

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT

INSTITUT BTCH

ZF Bioverfahrenstechnik 1

Semester 3

Inhaltsverzeichnis

1. MVT Einführung	3
2. Berechnungsmethodik / Bilanzen	6
3. Ausgewählte Stoffsysteme	8
4. Stoffvereinigen	13
5. Zerteilen	17
6. Trennen.....	22
7. Rühren/Begasen/Scale-up	25
8. Zellernte und -separation.....	29
9. TVT Wärmeübertragung.....	30
10. Stoffübertragung	34
11. Kristallisation	35
12. Destillation	37
13. Trocknen.....	41
14. Ionenaustausch	43
15. Extraktion.....	44
16. Membrantrennprozesse / Filtration.....	47

1. MVT Einführung

Erläutern Sie das Wesen, den Gegenstand und die Einteilung der Verfahrenstechnik!

Definition: Verfahrenstechnik ist die allgemeine, vom konkreten Verfahren unabhängige Theorie der Stoffwandlungsprozesse & der Ausrüstungen zu ihrer Durchführung (Stoffwandlungstechnik).

Dem **Wesen** nach ist die Verfahrenstechnik eine interdisziplinäre, angewandte Ingenieurwissenschaft, die sehr stark technologisch orientiert ist.

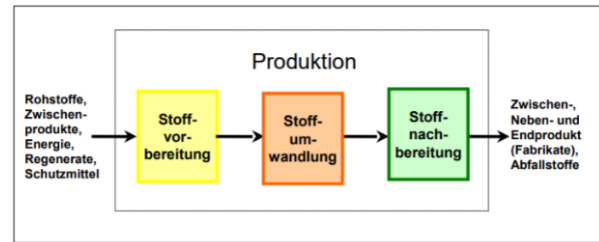
Der **Gegenstand** der Verfahrenstechnik sind industrielle Stoffwandlungen mit den ihnen zugrundeliegenden Gesetzmässigkeiten.

Einteilung in **mechanische** (MVT), **thermische** (TVT) & reaktionstechnische (RT; biochemische oder chemische & biotechnologische) Verfahren.

Mechanisch	Thermisch	Reaktionstechnisch
Stoffwandlung durch mechanische Einwirkung durch Änderung des Mischungszustandes (Trennen, Mischen) oder durch Änderung des Dispersitätszustandes bzw. des granulometrischen Zustandes (Zerteilen, Agglomerieren). Prozesse: Trennen, Agglomeration, Fördern, Mischen, Speichern, Terteilen & Dosieren.	Molekulardynamischen Verfahren, die stoffliche Systeme mittels molekularer Triebkraftfelder des Wärme -, Stoff- & Impulstransports beheizen, kühlen, trennen oder vereinigen inkl. technische Gestaltung der Ausrüstung. Prozesse: Wärmeübertragung mit oder ohne Phasenänderung & Stoffübertragung (Entmischung, Membrantrennung, Phasengleichgewicht).	Stoffumwandlung durch rein chemische, biochemische bzw. mikrobielle Reaktionen . In Kombination mit thermischen & mechanischen Verfahren um optimale Reaktionsbedingungen einzuhalten.

Wie lassen sich stoffwirtschaftliche Verfahren strukturieren? Erläutern Sie die Vorgehensweise anhand eines Beispiels!

Die Grundstruktur setzt sich zusammen aus **Stoffvorbereitung, Upstream, Downstream & Endformulierung.**



Beispiel Backhefeherstellung:

Stoffvorbereitung: Klärung & Sterilisation der Melasse, der Zusatzstoffe & der Geräte.

Stoffumwandlung: Sterilhefefermmentation, Sterilhefeseperation/-waschung, Backhefefermmentation.

Stoffnachbereitung: Hefeseperation/-waschung & Hefefiltration

Was sind Grundoperationen in der Verfahrenstechnik? Wie werden sie unterteilt?

Grundoperationen: Trennen, Vereinigen, Zerteilen, Agglomerieren, Wärmeübertragen, Formgeben, Fördern, Lagern, Verpacken.

Unterteilt in: mechanisch, thermisch & elektrisch/elektromagnetisch.

Erläutern Sie das Wesen und die Einteilung der Grundoperationen anhand eines Produktionsprozesses aus der Lebensmittelindustrie!

G O	Mechanisch	Elektrisch	&	Thermisch
		Elektromagnetisch		
Trennen	<ul style="list-style-type: none"> Sedimentation Filtrieren Auspressen Zentrifugieren Klassieren Zerkleinern Sortieren Flotieren 	<ul style="list-style-type: none"> Magnetabscheiden Elektroabscheiden Elektrodialyse Elektroosmose Elektrophorese 		<ul style="list-style-type: none"> Kondensieren Verdampfen Kristallisieren Trocknen Destillieren Extrahieren Sorbieren Permeieren Dialysieren
	<ul style="list-style-type: none"> Versprühen Begasen Rühren Kneten Vermengen Dosieren Agglomerieren 			<ul style="list-style-type: none"> Sorbieren Extrahieren Auflösen

	<ul style="list-style-type: none"> • Homogenisieren 		
--	--	--	--

Warum sind thermische Grundprozesse in ihrer Anwendung in der Regel gekoppelte Stoff- und Wärmeübertragungsprozesse?

Wärme kann ohne Stoffe übertragen werden. Stoffe aber nicht ohne Wärme.

Was sind Wärme-, Phasengleichgewichts- und Stoffübertragungsprozesse?

Das sind alles Reaktionsprozesse.

Wärmeübertragungsprozesse	mit Phasenänderung ohne Phasenänderung	(Kondensation) (Wärmeleitung)
Stoffübertragungsprozesse	Phasengleichgewichtsprozesse Membrantrennprozesse Entmischungsprozesse	(Kristallisation) (Dialyse) (Sieben)

Erläutern Sie Vor- und Nachteile von diskontinuierlicher und kontinuierlicher Betriebsweise!

Betriebsweise	Vorteile	Nachteile
Diskontinuierlich	Einfachheit & Flexibilität Bei Fehler nur die eine Charge nicht brauchbar	Umständlicher für die Reinigung
(Zwischenstufe: z.B. Fedbatch)		
kontinuierlich	immer gleiche Produktqualität hohe Raum/Zeit-Ausbeute weniger Reinigung	bei Fehler grössere Kosten

2. Berechnungsmethodik / Bilanzen

Welche Funktion haben Bilanzen in der Technik?

- Informationsfunktion (Wieviel Edukt wird zu wieviel Produkt umgesetzt?)
- Dokumentationsfunktion (Nachprüfbarkeit von Geschäftsvorgängen)
- Gewinnermittlungsfunktion (Gewinn = Kosten Produkt - Edukte)

Wie lautet die Allgemeine Transportbilanzgleichung?

Stoff-, Energie- & Impulstransport sind weitgehend einander analog. Die zeitliche Änderung einer Grösse wird allgemein als „Stromstärke“ bezeichnet & folgt stets der allgemeinen

Transportgleichung der Nichtgleichgewichts-Thermodynamik:

$$\text{Stromstärke} = \text{Intensität} * \text{Aktivfläche} * \text{Triebkraftdifferenz}$$

Was verstehen Sie unter den Begriffen Intensive Grösse, Konvektionsglied, Leitungsglied, Übergangsglied, Quelle bzw. Senke?

Intensive Grösse Zustandsgrösse, die sich bei unterschiedlicher Grösse des betrachteten Systems *nicht* ändert. Man unterscheidet hierbei systemeigene intensive Grössen, wie z.B. Temperatur & Druck, & stoffeigene intensive Grössen, wie alle molaren & spezifischen Grössen reiner Stoffe.

Konvektionsglied Konvektionsströme = Dichte * Fläche * Strömungsgeschwindigkeit

Leitungsglied Leitstrom = Leitungskoeffizient * Fläche * Triebkraft

Übergangsglied Übergangstrom = Übergangskoeffizient * Fläche * Triebkraft

Quelle & Senke Als Produktion bzw. Dissipation transportabler Grössen zu verstehen. Dies können beispielsweise entstehende & umgesetzte mechanische oder thermische Energien sein, aber auch Veränderungen aus chemischen & mikrobiellen Reaktionen.

Was verstehen Sie unter Leitungs-, Konvektions- und Übergangsströmen?

Leitungsströme Mikroprozesse innerhalb einer ruhenden Phase. Da jedoch häufig keine ruhende Phase vorliegt, überlagern sich die Leitströme oft mit den Konvektionsströmen. Das negative Vorzeichen deutet darauf hin, dass die Ströme vom höheren zum tieferen Konzentrations- oder Temperaturniveau (gem. 2. Hauptsatz der Thermodynamik) gerichtet sind.

- Konvektionsströme Mitführung von Stoff, Wärme oder Impuls durch die Bewegung eindeutig gekennzeichnete Stoffmengen. Eine Stoffmengenbewegung wird z.B. in einer Rohrströmung oder einer freien Strömung im Raum beobachtet.
- Übergangsströme Leitstrom durch die Grenzschicht einer Phasengrenzfläche (feste Wand, Flüssigkeitsoberfläche) in das Innere einer angrenzenden mehr oder weniger bewegten fluiden Phase hinein oder umgekehrt.

Was sind „Dimensionslose Kennzahlen“ und welche Bedeutung haben Sie in der Verfahrenstechnik?

Eine dimensionslose Kennzahl stellt ein dimensionsloses Potenzprodukt dar. Sie wird mit den Anfangsbuchstaben bedeutender Wissenschaftler bezeichnet. Entsprechend ihres Aufbaues wird unterschieden in:

- **Simplexe** dimensionsloser Quotient zweier gleicher Messgrößen gleicher Dimension, z. B.: Geometriezahl, Zähigkeitszahl, Temperatur-, Zeit-, Geschwindigkeits-, Masse-, Dichte- & Konzentrationsverhältnisse.
- **Komplexe** dimensionslose Kombination mehrerer unterschiedlicher Messgrößen unterschiedlicher Dimension, z. B.: Reynolds-Zahl, Nusselt-Zahl,
- **Gütegrade** Quotienten zweier dimensionsloser Komplexe & unabhängig von der Systemabmessung, z. B.: Prandtl-Zahl, Schmidt-Zahl,

Welche verfahrenstechnischen Methoden werden zur Massstabsübertragung eingesetzt?

Modelltheorie : Massstabsübertragung von einem Modell- auf eine Hauptausführung

- Geometrische Ähnlichkeit:
Konstanz bei allen Längenverhältnissen zwischen Modell- & Hauptausführungen
- Physikalische Ähnlichkeit: geometrische, dynamische & thermische Ähnlichkeit (Konstanz aller dimensionsloser Kennzahlen & physikalischen Messgrößen des Problems)
- Partielle Ähnlichkeit: physik. Ähnlichkeit nur für den Prozess charakteristischen Stoffübertragung

3. Ausgewählte Stoffsysteme

Was sind grobdisperse Systeme?

natürliche & technische Systeme, welche aus mindestens zwei Phasen bestehen

- disperse Phase → innere Phase - disperser Stoff, disperser Bestandteil, Dispersum
- kontinuierlichen Dispersionsphase → äussere Phase - zusammenhängende Phase, Dispersionsmittel, Dispersens

Je nach Aggregatzustand von disperser Phase & Dispersionsphase ergeben sich die verschiedensten dispersen Systeme mit den unterschiedlichsten Eigenschaften.

Was wird unter „Kennzeichnung“ grobdisperser Systeme verstanden und wie werden grobdisperser Systeme gekennzeichnet?

- stoffliche Zusammensetzung & Homogenität der Mischung (Mischungszustand)
 - Zusammensetzung (Komponenten, Art der Packung)
 - Mischgüte
- Merkmale der grobdispersen Phase (Dispersitätsbzw. granulometrischer Zustand)
 - Eigenschaften, die das Verhalten disperser Stoffe während der Stoffwandlung betreffen
 - Eigenschaften, die das Verhalten disperser Stoffe als Produkte bestimmen
 - Eigenschaften von Produkten, in denen disperse Stoffe wesentliche Komponenten sind.

Disperse Phase	Dispersionsphase		
	fest	flüssig	gasförmig
Fest	Gemenge (Feststoffgemisch) z.B. Kieshaufen	Suspension	Staub, Aerosol Gas-Fest-Stoff-Mischung z.B. Rauch mit Aschepartikel
Flüssig	Paste Feste Emulsion z.B. Zahnpaste	Emulsion z.B. Sirup in Wasser	Nebel, Aerosol, Regen
gasförmig	Poröser Körper Fester Schaum z.B. Backstein	Blasensystem z.B. Schaum	Immer homogen

Wie können Korngrößenverteilungen dargestellt werden und welche Informationen können aus Verteilungsdichte- und Verteilungssummenfunktionen sowie Körnungsnetzen gewonnen werden?

Als Äquivalentdurchmesser wird der Durchmesser einer Kugel, die entweder das gleiche Volumen, die gleiche Oberfläche oder die gleiche Endfallgeschwindigkeit (Absetzgeschwindigkeit) wie das betreffende unregelmässig geformte Teilchen besitzt, bezeichnet.

Was ist bei einer Probenahme zu beachten?

Definition: Entnahme von Teilmengen aus definierten Gesamtmengen (nach Masse, Volumen & Anzahl) gemäss festgelegten Richtlinien.

- Für die Untersuchung können die Proben durch Mischen, Teilen, Zerkleinern, Trocknen usw. vorbereitet sowie Probenpräparate durch Schneiden, Formen usw. fixiert & hergestellt werden.
- Für sehr viele Produkte liegen standardisierte Probenahmeverfahren (betriebsinterne, nationale & internationale Standards) vor, welche einzuhalten sind!
- Probenahmeverfahren müssen reproduzierbar sein!
- Probenahmen sind statistisch abzusichern & zu qualifizieren!

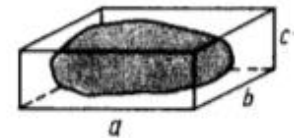
Wie wird die Viskosität definiert und welche Bedeutung hat diese Stoffeigenschaft in der Verfahrenstechnik?

Viskosität (Zähigkeit) ist die Eigenschaft eines Stoffes, unter Einwirkung einer Spannung zu fließen & irreversibel verformt zu werden. Die Viskosität ist auch ein Mass für die innere Reibung eines Stoffes. Der Viskositätskoeffizient, oft auch als dynamische Viskosität bezeichnet, ist ein stoffspezifischer Faktor, der die Viskositätseigenschaften beschreibt. Die dynamische Viskosität η wird definiert als Quotient aus Schubspannung T & Schergeschwindigkeit γ .

Wie können Flüssigkeiten nach dem Fließverhalten eingeteilt werden?

Einteilung nach Viskosität:

niederviskos		$\eta < 500 \text{ mPas}$
mittelviskos	$500 \text{ mPas} \leq$	$\eta \geq 5000 \text{ mPas}$
hochviskos		$\eta > 5000 \text{ mPas}$



a)

Arten der Berechnung des Äquivalentdurchmessers

$$1. d_{K,m} = b$$

$$2. d_{K,m} = \frac{a + b}{2}$$

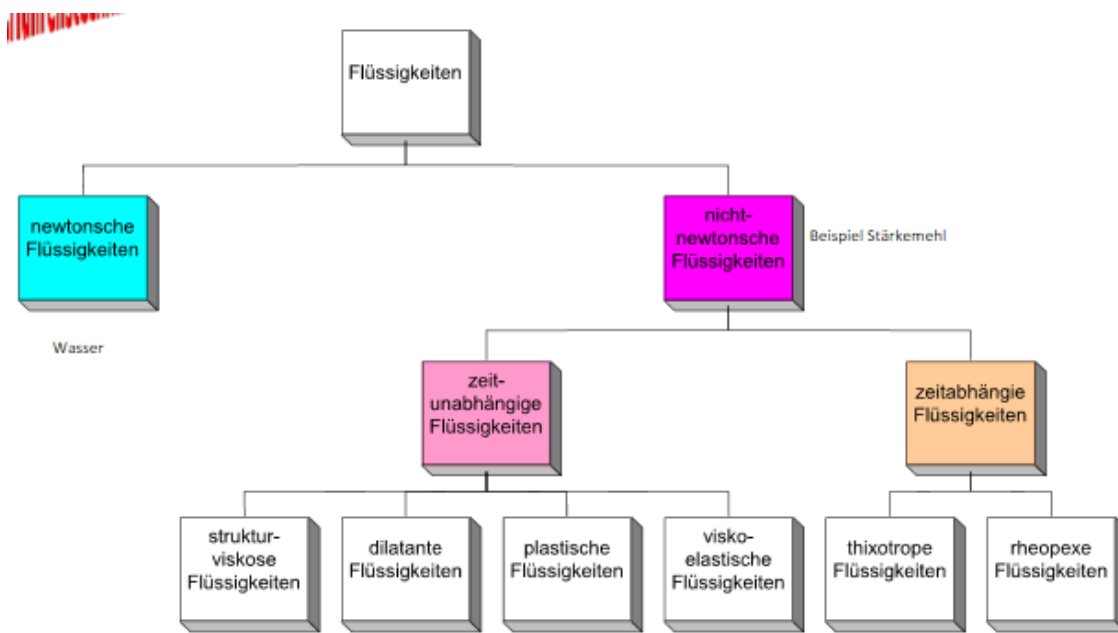
$$3. d_{K,m} = \frac{a + b + c}{3}$$

$$4. d_{K,m} = \sqrt{ab}$$

$$5. d_{K,m} = \sqrt[3]{abc}$$

$$6. d_{K,m} = \sqrt{\frac{ab + bc + ac}{3}}$$

Einteilung nach Fließverhalten:

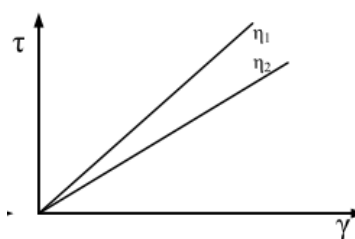


Fließkurven

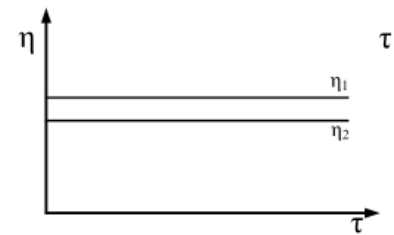
Newtonsche Flüssigkeiten

Die Relation zwischen Schubspannung (shear stress) & Schergeschwindigkeit (shear rate) ist linear & die Viskosität ist deshalb unabhängig von der Schergeschwindigkeit.

■ Fließkurve: Schubspannung τ als Funktion der Schergeschwindigkeit $\dot{\gamma}$



■ Viskositätskurve: Viskosität η als Funktion der Schubspannung τ

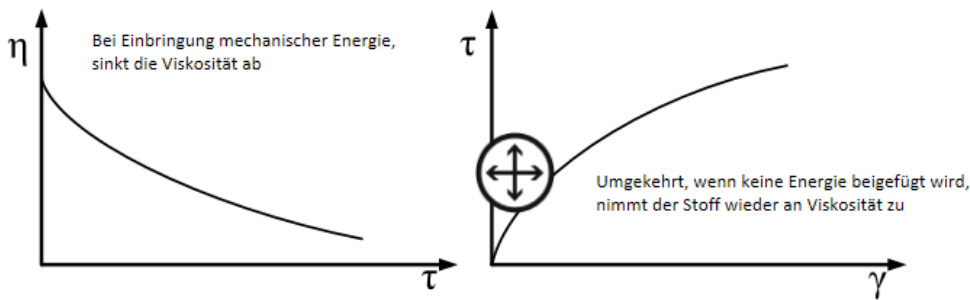


Nicht Newtonsche Flüssigkeiten

Alle Substanzen die nicht das ideale Fließverhalten aufzeigen, werden als nicht Newtonsche Flüssigkeiten bezeichnet. Sie sind gekennzeichnet durch:

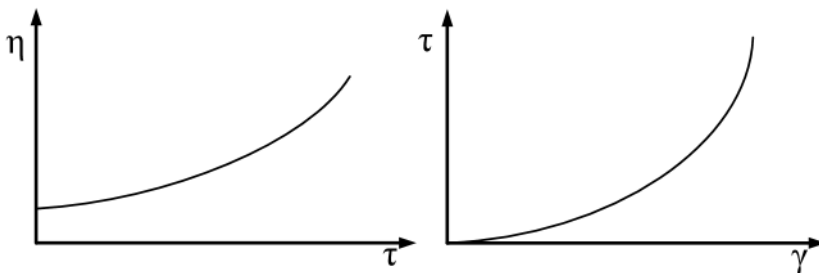
- die Schergeschwindigkeits-Abhängigkeit der Viskosität: Es besteht keine lineare Beziehung zwischen der Schubspannung & der Scherkraft.
z.B. strukturviskoses, dilatantes, plastisches Fließverhalten
- zeitabhängiges Fließverhalten: Zusätzlich zur Abhängigkeit der Viskosität von der Schergeschwindigkeit liegt bei Nicht-Newtonischem Verhalten auch noch häufig Zeitabhängigkeit vor. z.B Thixotropie, unechte Thixotropie, Rheopexie

Pseudoplastisches Fließverhalten



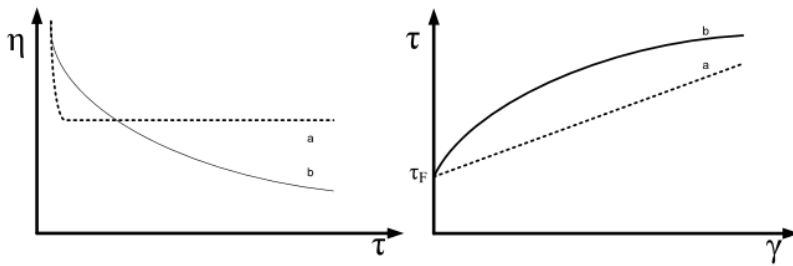
- Strukturviskose Stoffe weisen pseudoplastisches Fließverhalten auf.
- Bei pseudoplastischen Stoffen sinkt die Viskosität mit zunehmender Geschwindigkeit.
- Bei jeder gegebenen Schergeschwindigkeit ist die Viskosität konstant. Sobald die Schergeschwindigkeit steigt, bricht die rheologische Struktur zusammen & die Viskosität nimmt ab.
- Mit sinkender Schergeschwindigkeit baut sich die Struktur wieder auf.
Beispiele: Polymere, Latex, Papierbrei

Dilatantes Fließverhalten



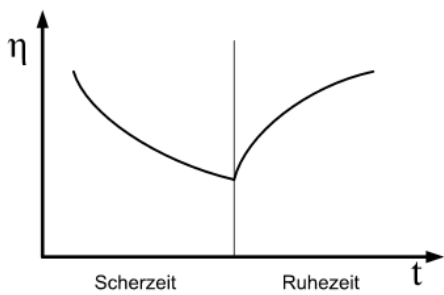
- Bei dilatanten Systemen nimmt die Viskosität mit wachsender Schergeschwindigkeit zu, d.h. es zeigt genau das umgekehrte Verhalten wie die Strukturviskosität.
- Im Extremfall können solche Substanzen bei sehr grossen Schubspannungen so viskos werden, dass ein Bruch in der Substanz auftreten kann.
- Beispiele: Schlagsahne, Glasurmassen, Erdnussbutter & Reisstärke in Wasser

Plastisches Fließverhalten



- Die Flüssigkeiten plastischer Art sind dadurch gekennzeichnet, dass ein Fließen erst nach dem Überwinden einer bestimmten Schubspannung einsetzt.
- Das danach einsetzende Verhalten kann pseudoplastisch oder dilatant sein.
- Dies ist bei dispersen Stoffsystemen (Flüssigkeiten mit Feststoffen von annähernd kugelförmiger Form) der Fall. Unterhalb dieser Grenze verhält sich ein disperses Stoffsystem wie ein fester Körper & ist als solcher plastisch verformbar.
- Beispiele: Eiweiss, Schokoladenmasse, Schmierfette, Zahnpasta

Thixotropes Fließverhalten

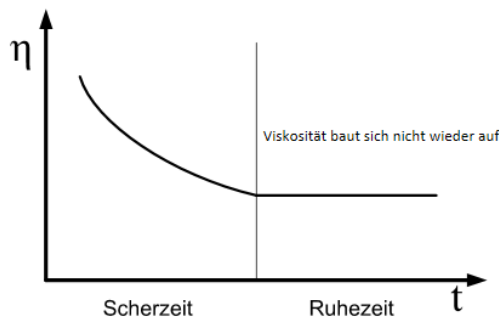


Thixotropie tritt bei Stoffen auf, deren Viskosität mit zunehmender mechanischer Beanspruchung abnimmt, deren strukturelles Gefüge sich jedoch nach einer gewissen Ruhezeit wieder auf den ursprünglichen Zustand zurückbildet. In gewissen Fällen wird der ursprüngliche Viskositätswert nicht mehr ganz erreicht. Thixotropie ist also

eine reversible Gel - Sol – Umwandlung.

Beispiele : Sirup, Schmalz, Magerquark, Honig, Mayonnaise

Unrechtes Thixotropes Fließverhalten



Unechte Thixotropie tritt bei Substanzen auf, deren Viskosität bzw. Struktur sich nach einer gewissen zeitlichen mechanischen Einwirkung nicht wieder aufbaut.

In der Ruhezeit findet kein Gel - Aufbau mehr statt.

Beispiel : Joghurt

4. Stoffvereinigen

Worin bestehen die Prozessziele mechanischer Stoffvereinigungsprozesse?

Durch Einwirkung von mechanischen Werkzeugen & Kraftfeldern eine möglichst homogene Mischung & Wärmeübertragung im mehrheitlich flüssigen Gemisch herzustellen. Ausgangspunkt sind mindestens zwei Mischpartner mit gleichem oder unterschiedlichem Aggregatzustandes.

Hauptaufgaben: Homogenisierung, Suspendieren, Dispergieren (flüssig-flüssig), Dispergieren (gasförmig-flüssig), Wärmeaustausch (vor allem im Fermentationsbereich).

Mit welchen verfahrenstechnischen Methoden wird in der Prozessindustrie gemischt?

In technischen Prozessen unterscheidet man zwischen: Rühren, Kneten, Trockenmischen & kontinuierlichem Mischen (Strömungsmischen). Zusätzlich wird unterschieden in:

Distributives Mischen	Verteilen, Vermengen, Platzwechsel der Teilchen nach Ordnungs- & Zufallsmatrix, (Überwinden von Schwerkraft & Reibung)
Disperses Mischen	Zerkleinern von Aggregaten & Agglomeraten (Überwindung der vorliegenden Festigkeiten) → Senf oder Mandelmilchherstellung
Laminares Mischen	Ausziehen, Falten, Rühren & Überwinden der Newton'schen Reibung → Blätterteig selber machen
Turbulentes Mischen	Erzeugung turbulenter Strömung in Flüssigkeiten & Gasen → Ideales Mischen, Mischen in alle Richtungen
Diffuses Mischen	Konzentrationsausgleich durch Diffusion

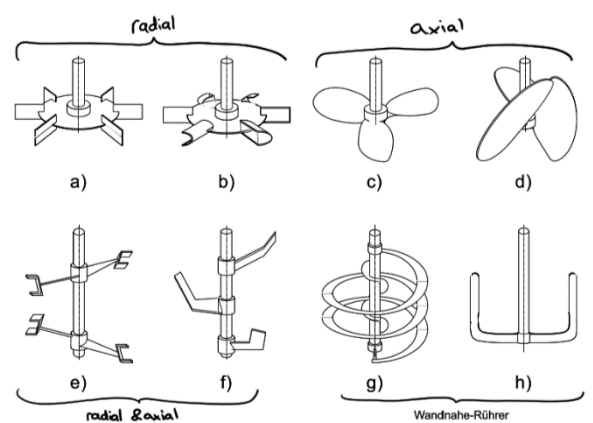
Was verstehen Sie unter einem Mischgrad, der Mischzeit und der Verweilzeit?

Mischgrad	wie stark das Gemenge vermischt ist
Mischzeit	Zeit, welche nötig ist, um nach der Zugabe einer Störgrösse eine definierte Mischgüte im System zu erreichen. → Zeit vom Beginn der Mischung bis zum Zeitpunkt, bei dem stabil eine Abweichungen von 5 % vom Sollwert erreicht wird.
Verweilzeit	Zeit, welche Teilchen (Stoffsysteme) in kontinuierlichen Systemen verweilen.
Mittlere Verweilzeit	durchschnittliche Verweildauer aller Teilchen im System. Verweilzeitmessungen zur Charakterisierung der Misch- & Strömungszustände (Impuls-, Verdränger-, Frequenzmethode)

Erläutern Sie je ein Beispiel eines Rührverfahren für das Mischen flüssig/fest, flüssig/flüssig und flüssig/gasförmig?

- Flüssig/fest Kneteter (z.B. Teigkneten)
- Flüssig/flüssig Rührkessel (z.B. Fermentation)
- Flüssig/gasförmig Düsen (z.B. Sauerstoffeintrag)

Worauf ist bei der Auswahl eines optimalen Rührers zu achten?



- a) Scheibenrührer
- b) Scheibenrührer (konkave Blätter)
- c) Propellerrührer
- d) Schrägblattrührer (abgerundete Blätter) sehr schonend, langsame Rührung -> auch Elefantentühren
- e) Inter-Mig-Rührer (Ekato, D) nur in sehr grossen Rührwerken
- f) Hint-Rührer (Chema Balcke Dürr, D),
- g) Wendelrührer, kann auch in hochviskosen Systemen verwendet werden
- h) Ankerrührer kann auch in hochviskosen Systemen verwendet werden

- Rühraufgabe
- Energieeintrag
- Stoffsystem: (Zusammensetzung, Empfindlichkeit, Viskosität)

Wie wird die Rührerleistung berechnet und was ist dabei zu beachten?

Rührerleistung:

Aus Antriebsleistung $P = P_{el} - P_V$ mit el = elektrisch / V = Verlust (meist geschätzt)

Aus Drehmomentmessung $P = M * 2 * \pi * n$ mit n = Drehzahl / M = Drehmoment

Aus Kräftebilanz $P = c_p * \rho * n^3 * d_2^5$ mit c_p = Leistungskennzahl

Rührerumfangsgeschwindigkeit (tip speed):

$w_u = \pi * n * d_2$ mit n = Drehzahl / d = charakteristische Länge, Durchmesser

Leistungskennzahl:

$c_p = Eu_M = Ne = \frac{P}{\rho * n^3 * d_2^5}$ mit P = Leistung / ρ = Dichte / n = Drehzahl / d = Durchmesser

Modifizierte Reynoldszahl:

$Re_M = \frac{n * d_2^2 * \rho}{\eta} = \frac{w_u * d_2 * \rho}{\pi * \eta} = \frac{\text{Trägheitskraft}}{\text{Reibungskraft}}$ mit η = dynamische Viskosität / d = Querschnitt

Modifizierte Froude-Zahl:

$Fr_M = \frac{n^2 * d_2}{g} = \frac{w_u^2}{\pi^2 * g * d_2} = \frac{\text{Trägheitskraft}}{\text{Schwerkraft}}$ mit η = dynamische Viskosität

Erläutern Sie das Prinzip eines statischen Mixers! Wo könnten statische Mixer in der Industrie eingesetzt werden?

Zusammenbringen & Ineinanderverteilen von Stoffen durch nicht bewegliche Elemente in einem Rohr bzw. in einem Strom. → Sie sind für alle Mischaufgaben geeignet!

Erläutern Sie den Aufbau und die Anwendung eines Kneters!

Als „Kneten“ werden Mischverfahren bezeichnet, bei denen die fertigen Gemische in zähflüssigen bis teigigem Zustand (hochviskoser, plastischer oder pastöser Form) vorliegen.

Die Begriffe „Kneten“ & „Rühren“ sind insbesondere „apparativ“ nicht klar trennbar.

Anwendung: Pasten, Teig, hochviskose Systeme.

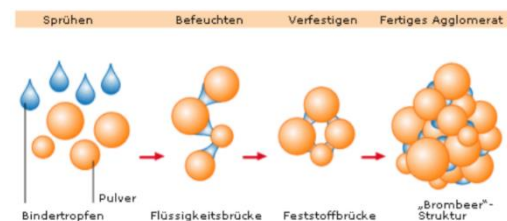
Was ist bei dem Einsatz eines Trockenmischers zu beachten?

Zusammenbringen & Ineinanderverteilen von ausschliesslich „trockenen“ Stoffen (Pulvern, Feststoffen) **Achtung:** Systeme können biologisch aktiv werden, wenn Wasser eingebracht wird. Klumpenbildung!

Mittels welcher Methoden können Feststoffe kompaktiert werden?

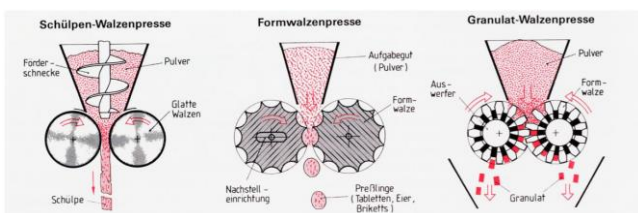
Kompaktieren (Zusammenfügen, Agglomerieren, Kornvergrösserung) ist der gegenteilige Verfahrensschritt zum Zerkleinern & eine Methode zur Herstellung von körnigem Gut (Aggregate).

Bei der **Aufbauagglomeration** werden die Bindungen durch stoffliche Brücken zwischen den einzelnen Partikeln hergestellt & übertragen. Z.B. Sprühagglomeration (Bild) oder Wirbelschichtagglomeration.



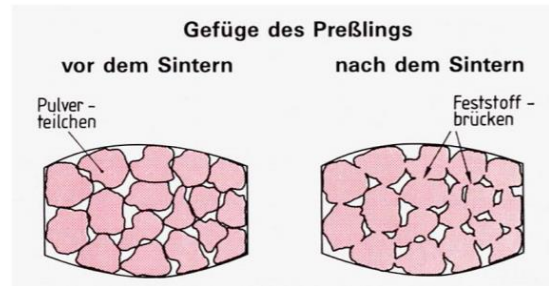
Bei der **Pressagglomeration** werden pulverförmige &

feinkörnige Stoffe durch mechanisches Verdichten in Pressmaschinen zu kleinstückigem Gut verdichtet. Zwischen den einzelnen Partikeln wirken Anziehungskräfte (z.B. Van-der-Waals'scher Kräfte), welche durch den erhöhten Druck aktiviert werden. Es werden keine stofflichen Brücken herausgebildet, so wie bei der Aufbauagglomeration! Z.B. Walzenpressen →



Oder Ringmatrizenpressen, Schneckenstangenpressen, Extruder (Verschiedene Temperaturzonen)

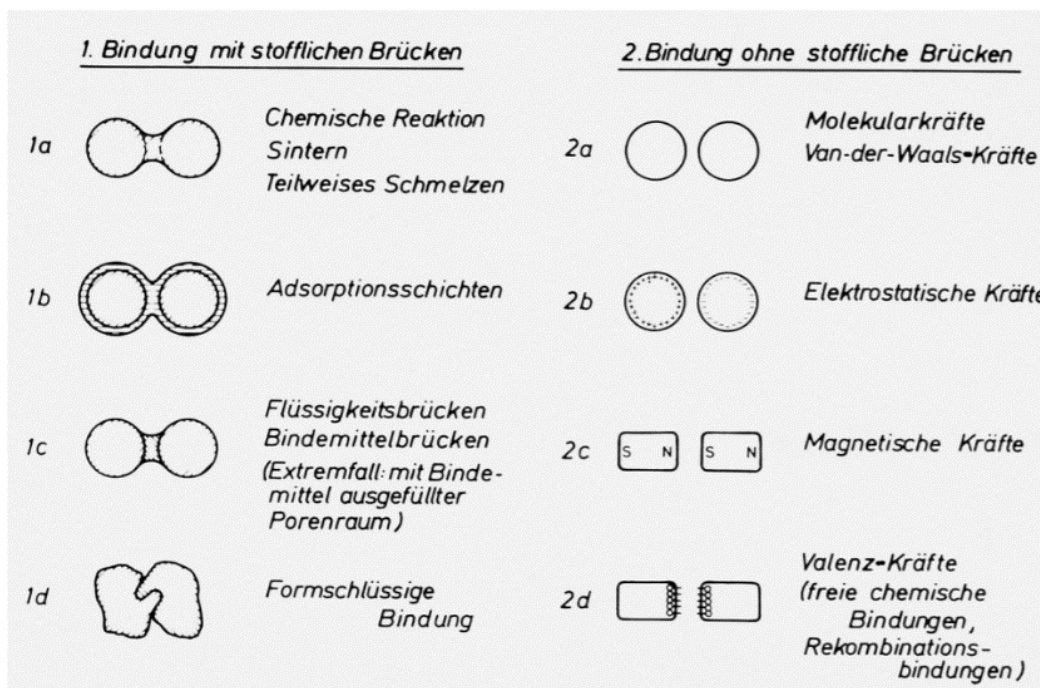
Beim **Sintern** werden vorgepressten Pulverformteile oder Granulate einer definierten Wärmebehandlung unterhalb der Schmelztemperatur des Materials unterzogen. Unter dem Einfluss von Temperatur & Druck verändert sich das Materialgefüge. An den Berührungsstellen bilden sich Feststoffbrücken. Z.B. in Zahntechnik, Porzellanproduktion,



Durch welche Eigenschaften werden Agglomerate charakterisiert?

- Agglomerationskorngrösse
- Porosität
- Druckfestigkeit
- Abriebfestigkeit

Welche Bindungsmechanismen können bei der Agglomeration eine Rolle spielen?



Erläutern Sie den Unterschied zwischen Aufbauagglomeration und Pressagglomeration!

Bei der Aufbauagglomeration erfolgt das Granulat aus Bindungen zwischen dem einzelnen Stückgut, wobei bei der Pressagglomeration durch mechanisches verdichten die van-der-waals Kräfte aktiviert werden.

5. Zerteilen

Welches Ziel haben Zerteilprozesse in der Prozessindustrie?

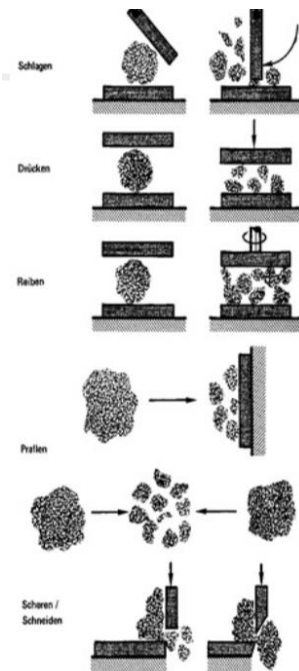
Hängt immer von Prozess ab.

- Anstreben einer Korngrößen- oder Kornformverteilung
- Oberflächenvergrößerung
- Aufschliessen der Werkstoffe
- Strukturänderungen & chemische Reaktionen

Welche Beanspruchungsarten werden bei mechanischen Zerkleinerungsmaschinen angewandt?

Stoffeigenschaft	Schlag	Druck	Scherung	Prall	Schnitt
hart	++	++	-	-	-
spröde	++	++	-	++	-
mittelhart	++	++	+	++	-
weich	+	+	++	++	++
elastisch	-	-	-	+	++
zäh	-	-	-	++	++
faserig	+	-	+	+	++
wärmeempfindlich	-	-	-	++	+

++ gut anwendbar, + bedingt anwendbar, - nicht anwendbar



Welche Zerkleinerungstechniken werden vorrangig in der Biotechnologie- und Lebensmittel-industrie eingesetzt und warum?

Brechen & Mahlen Entsprechend der Stückgrösse des Aufgabegutes ist häufig ein stufenweises Zerkleinern bis zum gewünschten Endprodukt erforderlich.

Zerteilen & Schneiden Prozessziel strebt neben Verringerung der Stückgrösse gleichzeitig eine bestimmte definierte Formgebung an.

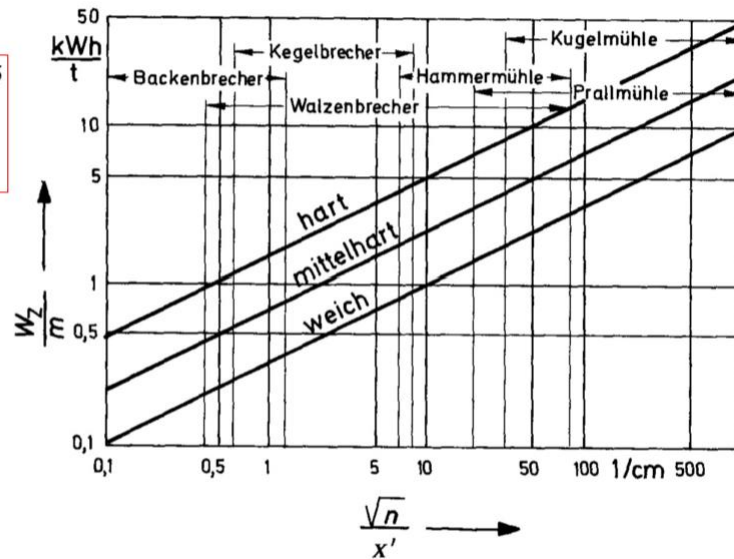
Nennen Sie generelle Regeln, die beim Zerkleinern beachtet werden sollten!

Stückgrösse, Aufbau, Härte, Sprödigkeit & Spaltbarkeit der Ausgangsstoffe sowie der geforderte Zerkleinerungsgrad & Energiebedarf bedingen die Wahl des Zerkleinerungsverfahrens.

Wie kann der Energieaufwand beim Zerkleinerungsprozess bestimmt werden?

Mit dem Zerkleinerungsgesetz von Bond & Wang:

$$\frac{W_Z}{m} = C * \left(\frac{\sqrt{n}}{x'} \right)^{0,5}$$



W_Z technische Zerkleinerungsarbeit [Nm]

C empirische Konstante, abhängig von Art des Feststoffs & der Zerkleinerungsmaschine

m Menge des zerkleinerten Feststoffs [kg]

n Zerkleinerungsgrad

x' Korngrösse nach der Zerkleinerung (Grösstkorndurchmesser) [m]

W_Z/m spezifische Zerkleinerungsarbeit [Nm/kg]

Wie kann der Energieaufwand beim Zerkleinerungsprozess gesenkt werden?

- zerkleinerungstechnisch Sprödbbruch anstreben (z.B. Jacke einfrieren → dann kann man ganz einfach zerbrechen).
- Zähbruch vermeiden
- im Aufgabegut enthaltene Feianteile vor dem Zerkleinern abtrennen
- hohe Zerkleinerungsgrade sind durch stufenweises Zerkleinern unter Zwischenschalten von Klassierapparaten & oder Kreislaufbetrieb zu realisieren
- nur so fein wie nötig zerkleinern
- wo technologisch nichts dagegen spricht, ist die Nassmahlung anzuwenden, da bei der trockenen Variante Staub entsteht, was die Mechanik beschädigen kann.
- wo möglich, sind oberflächenaktive Stoffe zur Senkung der spezifischen Oberflächenenergie einzusetzen
- in Mahlkörpermöhlen ist autogener Betrieb anzustreben

Was verstehen Sie unter dem Begriff „Härte“ und welche Bedeutung hat er beim Zerkleinern?

- Als Härte wird der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen Körper entgegensetzt, bezeichnet.

Wie kann der Zerkleinerungsgrad bestimmt werden?

Der Zerkleinerungsgrad ist ein Mass der Zerkleinerung. Je feiner die Zerkleinerung eines Feststoffes, desto grösser ist der Zerkleinerungsgrad.

$$\text{Zerkleinerungsgrad } n = \frac{\text{Frösstkorndurchmesser (Aufgabekorngrösse) } x}{\text{Grösstkorndurchmesser (Endkorngrösse) } x'}$$

Vorgang	n	d	Endprodukt
Grobbrechen	3 bis 6	> 50 mm	Brocken
Feinbrechen	4 bis 10	5 bis 50 mm	Splitt
Schroten	5 bis 10	0.5 bis 5 mm	Schrot
Feinmahlen	10 bis 50	50 bis 500 µm	Griess
Feinstmahlen	> 50	5 bis 50 µm	Mehl
Kolloidmahlen	> 50	< 5 µm	Puder

Was sind Kerbstellen und welche Rolle spielen Sie beim Zerteilprozess?

Kerbstellen sind innere Risse, Hohlräume, Fremdstoffeinschlüsse, Versetzungen an Korngrenzen, Gleitebenen & unebene Oberflächen der realen Festkörper, die nur im Idealfall homogen sind. Diese unter Eigenspannungen stehenden Inhomogenitätsstellen wirken als Kerbstellen.

Nach welchen Kriterien werden Brecher und Mühlen eingeteilt und eingesetzt? Nennen Sie

Beispiele!

Ø dem Beanspruchungsmechanismus

Ø der Endfeinheit des Gutes

Ø der Härte des Gutes

Ø Art der Energieeinleitung

Maschine	Zerkleinerungsgrad	Beanspruchung	Zerkleinerungsgut (Beispiele)	Aufgabekorngröße in mm	Endkorngröße in mm	Durchsatz in t/h
Backenbrecher	3... 6	Druck, Schlag	Erz, hartes Gestein	130... 1500	25...350	5...1200
Walzenbrecher (Walzenmühle)	4... 6	Druck, Schlag	Gestein, Kohle, Salze	100...350 (10... 50)	15... 80 (0,8...15)	50...1200 (50...300)
Kegelbrecher	4... 6	Druck, Scherung	Erz, hartes Gestein	25...300	5... 75	8...600
Prall- und Hammerbrecher	10...15	Schlag, Prall	Kohle, Kalkstein	50...600	5... 50	20...300
Daumenbrecher	10...20	Druck, Schlag	Brannkalk, Kreide	100...200	5... 20	1... 10
Wälzmühlen	10...50	Druck, Scherung	Kohle, Ton, Klinker	20... 30	0,05...1	3...150
Kugelmühle	10...50	Schlag, Scherung	Quarz, Zement	20... 30	<0,01	2... 60
Schwingmühle	10...50	Schlag, Scherung	Bauxit, Schlacke	0,5... 30	0,001... 0,05	2... 20
Prallmühle	10...50	Schlag, Prall	Düngesalze, Harze	20... 30	0,05... 0,5	0,5 ...20

Welche Kräfte- und

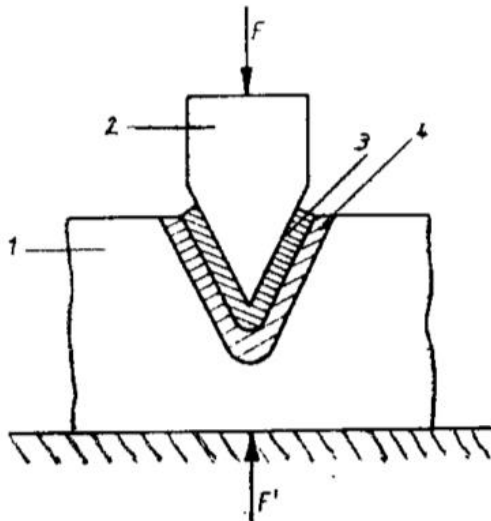
Beanspruchungen treten an

Brechern und Mühlen auf?

Druck, Schlag, Scheren, Reiben, Prall

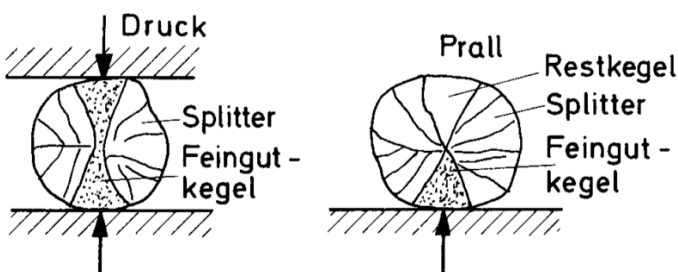
Erläutern Sie den Unterschied zwischen Zerteilprozessen von spröden und nichtspröden Stoffen!

Nichtspröde Stoffe werden ausgezeichnet durch plastische Verformung vor dem Bruch & einem langsamen Risswachstum.



- 1 Schneidgut
- 2 Schneide
- 3 Zone der plastischen Verformung
- 4 Zone der elastischen Verformung

Im Gegensatz dazu erfolgt die Zerkleinerung bei spröden Stoffen durch einen Bruch.



Welche Zielsetzungen können Flüssigkeitszerteilprozesse haben?

Ziele der Flüssigkeitszerteilung durch Versprühen (auch als Zerstäuben bezeichnet) sind:

- Vergrößerung der mengenbezogenen Oberfläche & Vermischung mit der Gasphasen, um Wärme- & Stoffaustauschprozesse zu intensivieren oder die Reaktionsgeschwindigkeit zu erhöhen (z.B. Sprühtrocknung, Luftbefeuchtung, Gaskühlung usw.).
- Herstellung von Produkten mit bestimmten granulometrischem Zustand (z.B. Sprühtrocknung, Granulieren von Schmelzen)
- Gleichmässiges Verteilen von Flüssigkeiten auf Flächen & Räumen (z.B. Luftkonditionierung, Leimspritzen, Schädlingsbekämpfung).

Erläutern sie den Unterschied bei den Verfahren zur Flüssigkeitszerteilung!

- Berieselung: Flüssigkeit wird in einzelne Strahlen, Bäche, Netze, Filme oder grosse Tropfen zerteilt
- Zerstäubung (Verstäubung): Flüssigkeitsstrahlen werden in feine Tropfen ($d_K = 0,001$ bis 1 mm) mit relativ grossen spezifischer Oberfläche zerteilt
- Zerspritzung (Verspritzung): aus Flüssigkeitsoberflächen werden Flüssigkeitsteilchen (Spritzer, Strahlen & Tropfen) herausgelöst

Wie und durch welche Grössen werden Düsen charakterisiert?

Düsen sind im einfachsten Fall eine Rohrverengung in der hydrostatische Druck der Flüssigkeit in Geschwindigkeitsenergie umgewandelt wird. Man unterscheidet nach der Bauform zwischen:

- Flüssigkeitsdruckdüsen (Druckdüsen)
- Zweikomponentendüsen (Zweistoffdüsen bzw. Mehrstoffdüsen)

Druckdüsen sind geeignet für die Zerstäubung nicht zu viskoser Flüssigkeiten ($\eta < 50$ bis 100 mPas). Zweikomponentendüsen (Zweistoffdüsen) zerstäuben die Flüssigkeit mit Hilfe eines Treibmittels (Gas, Dampf). Die Viskosität & die Zusammensetzung der Flüssigkeiten sind von untergeordneter Bedeutung bei den Zweikomponentendüsen.

Düsen werden ausserdem unterschieden nach der Form ihres Sprühkegels in:

- Vollkegeldüsen
- Hohlkegeldüsen
- Flachstrahldüsen

6. Trennen

Welches Ziel haben Trennprozesse in der Prozessindustrie?

Das Zerlegen eines Stoffgemisches oder Stoffgemenges in einzelne Komponenten oder Phasen durch mechanisches oder thermisches Trennen.

Der Erfolg des Trennprozesses wird durch den Trenngrad, die Trenngrenze & die Trennschärfe charakterisiert. Die Trennfunktion (Trenngrad) gibt an, welcher Massenanteil einer Merkmalsklasse im Produkt ausgebracht wird.

Welche Kräfte- und Kraftfelder werden zum Trennen disperser Systeme eingesetzt?

Magnetfelder, Druckfelder, Triebfelder, Schwerkraft, Zentrifugalkraft.

Erläutern Sie den Unterschied zwischen Sortieren und Klassieren!

Klassierung: Auftrennung einer körnigen Substanz in Klassen / Bereiche unterschiedlicher Grössen. Unterscheidung in Siebklassieren & Stromklassieren (Hydroklassieren & Sichten).

Sortieren: Auftrennen eines Stoffgemisches in Komponenten unterschiedlicher Stoffart bzw. unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften (Dichte, Magnetismus, elek. Leitfähigkeit, Dielektrizitätskonstante, optische Eigenschaften, Grenzflächeneigenschaften). Die Eigenschaft muss messbar sein.

Durch welche Einflüssgrössen kann der Wirkungsgrad beim Siebprozess beeinflusst werden?

- Gesamtfläche der freien Sieböffnungen
- Sieböffnungsfehler
- Gutdurchsatz
- Kornverteilung
- Oberflächenfeuchte
- Oberflächenkräfte
- Art & Intensität der Gutbewegung

Was ist der prinzipielle Unterschied zwischen Filtration und Sedimentation und welche Kräfte können technisch dazu genutzt werden?

Sedimentation: Trennung von Feststoff & Flüssigkeit aufgrund eines Dichteunterschiedes [Erdschwerefeld (Absetzen) / Zentrifugalfeld (Fliehkraftsedimentation)] oder aufgrund magnetischer oder elektrischer Eigenschaften (Magnetfeld /

Elektrischen Feld). Charakteristisch für die Sedimentationsverfahren ist die entgegengesetzt gerichtete Bewegung von Feststoff & Flüssigkeit.

Filtration: Mechanisches Trennen von Feststoffen & Flüssigkeiten aufgrund ihrer unterschiedlichen Teilchengrösse mithilfe eines Filters. Es ist kein Dichteunterschied notwendig. Die Bewegungsrichtung beider Stoffe ist gleich.

Durch welche Grössen können Filtrations- und Sedimentationsprozesse beeinflusst werden?

Sedimentation Stoke & Newton & Archimedeszahl, durch Fliehkräfte beschleunigt.

Filtration Triebkräfte, Erdschwerkraft, Druck, Vakuum, Zentrifugalkraft.

Was sind Flotationsprozesse und wo werden sie eingesetzt?

Die Sedimentationsrichtung von Feststoffteilchen dreht sich um, wenn die Dichte geringer ist als diejenige der umgebenden Flüssigkeit. Die Auftriebskräfte der Teilchen wird somit grösser als die eigene Gewichtskraft. Die Teilchen heften sich an Gasblasen oder Flüssigkeitstropfen mit geringerer Dichte. Somit kann man Flotieren als Umkehrung der Sedimentation betrachten.

Erläutern Sie den Unterschied von Oberflächen- und Tiefenfiltration an einem Beispiel!

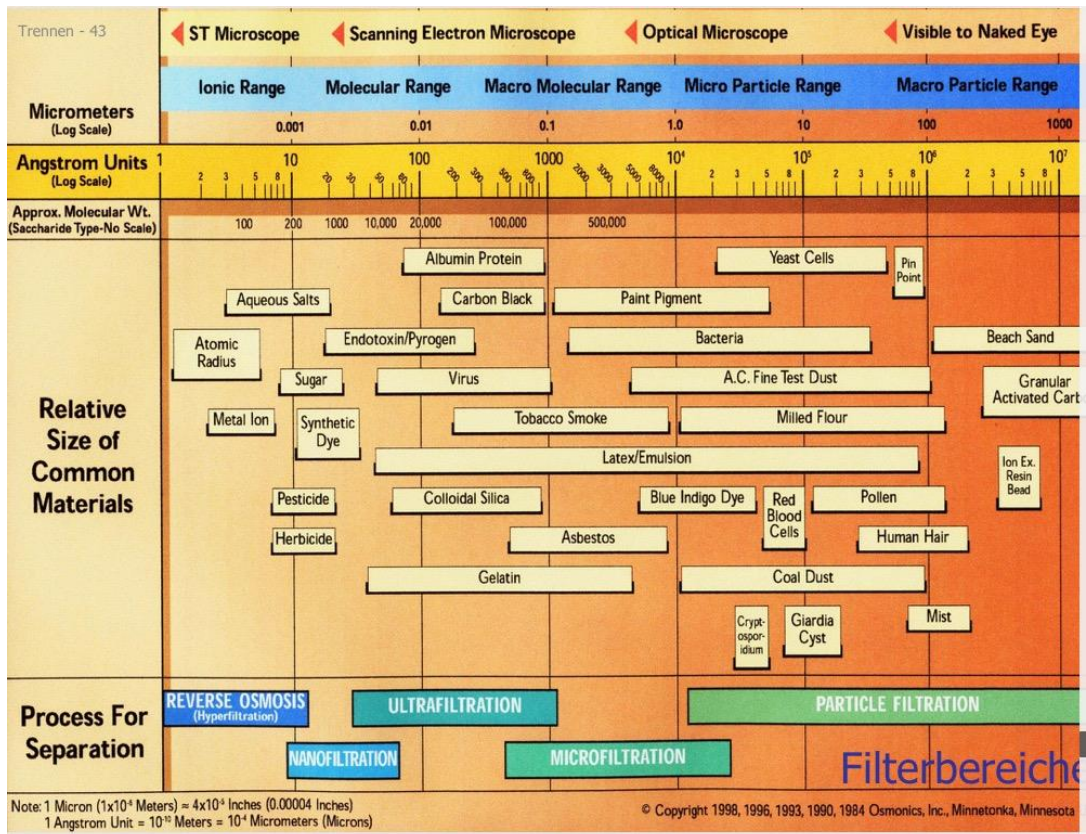
Bei der **Oberflächenfiltration** erfolgt die Abtrennung der Feststoffteilchen einer Suspension durch einen sich im Laufe der Filtration aus den Feststoffteilchen aufbauenden Filterkuchen. Aufgrund der Verstopfungsgefahr & des Strömungswiderstandes werden die Porendurchmesser des Filtermediums grösser als die Durchmesser der in der Suspension enthaltenen Partikel gewählt. Feststoffteilchen gelangen ins das Filtrat bis sich über den Poren des Filtermediums Feststoffbrücken aufgebaut haben. Die Feststoffbrücken erfüllen dann ihrerseits die Funktion des Filtermediums. Innerhalb des Filterkuchens treten nach dem Aufbau der Filterschicht (Filterkuchen) neben der Siebwirkung auch die gleichen Trenneffekte wie sie im Tiefenfilter auftreten (Sperreffekte, Sedimentation & Diffusion) auf. → **Filter baut sich selbst auf! Gröberes Medium wird benötigt!**

Die **Tiefenfiltration** beruht auf dem Prinzip der Partikelabscheidung im Innern grobporiger Schichten (Filterschichten). Die Abscheidung der Partikeln basiert hauptsächlich auf den drei Mechanismen der Sperreffekte (Interzeption), Sedimentation & Diffusion. → **Die Tiefenfiltration ist ein typisches Verfahren zur Klärung von sehr feinen Suspensionen geringer Feststoffkonzentration.**

Mittels welcher Methoden können Filtrationsprozesse massstabsvergrössert werden?

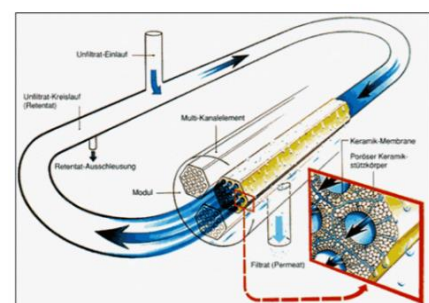
Durch Ausrechnend der Filterwiderstände & hochskalieren & über die Filtermodule (klein, mittel, gross, übergross) der jeweiligen Hersteller.

Bis zu welchen Trenngrössendurchmesser wird von normaler Filtration, Mikro-, Ultra- und Nanofiltration gesprochen?



Was wird unter Crossflow-Filtration verstanden?

Das ist die Querstromfiltration. Filtermedium & Suspension bewegen sich parallel mit grosser Relativgeschwindigkeit zueinander. Die Strömungsrichtung des Filtrates (Permeates) & der Suspension (Konzentrat) stehen senkrecht zueinander. Die Relativbewegung wird erreicht indem die Suspension über die Filterfläche tangential abgeführt wird. Somit wird ein Scherfeld aufgebaut.



Erläutern Sie das Prinzip einer Tellerzentrifuge!

Beruhet auf Dichteunterschied in einem Zentrifugalfeld. Suspension kommt oben unter Druck rein, Suspension wird in Zentrifugalfeld geschleudert, Partikel bleiben an den «Tellern» hängen & werden in der Auffangrinne gesammelt. Flüssigkeit gelangt aufgrund geringerer Dichte nach oben & läuft ab.

7. Rühren/Begasen/Scale-up

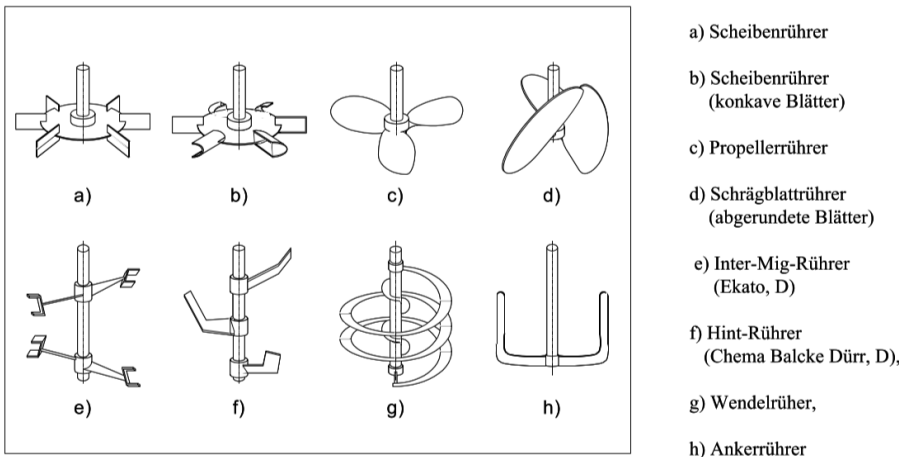
Was bedeuten CFD und PIV?

CFD: Die numerische Fluidodynamik (computational fluid dynamics, CFD) ist ein Spezialgebiet der Strömungsmechanik, mit der sich Strömungsprofile, Mischvorgänge sowie Wärme- & Stofftransportvorgänge berechnen lassen.

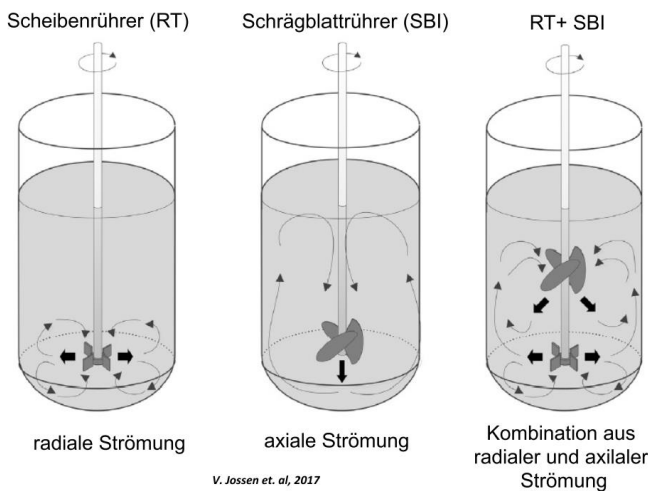
PIV: Particle Image Velocimetry → Berührungsloses Messen der Fluidströmungsgeschwindigkeit

- Partikel fließen durch fokussierten Laser-Bereich
- Zwei einzelne Bilder mit HighSpeed-Kamera
- Bildauswertung durch Software
 - Messung des Partikelabstandes
 - Berechnung der Strömungsvektoren
 - Graphische Darstellung der Ergebnisse

Welches sind die wichtigsten Rührorgane von Zellkulturbioreaktoren?

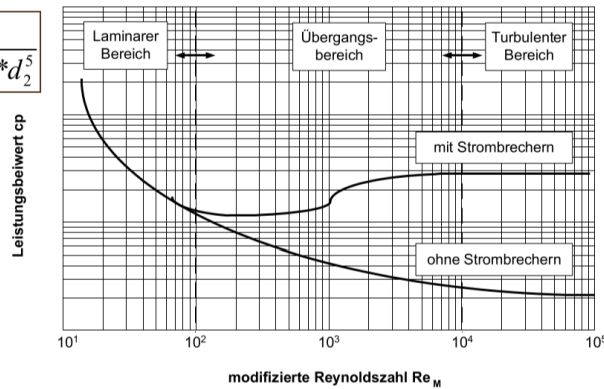


Unterschieden Sie axiale, radiale Rührorgane und Rührorgane mit verteiltem Energieeintrag.



Was ist die Leistungskennzahl eines Rührorgans?

$$cp \equiv Eu_M \equiv Ne = \frac{P}{\rho * n^3 * d_2^5}$$



$$Re_M = \frac{n * d_2^2 * \rho}{\eta} = \frac{w_u * d_2 * \rho}{\pi * \eta}$$

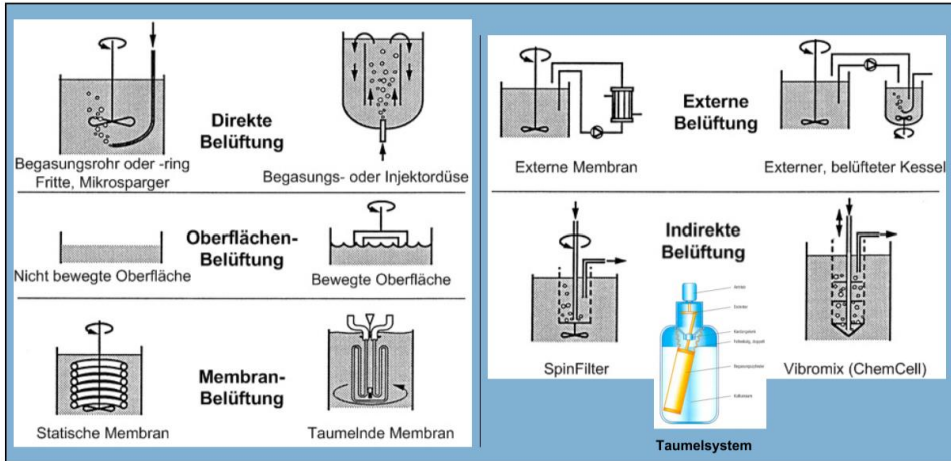
Zürcher Fachhochschule

Was ist die Theorie des Sauerstoffeintrages und die Möglichkeiten der Begasung von Zellkulturbioreaktoren?

Zur Aufrechterhaltung der gelösten Gaskonzentrationen in der Kulturlösung müssen sterile & komprimierte Luft, Sauerstoff, CO₂ oder entsprechende Gasmischungen in die Bioreaktoren eingeleitet oder mit den entsprechenden Gasen gesättigtes Kulturmedium dem Reaktor zugeführt werden

Begasungsmöglichkeiten:

- aktive Oberflächenbegasung durch gerührte Oberflächen & Luftinjektion
- Hohlrührer
- Submersbegasung (direkter Gaseintrag über Begasungsringe, Düsen, Prallplatten, Lanzen)
- blasenfreie Begasung
 - Oberflächenbegasung
 - Membranbegasung (stationäre & dynamische Membranen)
 - Indirekte Begasung über mechanische Filtersysteme (Vibromix, Spin- & Taumelfilter)
 - externe Begasung über Membranen & Submersbegasung im Aussenkreislauf



Hauptprobleme:

- Schädigung der Zellen durch aufsteigende Gasblasen & ihr Platzen an der Oberfläche
- der Drainageeffekt im Schaum
- Schaumbildung

Erklären Sie die Begriffe Scale-up und Scale-down.

Scale-up Massstabsvergrößerung → Überführung von Laborergebnissen in den Technikums- bzw. Produktionsmassstab

Scale-down Massstabsverkleinerung → Schaffung von Modellbedingungen (Modellreaktoren & Modellsystemen), die die Verhältnisse in Produktionsreaktoren bzw. Produktionssystemen adäquat nachbilden

Bei der Massstabsübertragung müssen 3 Grundvoraussetzungen eingehalten werden:

- Gleichheit der stofflichen Bedingungen (Organismus, Medienzusammensetzung, Stoffwerte, Temperatur, pH-Wert)
- geometrische Ähnlichkeit der Systeme (proportionale Vergrößerung der Hauptabmessungen)
- Gleichheit der verfahrenstechnischen Prozessbedingungen (Anwendung von Übertragungsregeln)

Was sind die Probleme / Herausforderungen beim Scale-up und Scale-down?

Scale-up	Scale-down
<ul style="list-style-type: none"> • Verschlechterung der Durchmischung • Gradientenbildung (Überkonzentrationen, Mangelversorgung) 	<ul style="list-style-type: none"> • Platzprobleme, z.B. zum Einbringen von Sonden usw. • Gradientenbildung (Überkonzentrationen, Mangelversorgung)

<ul style="list-style-type: none"> • Auftreten von übermässigen Scherbeanspruchungen • Probleme bei der Wärmeabfuhr • veränderter Stoffwechsel & Produktqualität • Nebenprodukte • Schaumbildung etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • zu geringes Reaktionsvolumen für ausreichende Probenahme • veränderter Stoffwechsel & Produktqualität • Nebenprodukte
--	---

Erklären Sie die klassischen Wege von der Ampulle zum Produktionsbioreaktor für Zellkulturen.

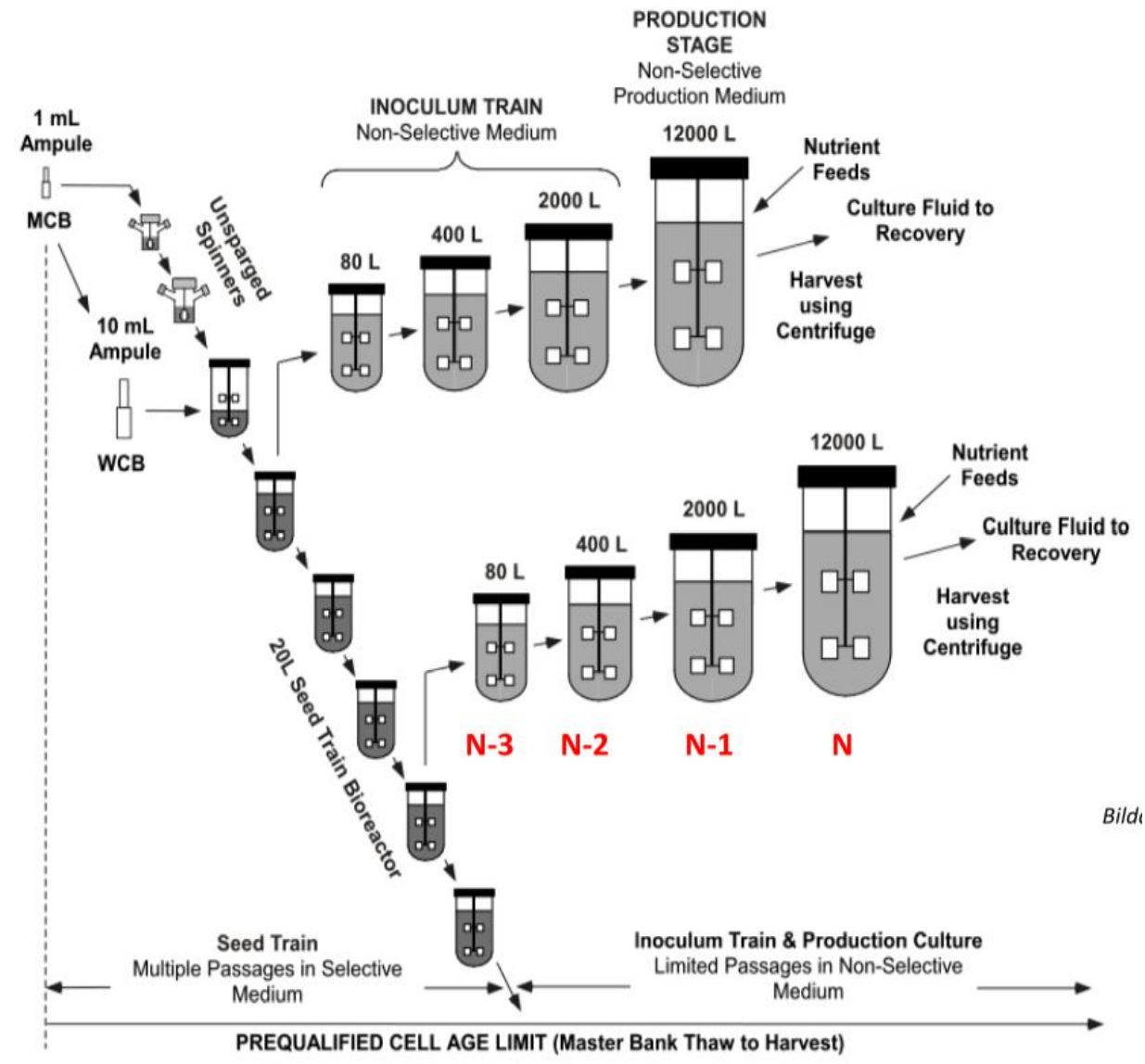
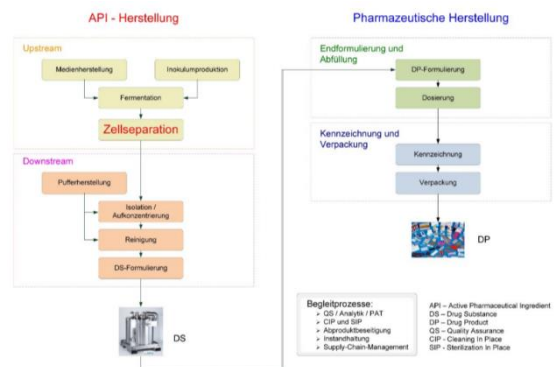


Bild 1

8. Zellernte und -separation

Ordnen Sie Zellernte und -separation in den biopharmazeutischen Produktionsprozess ein.

Die Zellernte bzw. die Zellseparation wird je nach „Philosophie“ als letzter Prozessschritt dem USP oder als erster Prozessschritt dem DSP zugeordnet.



Was sind die Grundprinzipien der wichtigsten Trennmethode(n) (Sedimentation, Filtration, Auspressen)?

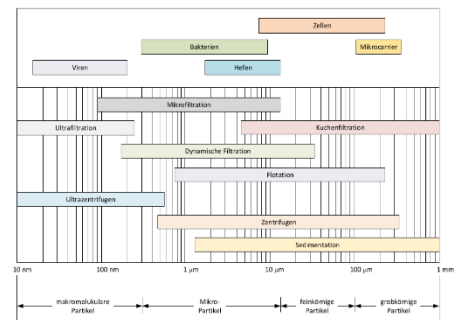
Sedimentation → Schwerkraftsedimentation, Fliehkraftsedimentation, (Flotation)

Filtration → Siebfiltration, Tiefenfiltration, Kuchenfiltration

Auspressen → Kompaktieren & Pelletierung von Biomasse & Feststoffen

Was sind die wichtigsten Auswahl- und Trennkriterien?

- Partikelgrösse, -form, -festigkeit, -dichte
- Partikelkonzentration in der flüssigen Phase
- Oberflächenaktivität (physikalisch, chemische Eigenschaften der Grenzflächen)
- Dichte & dynamische Viskosität der flüssigen Phase

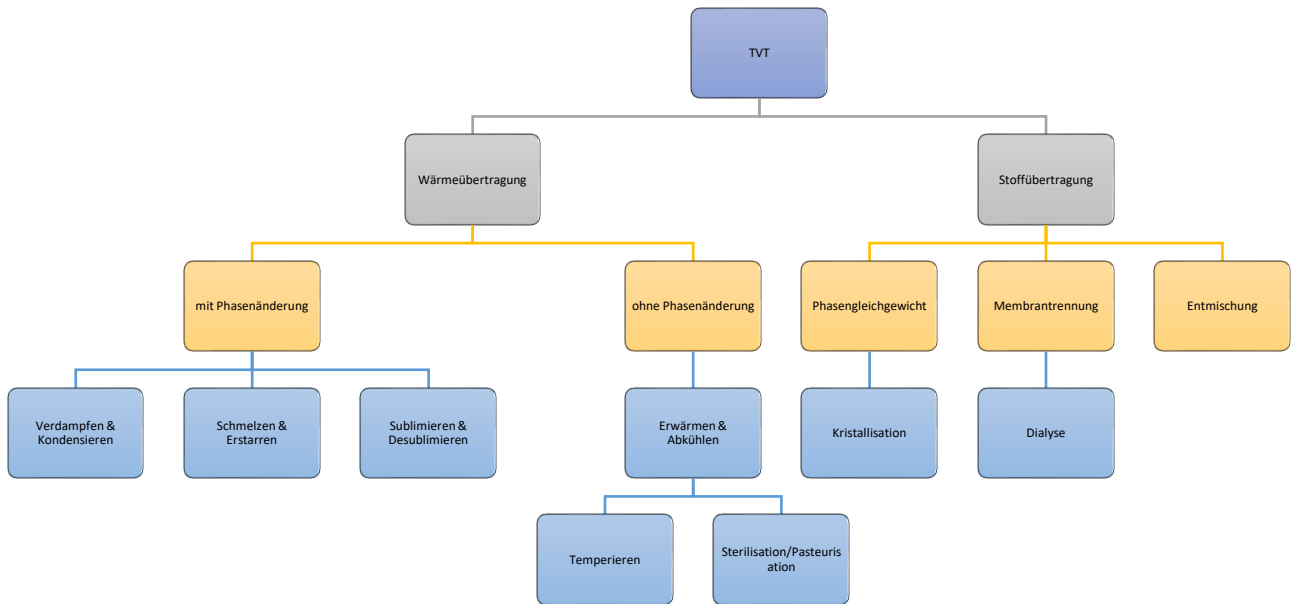


Nennen Sie Eigenschaften des etabliertes Equipment zur Biomasseabtrennung im < 2 m³ und 10 m³ + - Massstab.

- Biomasseabtrennung
 - in Abhängigkeit von Anlagendesign & Losgrösse
 - Edelstahlanlagen
 - grosse Anlagen (10 m³ +): in situ-sterilisierbare Tellerzentrifuge mit (optionaler) Tiefenfiltration & (zwingender) Mikrofiltration
 - kleine Anlagen (< 2 m³): Tiefenfiltration
 - Single-use-Anlagen
 - < 2 m³: Single-use Tiefenfilter, vereinzelt Single-use Separator)
- Biomasserückhaltung (Perfusion) → Mikrofiltrationsanlage, ATF-Modul, Ultraschallseparator (1-100 L/d)

9. TVT Wärmeübertragung

Wie lassen sich Grundoperationen in der TVT strukturieren?

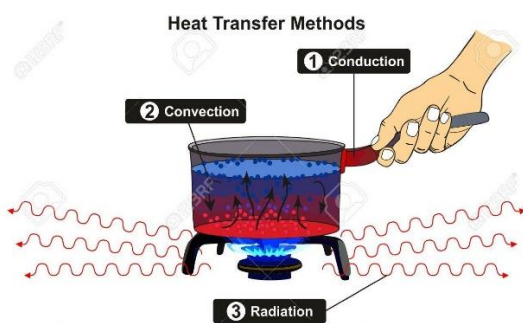


Was sind gekoppelte Stoff- und Wärmeaustauschverfahren?

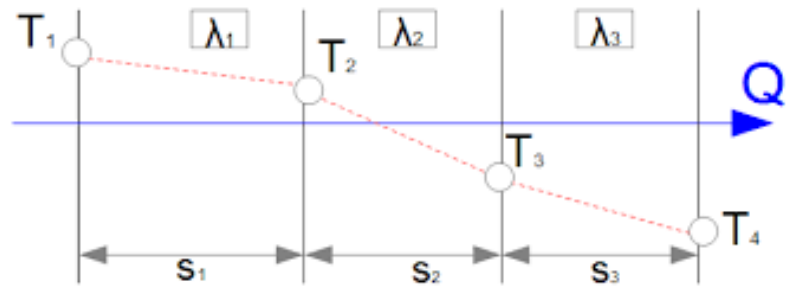
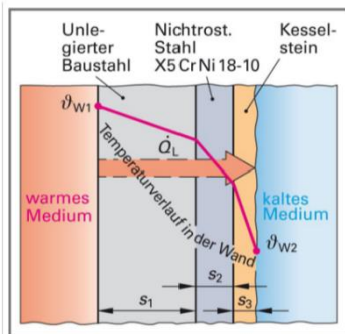
Eine Kombination von Stoff- & Wärmeübertragung, mit dem Ziel notwendige Wärmeströme mit möglichst geringstem Aufwand zu übertragen (Energieminimierung).

Charakterisieren Sie Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung!

- Leitung (1) Wärmetransport innerhalb eines Körpers / zwischen 2 Körpern die sich berühren.
- Strahlung (3) Zwischen verschiedenen Wärmekörpern mittels elektromagnetischen Wellen ohne Zwischenmedium (nicht an Stoffteilchen gebunden).
- Konvektion (2) Zwischen einem festen Körper & einer strömenden Flüssigkeit / Gas (Wärmetransport an die Stoffteilchen gebunden). Man unterscheidet zwischen freier Konvektion (Aufsteigende Wärme → Zirkulation) & erzwungene Konvektion (Rohrströmung, Rühren).



Skizzieren Sie den qualitativen Temperaturverlauf für den stationären Wärmedurchgang durch eine ebene mehrschichtige Stahlwand! Aus welchen Einzelschritten besteht der Wärmedurchgang?



Was gibt die Wärmeleitfähigkeit, Wärmedurchgangszahl und Wärmeübergangszahl an und wie werden sie berechnet?

Wärmeleitfähigkeit:

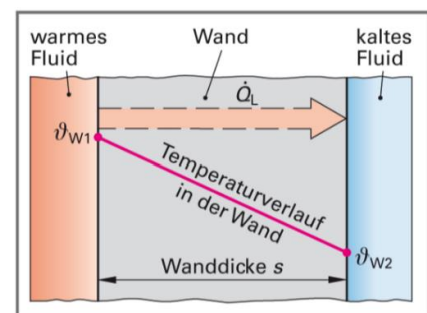
\dot{Q}_L = Wärmestrom durch Wärmeleitung	A = Fläche
λ = Wärmeleitfähigkeit (Wärmeleitfähigkeit)	ϑ = Temperatur
s = Wandstärke	r_m = Radius bis Rohrwandmitte
l = Rohrlänge	r_a = Radius bis Rohraussenseite
	r_i = Radius bis Rohrwandinnenseite

λ ebene Wand: $\dot{Q}_L = \frac{\lambda}{s} * A * (\vartheta_{W1} - \vartheta_{W2})$

λ mehrschichtige Wand: $\dot{Q}_L = \frac{1}{\frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \dots} * A * (\vartheta_{W1} - \vartheta_{W2})$

λ bei dünnwandigen Rohren: $\dot{Q}_L = \frac{\lambda}{s} * 2\pi * r_m * l * (\vartheta_{W1} - \vartheta_{W2})$

λ bei dickwandigen Rohren: $\dot{Q}_L = \frac{\lambda}{\ln(\frac{r_a}{r_i})} * 2\pi * l * (\vartheta_{W1} - \vartheta_{W2})$



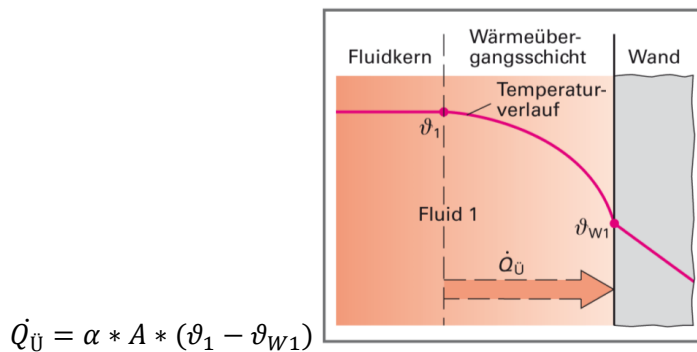
Wärmedurchgangszahl:

Q = Wärmestrom in W	A = Fläche in m2
U oder K = Wärmedurchgangszahl	T = Temperatur in K

$U = \frac{\dot{Q}}{A * \Delta T} \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$

Wärmeübertragungszahl:

Abhängig von Strömung, Fluid, Material & Oberfläche.



Weshalb ist der Wärmeübergang bei turbulenter Strömung wesentlich besser als bei laminarer?

Bei laminarer Strömung beruht der Wärmetransport quer zur Strömungsrichtung nur auf Wärmeleitung. Bei turbulenter Strömung erfolgt der Wärmetransport durch Verwirbelung, so dass eine gute Durchmischung in alle Richtungen garantiert wird & der Wärmetransport durch Leitung vernachlässigbar klein ist.

Nennen Sie wichtige Wärmeüberträger in der Biotechnologie!

Wärmeaustauscher sind Apparate, die von zwei fluiden Medien (Flüssigkeiten oder Gase) durchströmt werden, wobei das wärmere Fluid seine Wärme auf das andere Fluid überträgt. Dabei wird unterschieden zwischen indirekter Wärmeübertragung durch eine Wand & direkte Wärmeübertragung die in Dampf oder Lösemittel enthaltene Wärme wird direkt dem Behälterinhalt zugeführt. Dabei gibt es Rohrbündelwärmeübertrager, Plattenwärmeübertrager, Spiralwärmeübertrager, Rohrschlangenwärmeübertrager.

Was ist bei der Berechnung von Wärmeübertragungsprozessen mit und ohne Aggregatzustandswechsel zu berücksichtigen?

Die Wärmeübergangszahl (Temperaturleit-fähigkeitskoeffizient) gibt an, welche Wärme-menge pro m² Wärmeaustauschfläche & Stunde bei einer Temperaturdifferenz von 1K übertragen wird. Die Größe der Wärmeübergangszahl Alpha ist von einer Reihe von Faktoren abhängig. unter anderem von der Aggregatzustandsänderung an der Wärmetauscherwand (Kondensieren, Sieden)

Welches sind die wichtigsten dimensionslosen Kennzahlen bei Wärmeübertragungsprozessen und welche Bedeutung haben sie?

Die **Nusselt-Zahl** (benannt nach Wilhelm Nusselt) ist eine dimensionslose Kennzahl aus der Ähnlichkeitstheorie der Wärmeübertragung, die zur Beschreibung des konvektiven Wärmeübergangs zwischen einer festen Oberfläche & einem strömenden Fluid dient. Sie kann auch als dimensionsloser Gradient der Temperatur an einer Oberfläche betrachtet werden.

Die Nußelt-Zahl kann als das Verhältnis der Intensitäten des tatsächlich auftretenden konvektiven Wärmeübergangs & einer gedachten reinen Wärmeleitung durch eine ruhende Fluidschicht aufgefasst werden. Anders gesagt: die Nusselt-Zahl drückt aus, um das Wievielfache die Wärmeübertragung aufgrund der Konvektion stärker ist als wenn reine Wärmeleitung wirken würde.

Die Nusseltzahl ist keine konstante sondern wird je nach konkreter Situation als eine Funktion verschiedener Kennzahlen (**Prantlzahl, Reynoldszahl & Grashofzahl**) beschrieben.

10. Stoffübertragung

Welche Stoffaustauschmechanismen gibt es?

Diffusion ist die Stoffübertragung durch molekulare Bewegung, zielgerichtet längs des Konzentrationsgradienten, welche bei Nichtgleichgewichtsprozessen herrscht. Aufgrund der Wärmebewegung der Moleküle findet ständig bei Vorhandensein eines Konzentrationsgradienten ein passiver Massentransport statt. Nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik läuft der Diffusionsprozess solange ab, bis im Endzustand die Moleküle im gesamten Volumen gleichmässig verteilt sind. Dieser Prozess wird beschrieben durch das 1. Diffusionsgesetz von Fick.

$n = -D * A * \frac{dc}{dl}$ mit A: Fläche, dl: Diffusionsstrecke, dc: Konzentrationsdifferenz, D:

Diffusionskoeffizient, n: Teilchenstromdichte (Gradient der Teilchendichte proportional; negativ weil der Transport in Richtung der abnehmenden Teilchenkonzentration geht)

Konvektion ist die Konzentrationsdifferenz aus der Konzentration im Strömungskern & einer Ersatzkonzentration für die Konzentration an der Phasengrenze gebildet werden.

- freie oder erzwungene Konvektion
- bei Gleichgewichtsprozessen
- in strömenden Medien

$$\dot{n} = \beta \cdot A \cdot (c_{Kern} - c_{Grenze})$$

Auf welchen physikalischen Grundlagen basieren die Diffusion und die Konvektion?

Konzentrationsdifferenz als Triebkraft

Diffusion beruht auf der ungerichteten Zufallsbewegung von Teilchen aufgrund ihrer thermischen Energie innerhalb der Phase, längs des Diffusionsweges.

Konvektion Stoffübertragung durch den Transport von Masseteilchen, die wesentlich grösser als ein Molekül sind, durch Strömungswirbel in Hauptrichtung längs des Konzentrationsgradienten

Welche Voraussetzung und Prozessbedingungen sind bei technischen Stoffaustauschprozessen anzustreben?

Der technische Prozess ist so zu gestalten, dass sich die effektive Zusammensetzung von 2, selten 3 Phasen vom Phasengleichgewicht unterscheiden & die Konzentrationsdifferenz (Triebkraft) möglichst gross ist. Die Aufrechterhaltung dieser Triebkraft ist durch die geeignete Zusammensetzung der beiden Phasen & durch entsprechende Phasenführung zu gewährleisten.

11. Kristallisation

Wann und wo werden in der Biotechnologie Kristallisationsprozesse angewandt?

Kristallisation → Keimbildung & Kristallwachstum

Gebräuchliche Kristallisationsverfahren sind die Kristallisation aus Lösungen, die Kristallisation aus Schmelzen & die Kristallisation aus der Dampfphase zur Herstellung von reinen Substanzen & Feinchemikalien.

Zwecke einer Kristallisation

- Gewinnung eines Produktes in Kristallform aus Lösung oder Schmelze
- Reinigung eines kristallinen Feststoffes (Umkristallisieren)
- Erzielen einer bestimmten Kristallform oder - Korngrösse

Mittels welchen Wirkprinzipien kann kristallisiert werden?

Damit aus einer Lösung Kristalle gebildet werden können, muss die Lösung übersättigt sein. Das heisst, die Konzentration des zu kristallisierenden Stoffes in der Lösung muss höher sein als die Sättigungskonzentration bei der betreffenden Temperatur.

Folgende Verfahren sind gebräuchlich:

- Kühlung
- Verdampfung
- Verdampfungskühlung
- Zugabe eines weiteren Stoffes (Aussalzen, Verdünnen, Ausfällen)

Erläutern Sie den Unterschied zwischen Lösungskristallisation und Kristallisation aus der Schmelze?

Aus prozesstechnischer Sicht unterscheiden sich Lösung & Schmelze dadurch, dass eine Schmelze schon durch moderate Temperaturabsenkung unter die Liquiduslinie weitgehend erstarrt werden kann. Bei einer Lösung hingegen müssen mitunter erhebliche Temperaturdifferenzen oder Eindampfverhältnisse realisiert werden, damit technisch sinnvolle Kristallismengen anfallen.

Aus Lösung:

- Verwendung einer **übersättigten** (Konz. Des zu kristallisierenden Stoffes ist höher als die Sättigungskonz.) **Lösung**
- Durch Kühlung, Verdampfung, Verdampfungskühlung oder Aussalzen, Verdünnen, Ausfällen realisierbar

Aus einer Schmelze:

- thermisch schonend
- bevorzugt bei Gemischen mit eng beieinander liegenden Siedepunkte & Azeotropen
- Realisierbar als Kühlkristallisation

Was verstehen Sie unter dem Verfahren der Kristallisation aus der Dampfphase?

- = Sublimation & Desublimation
- Vakuumsublimation: Druck im System wird unter den zur Betriebstemperatur gehörenden Sublimationsdruck gesenkt
- Trägergassublimation: Partialdruck der zu reinigenden Komponente wird unter ihren zur Betriebstemperatur gehörenden Sublimationsdruck gesenkt. Partialdifferenzdruck wird mithilfe eines Trägergases erreicht.

12. Destillation

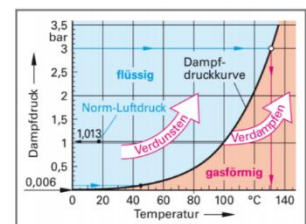
Wann werden Verdampfungsprozesse in der Biotechnologie angewandt?

- Einengen (Konzentrieren) von Fermentationsbrühen & Lösungen
- Aufkonzentration von Inhaltsstoffen
- Austreiben von flüchtigen Stoffen
- (Rück-) Gewinnung von Lösungsmitteln
- Vorstufe beim Kristallisieren: nach Erreichung der Sättigungskonzentration geht das Eindampfen in Kristallisation über

Erläutern Sie den Unterschied zwischen Verdunsten und Verdampfen!

Verdunsten ist der Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand unterhalb der Siedetemperatur einer Flüssigkeit bzw. eines Flüssigkeitsgemisches.

Verdampfen ist der Übergang bei & oberhalb der Siedetemperatur.



Welche Wärmemengen müssen beim Verdampfen einer Flüssigkeit aufgebracht werden und welche Formen der Verdampfung werden in Abhängigkeit der Heizflächenbelastung unterschieden?

Form der Verdampfung	Heizflächenbelastung q [W/m ²]
Stilles Verdampfen	< 10 ⁴
Blasenverdampfen	1,5 * 10 ⁴ – 2*10 ⁵
Filmverdampfen (Wasserbenetzt)	10 ⁶
Filmverdampfen (beölt)	10 ⁵

Was sind die in der Industrie am häufigsten eingesetzten Verdampferbauarten?

Verdampfer sind Wärmeaustauscher, in denen eine Lösung oder ein Flüssigkeitsgemisch durch Zufuhr von Wärme verdampft.

Diskontinuierlicher Betrieb	Kontinuierlicher Betrieb	Schonende Eindampfung
<ul style="list-style-type: none"> • Blasenverdampfer <ul style="list-style-type: none"> ○ Verdampferblase ○ Rührkessel ○ Beheizbare Behälter mit oder ohne Rührwerk 	<ul style="list-style-type: none"> • Röhrenverdampfer 	<ul style="list-style-type: none"> • Vakuumverdampfer • Dünnschichtverdampfanlagen

Wie können Verdampferanlagen betrieben werden und was wird unter Brüdenkompression verstanden?

Beim Einkörperverdampfer (mit mechanischer Brüdenkompression) wird die Eindampfung der Lösung bis hin zur gewünschten Endkonzentration in einem einzigen Verdampferkörper vorgenommen. Der Brüden dampf entweicht hier, ohne dass sein Wärmeinhalt zum Eindampfen weiterer Lösungen eingesetzt wird.

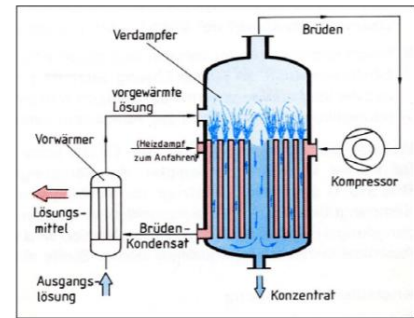


Abbildung 6: Einkörperverdampferanlage [9]

Mehrkörperverdampfer sind aus mehreren Verdampferkörpern aufgebaut, die dampfseitig & meist auch lösungsseitig hintereinander geschaltet sind. Hier beheizt der aus einem Verdampfer austretende Brüden dampf jeweils den nachgeschalteten Verdampfer nach Eintritt in dessen Heizkammer.

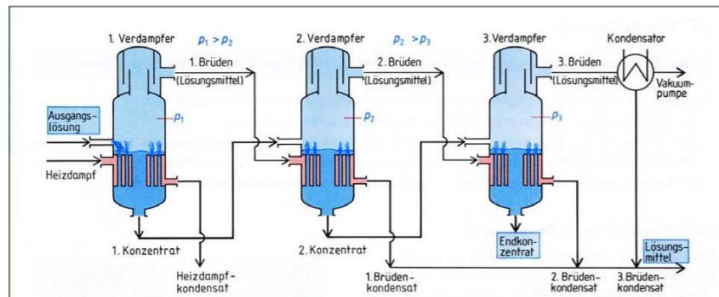


Abbildung 7: Mehrkörperverdampferanlagen [9]

Die **Brüdenkompression** ist eine Konstruktionsart zur Beheizung & Kühlung einer Destillationskolonne oder eines Verdampfers.

Wann werden Destillations- und Rektifikationsprozesse in der Biotechnologie angewandt?

Zur Trennung von ineinander löslichen Flüssigkeiten anhand der Siedetemperatur.

Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen Dampfdruck und Temperatur beim Verdunsten und Sieden!

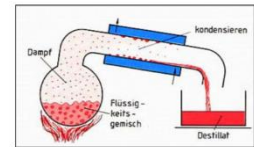
Der Dampfdruck einer Flüssigkeit steigt proportional zur Erhöhung der Temperatur. Entspricht der Dampfdruck dem Umgebungsdruck verdampft eine Flüssigkeit (d.h. Verdampfen unter Sieden) Ist der Dampfdruck kleiner als der Umgebungsdruck verdunstet eine Flüssigkeit.

Welcher Zusammenhang besteht bei der Trennung eines Flüssigkeitsgemisches zwischen Dampfdruck, Flüchtigkeit und Siedetemperatur?

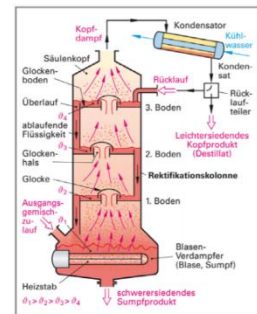
S_{dp} ist diejenige Temperatur bei welcher der Dampfdruck dem Aussendruck entspricht. Je höher der Dampfdruck einer Flüssigkeit umso flüchtiger ist sie.

Was verstehen Sie unter Destillation und Rektifikation?

Destillation ist partielles Verdampfen einer homogenen Flüssigkeit mit anschliessender Kondensation.

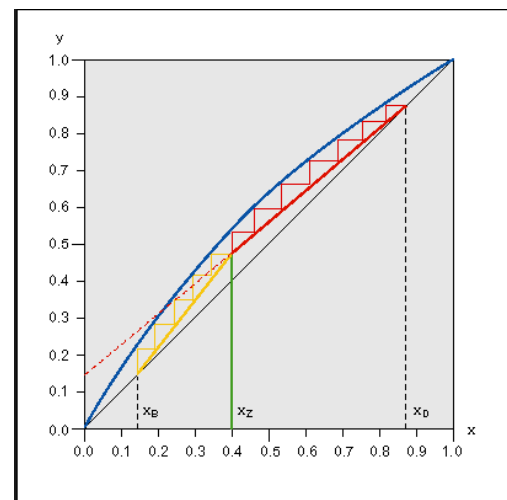


Rektifikation (auch Gegenstromdestillation) ist die mehrstufige partielle Verdampfung eines homogenen Flüssigkeitsgemisches & anschliessender Kondensation des entstandenen Dampfes, um die im Flüssigkeitsgemisch enthaltenen Komponenten voneinander zu trennen. Bei einer Rektifikation wird eine bestimmte Menge Rücklauf in die Säule zurückgegeben, um den Gegenstrom zu erzeugen.



Was ist ein Gleichgewichtsdiagramm und was kann aus einem solchen entnommen werden?

Aus dem Siedediagramm lässt sich die Gleichgewichtskurve konstruieren. Sie ist ebenfalls eine Isobare & stellt über den gesamten Konzentrationsbereich die Zusammensetzung der Dampfphase als Funktion der Zusammensetzung der Flüssigphase dar. Die Diagonale (DG) dient lediglich als Hilfslinie. Zu jedem Gleichgewichtszustand gehört eine entsprechende Siedetemperatur. Die Gleichgewichtskurve beschreibt die Anreicherung der leichter flüchtigen Komponente im Dampf in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des siedenden Gemisches in einem Trennschritt (= eine Trennstufe).



Wie kann die theoretische Bodenzahl einer Kolonne ermittelt werden?

Mithilfe des Gleichgewichtsdiagramm oder via Formel: $y = \frac{\alpha * x}{1 + x * (\alpha - 1)}$ mit der relativen Flüchtigkeit α

Was für Destillationsarten kennen Sie?

Flashdestillation (direkt), Rückflussdestillation, Gegenstromdestillation/Rektifikation (mit Kolonne), Fraktionierte Destillation, kontinuierliche Destillation, Wasserdampfdestillation, mehrstufige Destillation,

Was verstehen Sie unter einem optimalen Rücklaufverhältnis einer Rektifikationskolonne?

Das Verhältnis muss auf dem Prozess abgestimmt werden. Je mehr Rücklauf man im Verhältnis zum Erzeugnis nimmt, desto besser ist die Trennwirkung, desto länger geht der Prozess → höherer Energieverbrauch → höhere Betriebskosten.

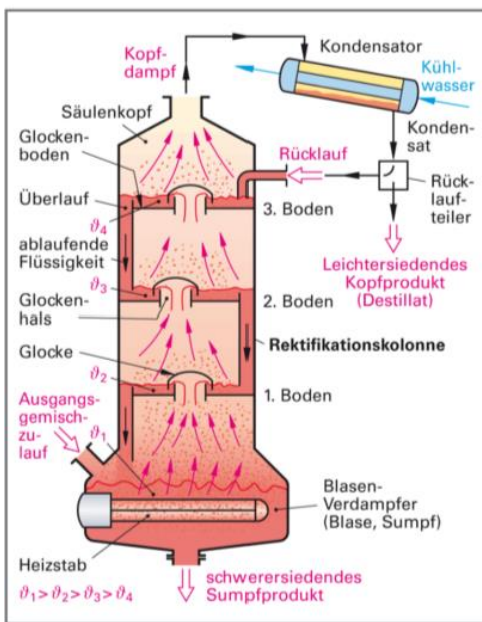
Rücklaufverhältnis r	Rücklauf R	Erzeugnis E	Trennwirkung
0	0	vollständige Entnahme	sehr gering
0,1 (1 : 10)	1 Teil	10 Teile	gering
1 (1 : 1)	1 Teil	1 Teil	mittel
10 (10 : 1)	10 Teile	1 Teil	hoch
∞	vollständiger Rücklauf	0	maximal

Wie wird eine Rektifikationskolonne angefahren?

$$\text{Rücklaufverhältnis } r = \frac{\text{Rücklaufstrom } \dot{R}}{\text{Erzeugnisstrom } \dot{E}}$$

Zuerst wird die Kolonne «geflutet». Man erhitzt den Sumpf & lässt den Dampf in der Kolonne aufsteigen. Zuerst wird dann mit einem Rückflusssystem der Dampf abgekühlt & zurück in die Kolonne getropft. Nach einiger Zeit stellt man den Rückfluss um, sodass ein Teil des Dampfes in einem Behälter als Kopfprodukt aufgefangen wird.

Wie ist eine Destillations- bzw. Rektifikationskolonne aufgebaut? Welche Funktion haben Kolonnenböden, Füllkörper und Packungen?



Kolonnen bestehen aus mehreren Böden, auf welchen der Dampf kondensiert & wieder in den Sumpf fließt. Der Dampf kann durch Glocken, Ventile oder Löcher aufsteigen & so bis in den Kopf gelangen. Im Kopf wird der Dampf kondensiert & ein Teil wird zurück in die Kolonne geleitet, während der andere Teil als Produkt aufgefangen wird. Je mehr Böden desto besser die Trennleistung.

Statt Böden können auch Füllkörper / Packungen eingesetzt werden.

Füllkörper & Packungen dienen zur besseren Verteilung von Dampf.

13. Trocknen

Welche Aufgaben haben Trocknungsprozesse in der Biotechnologie und welche Vorgänge laufen bei einem Trocknungsprozess ab?

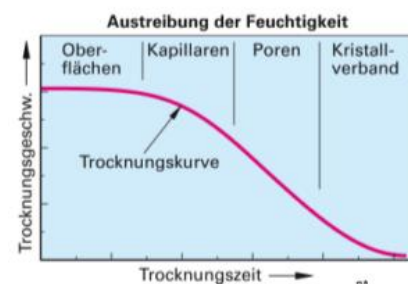
Aufgabe: Das Entfernen von Feuchtigkeit aus einem feuchten Gut durch Verdunsten oder Verdampfen, wobei die entfernte Feuchtemenge eine Veränderung des Aggregatzustandes erfährt.

Die physikalischen Vorgänge beim Trocknen bestehen aus drei wesentlichen Teilprozessen

- Wärmeübertragung von der Umgebung zum Feuchtgut
- Phasenumwandlung des Lösungsmittels
- Abtransport des Lösungsmitteldampfes.

Was verstehen Sie unter dem 1. und 2. Trocknungsabschnitt und wie kann das Ende eines Trocknungsabschnittes bestimmt werden?

1. Trocknungsabschnitt: Produktoberfläche «nass» → Trocknungsgut verhält sich ähnlich wie eine Flüssigkeitsoberfläche. Die Temperatur des Trocknungsguts ist niedrig & konstant (bei rein konvektiver Trocknung ist es die Kühlgrenztemperatur) Die Trocknungsgeschwindigkeit ist maximal, konstant & nur von den äusseren Randbedingungen (Luftgeschwindigkeit, Lufttemperatur, Luftfeuchte) abhängig.



2. Trocknungsabschnitt: Die Trocknungsgeschwindigkeit verringert sich, während die Gutstemperatur steigt. Modell des «wandernden Trocknungsspiegels» trockene Zone ohne kapillare Flüssigkeitsleitung &/oder mit sehr geringem Dampfdiffusionskoeffizienten. Dieser breitet sich von der Guts Oberfläche aus & ist ein zunehmender Widerstand für die Trocknung.

Ende können bestimmen werden am Dampfgehalt in der Trocknungsluft und dem Feuchtegehalt w_F im Trockengut.

Nennen Sie die wichtigsten Trocknungsarten und beschreiben sie diese an einem Beispiel!

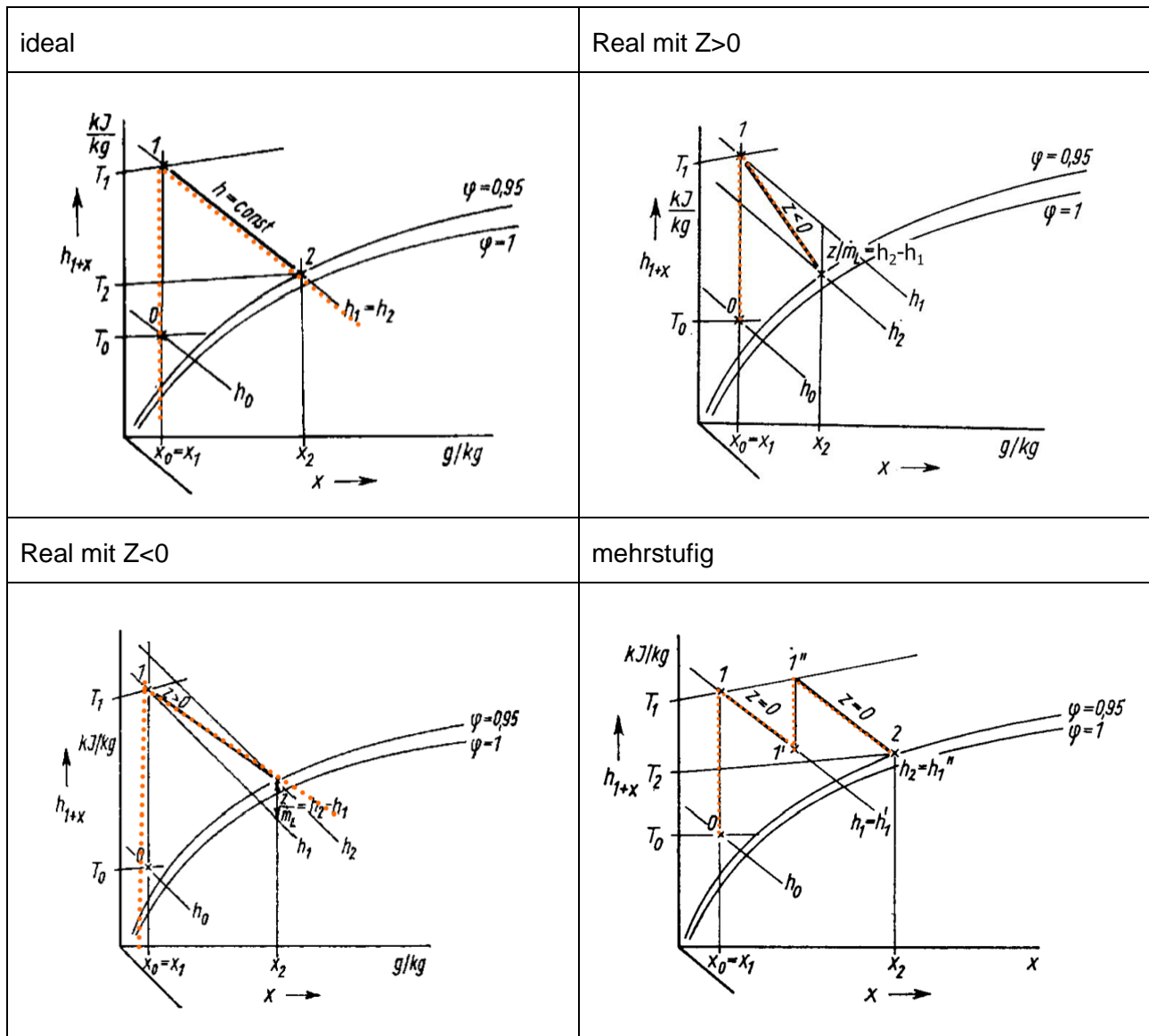
Einteilung nach:

- Art der Wärmezufuhr (Konvektionstrocknung, Kontaktstrocknung, Strahlungstrocknung)
- Formgebung für das Trockenprodukt
 - Formaufbauende Trocknungsverfahren → Bindemittel, Sprühturm, Mikrogranulate
 - Formerhaltende Trocknungsverfahren → Granulate, Extruderstränge
 - formverändernde Trocknungsverfahren → Zerkleinern, Mahlen

Wie können Konvektionstrockner geschaltet werden?

Einstufig, kontinuierlich,

Wie können Trocknungsprozesse (ideale, reale, ein- und mehrstufige) im h-x-Diagramm dargestellt werden?



14. Ionenaustausch

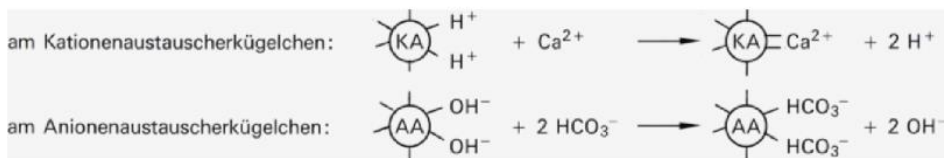
Ist ein Stoffaustauschprozess, bei welchem aus einer Flüssigkeit Ionen an die Oberfläche eines geeigneten Feststoffes gebunden werden & im Austausch dafür anderer Ionen an die Flüssigkeit abgegeben werden.

Welche Vorgänge laufen beim Ionenaustausch ab?

Ionen aus der Flüssigkeit werden an der Oberfläche des Tauschers gebunden & durch andere ersetzt

Bsp.: Entfernung Ca^{2+} - Kationen & HCO_3^- -Anionen aus Rohwasser

➤ → Ionenaustausch:¶



Was wird unter Regeneration einer Ionenaustauschersäule verstanden?

Die aufgenommenen Ionen aus der Flüssigkeit werden von der Oberfläche abgelöst & durch die gewünschten Austauschionen ersetzt.

Bsp.: Regeneration eines Tauschers nach der Entfernung von Ca^{2+} - Kationen & HCO_3^- -Anionen aus Rohwasser

➤ → Regeneration:¶

Kationenaustauscher mit Säure (z.B. mit Salzsäure ($\text{H}^+ \text{Cl}^-$))¶



Anionenaustauscher mit Lauge (z.B. Natronlauge ($\text{Na}^+ \text{OH}^-$))¶



15. Extraktion

Ist das selektive Herauslösen einer oder mehrerer Komponenten aus einem festen oder flüssigen Stoffgemisch mit Hilfe eines sekundären Lösungsmittels (Extraktionsmittel).

Was wird unter flüssig-flüssig- Extraktion und unter fest-flüssig-Extraktion verstanden?

Flüssig-flüssig:

Abtrennung einer Einzelflüssigkeit bzw. flüssiger Bestandteile aus einem Flüssigkeitsgemisches mit Hilfe eines flüssigen Lösungsmittels, dass die abzutrennende Flüssigkeit bevorzugt löst.

Fest-flüssig:

Abtrennung eines Bestandteiles aus einem Feststoff mit Hilfe eines flüssigen Lösungsmittels, in welchem sich der gewünschte Stoff bevorzugt löst

Wann und wo werden Extraktionsprozesse in der Biotechnologie angewandt?

- Um denaturierte Proteine aus den meist organischen Lösungsmittel zu gewinnen
- Um Bestandteile aus einem

Was für Apparate werden für die flüssig-flüssig- Extraktion und die fest-flüssig-Extraktion eingesetzt?

Flüssig-flüssig Extraktion

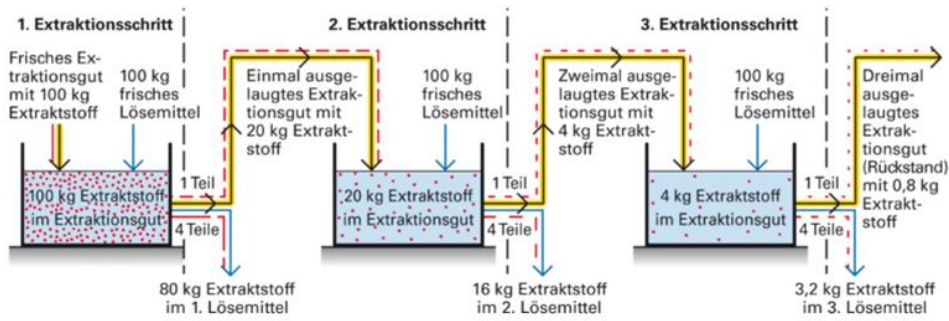
- Einstufiger Mischer-Abscheider-Extraktionsanlage
- Mischer-Abschieder-Batterie
- Kolonnen mit festen oder bewegten Einbauten

Fest-flüssig Extraktion

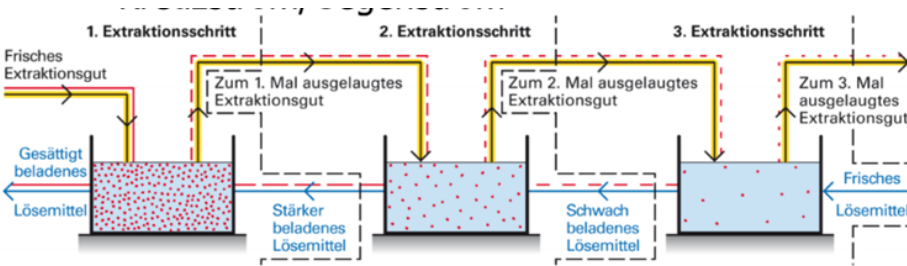
- Einkörper-Extraktor mit Lösungsmittelkreislauf
- Batterie-Extraktionsanlage
- Karussellextraktor

Wie können flüssig-flüssig- und fest-flüssig-Extraktionsanlagen verschaltet und betrieben werden?

- Kreuzstrom



- Gegenstrom

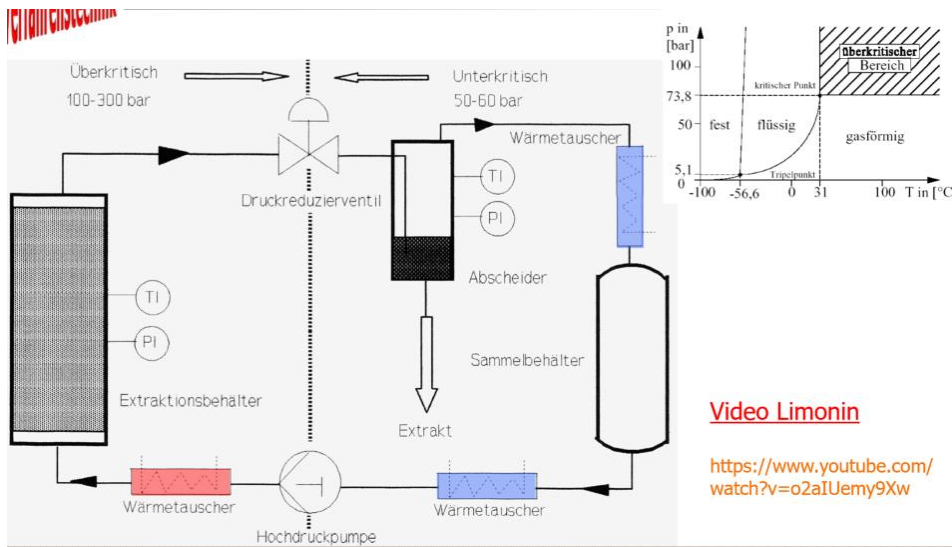


Erläutern Sie das Prinzip der Bestimmung von Extraktionsstufen!

- Mittels dem NERNST'sche Verteilungsgesetz

Erläutern Sie das Prinzip der Hochdruckextraktion mittels kritischer Gase?

Extraktionsverfahren bei welchen mit überkritischen Fluiden als Lösungsmittel gearbeitet wird
 → überkritisches Fluid z.B.: CO₂ bei Drücken bis 600bar & Temp. zwischen 30 – 80 °C



Video Limonin
<https://www.youtube.com/watch?v=o2aIUemy9Xw>

Flüssiges CO₂ wird über eine Pumpe auf den Extraktionsdruck komprimiert & durch einen Wärmetauscher in den Extraktor bzw. die Extraktionskolonne gefördert. Auf dem Weg durch den Extraktor lösen sich die extrahierten Stoffe im CO₂, das nun zum Separator geleitet wird. Dort werden die Extrakte durch Änderung von Druck &/oder Temperatur abgeschieden. Das gasförmige CO₂ aus

dem Separator wird in einem gekühlten Kondensator verflüssigt & in einem Sammelbehälter aufgefangen, so dass es wieder verwendet werden kann.

Welche Vor- und Nachteile hat die Hochdruckextraktion gegenüber den konventionellen Extraktionsmethoden?

Konventionelle Verfahren:

Nachteile:

- hohe Kosten für die eingesetzten Lösungsmittel
- sichere Entsorgung von problematischen Lösungsmitteln
- nötige chemische & thermische Stabilität des Lösungsmittels & des zu gewinnenden Produkts
- vollständige Abtrennung toxischer Lösungsmittel dringend geboten
- meist geringe Selektivität des Lösungsmittels & damit einhergehend die Notwendigkeit der weiteren (aufwendigen) Aufreinigung
- sicherheitstechnische Probleme im Umgang mit den Lösungsmitteln

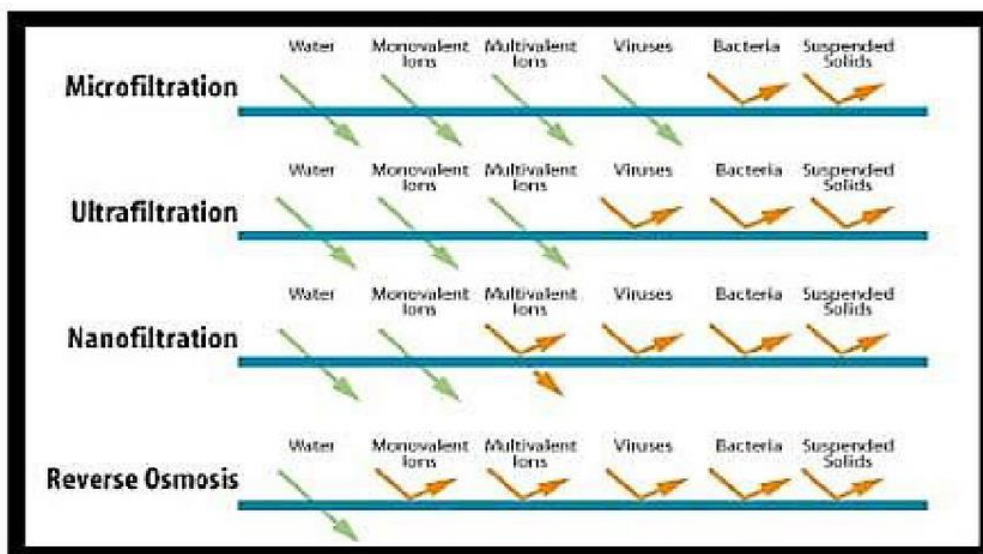
Hochdruckverfahren sollen kosteneffizient, hoch selektiv, schnell & automatisiert, unempfindlich, sicher für die Umgebung, ungiftig & „green and clean“ sein.

16. Membrantrennprozesse / Filtration

Welche Phasengleichgewichts- und Membrantrennprozesse werden in der Biotechnologie angewandt?

Filtrationen können statisch (dead end) oder dynamisch (cross flow) betrieben werden. Der Druck muss bei beiden Varianten auf Feed Seite grösser sein als auf Permeat Seite. Das was übrig bleibt ist das Retentat.

Konzentrieren, Entsalzung		Osmose / Umkehrosmose	Durch semipermeable Membran
	Diafiltration	Katalysatorrückhaltung	Dialyse / Nanofiltration
Ultrafiltration			0.1-0.002 µm
		Mikrofiltration	0.08-8 µm
	Produktentfernung	Elektrodialyse	
		Pervaporation	Übergang permeierende Komponenten vom flüssigen in den dampfförmigen Zustand
		Gaspermeation	Mit mikroporösen & porenfreien Membranen werden Gasgemische durch Zurückhalten einzelner Komponenten mit den Verbleibenden angereichert.
		Perstraktion	Eine Kombination von Lösemittel-Extraktion mit Membranpermeation.
		Iontauscher Membran	



Membrane Process Characteristics

Beschreiben Sie diese Phasengleichgewichts- und Membrantrennprozesse!

- Übergang einer/mehrerer Komponenten
- über eine Phasengrenze
- in eine andere Phase
- ggf. mit Änderung des Aggregatzustandes der übertragenden Stoffkomponente
 - gekoppelter Stoff- & Wärmeübertragungsprozess

Wie können Phasengleichgewichts- und Membrantrennprozesse charakterisiert werden?

Statischer Betrieb oder dynamischer Betrieb

Membranformen und Materialien

Membranformen: symmetrisch, unsymmetrisch (asymmetrisch), Composite-Membranen

Membranmaterialien: Keramiken, Celluloseacetat, Aluminiumoxid (sehr bruchfest)

Material muss chemisch beständig sein, für Sterilfiltration geeignet sein & adsorbieren.

Filter		Luft	Wasser
Hydrophob	trocken	☺	X
	Nass	X	X
hydrophil	trocken	☺	☺
	Nass	X	☺
Geht durch	☺	Geht nicht durch	x