



PROTOKOLL PHYSIKALISCHE CHEMIE

Binäres Dampf-Flüssigkeits-Gleichgewicht (VLE) Isobares Siede-/Tau-Diagramm eines Zweistoffgemisches

Gruppe 3.2 (BCUC4)

Teilnehmer:

Roman-Luca Zank

Protokollführer:	Roman-Luca Zank
Datum der Versuchsdurchführung:	25.06.2020
Abgabedatum:	03.07.2020
Status:	Erstabgabe

Merseburg den 03.07.2020

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Versuchsziel	2
2	Versuchsdurchführung	4
3	Ergebnisse	5
4	Fehlerbetrachtung	12
5	Diskussion der Ergebnisse	13
6	Zusammenfassung und Fazit	13
	Literaturverzeichnis	14
	Anhang	15

1 Einleitung und Versuchsziel

Im Praktikumsversuch „Binäres Dampf-Flüssigkeit“ wurde das Stoffsystem Ethanol-Cyclohexan auf Abhängigkeiten zwischen Temperatur und Systemdruck, sowie der Zusammensetzungen der Dampf- und der Flüssigphase untersucht. Die gesammelten Daten werden genutzt, um ein Siede-/Tau-Diagramm und ein isobares Gleichgewichtsdiagramm zu erstellen. Zu dem ist der azeotrope Punkt des binären Stoffgemisches zu bestimmen und die Aktivitätskoeffizienten, sowie die Wilson-Parameter zu berechnen.

Theoretische Grundlagen

Gerade für Destillations- und Rektifikationsprozesse sind die Gleichgewichte zwischen der Flüssig- und der Dampfphase von entscheidender Bedeutung. Für den Versuch werden dafür die physikalischen Grundlagen in diesem Abschnitt dargelegt.

Freiheitsgrade

Die Anzahl der Freiheitsgrade gibt an unabhängigen Größen eines physikalischen oder chemischen Systems an [1]. Speziell für diesen Versuch wird sich dabei auf die Beziehung der Freiheitsgrade aus der GIBB'schen Phasenregel bezogen. Für thermodynamische Stoffsysteme ergibt sich daraus die folgende Gleichung:

$$F = K - P + 2 \quad (1)$$

Die Parameter der Gleichung (1) stehen für die Anzahl der Freiheitsgrade F , die Anzahl der Komponenten K und die Anzahl der Phasen P . Da Druck und Zusammensetzung der Flüssigkeit im Praktikum vorgegeben sind, ergibt sich aus den vier Parametern Druck p , Temperatur T , Flüssigkeitszusammensetzung x^L und Dampfzusammensetzung x^V , zwei Parameter frei wählbar sind um das Gleichgewicht zu erhalten. Der vorgegebene Druck p ist durch den Umgebungsdruck bestimmt.

Berechnungen zu Mischsystemen

Betrachtet man eine ideale Mischung, so lassen sich die Zusammenhänge zwischen Druck, Temperatur und Zusammensetzung der einzelnen Phasen über das RAOULT-DALTON'sche Gesetz in Gleichung (2) beschreiben.

$$p_i^{\text{ideal}} = x_i^L \cdot p_i(T) = x_i^V \cdot p \quad (2)$$

Der Dampfdruck p_i^0 der jeweiligen Komponenten lässt in Abhängigkeit der Systemtemperatur T mit Hilfe der ANTOINE-Gleichung in Gleichung (3) berechnen. Die entsprechenden Parameter sind für diesen Versuch der Praktikumsanleitung zu entnehmen.

$$\lg(p_i^0 [\text{kPa}]) = A - \frac{B}{C + T [^\circ\text{C}]} \quad (3)$$

Um nicht-ideales Verhalten dennoch mit behaupteten Ausführungen in Gleichung (2) korrigieren zu können, wird für diese Gleichungen der Aktivitätskoeffizient γ_i in Gleichung (4) eingeführt und mit eingerechnet.

$$p_i^{\text{real}} = x_i^L \cdot p_i(T) \cdot \gamma_i = x_i^V \cdot p \cdot \gamma_i \quad (4)$$

G^E-Modelle

Die Aktivitätskoeffizienten stellen gerade für G^E-Modelle einen wichtigen Parameter dar. So werden diese mittels Funktionen wie der NRTL- oder WILSON-Gleichung angepasst, die eine thermodynamische Konsistenz erfüllen. Ob ein Modell zur Beschreibung eines Systems thermodynamisch konsistent ist, wird durch Vergleichen des realen Verhaltens mit dem modellierten Verhalten überprüft. Da G^E-Modelle auf experimentellen Daten beruhen, ist dieser Zusammenhang zwangsläufig zu erkennen. Im Praktikum werden beispielhaft die WILSON-Parameter der WILSON-Gleichung als G^E-Modell bestimmt [2].

$$\ln(\gamma_i) = 1 - \ln \left(\sum_{j=1}^K x_j \cdot \Lambda_{i,j} \right) - \sum_{k=1}^K \frac{x_k \cdot \Lambda_{k,i}}{\sum_{j=1}^K x_j \cdot \Lambda_{k,j}} \quad (5)$$

Abbe-Refraktometer

Die Bestimmung der Dampf- und Flüssigkeitszusammensetzung erfolgt im Praktikum mittels ABBE-Refraktometer. Dieses basiert auf dem physikalischen Prinzip der Lichtbrechung. Dabei wird je nach Zusammensetzung zwischen Flüssig- und Gasphase ein unterschiedlicher Grenzwinkel bzw. Brechungsindex für ein monochromatisches Licht bestimmt. Das monochromatische Licht in diesem Versuch entspricht der Wellenlänge der Na-D-Linie und entspricht mit 589 nm der dominantesten Spektrallinie von Natrium.

2 Versuchsdurchführung

Zu Beginn des Versuches wird die Zirkulationsapparatur, zu sehen unter Abb. 1, mit 65 mL reinem Ethanol befüllt. Infolgedessen wird die Apparatur mittels Innenheizung, eingestellt auf 70 °C, in Betrieb genommen. Die mittels Trafo geregelte Spannung der Heizung darf dabei den Grenzwert von 180 V nicht überschreiten. Die Flüssigkeit in der Zirkulationsapparatur beginnt zu siedend und der entstehende Dampf wird mittels Kühler in einem separaten Abschnitt der Apparatur in ein Siphon geleitet. Um festzustellen ob sich das Stoffsystem in der Apparatur im thermodynamischen Gleichgewicht befindet, wird die Temperatur beobachtet. Verhält sich die Temperatur nahezu konstant ist, ist von einem Gleichgewicht auszugehen und es kann die Zusammensetzung der Flüssig- und der Gasphase untersucht werden. Hierfür wird die Heizung temporär ausgeschaltet und jeweils ein Teil der Flüssigphase und Teil des Dampf kondensats mit separaten Spritzen entnommen. Die neue zu untersuchende Zusammensetzung mit den entsprechenden Volumina, die dem System zuzugeben sind, sind am Versuchsaufbau schriftlich festgehalten. Es ist darauf zu achten, dass die gleichen Volumina der nicht vorgelegten Komponente zugegeben werden, wie dem System entnommen wurden. Um den azeotropen Punkt des Ethanol-Cyclohexan-Gemisches zu vermeiden, wird sich im Praktikum von beiden Seiten des azeotropen Punktes mit der Zusammensetzung angenähert. Ist von einer Seite der azeotrope Punkt nahezu erreicht, wird der Aufbau entleert, mit Luft trocken geblasen und mit zuvor nicht vorgelegten Komponente befüllt. Die Menge an Ethanol, die zugeführt werden muss, ist ebenfalls am Versuchsstand schriftlich notiert.

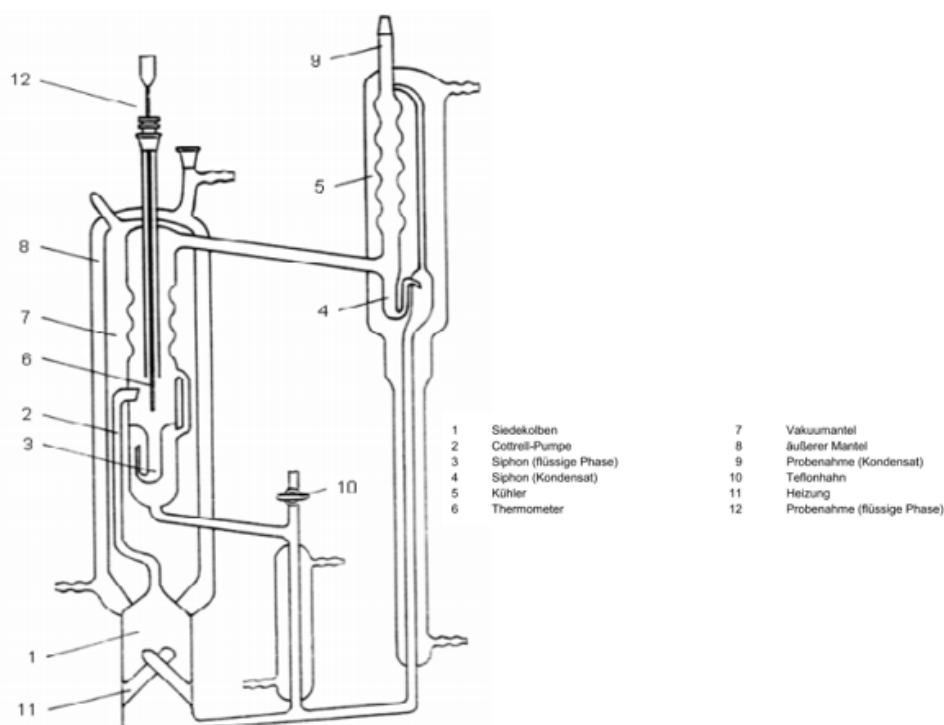


Abb. 1: Skizze der Zirkulationsapparatur

3 Ergebnisse

Bestimmung der Stoffmengenanteile mittels Kalibrierung

Zur Bestimmung der Ethanolanteile werden die gemessenen Brechungsindices, der flüssigen und gasförmigen Phase, mit Hilfe einer Kalibrierfunktion umgerechnet. Diese bestimmt sich durch die quadratische Regression der Daten, welche in der Versuchsanleitung gegeben sind. Gleichung (6) ist somit die Umrechnungsgleichung des Brechungsindex in den jeweiligen Ethanol-Anteil.

$$x_{\text{Ethanol}}(n) = -97,53 \cdot n^2 + 256,05 \cdot n - 166,86 \quad (6)$$

Die sich daraus ergebenden Anteile sind in Tab. 1 aufgeführt. Es ist zu erkennen, dass die Werte für reines Ethanol und reines Cyclohexan nicht 100 % entsprechen. Gründe hierfür könnten durch Messfehler verursacht werden und sollten in einer wiederholten Messung untersucht werden. Diese Abweichungen könnten die nachfolgenden Untersuchungen und Schlussfolgerungen signifikant beeinflussen.

Tab. 1: Brechungsindices und Zusammensetzungen der Flüssig- und Dampfphasen in Abhängigkeit von der Temperatur

Nr.	T [°C]	n_L [-]	n_V [-]	x_{Ethanol}^L [-]	x_{Ethanol}^V [-]	$x_{\text{Cyclohexan}}^L$ [-]	$x_{\text{Cyclohexan}}^V$ [-]
1	78,709	1,359	1,358	0,996	1,005	0,004	-0,005
2	74,350	1,360	1,375	0,987	0,826	0,013	0,174
3	71,380	1,365	1,383	0,938	0,723	0,062	0,277
4	69,444	1,368	1,387	0,907	0,667	0,093	0,333
5	68,168	1,371	1,391	0,873	0,607	0,127	0,393
6	67,277	1,374	1,393	0,838	0,576	0,162	0,424
7	66,160	1,381	1,395	0,750	0,545	0,250	0,455
8	77,996	1,423	1,42	0,019	0,082	0,981	0,918
9	73,657	1,422	1,413	0,040	0,224	0,960	0,776
10	70,381	1,422	1,408	0,040	0,319	0,960	0,681
11	68,180	1,420	1,406	0,082	0,356	0,918	0,644
12	65,943	1,414	1,402	0,204	0,427	0,796	0,573
13	65,374	1,407	1,401	0,338	0,445	0,662	0,555

Berechnung von Dampfdruck und Aktivitätskoeffizienten

Die Berechnung der Dampfdrücke erfolgt nach der ANTOINE-Gleichung (3) und ist in umgestellter Form nach dem Dampfdruck in Gleichung (7) dargestellt. Die stoffspezifischen ANTOINE-Parameter sind der Versuchsanleitung zu entnehmen.

$$p_i^0(T) [\text{kPa}] = 10^{A - \frac{B}{C+T[\text{°C}]}} \quad (7)$$

Durch Umstellen der Gleichung (2) lässt sich nun mit Hilfe des Umgebungsdrucks und der ermittelten Stoffmengen Anteile, der jeweilige Aktivitätskoeffizient bestimmen. Dargestellt sind diese für Cyclohexan und Ethanol in Tab. 2. Die umgestellte Gleichung findet sich unter Gl. (8). Der gemessene und korrigierte Umgebungsdruck belief sich im Versuch auf $p = 100,841 \text{ kPa}$

$$\gamma_i = \frac{p \cdot x_i^V}{x_i^L \cdot p_i^0(T)} \quad (8)$$

Tab. 2: Dampfdrücke, Partialdrücke und Aktivitätskoeffizienten von Ethanol und Cyclohexan in Abhängigkeit von der Temperatur

$T [^\circ\text{C}]$	$p_{\text{Ethanol}}^0 [\text{kPa}]$	$p_{\text{Ethanol}} [\text{kPa}]$	$\gamma_{\text{Ethanol}} [-]$	$p_{\text{Cyclohexan}}^0 [\text{kPa}]$	$p_{\text{Cyclohexan}} [\text{kPa}]$	$\gamma_{\text{Cyclohexan}} [-]$
78,709	102,361	101,345	0,994	95,315	-0,504	-1,322
74,350	85,610	83,295	0,986	83,300	17,546	16,203
71,380	75,586	72,908	1,028	75,819	27,933	5,942
69,444	69,605	67,261	1,065	71,235	33,580	5,069
68,168	65,889	61,210	1,064	68,336	39,631	4,566
67,277	63,395	58,084	1,093	66,367	42,757	3,977
66,160	60,383	54,958	1,214	63,962	45,883	2,869
77,996	99,444	8,269	4,376	93,262	92,572	1,012
73,657	83,175	22,588	6,789	81,505	78,253	1,000
70,381	72,447	32,168	11,101	73,426	68,673	0,974
68,180	65,923	35,899	6,641	68,362	64,942	1,035
65,943	59,813	43,059	3,529	63,503	57,782	1,143
65,374	58,338	44,874	2,276	62,312	55,967	1,357

Grafische Darstellung der Messergebnisse

Für die grafische Auswertung der experimentell ermittelten Daten wurde das Programm VLE verwendet. Die gemessenen Messpunkte werden in diesem Abschnitt mit den idealen Darstellungen des modifizierten UNIFAC-Modells verglichen.

In Abb. 2 ist die Temperatur des Systems in Abhängigkeit des Cyclohexan-Anteils dargestellt. Die blauen Linien beschreiben hierbei die Siedelinie und die grünen Linien stellen die Tauline dar. Die Farben der Messpunkte sind ebenfalls so zuzuordnen. Der Vergleich der Messpunkte mit den Kurvenverläufen zeigt geringfügige Abweichungen in Bezug auf das UNIFAC-Modell. Das spricht für die Plausibilität der Messwerte. Jedoch sollten für konkretere Aussagen wiederholte Messungen mit weiteren Zusammensetzungen geprüft werden. In dieser Darstellung ist zumindest der azeotrope Punkt des Gemisches deutlich zu erkennen und lässt sich in dieser Abbildung bei einer Temperatur von 65°C und einer Zusammensetzung von $x_{\text{Cyclohexan}}^L = 0,55$ finden.

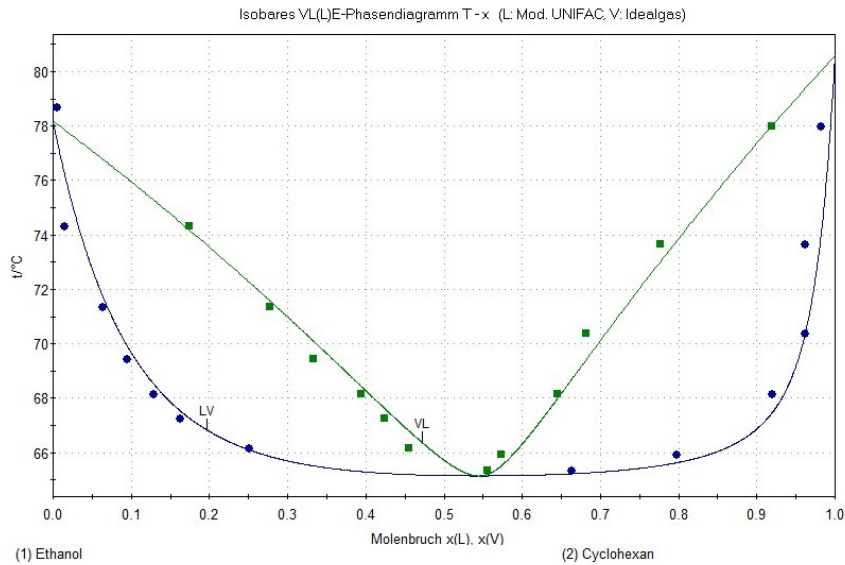


Abb. 2: Messwerte und UNIFAC-Modell im Siedediagramm

In Abb. 3 sind die Dampfanteile von Cyclohexan in Abhängigkeit dessen Flüssiganteile in Form eines Gleichgewichtsdiagramms dargestellt. Die durchgezogene Linie entspricht dabei dem idealen Verlauf des Stoffgemisch nach UNIFAC-Modell und die Punkte den Messwerten aus dem Praktikumsversuch. Auch an dieser Stelle sind geringe Abweichungen zu verzeichnen, welche jedoch im Sinne der idealen Gerade verlaufen. Auch zu erkennen ist der azeotrope Punkt, welcher als Schnittpunkt zwischen der Gleichgewichtsgeraden und der Diagrammdiagonalen zu verzeichnen ist. Die Plausibilität der Messwerte würde durch diese Darstellung ebenfalls gestützt werden.

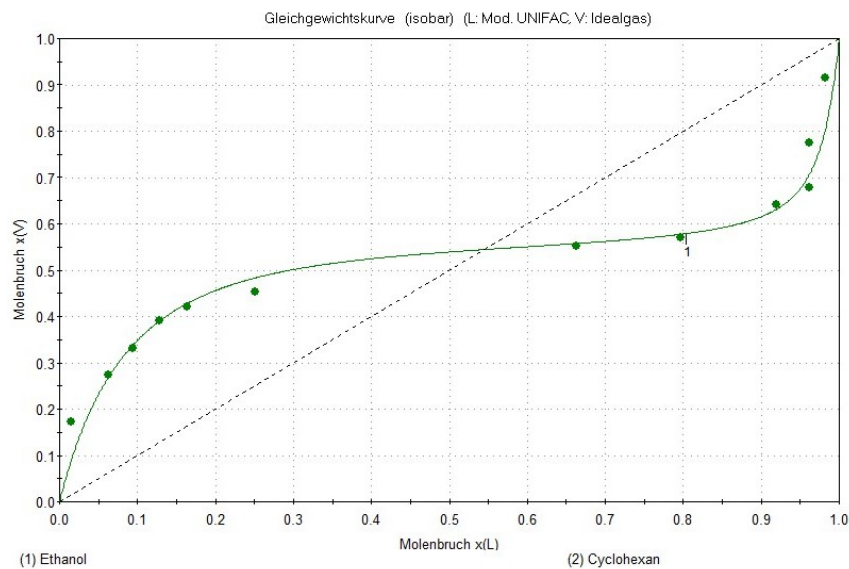


Abb. 3: Messwerte und UNIFAC-Modell im Gleichgewichtsdiagramm

In Abb. 4 sind die Aktivitätskoeffizienten des Ethanols und des Cyclohexans in

Abhängigkeit des Molanteils an Cyclohexan in der Flüssigphase dargestellt. Die grüne Linie stellt dabei den Verlauf der Ethanol- und die blaue Linie den Verlauf der Cyclohexan-Aktivitätskoeffizienten dar. In dieser Abbildung fitten die Messwerte wieder größtenteils mit idealen Modell. Jedoch sind in dieser Darstellung deutliche Ausreißer zu verzeichnen, welche vor allem an den oberen und unteren Grenzwerten des Cyclohexan-Anteils zu finden sind. Diese sollten in erneuten Messungen überprüft werden. Sonst lässt sich feststellen, dass im Verlauf der Zunahme des Anteils an Cyclohexan in der Flüssigphase, der Aktivitätskoeffizientenverlauf von Ethanol steigt und der Verlauf von Cyclohexan gegenläufig sinkt.

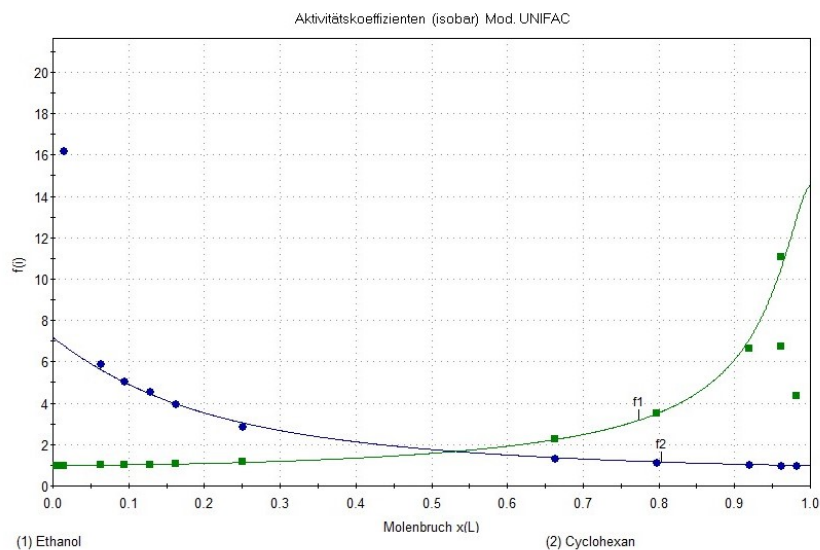


Abb. 4: Aktivitätskoeffizienten in Abhängigkeit Zusammensetzung der Flüssigphase der Messwerte und des UNIFAC-Modells

Berechnung der Wilson-Parameter

Für die Berechnung der WILSON-Parameter und den sich daraus ergeben modellierten Daten in VLE ist zunächst die Bestimmung der Achsenabschnitte des folgenden Diagramms nötig:

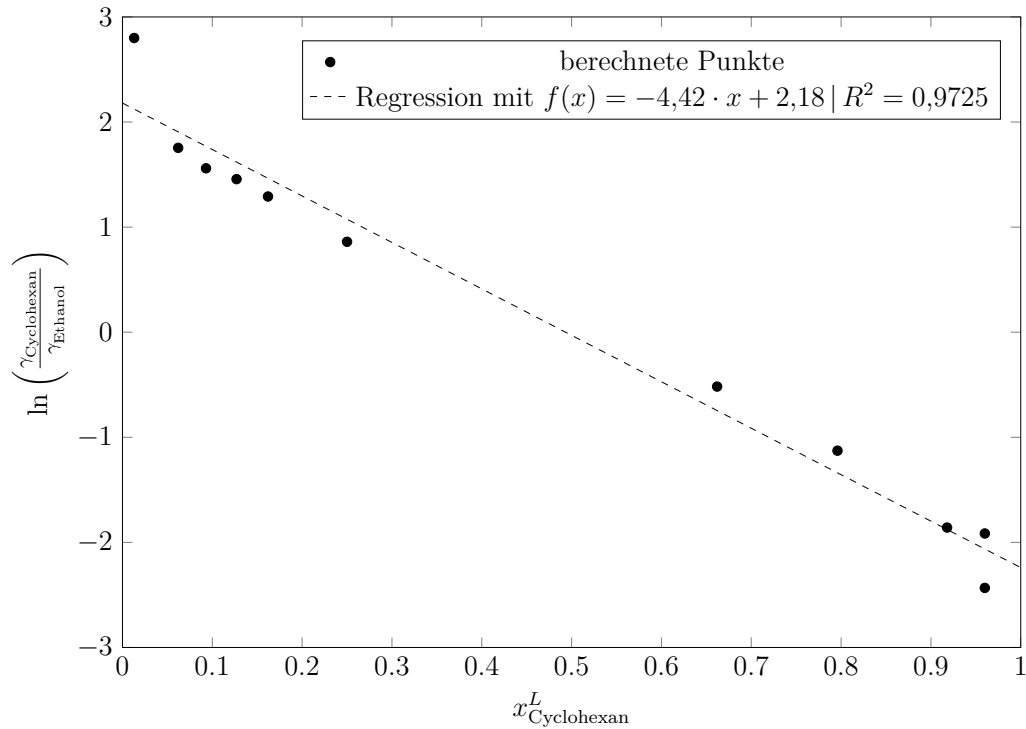


Abb. 5: Logarithmisches Verhältnis der Aktivitätskoeffizienten in Abhängigkeit vom Stoffmengenanteil von Cyclohexan in der Flüssigphase

Das in Abb. 5 dargestellte Diagramm zeigt die Messpunkte des logarithmierten Verhältnisses zwischen der Aktivität des Cyclohexans und der des Ethanols in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Anteils an Cyclohexan in der Flüssigphase. Zudem ist eine entsprechende Regressionsgerade mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,9725$ eingezeichnet, welche für die Bestimmung der Achsenabschnitte benötigt wird. Mit dem ermittelten Bestimmtheitsmaß ist ein linearer Zusammenhang feststellbar, jedoch sollte eine erneute Messung in Erwägung gezogen werden um diesen Zusammenhang sachdienlich zu prüfen. Ebenso könnten für die Verbesserung des Bestimmtheitsmaßes statistische Ausreißer im größeren Maße aussortiert werden.

Die ermittelten Achsenabschnitte sind in Tab. 3 dargestellt.

Tab. 3: Achsenabschnitte n_1 und n_2

Achsenabschnitt	Wert
$n_{\text{Ethanol}} = \gamma_{\text{Ethanol}}^\infty$	2,18
$-n_{\text{Cyclohexan}} = \gamma_{\text{Cyclohexan}}^\infty$	2,24

Die Berechnung der WILSON-Parameter Λ_{12} und Λ_{21} ist an dieser Stelle in den Gleichungen (9) bis (11) aufgeführt.

$$\begin{aligned}
\ln(\Lambda_{12}) + \Lambda_{21} &= 1 - \gamma_{\text{Ethanol}}^{\infty} \\
&= 1 - 2,18 \\
&= \underline{-1,18}
\end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
\ln(\Lambda_{21}) + \Lambda_{12} &= 1 - \gamma_{\text{Cyclohexan}}^{\infty} \\
&= 1 - 2,24 \\
&= \underline{-1,24}
\end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
\Lambda_{12} &= 1 - \gamma_{\text{Cyclohexan}}^{\infty} - \ln(\Lambda_{21}) \\
\ln(\Lambda_{21}) &= \ln(1 - \gamma_{\text{Ethanol}}^{\infty} - \ln(\Lambda_{12})) \\
\Lambda_{12} &= 1 - \gamma_{\text{Cyclohexan}}^{\infty} - \ln[1 - \gamma_{\text{Ethanol}}^{\infty} - \ln(\Lambda_{12})] \\
&= 1 - 2,24 - \ln(1 - 2,18 - \ln(\Lambda_{12})) \\
&= -1,24 - \ln(-1,18 - \ln(\Lambda_{12})) \\
&= \underline{0,245} \quad (\text{iterativ gelöst})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Lambda_{21} &= 1 - \gamma_{\text{Ethanol}}^{\infty} - \ln(\Lambda_{12}) \\
&= 1 - 2,18 - \ln(0,245) \\
&= \underline{0,227}
\end{aligned} \tag{11}$$

Die berechneten WILSON-Parameter können nun im Programme VLE eingegeben werden. In den Abbildungen 6, 7 und 8 sind die verschiedenen grafischen Darstellungen mit dem WILSON-Modell erfasst worden.

Im Siedediagramm nach WILSON ist zuerkennen, dass ein guter Fit der Messwerte erfolgt, jedoch subjektiv scheint es als wäre dieser Fit ungenauer als der des UNIFAC-Modells. Für genauere Bewertungen in dieser Richtung sollten die Abweichungen beider Modelle für die Messwerte bestimmt und verglichen werden.

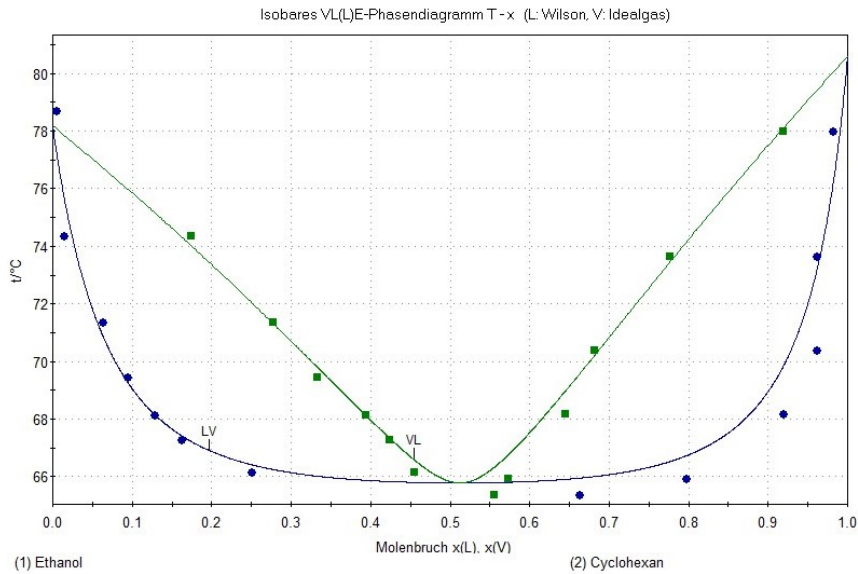


Abb. 6: Messwerte und WILSON-Modell im Siedediagramm

Im Gleichgewichtsdiagramm mit WILSON-Modell ist ebenfalls ein guter Fit des Graphen an die Messwerte zu erkennen, jedoch scheint auch hier rein optisch das UNIFAC-Modell geringfügig besser an den Messpunkten anzuliegen.

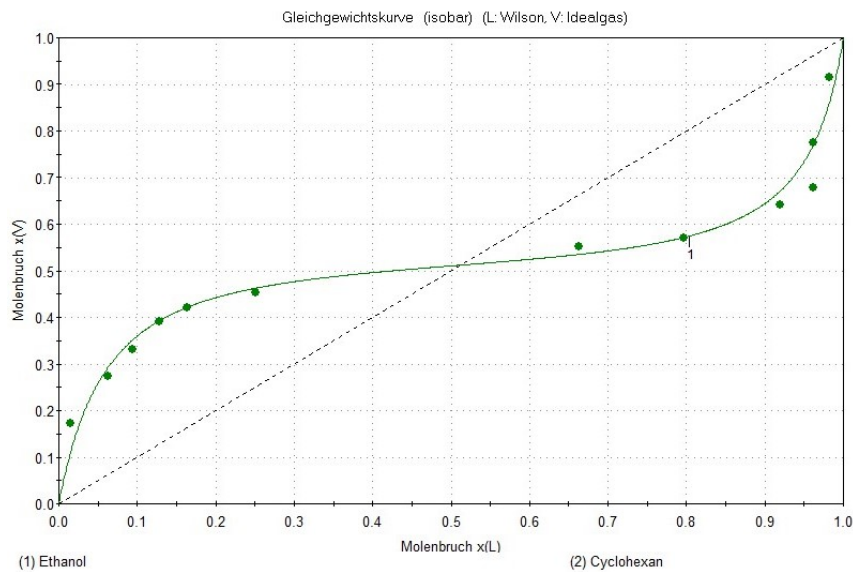


Abb. 7: Messwerte und WILSON-Modell im Gleichgewichtsdiagramm

In Abb. 8 zeigt sich nun im Vergleich zum UNIFAC-Modell ein besserer Fit der Aktivitätskoeffizientenverläufe. Zwar werden dennoch nicht alle scheinbaren Ausreißer im Modell erfasst, jedoch erfolgt, im Bereich gegen 100 % Cyclohexan in der Flüssigphase, ein besserer Fit für die Aktivitätskoeffizienten des Ethanols.

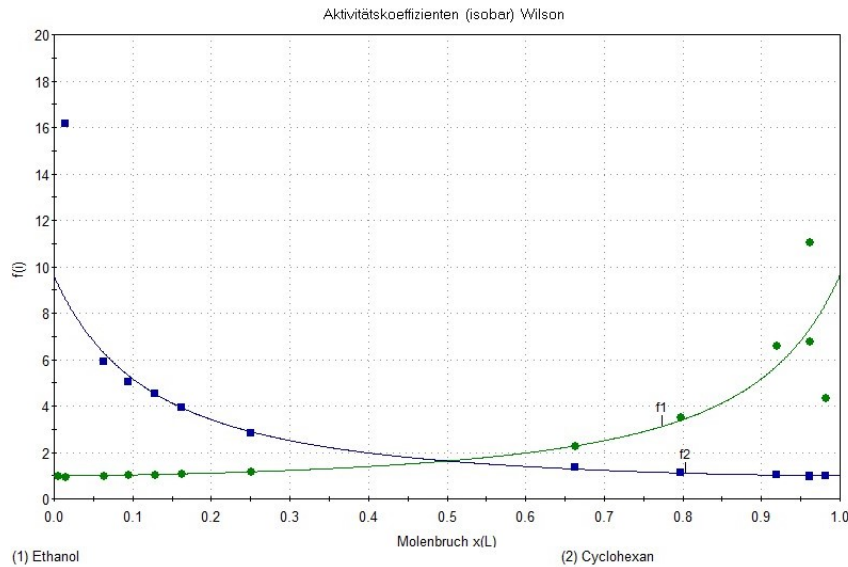


Abb. 8: Aktivitätskoeffizienten in Abhängigkeit Zusammensetzung der Flüssigphase der Messwerte und des WILSON-Modells

Aufgrund des Arbeitsaufwandes und der Genauigkeit des Fits in Bezug auf die gemessenen Daten im Praktikum würde man sich vermutlich tendenziell eher für das UNIFAC-Modell als für das WILSON-Modell entscheiden. Diese Wertung ist jedoch nur für dieses Protokoll repräsentativ.

4 Fehlerbetrachtung

Als Fehlerquellen lassen sich hauptsächlich manuelle Arbeitsschritte, welche durch den Praktikumssteilnehmer durchgeführt wurden feststellen. So sind das Entnehmen der Proben mittels Spritze und das manuelle zu dosieren der Komponenten Messfehlern unterlegen. Diese wirken sich bis auf die Berechnung der WILSON-Parameter aus. Hinzukommt, dass die beschriebene Vorgehensweise im Praktikum zu ersten Mal für den Teilnehmer durchgeführt wurde und so auch kleinste, handwerkliche Fehler in die erst aufgenommenen Messwerte einfließen, welche zu Abweichungen führen können. Eine weitere Fehlerquelle stellt die Bestimmung der Brechungsindizes mittels Refraktometer dar. Zwar erfolgten die Messungen in der Regel oft ohne Probleme, jedoch ist in seltenen Fällen eine Unschärfe aufgetreten, welche jedoch meist mittels wiederholter Messung auszuschließen waren. Dennoch ist es zu empfehlen eine Dreifachbestimmung der jeweiligen Messwerte durchzuführen. Auch die schwankende Temperaturanzeige in der dritten Nachkommastelle kann zu beeinflussen der Messwerte führen. Diese Fehler sind lediglich nur in der Darstellung des Siedediagramms zu verzeichnen. Betrachtet an zuletzt die Kalibrierfunktion mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,9996$ so könnten auch hierdurch minimale Fehler eine Auswirkung auf die Mess- und Auswertungsergebnisse haben.

5 Diskussion der Ergebnisse

Die Messwerte zeigten im Vergleich zu den G^E -Modellen ein gutes Fitting, welches für die Plausibilität der Messdaten spricht. Auch ein Vergleich des azeotropen Punktes aus den Messwerten, verglichen mit dem UNIFAC-Modell, spricht für diese These. Die Werte hierfür sind dem Protokolldeckblatt zu entnehmen.

Für weitere Plausibilitätsprüfungen könnten die Messwerte auf weitere G^E -Modelle, wie zum Beispiel das NRTL-Modell, überprüft werden und die berechneten azeotropen Punkte verglichen werden.

6 Zusammenfassung und Fazit

Für die Prüfung der Plausibilität der Messwerte wurden die Messwerte im Programm VLE die Messwerte in verschiedenen Darstellungen mit dem UNIFAC-Modell und dem WILSON-Modell verglichen. Für jede Darstellung und jedes Modell sind dabei Abweichungen zu verzeichnen, welche jedoch nicht die Haupttendenz der Messverläufe verfälschen. Annahmen, welche für die Auswertung der Messwerte getroffen wurden, können neben der Fehlerbetrachtung der Versuchsdurchführung Gründe dafür sein. Schlussendlich bewiesen die genutzten G^E -Modelle eine gute Performance für das Fitting der Messwerte bzw. ließen sich die Messwerte mit diesen etablierten Modellen gut auf ihre Plausibilität prüfen und bestätigen. Eine wiederholte Messung, um festgestellte Abweichungen erklären zu könne wäre ratsam. Die Zusammenhänge bzw. Abhängigkeiten der Systemparametern Temperatur T , Druck p , sowie der Anteile in der Flüssigphase x^L und Gasphase x^V ließen sich im Praktikumsversuch verständlich erfassen und auswerten.

Literatur

- [1] FOTH, Hans-Jochen: *Freiheitsgrad*. Version: 2005. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-06-01838>, Abruf: 02.07.2020
- [2] STEPHAN, Peter ; KABELAC, Stephan ; KIND, Matthias: *VDI-Wärmeatlas: Fachlicher Träger VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen*. 12th ed. 2019. MORGAN KAUFMANN, 2019 (VDI Springer Reference). <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-52989-8>. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-52989-8>. – ISBN 3662529890

Versuchsauswertung "Binäres Dampf-Flüssigkeits-Gleichgewicht"

Komponente 1: Ethanol

Komponente 2: Cyclohexan

Luftdruck (Hg-Barometer, temperaturkorrigierter Wert) $p/\text{kPa} = 100,841$

Messergebnisse

(Temperatur, Zusammensetzung von L- und V-Phase)

und Berechnungsergebnisse

(Reinstoffdampfdrücke bei Messtemperatur, Aktivitätskoeffizienten, Partialdrücke)

Nr.	ϑ^{LV} °C	SW (L-Phase)	x_1^{L} Ethanol	SW (V-Phase)	x_1^{V} Ethanol	p_{01} kPa Ethanol	p_{02} kPa Cyclohexan	γ_1 Ethanol	γ_2 Cyclohexan	p_1 kPa Ethanol	p_2 kPa Cyclohexan
1	78,709	1,359	0,986	1,358	1,005	102,361	95,315	0,984	-1,322	101,345	-0,504
2	74,350	1,360	0,987	1,375	0,926	85,610	83,300	0,986	16,203	83,295	17,546
3	71,380	1,365	0,938	1,383	0,723	75,586	75,819	1,028	5,342	72,308	27,333
4	69,444	1,368	0,907	1,387	0,667	69,605	71,235	1,005	5,063	67,261	33,580
5	68,168	1,371	0,873	1,381	0,607	65,883	68,336	1,064	4,566	61,210	39,631
6	67,277	1,374	0,838	1,393	0,576	63,385	66,367	1,093	3,977	58,084	42,757
7	66,160	1,381	0,750	1,395	0,545	60,383	63,962	1,214	2,869	54,958	45,883
8	77,986	1,423	0,019	1,420	0,082	99,444	93,262	4,376	1,012	8,269	92,752
9	73,657	1,422	0,040	1,413	0,224	83,175	81,505	6,783	1,000	22,588	78,253
10	70,381	1,422	0,040	1,408	0,319	72,447	73,426	11,101	0,974	32,168	68,673
11	68,180	1,420	0,082	1,406	0,356	65,923	68,362	6,641	1,035	35,899	64,942
12	65,943	1,414	0,204	1,402	0,427	59,813	63,503	3,529	1,143	43,059	57,782
13	65,374	1,407	0,338	1,401	0,445	58,338	62,312	2,276	1,357	44,874	55,967
14											

Azeotroper Punkt bei $\vartheta/^\circ\text{C}(\text{az}) = 65,15$

$x_1^{\text{L}}(\text{az}) = 0,455$

Literaturvergleich: $\vartheta/^\circ\text{C}(\text{az}) = 65,14$

$x_1^{\text{L}}(\text{az}) = 0,545$

exakte Angabe der Literaturquelle:

VLE

Berechnete Parameter des WILSON-Modells:

$\lambda_{12}/(\text{K}) = 0,2449$

$\lambda_{21}/(\text{K}) = 0,2265$