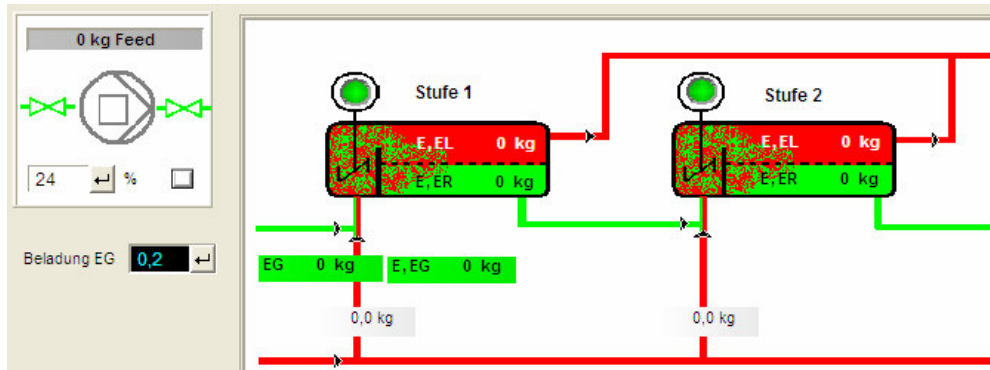


Extraktion – Mixer-Settler

eine dynamische Simulation
von PE-SOFT ®



Die Simulation **Extraktion – Mixer-Settler** simuliert kontinuierliche Solvent (flüssig/flüssig) Extraktionen mit einem 1-stufigen Mixer-Settler und einem 3-stufigen Mixer-Settler, als Kreuz- und Gegenstromapparat.

Das Modell veranschaulicht auf einfache verständliche Weise die Funktion der drei unterschiedlichen Bauarten, sowie den Stoffübergang vom Extraktstoff sowie dessen anschließende Verteilung in Extraktionsrückstand und Extraktionslösung.

Die Bedienung orientiert sich an gängigen Prozessleitsystemen.

Allgemeine Grundlage zur Funktion

Das Model gibt kontinuierlich betriebene Solventextraktionen wieder.

Als Voraussetzung gilt, dass sich der Extraktstoff in beiden Trägerstoffen löst, die Trägerstoffe untereinander jedoch unlöslich sind. In diesem Modell ist das Extraktionsgut die schwere Phase, mit der größeren Dichte. Dadurch wird sich, nachdem Ex-Gut und Ex-Mittel gemischt wurden, der Extraktstoff in beiden Phasen verteilen. Die unterschiedlich beladenen Phasen (leichte und schwere) lassen sich anschließend, infolge der Nichtmischbarkeit und unterschiedlicher Dichte voneinander abtrennen

Nachfolgend die Erklärung eines einstufigen Mixer-Settler:

Mixer = Mischen

Settler = Absetzen

Über die Ansaugzone gelangen die leichte und die schwere Phase in die Mischzone. Die Phase, welche den Extraktstoff enthält wird als „Feed“ oder Extraktionsgut, die Phase, welche den Extraktstoff aufnehmen soll wird als „Solvent“ oder Extraktionsmittel bezeichnet.

Je nach Trennaufgabe kann sowohl die schwere als auch die leichte Phase den abzutrennenden Extraktstoff enthalten.

In der Mischzone werden, durch ein Rührwerk, die beiden Phasen innig vermischt. Sobald die Durchmischung stattfindet, beginnt der Stoffübergang.

Über das Überlaufwehr gelangen die durchmischten Phasen in die Absetzzone wo diese sich, aufgrund Nichtmischbarkeit und unterschiedlicher Dicht der Trägerstoffe, voneinander trennen. Die schwere Phase verlässt die Absetzzone nach unten, die leichte Phase wird oben abgeführt.

Nach dem Stoffübergang wird das „Feed“ zum „Raffinat“ (Extraktionsrückstand), das „Solvent“ wird zum „Solvat“ (Extraktionslösung).

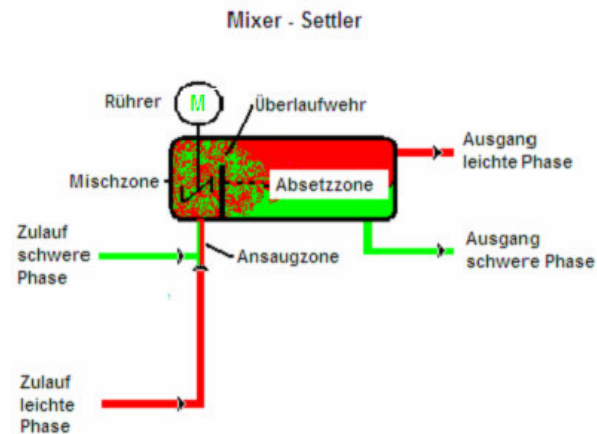
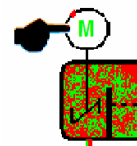
Feed und Solvent werden über zwangsfördernde Pumpen in die Anlage eingebracht.

Die Förderleistung kann von 0% bis 100% variiert werden. 100% entsprechen 10000 Kg/h

Beide Pumpen lassen sich nur einschalten wenn Saug- und Druckseite geöffnet sind. Die Armaturen werden durch anklicken geöffnet oder geschlossen. Sobald die Pumpe in Betrieb ist, wird die Förderleistung im Statusfeld „Feed“ bzw. „Solvent“ angezeigt.

Im Feld „N“ wird der Verteilungskoeffizient nach Nernst eingetragen.

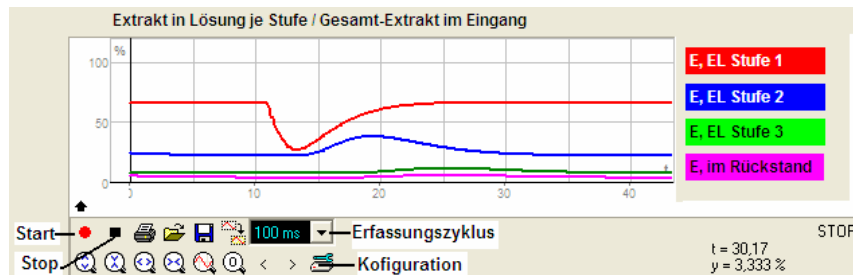
Mit einem Klick auf das Rührersymbol wird dieser ein- bzw. ausgeschaltet.

Der Schreiber

Mit dem Schreiber werden die Trends der wichtigsten Prozessgrößen erfasst.

In diesem Fall wird die gelöste Masse an Extraktstoff in der Extraktionslösung und im Extraktionsrückstand im Verhältnis zum Extraktstoff im Extraktionsgut, in %, angezeigt.



E, EL bedeutet Extraktstoff in der Extraktionslösung
E, ER bedeutet Extraktstoff im Extraktionsrückstand

Über das Konfigurationsmenü besteht die Möglichkeit viele Parameter des Schreibers zu verändern, - **gehen Sie damit aber vorsichtig um.**

Beim Öffnen des Konfigurationsmenüs kann es zum zeitweisen Ausfall der Simulationsberechnungen kommen.

Ein unsachgemäßes Verstellen mancher Parameter kann zu unsinnigen Darstellungen führen !

Durch einen Klick mit der rechten Mousetaste kann das aktuelle Schreiberdiagramm gespeichert und später wieder zur Ansicht geladen werden. Beim Laden muss der Schreiber auf STOP stehen.

Im Zustand STOP sind weitere Funktionen wie, Zoom, oder verschieben der Zeitachse möglich.

Grenzen dieser Simulation

Da chemisch- physikalische Vorgänge sehr komplexe Gebilde sind, die, wenn man sie mathematisch nachbilden will, enorme Rechenkapazität beanspruchen, muss man irgendwo eine Grenze ziehen. Die Grenze bei dieser Simulation wurde so gezogen, dass die grundlegenden Zusammenhänge zur Extraktion erarbeitet und erkannt werden können.

Folgendes wird dargestellt:

- veränderliches Trägerstoffverhältnis,
- veränderliches Verteilungsgleichgewicht,
- verfahrenstechnische Bedienung des Anlagenmodells,
- Wirkungsweise von Gleich- und Gegenstromextraktoren,
- Einfluss des Mischers auf den Stoffübergang
 - a) keine Durchmischung – kein Stoffübergang
 - b) optimale Durchmischung – optimaler Stoffübergang, erreichen von N
- Darstellung der wichtigsten Beurteilungsgrößen (Grad und Leistung),
- Unterschied zwischen Beladung und Konzentration
- ohne und mit Teilbeladung vom Solvent
- Umgang mit den gängigen verfahrenstechnischen Begriffen,
- Bedienung der Anlagen
- Erklärungen und Definitionen

Folgendes wird nicht dargestellt:

- Einfluss der Mischintensität auf den Stoffübergang, wie z.B. Emulgieren,
- Verschiebung der Verweilzeit im Apparat durch unterschiedlichen Durchsatz,
- Verschiebung der Trennschicht im Apparat und die damit zusammenhängende Verweilzeit,

Beispiel 1

Im ersten Beispiel soll die grundlegende Funktion der Simulation kennen gelernt werden.

Gehen Sie wie folgt vor:

Bild „Eine Stufe“ anzeigen.

Einstellungsdatei „**Grundstellung.EST**“ laden

Die Einstellungsdateien enthalten alle Einstellungen die bei den Versuchen erforderlich sind und beinhalten die Einstellungen für die Seiten „Eine Stufe“, „Kreuzstrom“ und „Gegenstrom“.

Die **Grundstellung** lädt den Anlagenzustand im „Kaltstart“. Dies bedeutet, dass alle Stoffströme gestoppt sind und alle Eingabefelder den Wert „0“ enthalten.

E-Mittel = 0, Beladung = 0 (0%)

E-Gut = 0, Beladung = 0 (0 %)

N =

Feed-Pumpen = AUS

Solvent-Pumpe = AUS

Alle Rührer sind AUS

Warten Sie bis alle Massenströme in den einzelnen Stufen auf „0“ sind.

Es soll nun die „einstufige Anlage“ in Betrieb genommen werden.

Das Trägerstoffverhältnis soll 1 betragen. ($K = 1$)

Die Beladung vom „Feed“ soll 0,1 betragen. ($X_{\text{Feed}} = 0,1$)

Der Verteilungskoeffizient nach Nernst soll 1 betragen. ($N = 1$)

Gehen sie wie folgt vor:

1. **Schreiber einschalten.**
2. **Förderstrom vom Feed (EG) auf 33% einstellen.**
3. **Beladung vom Feed (EG) auf 0,1 einstellen.**
4. **Förderstrom vom Solvent auf 30% einstellen.**
5. **Verteilungskoeffizient „N“ auf 1 einstellen.**
6. **Rührer einschalten.**

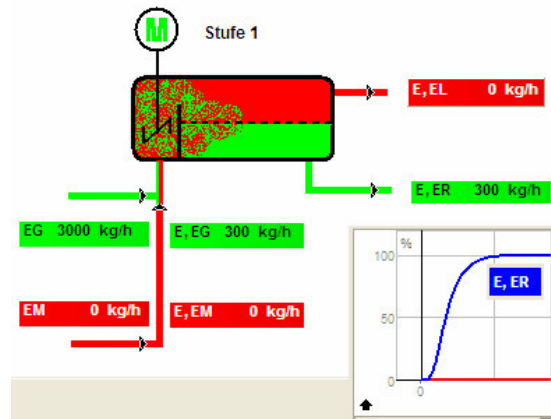
Um die Wirkungsweise des Stoffüberganges besser zu sehen, werden wir die Anlage zunächst nicht in der richtigen Reihenfolge anfahren. Hiermit beobachten wir den Konzentrationsausgleich bei diskontinuierlicher Fahrweise.

7. **Feed-Pumpe einschalten, dazu Saug- und Druckseite öffnen. und abwarten bis E, ER konstant läuft.**
8. **Solvent-Pumpe einschalten, dazu Saug- und Druckseite öffnen.**
9. **Prozess ins Gleichgewicht laufen lassen und beobachten.**
10. **Gleichgewicht ist erreicht, wenn sich die Prozessparameter nicht mehr verändern.**



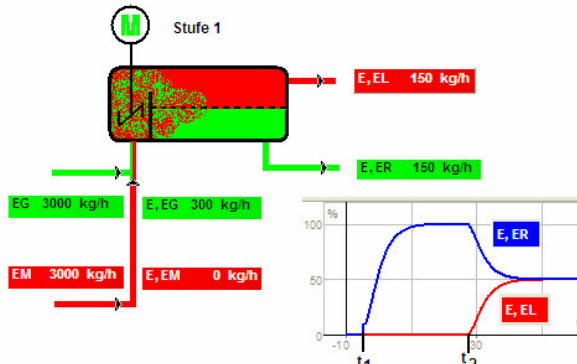
Nach dem Einschalten der Feed-Pumpe ist folgendes zu beobachten:

1. Feedstrom wird getrennt nach Trägerstoff (3000 kg/h) und Extraktstoff (300 kg/h) angezeigt, was einer Beladung von 0,1 entspricht. Die Summe von Trägerstoff und Extraktstoff ergibt 3300 kg/h was der Einstellung der Förderleistung von 33% entspricht.
2. Die Beladung des Raffinates (Extraktionsrückstand) im Ausgang steigt an. Dies hängt mit der Verweilzeit des Stoffstromes und mit dem noch vorhandenen Solvent im Apparat zusammen.



Nach dem Einschalten der Solvent-Pumpe ist folgendes zu beobachten:

1. Es stellt sich ein reiner Solvent-Strom von 3000 kg/h ein, was einer Einstellung der Förderleistung von 30% entspricht.
2. Sobald die Solvent-Pumpe gestartet wurde (t_2), beginnen sich die Beladungen von Raffinat und Solvat zu verändern. Die Beladung der Raffinats nimmt ab, die des Solvats nimmt zu, was bedeutet, dass der Extraktstoff vom Feed ins Solvent gewandert ist, - umgelöst wurde. Da beide Trägerstoffe den Extraktstoff lösen können, verteilt sich dieser entsprechend den physikalischen Bedingungen. - Solange bis ein Gleichgewicht erreicht ist.
3. Es ist festzustellen, dass sich der Extraktstoff in beiden Phasen gleich gut verteilt.
4. Die Beladungen von Extraktionslösung (Solvat) und Extraktionsrückstand (Raffinat) ergeben folgendes:



$$X, EL = \frac{150 \text{ kg/h}}{3000 \text{ kg/h}} = 0,05$$

$$X, ER = \frac{150 \text{ kg/h}}{3000 \text{ kg/h}} = 0,05$$

Daraus resultiert der Verteilungskoeffizient nach Nernst, der die Beladungen ins Verhältnis setzt. Hierbei steht die aufnehmende Phase immer auf dem Bruchstrich !

$$N = \frac{X, EL}{X, ER} = \frac{0,05}{0,05} = 1$$

Beispiel 2

Verändern Sie die Einstellungen und beobachten Sie:

Gehen sie wie folgt vor:

1. Feed-Pumpe ausschalten.
2. Solvent-Pumpe ausschalten.
3. Förderstrom vom Feed auf 33% belassen. $K = 1$
4. Beladung vom Feed (EG) auf 0,1 belassen. $X_{Feed} = 0,1$
5. Förderstrom vom Solvent auf 30% belassen. $K = 1$
6. Verteilungskoeffizient „N“ auf 2 einstellen. $N = 2$

Um die Wirkungsweise des Stoffüberganges besser zu sehen, werden wir die Anlage wieder nicht in der richtigen Reihenfolge anfahren. Hiermit beobachten wir den Konzentrationsausgleich bei diskontinuierlicher Fahrweise.

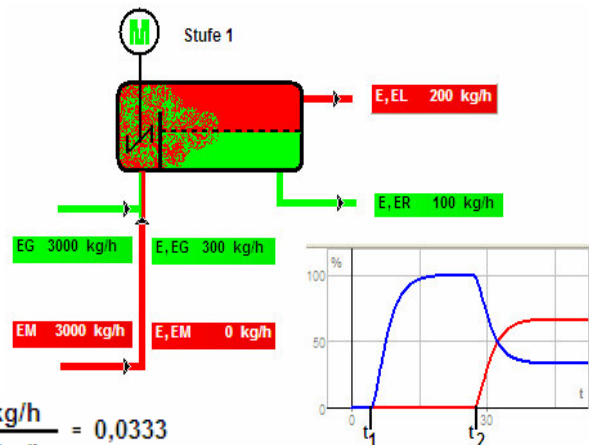
7. Feed-Pumpe einschalten, dazu Saug- und Druckseite öffnen. und abwarten bis E, ER konstant läuft.
8. Solvent-Pumpe einschalten, dazu Saug- und Druckseite öffnen.
9. Prozess ins Gleichgewicht laufen lassen und beobachten.
10. Gleichgewicht ist erreicht, wenn sich die Prozessparameter nicht mehr verändern.

Beobachtungen:

1. Auch hier ist fast das Gleich zu beobachten wie im vorherigen Versuch.
2. Mit der Ausnahme, dass sich ab t_2 der Extraktstoff anders verteilt hat.
3. Es ist festzustellen, dass sich der Extraktstoff im Solvent besser löst als im Rückstand.
4. Die Beladungen von Extraktionslösung (Solvat) und Extraktionsrückstand (Raffinat) ergeben folgendes:

$$X, EL = \frac{200 \text{ kg/h}}{3000 \text{ kg/h}} = 0,0667$$

$$X, ER = \frac{100 \text{ kg/h}}{3000 \text{ kg/h}} = 0,0333$$



Daraus resultiert der Verteilungskoeffizient nach Nernst, der die Beladungen ins Verhältnis setzt.

$$N = \frac{X, EL}{X, ER} = \frac{0,0667}{0,0333} = 2$$

Beispiel 3

Verändern Sie die Einstellungen und beobachten Sie:

Gehen sie wie folgt vor:

11. Feed-Pumpe ausschalten.
12. Solvent-Pumpe ausschalten.
13. Förderstrom vom Feed auf 33% belassen.
14. Beladung vom Feed (EG) auf 0,1 belassen. $X_{\text{Feed}} = 0,1$
15. Förderstrom vom Solvent auf 60% einstellen. $K = 2$
16. Verteilungskoeffizient „N“ auf 1 einstellen. $N = 1$

Um die Wirkungsweise des Stoffüberganges besser zu sehen, werden wir die Anlage wieder nicht in der richtigen Reihenfolge anfahren. Hiermit beobachten wir den Konzentrationsausgleich bei diskontinuierlicher Fahrweise.

17. Feed-Pumpe einschalten,
dazu Saug- und Druckseite öffnen.
und abwarten bis E, ER konstant läuft.
18. Solvent-Pumpe einschalten,
dazu Saug- und Druckseite öffnen.
19. Prozess ins Gleichgewicht laufen lassen und beobachten.
20. Gleichgewicht ist erreicht, wenn sich die Prozessparameter nicht mehr verändern.

Beobachtungen:

1. Auch hier ist fast das Gleich zu beobachten wie im vorherigen Versuch.
2. Mit der Ausnahme, dass sich ab t_2 der Extraktstoff anders verteilt.
3. Es ist festzustellen, dass sich der Extraktstoff im Solvent anscheinend noch besser löst als im vorherigen Versuch mit $N=2$
Das ist ein Trugschluss !
4. In diesem Beispiel haben wir die doppelte Menge an Trägerstoff im Solvent (6000 kg/h), gegenüber dem Trägerstoff im Feed (3000 kg/h).
Das Verteilungsgleichgewicht „N“ hingegen liegt wieder bei „2“, wie im zweiten Versuch.
4. Die Beladungen von Extraktionslösung (Solvat) und Extraktionsrückstand (Raffinat) ergeben folgendes:

$$X, EL = \frac{240 \text{ kg/h}}{6000 \text{ kg/h}} = 0,04 \quad X, ER = \frac{60 \text{ kg/h}}{3000 \text{ kg/h}} = 0,02$$

Daraus resultiert der Verteilungskoeffizient nach Nernst, der die Beladungen ins Verhältnis setzt.

$$N = \frac{X, EL}{X, ER} = \frac{0,04}{0,02} = 2$$

Beispiel 4

Betrachtung verschiedener Beurteilungsgrößen.

Um die Güte einer Extraktion zu beurteilen, gibt es zwei Beurteilungsgrößen.

1. Extraktionsgrad (Phi)

Der Extraktionsgrad betrachtet die Masse an Extrakt im Raffinat im Verhältnis zur Masse Extrakt im Eingang der Extraktion.
Also das, was nicht herausgelöst wurde.

2. Extraktionsleistung (Eta)

Die Extraktionsleistung betrachtet die Masse an Extrakt im Solvat im Verhältnis zur Masse im Eingang der Extraktion.
Also, das was herausgelöst wurde.

Wiederholen Sie die Versuche von Beispiel 1 bis Beispiel 3 nochmals und betrachten Sie sich die beiden Beurteilungsgrößen.

| K=1 N=1 | K=1 N=2 |
|---|---|
| Extraktionsgrad = 0,500 $\varphi = \frac{E,ER \quad 150 \text{ kg/h}}{E,EG \quad 300 \text{ kg/h} + E,EM \quad 0 \text{ kg/h}}$ | Extraktionsgrad = 0,333 $\varphi = \frac{E,ER \quad 100 \text{ kg/h}}{E,EG \quad 300 \text{ kg/h} + E,EM \quad 0 \text{ kg/h}}$ |
| Extraktionsleistung = 0,500 $\eta = \frac{E,EL \quad 150 \text{ kg/h}}{E,EG \quad 300 \text{ kg/h} + E,EM \quad 0 \text{ kg/h}}$ | Extraktionsleistung = 0,667 $\eta = \frac{E,EL \quad 200 \text{ kg/h}}{E,EG \quad 300 \text{ kg/h} + E,EM \quad 0 \text{ kg/h}}$ |

| N=2 K=2 |
|---|
| Extraktionsgrad = 0,200 $\varphi = \frac{E,ER \quad 60 \text{ kg/h}}{E,EG \quad 300 \text{ kg/h} + E,EM \quad 0 \text{ kg/h}}$ |
| Extraktionsleistung = 0,800 $\eta = \frac{E,EL \quad 240 \text{ kg/h}}{E,EG \quad 300 \text{ kg/h} + E,EM \quad 0 \text{ kg/h}}$ |

Ergebnis:

- 1.) die Summe beider Beurteilungsgrößen ergibt immer 1.
- 2.) Das Ergebnis einer Extraktion ist umso besser je größer die Extraktionsausbeute und somit je kleiner der Extraktionsgrad ist.
- 3.) Die Extraktionsleistung kann wie folgt gesteigert werden:
 - a) Erhöhung des Solventstromes, K vergrößern
 - b) Solvent mit besserem Lösungsvermögen einsetzen.

Beispiel 5

Die nächsten Beispiele sollen selbst erarbeitet und die nachfolgenden Fragen beantwortet bzw. die Aufgaben bearbeitet werden.

1. Testen Sie den Stoffübergang mit $N < 1$

1a) Ist eine Extraktion möglich wenn sich der Extraktstoff im Raffinat besser löst als im Solvat, also $N < 1$ ist ?

1b) Was muss getan werden wenn ein vorhandenes Extraktionsmittel, aus Kostengründen ersetzt wird, das neue Extraktionsmittel aber ein schlechteres Lösevermögen besitzt.

Alte Fahrweise: $N = 2$, $K = 1$

Neue Fahrweise $N = 0,5$ $K = ?$

2. Testen Sie den Stoffübergang und die Beurteilungsgrößen wenn das Extraktionsmittel eine Teilbeladung mitbringt

Einstellung 1: $K = 1$, $N = 1$, $X_{\text{Feed}} = 0,1$ (Hub 33%), $X_{\text{Solvent}} = 0,1$ (Hub 33%)

Einstellung 2: $K = 1$, $N = 2$, $X_{\text{Feed}} = 0,1$ (Hub 33%), $X_{\text{Solvent}} = 0,1$ (Hub 33%)

Einstellung 3: $K = 2$, $N = 1$, $X_{\text{Feed}} = 0,1$ (Hub 33%), $X_{\text{Solvent}} = 0,1$ (Hub 66%)

Einstellung 4: $K = 2$, $N = 2$, $X_{\text{Feed}} = 0,1$ (Hub 33%), $X_{\text{Solvent}} = 0,1$ (Hub 66%)

Beispiel 5

Nachfolgend sollen die bisher betrachteten Beispiele mit einer Kreuzstrom- und Gegenstromfahrweise verglichen werden.

Laden Sie hierzu die Einstellungsdatei **Vergleich.EST**

Gehen sie wie folgt vor:

1. **Nehmen Sie die Einmalige Extraktion in Betrieb indem Sie den Rührer und die beiden Pumpen einschalten. Starten Sie den Schreiber.**
2. **Gehen Sie auf die Seite „Kreuzstrom“
Nehmen Sie diese in Betrieb indem Sie alle Rührer und die beiden Pumpen einschalten. Starten Sie den Schreiber.**
3. **Gehen Sie auf die Seite „Gegenstrom“
Nehmen Sie diese in Betrieb indem Sie alle Rührer und die beiden Pumpen einschalten. Starten Sie den Schreiber.**
4. **Prozess ins Gleichgewicht laufen lassen und beobachten.**
5. **Gleichgewicht ist erreicht, wenn sich die Prozessparameter nicht mehr verändern.**

Kreuzstromextraktion

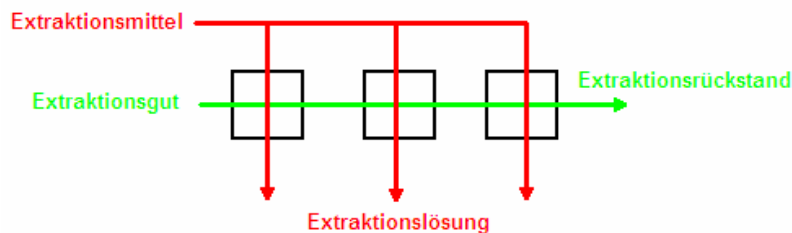
Im diesem Modell sind drei Mixer-Settler Stufen als Kreuzstromextraktion verschalten.

Feed und Solvent werden über zwangsfördernde Pumpen in die Anlage eingebracht. Die Förderleistung kann von 0% bis 100% variiert werden. 100% entsprechen 10000 Kg. Beide Pumpen lassen sich nur einschalten wenn Saug und Druckseite geöffnet sind. Die Armaturen werden durch anklicken geöffnet oder geschlossen. Sobald die Pumpe in Betrieb ist, wird die Förderleistung im Statusfeld „Feed“ bzw. „Solvent“ angezeigt.

Im Feld „N“ wird der Verteilungskoeffizient nach Nernst eingetragen.

Bei einer Kreuzstromextraktion wird in der ersten Stufe das zu trennende Gemisch (Feed) aufgegeben und gelangt dann nacheinander in die zweite und dritte Stufe. In jeder Stufe wird frisches Extraktionsmittel (Solvent) zugegeben und das Feed entsprechend entladen.

Schematische Darstellung einer Kreuzstromextraktion



Vergleich einer „einmaligen Extraktion“ mit einer „mehrmaligen Extraktion“ (Kreuzstromextraktion).

In beiden Fällen werden 3000 kg/h Extraktionsmittel eingesetzt.

$K=1$, $N=1$, $X_{\text{Feed}} = 0,1$ (33%), $X_{\text{Solvent}} = 0$ (30%)

Bei der **einmaligen Extraktion** wird das Extraktionsmittel auf einmal zugegeben, gemischt und nach dem Stoffübergang isoliert.

Bei der **mehrmaligen Extraktion**, in unserem Fall ist dies eine dreimalige Extraktion, wird die Gesamtmasse an Extraktionsmittel in 3 kleine Portionen aufgeteilt und der Extraktionsrückstand jeder Stufe mit dem frischen Extraktionsmittel in Kontakt gebracht. Nach dem Stoffübergang wird die Extraktionslösung isoliert.

Ergebnis:

Während sich bei der einmaligen Extraktion eine **Extraktionsleistung von 0,5** eingestellt hat, bringt eine mehrmalige Extraktion mit kleineren Portionen, bei der 3-stufigen Kreuzstromextraktion eine **Extraktionsleistung von 0,578**.

Es wurde mehr Extraktstoff herausgelöst.

Beispiel 6

Nachfolgend sollen die bisher betrachteten Beispiele mit einer Gegenstromfahrweise verglichen werden.

Da alle 3 Simulationen bereits laufen, wechseln Sie nun auf die Seite **Gegenstrom**.

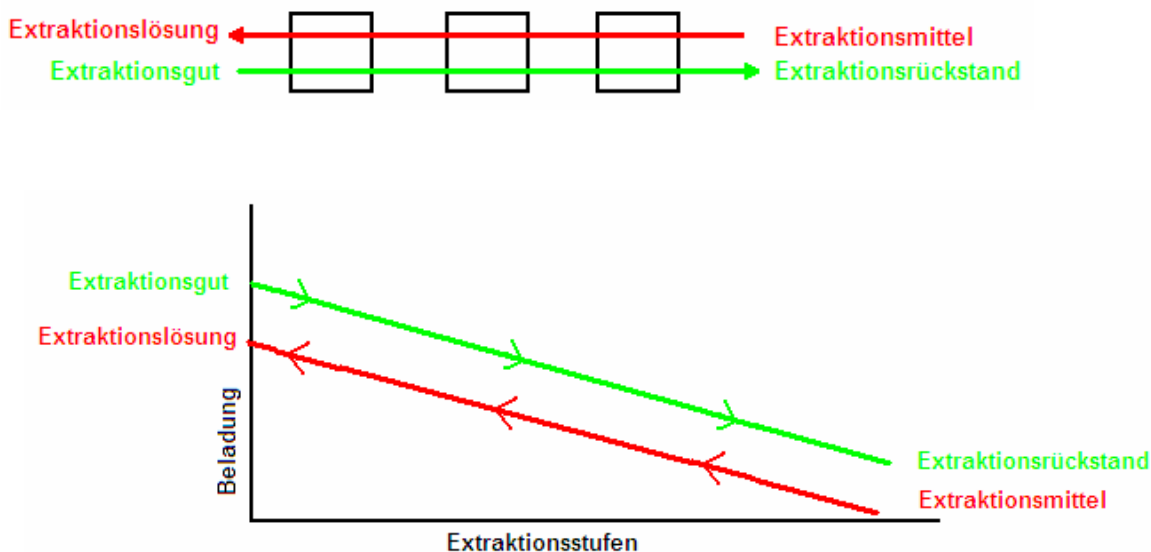
Gegenstromextraktion

Im diesem Modell sind drei Mixer-Settler Stufen als Gegenstromextraktion verschalten.

Feed und Solvent werden über zwangsfördernde Pumpen in die Anlage eingebracht. Die Förderleistung kann von 0% bis 100% variiert werden. 100% entsprechen 10000 Kg. Beide Pumpen lassen sich nur einschalten wenn Saug und Druckseite geöffnet sind. Die Armaturen werden durch anklicken geöffnet oder geschlossen. Sobald die Pumpe in Betrieb ist, wird die Förderleistung im Statusfeld „Feed“ bzw. „Solvent“ angezeigt.

Im Feld „N“ wird der Verteilungskoeffizient nach Nernst eingetragen.

Bei einer Gegenstromextraktion wird in der ersten Stufe das zu trennende Gemisch (Feed) aufgegeben und gelangt dann nacheinander in die zweite und dritte Stufe. Frisches Solvent wird am Ende der dritten Stufe zugegeben und gelangt nacheinander in die zweite und erste Stufe. Abgebende- und aufnehmende Phasen verlaufen im Gegenstrom. In jeder Stufe wird die Beladung des Solvents zunehmen und die Beladung des Feeds wird abnehmen. Die treibende Kraft zum Stoffübergang ist eine ständige Differenz zwischen den Lösungen, die sich nach dem Verteilungsgesetz von Nernst versuchen auszugleichen.

Schematische Darstellung einer Gegenstromextraktion

Vergleich einer „einmaligen Extraktion“ mit einer Kreuz- und Gegenstromextraktion.

In beiden Fällen werden 3000 kg/h Extraktionsmittel eingesetzt.

Das Ergebnis der Kreuzstromextraktion wurde bereits diskutiert.

Bei der Gegenstromextraktion wird das gesamte extraktionsmittel im Gegenstrom zum Extraktionsgut gefahren.

$K=1$, $N=1$, $X_{\text{Feed}} = 0,1$ (33%), $X_{\text{Solvent}} = 0$ (30%)

Ergebnis:

Während sich bei der einmaligen Extraktion eine **Extraktionsleistung von 0,5** eingestellt hat, bringt eine mehrmalige Extraktion mit kleineren Portionen, bei der 3-stufigen Kreuzstromextraktion eine **Extraktionsleistung von 0,578**.

Es wurde mehr Extraktstoff herausgelöst.

Bei der **Gegenstromextraktion** stellt sich eine **Extraktionsleistung von 0,75** ein.

Es wurde mehr als bei der **Kreuzstromextraktion** herausgelöst.

Führen Sie den gleichen Versuch mit folgenden Parametern durch:

$K=1$,

$N=2$,

$X_{\text{Feed}} = 0,1$ (33%),

$X_{\text{Solvent}} = 0$ (30%)

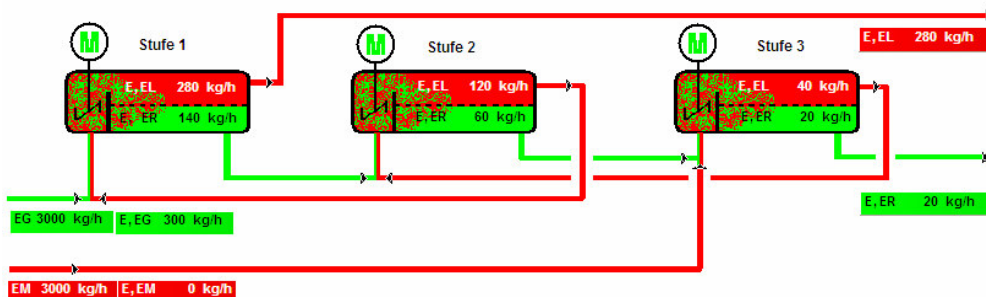
Folgende Extraktionsleistungen haben sich eingestellt:

Einmalige Extraktion 0,667

Kreuzstromextraktion 0,784

Gegenstromextraktion 0,937

Erklärungen zum Stoffübergang



Um den Stoffübergang transparent zu machen, beginnt man mit der Erklärung am Ausgang der 3. Stufe

Dort befinden sich 20 kg/h Extraktstoff im Raffinat und 40 kg/h im Solvat. Als Summe sind in der 3. Stufe 60 kg/h Extraktstoff enthalten. Diese 60 kg/h müssen aus dem Raffinat der Stufe 2 gekommen sein.

In der zweiten Stufe sind 60 kg/h Extraktstoff im Raffinat und 120 kg/h im Solvat. Hier hat allerdings das Solvent bereits 40 kg/h aus der 3. Stufe mitgebracht. Also muss die Differenz zu 120 kg/h (= 80 kg/h) plus die 60 kg/h im Raffinat der 2. Stufe (=140 kg/h) aus dem Raffinat der 1. Stufe gekommen sein.

Der gleiche Gedankengang trifft für die 1. Stufe zu.

Das Solvent hat 120 kg/h Extraktstoff aus der 2. Stufe mitgebracht. Die Differenz zu 280 kg/h (= 160 kg/h) plus die 140 kg/h im Raffinat der 1. Stufe ergeben 300 kg/h Extraktstoff im Feed.

Da das Trägerstoffverhältnis gleich 1 ist, lässt sich der Nernst'sche Verteilungskoeffizient leicht ermitteln, indem man die beiden Extraktstoffströme einfach ins Verhältnis setzt. Das Ergebnis ist in jeder Stufe = 2.

Beispiel 7

Um die Vorgänge von kontinuierlichen Extraktionen noch besser zu verstehen können sie eigenständig weitere Versuche ausprobieren.

Hier einige Ideen:

Fahren Sie die Extraktion ins Gleichgewicht und schalten Sie eine der beiden Pumpen aus. Warten Sie bis sich ein Gleichgewicht eingestellt hat. Schalten Sie dann die Pumpe wieder ein. Versuchen Sie den Trendverlauf zu erklären.

Verändern Sie das Trägerstoffverhältnis. Machen sie dieses kleiner oder größer indem Sie weniger oder mehr Solvent zufahren. Versuchen Sie den Trendverlauf zu erklären.

Schalten Sie die Rührer aus und warten Sie bis sich ein Gleichgewicht eingestellt hat. Schalten Sie anschließend die Rührer wieder ein. Versuchen Sie den Trendverlauf zu erklären.

Definitionen

Trägerstoffe sind die Stoffe die den Extraktstoff lösen können.

Eine Beladung ist wie folgt definiert:

Masse des reinen **Extraktstoffes** (Übergangskomponente)
dividiert durch die Masse des reinen **Trägerstoffes**

Beladung des Extraktionsgutes (Feed)

Masse des reinen Extraktstoffes (Übergangskomponente) im Extraktionsgut, dividiert durch die Masse des reinen Trägerstoffes, (Extraktionsgut ohne den Extraktstoff.)

$$X_{EG} = \frac{m_{E,EG}}{m_{EG} - m_{E,EG}}$$

Beladung des Extraktionsmittels (Solvent)

Masse des reinen Extraktstoffes (Übergangskomponente) im Extraktionsmittel, dividiert durch die Masse des reinen Trägerstoffes, (Extraktionsmittel ohne den Extraktstoff.)

$$X_{EM} = \frac{m_{E,EM}}{m_{EM} - m_{E,EM}}$$

Beladung der Extraktionslösung (Solvat)

Masse des reinen Extraktstoffes (Übergangskomponente) in der Extraktionslösung, dividiert durch die Masse des reinen Trägerstoffes, (Extraktionslösung ohne den Extraktstoff.)

$$X_{EL} = \frac{m_{E,EL}}{m_{EL} - m_{E,EL}}$$

Beladung des Extraktionsrückstandes (Raffinat)

Masse des reinen Extraktstoffes (Übergangskomponente) im Extraktionsrückstand, dividiert durch die Masse des reinen Trägerstoffes, (Extraktionsrückstand ohne den Extraktstoff.)

$$X_{ER} = \frac{m_{E,ER}}{m_{ER} - m_{E,ER}}$$

Konzentration

Eine Konzentration ist das Verhältnis Masse(Komponente) dividiert durch Masse(Lösung). Die Masse(Lösung) enthält in diesem Fall den Trägerstoff und den Extraktstoff.

Beispiel für E-Gut $w(E,EG) = \frac{m_{E,EG}}{m_{EG}}$

Verteilungsgesetz nach NERNST

Das Verteilungsgesetz nach Nernst gibt darüber Auskunft wie sich der Extraktstoff in den beiden Trägerstoffen (Phasen) bei konstanter Temperatur und nach genügender Durchmischung verteilt. Die Verteilung ist bei gegebener Temperatur konstant.

$$N = \frac{\text{Beladung der Ex-Lösung}}{\text{Beladung des Ex-Rückstandes}}$$

$$N = \frac{X_{EL}}{X_{ER}}$$

Die aufnehmende Phase steht hierbei immer auf dem Bruchstrich.

Berücksichtigt man die Massen und das Trägerstoffverhältnis, welches wie folgt definiert ist:

$$\text{Trägerstoffverhältnis} = \frac{\text{Masse der Ex-Lösung ohne Extraktstoff}}{\text{Masse Ex-Rückstand ohne Extraktstoff}}$$

$$K = \frac{m_{EL} - m_{E,EL}}{m_{ER} - m_{E,ER}}$$

oder

$$\text{Trägerstoffverhältnis} = \frac{\text{Masse der Ex-Mittel ohne Extraktstoff}}{\text{Masse Ex-Gut ohne Extraktstoff}}$$

$$K = \frac{m_{EM} - m_{E,EM}}{m_{EG} - m_{E,EG}}$$

Da die Massen der reinen Trägerstoffe vor und nach der Extraktion relativ unverändert bleiben, können beide Massen eingesetzt werden.

dann gilt für N auch:

$$N = \frac{m_{E,EL}}{m_{E,ER} \cdot K} \quad \text{oder} \quad N = \frac{X_{EL}}{X_{ER}} = \frac{m_{E,EL} \cdot (m_{ER} - m_{E,ER})}{(m_{EL} - m_{E,EL}) \cdot m_{E,ER}}$$

Der Stofftransport lässt sich für einstufige Extraktionen wie folgt berechnen

für den E-Rückstand

für die E-Lösung

$$m_{E,ER} = \frac{m_{E,EG} + m_{E,EM}}{NK + 1}$$

$$m_{E,EL} = \frac{(m_{E,EG} + m_{E,EM}) \cdot NK}{NK + 1}$$