

*Protokoll zur Laborübung Verfahrenstechnik*

## **Übung: Trocknen**

**Betreuer: Dr. Michael Harasek**

Durchgeführt von:

<b>Marion Pucher</b>	<b>Mtk.Nr.:0125440</b>	<b>Kennzahl: S26</b>
<b>Matthias Steiger</b>	<b>Mtk.Nr.:0125435</b>	<b>Kennzahl: S29</b>

Datum der Übung: 16.6.2004

## Abstract

Ein Gleichstrom - Sprühgerät (B- 191 Mini Spray Dryer) hätte zur Trocknung von zwei Substanzen verwendet werden sollen.

Da jedoch die Pumpe nicht funktionierte, konnte der Versuch nicht durchgeführt werden. Aus diesem Grund wird im folgenden der Versuchsablauf beschrieben, wie er hätte ablaufen sollen. Die notwendigsten Werte wurden vom betreuenden Tutor übermittelt.

## Inhaltsverzeichnis

<b><u>1</u></b>	<b><u>EINLEITUNG .....</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b><u>2</u></b>	<b><u>AUFGABENSTELLUNG .....</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b><u>3</u></b>	<b><u>VERSUCHSAUFBAU .....</u></b>	<b><u>4</u></b>
<b><u>4</u></b>	<b><u>PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG .....</u></b>	<b><u>4</u></b>
<b><u>5</u></b>	<b><u>RECHENGANG .....</u></b>	<b><u>4</u></b>
<b>5.1</b>	<b>KALIBRIERUNG DER PUMPLEISTUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>5.2</b>	<b>BERECHNUNGEN .....</b>	<b>5</b>
5.2.1	MENGENBILANZEN .....	5
5.2.2	WASSERBETRIEB: .....	5
5.2.3	BIER .....	6
5.2.4	TEE: .....	6
5.2.5	WÄRME- BZW. ENERGIEBILANZ .....	6
5.2.6	WASSERBETRIEB: .....	6
5.2.7	TEE & BIER .....	6
<b>5.3</b>	<b>AUSBEUTE UND PRODUKTVERTEILUNG .....</b>	<b>6</b>
5.3.1	BIER .....	6
5.3.2	TEE .....	6
<b><u>6</u></b>	<b><u>DISKUSSION UND FEHLERANALYSE .....</u></b>	<b><u>6</u></b>
<b>6.1</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>6</b>
<b>6.2</b>	<b>FEHLERBETRACHTUNG .....</b>	<b>6</b>
<b><u>7</u></b>	<b><u>ANHANG .....</u></b>	<b><u>6</u></b>
<b>7.1</b>	<b>WERTE DER ZUSTANDSPUNKTE AUS DEM MOLLIER DIAGRAMM .....</b>	<b>6</b>
<b>7.2</b>	<b>UMGEBUNGSBEDINGUNGEN .....</b>	<b>6</b>
	<b>MOLLIERDIAGRAMM .....</b>	<b>6</b>
<b>7.3</b>	<b>VERSUCHSDATEN .....</b>	<b>6</b>

# 1 Einleitung

Die Sprühtrocknung ist eine sehr häufig angewandte Methode um flüssige Mischungen durch Einsprühen in heiße Luft sehr rasch zu trocknen. Lösungen, Suspensionen, Emulsionen und Dispersionen von nicht – klebrigen Feststoffen können hierbei eingesetzt werden.

Die Flüssigkeit wird über eine Düse (rotary wheel) in der heißen Luft fein zerstäubt. Somit kann die Flüssigkeit rasch verdunsten, da die Kontaktfläche zwischen dem zum trocknenden Gut und der Luft vergrößert wird. Als Produkt wird ein Pulver, Agglomerat oder Granulat abgeschieden.

Die Sprühtrocknung kann in Gleich- oder im Gegenstrom, in kombinierten Gleich- und Gegenstrom oder in Scheibenzerstäubern durchgeführt werden.

Dieses Verfahren wird z.B. in der Lebensmittel- oder Keramikindustrie, pharmazeutischen Industrie, Medizin oder der chemischen Industrie eingesetzt.

Nun wird eine Energie- und eine Mengenbilanz am B – 191 Mini Spray Dryer durchgeführt. Im Anschluss an die entsprechenden Berechnungen sollen Informationen über den thermischen Wirkungsgrad und die Trocknungseigenschaften der verwendeten Anlage gemacht werden.

# 2 Aufgabenstellung

Bier (Penshorn) und Tee (Slaasted) sollten getrocknet werden. Im Laufe des Versuches sollten relevante Parameter wie die Temperatur und die relative Feuchtigkeit notiert werden. Im Anschluss sollte das Produkt über die Bestimmung der Restfeuchte charakterisiert werden.

Für die Einsetzbarkeit des Verfahrens in der Industrie müssen diese Aspekte berücksichtigt werden:

- Ausbeute
- Veränderung von Geschmack, Geruch, Farbe und Löslichkeit des Endproduktes im Vergleich zum Ausgangsprodukt
- Aspiratorflow
- Thermischer Wirkungsgrad und Verlustwärme durch den Tropfenzylinder aus der Energiebilanz
- Herstellungskosten

### 3 Versuchsaufbau

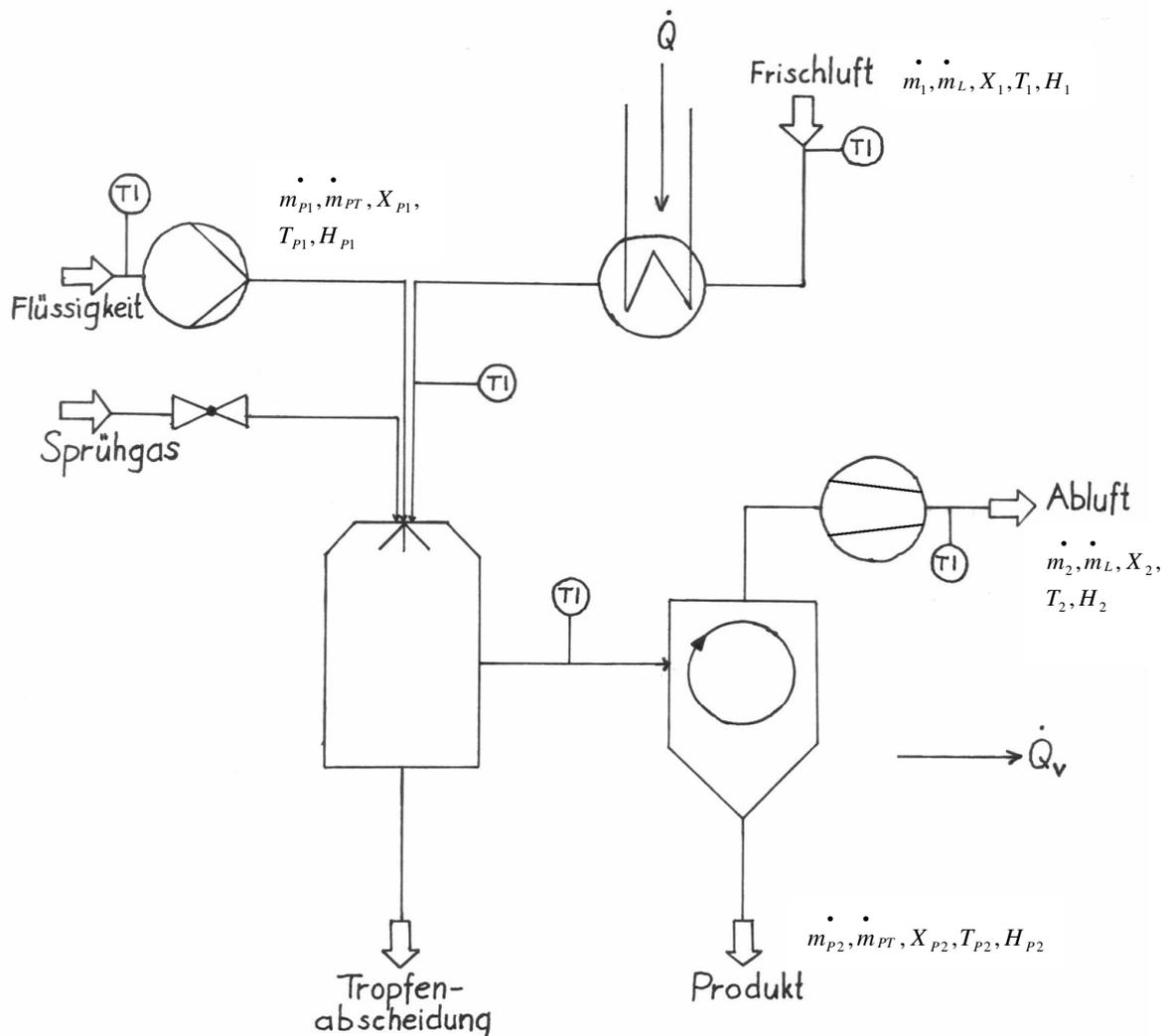


Abbildung 1: Fließbild der Apparatur

### 4 Praktische Durchführung

Da dieser Versuch praktisch nicht durchgeführt wurde aufgrund eines Gerätedefekts, kann für die Versuchsdurchführung nur auf das Skript zur Laborübung verwiesen werden.

### 5 Rechengang

#### 5.1 Kalibrierung der Pumpleistung

Um den gewünschten Durchfluss von ca. 0,5L/h aus dem ausgegebenen Diagramm zu bestätigen bzw. die Abhängigkeit des Sprayflows von der Pumpleistung zu betrachten, wurden die Sprayflows von insgesamt fünf Pumpleistungswerten gemessen. Der Sprayflow errechnet sich aus dem Gewicht des geförderten Wassers und der benötigten Zeit. Unter Berücksichtigung der Dichte von Wasser ( $\rho = 1\text{g/mL}$ ) und dem Bezug auf eine Stunde erhält man den Flow in ml/h.

Pumpleistung [%]	m H <sub>2</sub> O vor [g]	m H <sub>2</sub> O nach [g]	Δm [g]	t[s]	Flow [mL/h]
10	505,9	497,9	8	180	160,0
20	497,9	481,5	16,4	180	328,0
30	481,5	457,7	23,8	180	476,0
40	457,7	425,8	31,9	180	638,0
50	425,8	385,8	40	180	800,0

Die in ein Diagramm eingetragenen Werte zeigen den linearen Zusammenhang zwischen Pumpleistung und Sprayflowrate.

Versuch	Pumpleistung [%]	Flow [ml/h]	Flow [L/h]
Wasser	20	315,6	0,3156
Bier	40	625,2	0,6252
Tee	20	315,6	0,3156

## 5.2 Berechnungen

### 5.2.1 Mengenbilanzen

$$\text{Trockengas: } \dot{m}_D = \dot{m}_2 - \dot{m}_1 = \dot{m}_L (X_2 - X_1)$$

$\dot{m}_D$  als Dampfstrom entzogene Feuchte  
 $\dot{m}_L$  Massenstrom Trockengas

$$\text{Trockengut: } \dot{m}_D = \dot{m}_{P1} - \dot{m}_{P2} = \dot{m}_{PT} (X_{P1} - X_{P2})$$

$\dot{m}_{PT}$  Trockengutstrom  
 $X_{P1}$  Feuchtebeladung vor Trocknung  
 $X_{P2}$  Feuchtebeladung nach Trocknung

### 5.2.2 Wasserbetrieb:

Aspirator flow 100%, Pump Flow 20%

Aus der Bilanz für das Trockengas folgt:

$$\dot{m}_L = \frac{\dot{m}_D}{X_2 - X_1} \quad \text{Bedarf an Trockengas}$$

Um den Aspiratorflow zu erhalten muss dieser Strom noch auf Feuchtgas umgerechnet werden. Somit erhält man:

$$\dot{m}_{Asp} = \dot{m}_2 = \dot{m}_L * X_2 + \dot{m}_L$$

Aus beiden Gleichungen erhält man schließlich:

$$\dot{m}_{Asp} = \frac{\dot{m}_D (X_2 + 1)}{X_2 - X_1}$$

Im Fall von Wasser als zu trocknende Substanz kann der Aspiratorflow schon berechnet werden, da  $\dot{m}_D$  (-als Dampfstrom entzogene Feuchte-) dem Pumpflow entspricht. (315,6 g/h) Sodann müssen nur noch die Werte für  $X_1$  und  $X_2$  dem Mollier Diagramm entnommen werden. (Siehe Tabelle für Zustandspunkte Anhang 1)

$$\dot{m}_L = 0,3156 \text{ kg/h} / (0,014 - 0,0055) = \mathbf{37,13 \text{ kg/h}}$$

$$\dot{m}_{Asp} = \mathbf{37,65 \text{ kg/h}}$$

### 5.2.3 Bier

Mit Hilfe der Bilanzgleichung für das Trockengut kann über  $\dot{m}_{PT}$ ,  $X_{P1}$  sowie  $X_{P2}$ ,  $\dot{m}_D$  berechnet und dann mit Hilfe derselben Formeln wie oben für Wasser der Aspiratorstrom ermittelt werden:

$$\dot{m}_D = \dot{m}_{PT} (X_{P1} - X_{P2})$$

$X_{P1}$  und  $X_{P2}$  erhält man aus den Daten, die bei der Trockensubstanzbestimmung mit Hilfe der Trocknungswaage erhalten wurden ( $X_{P1} = \Delta / \text{nach}$  und  $X_{P2} = \Delta / \text{nach}$ ):

vor Trocknung	m[g]	nach Trocknung	m[g]
vor	0,998	vor	0,287
nach	0,056	nach	0,259
$\Delta$	0,942	$\Delta$	0,028
$X_{P1}$	16,821 [kg/kg]	$X_{P2}$	0,108 [kg/kg]

$\dot{m}_{PT}$  kann nun folgendermaßen berechnet werden:

$$\dot{m}_{P1} = \dot{m}_{H_2O} + \dot{m}_{PT}$$

Über die Feuchtebeladung

$$\dot{m}_{H_2O} = X_{P1} \cdot \dot{m}_{PT}$$

erhält man schließlich

$$\dot{m}_{P1} = \dot{m}_{PT} \cdot (X_{P1} + 1)$$

Unter der Annahme, dass der Volumenstrom des Pumpflow derselbe ist wie bei Wasser, kann über die bestimmte Dichte des Bieres  $\rho_{P1}$  und in weiterer Folge  $\dot{m}_D$  berechnet werden.

$$\dot{m}_{P1} = \dot{V}_{H_2O} \cdot \rho_{Bier}$$

$\rho_{Bier}$                     0,991 g/mL  
Pumpflow  $\dot{V}_{H_2O}$         625,2 mL/h

Da die Dichteangabe für Bier bei den übermittelten Daten fehlten, wurden Dichtewerte von andern Studierenden verwendet.

Es folgt für  $\dot{m}_{PT}$

$$\dot{m}_{PT} = \frac{\dot{m}_{P1}}{X_{P1} + 1}$$

Mit  $X_{P1}=16,821$  und  $X_{P2}=0,108$

$$\dot{m}_{PT} = 0,035 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_D = \dot{m}_{PT} (X_{P1} - X_{P2}) = 0,5811 \text{ kg/h}$$

Hieraus folgt aus den schon beim Wasserbetrieb verwendeten Formeln:

$$\dot{m}_L = 27,67 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{Asp} = 28,53 \text{ kg/h}$$

#### 5.2.4 Tee:

Ebenso berechnet sich der Aspiratorflow für den Tee. Es seien deshalb an dieser Stelle nur die Ausgangswerte angegeben.

**Ergebnisse für  $X_{P1}$  und  $X_{P2}$ :**

vor Trocknung	m[g]
vor	3,522
nach	0,02
$\Delta$	3,502
$X_{P1}$	175,1 [kg/kg]

nach Trocknung	m[g]
vor	0,112
nach	0,101
$\Delta$	0,011
$X_{P2}$	0,109 [kg/kg]

Mit  $\rho_{Tee}=0,9953 \text{ kg/L}$  und Pumpflow  $V_{H2O} 0,3156 \text{ L/h}$

Dieser Dichtewert war nicht in den übermittelten Daten enthalten. Es wurde aber die Dichte von grünem Tee ermittelt, welche diese Gruppe hätte messen sollen. Dieser Wert wurde hier verwendet.

$$\dot{m}_D = 0,312 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_L = 40,54 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{Asp} = 41,17 \text{ kg/h}$$

#### 5.2.5 Wärme- bzw. Energiebilanz

$$\dot{m}_L H_1 + \dot{m}_{P1} H_{P1} + \dot{Q} = \dot{m}_L H_2 + \dot{m}_{P2} H_{P2} + \dot{Q}_V$$

Der Term  $\dot{m}_{P1} H_{P1}$  setzt sich zusammen aus dem Gutanteil und dem Wasseranteil.

$\dot{m}_{P1} H_{P1} = \dot{m}_D H_D + \dot{m}_{gut} H_{gut}$  Es wird nun angenommen, dass sich die Wärmemenge des

Guts kaum verändert und nach dem Trockenvorgang somit  $\dot{m}_{p2} H_{p2}$  entspricht. Somit vereinfacht sich die Energiebilanz zu:

$$\dot{m}_L H_1 + \dot{m}_D H_D + \dot{Q} = \dot{m}_L H_2 + \dot{Q}_V$$

$\dot{m}_L$  und  $\dot{m}_D$  wurden bereits im Zuge der Massenbilanzerstellung ermittelt.  $H_1$  und  $H_2$  sind durch das Mollier-Diagramm gegeben und können der Zustandstabelle im Anhang entnommen werden. Es muss noch der Wärmeverlust  $\dot{Q}_V$  berechnet werden, um die investierte Wärme ermitteln zu können.

Der Wärmeverlust wird durch die Differenz zwischen der gesamten Wärme im Trockenzylinder und der für die Verdampfung benötigten Wärme abgeschätzt (entspricht einer Wärmebilanz über den Trockenzylinder).

$$\dot{Q}_V = \dot{Q}_{Zylinder} - \dot{Q}_{Verdampfung}$$

### 5.2.6 Wasserbetrieb:

Wärme im Trockenzylinder:  $\dot{Q}_{Zylinder} = \dot{m}_L c_{p,L} \Delta T$

$c_{p,L}$  ist temperaturabhängig und muss daher aus den im VO-Skriptum „Thermische Verfahrenstechnik I“ auf Seite 11.4 tabellierten  $c_{p,L}$ -Werten für die mittlere Temperatur im Trockenzylinder interpoliert werden.

bei T = (°C)	0	50	100	150
Wärmekap. Luft	1,0061	1,0069	1,0086	1,0103

Interpolation:  $c_p$  von trockener Luft

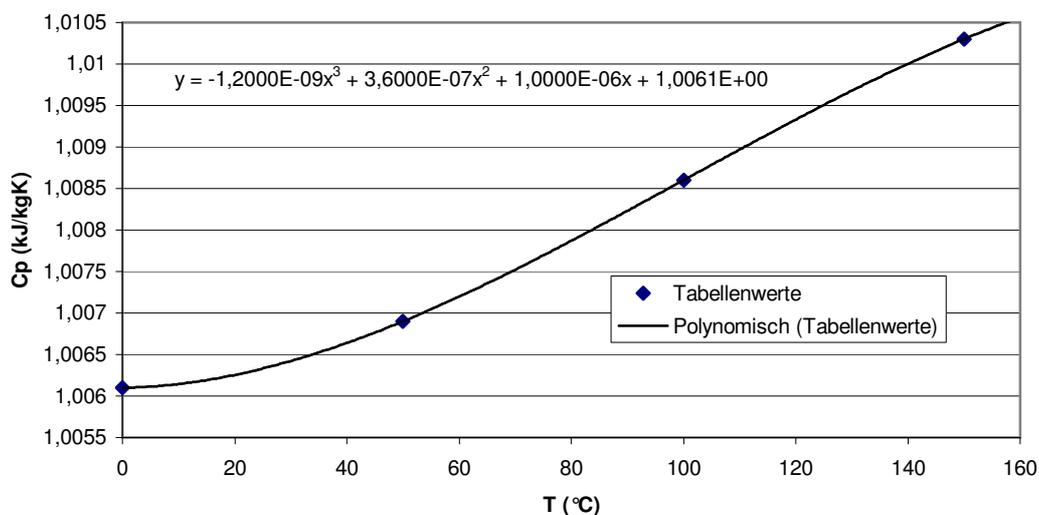


Diagramm 2: Interpolation der spezifischen Wärmekapazität trockener Luft

Somit erhält man für eine mittlere Kolonnentemperatur von 133,5°C eine Wärmekapazität  $c_{p,L}=1,00979439 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$

Mit  $c_{p,L}=1,00979439 \text{ kJ/kgK}$ ,  $\dot{m}_L = 37,13 \text{ kg/h}$  und  $\Delta T=52 \text{ } ^\circ\text{C}$  ergibt sich

$$\dot{Q}_{\text{Zylinder}} = 1950 \text{ kJ/h}$$

Verdampfungswärme:  $\dot{Q}_{\text{Verdampfung}} = \dot{m}_D \cdot H_{V,0}$

Mit  $H_{V,0}$  von Wasser = 2500kJ/kg und  $\dot{m}_D = 0,3156 \text{ kg/h}$  folgt für

$$\dot{Q}_{\text{Verdampfung}} = 789 \text{ kJ/h}$$

**Wärmeverlust:**  $\dot{Q}_V = \dot{Q}_{\text{Zylinder}} - \dot{Q}_{\text{Verdampfung}} = 1161 \text{ kJ/h}$

$$\dot{Q} = \dot{m}_L H_2 + \dot{Q}_V - \dot{m}_L H_1 - \dot{m}_D H_D$$

$H_D$  wird über folgenden Zusammenhang ermittelt:

$$H_D = c_{p,H_2O} \cdot T$$

Mit  $c_{p,H_2O} = 4,18 \text{ kJ/kg K}$   $T = T_{in} = 22^\circ\text{C} = 295,15 \text{ K}$

**$H_D=1233 \text{ kJ/kg}$**

Somit erhält man

$$\dot{Q} = 2666 \text{ kJ/h}$$

Als Wirkungsgrad führt man ein:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{\text{Verd}}}{\dot{Q}}$$

$$\eta = 29,6 \%$$

Auf analoge Weise wurden die Werte für Tee und Bier erhalten. Diese sind in der folgenden Tabelle ausgewiesen.

### 5.2.7 Tee & Bier

Bier	mittlere Temp. in Trockenzylinder [°C]	$c_{pL}$ bei 96°C	$\Delta T$ [°C]	$Q_{\text{Zylinder}}$ [kJ/h]	$Q_{\text{verdampf}}$ [kJ/h]	$Q_v$ [kJ/h]	$Q$ [kJ/h]	$\eta$
		96	1,00845	73	2037	1453	584	1697
Tee	mittlere Temp. in Trockenzylinder [°C]	$c_{pL}$ bei 114°C	$\Delta T$ [°C]	$Q_{\text{Zylinder}}$ [kJ/h]	$Q_{\text{verdampf}}$ [kJ/h]	$Q_v$ [kJ/h]	$Q$ [kJ/h]	$H$
		114	1,00911	52	2127	780	1347	2585

## 5.3 Ausbeute und Produktverteilung

### 5.3.1 Bier

Trocken- zylinder [g]	Zyklon [g]	Tropfenfänger [g]	Abgasknie [g]	Verbindungsstück [g]	Produktsammelgefäß [g]
6,8	3,3	0,1	0	0,2	2,2
<b>Einwaage</b>	<b>Auswaage</b>				
562,9	349,3				

Ausgewogene Masse [g]	Trockenmasse [g]
12,6	11,29
<b>Eingesprühte Masse</b>	
213,6	11,99
<b>Verlust</b>	<b>0,69</b>
<b>Ausbeute Menge</b>	<b>94,21 %</b>

Restfeuchte: 9,76 %

### 5.3.2 Tee

Trocken- zylinder [g]	Zyklon [g]	Tropfenfänger [g]	Abgasknie [g]	Verbindungsstück [g]	Produktsammelgefäß [g]
0,5	0,6	0	0	0,1	0,63
<b>Einwaage</b>	<b>Auswaage</b>				
555	231,1				

Ausgewogene Masse [g]	Trockenmasse [g]
1,83	1,65
<b>Eingesprühte Masse</b>	
323,9	1,84
<b>Verlust</b>	<b>0,19</b>
<b>Ausbeute Menge</b>	<b>89,72 %</b>

Restfeuchte: 9,82%

## 6 Diskussion und Fehleranalyse

### 6.1 Diskussion

Die Werte für die Massen- und Wärmebilanzen liegen sowohl bei Wasser als auch bei Tee in der gleichen Größenordnung, was möglicherweise auf ähnliche Betriebsbedingungen (Dichte sehr nahe jener von Wasser) zurückführbar ist. Erstaunlich sind die Ergebnisse für Bier. Hier kann nämlich gegenüber den anderen beiden Untersuchungen ein durchaus hoher Wirkungsgrad von 86% erzielt werden. Möglicherweise ist dies auf die Veränderung der Betriebsbedingungen während des Versuchs zurückzuführen, da hier der Pump flow von 10 auf 40% gesteigert wurde. Es könnte aber auch sein, dass für dieses System hier ein optimales Verhältnis zwischen Produktflow und Temperatur erzielt wurde, sodass deshalb diese Ergebnisse zustande kommen.

Die thermischen Wirkungsgrade der Anlage sind bei den anderen zwei Versuchen nicht sehr zufrieden stellend, betragen sie doch nur um die 30 % für Wasser und Tee.

Da es sich bei der Trocknung um einen energetisch sehr aufwendigen Prozess handelt, würde die Erhöhung des thermischen Wirkungsgrads eine erhebliche Kosteneinsparung und somit Gewinnsteigerung ergeben. Außerdem bedeutet geringerer Energieverbrauch auch geringeren Anteil des Produktes/Betriebes an der Umweltverschmutzung.

Es gilt ein Optimum zwischen optimalem thermischem Wirkungsgrad und vertretbaren Wärmeverlusten zu finden. Der thermische Wirkungsgrad könnte zum Beispiel durch Ausnutzung der Verlustwärme als Vorwärmstufe der zu trocknenden Lösung verbessert werden. Zudem würde eine Isolierung sicherlich große Einsparungen erzielen.

Um den optimalen thermischen Wirkungsgrad zu finden, wäre es notwendig bei verschiedenen Temperaturen den Versuch durchzuführen und die Ergebnisse auf Wirtschaftlichkeit hin (Vorwärmung durch Abwärme ...) zu prüfen.

### 6.2 Fehlerbetrachtung

Die Anzeigegenauigkeit des Messgeräts für Temperatur und Luftfeuchtigkeit betrug für die Temperatur  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  und für die relative Luftfeuchtigkeit  $\pm 0,1$ . Der tatsächliche Messfehler liegt wahrscheinlich etwas höher, ist aber dennoch vernachlässigbar, da die so erhaltenen Werte mit Hilfe des Mollier-Diagramms ausgewertet wurden, wobei wesentlich höhere Fehler entstehen können.

Die Messwerte von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit wurden zur Ermittlung der Feuchtebelastung und der Enthalpie mit dem Mollier-Diagramm verwendet. Dazu mussten zum Teil Zwischenlinien abgeschätzt werden, was v.a. bei der relativen Luftfeuchtigkeit etwas schwierig war. Die dabei entstehenden Fehler weisen sicher den größten Anteil am Gesamtfehler auf. Weiters stellt auch die Temperatur eine Fehlerquelle dar, da sie bei den Berechnungen oft direkt proportional und linear in die Berechnungen miteingeht.

Zur Bestimmung der Ausbeute wurden die Teile der Anlage abgewogen und nach dem Trockenprozess rückgewogen. Dabei wurden große Massen und kleine Massendifferenzen gemessen. Die Waage hat eine Genauigkeit von  $\pm 0,1\text{g}$ . Wägefehler sind jedoch im Vergleich zum Fehler im Mollier-Diagramm vernachlässigbar gering.

Die Trockenwaage hat eine Messgenauigkeit von  $\pm 0,001\text{g}$ . Messfehler liegen je nach Feuchtebeladung des untersuchten Materials (die Rohstoffe haben eine wesentlich höhere Feuchtebeladung als die Trockenprodukte) in einem Bereich von 0,1 bis 10%. Diese Fehler wirken sich auf die Bilanzen und die Ausbeuteberechnung aus.

Für die Berechnungen wurden einige Vereinfachungen getroffen, deren mögliche Fehler in den nächsten Punkten diskutiert werden. Diese Vereinfachungen waren nötig, da ein direkter Zugang zu den entsprechenden Daten (zum Teil durch fehlende Messeinrichtungen) nicht möglich bzw. deren Erfassung in der Übung nicht vorgesehen waren.

Da die Schlauchquetschpumpe einen konstanten Volumenstrom fördert, musste der für die Massenbilanz nötige Eingangsmassenstrom über die Dichten berechnet werden. Es wurde angenommen, dass die in Wasser gelöste Trockensubstanz nur mit ihrer Masse und kaum durch ihr Volumen zur Dichte beiträgt. Der Fehler der dabei gemacht wurde, wirkt sich auf alle aus der Massenbilanz errechneten Werte aus, wird quantitativ aber nicht sehr hoch sein.

Es wurde auch die Annahme getroffen, dass das getrocknete Produkt dieselbe Wärmemenge beinhaltet wie das ungetrocknete. Diese Annahme wird zwar soweit zulässig sein dennoch ist eine Aussage über die Größe des Fehlers nur schwer machbar.

## 7 Anhang

### 7.1 Werte der Zustandspunkte aus dem Mollier Diagramm

<b>Wasser</b>	<b>T<sub>1</sub> [°C]</b>	<b>φ<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>1</sub> [kg/kg]</b>	<b>H<sub>1</sub> [kJ/kg]</b>	<b>T<sub>2</sub> [°C]</b>	<b>φ<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>2</sub> [kg/kg]</b>	<b>H<sub>2</sub> [kJ/kg]</b>
	36,7	0,16	0,0055	50	62	0,095	0,014	100
<b>Bier</b>	<b>T<sub>1</sub> [°C]</b>	<b>φ<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>1</sub> [kg/kg]</b>	<b>H<sub>1</sub> [kJ/kg]</b>	<b>T<sub>2</sub> [°C]</b>	<b>φ<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>2</sub> [kg/kg]</b>	<b>H<sub>2</sub> [kJ/kg]</b>
	36,2	0,273	0,01	63	49,7	0,39	0,031	129
<b>Tee</b>	<b>T<sub>1</sub> [°C]</b>	<b>φ<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>1</sub> [kg/kg]</b>	<b>H<sub>1</sub> [kJ/kg]</b>	<b>T<sub>2</sub> [°C]</b>	<b>φ<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>2</sub> [kg/kg]</b>	<b>H<sub>2</sub> [kJ/kg]</b>
	34,9	0,219	0,0078	54	53,5	0,175	0,0155	94

### 7.2 Umgebungsbedingungen

Die Umgebungsbedingungen wurden zu Beginn, in der Mitte und am Ende des Versuchs gemessen. Sie betragen:

	Wasser	Bier	Tee
Temperatur Luftansaugung [°C]	36,7	36,2	34,9
Rel. Luftfeuchte	16	27,3	21,9
Luftdruck [mbar]	1010	1012	1010

## Mollierdiagramm

siehe nächste Seite

### 7.3 Versuchsdaten