

*Versuchsauswertung Trenntechnik*  
REKTIFIKATION

Mario Di Franca (*2033543*)  
Florian Enzenberger (*2033971*)  
Sebastian Werner (*2033878*)

Versuchsbetreuer: Dr.-Ing. M. Drescher

Durchgeführt am 02.12.2004

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Versuchsbeschreibung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Messreihen</b>	<b>1</b>
2.1	Versuchsbedingungen . . . . .	1
2.2	Versuchsergebnisse . . . . .	1
2.2.1	Konzentrationen . . . . .	1
2.2.2	Temperaturen . . . . .	2
2.2.3	Volumenströme . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>3</b>
3.1	McCabe-Thiele-Diagramm . . . . .	3
3.1.1	Ermittlung der Gleichgewichtskurve . . . . .	3
3.1.2	Bestimmung von $\varphi$ . . . . .	3
3.1.3	Ermittlung der Verstärker- bzw. Abtreibergerade . . . . .	5
3.1.4	Diagramme . . . . .	6
3.2	Anzahl der theoretischen Trennstufen und Verstärkungsverhältnis . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>9</b>
4.1	Diskussion der Ergebnisse . . . . .	9
4.2	Einfluss des Rücklaufverhältnisses und des thermischen Zustandes des Frischzulaufs	9
4.2.1	Einfluss auf die Volumenströme . . . . .	9
4.2.2	Einfluss auf die Stoffkonzentrationen . . . . .	11
4.2.3	Einfluss auf die Temperatur . . . . .	12
4.3	Fehlerquellen . . . . .	14
4.4	Abschliessender Kommentar . . . . .	14

## 1 Versuchsbeschreibung

Bei der Rektifikation handelt es sich um eine mehrstufige Destillation, bei der es darum geht ein Gemisch aus zwei (oder mehr) Komponenten, die unterschiedliche Siedepunkte besitzen, voneinander zu trennen. Dies wird in Packungs-, Füllkörper- oder Bodenkolonnen erreicht, wobei durch die Einbauten eine möglichst große benetzbare Oberfläche hervorgerufen werden soll. Bei diesem Verfahren wird ein Teil des Destillats (Rücklauf) wieder in die Kolonne zurückgeführt, um einen Stoff- und Wärmeaustausch zwischen dem aufsteigenden Dampfstrom und besagtem Destillat zu ermöglichen. Dadurch reichert sich der Leichtsieder im Dampf und der Schwertsieder in der Flüssigkeit an.

Ziel dieses Versuches ist es, am Beispiel der Rektifikation eines Gemisches von Ethanol und 1-Propanol, verschiedene Betriebsparameter und deren Einfluss auf den Trennprozess zu untersuchen. Einerseits sollen die Auswirkungen des Rücklaufverhältnisses und der Heizleistung auf den Produktstrom und seine Zusammensetzung analysiert werden, andererseits das mittlere Verstärkungsverhältnis der Glockenbodenkolonne durch Ermittlung des Konzentrationsprofils errechnet werden.

## 2 Messreihen

### 2.1 Versuchsbedingungen

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
$\dot{V}_{Feed}$	3 l/h			
$T_{Feed}$	25 °C	30 °C	30 °C	86 °C
$v$	2	4	6	4
$P_{Sumpfheizung}$	40 %			
$P_{Feedheizung}$	0 %			40 %

Tabelle 1: Versuchsbedingungen

### 2.2 Versuchsergebnisse

Um die Daten im stationären Betriebszustand zu erhalten, werden jeweils Konzentrationen, Temperaturen und Volumenströme aufgezeichnet, bis diese sich nicht mehr wesentlich ändern. Die beiden letzten gemittelten Werte einer Messreihe liefern nun die Daten im stationären Betriebszustand.

#### 2.2.1 Konzentrationen

Wie im vorherigen Abschnitt erwähnt, werden aus den kontinuierlich aufgezeichneten Versuchsdaten die stationären Werte extrahiert. Da die 1-Propanolkonzentration über den Brechungsindex mittels Refraktometer bestimmt wird, muss zunächst über eine Kalibrierkurve (Anhang 2 in der Praktikumsanleitung) der Massenanteil  $w_{1-Propanol}$  an 1-Propanol abgelesen werden. Daraus kann über

$$x_{Ethanol} = \frac{n_{Ethanol}}{n_{Ethanol} + n_{1-Propanol}} = \frac{w_{Ethanol} \cdot M_{1-Propanol}}{w_{Ethanol} \cdot M_{1-Propanol} + w_{1-Propanol} \cdot M_{Ethanol}} \quad (1)$$

der Molenbruch  $x_{Ethanol}$  berechnet werden, wobei  $w_{Ethanol} = 1 - w_{1-Propanol}$ .

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
<b>Sumpf</b>	0,3554	0,3485	0,3782	0,3323
<b>Boden 2</b>	0,4884	0,4927	0,5224	0,5055
<b>Boden 4</b>	0,5097	0,5557	0,5793	0,5370
<b>Feed</b>	0,5224	0,5012	0,4991	0,4969
<b>Boden 7</b>	0,5844	0,6835	0,7273	0,6563
<b>Boden 9</b>	0,6602	0,7571	0,8028	0,7534
<b>Kopf</b>	0,7774	0,8437	0,8490	0,8260

Tabelle 2: Ethanolmolenbrüche im stationären Betriebszustand

Die grafische Auftragung der Konzentrationen ist in den Abbildungen 7 auf Seite 11 und 8 auf Seite 12 wiedergegeben.

### 2.2.2 Temperaturen

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$
<b>Sumpf</b>	88,0	88,0	87,3	88,0
<b>Boden 2</b>	85,0	85,0	84,0	84,8
<b>Boden 4</b>	84,0	84,0	83,5	84,3
<b>Feed</b>	30,0	30,0	30,0	86,0
<b>Boden 7</b>	82,5	81,5	80,5	81,5
<b>Boden 9</b>	81,5	80,0	79,0	80,0
<b>Kopf</b>	81,0	79,8	79,0	80,0

Tabelle 3: Temperaturen im stationären Betriebszustand

Die grafische Auftragung der Temperaturen ist in den Abbildungen 9 auf Seite 13 und 10 auf Seite 13 dargestellt.

### 2.2.3 Volumenströme

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
	$l/h$	$l/h$	$l/h$	$l/h$
<b>Kopf</b>	1,080	0,625	0,450	0,754
<b>Sumpf</b>	1,665	2,000	2,248	1,968
$\Sigma(Kopf, Sumpf)$	2,745	2,625	2,698	2,722
<b>Feed</b>	3,0			

Tabelle 4: Volumenströme im stationären Betriebszustand

Der grafisch aufgetragene Verlauf der Volumenströme befindet sich in Abbildung 6 auf Seite 10.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 McCabe-Thiele-Diagramm

#### 3.1.1 Ermittlung der Gleichgewichtskurve

Aus denen im Anhang 1 gegebenen Daten wurden wie folgt die Werte für die Gleichgewichtskurve ermittelt:

1. Molenbruch Ethanol auf x-Achse wählen
2. Parallel zur y-Achse nach oben gehen, bis Siedelinie erreicht
3. Parallele zu x-Achse einzeichnen (*Konode*)
4. Schnittpunkt der Parallelen mit der Taulinie bestimmen
5. Parallel zur y-Achse nach unten gehen
6. An der x-Achse den Wert für y ablesen

$x_1$	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900	1,000
$y_1$	0,180	0,340	0,470	0,580	0,675	0,770	0,830	0,890	0,950	1,000

Tabelle 5: Abgelesen Werte für die Gleichgewichtskurve

#### 3.1.2 Bestimmung von $\varphi$

Gleichung (19) in der Versuchsanleitung gibt den Weg zur Bestimmung von  $\varphi$  und damit auch der Schnittpunktsgerade vor:

$$\varphi = 1 - \frac{(h_F - h_{F,siedend})}{\Delta h^{LV}} \quad (2)$$

Für die Ermittlung der spezifischen Enthalpien wurde aus den in Anhang 3 (VDI-Wärmeatlas) gegebenen Daten zunächst ein  $c_p$ - $T$ -Diagramm erstellt:

$T$	$^{\circ}C$	-150	-100	-75	-50	-25	0	20	50	100	150
$c_{p,Eth}$	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$	1,176	1,901	1,947	2,014	2,093	2,232	2,395	2,801	3,454	4,417
$c_{p,Prop}$	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$	1,114	1,805	1,855	1,955	2,077	2,219	2,345	2,571		

Tabelle 6: Daten für das  $c_p$ - $T$ -Diagramm

Aus den Daten ergibt sich folgendes Diagramm (die jeweiligen Extra- bzw. Interpolationsgraphen sind orange):

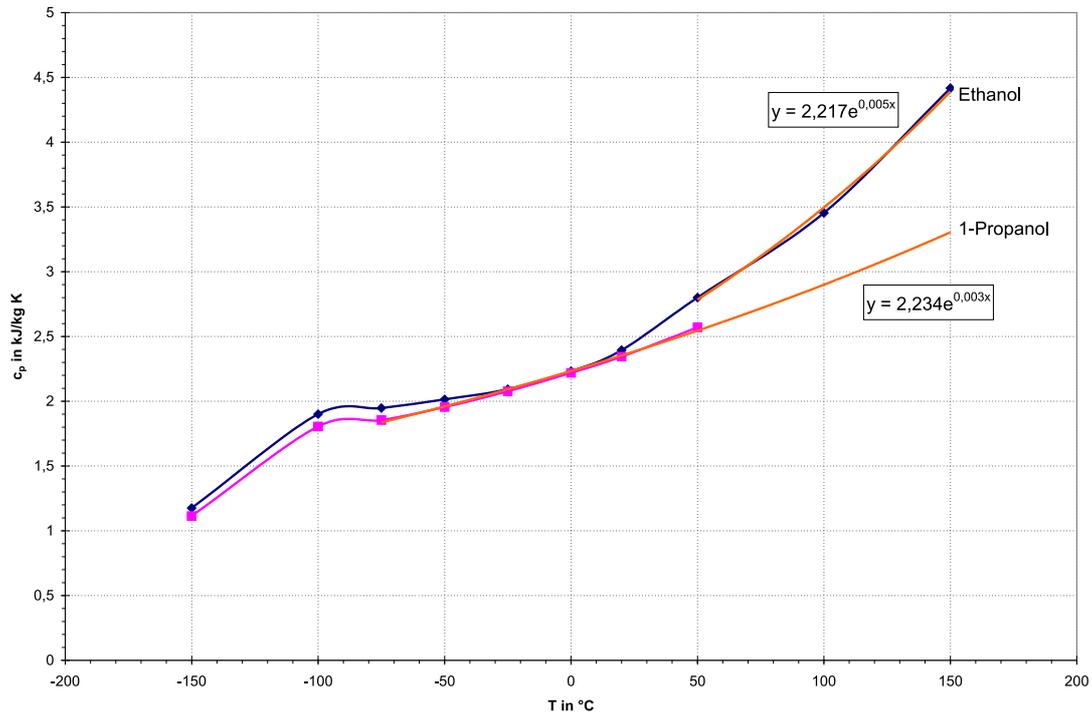


Abbildung 1:  $c_p$ - $T$ -Diagramm mit Interpolations-/Extrapolationskurven für  $T > 50\text{ }^\circ\text{C}$

Da für die Berechnung eine Funktionsgleichung erforderlich ist, wurden diese wie folgt ermittelt:

Bei Ethanol wurden die Daten zwischen  $50\text{ }^\circ\text{C}$  und  $150\text{ }^\circ\text{C}$  für die exponentielle Interpolation verwendet. Hierbei ergab sich die Funktion:

$$c_{p,Ethanol} = 2,217 \cdot \exp(0,005 \cdot T) \quad (3)$$

Bei 1-Propanol wurde unter Verwendung der Daten zwischen  $-75\text{ }^\circ\text{C}$  und  $50\text{ }^\circ\text{C}$  für die Extrapolation folgende Funktion verwendet:

$$c_{p,1-Propanol} = 2,234 \cdot \exp(0,003 \cdot T) \quad (4)$$

Nun ist die Ermittlung von  $c_{p,Mischung}$  erforderlich:

$$c_{p,Mischung} = c_{p,Ethanol} \cdot M_{Ethanol} \cdot x_{Ethanol} + c_{p,1-Propanol} \cdot M_{1-Propanol} \cdot x_{1-Propanol} \quad (5)$$

Ist diese bekannt, kann die jeweilige Enthalpie berechnet werden:

$$h = c_{p,Mischung} \cdot T \quad (6)$$

Die Verdampfungsenthalpie der Mischung berechnet sich wie folgt:

$$h_{Mischung}^{LV} = h_{Ethanol}^{LV} \cdot x_{Ethanol} + h_{1-Propanol}^{LV} \cdot x_{1-Propanol} \quad (7)$$

Unter zu Hilfe nehmen der Stoffdaten (Versuchsscript Tabelle 4):

$M_{Ethanol}$	46,07	$g/mol$
$M_{1-Propanol}$	60,09	$g/mol$
$\Delta h_{Ethanol}^{LV}$	840	$kJ/kg$
$\Delta h_{1-Propanol}^{LV}$	750	$kJ/kg$
$\Delta h_{Ethanol}^{LV}$	38,6988	$kJ/mol$
$\Delta h_{1-Propanol}^{LV}$	45,0675	$kJ/mol$

Tabelle 7: Stoffdaten vom Ethanol und 1-Propanol

ergeben sich folgende Werte:

		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
$x_{F,Ethanol}$		0,5224	0,5012	0,4991	0,4969
$x_{F,1-Propanol}$		0,4776	0,4988	0,5009	0,5031
$T_{Feed}$	$^{\circ}C$	30,0	30,0	30,0	86,0
$T_{Feed}$	$K$	303,15	303,15	303,15	359,15
$c_{p,Ethanol}$	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$	2,5417	2,5417	2,5417	3,2801
$c_{p,1-Propanol}$	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$	2,4156	2,4156	2,4156	2,7959
$c_{p,Gemisch}$	$\frac{kJ}{mol \cdot K}$	0,1305	0,1311	0,1311	0,1596
$h_{Feed}$	$\frac{kJ}{mol}$	39,56	39,74	39,76	57,32
$T_{Feed,S}$	$^{\circ}C$	85,4	85,8	85,8	85,9
$T_{Feed,S}$	$K$	358,55	358,95	358,95	359,05
$c_{p,Ethanol,S}$	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$	3,3207	3,3268	3,3268	3,3268
$c_{p,1-Propanol,S}$	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$	2,4156	2,4156	2,4156	2,7959
$c_{p,Gemisch,S}$	$\frac{kJ}{mol \cdot K}$	0,1481	0,1481	0,1481	0,1596
$h_{Feed,S}$	$\frac{kJ}{mol}$	53,08	53,15	53,15	57,30
$\Delta h_{Gemisch}^{LV}$	$\frac{kJ}{mol}$	41,74	41,88	41,89	41,90
$\varphi$		1,3240	1,3203	1,3196	0,9993
$\frac{x_F}{\varphi}$		0,3945	0,3796	0,3782	0,4973

Tabelle 8: Ermittlung von  $h$ ,  $c_p$  und  $\varphi$ 

### 3.1.3 Ermittlung der Verstärker- bzw. Abtreibergerade

Zum Einzeichnen der Abtreiber- bzw. Verstärkergeraden sind jeweils 2 Punkte notwendig. Bei der Abtreibergerade die Punkte:  $(x_{F,\varphi}|y_{F,\varphi})$  und  $(x_S|y_S)$ , für die Verstärkergerade:  $(x_{F,\varphi}|y_{F,\varphi})$  und  $(x_D|y_D)$ .  $x_{F,\varphi}$  ist hierbei der Schnittpunkt der Schnittpunktgeraden mit der Verstärkergeraden, wie in der Abbildung (9) der Versuchsanleitung erkennbar ist. Die Schnittpunktgerade wurde analog Gleichung (18) in der Versuchsanleitung ermittelt:

$$y = \frac{\varphi}{(\varphi - 1)} \cdot x - \frac{1}{(\varphi - 1) \cdot x} \quad (8)$$

$$x_{F,\varphi} = \frac{\frac{x_D}{v+1} + \frac{x_F}{\varphi-1}}{\frac{\varphi}{\varphi-1} - \frac{v}{v-1}} \quad (9)$$

Die Werte für  $x_D$ ,  $x_S$  und  $x_F$  wurden aus der Messwerttabelle 2 auf Seite 2 entnommen. Zur Ermittlung der korrespondierenden  $y$ -Werte wird Gleichung 8 benutzt.

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
$x_D$	0,7774	0,8437	0,8490	0,8260
$y_D$	0,7774	0,8437	0,8490	0,8260
$x_S$	0,3554	0,3485	0,3782	0,3323
$y_S$	0,3554	0,3485	0,3782	0,3323
$x_F$	0,5224	0,5012	0,4991	0,4969
$y_F$	0,6074	0,5697	0,5491	0,5628
$x_{F,\varphi}$	0,5472	0,5218	0,5144	0,4969
$y_{F,\varphi}$	0,6239	0,5862	0,5622	0,5627
$\frac{x_D}{v+1}$	0,2591	0,1687	0,1213	0,1652
$\varphi$	1,3240	1,3203	1,3196	0,9993
$\frac{x_F}{\varphi}$	0,3945	0,3796	0,3782	0,4973

Tabelle 9: Berechnung der Stützpunkte für die Verstärker- und Abtreibergerade

### 3.1.4 Diagramme

Mit den Werten aus den vorgenannten Tabellen werden nun für alle Versuche die McCabe-Thiele-Diagramme konstruiert.

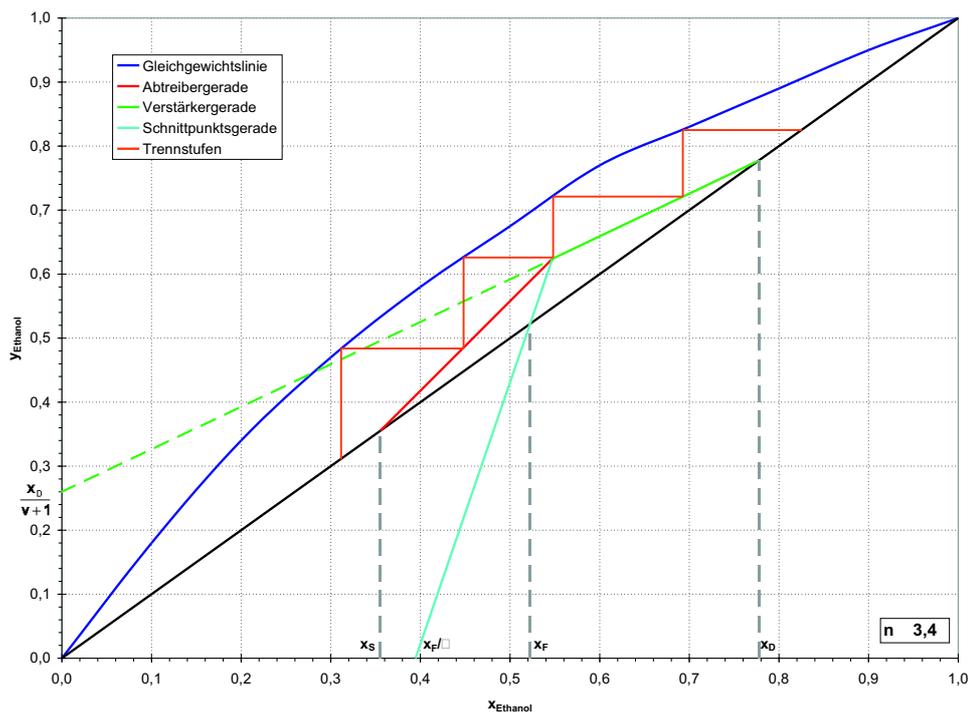


Abbildung 2: McCabe-Thiele-Diagramm Versuch 1

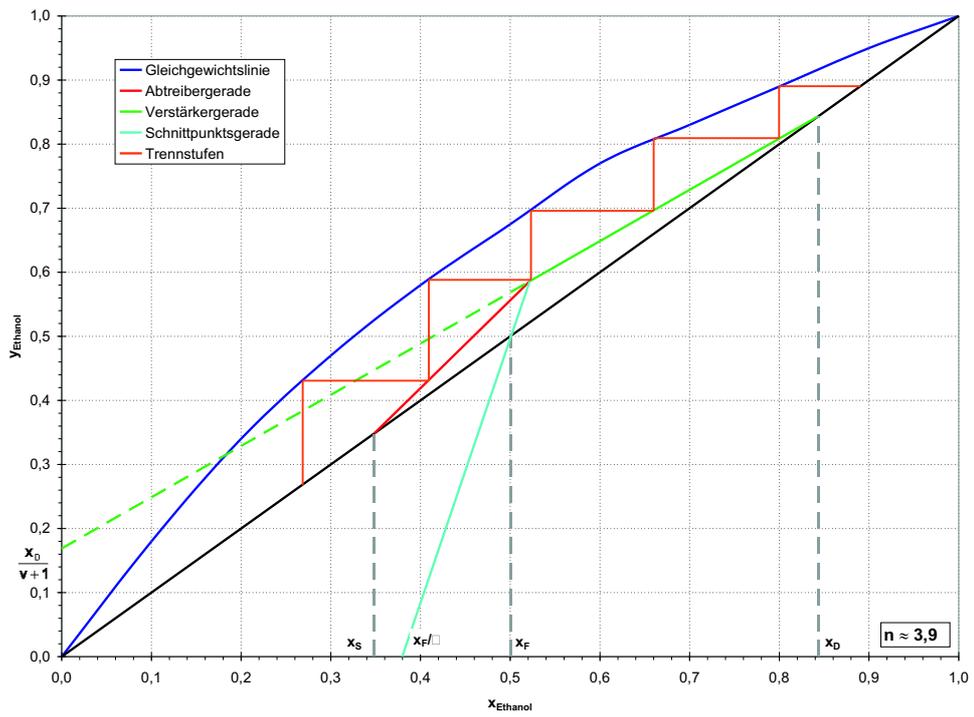


Abbildung 3: McCabe-Thiele-Diagramm Versuch 2

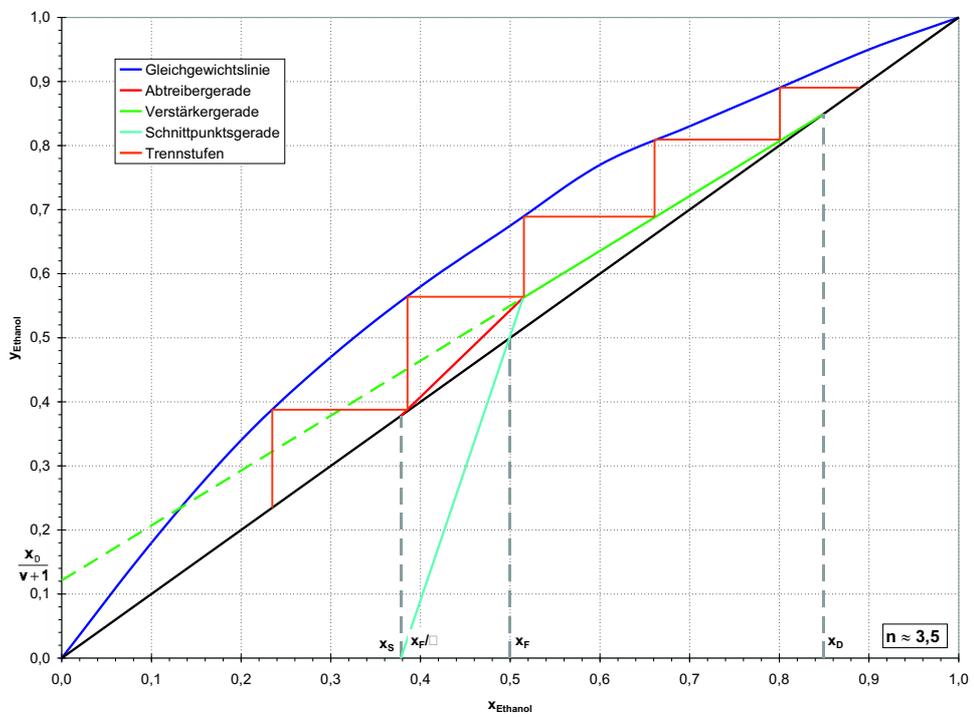


Abbildung 4: McCabe-Thiele-Diagramm Versuch 3

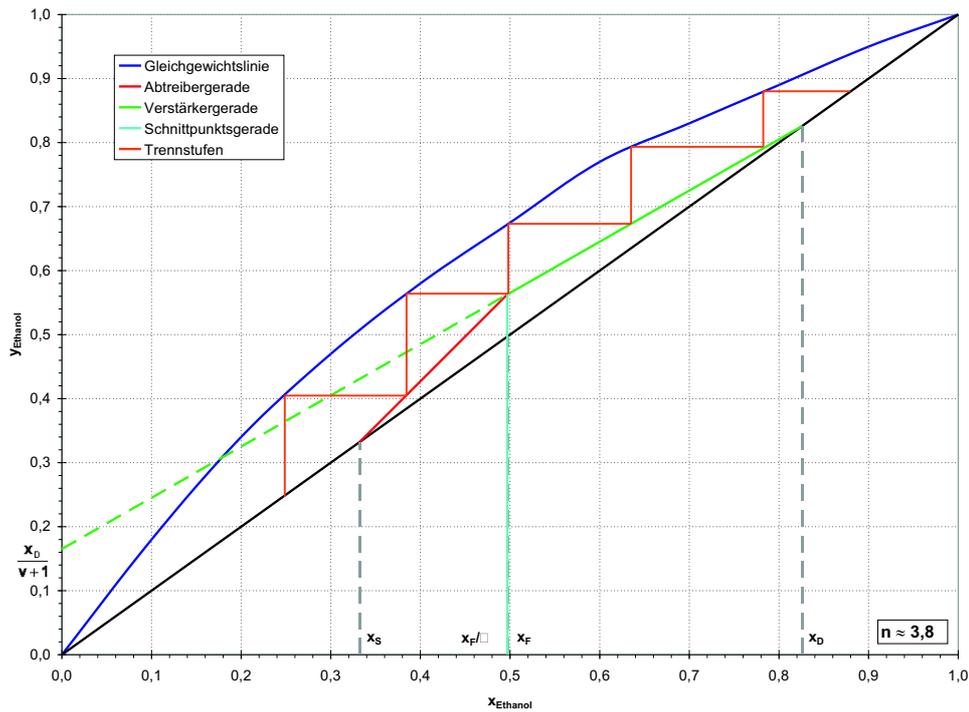


Abbildung 5: McCabe-Thiele-Diagramm Versuch 4

### 3.2 Anzahl der theoretischen Trennstufen und Verstärkungsverhältnis

Aus den McCabe-Thiele-Diagrammen wird die Anzahl der Theoretischen Trennstufen grafisch bestimmt und abgelesen. Hierbei wird vom Schnittpunkt der Verstärkergeraden mit der Schnittpunktgeraden ausgehend ein Treppenzug zwischen Abtreiber-/Verstärkergerade und Gleichgewichtskurve konstruiert. Das Verstärkungsverhältnis  $s$  wird durch

$$s = \frac{n_{th}}{n_{pr}} \quad (10)$$

bestimmt. Die Anzahl der praktischen Trennstufen setzt sich zusammen aus:

$$n_{pr} = n_{Sumpf} + n_{Abtreiber} + n_{Verstaerker} = 1 + 5 + 5 = 11 \quad (11)$$

Somit ergibt sich:

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
Rücklaufverhältnis $v$	2	4	6	4
Anzahl der theoret. Trennstufen $n_{th}$	3,4	3,9	3,5	3,8
Anzahl der prakt. Trennstufen $n_{pr}$	11			
Verstärkungsverhältnis $s$	0,31	0,35	0,32	0,35

Tabelle 10: Werte für die Anzahl der Trennstufen und des Verstärkungsverhältnisses

## 4 Diskussion

### 4.1 Diskussion der Ergebnisse

Um eine bessere Übersicht der relevanten Ergebnisse zu bekommen, werden diese in einer Tabelle nochmal aufgelistet.

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
<b>Rücklaufverhältnis <math>v</math></b>	2	4	6	4
$T_{Feed}$ [°C]	30			86
<b>Anzahl der theor. Trennstufen <math>n_{th}</math></b>	3,4	3,9	3,5	3,8
<b>Verstärkungsverhältnis <math>s</math></b>	0,31	0,35	0,32	0,35
$x_{Ethanol}$ <b>im Destillat</b>	0,7774	0,8437	0,8490	0,8260
$x_{Ethanol}$ <b>im Sumpfprodukt</b>	0,3554	0,3485	0,3782	0,3323
<b>Konzentrationsdifferenz <math>x_d - x_s</math></b>	0,4220	0,4953	0,4708	0,4938

Tabelle 11: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Generell ist anzumerken, dass die erzielten Ergebnisse in einem relativ engen Bereich liegen, voneinander also wenig abweichen.

Wie in Abbildung 9 Seite 12 hervorgeht, ergab sich bei der Feedzusammensetzung des ersten Versuches eine Abweichung. Diese ist auf eine mögliche unzureichende Durchmischung oder den Rückpumpvorgang von Sumpf- und Kopfprodukt zurückzuführen. Betrachtet man die Verstärkungsverhältnisse der einzelnen Versuche, fällt auf, dass diese im Vergleich zu üblichen Werten (zwischen 0,6 und 0,9) niedrig ausfallen. Dies deutet darauf hin, dass der Kolonnenwirkungsgrad ungünstig ist.

Die Änderung des thermischen Zustandes des Frischzulaufs lässt in Versuch 4 gegenüber Versuch 2 bezüglich des Verstärkungsverhältnisses keine wesentlichen quantitativen Unterschiede erkennen. Ausserdem zeichnet sich ein Anstieg der Anzahl der berechneten theoretischen Trennstufen ab, obwohl das Rücklaufverhältnis zunimmt; bei zunehmendem Rücklaufverhältnis müsste prinzipiell die Anzahl der theoretischen Stufen abnehmen.

In unserem Versuch wurden der Frischzulaufstrom und die Heizleistung der Blasenheizung konstant gehalten, so dass sich hier nicht die Notwendigkeit ergibt, deren Einfluss zu diskutieren.

### 4.2 Einfluss des Rücklaufverhältnisses und des thermischen Zustandes des Frischzulaufs

#### 4.2.1 Einfluss auf die Volumenströme

Mit Erhöhung des Rücklaufverhältnisses steigt, wie in Abbildung 6 auf der nächsten Seite zu sehen ist, der Volumenstrom des Sumpfproduktes und fällt der des Kopfes. Die Summe beider Ströme bleibt annähernd konstant, erreicht jedoch nicht ganz den Wert des Feedvolumenstroms. Dies könnte ein Hinweis dafür sein, dass kein stationärer Zustand vorherrscht, was jedoch den konstanten Konzentrationen und Temperaturen widerspricht. Andererseits könnte die Differenz auch in, im Unterkapitel Fehlerquellen erörterten, Messunsicherheiten begründet liegen. Da die Volumenströme nicht für weitere Berechnungen herangezogen werden, ist deren quantitative Bedeutung eher von untergeordneter Relevanz. Der siedende Frischzulauf führt zu einem höheren Volumenstrom des Kopfproduktes, was durch ein schnelleres Verdampfen des Leichtsieders Ethanol hervorgerufen wird.

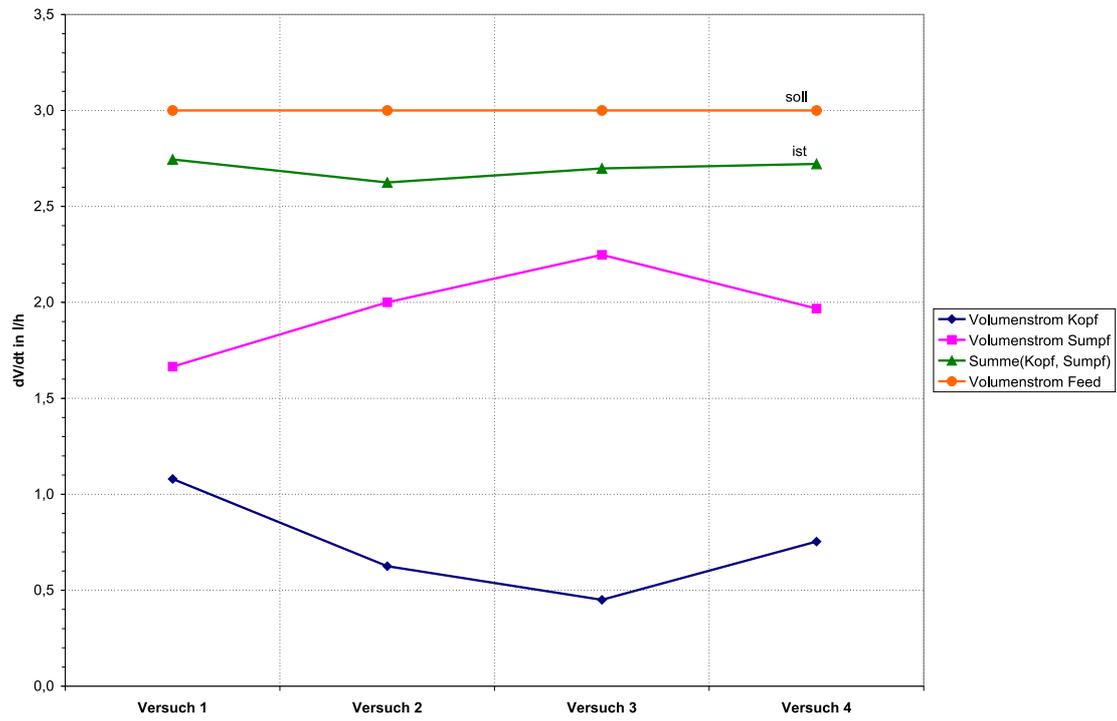


Abbildung 6: Volumenströme im stationären Zustand

## 4.2.2 Einfluss auf die Stoffkonzentrationen

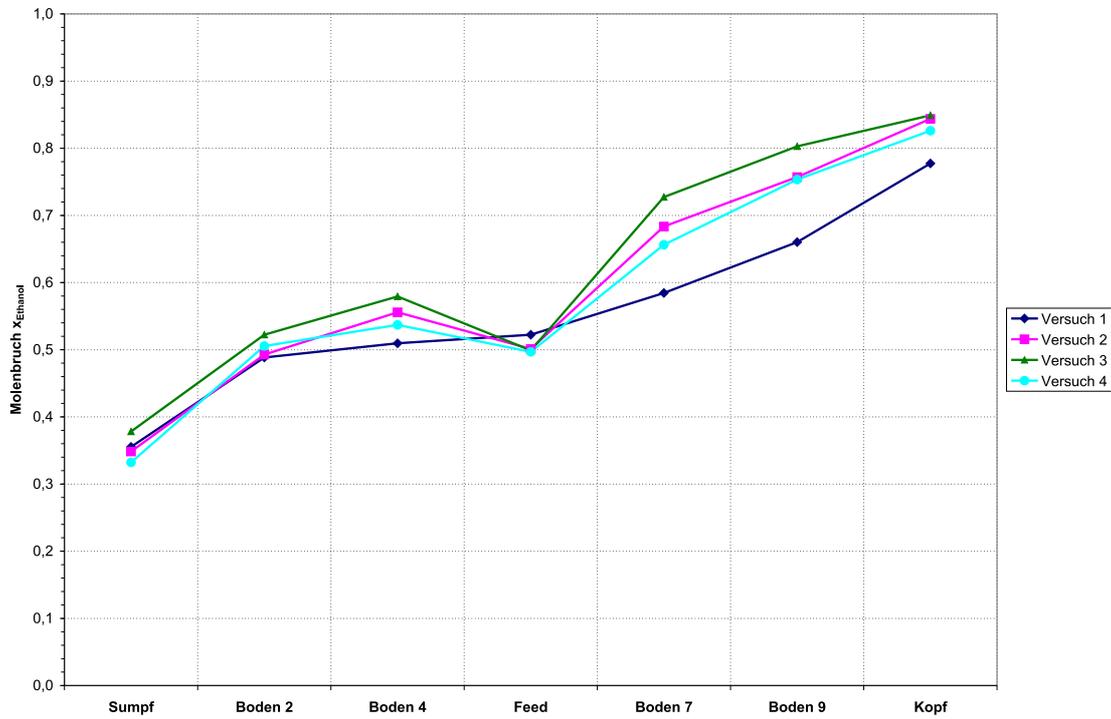


Abbildung 7: Konzentrationsverlauf in der Kolonne

Die Erhöhung des Rücklaufverhältnisses führt zu einem Anstieg der Ethanolkonzentration auf den Böden, wie in Abbildung 7 ersichtlich. Vor allem in der Verstärkerkolonne ist die Differenz der Bodenkonzentrationen besonders ausgeprägt, was darauf zurückzuführen ist, dass der ethanolreiche Rücklauf im Kopf der Kolonne zugegeben wird.

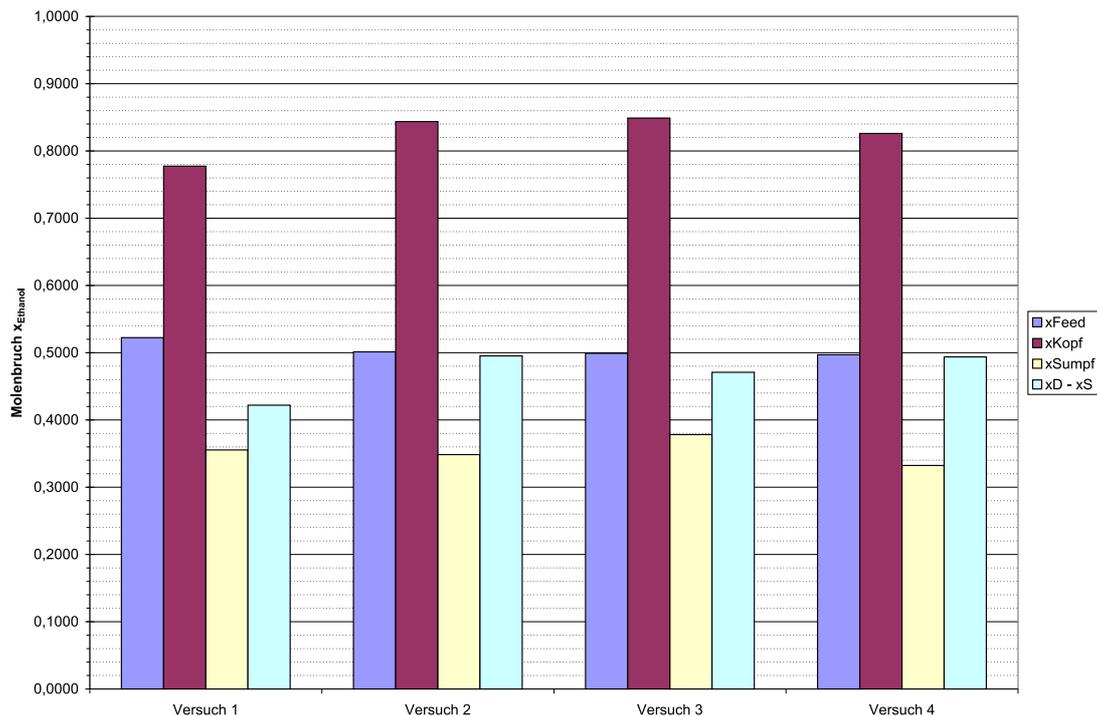


Abbildung 8: Vergleich der Ethanolkonzentrationen

Vergleicht man die Ausbeuten der einzelnen Versuche, erkennt man in Abbildung 8, dass die Ethanolkonzentration im Destillat mit steigendem Rücklaufverhältnis zunimmt. Dies belegt, dass die Erhöhung des Rücklaufverhältnisses eine Steigerung der Trennwirkung mit sich bringt. Bei siedendem Frischzulauf entspricht die Ethanolkonzentration im Destillat in etwa der korrespondierenden Konzentration bei nicht beheiztem Feed, weil dadurch das thermodynamische Gleichgewicht nicht verschoben wird. Es stellt sich jedoch schneller ein, wie durch Erhöhung des Kopfvolumenstromes in Abbildung 6 auf Seite 10 gezeigt wird.

#### 4.2.3 Einfluss auf die Temperatur

Im nachfolgendem Diagramm 9 auf der nächsten Seite wurden die Temperaturen von Sumpf, Böden und Kopf gegen die dort herrschenden Konzentrationen aufgetragen. Man erkennt, dass die ermittelten Werte nahezu der Siedelinie aus dem T-x-Diagramm (*Anhang 1 im Versuchsscript*) entsprechen. Das heißt, dass mit steigender Konzentration des Leichtsieders die Siedetemperatur abnimmt.

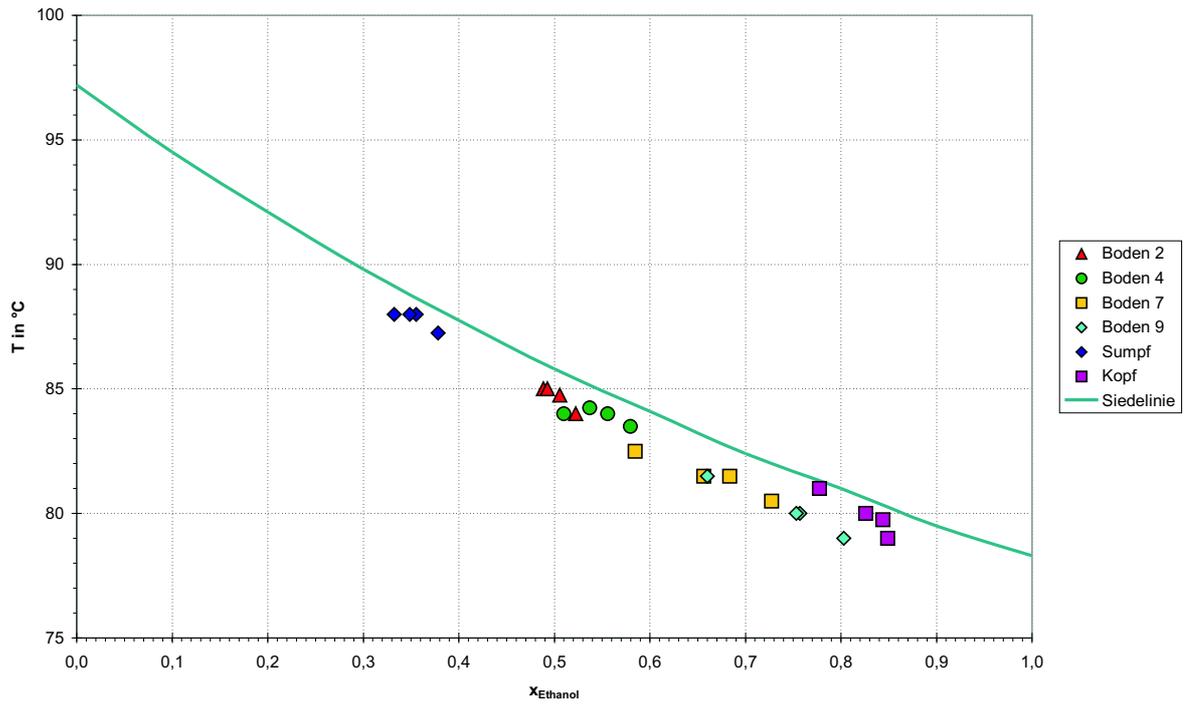


Abbildung 9: Temperatur-Konzentrations-Diagramm

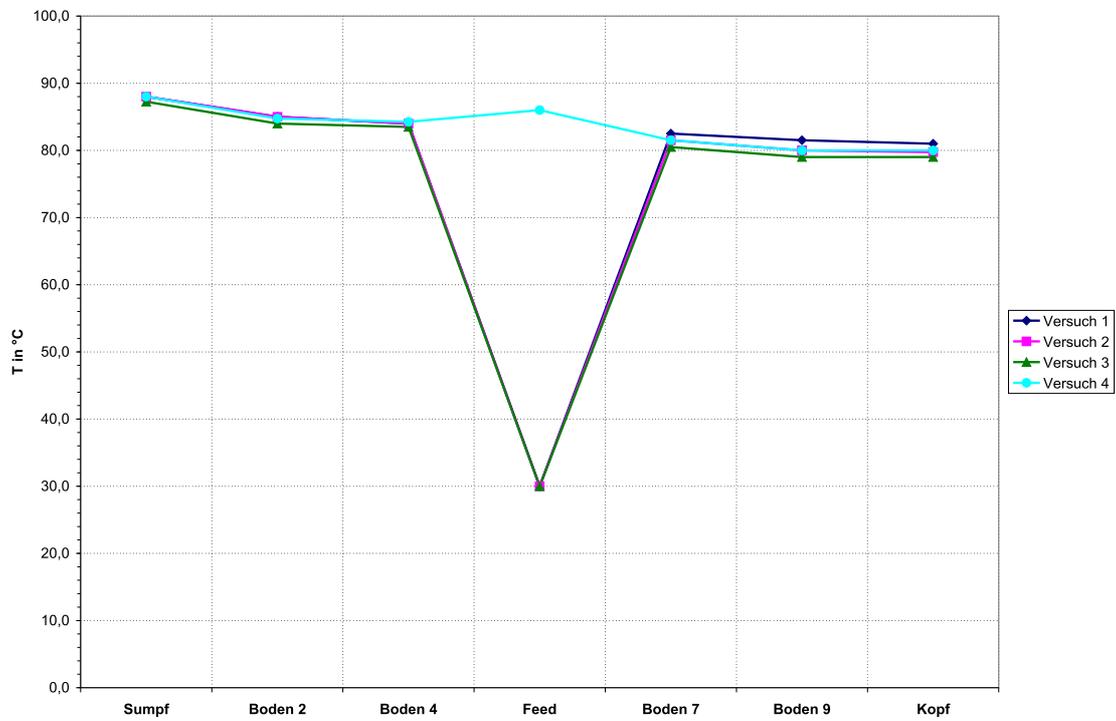


Abbildung 10: Temperaturverlauf in der Kolonne

Betrachtet man in Abbildung 10 auf der vorherigen Seite den Temperaturverlauf in der Kolonne, erkennt man wiederum, dass mit steigender Ethanolkonzentration auf den Böden die Siedetemperatur abnimmt. Desweiteren ist hier ein direkter Zusammenhang mit dem Konzentrationsverlauf in Abbildung 7 auf Seite 11 ersichtlich. Durch die bereits diskutierte steigende Konzentrationsdifferenz in der Verstärkerkolonne divergieren dort auch die Temperaturen stärker. Die in der Mitte ersichtliche Feedtemperatur ist nur der Vollständigkeit halber eingetragen, da diese nicht *in* der Kolonne gemessen wird.

### 4.3 Fehlerquellen

- Die Apparatur könnte nur ungenügend adiabat sein.
- Die Bestimmung des Brechungsindex im Refraktometer ist dem Unsicherheitsfaktor menschl. Auge unterworfen.
- Beim Ablesen von Werten aus Diagrammen (*Anhang 1 und Anhang 2 im Versuchsscript*) können Rundungsfehler auftreten, v.a. bei nicht ausreichend enger Skalierung und qualitativ unzureichender Fotokopie.
- Die Inter- bzw. Extrapolation von  $c_p$  im  $c_p - T$ -Diagramm (*vgl. Abbildung 1 auf Seite 4*) ist bedingt durch die mathematische Fittingfunktion nur eine Näherung der realen Werte.
- Die genaue Bestimmung der Produktvolumenströme ist wegen des schwankenden Pegels, ausgelöst durch die eintropfende Flüssigkeit, sehr ungenau.
- Die Messung des Feedvolumenstromes mittels Rotameter ist ebenfalls nicht sehr zuverlässig, da durch die Pulsation der Kolbendosierpumpe der Messkörper nie völlig still steht.

### 4.4 Abschliessender Kommentar

- Auch *oder gerade* wenn eine Versuchsanlage nicht immer die, nach der Literatur zu erwartenden Ergebnisse liefert, ist ein Lernerfolg bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung gegeben.
- Um durch Beruhigung des Pegels Volumenströme besser messbar zu machen: Flüssigkeitsstrom durch geeigneten Einbau beim Einleiten in die graduierten Vorlagegefäße an die Gefäßwand leiten.
- Das korrekte Ablesen der Thermometer ist teilweise schwierig und nur unter erheblichen Verrenkungen möglich (*v.a. beim Kopf*).