

Flüssig-Flüssig-Extraktion eines Dreistoffgemisches

1. Einführung

Die Flüssig-Flüssig-Extraktion ist ein Verfahren zur Abtrennung einer oder mehrerer Komponenten aus einer Lösung durch Herauslösen mit einem geeigneten Lösungsmittel. Dabei wird das physikalische Phänomen ausgenutzt, dass manche Flüssigkeiten ineinander unlöslich oder nur wenig löslich sind. Ein Gemisch aus zwei solchen Flüssigkeiten ist nicht homogen, sondern es bilden sich zwei flüssige Phasen, die leicht voneinander getrennt werden können. Ein Beispiel dafür ist ein Gemisch aus Öl und Wasser, wo eine klare Phasentrennung zu beobachten ist. Ist in diesem Gemisch nun eine dritte Komponente vorhanden, die sich vorzugsweise in einer der beiden Phasen löst, so wird diese Komponente nach der Phasentrennung hauptsächlich in dieser Phase zu finden sein, auch wenn sie ursprünglich in der anderen Phase vorkam.

Somit hat bei einer Flüssig-Flüssig-Extraktion die Wahl eines geeigneten Lösungsmittels eine zentrale Bedeutung. Soll eine Komponente A, die zu Beginn in Flüssigkeit B gelöst ist, extraktiv abgetrennt werden, so wird ein Lösungsmittel L benötigt, in dem sich A besser als in B löst. Eine Trennung ist aber nur dann möglich, wenn die beiden Flüssigkeiten B und L ineinander unlöslich oder nur wenig löslich sind. Die Flüssigkeit A wird hierbei als Übergangskomponente bezeichnet, da sie aus der Lösung A-B in die Lösung A-L übertritt. Der Übergang wird durch intensive Durchmischung der Flüssigkeiten beschleunigt. Als Folge bildet sich eine Schichtung zweier Phasen aus:

- **Extrakt E** = L + übergegangenes A + wenig B (= lösungsmittelreiche Phase)
- **Raffinat R** = B + Restmenge A + wenig L (= lösungsmittelarme Phase)

Die Flüssig-Flüssig-Extraktion wird dann eingesetzt, wenn eine Trennung der Lösung A-B durch andere Verfahren (wie Destillation) nicht möglich oder nicht wirtschaftlich ist. Die Abtrennung der reinen Komponente A aus der Extraktphase soll dagegen in einem darauffolgenden Prozessschritt leichter erfolgen. Die Trennung zweier Komponenten A und B mit Hilfe eines Lösungsmittels L ist nur der einfachste Fall. Bei der technischen Anwendung liegen oft n-Stoffgemische vor.

2. Grundlagen

2.1 Darstellung eines Dreistoffgemisches im Dreiecksdiagramm

Das Dreistoffgemisch bei der Extraktion besteht aus A (Übergangskomponente), B (abgebende Komponente) und L (Lösungs- oder Extraktionsmittel). Der Massenanteil jeder Komponente, z.B. von A, im Gemisch ist definiert als

$$x_A = \frac{\text{Masse an Komponente A}}{\text{Gesamtmasse (A+B+L)}} \quad (\text{Gl.1})$$

Da der Massenteil sich stets auf die Gesamtmasse der Mischung bezieht, muss für jedes beliebige Mischungsverhältnis der 3 Komponenten gelten:

$$x_{A,M} + x_{B,M} + x_{L,M} = 1 \quad (\text{Gl.2})$$

Die Zusammensetzungen (d.h. Konzentrationen bzw. Massenanteile) der Dreistoffgemische werden üblicherweise in einem sog. Dreiecksdiagramm dargestellt (vgl. Abb. 1).

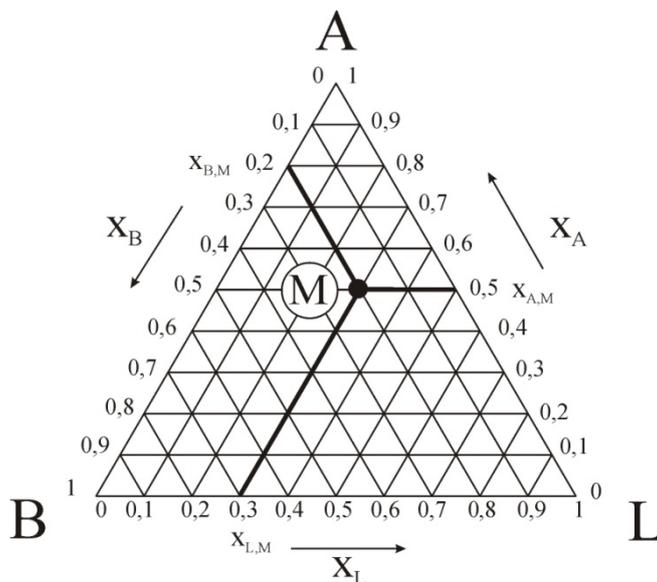


Abb. 1: Dreiecksdiagramm

Das Dreiecksdiagramm weist folgende Charakteristiken auf:

- **Eckpunkte** stellen die reinen Komponenten A, B bzw. L dar.
- **Dreiecksseiten** stellen Zweistoffgemische aus den beiden Komponenten dar, welche die Seite begrenzen.
- **Punkte innerhalb des Diagramms** stellen Dreistoffgemische dar, welche alle drei Komponenten beinhalten.

Beispiel: Der Punkt **M** in Abb. 1 entspricht einem Gemisch mit der Zusammensetzung $x_{A,M} = 0,5$, $x_{B,M} = 0,2$ und $x_{L,M} = 0,3$ (Bedingung $x_{A,M} + x_{B,M} + x_{L,M} = 1$ ist erfüllt). Die Zusammensetzungen können wie dargestellt an den Seiten abgelesen werden.

2.2 Regeln im Dreiecksdiagramm

Folgende Regeln gelten im Dreiecksdiagramm für Dreistoffgemische:

- Durch die Angabe zweier Konzentrationen (Massenanteile) ist jede Mischung eindeutig festgelegt (vgl. Gl.2)
- **Mischungsregel:** Vereinigt man zwei Gemische **E** und **R**, so liegt die resultierende Mischung auf der Verbindungsgeraden \overline{RM} (siehe Abb. 2). Die Konzentrationen der Mischung **M** lassen sich rechnerisch durch Massenbilanzen oder graphisch durch Anwendung des Hebelgesetzes ermitteln, welche im Folgenden erklärt werden.

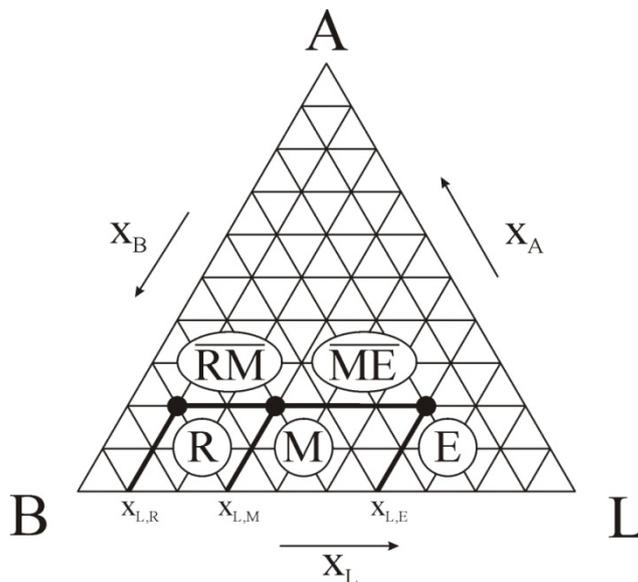


Abb. 2: Mischungsregel und Hebelgesetz

2.2.1 Rechnerische Lösung

Die Massen der Phasen werden jeweils mit dem Großbuchstaben benannt.

$$\text{Gesamtmassenbilanz: } E + R = M \quad (\text{Gl.3})$$

$$\begin{aligned} \text{Komponentenbilanz (für L): } E \cdot x_{L,E} + R \cdot x_{L,R} &= M \cdot x_{L,M} \\ &= (E + R) \cdot x_{L,M} \end{aligned} \quad (\text{Gl.4})$$

In Gl.3 und Gl.4 bedeuten E, R und M die Gesamtmassen von Extrakt, Raffinat und entstehender Mischung, während die Produkte $E \cdot x_{L,E}$, $R \cdot x_{L,R}$ und $M \cdot x_{L,M}$ jeweils nur die Masse an L (Lösungsmittel) im Extrakt, Raffinat bzw. in der Mischung darstellen. Die Gleichungen setzen voraus, dass kein Masseverlust auftritt.

Der Massenanteil des Lösungsmittels in der Mischung ergibt sich damit zu:

$$x_{L,M} = \frac{x_{L,E} \cdot E + x_{L,R} \cdot R}{E + R} \quad (\text{Gl.5})$$

Analoge Vorgehensweise für A und B liefert die Massenanteile $x_{A,M}$ und $x_{B,M}$.

2.2.2 Graphische Lösung (Hebelgesetz)

Gl.4 lässt sich auch umstellen zu:

$$(x_{L,E} - x_{L,M}) \cdot E = (x_{L,M} - x_{L,R}) \cdot R \quad (\text{Gl.6})$$

Betrachtet man in Gl.6 die Massen E und R als Kräfte (d.h. Vektoren) und die Konzentrationsunterschiede $(x_{L,E} - x_{L,M})$ und $(x_{L,M} - x_{L,R})$ als Hebelarme der wirkenden Kräfte, so kann Gl.6 über den Ähnlichkeitssatz für Dreiecke als Hebelgesetz verstanden werden (s. Gl.7).

$$\underbrace{\text{Kraft } \vec{E}}_{\text{Masse E}} \cdot \underbrace{\text{Hebelarm } \overline{ME}}_{x_{L,E} - x_{L,M}} = \underbrace{\text{Kraft } \vec{R}}_{\text{Masse R}} \cdot \underbrace{\text{Hebelarm } \overline{RM}}_{x_{L,M} - x_{L,R}} \quad (\text{Gl.7})$$

Das Hebelgesetz folgt aus der Mechanik für Momentengleichgewicht um einen Drehpunkt (vgl. Abb. 3).

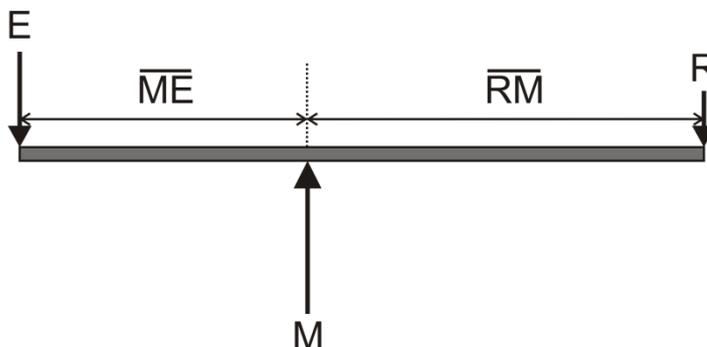


Abb. 3: Hebelgesetz (Momentengleichgewicht)

Aus dieser Kräftebilanz ergibt sich nach Gl.3 und Gl.7 für die Masse an Raffinat (R) das Hebelgesetz mit folgenden Umformungen:

$$E = M - R \quad (\text{Gl.3})$$

$$E \cdot \overline{ME} = R \cdot \overline{RM} \quad (\text{Gl.7})$$

$$(M - R) \cdot \overline{ME} = R \cdot \overline{RM}$$

$$M \cdot \overline{ME} = R \cdot \underbrace{(\overline{RM} + \overline{ME})}_{=\overline{RE}}$$

$$\rightarrow \frac{R}{M} = \frac{\overline{ME}}{\overline{RE}} \quad (\text{Hebelgesetz}) \quad (\text{Gl.8})$$

Auf die gleiche Weise lässt sich das Hebelgesetz zur Bestimmung der Masse an Extrakt (E) ausdrücken:

$$\frac{E}{M} = \frac{\overline{RM}}{\overline{RE}} \quad (\text{Gl.9})$$

2.3 Mischungslücke

Ist das Zweistoffgemisch der Komponenten B und L im Konzentrationsbereich zwischen I und J unlöslich (s. Abb. 4), so ist eine jede Mischung innerhalb dieses Bereiches nicht existenzfähig, sondern zerfällt in die beiden Phasen I und J. Man spricht von einer *Mischungslücke*. Diese Zweistoffmischungslücke breitet sich durch Zumischung von A ins Dreistoffgebiet aus. Es ergibt sich ein Konzentrationsgebiet, in welchem keine homogene Mischung existiert.

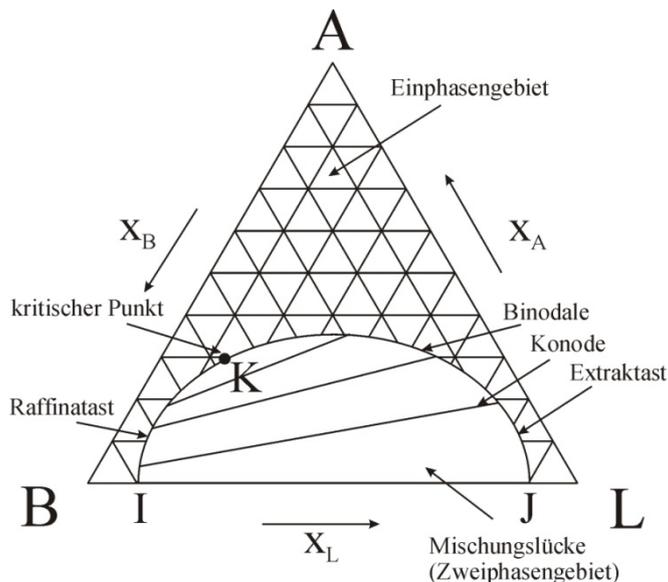


Abb. 4: Dreiecksdiagramm eines Dreistoffgemisches mit Mischungslücke

Zur Beschreibung des Stoffsystems im Diagramm werden folgende Begrifflichkeiten verwendet:

- **Binodale:** Bezeichnet die Kurve IJ , die das Gebiet der Mischungslücke (Zweiphasengebiet) vom Bereich vollständiger Mischbarkeit abtrennt. Im Gebiet vollständiger Mischbarkeit existiert nur eine homogene flüssige Phase, d.h. alle Komponenten lösen sich vollständig (Einphasengebiet).
- **Konode:** Eine Mischung M im Zweiphasengebiet ist instabil und zerfällt in die Gleichgewichtsphasen R (Raffinat) und E (Extrakt). Die Verbindungsgeraden der Gleichgewichtspunkte von Mischungen werden als Konoden bezeichnet und verlaufen jeweils durch deren fiktiven Mischungspunkt M .
- **Kritischer Punkt (K):** Der kritische Punkt stellt die Grenze des Zweiphasengebietes dar. Ab diesem Punkt findet keine Entmischung mehr statt. Der kritische Punkt teilt die Binodale in den Raffinat- und den Extraktast, auf welchen die Raffinat- und Extraktspunkte respektive liegen.

2.4 Darstellung der Extraktion im Dreiecksdiagramm

Bringt man eine Lösung F aus A und B mit dem reinen Lösungsmittel L in innigen Kontakt (z.B. durch Schütteln), so erhält man eine Mischung M auf der Verbindungsgeraden \overline{FL} (s. Abb. 5, linke Darstellung). Entsprechend dem eingesetzten Massenverhältnis von F zu L liegt der Mischungspunkt M nach dem Hebelgesetz im Einphasen- oder Zweiphasengebiet. Für die Extraktion muss M im Zweiphasengebiet liegen, so dass infolge der Instabilität (Mischungslücke) das Gemisch in die Gleichgewichtszustände E und R zerfällt. Dies geschieht entlang der Konode durch M. Die Massen und Konzentrationen der ausgeschüttelten Extrakt- und Raffinatphasen (E und R) können nach dem Hebelgesetz entlang der Konode und aus der vorgegebenen Mischung M ermittelt werden. Die einstufige Extraktion ist nach Trennung des Raffinats und des Extrakts beendet.

Eine mehrstufige Extraktion wird dadurch erreicht, dass das jeweils entstandene Raffinat (R) mit neuem Lösungsmittel (L) gemischt wird. Es ergibt sich erneut ein fiktiver Mischungspunkt, welcher entlang der durch diesen Punkt verlaufenden Konode in die entsprechende Raffinat- und Extraktphase zerfällt. Wie im rechten Diagramm in Abb. 5 für eine zweistufige Extraktion dargestellt, verarmt das Raffinat mit der Stufenzahl an Komponente A, d.h. bei ausreichend hoher Anzahl an Extraktionsstufen n kann praktisch die gesamte Übergangskomponente A aus dem Ursprungsgemisch F herausgelöst werden.

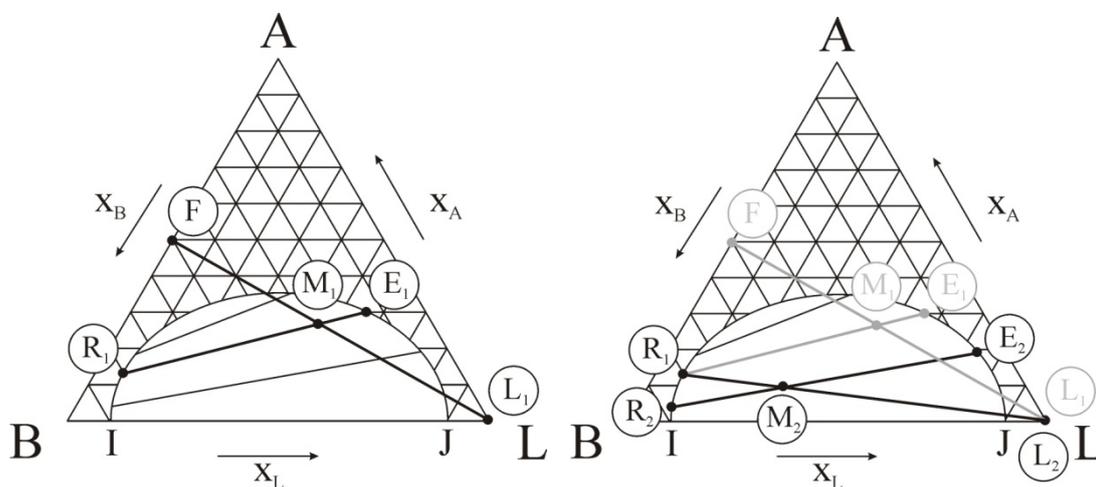


Abb. 5: Extraktion im Dreiecksdiagramm: links einstufig, rechts zweite Stufe

3. Messverfahren zur Konzentrationsbestimmung

3.1 Konzentrationsbestimmung eines Zweistoffgemisches

Ziel ist die Bestimmung einer physikalischen Größe Z , die eine eindeutige Funktion der Gemischzusammensetzung ist. Das Messergebnis wird als Kalibrierkurve Z über der Konzentration dargestellt. Bei Flüssigkeiten misst man häufig die Dichte ρ oder den Brechungsindex n , woraus dann mittels der Kalibrierkurve die vorliegende Konzentration abgelesen werden kann. Bei diesem Versuch soll die Dichte mit einer Spindel (Aräometer) gemessen werden.

Funktionsprinzip des Aräometers:

Je nach Dichte der Flüssigkeit sinkt die Spindel mehr oder weniger tief ein. Bei der Messung wird das Kräftegleichgewicht zwischen Auftriebskraft F_A und Gewichtskraft F_G ausgenutzt. Die Auftriebskraft ergibt sich aus der Verdrängung der Flüssigkeit durch das Eintauchen der Spindel. Wenn die Spindel eine bleibende (stationäre) Eintauchtiefe erreicht hat, müssen beide Kräfte gleich groß sein. Auf der Skala der Spindel kann dann am Meniskus direkt die Dichte der Flüssigkeit abgelesen werden (vgl. Abb. 6).

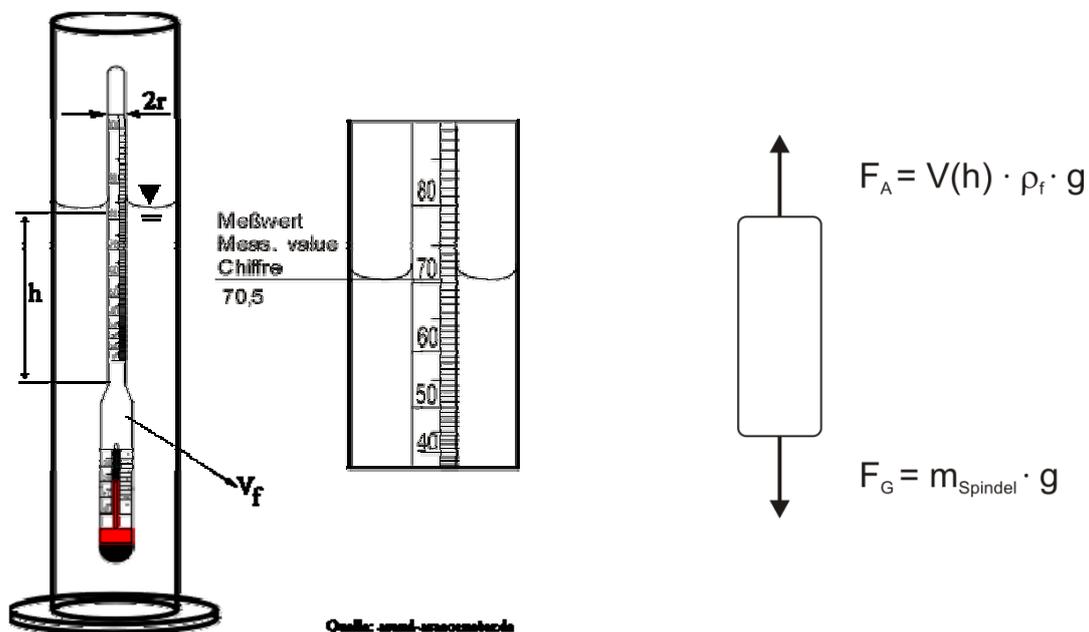


Abb. 6: Messprinzip der Spindel

Für Auftriebs- und Gewichtskraft gilt:

$$(Gl.10)$$

$$(Gl.11)$$

Somit ergibt sich für die Dichte in Abhängigkeit der variablen Eintauchtiefe (h):

$$\rightarrow \rho_f = \frac{m_{\text{Spindel}}}{V_f + \pi \cdot r^2 \cdot h} \quad \rightarrow \quad \rho_f = f(h) \quad (\text{Gl.12})$$

3.2 Konzentrationsbestimmung eines Dreistoffgemisches

Bei Dreistoffgemischen sind die Konzentrationen zweier Komponenten zu messen, um die Zusammensetzung (d.h. Konzentrationen aller Komponenten) bestimmen zu können. Im Gegensatz zu einem Zweistoffgemisch, für welches ein direkter Zusammenhang zwischen der gemessenen Dichte und der Konzentrationen der beiden Komponenten bestimmt werden kann, müssen für Dreistoffgemische im Allgemeinen zwei voneinander unabhängige, konzentrationsabhängige physikalische Größen bestimmt werden. Nur auf diese Weise ließe sich die Zusammensetzung für jeden Punkt im Dreiecksdiagramm eindeutig bestimmen.

In dem hier durchgeführten Versuch sollen jeweils die Konzentrationen für das Raffinat bzw. das Extrakt (beides Dreistoffgemische) bestimmt werden, allerdings nur durch Messung einer physikalischen Größe (Dichte). Dies ist entgegen der zuvor genannten Bedingung möglich, da sich die Zusammensetzungspunkte (R und E) der beiden Gemische stets auf der Binodalkurve (Gleichgewichtszustände) befinden. Dies stellt eine Bedingung dar, aufgrund welcher die gemessene Dichte eindeutig der zu bestimmenden Konzentration zugeordnet werden kann. Die Konzentration kann also mittels einer entsprechenden Kalibrierkurve als Funktion der physikalischen Größe (Dichte) abgelesen werden.

Für die Versuche sind folgende Kalibrierkurven vorhanden:

- Kalibrierkurve für das zu extrahierende **Zweistoffgemisch**:

$$\rho = \rho(x_A) \quad \text{bzw.} \quad x_A = x_A(\rho)$$

- Kalibrierkurve für das **Dreistoffgemisch**, aufgeteilt in **Raffinat-/ Extraktast**:

$$x_{A,R} = x_{A,R}(\rho_R) \quad \text{für } \mathbf{R} \quad \text{und} \quad x_{A,E} = x_{A,E}(\rho_E) \quad \text{für } \mathbf{E}$$

4. Versuchsaufbau und –durchführung

4.1 Aufgabe

Aus dem Zweistoffgemisch **Butanol (A)**/ **Heptan (B)** soll bei ca. 25 °C das Butanol mit dem **Lösungsmittel Glykol (L)** extrahiert werden. Es sind eine einstufige und eine zweistufige Extraktion durchzuführen. Folgende Hinweise sind zu beachten:

- Bei den vorhandenen Raumtemperaturen kann infolge des Dampfdruckes von n-Butanol und Heptan bei Sättigung der Explosionsbereich erreicht werden.
- Alle Arbeitsgänge dürfen nur unter dem Abzug durchgeführt werden. Die Anweisungen der Betreuer sind unbedingt beachten!

- Sicherheitsrelevante Daten:

n-Butanol: MAK-Wert: 300 [mg/m³]
 Explosionsgrenzen in Luft: 43 [g/m³] (untere)
 350 [g/m³] (obere)
 Hautresorption. Entzündlich. Gesundheitsschädlich beim Einatmen (Xn). Von Zündquellen fernhalten – Nicht rauchen.

Heptan: MAK-Wert: 2000 [mg/m³]
 Explosionsgrenzen in Luft: 46 [g/m³] (untere)
 280 [g/m³] (obere)
 Leichtentzündlich (F). Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren. Von Zündquellen fernhalten – Nicht rauchen.
 Gas/Dampf/Rauch/Aerosol nicht einatmen. Nicht in die Kanalisation gelangen lassen. Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladung treffen.

Glykol MAK-Wert: - [mg/m³]
 Explosionsgrenzen in Luft: 80 [g/m³] (untere)
 1320 [g/m³] (obere)
 Gesundheitsschädlich beim Verschlucken (Xn).

- Reinstoffdichten:

n-Butanol: 806 [kg/m³]
Heptan: 681 [kg/m³]
Glykol: 1112 [kg/m³]

4.2 Versuchsdurchführung

Für die ein- und zweistufige Extraktion sind zu Beginn die gleichen Ausgangsmischungen **F** mit **F = 190 g** aus Butanol und Heptan mit $x_{A,F} = x_{B,F} = 0,5$ herzustellen.

Prinzipielle Vorgehensweise:

Das Gemisch mit der zu extrahierenden Komponente und das Lösungsmittel werden in einen Scheidetrichter gegeben. Dieser wird geschlossen und beide Phasen zur Vermischung gut durchgeschüttelt. Anschließend lässt man die Phasen setzen, bis eine klare Phasentrennung zu erkennen ist. Beide Phasen sollten homogen sein. (vgl. Abb. 7)

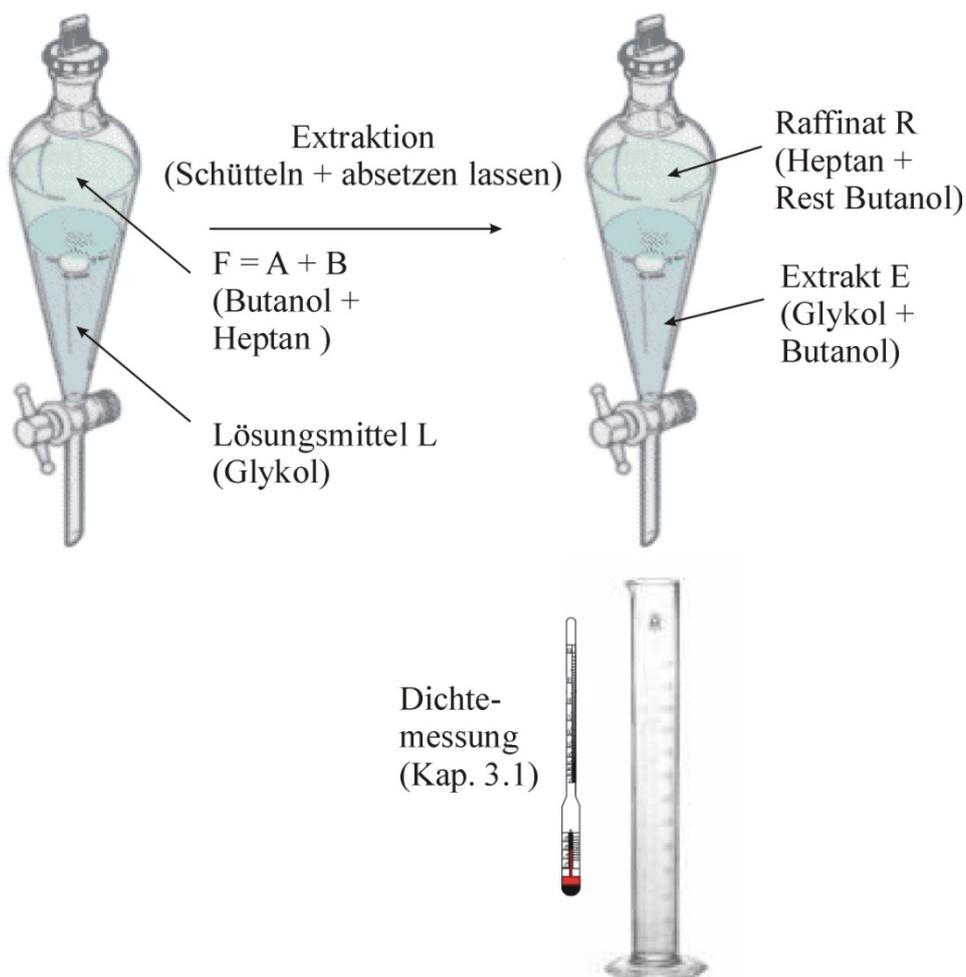


Abb. 7: Versuchsaufbau und Schema zur Durchführung der Extraktion

4.2.1 Einstufige Extraktion – Durchführung

Folgendes Schema gibt einen Überblick über den Ablauf der einstufigen Extraktion.

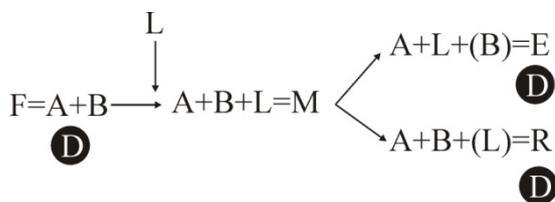


Abb. 8: Flussdiagramm zur einstufigen Extraktion ($D =$ Dichtemessung)

- Die benötigten leeren Gefäße tarieren, anschließend Butanol (A) und Heptan (B) abwiegen.
- Die Ausgangsmischung F herstellen und eine Konzentrationskontrolle durch Dichtemessung ausführen.
- Das Lösungsmittel Glykol abwiegen, so dass später für die Konzentrationen in der Mischung M gilt: $x_{L,M} = 0,5$; $x_{A,M} = x_{B,M} = 0,25$
- Ausgangsmischung F und Lösungsmittel L in den Scheidetrichter einfüllen und durch intensives Schütteln Extraktion ausführen. Danach das Gemisch ruhen lassen, bis eine klare Phasentrennung (Schichtung) eintritt.
- Die Massen E und R durch Wägung bestimmen, dazu die Phasen in getrennte Gefäße ablassen.
- Eine Dichtebestimmung der Phasen E und R durchführen, welche zuvor auf 25 °C temperiert werden müssen (Dichte ist temperaturabhängig).

Die hierbei bestimmten Werte werden in die Auswertungstabelle jeweils in der Spalte „experimentell“ eingetragen.

4.2.2 Zweistufige Extraktion - Durchführung

Die Vorgehensweise für die jeweiligen Stufen entspricht der unter Kap. 4.2.1 beschriebenen, wobei für die 1. Stufe **90 g Glykol**, für die **2. Stufe 25 g Glykol** zu verwenden sind. Das Raffinat der ersten Stufe wird zum Ausgangsgemisch der zweiten Stufe.

Zusammengefasst erhält man für die zweistufige Extraktion folgendes Schema:

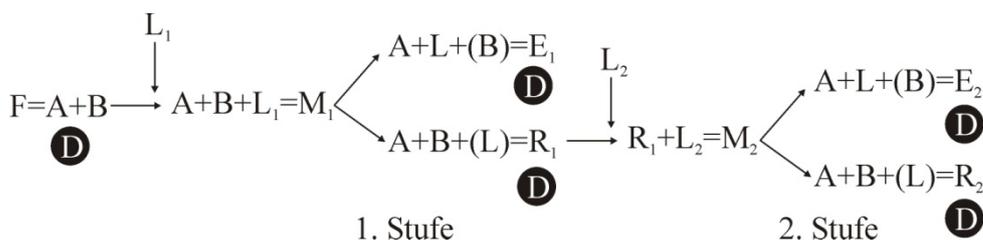


Abb. 9: Flussdiagramm zur zweistufigen Extraktion ($D =$ Dichtemessung)

4.3 Auswertung

Die Auswertung der zweistufigen Extraktion erfolgt in jeder Stufe analog zur einstufigen Extraktion.

4.3.1 Versuchsauswertung – Vorgehensweise (Spalte „experimentell“)

- Bestimmung von $x_{A,E}$ für **E** und $x_{A,R}$ für **R** mit Hilfe der vorliegenden Kalibrierkurve aus der **Dichtemessung**
- Ermittlung von $x_{A,E}$ für **E** und $x_{A,R}$ für **R** im **Dreiecksdiagramm**
- Ermittlung der Massen $m_{A,E}$, $m_{B,E}$ und $m_{L,E}$ für **E** und $m_{A,R}$, $m_{B,R}$ und $m_{L,R}$ für **R** mit Gl.1.

4.3.2 Theoretische Betrachtung – Vorgehensweise (Spalte „grafisch“)

- Bestimmung der **Lage des Mischungspunktes M** nach dem **Hebelgesetz** entlang \overline{FL}
- Bestimmung der **Massen E und R** nach dem **Hebelgesetz** entlang der Konode durch M
- Bestimmung der **Massenanteile** $x_{A,E}$, $x_{B,E}$ und $x_{L,E}$ für **E** und $x_{A,R}$, $x_{B,R}$ und $x_{L,R}$ für **R** aus dem **Dreiecksdiagramm**
- Ermittlung der Massen $m_{A,E}$, $m_{B,E}$ und $m_{L,E}$ für **E** und $m_{A,R}$, $m_{B,R}$ und $m_{L,R}$ für **R** mit Gl.1.
- Bestimmung der **Dichte** nach der **Regel von Amagat**

$$V_1 + V_2 (+ V_3) = V_{\text{gesamt}}, \quad \text{mit } x_i = \frac{m_i}{m_{\text{gesamt}}} \quad \text{und } \rho = \frac{m}{V}$$

$$\rightarrow \frac{x_1}{\rho_1} + \frac{x_2}{\rho_2} \left(+ \frac{x_3}{\rho_3} \right) = \frac{x_1 + x_2 (+ x_3)}{\rho_{\text{gesamt}}} = \frac{1}{\rho_{\text{gesamt}}}$$

4.4 Fragen

- Wie groß ist bei der zweistufigen Extraktion die Reinheit des Raffinats, d.h. $x_B = ?$
- Ist x_B bei der zweistufigen Extraktion größer als bei der einstufigen?
- Welche Masse an Lösungsmittel wurden insgesamt bei der zweistufigen Extraktion verbraucht?
- Bei welchem Versuch wurde in Bezug auf die erreichte Reinheit (x_B) weniger Lösungsmittel verbraucht?
- Führen Sie eine Fehleranalyse (qualitativ) durch. Nennen Sie mögliche Gründe für die Abweichung der experimentell von den theoretisch bestimmten Werte.

Versuchsprotokoll

Name:

Datum:

Ausgangslösung



Untersuchte Größe		Soll-Werte	experimentell
Konzentration in g/g	x_A		
	$x_B = 1 - x_A$		
Masse in g	m_A		
	m_B		
Dichte in g/l	$\rho(x_A)$		

Einstufige Extraktion

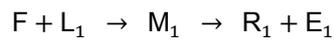


Untersuchte Größe		Raffinat (R)		Extrakt (E)	
		experimentell	grafisch	experimentell	grafisch
Konzentration in g/g	x_A				
	x_B				
	x_L				
Dichte in g/l	$\rho(x_A)$				
Masse in g	m_A				
	m_B				
	m_L				
	$\sum m_i$				

Zweistufige Extraktion

Eingewogene (vorgelegte) Masse in g	1. Stufe		2. Stufe	
	m_A		m_A	
	m_B		m_B	
	m_{L1}		m_{L2}	

1. Stufe



Untersuchte Größe		Raffinat (R_1)		Extrakt (E_1)	
		experimentell	grafisch	experimentell	grafisch
Konzentration in g/g	x_A				
	x_B				
	x_L				
Dichte in g/l	$\rho(x_A)$				
Masse in g	m_A				
	m_B				
	m_L				
	$\sum m_i$				

2. Stufe



Untersuchte Größe		Raffinat (R_2)		Extrakt (E_2)	
		experimentell	grafisch	experimentell	grafisch
Konzentration in g/g	x_A				
	x_B				
	x_L				
Dichte in g/l	$\rho(x_A)$				
Masse in g	m_A				
	m_B				
	m_L				
	$\sum m_i$				

