



TIW GmbH ©

VERFAHRENSTECHNIK UND ANLAGENTECHNIK

Wärmelehre

Prozesskomponenten → Fokus für heute

Pumpenberechnung

Fließschemata



Pumpenleistung

Pumpen

Theorie 222 + 223

Formeln S. 227-231



Pumpen müssen Leistung erbringen, damit sie eine bestimmte Masse eines Stoffes über eine gewisse Zeit auf eine Höhe befördern. In den meisten Formelsammlungen wird der Massenstrom \dot{m} mit der Erdbeschleunigung g und der Höhe h multipliziert.

$$P = \dot{m} \cdot g \cdot h$$

Der Massenstrom \dot{m} ist nichts anderes als die Masse m des Stoffes, die sich pro Zeiteinheit t bewegt und lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$\dot{m} = \frac{m}{t}$$

Wird die Formel für den Massenstrom in die obige Formel für die Pumpenleistung eingesetzt, ergibt sich:

$$P = \frac{m}{t} \cdot g \cdot h$$

Alternativ lässt sich die Pumpenleistung auch mithilfe des Volumenstroms Q berechnen. Der Volumenstrom Q gibt an, wie viel Volumen pro Zeiteinheit mit der Pumpe transportiert wird. Die Pumpenleistung ist abhängig von der Masse, deshalb wird die Dichte ρ berücksichtigt. Es macht einen Unterschied, ob man eine „leichte“ Flüssigkeit wie Wasser pumpt oder eine „schwere“ Flüssigkeit wie Quecksilber.

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h$$





Die Förderhöhe H_A einer Pumpe ist eine wichtige Kenngröße, die beschreibt, wie hoch eine Pumpe das Fördermedium heben kann. Sie setzt sich aus der geodätischen Höhe, also der Differenz der Höhenlage zwischen Saug- und Druckseite, und den Verlusthöhen zusammen, die durch Reibung in den Rohrleitungen sowie durch Druckunterschiede zwischen den Behältern entstehen. Je höher die Förderhöhe, desto mehr Energie (Leistung) muss die Pumpe aufbringen, um das Medium zu fördern.

$$H_A = z + \frac{p_{A2} - p_{A1}}{\rho \cdot g} + h_J \quad \nabla$$

Verständnisfragen

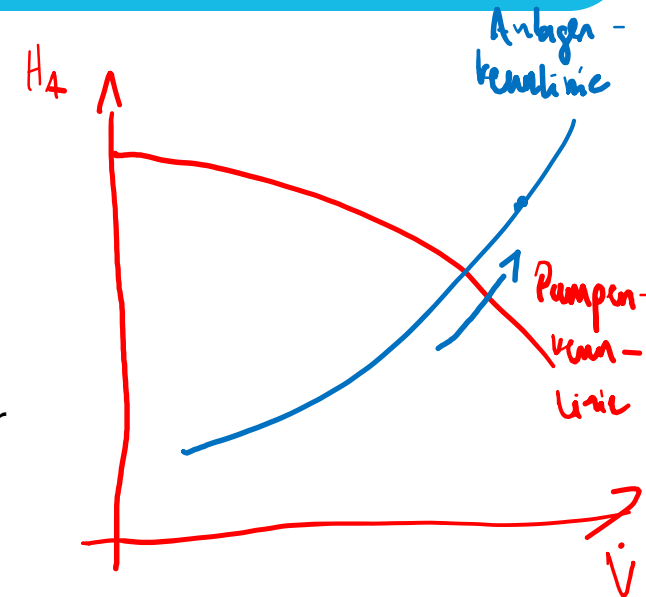
Förderhöhe



Wenn in einer Pumpe eine höhere Förderhöhe gefordert wird, kann die Drehzahl der Pumpe erhöht werden.

**Was passiert mit dem Volumenstrom?
Wie kann die Pumpe angepasst werden?**

Wenn in einer Pumpe eine höhere Förderhöhe gefordert wird, kann die Drehzahl der Pumpe erhöht werden. Dies führt jedoch auch zu einem höheren Volumenstrom. Falls die Anlage diesen Volumenstrom nicht aufnehmen kann, muss entweder die Drehzahl der Pumpe angepasst oder der Durchfluss durch Ventile reguliert werden.



Reynolds Zahl

Pumpen



Die Reynolds-Zahl ist eine dimensionslose Zahl, die in der Strömungsmechanik verwendet wird, um das Strömungsverhalten von Flüssigkeiten und Gasen zu beschreiben. Sie ist benannt nach Osborne Reynolds, der ihre Bedeutung erforschte. Die Reynolds-Zahl gibt an, ob eine Strömung laminar (geordnet) oder turbulent (chaotisch) ist.

v : Strömungsgeschwindigkeit

L : Charakteristische Länge (z. B. Rohrdurchmesser)

ρ : Dichte des Fluids

μ : Dynamische Viskosität des Fluids

ν : Kinematische Viskosität (Verhältnis von Viskosität zur Dichte)

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot L}{\mu}$$

oder

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu}$$

Was sagen die Zahlen?

Kleine Reynolds-Zahlen ($Re < 2.300$): Laminarströmung, die Flüssigkeit fließt in geordneten Bahnen.

Große Reynolds-Zahlen ($Re > 4.000$): Turbulenz, die Strömung ist unregelmäßig und chaotisch.

Zwischenbereich ($2.300 < Re < 4.000$): Übergangsbereich, wo die Strömung zwischen laminar und turbulent wechseln kann.

Die Reynolds-Zahl ist besonders wichtig, um das Verhalten von Strömungen in Rohren, Kanälen oder um Objekte wie Flugzeuge oder Autos zu verstehen.

Was sagen die Zahlen?

Hohe Reynolds Zahl: Ab einer **Reynolds-Zahl über 4000** wird die Strömung turbulent, was bedeutet, dass sich **Wirbel** bilden und das Fluid unregelmäßig und chaotisch strömt. Dies führt zu erhöhten **Reibungsverlusten** und kann die Effizienz der Pumpe beeinflussen

Bei **turbulenter Strömung** wird mehr Energie benötigt, um das Fluid durch die Rohrleitungen und die Pumpe zu bewegen, was zu **höheren Druckverlusten** und einem **geringeren Wirkungsgrad** der Pumpe führen kann.

Bei **laminarer Strömung** ist der Energieverlust durch innere Reibung gering, was die Pumpe effizienter arbeiten lässt, besonders bei niedrigeren Fördermengen und höherer Viskosität des Fluids.

Kavitationsvermeidung: Eine hohe Reynolds-Zahl kann zu **Kavitation** führen, wenn die Geschwindigkeit des Fluids stark ansteigt und der Druck im System fällt. Dies kann Blasenbildung verursachen, die bei ihrem Kollaps Schäden an den Pumpenbauteilen verursachen können.

→ Kavitationsfreies Arbeiten NPSHA

Anwendung in der Praxis:

- **Pumpenauswahl:** Bei der Planung von Pumpensystemen wird die Reynolds-Zahl verwendet, um sicherzustellen, dass die Pumpe für den jeweiligen Anwendungsfall (z.B. laminar oder turbulent) richtig dimensioniert ist.
 - **Rohrleitungsdesign:** Ingenieure wählen die Rohrdurchmesser und Strömungsgeschwindigkeiten so aus, dass die Strömungsart geeignet ist, um Energieverluste und Turbulenzen zu minimieren.
 - **Effizienzsteigerung:** Durch die Optimierung der Reynolds-Zahl können Verluste durch Turbulenzen reduziert und somit der Wirkungsgrad der Pumpe und der gesamten Anlage verbessert werden.
- Zusammenfassend hilft die **Reynolds-Zahl**, die **Strömungsart** in einem Pumpensystem zu bestimmen, was für die **Effizienz**, **Betriebsicherheit** und die **Leistung** der Pumpe entscheidend ist.

https://www.youtube.com/watch?v=1P8mAc1_yj8

Exzentrerschneckenpumpe

Pumpen



Diese Pumpe besteht aus einem rotierenden Exzenter (Schnecke) und einem feststehenden Stator. Die Schnecke dreht sich innerhalb des Stators und bewegt das Medium kontinuierlich in kleinen Kammern von der Saug- zur Druckseite.

Vorteile: Geeignet für hochviskose und feststoffbeladene Medien; schonende Förderung; konstante Fördermenge.

Nachteile: Relativ hohe Kosten für Wartung und Reparatur, da der Stator verschleißanfällig ist.

Einsatzbereiche: Förderung von Schlämmen, Ölen, Farben und Klebstoffen in der Chemieindustrie.



NETZSCH

Proven Excellence.

<https://www.youtube.com/watch?v=AZ5Qr6Ilitw>

Kreiselpumpe

Pumpen



Bei dieser Pumpe wird das Medium durch die Rotation eines Laufrades beschleunigt und mittels Zentrifugalkraft vom Zentrum der Pumpe zu den Außenseiten befördert.

Vorteile: Hoher Wirkungsgrad bei kontinuierlicher Förderung von Flüssigkeiten mit niedriger Viskosität; wartungsarm und kostengünstig.

Nachteile: Nicht geeignet für hochviskose Medien oder feststoffbeladene Flüssigkeiten; Kavitation kann bei falschem Betrieb auftreten.

Einsatzbereiche: Abwasserbehandlung, Trinkwasserversorgung, chemische Prozesse mit dünnflüssigen Medien.



https://www.youtube.com/watch?v=TG_3PUU19uU



Hubkolbenpumpe

Pumpen



Diese Pumpe arbeitet mit einem Kolben, der sich in einem Zylinder bewegt. Durch die Bewegung wird das Volumen im Zylinder verändert, was zur Ansaugung und Förderung des Mediums führt.

Vorteile: Sehr hoher Druckaufbau möglich; präzise Dosierung; geeignet für hochviskose Medien und Gas-Flüssigkeits-Gemische.

Volumenstrom unabhängig von Förderhöhe

Nachteile: Mechanisch komplex und wartungsintensiv; oft laut und teuer in der Anschaffung.

Einsatzbereiche: Öl- und Gasindustrie, chemische Dosierungen.





Eine Strahlpumpe arbeitet ohne bewegliche Teile, indem ein Strahlmedium (z. B. Dampf oder Wasser) durch eine Düse beschleunigt wird. Dabei wird das Fördermedium mitgerissen und bewegt.

Vorteile: Keine beweglichen Teile, daher sehr wartungsarm und langlebig; geeignet für aggressive oder verschmutzte Medien.

Nachteile: Wirkungsgrad oft geringer als bei anderen Pumpen; hohe Energieverluste, besonders bei geringem Strahlmediumdruck.

Einsatzbereiche: Vakuumherzeugung, Gasevakuumierung in der Chemie und Petrochemie.



Zwei Zahnräder greifen ineinander und bewegen das Medium in den Zwischenräumen zwischen den Zähnen von der Ansaug- zur Druckseite.

Vorteile: Konstante Fördermenge bei kompakter Bauweise; geeignet für hochviskose Flüssigkeiten.

Nachteile: Kann nicht mit abrasiven Medien umgehen; hohe Reibung führt zu Verschleiß, insbesondere bei festen Bestandteilen.

Einsatzbereiche: Ölförderung, chemische Prozesse mit Schmierstoffen oder hochviskosen Flüssigkeiten.

Schraubenspindelpumpe

Pumpen



Hier arbeiten mehrere ineinandergreifende Spindeln, die das Medium gleichmäßig in axialer Richtung fördern. Die Bewegung erfolgt nahezu pulsationsfrei.

Vorteile: Sehr effizient und leise; ideal für pulsationsarme Förderungen; robust gegenüber Viskositätsschwankungen.

Nachteile: Komplexer Aufbau; wartungsintensiver bei Feststoffbelastungen.

Einsatzbereiche: Ölförderung, Marineanwendungen, chemische Prozesse mit Flüssigkeiten mittlerer bis hoher Viskosität.

Flüssigkeitsringpumpe

Pumpen



Bei dieser Pumpe wird ein Flüssigkeitsring in einem exzentrischen Gehäuse durch einen Rotor in Rotation versetzt. Der Flüssigkeitsring komprimiert das Medium, welches in den Pumpenkammern transportiert wird.

Vorteile: Sehr gut geeignet für die Förderung von Gasen und Dampf-Flüssigkeits-Gemischen; robust und langlebig.

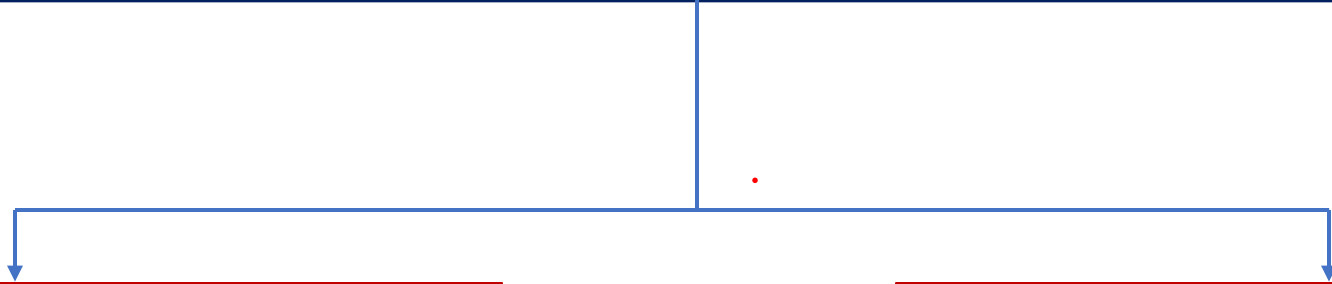
Nachteile: Relativ niedriger Wirkungsgrad; hoher Energieverbrauch, da ein konstanter Flüssigkeitsring benötigt wird.

Einsatzbereiche: Vakuumherzeugung, Gasverdichtung, Entlüftung in chemischen und petrochemischen Prozessen.

↘ nicht im
Tabellenbuch

Zerkleinern

Wiederverwertbare Abfallprodukte der Produktion müssen vor einem erneuten Aufschmelzen fein zerkleinert werden
 Thermoplastische Kunststoffe werden zerkleinert und erneut aufgeschmolzen
 Duroplastische Kunststoffe werden zermahlen und als Füllstoffe beigefügt



Zu feinkörnig/ zu leicht (staubig)

- schlechte Rieselfähigkeit
- führt zu Förderschwankungen
- Weiterverarbeitung schwierig
- Qualität der Endprodukte

Zu grobkörnig

- schlechter aufschmelzbar
- längere Trocknungszeiten
- schlechte Rieselfähigkeit (Verstopfen Trichter/ ungleichmäßige Beschickung/Leerlauf)

Wenn Thermoplaste zerkleinert werden sollen muss in der Verarbeitungstechnik unbedingt bedacht werden, ist, dass mit jedem Verarbeitungsschritt die Kettenlänge der Kunststoffe verkürzt wird. Die Thermoplaste sind irgendwann mechanisch und auch thermisch überlastet - Es sind nicht unendlich viele Umformvorgänge möglich. Bei der Verarbeitung von regranulierten Kunststoffen müssen die veränderten Schmelzeigenschaften beachtet werden.

Viele Kunststoffe werden vor Verarbeitung mit Additiven vermengt. Zur gleichmäßigen Verteilung der Zusätze ist Mischen erforderlich. Hierbei findet eine Unterscheidung zwischen volumetrischen (volumenabhängig) und gravimetrischen (gewichtsabhängig) Dosiersystemen statt.

Volumetrisch

- Arbeiten z.B. mit Förderschnecken, um bestimmte Menge Granulat in Behälter zu fördern
- Anpassung der Mischungsverhältnisse durch Veränderung der Förderzeiten
- Geringe Anschaffungskosten und hohe Durchsatzleistungen
- Kann aufgrund von unterschiedlicher Korngrößen zu geringfügigen Schwankungen der Mischverhältnisse kommen
 - Bei hohen Qualitätsanforderungen ungeeignet

Wir nehmen einen 10 Liter Eimer Granulat.

Gravimetrisch

- Einfüllen einer nicht genau definierten Menge der Hauptkomponente in Wiegebehälter. Eingebaute Waage ermittelt exaktes Gewicht und Steuerung errechnet über vorgegebenes Mischungsverhältnis Anteil der anderen Komponenten
- Hoher Zeitbedarf und hohe Anschaffungskosten
- Durch Vermeidung von Überdosierungen werden geringere Mengen Additive benötigt
 - Langfristig rentabel

Wir nehmen 10kg Granulat.

Zerkleinern

Prozesskomponenten

Damit die Aufschlussreaktion möglichst effizient abläuft, muss das Rohbauxit so fein wie möglich gemahlen werden, um die Mineraleinschlüsse besser freizulegen. Die Zerkleinerung wird mithilfe einer rotierenden Mahlkörpermühle (Kugelmühle) durchgeführt. Dabei hängt die Effizienz der Mühle von drei Prozessparametern ab.

Nenne drei Prozessparameter und erkläre, wie sie die Zerkleinerung beeinflussen.

→ Drehzahl

→ Mahlgutfüllung / - größe

→ Aufbau des Mahlwerks

→ Anzahl und Größe der Mahlbeugen

→ Verweil dauer

Zerkleinern

Prozesskomponenten

Damit die Aufschlussreaktion möglichst effizient abläuft, muss das Rohbauxit so fein wie möglich gemahlen werden, um die Mineraleinschlüsse besser freizulegen. Die Zerkleinerung wird mithilfe einer rotierenden Mahlkörpermühle (Kugelmühle) durchgeführt. Dabei hängt die Effizienz der Mühle von drei Prozessparametern ab.

Nenne drei Prozessparameter und erkläre, wie sie die Zerkleinerung beeinflussen.

Drehzahl der Mahlkörpermühle:

- Wenn die Drehzahl zu hoch ist, werden die Mahlkugeln durch die Zentrifugalkraft an die Wandung der Mühle gedrückt. Dadurch findet keine richtige Zerkleinerungsarbeit statt, weil die Mahlkugeln kaum abfallen und auf das Material schlagen.
- Ist die Drehzahl dagegen zu gering, erhöhen sich Reibung und Abrieb. Das Mahlgut wird nicht effektiv zerkleinert, da weniger durch Schlag zerkleinert wird. Die optimale Drehzahl sorgt dafür, dass die Mahlkugeln genügend Schwung haben, um auf das Material zu prallen und es effektiv zu zerkleinern.

Mahlgutfüllung:

- Wenn die Mühle zu voll ist, behindern sich die Partikel gegenseitig, was die Zerkleinerung erschwert. Eine zu geringe Füllmenge sorgt hingegen dafür, dass die Mahlkörper nicht genug Kontakt mit dem Mahlgut haben.
- Die richtige Füllmenge ermöglicht einen guten Kontakt der Mahlkörper mit dem Material und sorgt dafür, dass die Kugeln das Material effektiv zerkleinern können.

Mahlkörperfüllung:

- Wenn zu viele Mahlkörper in der Mühle sind, behindern sie sich gegenseitig, wodurch keine richtige Zerkleinerung durch Schlag erfolgt. Wenn zu wenige Mahlkörper vorhanden sind, erfolgt hauptsächlich eine geringe Reibung.
- Die richtige Anzahl und Größe der Mahlkörper sorgt für eine optimale Zerkleinerung, indem sie das Material sowohl durch Schlag als auch durch Reibung zerkleinern.

Filter – Korngröße

Prozesskomponenten

Aufgabe 5

Für das einzusetzende Rohbauxit wurde folgende Spezifikation festgelegt

Korngröße < 3 mm	≥ 98 %
Korngröße < 2 mm	≥ 70 %
Korngröße < 1 mm	≥ 50 %
Korngröße < 0,5 mm	≥ 30 %

Von dem neu angelieferten Rohbauxit wurde eine repräsentative Probe entnommen und die Korngrößenverteilung im Labor durch eine Siebanalyse ermittelt.

In Anlage 3 werden die Auswaagen für die einzelnen Siebe zusammengefasst.

Sie werden beauftragt, mithilfe der Ergebnisse aus der Siebanalyse zu überprüfen, ob das angelieferte Rohbauxit der vorgegebenen Spezifikation entspricht.

a Mögliche Punktzahl: 4

Berechnen Sie die erforderlichen Werte und tragen Sie diese in die Tabelle ein.

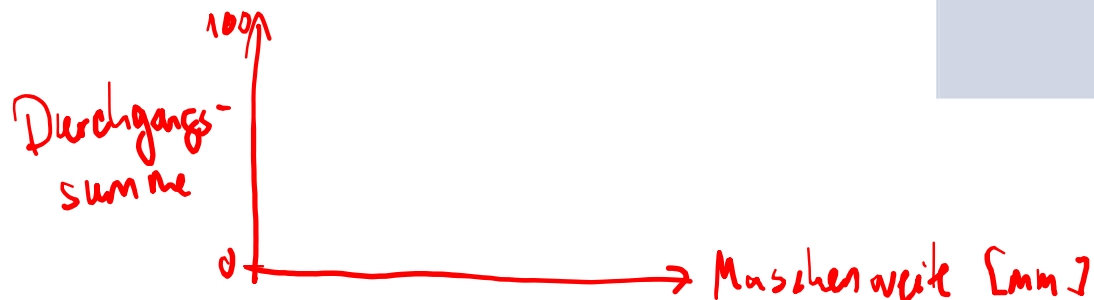
b Mögliche Punktzahl: 3

Erfüllt das neu angelieferte Rohbauxit die vorgegebene Spezifikation?

Begründen Sie Ihre Entscheidung. *-> wird nicht erfüllt*

c Mögliche Punktzahl: 4

Stellen Sie die für Ihre Entscheidung herangezogenen Werte grafisch in einer geeigneten Form dar.



Anlage 3 zu Aufgabe 5 a)

Maschenweite in mm	Auswaage in g	Massenanteil %	Durchgangssumme %
4,0	1,5	0,6%	99,4%
3,0	2,5	1,0%	98,4%
2,0	25,0	10,0%	88,4%
1,0	105,0	42,0%	46,4%
0,5	40,0	16,0%	30,4%
Boden	76,0	30,4%	
	250,0	100,0%	

Filter – Korngröße

Prozesskomponenten

Aufgabe 5

Für das einzusetzende Rohbauxit wurde folgende Spezifikation festgelegt

Korngröße < 3 mm	≥ 98 %
Korngröße < 2 mm	≥ 70 %
Korngröße < 1 mm	≥ 50 %
Korngröße < 0,5 mm	≥ 30 %

Von dem neu angelieferten Rohbauxit wurde eine repräsentative Probe entnommen und die Korngrößenverteilung im Labor durch eine Siebanalyse ermittelt.

In Anlage 3 werden die Auswaagen für die einzelnen Siebe zusammengefasst.

Sie werden beauftragt, mithilfe der Ergebnisse aus der Siebanalyse zu überprüfen, ob das angelieferte Rohbauxit der vorgegebenen Spezifikation entspricht.

a Mögliche Punktzahl: 4

Berechnen Sie die erforderlichen Werte und tragen Sie diese in die Tabelle ein.

b Mögliche Punktzahl: 3

Erfüllt das neu angelieferte Rohbauxit die vorgegebene Spezifikation?

Begründen Sie Ihre Entscheidung.

c Mögliche Punktzahl: 4

Stellen Sie die für Ihre Entscheidung herangezogenen Werte grafisch in einer geeigneten Form dar.

Lösungshinweise Aufgabe 5

[VO: § 5 Absatz 6 Nr. 1]

a Mögliche Punktzahl: 4

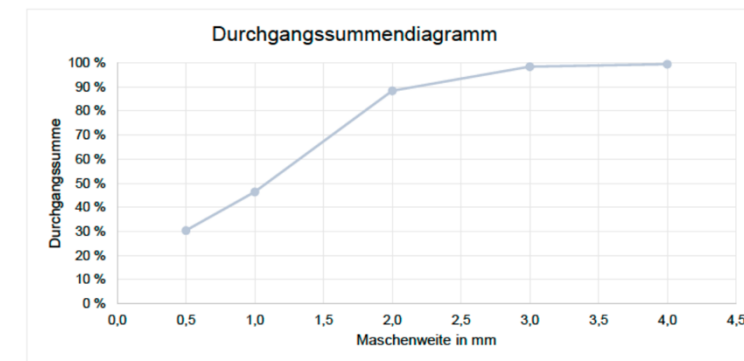
Maschenweite in mm	Auswaage in g	Massenanteil in %	Durchgangssumme in %
4,0	1,5	0,6 %	99,4 %
3,0	2,5	1,0 %	98,4 %
2,0	25,0	10,0 %	88,4 %
1,0	105,0	42,0 %	46,4 %
0,5	40,0	16,0 %	30,4 %
Boden	76,0	30,4 %	
	250,0	100,0 %	

b Mögliche Punktzahl: 3

Das angelieferte Rohbauxit erfüllt nicht die Spezifikation.

Der Anteil der Korngröße < 1,0 mm soll bei ≥ 50 % liegen und liegt mit 46,4 % geringfügig darunter.

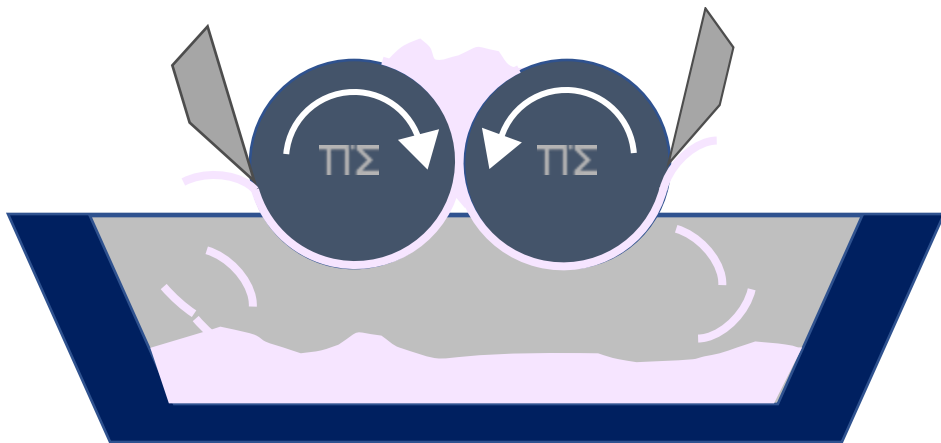
c Mögliche Punktzahl: 4



Diskontinuierliche Plastifizierung

Bsp. Walzwerk

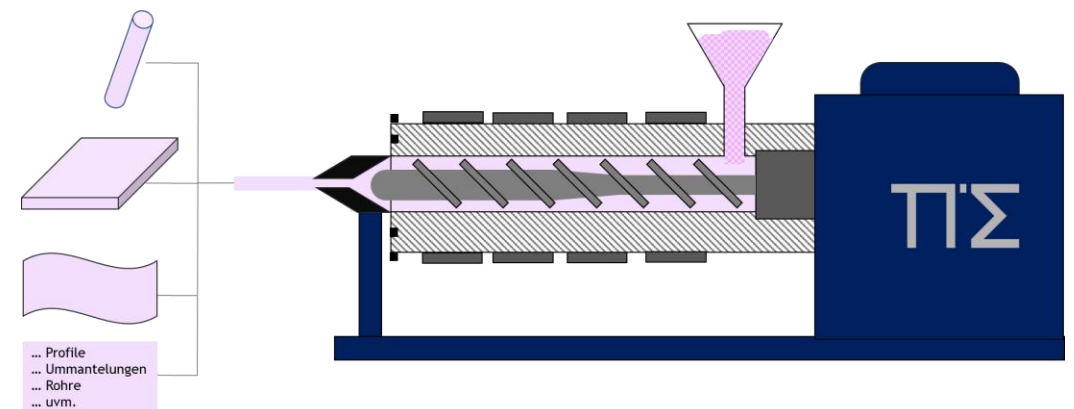
- Zu mischender Kunststoff wird meist von Hand zwischen den beiden Walzen aufgegeben
- Durch wiederholtes Durchquetschen erfolgt gründliche Durchmischung



Kontinuierliche Plastifizierung

Grundsätzlich Schneckenextruder verschiedener Bauformen im Einsatz

- Rotierende bzw. spiralförmige Längsbewegung, wodurch gleichmäßiger Austrag der Schmelze gewährleistet wird
- Kautschukaufbereitung
 - Einschneckenextruder
- Kunststoffaufbereitung
 - Doppelschneckenextruder

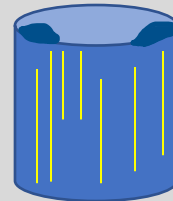


Granulate sind ein qualitativ und wirtschaftlicher hochwertiger Ausgangsstoff. Zu den Vorteilen zählt:

- Hohe Betriebssicherheit
- Staubfreie Verarbeitung
- Unkomplizierte Lagerhaltung und Reinigung
- Konstant hohe Qualität
- Rieselfähigkeit ist gut
- Bei Feuchtigkeit sind die Probleme der Verarbeitbarkeit des Granulates geringer als bei der Verarbeitung von Pulver

Kaltgranulierung

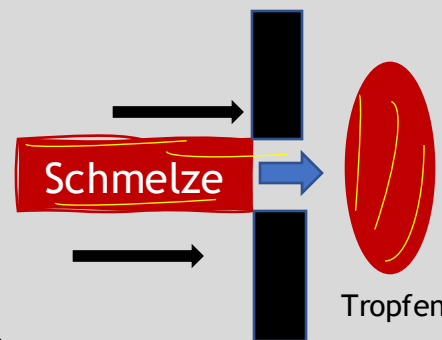
Lippen / Schnittkanten



Zylinder

Aus der Düse austretende Stränge werden durch ein Wasserbad gezogen und abgekühlt. Anhaftendes Wasser wird abgeblasen oder abgesaugt. Stränge werden auf gewünschte Länge geschnitten und ggf. mittels Klassiersieb nach Korngröße unterteilt. Kaltabschlag → Schneiden des Granulats erfolgt erst nach Abkühlen der Kunststoffschmelze. sehr hohe Flexibilität beim Produktwechsel, auch Produktion von mittelgroßen bis kleinen Chargen möglich. Für fast alle nicht zu spröden Polymere geeignet. Kennzeichen: gerade Schnittfläche und meist zylindrische Form.

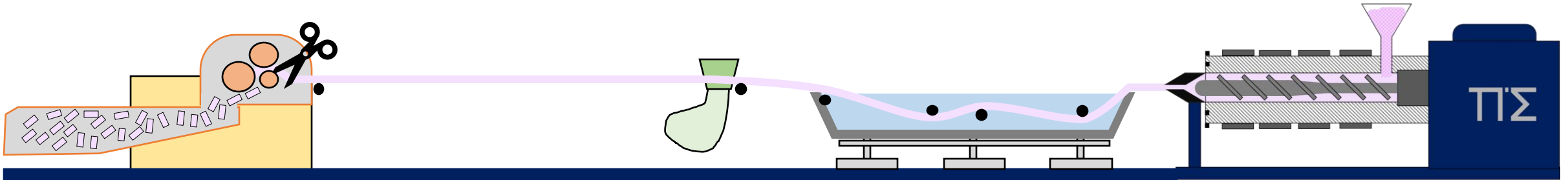
Heißgranulierung



Extruder fördert die Schmelze über Ventil in die Lochplatte. Unmittelbar nach der Düse wird die Schmelze durch ein rotierendes Messer abgetrennt und durch die Fliehkraft weggeschleudert. Die Granulatförderung und Kühlung erfolgt je nach Polymer anschließend an der Luft (Exzentrische Granulierung) oder unter Wasser (Wasserringgranulierung/Unterwassergranulierung).

Bei der Kaltgranulierung zieht der Kunststoff aufgrund von Additiven (Antistatika) zu viel Wasser in der Kühlstrecke.

Beschreibe mögliche Abhilfemaßnahmen.



- Kühlstrecke verringern: Das Material kommt schneller aus dem Wasserbad. Die Masse hat weniger Zeit, um sich abzukühlen. Es ist außerdem weniger Zeit da, damit der Kunststoff Wasser ziehen kann.
- Vakuumentgasung/ Entgasung: Der Kunststoff muss entgast werden, damit flüchtige Stoffe bspw. Wassereinlagerungen entfernt werden. Einsatz einer Entgasungsschnecke.
- Vortrocknung des Granulates: Nur eine bedingte Lösung. Das Problem des Wasserziehens wird nicht gelöst.
- Antistatika/ Additive optimieren
- Lüftung des Kunststoffes nach Wasserbad optimieren/ erhöhen

Wirbelschichttrockner

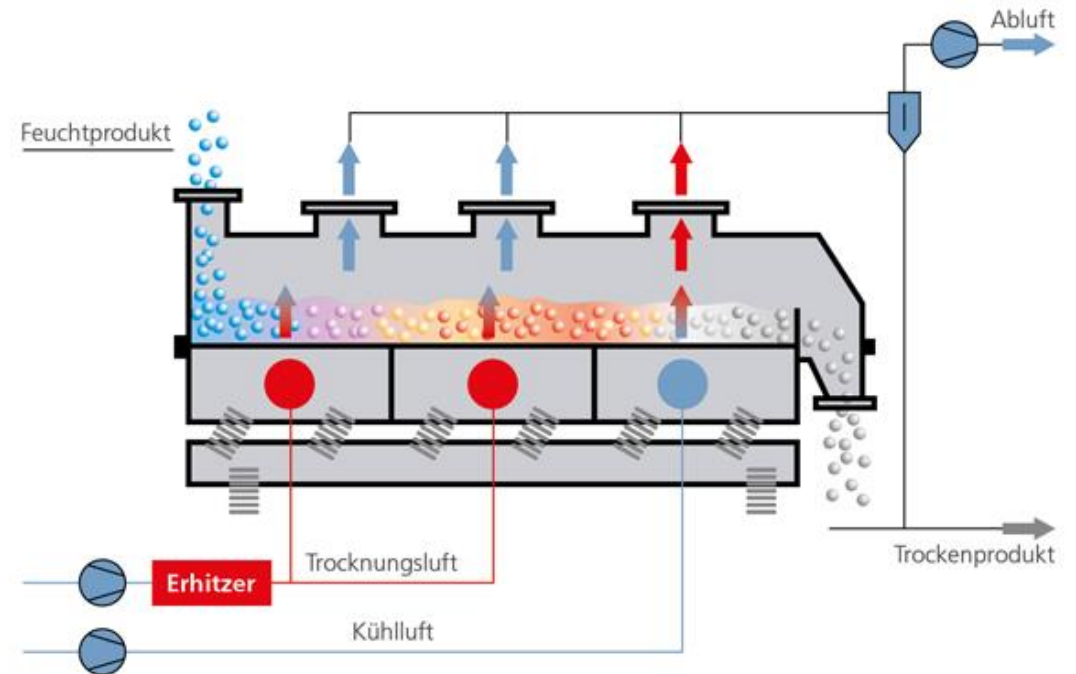
Prozesskomponenten



Ein **Wirbelschichttrockner** ist ein Gerät, in dem Feststoffe mithilfe eines Gasstroms (meist Luft) getrocknet werden. Das Prinzip beruht darauf, dass der Gasstrom das feuchte Material „aufwirbelt“ und somit ein hohes Maß an Kontakt zwischen der Oberfläche der Feststoffe und dem Trocknungsgas gewährleistet. Dieser Kontakt ermöglicht eine effiziente Wärmeübertragung und Verdampfung der Feuchtigkeit.

Funktionsweise:

- In einem Wirbelschichttrockner wird das zu trocknende Material auf einem Siebboden oder einer perforierten Platte abgelegt.
- Von unten wird ein heißer Gasstrom eingeblasen, wodurch das Material in Bewegung gerät und sich im Luftstrom „wirbelt“. Dadurch entsteht eine große Kontaktfläche, die eine gleichmäßige und schnelle Trocknung ermöglicht.
- Die Temperatur und der Volumenstrom des Gases können je nach Trocknungsgut angepasst werden, um ein optimales Trocknungsergebnis zu erzielen.



Wirbelschichttrockner

Prozesskomponenten

Vorteile des Wirbelschichttrockners:

- **Keine punktuelle Wärmeeinwirkung:** Die Wärme wird gleichmäßig verteilt, sodass keine "Hot Spots" entstehen, die das Produkt schädigen könnten.
- **Schonende Trocknung:** Durch die gleichmäßige Wärmeverteilung eignet sich der Wirbelschichttrockner besonders für wärmeempfindliche Stoffe.
- **Homogene Trocknung:** Der Wirbelprozess sorgt dafür, dass das Material gleichmäßig durchmischt wird, was eine gleichmäßige Trocknung fördert.
- **Keine bewegten Teile:** Der Wirbelschichttrockner hat im Trocknungsbereich keine beweglichen mechanischen Teile, was ihn robust und wartungsarm macht.
- **Geringe Verweilzeit:** Aufgrund der hohen Trocknungseffizienz ist die Trocknungszeit relativ kurz, was den Durchsatz erhöht.

Nachteile des Wirbelschichttrockners:

- **Erneute Klassierung:** Nach dem Trocknungsprozess kann es notwendig sein, das Material zu klassieren (sortieren), da sich feine Partikel bilden können.
- **Abrasives Verhalten:** Der ständige Kontakt und die Bewegung im Wirbelbett können zu Abrieb am Material und den Innenwänden des Trockners führen.
- **Gefahr der elektrostatischen Aufladung:** Durch die intensive Bewegung und Reibung besteht die Gefahr der elektrostatischen Aufladung, die in manchen Fällen zu Problemen führen kann.

S. 254 + 255

Übersicht Trockner mit Vor- / Nachkriterien

Trockenschrank

Ein Trockenschrank ist für Kleinmengen und häufige Materialwechsel geeignet.

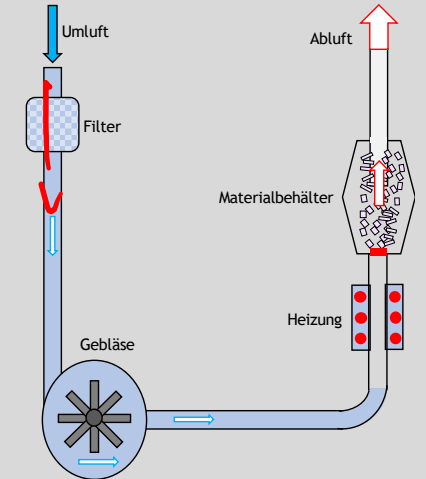
Das Material wird auf Blechen in Schichtdicke von max. 3 cm ausgebreitet und mehrere Stunden bei dem an den Kunststoff angepassten Temperatur im Umluftofen getrocknet



Warmlufttrockner

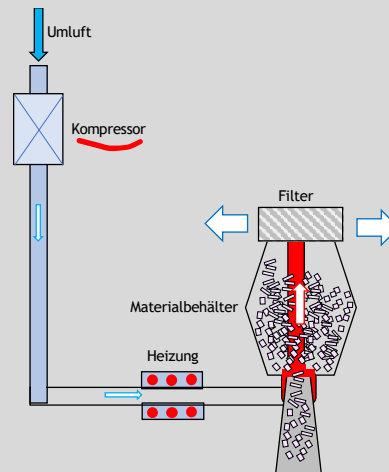
Der Warmlufttrockner ist für nicht oder gering hygroskopische Kunststoffe geeignet und dient vorrangig der Beseitigung von Oberflächenfeuchte.

Das Gebläse saugt Umluft an und fördert diese zum Behälter, sowohl Luft als auch Behälter werden erhitzt. Das Granulat wird von unten getrocknet



Drucklufttrockner

Der Drucklufttrockner arbeitet nach dem Luft-Expansionsprinzip. Die verwendete Druckluft muss trocken und frei von Wasser, Öl und Staub sein und vom Betriebsdruck (6 bar) auf atmosphärischen Druck entspannt. Dabei entstehen Taupunkttemperaturen von ca. -20°C. Je tiefer der Taupunkt der Luft liegt desto mehr Feuchtigkeit kann von ihr aufgenommen werden. Die behandelte Luft wird in den Heizkanal geleitet.



Trockenlufttrockner

Der Trockenlufttrockner arbeitet nach dem Adsorptionsprinzip. Die Luft wird nicht nur erhitzt, sondern auch entfeuchtet. Dadurch können extrem niedrige Restfeuchtwerte erreicht werden (z.B. 0,002% bei PET).

Die verwendete Trockenlufttechnologie arbeitet in einem in sich geschlossenen Kreislaufsystem, völlig unabhängig vom Umgebungsklima: Tief trockene, erwärmte Luft durchfließt das Granulat, nimmt dessen Feuchtigkeit auf und gibt diese wiederum an ein Trockenmittel ab.



Du sollst feuchtes Polyvinylchlorid (PVC) in einem Wirbelschichttrockner bis zu einer Restfeuchte von 0,05 % trocknen.

Beschreibe die Vor- und Nachteile des Wirbelschichttrockners.

.

Du sollst feuchtes Polyvinylchlorid (PVC) in einem Wirbelschichttrockner bis zu einer Restfeuchte von 0,05 % trocknen.

Beschreibe die Vor- und Nachteile des Wirbelschichttrockners.

Vorteile des Wirbelschichttrockners:

- 1. Gleichmäßige Wärmeverteilung:** Im Wirbelschichttrockner wird das Material durch den Gasstrom gleichmäßig erhitzt. Dadurch entstehen keine „Hot Spots“, die das PVC beschädigen könnten.
- 2. Schonende Trocknung:** Der Trockner ist ideal für wärmeempfindliche Stoffe wie PVC, da er das Material nicht überhitzt. Dadurch bleibt die Produktqualität erhalten.
- 3. Homogene Trocknung:** Durch die Bewegung des Materials im Wirbelbett kommt es zu einer gleichmäßigen Durchmischung und somit zu einer homogenen Trocknung.
- 4. Keine bewegten mechanischen Teile:** Es gibt keine beweglichen Teile im Trocknungsbereich, was den Trockner robust und wartungsarm macht.
- 5. Kurze Trocknungszeit:** Der Wirbelschichttrockner ermöglicht aufgrund seiner Effizienz eine schnelle Trocknung, was die Prozesszeit verringert und den Durchsatz erhöht.

Nachteile des Wirbelschichttrockners:

- 1. Erneute Klassierung:** Nach dem Trocknungsprozess könnte es notwendig sein, das Material zu klassieren (sortieren), da feine Partikel durch die Bewegung im Wirbelbett entstehen können.
- 2. Abrasives Verhalten:** Die ständige Bewegung des Materials im Trockner kann zu Abrieb an den Innenwänden oder am Material selbst führen.
- 3. Gefahr der elektrostatischen Aufladung:** Durch die intensive Bewegung kann es zu elektrostatischer Aufladung kommen, was unter bestimmten Umständen problematisch sein könnte, besonders bei trockenen Bedingungen.

Beim Trocknen von Feststoffschüttungen in einem Etagentrockner können gefährliche Situationen auftreten, wie z.B. eine Staubexplosion.

- a) Nenne vier Sicherheitseinrichtungen (Schadensbegrenzungseinrichtungen) oder Maßnahmen, die du ergreifen kannst, um einen sicheren Betrieb des Trockners zu gewährleisten. (8 Punkte)
- b) Gib vier Kriterien an, die dir zeigen, dass der Trocknungsvorgang abgeschlossen ist. (4 Punkte)

a)

Beim Trocknen von Feststoffschüttungen in einem Etagentrockner können gefährliche Situationen auftreten, wie z.B. eine Staubexplosion.

- a) Nenne vier Sicherheitseinrichtungen (Schadensbegrenzungseinrichtungen) oder Maßnahmen, die du ergreifen kannst, um einen sicheren Betrieb des Trockners zu gewährleisten. (8 Punkte)
- b) Gib vier Kriterien an, die dir zeigen, dass der Trocknungsvorgang abgeschlossen ist. (4 Punkte)

Beim Trocknen von Feststoffschüttungen in einem Etagentrockner können gefährliche Situationen auftreten, wie z.B. eine Staubexplosion.

a) Nenne vier Sicherheitseinrichtungen (Schadensbegrenzungseinrichtungen) oder Maßnahmen, die du ergreifen kannst, um einen sicheren Betrieb des Trockners zu gewährleisten. (8 Punkte)

b) Gib vier Kriterien an, die dir zeigen, dass der Trocknungsvorgang abgeschlossen ist. (4 Punkte)

a) **Sicherheitseinrichtungen und Maßnahmen:**

1. Einbau von Druckentlastungseinrichtungen: Diese schützen den Trockner durch schnelles Ablassen des Drucks bei einer Staubexplosion. Alternativ kann der Trockner druckstoßfest gebaut werden, um die Schäden einer Explosion zu minimieren.

2. Explosionsunterdrückende Systeme: Löschsysteme oder automatische Stickstoff-Begasung verhindern das Auslösen einer Explosion, indem sie das brennbare Gemisch eliminieren.

3. Erdung der Trocknungsanlage: Dadurch wird verhindert, dass durch Reibung am Trocknungsgut Funken entstehen, die eine Explosion auslösen könnten.

4. Inertisierung der Anlage: Vor dem Beladen mit lösemittelhaltigem Trocknungsgut muss die Trocknungsanlage mit einem inerten Gas (wie Stickstoff) geflutet werden, um eine explosionsfähige Atmosphäre zu verhindern.

5. Weitere Maßnahmen: Bei Unterdrucktrocknern muss die Anlage vollständig evakuiert werden, bevor geheizt wird, und die Türen des Vakuumtrockners dürfen erst nach dem vollständigen Druckausgleich geöffnet werden.

Beim Trocknen von Feststoffschüttungen in einem Etagentrockner können gefährliche Situationen auftreten, wie z.B. eine Staubexplosion.

a) Nenne vier Sicherheitseinrichtungen (Schadensbegrenzungseinrichtungen) oder Maßnahmen, die du ergreifen kannst, um einen sicheren Betrieb des Trockners zu gewährleisten. (8 Punkte)

b) Gib vier Kriterien an, die dir zeigen, dass der Trocknungsvorgang abgeschlossen ist. (4 Punkte)

b) Kriterien, die den Abschluss des Trocknungsvorgangs anzeigen:

- 1.Kein Kondensatausfluss mehr:** Wenn nach dem Kondensator kein Wasser (oder Lösemittel) mehr abläuft, ist das Trocknungsgut trocken.
- 2.Temperaturanstieg im Brüdenrohr:** Sobald die Feuchtigkeit verdampft ist, steigt die Temperatur im Brüdenrohr deutlich an.
- 3.Druckabfall bei Vakuumtrocknern:** Wenn der Druck im Vakuumtrockner konstant bleibt, ist kein weiteres Wasser mehr vorhanden, das verdampfen könnte.
- 4.Leistungsabfall bei Rührwerkzeugen:** Das Rührwerkzeug benötigt weniger Energie, da das Material trocken ist und weniger Widerstand bietet.
- 5.Probenahme:** Eine Stichprobe kann auf die Restfeuchte hin untersucht werden, um sicherzustellen, dass der Trocknungsvorgang abgeschlossen ist.

Trennkolonnen

Prozesskomponenten



Trennkolonnen sind eine zentrale Apparatur in der chemischen Industrie und werden zur **thermischen Trennung** von Stoffgemischen eingesetzt, wie z.B. bei der **Destillation**. Sie sind vor allem in Raffinerien, der Petrochemie, und bei der Herstellung von Chemikalien weit verbreitet. Das Ziel einer Trennkolonne ist es, die Komponenten eines Gemisches durch den **Phasenwechsel** zwischen Dampf und Flüssigkeit zu trennen.

Die Trennkolonne besteht typischerweise aus einem vertikalen Rohr, das mit speziellen Einbauten ausgestattet ist, wie **Böden** oder **Packungen**, die den Kontakt zwischen den flüssigen und gasförmigen Phasen maximieren. Je nach Art des Prozesses unterscheidet man zwischen verschiedenen Kolonnentypen, z.B. **Destillationskolonnen**, **Absorptionskolonnen** oder **Rektifikationskolonnen**.

Vorteile:

- 1. Effiziente Trennung:** Durch die ständige Wiederholung des Verdampfungs- und Kondensationsprozesses ist die Trennung der einzelnen Komponenten sehr präzise, insbesondere bei **Rektifikationskolonnen**.
- 2. Große Kapazität:** Trennkolonnen können große Mengen an Stoffen gleichzeitig verarbeiten, was sie ideal für industrielle Anwendungen macht.
- 3. Flexibilität:** Trennkolonnen können an verschiedene Prozesse angepasst werden (z.B. Destillation, Absorption), indem die Betriebsbedingungen (Druck, Temperatur) und die Kolonneneinbauten verändert werden.
- 4. Geringer Platzbedarf:** Durch ihre vertikale Bauweise benötigen sie relativ wenig Grundfläche, was sie für den Einsatz in beengten Anlagen geeignet macht.

Nachteile:

- 1. Hoher Energiebedarf:** Der Betrieb von Trennkolonnen, insbesondere das Aufheizen des Reboilers, erfordert viel Energie, was hohe Betriebskosten verursacht.
- 2. Empfindlichkeit gegenüber Verunreinigungen:** Verunreinigungen oder nicht-ideale Mischungen können die Effizienz der Kolonne stark verringern und zu Problemen wie **Schaumbildung** oder **Verblockung** führen.
- 3. Hohe Investitionskosten:** Die Anschaffung und Installation einer Trennkolonne, insbesondere mit speziellen Einbauten und Isolierungen, ist sehr kostspielig.
- 4. Wartungsaufwand:** Die Kolonneneinbauten und andere Bauteile müssen regelmäßig gewartet werden, um eine gleichbleibende Trennleistung zu gewährleisten. Verschleiß und Korrosion können zu teuren Ausfallzeiten führen.

Trennkolonnen

Prozesskomponenten

Die Trennkolonne funktioniert nach dem Prinzip der Destillation, bei der die Trennung durch **Unterschiede in den Siedepunkten** der Komponenten eines Gemisches erreicht wird.

1. Einspeisung des Gemisches: Das zu trennende Stoffgemisch (Feed) wird in die Mitte der Kolonne eingespeist. Es besteht aus verschiedenen Komponenten mit unterschiedlichen Siedepunkten.

2. Aufheizen und Verdampfen: Am Kolonnenboden befindet sich ein **Siedekessel** (Reboiler), der die Flüssigkeit erhitzt. Die leichteren, flüchtigeren Komponenten des Gemisches verdampfen und steigen als Dampf nach oben.

3. Kondensation der Dämpfe: Die Dämpfe treffen auf die Kolonneneinbauten (z.B. Böden oder Packungen), wo sie teilweise kondensieren und in flüssiger Form zurücklaufen. Der Kondensationsprozess hängt vom Temperaturprofil in der Kolonne ab. Dabei kondensieren die höher siedenden Komponenten zuerst.

4. Fraktionierung: Auf jedem Boden oder in jeder Packungsschicht kommt es zu einer Wiederholung des Verdampfungs- und Kondensationsprozesses, was die Trennung der einzelnen Komponenten schrittweise verbessert. Die leichteren Komponenten sammeln sich am oberen Teil der Kolonne, während die schwereren am Boden verbleiben.

5. Produkte: Das **Kopfprodukt** (leichtere, flüchtigere Komponenten) wird oben aus der Kolonne entnommen, während das **Sumpfprodukt** (schwerere Komponenten) am unteren Ende der Kolonne entnommen wird.

S. 267

Kolonneneinbauten					
Vergleich wichtiger Kolonneneinbauten					
Merkmal	Glockenböden	Ventilböden	Siebböden	Schüttfüllkörper	Packungen
Druckverlust	Hoch	Höher als beim Siebböden	Gering	Noch geringer als beim Siebböden	Noch geringer als bei Schüttfüllkörpern
Investitionskosten im Verhältnis zu Siebböden	110 % ... 150 %	ca. 110 %	100 %	Bei kleinen Durchmessern und Keramik- oder Kunststoff-Füllkörpern geringer als bei Bodenkolonnen	Zum Teil wesentlich höher als bei Schüttfüllkörpern
Arbeitsbereich (Belastungsbereich)	Groß	Groß	Eng begrenzt	Eng begrenzt	Groß
Verschmutzungsanfälligkeit	Je nach Glockenform, zum Teil groß	Sehr gering	Bei großen Bohrungen gering, bei kleinen groß	Relativ groß	Je nach Packung, zum Teil groß
Trennwirkung	Gut (über einen weiten Belastungsbereich)	Gut (über einen weiten Belastungsbereich)	Gut, aber nur in einem engen Belastungsbereich	Sehr gut, aber nur in einem engen Belastungsbereich	Noch höher als bei Schüttfüllkörpern (über einen relativ weiten Belastungsbereich)
Gewicht	Höher als bei Ventil- und Siebböden, aber geringer als bei Schüttfüllkörpern und Packungen	Geringer als bei Glockenböden, aber höher als bei Siebböden	Geringer als bei Ventilböden	Hoch, besonders bei großen Kolonnendurchmessern	Geringer als bei Schüttfüllkörpern
Zusätzliche Merkmale	<ul style="list-style-type: none"> Für nahezu alle Medien einsetzbar Untere Belastungsgrenze niedriger als beim Ventilboden Bewährt bei geringen Flüssigkeitsbelastungen und sehr niedrigen Gasbelastungen 	<ul style="list-style-type: none"> Höchster Wirkungsgrad aller Bodenkolonnen Größere Durchsätze als bei Glocken- und Siebböden möglich Relativ korrosionsanfällig Ungünstig bei Neigung des Mediums zu Verkrustungen 	<ul style="list-style-type: none"> Einfache Konstruktion bei guter Trennwirkung Nach Unterbrechung des Dampfstromes muss die Kolonne häufig neu angefahren werden 	<ul style="list-style-type: none"> Höhere Trennwirkung als Böden (geringere Bauhöhen erforderlich) Gegen Schaumbildung weniger empfindlich als Böden Gute Eignung für Vakuumbetrieb Alle Werkstoffe möglich Reinigung sehr aufwändig Neigung zur Randgängigkeit der Flüssigkeit (evtl. Verteilerböden erforderlich) 	<ul style="list-style-type: none"> Geringster Druckverlust möglich (Eignung für Vakuumdestillation und Absorption) Beste Trennwirkung (unabhängig von Packungshöhe und Packungsdurchmesser) Sehr gut geeignet bei Neigung zu Schaumbildung
<p>Bodenkolonnen werden bevorzugt eingesetzt</p> <ul style="list-style-type: none"> bei schlecht benetzenden Flüssigkeiten, bei mehreren erforderlichen Zu- und Abgängen am Kolonnenschuss, bei großen Durchsätzen (also großen erforderlichen Kolonnendurchmessern), bei starken Druckschwankungen und wenn häufige Reinigung erforderlich ist. 					

Du bist als verantwortlicher Schichtmeister beauftragt, zusammen mit dem Schichtteam Möglichkeiten zur Optimierung der Trennkolonne zu finden. Zusätzlich sollst du den Schichtteammitgliedern die Grundlagen für den Einsatz von Kolonneneinbauten erklären.

a) Erkläre den Zweck von Kolonneneinbauten in Trennkolonnen und was sie bewirken. (4 Punkte)

b) Nenne drei Kriterien, nach denen Kolonneneinbauten bewertet werden können. (3 Punkte)

a

.

Du bist als verantwortlicher Schichtmeister beauftragt, zusammen mit dem Schichtteam Möglichkeiten zur Optimierung der Trennkolonne zu finden. Zusätzlich sollst du den Schichtteammitgliedern die Grundlagen für den Einsatz von Kolonneneinbauten erklären.

a) Erkläre den Zweck von Kolonneneinbauten in Trennkolonnen und was sie bewirken. (4 Punkte)

b) Nenne drei Kriterien, nach denen Kolonneneinbauten bewertet werden können. (3 Punkte)

a) Zweck und Wirkung von Kolonneneinbauten:

Kolonneneinbauten verbessern den Wärme- und Stoffaustausch zwischen den gasförmigen und flüssigen Phasen in einer Trennkolonne. Das Ziel ist es, die Trennung der Komponenten effizienter zu gestalten. Die wichtigsten Effekte sind:

1. Vergrößerung der Kontaktfläche: Einbauten wie Böden oder Packungen erhöhen die Kontaktfläche zwischen der Flüssigkeit und dem Dampf, was den Stoffaustausch maximiert.

2. Verlängerung der Kontaktzeit: Durch die Einbauten wird der Weg der Dampf- und Flüssigphasen verlängert, was zu einer intensiveren Wechselwirkung zwischen den Phasen führt.

3. Vermeidung von Turbulenzen: Einige Einbauten helfen dabei, den Fluss des Dampfes und der Flüssigkeit zu stabilisieren, was zu einer gleichmäßigen und effizienten Trennung führt.

b) Kriterien zur Bewertung von Kolonneneinbauten:

1. Trennleistung: Wie viele theoretische Böden (Trenneinheiten) erzielt der Einbau? Die Anzahl der Böden gibt an, wie effizient der Stoffaustausch stattfindet.

2. Druckverlust: Der Druckverlust durch den Kolonneneinbau sollte so gering wie möglich sein, um unnötige Energieverluste zu vermeiden.

3. Materialeigenschaften: Die Einbauten müssen resistent gegenüber den Eigenschaften des zu trennenden Gemisches sein, z.B. gegen Korrosion, chemische Angriffe oder Schaumbildung.

4. Kosten: Die Kosten für die Anschaffung und Wartung der Kolonneneinbauten spielen ebenfalls eine Rolle bei der Auswahl.

Trennkolonnen – Bachbildung

Prozesskomponenten

Bachbildung entsteht, wenn sich auf den Kolonnenböden oder Packungen Flüssigkeitsströme konzentrieren und sich nicht gleichmäßig verteilen. Statt einer homogenen Benetzung der Oberfläche fließt die Flüssigkeit in „Bächen“ oder Rinnsalen ab. Dies führt dazu, dass große Teile der Oberfläche nicht in den Trennprozess einbezogen werden, was die Kontaktfläche zwischen Dampf und Flüssigkeit reduziert. Die Folge ist eine geringere Massentransferleistung, also eine ineffizientere Trennung der Komponenten.

- **Ursachen für Bachbildung:**
 - Ungleichmäßige Verteilung der Flüssigkeit auf den Kolonnenböden oder in den Packungen.
 - Schlechte Konstruktion der Verteilsysteme.
 - Verschmutzungen oder Ablagerungen in der Kolonne.
- **Lösung:** Eine gleichmäßige Verteilung der Flüssigkeit kann durch optimierte Flüssigkeitsverteiler und regelmäßige Reinigung der Kolonne sichergestellt werden.

Trennkolonnen – Randgängigkeit

Prozesskomponenten

Randgängigkeit tritt auf, wenn Flüssigkeit oder Dampf bevorzugt an den Kolonnenwänden entlang fließt, anstatt sich gleichmäßig über die Kolonnenquerschnittsfläche zu verteilen. Dadurch wird ebenfalls die effektive Austauschfläche zwischen den Phasen verringert, da der Dampf bzw. die Flüssigkeit nicht optimal mit der Packung oder den Böden in Kontakt kommt. Dies mindert die Trenneffizienz, da der Stoffaustausch nicht optimal stattfindet.

- **Ursachen für Randgängigkeit:**
 - Oberflächenspannung der Flüssigkeit, die diese entlang der Wände fließen lässt.
 - Konstruktionsfehler, bei denen die Kolonnenböden oder die Packung nicht bis zur Kolonnenwand reichen, was einen Spalt an den Rändern lässt.
- **Lösung:** Eine Möglichkeit, Randgängigkeit zu vermeiden, besteht darin, Packungsmaterial zu verwenden, das eine gute Verteilung über die gesamte Kolonnenquerschnittsfläche gewährleistet, und sicherzustellen, dass keine großen Spalten zwischen Packung und Kolonnenwand vorhanden sind.

Vakuumdrehfilter werden häufig in der chemischen und pharmazeutischen Industrie eingesetzt, um Feststoffe von Flüssigkeiten zu trennen. Sie sind ideal für kontinuierliche Prozesse und große Volumenströme, bei denen die mechanische Trennung von Suspensionsphasen gefordert ist.

i Ein Vakuumdrehfilter besteht aus einer rotierenden Trommel, die in einen Trog mit der Suspension eintaucht. Das Innere der Trommel ist in mehrere Kammern unterteilt, die jeweils mit einem Filtertuch bespannt sind. Während die Trommel rotiert, zieht der Unterdruck die Flüssigkeit durch das Filtertuch und trennt dabei die festen Partikel ab.

Vorteile:

- 1. Kontinuierlicher Betrieb:** Vakuumdrehfilter sind ideal für Prozesse, die kontinuierlich arbeiten müssen. Sie ermöglichen eine hohe Verarbeitungskapazität, was sie in vielen Industrien beliebt macht.
- 2. Effiziente Flüssigkeitstrennung:** Durch den konstanten Unterdruck wird eine effektive und schnelle Trennung von Flüssigkeiten und Feststoffen ermöglicht.
- 3. Anpassungsfähig:** Die Filter können an verschiedene Prozessanforderungen angepasst werden, zum Beispiel durch den Einsatz von speziellen Filtertüchern oder das Hinzufügen eines Waschschriffs.

Nachteile:

- 1. Hoher Energieaufwand:** Der Betrieb des Vakuumsystems erfordert viel Energie, was zu hohen Betriebskosten führen kann.
- 2. Empfindlichkeit gegenüber Blockierungen:** Wenn das Filtertuch durch feine Partikel verstopft wird, kann die Filtration verlangsamt oder unterbrochen werden, was regelmäßige Wartungen erforderlich macht.
- 3. Platzbedarf:** Die Installation eines Vakuumdrehfilters erfordert eine große Grundfläche und eine aufwändige Infrastruktur, besonders wegen der notwendigen Vakuumsysteme.

Funktionsweise:

1. Eintauchen der Trommel: Die rotierende Trommel taucht in die Suspension ein, wodurch ein Teil der Trommel mit der Suspension in Kontakt kommt.

2. Filtration: Durch den im Inneren der Trommel herrschenden Unterdruck wird die Flüssigkeit durch das Filtertuch gesogen, während die Feststoffe auf dem Tuch zurückbleiben und einen sogenannten **Filterkuchen** bilden.

3. Waschen und Abtrocknen: In einigen Anwendungen wird der Filterkuchen nach der Filtration noch gewaschen, indem Flüssigkeit über den abgesetzten Feststoff gegossen wird. Anschließend kann der Kuchen durch weitere Filtration oder durch das Abblasen mit Luft getrocknet werden.

4. Abstreifen des Filterkuchens: Nachdem der Filterkuchen getrocknet wurde, wird er durch einen mechanischen Abstreifer von der Trommel entfernt, und der Filtrationsprozess beginnt von neuem.



In einem Vakuumdrehfilter wird bei 250 mbar die Suspension von der Flüssigkeit getrennt.

Beschreibe, wie ein Vakuumdrehfilter funktioniert, und nenne zwei Parameter, die den Filtrationsvorgang beeinflussen können. (6 Punkte)

Vakuumdruck:

Filtergröße

Drehzahl

Dicke des Filterkuchens

In einem Vakuumdrehfilter wird bei 250 mbar die Suspension von der Flüssigkeit getrennt.

Beschreibe, wie ein Vakuumdrehfilter funktioniert, und nenne zwei Parameter, die den Filtrationsvorgang beeinflussen können. (6 Punkte)

Der Vakuumdrehfilter ist ein kontinuierlich arbeitender Filter. Dabei wird die Suspension in einen Trog gegeben, durch den eine rotierende Trommel teilweise eintaucht. Die Trommel ist mit einem Filtertuch bespannt und im Inneren herrscht Unterdruck, der die Suspension durch das Filtertuch zieht. So bleibt der Feststoff auf der Trommel haften, während die Flüssigkeit durch das Filtertuch und weiter in das Vakuumsystem abgeführt wird. Anschließend wird der Feststoff durch mechanische Abstreifer entfernt.

Zwei Parameter, die den Filtrationsvorgang beeinflussen:

- 1. Drehgeschwindigkeit der Trommel:** Je schneller die Trommel rotiert, desto kürzer ist die Kontaktzeit zwischen Suspension und Filtertuch, was die Filtration beeinflusst.
- 2. Vakuumdruck:** Der Unterdruck im Inneren der Trommel beeinflusst, wie stark die Flüssigkeit durch das Filtertuch gesogen wird. Ein höherer Vakuumdruck führt zu einer schnelleren Filtration.

Der Feststoff wird in einem Vakuumdrehfilter abgetrennt, und der Filterkuchen wird durch einen Schaber von der Trommel entfernt. Die Trommel dreht sich mit einer Drehzahl von $n = 0,25 \text{ min}^{-1}$, hat einen äußeren Trommeldurchmesser von 3,50 m, eine Filterbreite von 4,00 m und eine Filterkuchendichte von $\rho = 4.200 \text{ kg/m}^3$.

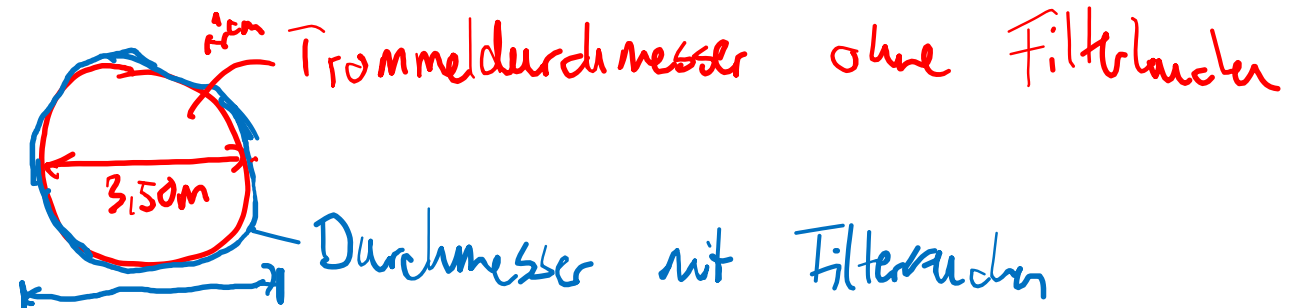
- a) Berechne die Geschwindigkeit (Umfangsgeschwindigkeit in cm/s) der Trommel. (4 Punkte)
- b) Berechne die Masse des Filterkuchens (in t), die nach einer Achtstundenschicht anfällt, wenn die mittlere Kuchendicke auf dem Filter 1 cm beträgt. (12 Punkte)

Außerdurchmesser

$$V = (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L$$

$$V = (3,52^2 - 3,5^2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L$$

$$= D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L - d^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L$$



Vakuumdrehfilter

Prozesskomponenten

Der Feststoff wird in einem Vakuumdrehfilter abgetrennt, und der Filterkuchen wird durch einen Schaber von der Trommel entfernt. Die Trommel dreht sich mit einer Drehzahl von $n = 0,25 \text{ min}^{-1}$, hat einen äußeren Trommeldurchmesser von 3,50 m, eine Filterbreite von 4,00 m und eine Filterkuchendichte von $\rho = 4.200 \text{ kg/m}^3$.

- a) Berechne die Geschwindigkeit (Umfangsgeschwindigkeit in cm/s) der Trommel. (4 Punkte)
- b) Berechne die Masse des Filterkuchens (in t), die nach einer Achtstundenschicht anfällt, wenn die mittlere Kuchendicke auf dem Filter 1 cm beträgt. (12 Punkte)

Außerdurchmesser

$$V = (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L$$

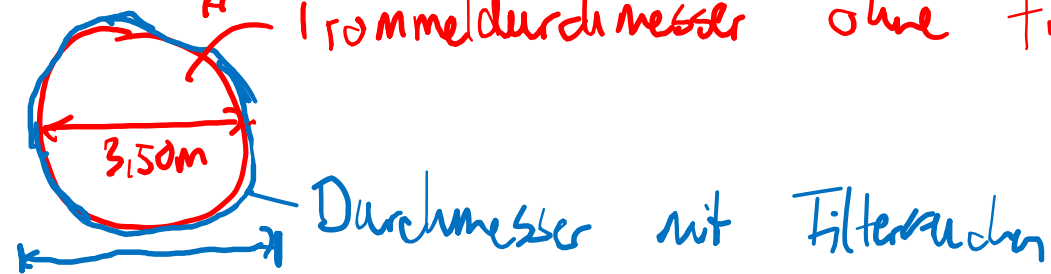
a) $2 \cdot r = d$
Umfangsgeschwindigkeit $S.65$

$$v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n = d \cdot \pi \cdot n$$

$$V = (3,52^2 - 3,5^2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L$$

$$= D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L - d^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L$$

Hohlzylinder
Trommeldurchmesser ohne Filterbänder



3,52

Der Feststoff wird in einem Vakuumdrehfilter abgetrennt, und der Filterkuchen wird durch einen Schaber von der Trommel entfernt. Die Trommel dreht sich mit einer Drehzahl von $n = 0,25 \text{ min}^{-1}$, hat einen äußeren Trommeldurchmesser von 3,50 m, eine Filterbreite von 4,00 m und eine Filterkuchendichte von $\rho = 4.200 \text{ kg/m}^3$.

a) Berechne die Geschwindigkeit (Umfangsgeschwindigkeit in cm/s) der Trommel. (4 Punkte)

b) Berechne die Masse des Filterkuchens (in t), die nach einer Achtstundenschicht anfällt, wenn die mittlere Kuchendicke auf dem Filter 1 cm beträgt. (12 Punkte)

$$n = 0,25 \frac{\text{U}}{\text{min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 15 \frac{\text{U}}{\text{h}} \cdot 8 \text{ h} = 120 \text{ U}$$

a) Umfangsgeschwindigkeit

$$v = d \cdot \pi \cdot n = 350 \text{ cm} \cdot \pi \cdot \frac{0,25}{60 \text{ s}} = 4,58 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

b) Volumen bei einer Umdrehung

$$V = (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L = (3,5^2 - 3,5^2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 4 \text{ m} = 0,44 \text{ m}^3$$

Masse bei einer Umdrehung

$$m = V \cdot \rho = 0,44 \text{ m}^3 \cdot 4.200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1.848 \text{ kg}$$

Gesamtmasse (8h)

$$m_{\text{ges}} = 1.848 \text{ kg} \cdot 120 = 221.760 \text{ kg} = 221,76 \text{ t}$$

Der Feststoff wird in einem Vakuumdrehfilter abgetrennt, und der Filterkuchen wird durch einen Schaber von der Trommel entfernt. Die Trommel dreht sich mit einer Drehzahl von $n = 0,25 \text{ min}^{-1}$, hat einen **äußeren Trommeldurchmesser von 3,50 m**, eine **Filterbreite von 4,00 m** und eine **Filterkuchendichte von $\rho = 4.200 \text{ kg/m}^3$** .

- a) Berechne die Geschwindigkeit (Umfangsgeschwindigkeit in cm/s) der Trommel. (4 Punkte)
- b) Berechne die Masse des Filterkuchens (in t), die nach einer Achtstundenschicht anfällt, wenn die mittlere Kuchendicke auf dem Filter 1 cm beträgt. (12 Punkte)

$$v = n \cdot d \cdot \pi = \frac{0,25}{60 \text{ s}} \cdot 3,5 \text{ m} \cdot \pi = 0,0458 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 4,58 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Der Feststoff wird in einem Vakuumdrehfilter abgetrennt, und der Filterkuchen wird durch einen Schaber von der Trommel entfernt. Die Trommel dreht sich mit einer Drehzahl von $n = 0,25 \text{ min}^{-1}$, hat einen **äußeren Trommeldurchmesser von 3,50 m**, eine **Filterbreite von 4,00 m** und eine **Filterkuchendichte von $\rho = 4.200 \text{ kg/m}^3$** .

a) Berechne die Geschwindigkeit (Umfangsgeschwindigkeit in cm/s) der Trommel. (4 Punkte)

b) Berechne die Masse des Filterkuchens (in t), die nach einer Achtstundenschicht anfällt, wenn die mittlere Kuchendicke auf dem Filter 1 cm beträgt. (12 Punkte)

- Volumen des Filterkuchens bei einer Umdrehung:

$$V = \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \cdot L = \frac{(3,52^2 \text{ m}^2 - 3,5^2 \text{ m}^2) \cdot \pi}{4} \cdot 4 \text{ m} = 0,44 \text{ m}^3$$
- Masse des Filterkuchens bei einer Umdrehung:

$$m = V \cdot \rho = 0,44 \text{ m}^3 \cdot 4.200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1.848 \text{ kg}$$
- Anzahl der Umdrehungen pro Achtstundenschicht:

$$n = 0,25 \frac{\text{U}}{\text{min}} = 15 \frac{\text{U}}{\text{h}} = 120 \frac{\text{U}}{8 \text{ h}}$$
- Masse nach Achtstundenschicht:

$$m_{8h} = n_{8h} \cdot m_{1h} = 120 \frac{\text{U}}{8 \text{ h}} \cdot 1.848 \text{ kg} = 221.760 \text{ kg} = 221,76 \text{ t}$$

In einer Achtstundenschicht fallen 221,76 t Filterkuchen an.

i Membranfiltration ist eine Methode zur Trennung von Stoffen, bei der eine poröse Membran als Trennmedium eingesetzt wird. Diese Membran lässt bestimmte Moleküle oder Partikel durch, während größere zurückgehalten werden. Membranfilter werden in einer Vielzahl von Anwendungen verwendet, z.B. bei der Wasseraufbereitung, in der Lebensmittelindustrie, in der Biotechnologie und in der chemischen Industrie.

Es gibt verschiedene Arten der Membranfiltration, darunter:

- 1. Mikrofiltration (MF):** Trennung von Partikeln mit einem Durchmesser von 0,1-10 μm .
- 2. Ultrafiltration (UF):** Trennung von Partikeln und Makromolekülen mit einem Durchmesser von 1-100 nm.
- 3. Nanofiltration (NF):** Trennung von Molekülen, vor allem Salzen und organischen Verbindungen, mit einem Durchmesser von 1-10 nm.
- 4. Umkehrosmose (RO):** Trennung von gelösten Stoffen, insbesondere Salzen und Ionen, bei einem Molekül-Durchmesser von weniger als 1 nm.

Funktionsweise:

Der Betrieb eines Membranfilters erfolgt meist unter Druck. Eine Flüssigkeit (Suspension) wird durch die Membran gepresst, wobei die Größe der Poren in der Membran bestimmt, welche Moleküle passieren können (Filtrat) und welche zurückgehalten werden (Retentat). Die Trennung erfolgt aufgrund physikalischer Mechanismen wie **Siebwirkung** (Partikelgröße) und **Diffusion**. Ein wichtiger Aspekt bei der Membranfiltration ist der **Fouling-Effekt**, bei dem sich Partikel oder gelöste Stoffe auf der Membran ablagern und die Filterleistung verringern. Um dem entgegenzuwirken, müssen die Membranen regelmäßig gereinigt oder ausgetauscht werden.

Vorteile:

- 1.Hohe Trennleistung:** Membranfilter können sehr feine Moleküle und Partikel trennen, die mit anderen Methoden schwer zu entfernen wären, z.B. bei der Umkehrosmose.
- 2.Energieeffizienz:** Die Filtration erfolgt ohne thermische Prozesse, was Energie spart, besonders im Vergleich zu Verdampfungsverfahren.
- 3.Kompakte Bauweise:** Membransysteme benötigen oft weniger Platz als herkömmliche Trennanlagen.
- 4.Breites Anwendungsspektrum:** Membranfilter können in vielen Branchen eingesetzt werden, von der Wasseraufbereitung bis hin zur Herstellung von Lebensmitteln oder Pharmazeutika.

Nachteile:

- 1.Fouling und Verschleiß:** Membranen können durch Partikel oder chemische Substanzen verstopft werden, was die Trennleistung verschlechtert und regelmäßige Wartung erfordert.
- 2.Begrenzte Lebensdauer der Membranen:** Die Membranen müssen nach einer gewissen Zeit ausgetauscht werden, da sie durch den Betrieb abgenutzt werden.
- 3.Begrenzte Trennung bei sehr hohen Konzentrationen:** Wenn die zu filtrierende Flüssigkeit eine sehr hohe Partikel- oder Molekülkonzentration aufweist, kann die Membran schnell verstopfen.
- 4.Kosten für Reinigung und Wartung:** Aufgrund des Fouling-Effekts und der Membranverschleiß können regelmäßige Wartungsarbeiten und Ersatzteile erforderlich sein.

Aufgabe 4

Mögliche Punktzahl: 8

Im Filterapparat FL 230 findet die zusätzliche Trennung von Methanol und MTBE durch Membranfiltration statt.

Beschreiben Sie den Aufbau und die Funktionsweise dieser Membranfiltration.

Membranfilter

Prozesskomponenten

Aufgabe 4

Mögliche Punktzahl: 8

Im Filterapparat FL 230 findet die zusätzliche Trennung von Methanol und MTBE durch Membranfiltration statt.

Beschreiben Sie den Aufbau und die Funktionsweise dieser Membranfiltration.

Lösungshinweise Aufgabe 4

[VO: § 5 Absatz 6 Nr. 1]

Mögliche Punktzahl: 8

Aufbau und Funktionsweise der Membranfiltration, z. B.:

Kernstück der Membranfiltration ist eine auf die Trennaufgabe zugeschnittene Membran. Sie besteht aus einer dünnen, feinporigen Wand, die in der Lage ist, Teilchen oberhalb einer bestimmten Größe zurückzuhalten. Kleinere Teilchen gelangen durch die Membran. Sie wird vorwiegend zur Trennung von molekulardispersen Flüssigkeitsgemischen eingesetzt.

Das Flüssigkeitsgemisch (Feed), hier Methanol und MTBE, strömen an der Vorderseite der Membran entlang. Durch die Druckdifferenz (treibende Kraft) zwischen Vorder- und Rückseite werden diese in zwei Fraktionen getrennt. Die MTBE-Moleküle werden von der Membran nicht durchgelassen und reichern sich an der Vorderseite an. Diese Phase wird als Retentat bezeichnet. Die Methanolmoleküle diffundieren durch die Membran und reichern sich an der Rückseite an. Diese Anreicherung wird als Permeat bezeichnet.

Aufgabe 2

Mögliche Punktzahl: 10

Sie sollen mithilfe eines Verdampfers eine Lösung aufkonzentrieren.

Benennen Sie zwei verschiedene Apparate/Verdampfer, die für die Aufkonzentrierung der Lösung geeignet sind, und geben Sie jeweils einen Vor- und Nachteil an.

Lösungshinweise Aufgabe 2

[VO: § 5 Absatz 8 Nr. 4 c)]

Mögliche Punktzahl: 10

Z. B.:

- Rührwerksverdampfer/Kesselverdampfer
 - Vorteile, z. B.:
 - einfacher Aufbau und individuell einsetzbar
 - leicht korrosionsbeständig ausführbar
 - Nachteile, z. B.:
 - hohe Verweilzeiten im Apparat
 - geringe Wärmeübertragungsfläche (ungünstiges Verhältnis vom Inhalt zur Heizfläche)
 - dicke Flüssigkeitsschicht (Gefahr der Überhitzung)
- Dünnschichtverdampfer
 - Vorteile, z. B.:
 - geringere Verweilzeiten im Verdampfer (produktschonend)
 - gut für hochviskose Lösungen geeignet
 - gut für Vakuumverdampfung geeignet
 - Nachteile, z. B.:
 - aufwendige Bauart
 - Verschleiß der Wischblätter
 - Ablagerungen auf der Verdampferfläche möglich
- Röhrenverdampfer/Umlaufverdampfer
 - Vorteile, z. B.:
 - geringere Verweilzeit als im Rührwerksverdampfer
 - gut für kontinuierlichen Betrieb
 - einfacher Aufbau
 - Nachteile, z. B.:
 - höhere Verweilzeit als im Dünnschichtverdampfer
 - Ablagerungen auf der Verdampferfläche möglich



TIW GmbH ©

PROZESSLEITTECHNIK

Reglertheorie
Regleroptimierung
Reglerkonzepte
Funktionspläne

- Theorie kurz zu Wahrheitstabelle und Funktionsplan aus altem Skript reicht
- Rest mache ich mit Tabellenbuch

FUNKTIONSPLAN

Aufgabe

Aufgabe 7

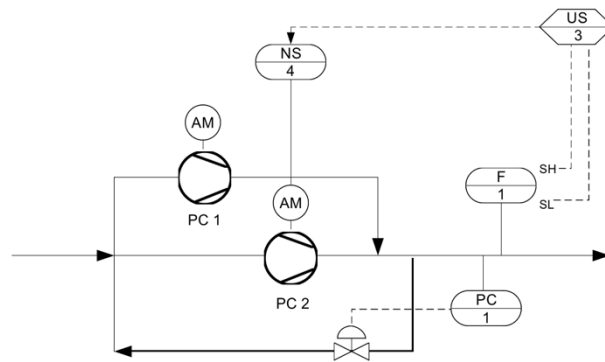
In einer Prozesanlage wird dem Prozess mit zwei Kompressoren Erdgas zugeführt.

Der Kompressor PC 2 wird zurzeit vom Anlagenfahrer EIN-geschaltet, wenn die Fördermenge (der Volumenstrom) des Kompressors PC 1 nicht mehr ausreichend ist, und AUS-geschaltet, wenn der PC 2 nicht mehr benötigt wird.

Dieses soll über eine Verknüpfungssteuerung wie folgt automatisiert werden:

Der Kompressor PC 2 soll in Abhängigkeit von der benötigten Erdgasmenge FSLSH 1 zeitverzögert EIN- bzw. AUS-geschaltet werden.

- Einschalten:
wenn FSL1 60 Sekunden ansteht
- Ausschalten:
wenn FSH1 120 Sekunden ansteht



a Mögliche Punktzahl: 3

Erstellen Sie eine Tabelle mit den Ein- und Ausgängen der Verknüpfungssteuerung.

b Mögliche Punktzahl: 12

Erstellen Sie den entsprechenden Funktionsplan für den Kompressor PC 2.

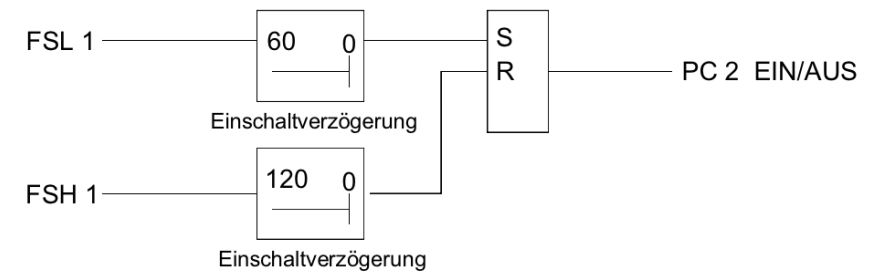
Lösungshinweise Aufgabe 7

[VO: § 5 Absatz 8 Nr. 2 c)]

a Mögliche Punktzahl: 3

Eingang	Ausgang
FSH1	NS4
FSL1	

b Mögliche Punktzahl: 12





GRAFCET (Grphe Fonctionnel de Commande Etapes/Transitions) ist eine grafische Methode, die zur Beschreibung und Planung von Steuerungsprozessen in Automatisierungssystemen eingesetzt wird. Ein GRAFCET-Funktionsplan stellt den Ablauf eines automatisierten Prozesses in klaren, logischen Schritten dar. Das Konzept basiert auf Zuständen (Schritten) und den Bedingungen (Transitionen), die erfüllt sein müssen, um von einem Zustand in den nächsten zu wechseln.

Grundbestandteile eines Funktionsplans nach GRAFCET:

1. **Schritte (Steps):** Stellen die einzelnen Zustände des Systems dar, in denen Aktionen ausgeführt werden.
2. **Transitionen (Transitions):** Bedingungen, die erfüllt sein müssen, um vom aktuellen Schritt zum nächsten zu wechseln.
3. **Aktionen (Actions):** Aktionen, die in den einzelnen Schritten ausgeführt werden. Diese können zeitlich begrenzt oder kontinuierlich sein.
4. **Verzweigungen (Branching):** Ermöglicht es, mehrere mögliche Pfade im Ablauf zu definieren, die aufgrund verschiedener Bedingungen genommen werden können.
5. **Verknüpfungsoperatoren (Logic Operators):** Nutzen logische Operationen, um die verschiedenen Aktionen und Transitionen zu verknüpfen.

Diese Elemente werden im Funktionsplan in einer grafischen Darstellung organisiert, um den Ablauf und die Logik der Steuerungsprozesse klar zu strukturieren.

Aufgabe 6

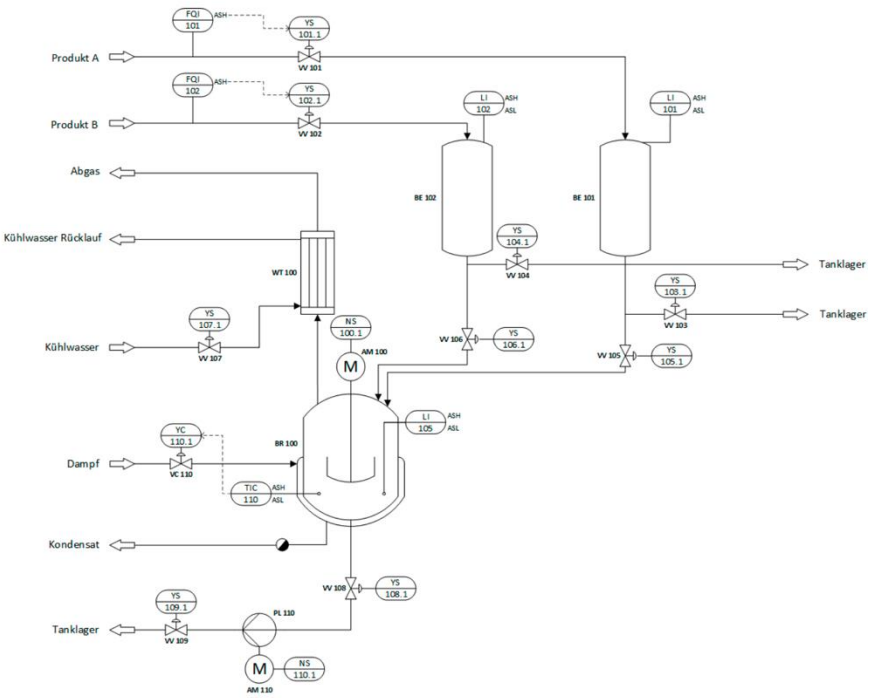
Mögliche Punktzahl: 25

Das dargestellte Fließschema in Anlage 3 zeigt einen diskontinuierlich betriebenen Reaktionsapparat (BR 100).

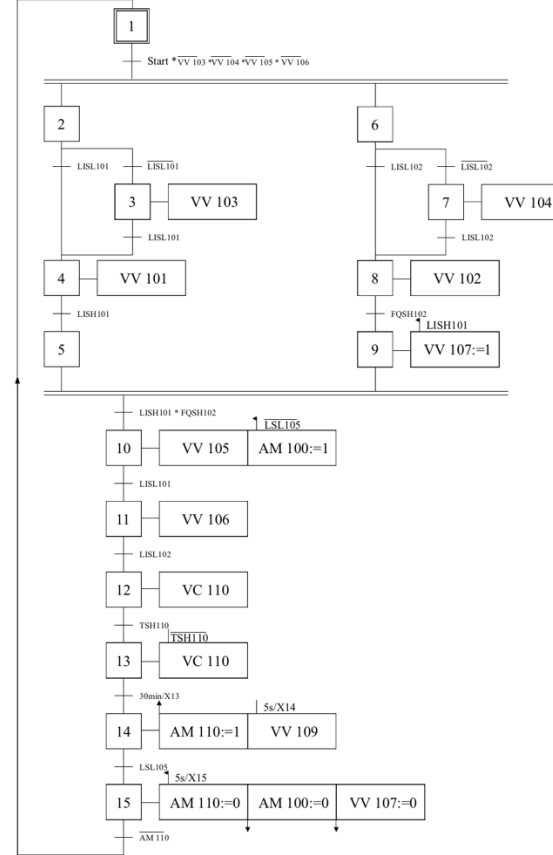
Die Anlage läuft automatisiert. Die Automatisierung erfolgt mithilfe eines Ablaufplans nach Grafcet (Anlage 4).

Beschreiben Sie für eine Schulung der Betriebsmitarbeiter den Ablauf des Prozesses.

Gehen Sie dabei auf die einzelnen Aktionen und Weberschaltbedingungen ein.



Anlage 4 zu Aufgabe 6 (Grafcet-Plan)



Aufgabe 6

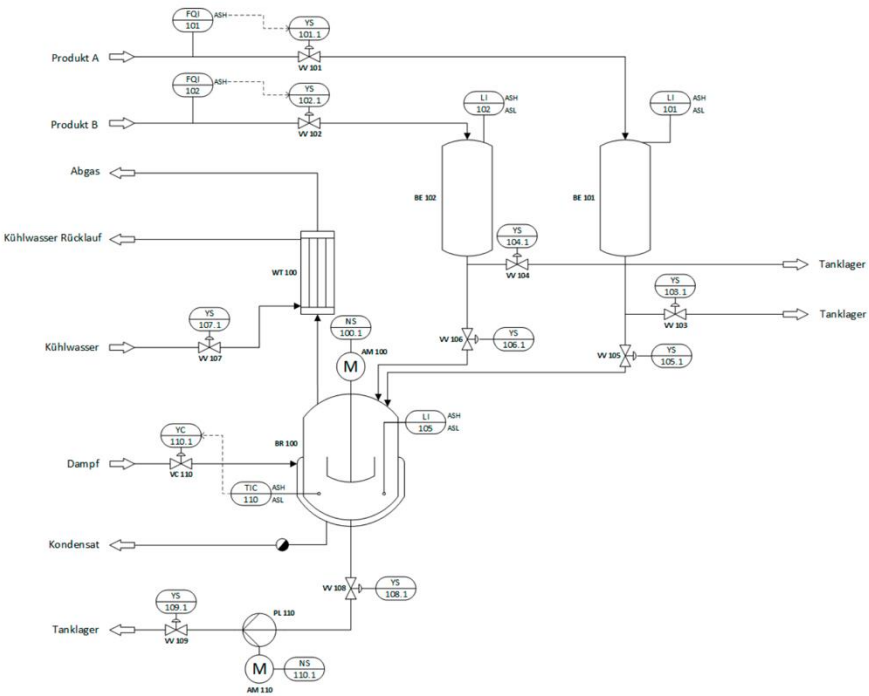
Mögliche Punktzahl: 25

Das dargestellte Fließschema in Anlage 3 zeigt einen diskontinuierlich betriebenen Reaktionsapparat (BR 100).

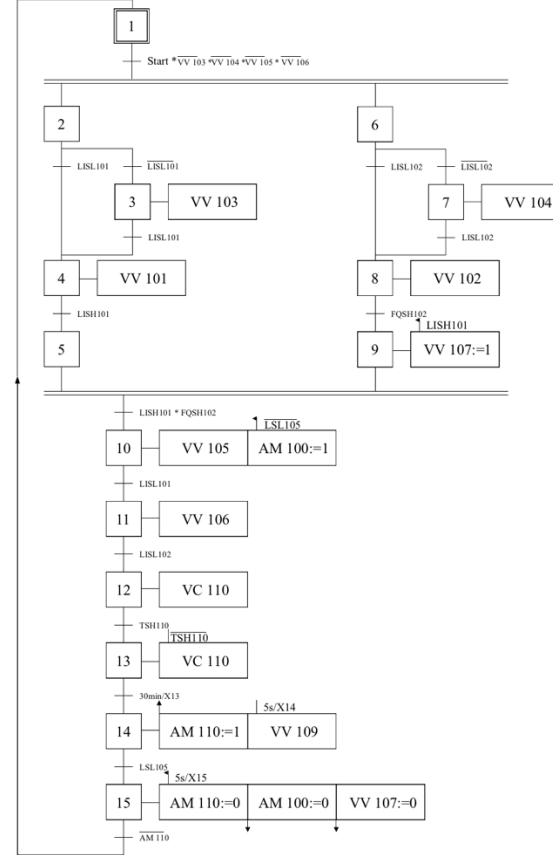
Die Anlage läuft automatisiert. Die Automatisierung erfolgt mithilfe eines Ablaufplans nach Grafcet (Anlage 4).

Beschreiben Sie für eine Schulung der Betriebsmitarbeiter den Ablauf des Prozesses.

Gehen Sie dabei auf die einzelnen Aktionen und Weberschaltbedingungen ein.



Anlage 4 zu Aufgabe 6 (Grafcet-Plan)



Aufgabe 6

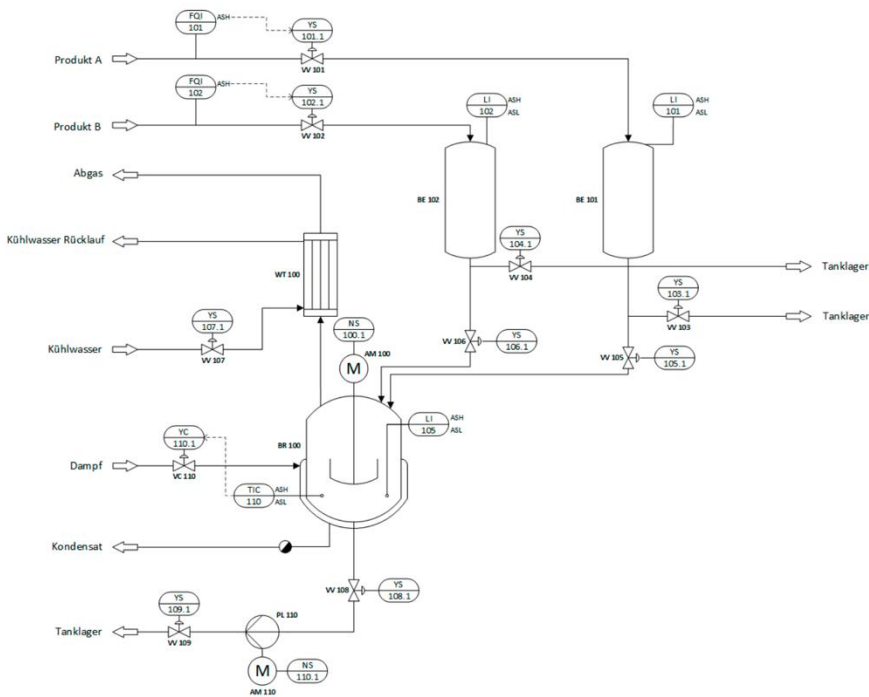
Mögliche Punktzahl: 25

Das dargestellte Fließschema in Anlage 3 zeigt einen diskontinuierlich betriebenen Reaktionsapparat (BR 100).

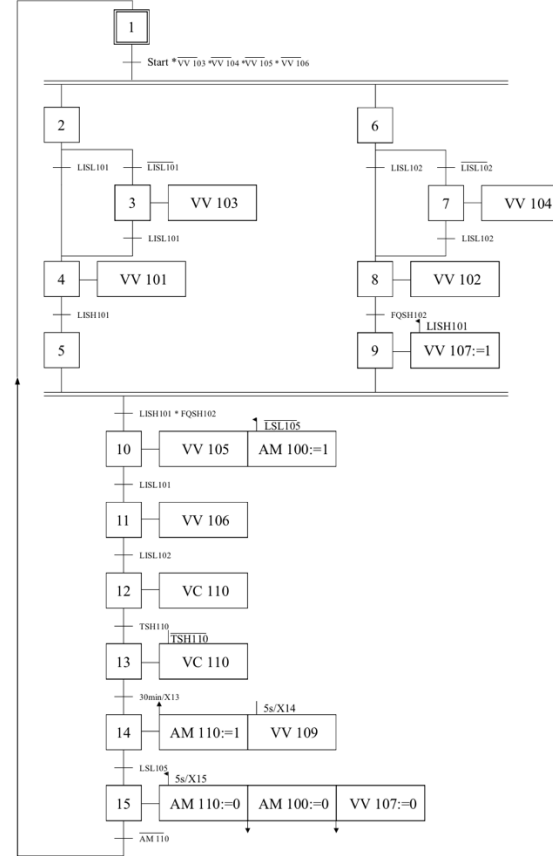
Die Anlage läuft automatisiert. Die Automatisierung erfolgt mithilfe eines Ablaufplans nach Grafcet (Anlage 4).

Beschreiben Sie für eine Schulung der Betriebsmitarbeiter den Ablauf des Prozesses.

Gehen Sie dabei auf die einzelnen Aktionen und Weberschaltbedingungen ein.



Anlage 4 zu Aufgabe 6 (Grafcet-Plan)



Lösungshinweise Aufgabe 6

[VO: § 5 Absatz 8 Nr. 2 c)]

Mögliche Punktzahl: 25

Um den Prozess zu starten, muss ein Taster „Start“ betätigt werden. Der Vorgang darf dann nur starten, wenn alle Ablassarmaturen der Vorlagenbehälter BE 101 und BE 102 geschlossen sind.

Der Behälter BE 101 soll bis zum oberen Grenzwert mit Produkt A gefüllt werden.

Zeitgleich wird der Behälter BE 102 mit einem vorgegebenem Volumen befüllt.

Befindet sich in einem der Behälter noch Restprodukt, wird dieses ins Tanklager abgelassen.

Nur wenn beide Vorlagenbehälter gefüllt sind, öffnet das Kühlwasservertil VV 107 zum WT 100.

Dann wird zuerst Produkt A in den BR 100 abgelassen.

Sobald der Stand im BR 100 über den unteren Grenzwert (LISL105) steigt, startet der Rührmotor AM 100.

Wenn der Behälter BE 101 vollständig in den Rührreaktor abgelassen wurde, wird der Inhalt des Behälters BE 102 auch in den BR 100 entleert.

Um die Reaktion zu starten, wird der Behälterinhalt des BR 100 bis zur Reaktionstemperatur aufgeheizt (TSH110).

Sobald die Temperatur erreicht ist, läuft die Reaktionszeit von 30 Minuten ab.

Wenn während dieser Zeit die Temperatur fällt, soll das Dampfventil wieder öffnen und bis zum Erreichen der Reaktionstemperatur geöffnet bleiben.

Sobald die Reaktionszeit abgelaufen ist, wird der gesamte Inhalt des BR 100 in das Tanklager gepumpt.

Um die Kreislumpumpe PL 110 vor Beschädigungen zu schützen, wird diese fachgerecht in Betrieb genommen. Dafür öffnet die Druckseite der Pumpe erst 5 Sekunden nach dem Starten der Pumpe. Bei Deaktivierung der Pumpe läuft die Pumpe ebenso 5 Sekunden gegen die geschlossene Druckseite.

Nach der Entleerung werden der Rührer sowie der Rückflusskühler WT 100 außer Betrieb genommen.

Der Prozess startet unter erneutem Betätigen des Starttasters und der oben angegebenen Bedingungen.