \log p_{0i} + \text{Const.} \quad (3)$$

darstellen.

Unsere nach der *Gibbs—Duhemschen* Gleichung ermittelten Werte für die $AK f_2$ und auch für die $AK f_3$ wurden für jede vorkommende Konzentration ausgeglichen. Dies war infolge der Versuchungenauigkeiten notwendig.

Diese Ausgleichung wurde nach der Formel

$$y_i = a + b \cdot x_i \quad (4)$$

vorgenommen (lineare Ausgleichung), wobei sich die a und b aus der Matrix

$$a:b:(-1) = \begin{vmatrix} n & [x] & [y] \\ [x] & [xx] & [xy] \end{vmatrix} \quad (5)$$

errechnen ließen¹¹.

Das Ergebnis der Ausgleichung findet sich in Tab. 3 für die AK des Phenols f_2 und in Tab. 4 für die AK des Acetons f_3 .

Tabelle 4. Korrigierte Partialdrucke p_2 und p_3 im System Phenol(2)—Aceton(3), daraus berechnet die molare Zusammensetzung der Dampfphase y_2 und y_3 sowie der gemessene und der berechnete Totaldruck mit dem gefundenen Fehler

x_3	y_2	y_3	p_2	p_3	$P_{(ber)}$	$P_{(exp)}$	Fehler	f_3
50°								
0,05	0,189	0,870	2,27	10,46	12,73	12	+ 0,73	0,346
0,1	0,103	0,940	2,26	20,60	22,86	22	+ 0,86	0,342
0,2	0,053	0,950	2,32	41,90	44,12	44	+ 0,12	0,346
0,3	0,034	0,966	2,46	69,06	72,06	72	+ 0,06	0,394
0,4	0,023	0,996	2,56	109,50	112,16	110	+ 2,16	0,453
0,5	0,015	0,993	2,70	178,80	181,50	180	+ 1,50	0,592
0,6	0,009	0,995	2,64	278,60	281,24	280	+ 1,24	0,768
0,7	0,007	0,997	2,43	363,80	366,20	365	+ 1,20	0,857
0,8	0,003	0,997	1,78	458,00	459,78	460	— 0,28	0,945
0,9	0,002	0,997	1,05	543,95	545,00	545	0,00	1,000
0,95	0,0005	0,999	0,56	574,44	575,00	575	0,00	1,000

¹¹ W. Grossmann, Grundzüge der Ausgleichsrechnung, 2. Aufl. 284, Springer, Berlin 1961.

Tabelle 4. (Fortsetzung)

x_2	y_2	y_3	p_2	p_3	$P_{(ber)}$	$P_{(exp)}$	Fehler	f_3
56,3°								
0,05	0,222	0,730	3,56	11,67	15,23	16	— 0,77	0,307
0,1	0,127	0,851	3,56	23,80	27,36	28	— 0,64	0,314
0,2	0,068	0,922	3,72	49,86	53,58	54,5	— 0,92	0,328
0,3	0,045	0,945	3,92	84,60	88,52	87	+ 1,52	0,370
0,4	0,029	0,979	4,07	137,10	141,17	140	+ 1,17	0,450
0,5	0,019	0,991	4,28	228,00	232,28	230	+ 2,28	0,602
0,6	0,012	0,993	4,20	347,00	351,20	350	+ 1,20	0,761
0,7	0,008	0,983	3,87	463,00	466,87	470	— 3,13	0,871
0,8	0,005	0,998	2,84	578,80	571,64	580	+ 1,64	0,952
0,9	0,002	0,998	1,67	683,63	685,30	685	+ 0,30	0,997
0,95	0,001	0,9995	0,86	729,36	730,49	730	+ 0,49	0,999
68°								
0,05	0,308	0,685	6,80	14,39	21,19	22	— 0,81	0,242
0,1	0,182	0,811	6,93	30,80	37,73	38	— 0,27	0,260
0,2	0,105	0,975	7,55	69,26	76,81	72	+ 4,81	0,292
0,3	0,071	0,954	8,09	118,10	126,19	114	+ 12,19	0,332
0,4	0,040	0,960	8,64	212,53	221,17	215	+ 6,17	0,448
0,5	0,026	0,976	8,90	358,00	366,90	345	+ 23,90	0,604
0,6	0,017	0,985	8,66	553,00	561,66	510	+ 51,66	0,777
0,7	0,011	—	7,98	738,00	745,98	688	+ 57,98	0,890
0,8	(0,006)	—	5,76	905,00	910,76	(870)	—	0,940
0,9	(0,003)	—	3,40	1041,00	1044,40	(1030)	—	0,976
0,95	(0,001)	—	1,76	1110,00	1111,76	(1080)	—	0,977
75°								
0,05	0,417	0,598	10,45	14,94	25,39	25	+ 0,39	0,207
0,1	0,254	0,750	10,90	32,25	43,15	43	+ 0,15	0,225
0,2	0,138	0,876	11,95	76,24	88,19	87	+ 1,19	0,264
0,3	0,088	0,910	13,00	133,40	146,40	147	— 0,60	0,308
0,4	0,054	0,988	14,00	257,61	271,61	260	+ 11,61	0,446
0,5	0,036	0,994	14,35	451,30	465,65	454	+ 11,65	0,625
0,6	0,022	0,996	14,05	672,00	686,00	640	+ 46,00	0,778
0,7	(0,014)	(0,997)	12,50	906,00	918,50	(910)	—	0,897
0,8	(0,008)	(0,998)	9,21	1105,78	1114,99	(1108)	—	0,958
0,9	(0,004)	(0,999)	5,40	1284,35	1289,75	(1285)	—	0,988
0,95	(0,002)	(0,999)	2,81	1371,00	1373,81	(1366)	—	1,000

Tab. 4 bringt schließlich die korrigierten Partialdrucke p_2 und p_3 , die molare Zusammensetzung der Dampfphase y_2 und y_3 und zuletzt den gemessenen und den berechneten Totaldruck mit dem gefundenen Fehler.

Schon beim Auftragen der von *Schreinemakers* gefundenen Totaldrucke zeigt sich, daß besonders für den Temperaturwert 68° einige experimentell gefundene Werte ungenau waren. So konnte der für 68° als letzter von *Schreinemakers* erhaltene Wert 794 mm nicht richtig sein, da die so dargestellte Kurve sich nicht auf einen Enddruck von $p_{03} = 1186$ mm extrapolieren ließ. In der Tat errechnete sich dann, wie aus der

Tab. 4 zu entnehmen ist, ein Fehler von nahezu 60 mm. Die in Klammer gesetzten Werte der Tab. 4 bedeuten, daß dem errechneten Wert kein experimentell gefundener Wert gegenüberstand. Diese Werte wurden vielmehr nur durch Extrapolation der *Schreinemakers*-Werte auf den jeweiligen Reindruck des Acetons gewonnen. Nach Durchführung der Berechnung zeigte es sich, daß für die Temperaturen 50° und $56,3^\circ$ —

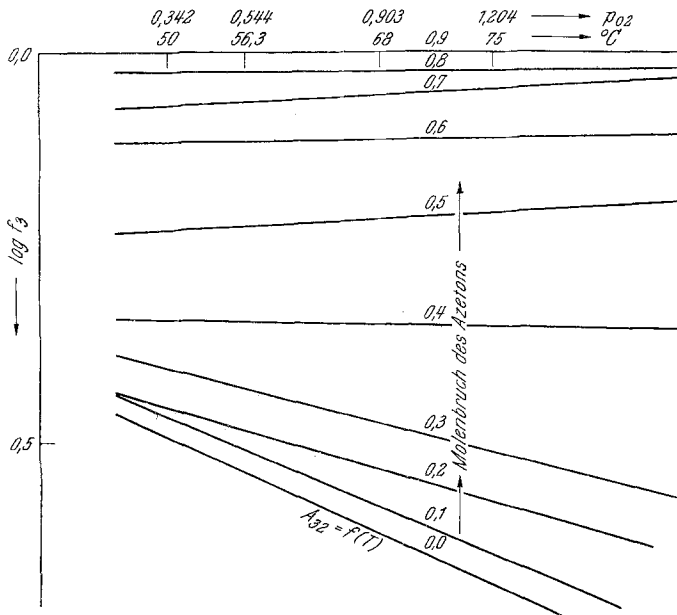


Abb. 3. Dekadischer \log des $AK f_3$ des Acetons in Abhängigkeit von dem Reindampfdruck p_{02} des Phenols. Unterste Gerade *Van-Laarsche* Konstante A_{02} in Abhängigkeit von der Temperatur

für die ja der ganze Konzentrationsbereich von *Schreinemakers* untersucht wurde — die experimentellen Werte ausgezeichnete Gültigkeit besitzen (der größte Fehler beträgt — 3,13 mm), die beiden anderen Temperaturwerte jedoch hinsichtlich der Güte der experimentellen Messungen zu wünschen übrig lassen. In Tab. 4 findet sich alles, was zur Berechnung der *Van-Laarschen* Konstanten unseres Systems von Bedeutung ist. Die strichpunktierten Linien der Abb. 2 geben den errechneten Verlauf der Totaldampfdruckkurven wieder.

Abb. 3 und Abb. 4 zeigen die Temperaturabhängigkeit der Aktivitätskoeffizienten unseres Systems für den ganzen Konzentrationsbereich. Als Abszisse sind der Reindampfdruck des Phenols bzw. die zugehörigen Temperaturwerte aufgetragen, als Ordinate der \log des Aktivitätskoeffizienten $\log f_i$.

Die mit 0,0 bezeichneten Geraden stellen den Temperaturverlauf der *Van-Laarschen* Konstanten dar. Es gilt

$$A_{23} = \lim_{\substack{x_3 \rightarrow 1 \\ x_2 \rightarrow 0}} \log f_2 \quad \text{und} \quad A_{32} = \lim_{\substack{x_2 \rightarrow 1 \\ x_3 \rightarrow 0}} \log f_3 \quad (6)$$

Die beiden Geraden sind in den Abb. mit $A_{32} = f(T)$ bzw. $A_{23} = f(T)$ bezeichnet.

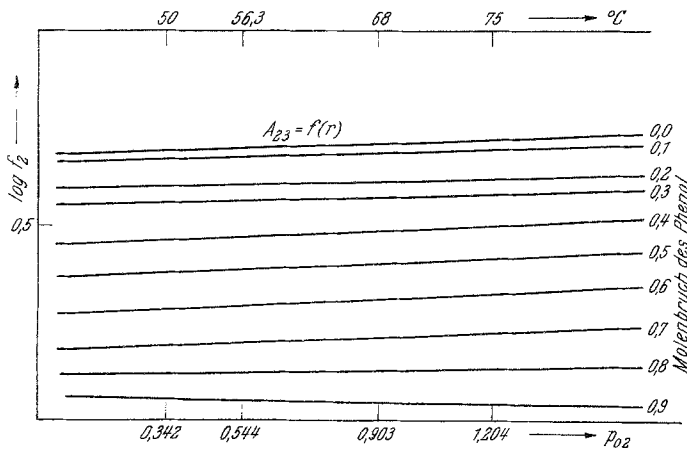


Abb. 4. Wie Abb. 3 für den $\log f_2$ des Phenols. A_{23} ist hier die zuoberst liegende Gerade