

Équipements
pour l'enseignement
technique



Génie des
procédés



Table des matières

Bienvenue chez GUNT

Dans le présent catalogue, nous vous donnons un aperçu complet de nos appareils de démonstration et d'essai innovants.

Appareils GUNT pour:

- formation aux métiers techniques
- formation et perfectionnement du personnel technique dans l'artisanat et l'industrie
- études dans les disciplines de l'ingénierie

Génie des procédés

	Introduction	004
1	Génie des procédés mécaniques	006
2	Génie des procédés thermiques	084
3	Génie des procédés chimiques	134
4	Génie des procédés biologiques	170
5	Installations pilotes	202
	Aperçu de produits	224

Mentions légales

© 2023 G.U.N.T. Gerätebau GmbH. La réutilisation, le stockage, la reproduction et la réimpression – même partielle – du contenu sont interdits sans autorisation écrite préalable. GUNT est une marque déposée. Les produits GUNT sont donc protégés et relèvent du code de la propriété intellectuelle.

GUNT ne peut être tenu responsable de toute erreur d'impression. Sous réserve de modifications.

Crédits photo: G.U.N.T. Gerätebau GmbH, photos fabricant, Shutterstock, 123RF. Conception graphique & mise en page: Profisatz.Graphics, Bianca Buhmann, Hambourg. Impression: imprimé sur papier écologique, blanchi sans chlore.

Formation en génie des procédés avec les systèmes de formation GUNT

Domaines principaux du génie des procédés

Le génie des procédés a pour objet l'étude des processus au cours desquels la composition ou les propriétés de matières sont modifiées. De tels processus sont par exemple utilisés dans les secteurs industriels suivants:

- industrie chimique
- industrie alimentaire
- industrie textile
- industrie pétrochimique
- génie de l'environnement

Une formation systématique des futurs ingénieurs et ouvriers qualifiés est indispensable pour comprendre les mécanismes complexes du génie des procédés. C'est la raison pour laquelle le génie des procédés a été historiquement divisé en quatre domaines clés. Cette classification s'oriente sur le type de principe en action lors de chaque procédé de base.

Génie des procédés mécaniques

Le génie des procédés mécaniques a pour objet la modification des caractéristiques physiques de la matière (par ex. la taille des particules) et de sa composition (concentration) par voie mécanique.

Génie des procédés thermiques

Les procédés de séparation thermique sont au cœur du génie des procédés thermiques. Dans les mélanges comprenant au moins deux composants, la composition du mélange (concentration) est modifiée sélectivement par des transferts de masse et d'énergie.

Génie des procédés chimiques

La modification des propriétés ou de la composition de la matière n'est pas au premier plan en génie des procédés chimiques. L'objet principal du génie des procédés chimiques est de produire, au moyen de réactions chimiques, un nouveau type de matière.

Génie des procédés biologiques

En génie des procédés biologiques, les transformations de matières se font sous l'action d'organismes biologiquement actifs, comme les bactéries, les champignons, les algues, les cellules et les enzymes. L'objectif du génie des procédés biologiques est de fournir les conditions optimales à ces organismes.

Structure du catalogue

Le présent catalogue est structuré selon la division classique du génie des procédés en quatre domaines clés. Les différents procédés de base sont basés sur des lois ou des expériences mécaniques, thermiques, chimiques et biologiques. Vous trouverez également au chapitre 5 différentes installations de génie des procédés à l'échelle pilote.

Le procédé de base constitue la plus petite entité que l'on puisse imaginer au sein d'un procédé global. Le fait de se limiter à ces petites entités est judicieux, aussi bien du point de vue de la recherche que d'un point de vue didactique. En effet, la complexité des tâches à résoudre au niveau des procédés de base sont déjà élevés du fait de la pluralité des phases (phase solide, liquide, gazeuse) et des matières en jeu.



Génie des procédés mécaniques

Procédés de séparation

- ▶ Classification
- ▶ Tri
- ▶ Séparation par gravité
- ▶ Séparation par centrifugation
- ▶ Filtration

Broyage

Mélange

Agglomération

Stockage et écoulement de solides divisés

Lits fluidisés et transport pneumatique

Séchage

Évaporation

Distillation et rectification

Absorption

Adsorption

Cristallisation

Procédés de séparation par membrane

Extraction

Transfert de masse

Activation thermique

Activation catalytique

Activation photochimique

Procédés aérobies

Procédés anaérobies

Installations de procédés à l'échelle pilote



Génie des procédés thermiques



Génie des procédés chimiques



Génie des procédés biologiques



Installations pilotes

Partie de la gamme de produits Energy & Environment Logiciel GUNT, enregistrement des données, évaluation des enregistrements



1

Génie des procédés mécaniques

Etudier par l'expérimentation les opérations unitaires du génie des procédés mécaniques

GUNT vous propose une gamme complète d'appareils permettant d'étudier les opérations unitaires utilisées dans le domaine du génie des procédés mécaniques.

Attention:

Vos locaux doivent être adaptés à l'utilisation des appareils. Les procédés considérés et les produits utilisés peuvent nécessiter un scellement au sol, des évacuations, une alimentation en eau ou en air comprimé, des ventilations, des fondations spéciales, des équipements de stockage sûrs, etc.

Pour de nombreux appareils, des équipements professionnels d'analyse non compris dans la gamme GUNT sont nécessaires.

N'hésitez pas à nous contacter, nous vous conseillerons.

Introduction

Aperçu Les concepts d'apprentissage GUNT dans le domaine du génie des procédés mécaniques 008

Procédés de séparation: classification et tri

Connaissances de base Classification 010

Connaissances de base Tri 011

Aperçu CE 275 Aéroséparation 012

CE 275 Aéroséparation 014

CE 264 Tamiseuse 016

Aperçu MT174 Installation de tri 017

CE 280 Séparation magnétique 018

Procédés de séparation: séparation par gravité

Connaissances de base Sédimentation 020

Connaissances de base Flottation 021

CE 115 Principes de base de la sédimentation 023

Aperçu HM142 Séparation dans les réservoirs de sédimentation 024

HM 142 Séparation dans les réservoirs de sédimentation 026

Aperçu CE587 Flottation à l'air dissous 028

CE 587 Flottation à l'air dissous 030

CE 588 Démonstration de la flottation à l'air dissous 032

Procédés de séparation: séparation par centrifugation

Connaissances de base Séparation par centrifugation 035

CE 282 Centrifugeuse à plateaux 036

CE 235 Cyclone gaz 038

CE 225 Hydrocyclone 040

Procédés de séparation: filtration

Connaissances de base Filtration 042

CE 116 Filtration sur gâteau et en profondeur 043

CE 117 Écoulement à travers des couches de particules 044

CE 287 Filtre-pressé à cadres et à plateaux 046

CE 283 Filtre cellulaire à tambour 048

CE 284 Filtre Nutsche sous vide 050

CE 286 Filtre Nutsche sous pression 051

CE 285 Préparateur de suspension 052

Aperçu CE579 Filtration en profondeur 054

CE 579 Filtration en profondeur 056

Broyage

Connaissances de base Broyage 058

CE 245 Broyeur à billes 059

Mélange et agglomération

Connaissances de base Mélange 060

Connaissances de base Agglomération 061

CE 320 Agitation 062

Aperçu CE 322 Rhéologie et qualité de mélange dans un réservoir agitateur 064

CE 322 Rhéologie et qualité de mélange dans un réservoir agitateur 066

CE 255 Agglomération par bouletage 068

Stockage et écoulement de solides divisés

Connaissances de base Stockage et écoulement de solides divisés 070

CE 210 Écoulement d'un solide divisé en sortie de silos 072

CE 200 Caractéristiques d'écoulement de solide divisé 074

Lits fluidisés et transport pneumatique

Connaissances de base Lits fluidisés 076

Connaissances de base Transport pneumatique 077

CE 220 Formation d'un lit fluidisé 078

CE 222 Comparaison des lits fluidisés 080

CE 250 Transport pneumatique 082

Les concepts d'apprentissage GUNT dans le domaine du génie des procédés mécaniques

Qu'aborde le génie des procédés mécaniques?

Le génie des procédés est la science de l'ingénieur qui se consacre à la transformation de la matière.

Le génie des procédés mécaniques a pour objet la modification des caractéristiques physiques de la matière (par ex. la taille des particules) et de sa composition (concentration) par voie mécanique.

Les transformations mécaniques sont dues à des forces exercées sur la matière. Il peut s'agir par ex. de forces de pressions, de frottements, d'impulsions ou de forces engendrées par des résistances à l'écoulement.

Le génie des procédés mécaniques s'applique aux systèmes dispersés. Ces systèmes sont constitués d'au moins une phase dispersée et une phase continue. La phase dispersée se compose généralement d'un grand nombre de particules réparties dans la phase continue (dispersion). La phase dispersée est généralement constituée de matières solides. Toutefois, les deux phases peuvent également être liquides ou gazeuses. Comme exemple de système dispersé, on peut citer les solides divisés tels le sable, les roches contenant du minerai, les suspensions, les émulsions et les poussières.

Comment peut-on classer les procédés de base du génie des procédés mécaniques ?

Procédés de base du génie des procédés mécaniques		
Avec modification de la taille des particules	Sans modification de la taille des particules	
Broyage	Procédés de séparation	Mélange
Agglomération	Stockage et écoulement de solides divisés	Lits fluidisés et transport pneumatique

Les procédés se répartissent fondamentalement en deux grands groupes. Dans le cas de la réduction et de l'agglomération (augmentation de la taille des grains), la taille des particules solides est modifiée de façon contrôlée. Dans le cas de la séparation, du mélange, du stockage et du transport de solides divisés, la taille des particules reste, en règle générale, inchangée. Les procédés de séparation permettent, dans de nombreux cas, une séparation des phases solides, dispersées dans des fluides, et une séparation de mélanges de solides en fractions dont les particules présentent des caractéristiques différentes.

Dans les lits fluidisés, des processus de mélange, de séparation ou d'agglomération peuvent se produire, suivant l'application.

Le Prof. Gorzitzke nous a conseillé lors de la mise en place de ce projet et nous a fait bénéficier de sa longue expérience de formateur dans le domaine du génie des procédés mécaniques.



Prof. Dr. Wolfgang Gorzitzke (école supérieure Anhalt), notre conseiller technique pour le génie des procédés mécaniques

Nos systèmes didactiques pour le génie des procédés mécaniques

Broyage	CE 245	Broyeur à billes
Agglomération	CE 255	Agglomération par bouletage
Séparation methods procédés de séparation	Classification	CE 275 Aéroséparation CE 264 Tamiseuse
	Tri	CE 280 Séparation magnétique
	Séparation par gravité	CE 115 Principes de base de la sédimentation HM142 Séparation dans les réservoirs de sédimentation CE 587 Flottation à l'air dissous CE 588 Démonstration de la flottation à l'air dissous
	Séparation par centrifugation	CE 282 Centrifugeuse à plateaux CE 235 Cyclone gaz CE 225 Hydrocyclone
	Filtration	CE 116 Filtration sur gâteau et en profondeur CE 117 Écoulement à travers des couches de particules CE 287 Filtre-pressé à cadres et à plateaux CE 283 Filtre cellulaire à tambour CE 284 Filtre Nutsche sous vide CE 286 Filtre Nutsche sous pression CE 579 Filtration en profondeur
Mélange	CE 320 Agitation CE 322 Rhéologie et qualité de mélange dans un réservoir agitateur	
Stockage et écoulement de solides divisés	CE 210 Écoulement d'un solide divisé en sortie de silos CE 200 Caractéristiques d'écoulement de solide divisé	
Lits fluidisés et transport pneumatique	CE 220 Formation d'un lit fluidisé CE 222 Comparaison des lits fluidisés CE 250 Transport pneumatique	

Connaissances de base Classification

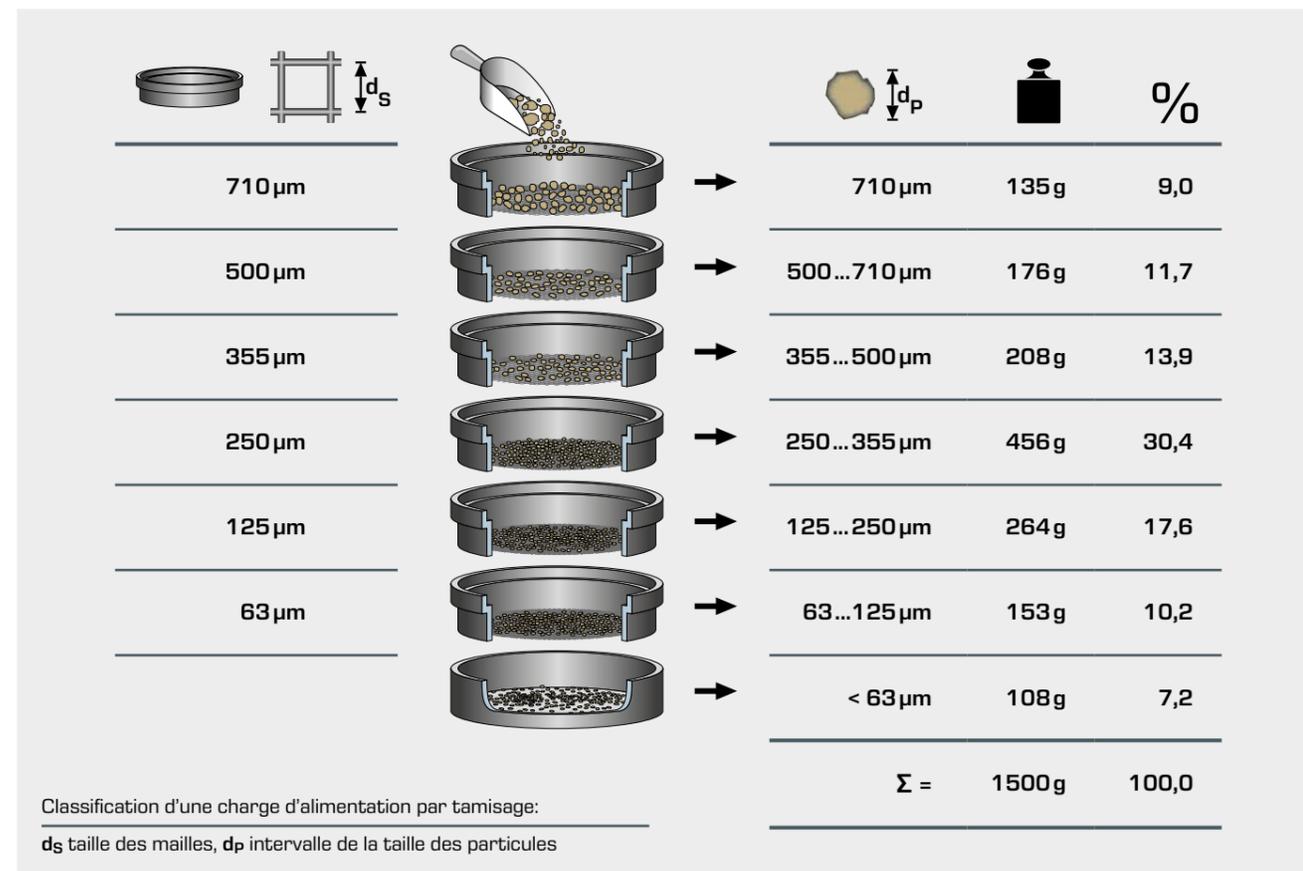
La classification est un procédé de séparation mécanique des mélanges de matières solides. Le processus de séparation utilise les caractéristiques géométriques (taille) ou encore la vitesse de sédimentation de chaque particule. On distingue par conséquent la classification par tamisage et la classification par écoulement.

Idéalement, un équipement de classification sépare une charge d'alimentation composée de particules de différentes tailles en une fraction grosse et une fraction fine. La fraction grosse contiendrait toutes les particules dont la taille est supérieure à

une maille de séparation donnée et la fraction fine celles dont la taille est inférieure.

Le tamis est un exemple d'appareil de classification simple. Dans ce cas, la maille de séparation correspond à la taille des mailles du tamis. Comme représenté, la disposition des tamis permet de séparer une charge d'alimentation produite en plusieurs classes de tailles de particules.

La séparation des cailloux, du gravier et du sable dans une carrière constitue un exemple d'application d'un tel dispositif (mais avec des mailles de séparation supérieures).



Le **tamisage** consiste à comparer la taille et la forme de chaque particule à une maille d'un tamis. Suivant leur position, les particules de forme irrégulière peuvent être gênées de passer à travers les mailles. Les particules peuvent également se gêner mutuellement ou adhérer entre-elles. Il faut donc donner à chaque particule la possibilité de passer plusieurs fois à travers les mailles. On y parvient en appliquant aux tamis par ex. des mouvements de vibration, de nutation, de projection ou des déplacements horizontaux.

La **classification par écoulement** peut se faire dans des gaz (air) ou des liquides (eau).

La **classification hydraulique** utilise comme critère de séparation les vitesses de sédimentation différentes des particules dans un écoulement de liquide. La vitesse de sédimentation est fonction de la taille, de la densité et de la forme des particules ainsi que des résistances à l'écoulement et des poids qui en résultent.

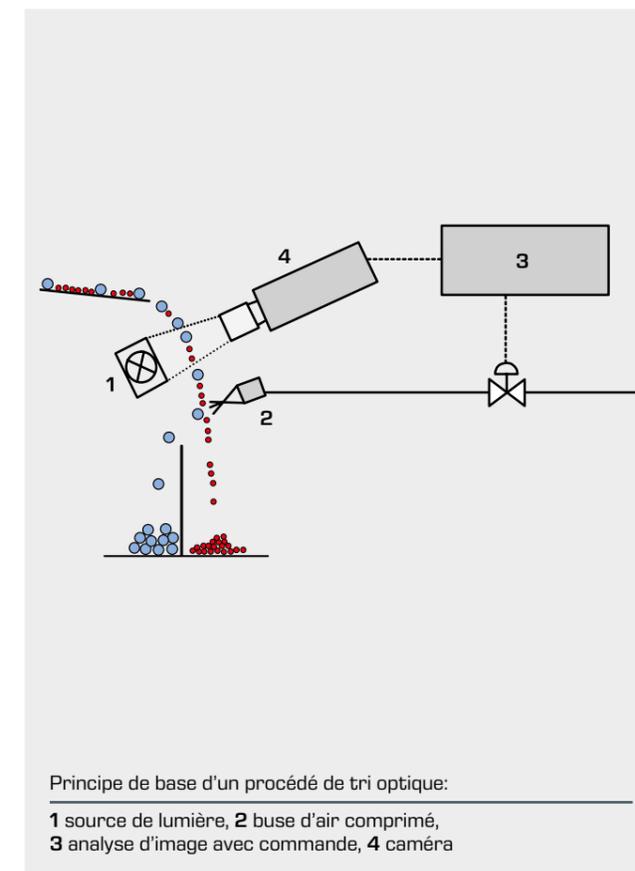
Dans le cas de l'**aéroséparation**, la classification est effectuée non pas à l'aide d'un liquide, mais d'un écoulement d'air. Les lois qui régissent le principe de séparation sont identiques à celles de la classification hydraulique. Les aéroséparateurs sont utilisés par ex. pour le nettoyage de céréales. Au cours de cette opération, les composants toxiques comme l'ergot de seigle sont séparés.

Connaissances de base Tri

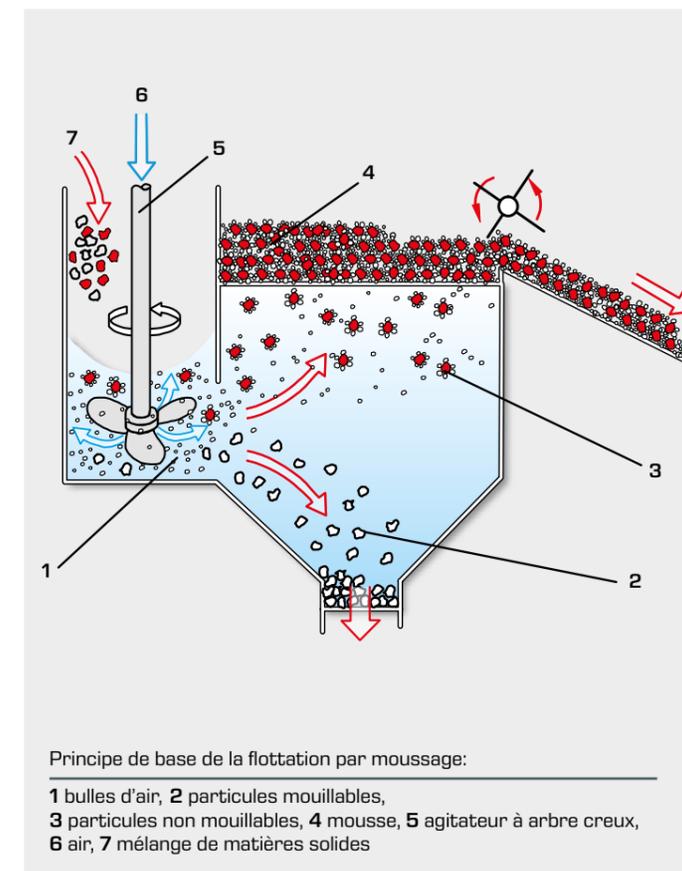
Le tri est un procédé de séparation mécanique au cours duquel un mélange de matières solides présentant des caractéristiques différentes est réparti en fractions aux caractéristiques identiques. Le tri met à profit des propriétés telles que la densité, la couleur, la forme, la mouillabilité ou la magnétisabilité.

Un **tri flottation densimétrique** est indiqué si le critère de séparation utilisé est la densité. Un mélange de matières solides est versé dans un liquide. Les particules dont la densité est inférieure à celle du liquide flottent à la surface tandis que celles dont la densité est supérieure coulent. Le traitement du charbon constitue une application de ce principe, le charbon étant ainsi séparé de la roche.

Dans le cas de la **séparation magnétique**, un mélange de matières solides est séparé en fonction des propriétés magnétiques de ses composants. Les séparateurs magnétiques sont utilisés par ex. dans le domaine du charbon et des minerais.



La **forme et la couleur** de certaines particules présentes dans un mélange de matières solides peuvent être détectées par les caméras à haute résolution. Les particules détectées peuvent être séparées du mélange par un écoulement d'air à l'aide d'une commande électronique spéciale. Les **procédés de tri optique** sont utilisés dans le recyclage du verre.



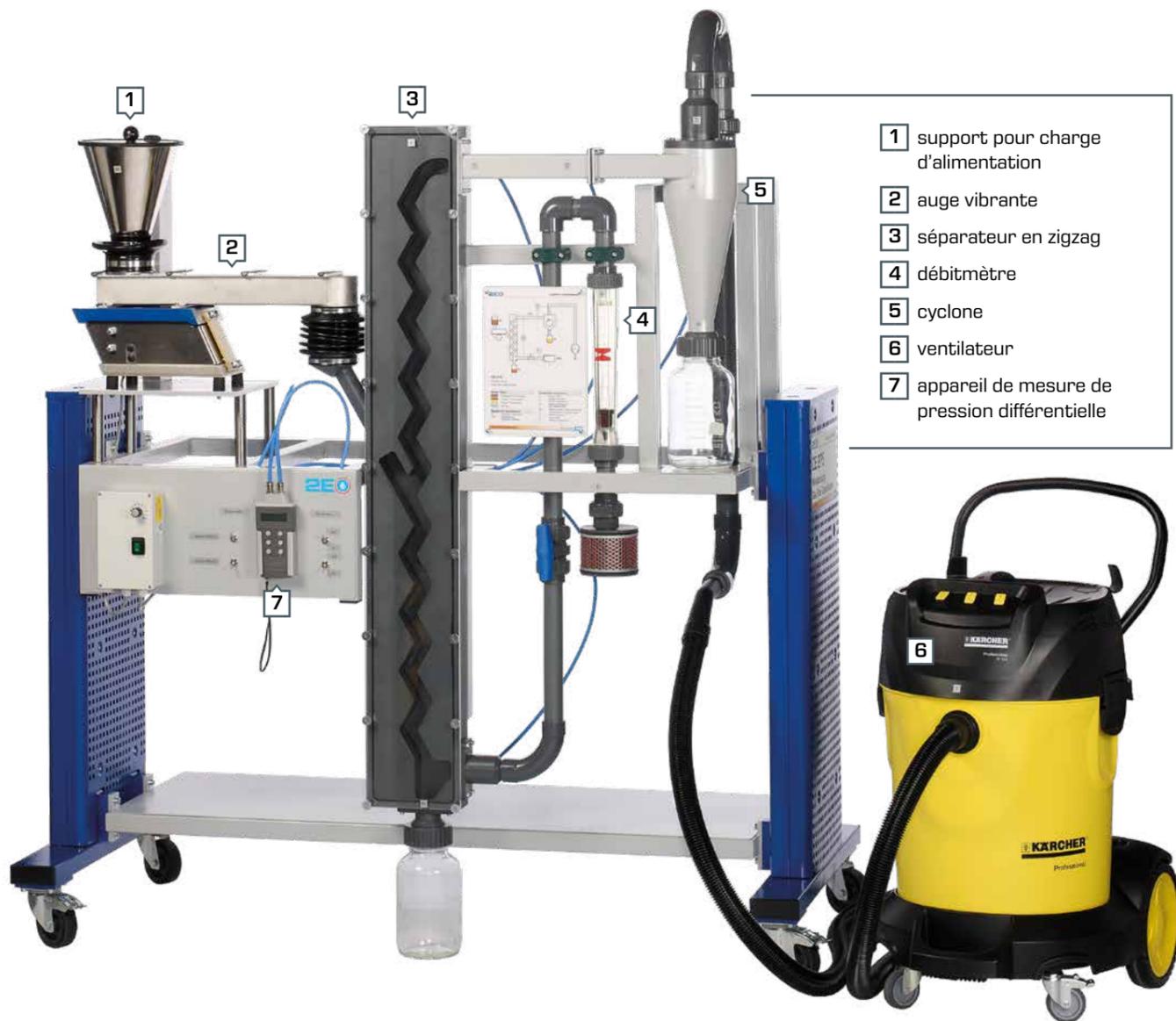
La **mouillabilité** de certaines matières avec de l'eau permet, dans le cadre de la **flottation par moussage**, de trier les matières solides à grains fins. Le mélange de matières solides à séparer est placé dans un réservoir contenant de l'eau. Des bulles d'air sont insufflées dans l'eau. Les bulles d'air adhèrent aux particules solides difficilement mouillables avec l'eau. Ces particules remontent en surface avec les bulles et forment une mousse contenant de la matière solide qu'il est possible d'éliminer. Les bulles d'air n'adhèrent pas aux particules mouillables. Elles restent en suspension ou se déposent au fond. La flottation est le procédé de tri le plus souvent utilisé pour des particules < 0,5 mm.

Aperçu
CE 275 Aéroséparation

L'aéroséparation avec séparateur en zigzag: un procédé de séparation mécanique

L'aéroséparation est un procédé de séparation mécanique utilisé en génie classique des procédés. Ce procédé est utilisé pour séparer les déchets les plus divers, par exemple pour retirer poussière, sable ou matières non utilisables des matières valorisables. On utilise pour cela principalement des séparateurs en zigzag.

Cet appareil didactique est idéal pour expliquer d'une manière claire et conforme à la pratique les fondements théoriques de ce procédé. L'élément principal du CE 275 est un séparateur en zigzag à 20 étages pourvu d'une protection transparente. Cela permet d'observer de manière optimale et sur toute la hauteur le processus de séparation se déroulant dans le canal en zigzag.



- 1 support pour charge d'alimentation
- 2 auge vibrante
- 3 séparateur en zigzag
- 4 débitmètre
- 5 cyclone
- 6 ventilateur
- 7 appareil de mesure de pression différentielle

Principe de fonctionnement

Le mélange de déchets (charge d'alimentation) est acheminé de manière régulière jusqu'au séparateur en zigzag par le biais d'une goulotte vibrante. Le ventilateur génère à travers le canal en zigzag l'écoulement d'air ascendant requis pour la séparation. Vous pouvez bien entendu ajuster le débit massique de la charge d'alimentation et le débit volumétrique de l'air. La fraction de la charge d'alimentation transportée dans l'air est ensuite séparée dans un cyclone. Cela permet d'obtenir pour l'écoulement d'air un circuit fermé. Le séparateur en zigzag et le cyclone sont équipés chacun d'une mesure de la pression différentielle.



Le CE 275 pendant son essai de fonctionnement:
L'auge vibrante transporte le mélange à séparer composé de vannure d'épeautre et de noyaux de cerises de manière régulière jusqu'au séparateur en zigzag.



On observe de manière claire et évidente la séparation du mélange dans le canal en zigzag.

Cet appareil a été développé par nos ingénieurs expérimentés en collaboration avec l'institut de génie des procédés mécaniques de l'école supérieure Hochschule Anhalt (en Allemagne).

Hochschule Anhalt
Anhalt University of Applied Sciences

Accessoire recommandé



Pour l'évaluation des essais, nous vous conseillons d'utiliser notre tamiseuse CE 264.

Contenu didactique

- se familiariser avec le principe de base de l'aéroséparation
- influence du débit massique et du débit volumique d'air sur
 - ▶ la fraction de fines particules
 - ▶ les produits de la séparation
 - ▶ la perte de charge du séparateur
 - ▶ la perte de charge du cyclone
- ▶ le bilan de séparation
- ▶ la loi de répartition
- ▶ le diamètre de coupure
- ▶ la précision de séparation

avec le
CE 264

Sur le produit:



CE 275

Aéroséparation



2E

Description

- **aéroséparation avec un séparateur zigzag**
- **canal transparent pour l'observation du processus de séparation**
- **essais adaptés à l'expérimentation à l'échelle du laboratoire**

Les séparateurs zigzag permettent de classer les mélanges de matières solides. Le mélange de matières solides à séparer est versé dans l'entonnoir d'alimentation. Une auge vibrante amène le mélange au canal en zigzag du séparateur, à mi hauteur. Un écoulement d'air circule vers le haut dans le canal vertical. Suivant leur forme et leur densité, les particules sont entraînées par l'écoulement d'air ou tombent au fond sous l'effet de la force de gravité. A chaque coude du canal, le mélange de matières solides traverse l'écoulement d'air et tombe sur la paroi opposée du séparateur. Ceci correspond à un étage de séparation. En raison des écoulements, il se forme un tourbillon entre deux coudes du zigzag, qui fait que la matière solide se déplace de façon approximativement perpendiculaire à l'écoulement d'air. Ainsi, une séparation à écoulement transversal se produit à chaque coude. La succession de quatre de ces étages procure des séparations très poussées.

Le CE 275 est équipé d'un canal en zigzag à 20 étages. Le matériau transparent permet d'observer les processus qui se déroulent dans le canal.

L'écoulement d'air est produit par un ventilateur. Le débit volumétrique d'air et le débit massique de matière solide sont ajustables. Les fines particules entraînées vers le haut par l'écoulement d'air sont séparées par un cyclone. Des points de mesure de la pression aux endroits appropriés du banc d'essai permettent de mesurer les pertes de charge.

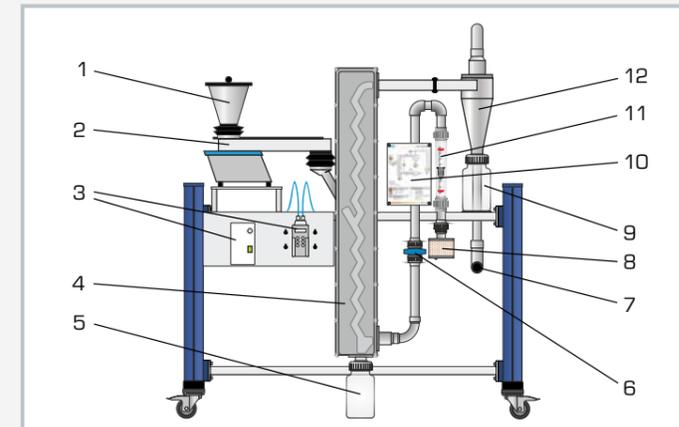
La charge d'alimentation recommandée est du charbon actif comportant différentes tailles de particules. L'utilisation d'une balance et d'une tamiseuse (CE 264) est recommandée pour l'analyse granulométrique de la charge d'alimentation, des grosses particules et des fines particules.

Contenu didactique/essais

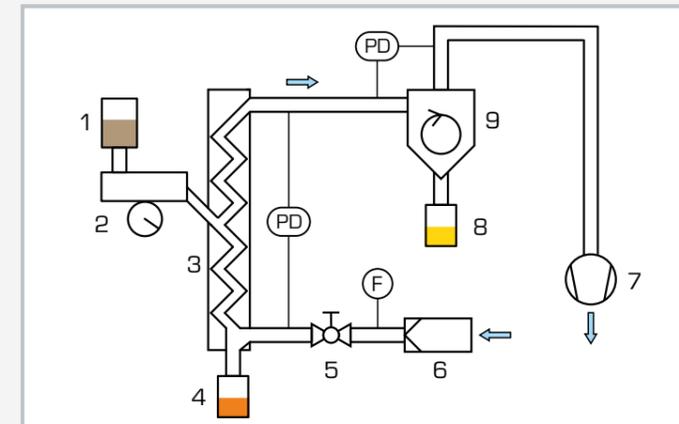
- apprentissage du principe de base de l'aéroséparation
- tri
 - ▶ fraction de fines particules et de grosses particules
 - ▶ qualité de séparation
- en fonction du débit massique de matière solide et du débit volumétrique d'air
- classification (avec CE 264)
 - ▶ bilan de séparation
 - ▶ loi de répartition
 - ▶ diamètre de coupure
 - ▶ précision de séparation
- en fonction du débit massique de matière solide et du débit volumétrique d'air
- pertes de charge
 - ▶ du séparateur zigzag
 - ▶ du cyclone en fonction du débit massique de matière solide et du débit volumétrique d'air

CE 275

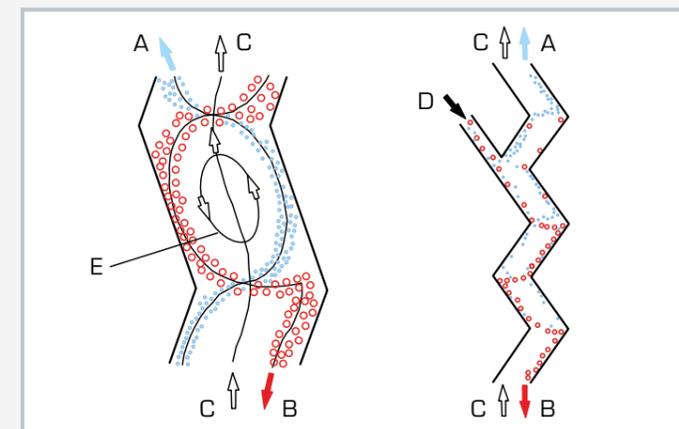
Aéroséparation



1 réservoir de charge d'alimentation, 2 auge vibrante, 3 éléments d'affichage et de commande, 4 séparateur zigzag, 5 réservoir des grosses particules, 6 vanne, 7 raccord de ventilateur, 8 filtre, 9 réservoir des fines particules, 10 schéma de processus, 11 débitmètre, 12 cyclone



1 réservoir de charge d'alimentation, 2 auge vibrante, 3 séparateur zigzag, 4 réservoir des grosses particules, 5 vanne, 6 filtre, 7 ventilateur, 8 réservoir des fines particules, 9 cyclone; F débit volumétrique, PD pression différentielle



Principe de base du séparateur zigzag: A fines particules, B grosses particules, C écoulement d'air, D charge d'alimentation, E tourbillon

Spécification

- [1] séparateur zigzag pour la séparation de mélanges de matières solides
- [2] entonnoir d'alimentation avec auge vibrante pour l'introduction du mélange de matières solides dans le séparateur
- [3] débit de la charge d'alimentation ajusté par l'intermédiaire de la distance entre la sortie de l'entonnoir et l'auge vibrante et la fréquence de vibration de l'auge
- [4] séparation du mélange de matières solides en grosses particules et fines particules à l'aide d'un écoulement d'air dans le canal en zigzag à 20 étages
- [5] production de l'écoulement d'air avec un ventilateur; ajustage avec une vanne
- [6] séparation des fines particules de l'écoulement d'air par un cyclone gaz à entrée tangentielle
- [7] 3 réservoirs pour la charge d'alimentation, les grosses particules et les fines particules
- [8] mesure du débit volumétrique d'air et des pressions différentielles produits par le séparateur et le cyclone

Caractéristiques techniques

- Auge vibrante
- débit massique: max. 10kg/h
 - fréquence des oscillations: max. 3000min⁻¹
- Séparateur zigzag
- hauteur: env. 1500mm
 - section: 40x50mm
- Cyclone
- hauteur: 550mm
 - diamètre: env. 150mm
- Ventilateur
- débit volumétrique: max. 600m³/h
 - puissance: env. 3600W
- Réservoirs
- entonnoir d'alimentation: 3L
 - grosses particules: 2L
 - fines particules: 2L

Plages de mesure

- pression différentielle: 2x 0...100mbar
- débit volumétrique: 10...100m³/h

230V, 50Hz, 1 phase

- Lxlh: 1660x790x1930mm (banc d'essai)
- Poids: env. 180kg (banc d'essai)
- Lxlh: 660x510x880mm (ventilateur)
- Poids: env. 30kg (ventilateur)

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 ventilateur
- 2 emballages de charge d'alimentation
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

CE 264
Tamiseuse

Description

■ **appareil d'analyse professionnel pour CE 245 et CE 275**

Avec la tamiseuse, il est possible de diviser un mélange de matières solides en plusieurs classes de tailles de particules. Lors du tamisage, chaque particule est comparée en fonction de sa taille et de sa forme au moyen d'une maille de tamis. Selon leur positionnement, il est possible que des particules ayant une forme irrégulière ne puissent passer à travers la maille du tamis. Grâce aux vibrations de la tamiseuse, on offre aux particules plusieurs fois la possibilité de passer par les mailles. La séparation des particules grossières dans la partie supérieure a lieu dans un premier temps. Plus on va vers le bas, plus le diamètre des mailles diminue.

Afin de répondre à tous les besoins, la liste de livraison comprend plusieurs tamis ayant des diamètres de maille différents. Une balance permet de déterminer la masse des différentes classes séparées, afin de déterminer la distribution des tailles des particules.

Contenu didactique/essais

- détermination de distributions de tailles de particules

Spécification

- [1] tamiseuse servant à l'analyse des tailles de particules, comme accessoire de CE 245 et CE 275
- [2] durée de tamisage et hauteur d'oscillation ajustables
- [3] 11 tamis avec différents diamètres de maille
- [4] balance pour la détermination des parts de masse des classes séparées

Caractéristiques techniques

Ø des tamis: 200mm chacun
Hauteur des tamis: 50mm chacun

Tamiseuse

- durée de tamisage: 0...60min
- hauteur des oscillations: 0...3mm
- diamètre des mailles des tamis
 - ▶ 45µm
 - ▶ 63µm
 - ▶ 125µm
 - ▶ 250µm
 - ▶ 500µm
 - ▶ 710µm
 - ▶ 1000µm
 - ▶ 1250µm
 - ▶ 1600µm
 - ▶ 2000µm
 - ▶ 4000µm

Balance

- pesée max.: 2200g
- résolution: 10mg

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 400x400x800mm (tamiseuse)
Lxlxh: 200x270x100mm (balance)
Poids: env. 30kg

Liste de livraison

- 1 tamiseuse
- 1 jeu de tamis
- 1 balance
- 1 notice

Aperçu

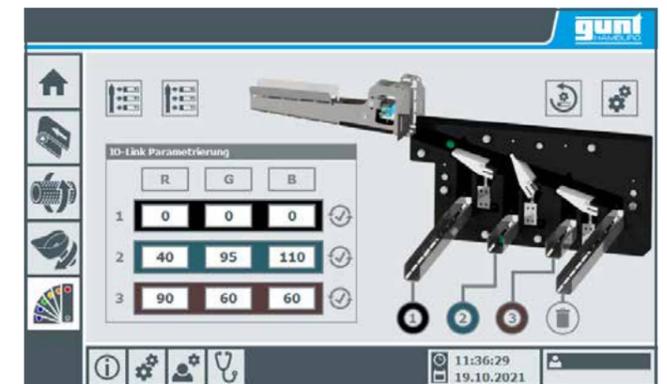
MT174 Installation de tri

L'installation de tri MT174 reproduit un processus de séparation traditionnel de la gestion des déchets et contient une classification avec un tamis à tambour et un tri par couleur.

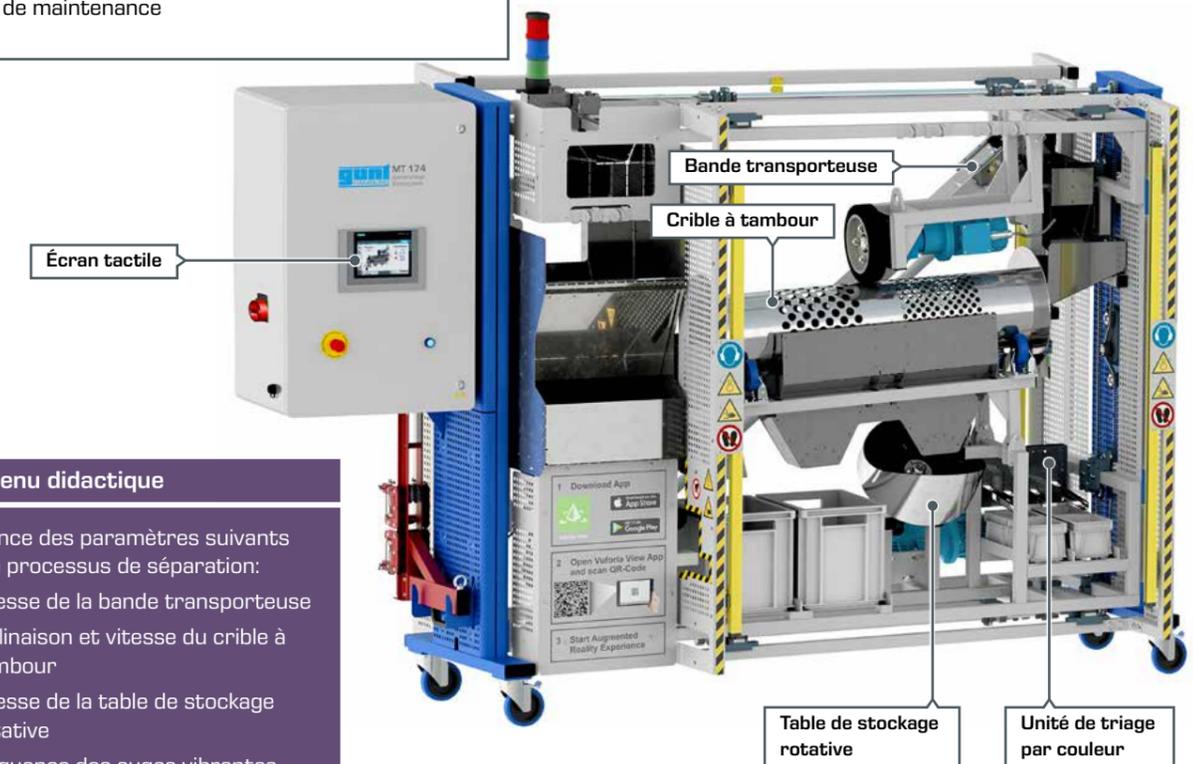
L'entretien et la maintenance sont nécessaires au bon fonctionnement de l'installation de tri. Par conséquent, des interventions de maintenance sur l'installation de tri peuvent être effectuées à des fins pédagogiques. Lorsque l'installation fonctionne en mode d'apprentissage, l'API déclenche automatiquement à certains intervalles des messages contrôlés par capteurs pour attirer l'attention sur les mesures d'entretien à réaliser. Une interface avec réalité augmentée destinée aux appareils mobiles est disponible pour visualiser les interventions de maintenance.

- installation de tri à l'échelle du laboratoire avec des composants industriels standard
- séparation en 3 fractions de taille à l'aide d'un crible à tambour
- triage par couleur en 3 fractions
- commande de l'installation d'essai avec API par écran tactile
- réalité augmentée pour la visualisation des opérations de maintenance

L'installation est contrôlée par un API moderne avec écran tactile. Pour plus de clarté, chaque groupe fonctionnel dispose d'une interface distincte. L'API permet de configurer tous les paramètres nécessaires au processus de séparation comme la vitesse de rotation et l'inclinaison du tamis du tambour. Par ailleurs, l'API permet de définir les couleurs des particules à trier.



Capture d'écran de l'API (trilage par couleur)



Contenu didactique

- influence des paramètres suivants sur le processus de séparation:
 - ▶ vitesse de la bande transporteuse
 - ▶ inclinaison et vitesse du crible à tambour
 - ▶ vitesse de la table de stockage rotative
 - ▶ fréquence des auges vibrantes
 - ▶ définition des couleurs pour le triage par couleur
- opérations de maintenance sur une installation industrielle (assistance par la réalité augmentée)

Sur le produit:



CE 280

Séparation magnétique



2E

Description

- tri avec un séparateur magnétique à tambour
- alimentation de la charge par une auge vibrante à amplitude de vibrations ajustable
- essais adaptés à l'expérimentation à l'échelle du laboratoire

Au cours du tri, une séparation est effectuée compte tenu des caractéristiques de la matière.

La séparation magnétique est un procédé de tri qui utilise les propriétés magnétiques d'une partie d'un mélange de matières solides. Les séparateurs magnétiques sont souvent utilisés dans le traitement du charbon et des minerais.

Sur le CE 280, le mélange de matières fixes à séparer est versé dans l'entonnoir d'alimentation. Une auge vibrante amène le mélange sur un tambour aimanté rotatif dont la vitesse de rotation peut être ajustée à l'aide d'un potentiomètre. Une partie du tambour renferme un aimant permanent fixe.

La force de gravité fait tomber les particules non magnétisables dans un récipient. Les particules magnétisables adhèrent au tambour au niveau de l'aimant, sont emmenées et tombent dans un autre récipient dès qu'elles ont quitté la partie magnétique. Le débit massique de la charge d'alimentation peut être ajusté par l'intermédiaire de la distance entre la sortie de l'entonnoir et l'auge vibrante, l'amplitude des vibrations et la fréquence de vibration de l'auge. La charge d'alimentation recommandée et fournie est un mélange de sable et de petites pièces métalliques telles des écrous.

Contenu didactique/essais

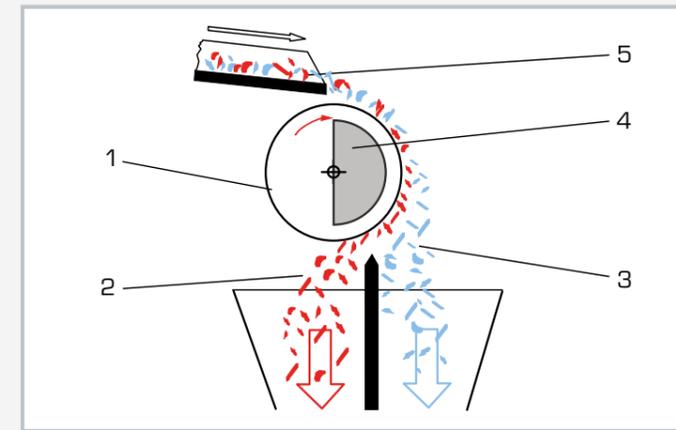
- apprentissage du principe de base et des caractéristiques de fonctionnement d'un séparateur magnétique à tambour
- efficacité du processus de séparation en fonction des éléments suivants
 - ▶ débit massique de la charge d'alimentation
 - ▶ composition de la charge d'alimentation
 - ▶ nature de la charge d'alimentation
 - ▶ vitesse de rotation du tambour

CE 280

Séparation magnétique



1 entonnoir d'alimentation ajustable en hauteur, 2 éléments de commande de l'auge vibrante, 3 éléments de commande du séparateur magnétique, 4 réservoir pour le mélange de matières solides, 5 réservoir de matières magnétiques, 6 réservoir de matières amagnétiques, 7 séparateur magnétique, 8 auge vibrante



Principe de base des séparateurs magnétiques à tambour: 1 tambour rotatif (aimanté), 2 composants magnétisables, 3 composants non magnétisables, 4 aimant permanent, 5 charge d'alimentation

Spécification

- [1] séparateur magnétique à tambour pour la séparation des composants magnétisables dans un mélange de matières solides
- [2] séparation à l'aide d'un aimant permanent fixe présent dans une partie d'un tambour rotatif aimanté
- [3] entonnoir d'alimentation avec auge vibrante pour l'introduction du mélange de matières solides dans le tambour
- [4] débit massique de la charge d'alimentation ajusté par l'intermédiaire de la distance entre la sortie de l'entonnoir et l'auge vibrante, l'amplitude des vibrations et la fréquence de vibration de l'auge
- [5] vitesse de rotation du tambour ajustable par un moteur électrique et un potentiomètre
- [6] 2 réservoirs en acier pour les fractions séparées et 1 réservoir pour le mélange de matières solides
- [7] charge d'alimentation: du sable et des écrous

Caractéristiques techniques

Volume de l'entonnoir d'alimentation: 25L

Auge vibrante

- amplitude des vibrations: 0,2...1,5mm
- fréquence des vibrations: 50Hz ou 100Hz

Tambour

- Ø 220mm
- longueur: 300mm
- zone magnétique: 180°
- vitesse de rotation: 0...30min⁻¹

Moteur

- puissance: 250W

Taille max. des particules

- amagnétiques: 20mm
- magnétiques: 20mm

Réservoirs

- 2x 15L
- 1x 20L

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxIxh: 1500x700x1700mm

Poids: env. 175kg

Liste de livraison

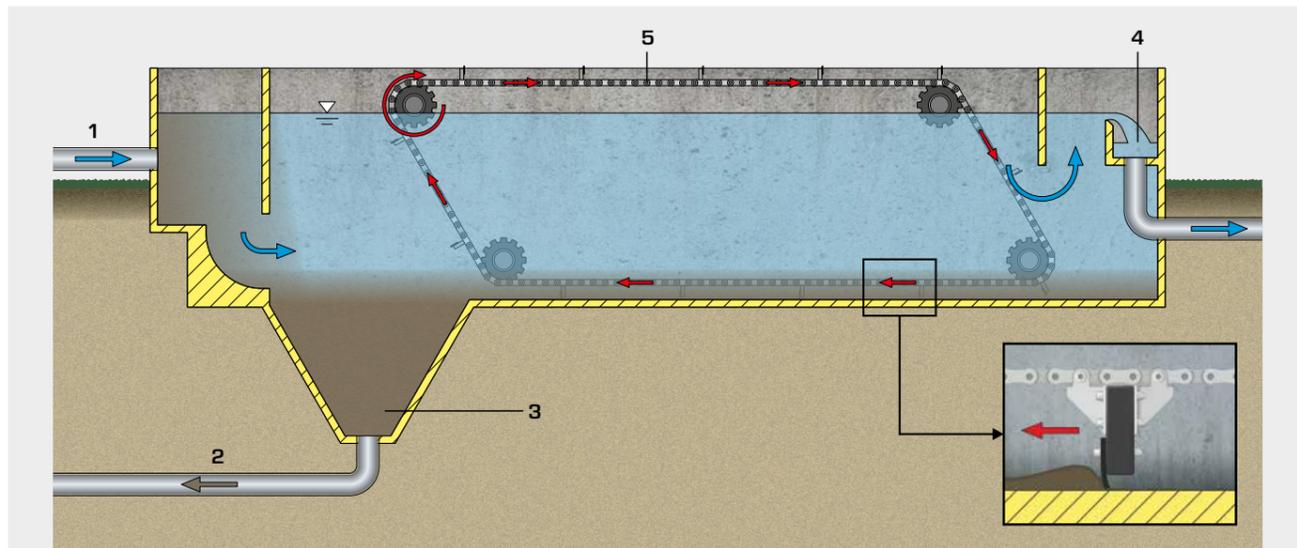
- 1 banc d'essai
- 1 pelle
- 1 emballage de sable
- 500 écrous
- 1 documentation didactique

Connaissances de base Sédimentation

Le génie des procédés mécaniques fait fréquemment usage de la force de gravité pour séparer différentes phases. Cette force peut être utilisée pour séparer une phase solide d'un fluide. Si un fluide contient des particules solides en suspension, elles descendent sous l'effet de la gravité, à condition que la densité de la matière solide soit supérieure à celle du fluide. Ce procédé est appelé sédimentation. Le terme fluide est un terme générique qui englobe les gaz et les liquides. Il est employé dans la mesure où la plupart des lois physiques s'appliquent aux deux.

Dans le cas de la **séparation de matières solides dans des gaz**, on parle également de dépoussiérage. La phase solide peut être une matière à valoriser ou une substance indésirable (purification de gaz). Dans le cas des séparateurs par gravité, le flux de gaz traverse à vitesse réduite un canal de séparation. Les particules tombent tout au long du parcours et sont collectées.

La **séparation de mélanges solide/liquide** (suspensions) fait appel à des réservoirs de sédimentation. Ceux-ci sont alimentés en continu par la suspension. La section transversale peut être de forme rectangulaire ou circulaire. Dans le cas des réservoirs rectangulaires, la suspension est alimentée d'un côté et s'écoule, par débordement, au niveau du côté opposé. Sur ce parcours, les particules solides se déposent au fond du réservoir. Le fond des réservoirs est incliné pour permettre la récupération de la matière solide. Il existe en outre des équipements qui permettent l'élimination de la matière solide déposée au fond (boues). Les réservoirs de sédimentation sont très souvent utilisés dans le traitement de l'eau.



Réservoir de sédimentation:

1 arrivée des eaux usées, 2 extraction des boues, 3 entonnoir collecteur de boues, 4 trop-plein eau épurée, 5 racleur de boues

La **vitesse de sédimentation** des particules est le principal paramètre de dimensionnement des réservoirs de sédimentation et des canaux de séparation. Elle dépend directement de la taille des particules, de leur forme (résistance à l'écoulement) et de la différence de densité entre le fluide et la matière solide. Si les particules présentes dans une suspension sont très fines ou si la différence de densité entre le fluide et la matière solide est

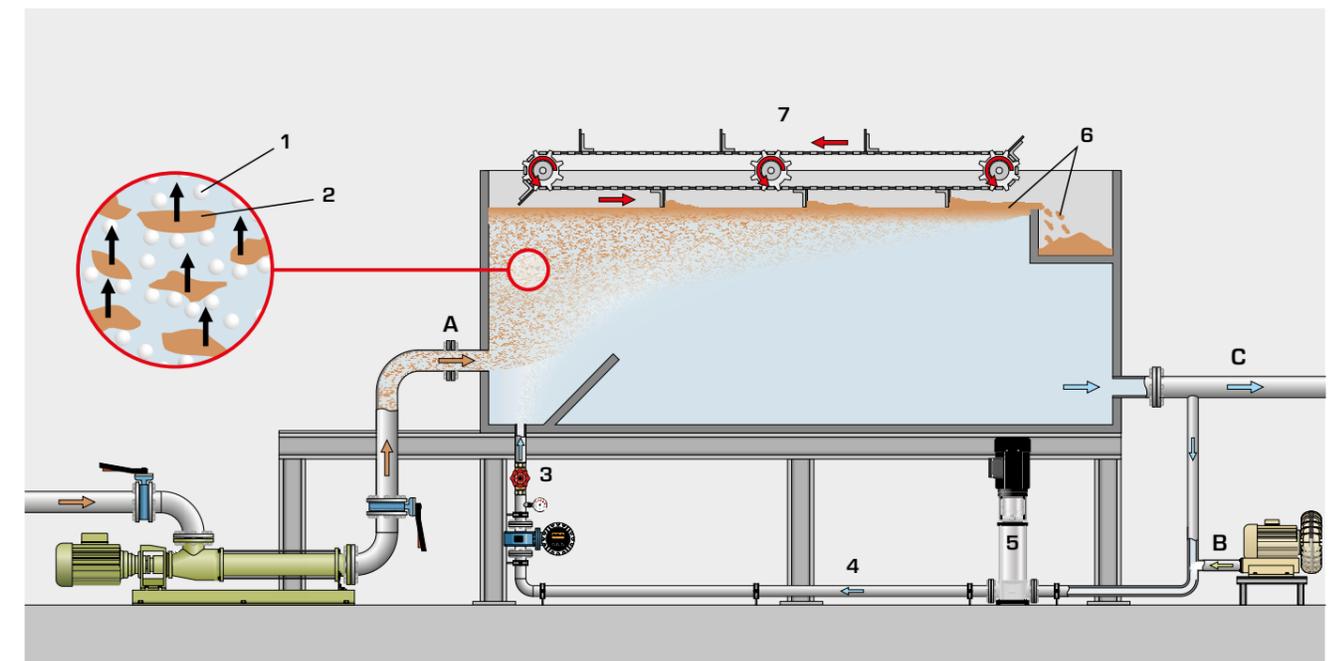
faible, la vitesse de sédimentation est très lente. Une séparation, par sédimentation, n'est alors techniquement pas envisageable. La concentration en particules solides constitue un autre paramètre qui influence la vitesse de sédimentation dans un liquide. Les fortes concentrations gênent la sédimentation. Lorsque la concentration augmente, la vitesse de sédimentation devient inférieure à celle des particules isolées.

Connaissances de base Flottation

Les matières solides dont la densité est quasiment égale ou inférieure à celle de l'eau ne peuvent pas être séparées par sédimentation. Les matières solides de ce type ne se décomposeraient que très lentement ou resteraient en suspension. Le but de la flottation est d'accroître la sustentation des matières solides. Ce processus s'effectue par la formation de fines bulles de gaz. Les bulles de gaz adhèrent aux matières solides et les transportent à la surface de l'eau. Les matières solides peuvent alors y être absorbées. Les matières solides doivent être hydrophobes, c'est-à-dire ayant une meilleure affinité pour l'air que pour l'eau. Les matières solides séparées sont appelées résidus

de flottation. La taille des bulles de gaz est le paramètre le plus important pour la flottation. Plus elles sont petites, plus leur vitesse ascensionnelle est faible. Ce phénomène est compensé par le fait qu'un nombre plus important de ces petites bulles de gaz peuvent se lier aux matières solides par rapport à des bulles de taille supérieure.

Dans le domaine du traitement de l'eau, on utilise principalement la **flottation à l'air dissous**. Une autre variante de la flottation est l'électroflottation. Les deux procédés se distinguent principalement par le mode de production des bulles de gaz.



Principe de base de la flottation à l'air dissous:

1 bulles d'air, 2 matière solide, 3 soupape de décharge, 4 eau de circulation, 5 pompe, 6 résidus de flottation, 7 racleur
A eau brute, B air comprimé, C eau pure

La flottation à l'air dissous

La flottation à l'air dissous repose sur l'augmentation de la solubilité de l'air dans l'eau avec la pression (à température constante). Avec ce procédé, un écoulement partiel d'eau pure est saturé en air sous l'effet de la pression (eau de circulation). L'eau de circulation est ensuite réintroduite dans le réservoir de flottation via une soupape de décharge. La détente soudaine à la pression atmosphérique

entraîne la formation de fines bulles d'air. Un racleur débarrasse la surface de l'eau des résidus de flottation. Pour améliorer la flottabilité des matières solides, des coagulants et flocculants sont fréquemment ajoutés dans l'eau brute. Ainsi, des matières solides de plus grande taille sont produites, sur lesquelles un nombre plus important de bulles peut se fixer.

Exemples d'application

Traitement des eaux industrielles

- industrie papetière
- industrie alimentaire
- raffineries de pétrole
- industrie plasturgique

Traitement des eaux urbaines

- à la place de la décantation secondaire lorsque les boues activées possèdent des propriétés de décantation médiocres.
- en complément ou à la place de la décantation primaire

Des manuels de haute qualité



La politique d'enseignement de GUNT se définit ainsi: des appareils haut de gamme et de la documentation didactique clairement élaborée sont pour enseignants et apprenants une garantie de la réussite de toute formation sur un appareil d'essai.

Au cœur de cette documentation didactique vous trouverez des essais de référence que nous avons effectués. La description d'un essai contient le montage expérimental ainsi que l'interprétation des résultats obtenus. Un groupe d'ingénieurs expérimentés développe et actualise la documentation didactique.

S'il advenait cependant que certaines questions soient restées sans réponse, nous sommes à votre entière disposition, au téléphone ou – en cas de besoin – sur place.

CE 115 Principes de base de la sédimentation



Description

■ séparation de suspensions par sédimentation

La sédimentation est fréquemment utilisée pour clarifier des suspensions. Au cours de cette opération, les particules descendent au fond du liquide en raison de leur densité supérieure.

Le CE 115 permet d'étudier et de comparer les processus de sédimentation dans différentes suspensions. Cinq réservoirs cylindriques transparents sont prévus à cet effet. Les suspensions sont préparées dans des gobelets gradués, versées dans les réservoirs amovibles et mélangées par agitation. Les réservoirs sont ensuite fixés à la verticale sur l'appareil d'essai. Les réservoirs sont rétro-éclairés pour faciliter l'observation de la sédimentation.

Contenu didactique/essais

- détermination et comparaison de la vitesse de sédimentation des matières solides dans une suspension en fonction de la densité et de la concentration des matières solides ainsi que de la densité et de la viscosité du liquide
- influence des coagulants sur la vitesse de sédimentation

Spécification

- [1] essais de base relatifs à la sédimentation
- [2] 5 réservoirs gradués transparents pour comparer la vitesse de sédimentation des matières solides dans différentes solutions
- [3] réservoirs amovibles pour le remplissage, le mélange et le nettoyage
- [4] réservoirs rétro-éclairés par des tubes fluorescents pour faciliter l'observation
- [5] 3 gobelets gradués pour la préparation des suspensions
- [6] pycnomètre pour la mesure de la densité des liquides et des matières solides
- [7] chronomètre pour la mesure de la durée de sédimentation
- [8] accessoires recommandés: balance, coagulant

Caractéristiques techniques

Réservoirs

- longueur: 1000mm
- diamètre intérieur: 42mm
- graduation échelle: 1mm
- composition: PMMA
- Tubes fluorescents
- puissance: 6x 18W
- Gobelets gradués
- volume: 2000mL
- graduation: 50mL
- Chronomètre
- résolution: 1/100s

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
LxHx: 750x460x1160mm
Poids: env. 53kg

Nécessaire pr le fonctionnement

Coagulant (recommandation)

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 3 gobelets gradués
- 1 chronomètre, 1 pycnomètre
- 1 documentation didactique

Aperçu

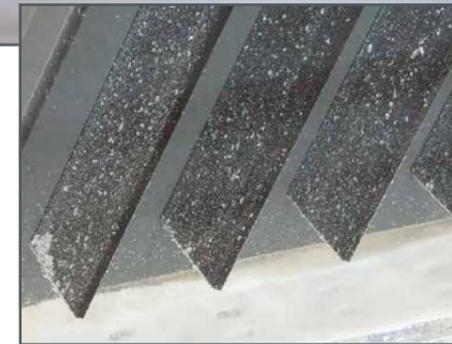
HM 142 Séparation dans les réservoirs de sédimentation

La sédimentation est la méthode la plus simple pour séparer des particules de matière solide d'une phase liquide. C'est pourquoi ce procédé est très couramment utilisé pour le traitement de l'eau. Cet appareil permet d'expliquer de manière très parlante les principes de base de ce procédé de séparation. L'accent porte essentiellement sur la détermination de la charge de surface hydraulique maximale.

Nous avons accordé une grande importance à l'observation visuelle du processus de sédimentation. C'est pourquoi nous avons surtout utilisé des matériaux transparents. Et nous avons en plus équipé le réservoir de sédimentation d'un éclairage.

L'eau brute est produite en mélangeant une suspension concentrée avec de l'eau fraîche. Selon le rapport de mélange, on obtient ainsi une eau brute ayant la concentration de matières solides que l'on souhaite. Un agitateur situé dans la zone d'entrée du réservoir de sédimentation empêche toute sédimentation des matières solides avant leur entrée dans la section d'essai. Le niveau d'eau du réservoir de sédimentation est ajustable en continu.

Une unité de lamelles vient compléter l'appareil. L'unité de lamelles peut être placée si souhaité dans le réservoir de sédimentation. On a le choix entre des lamelles blanches ou noires, en fonction de la couleur des particules de saleté utilisées.



L'utilisation de matériaux transparents et d'un éclairage permettent une observation optimale du processus de sédimentation et des conditions d'écoulement.



Utilisation possible d'une unité de lamelles

Sur le produit:



Contenu didactique

- principe de base de la séparation de matières solides de suspensions dans un réservoir de sédimentation
- détermination de la charge superficielle hydraulique
- influence des paramètres suivants sur le processus de séparation:
 - ▶ concentration de matières solides
 - ▶ débit
 - ▶ vitesse d'écoulement à l'entrée
 - ▶ niveau d'eau dans le réservoir de sédimentation
- étude des conditions d'écoulement
- influence des lamelles sur le processus de sédimentation

HM 142

Séparation dans les réservoirs de sédimentation



2E

Description

- réservoir de sédimentation transparent permettant d'observer le processus de séparation
- éclairage pour visualisation optimale des conditions d'écoulement
- utilisation possible de lamelles dans le réservoir de sédimentation

Dans les réservoirs de sédimentation, les matières solides présentes dans les suspensions sont séparées sous l'effet de la force de gravité. À cet effet, les particules de matière solide doivent présenter une densité supérieure à celle du liquide. Le HM 142 permet d'étudier la séparation des matières solides provenant d'une suspension dans un réservoir de sédimentation.

Dans un réservoir, on commence par préparer une suspension concentrée composée d'eau et de la matière solide à séparer. Une pompe transporte la suspension concentrée jusqu'au réservoir de sédimentation. À l'entrée du réservoir de sédimentation, la suspension se mélange à de l'eau fraîche. L'eau brute ainsi produite s'écoule jusqu'au réservoir de sédimentation en passant par-dessus un déversoir d'alimentation. Un agitateur est installé en amont du déversoir d'entrée. Cela permet de prévenir une sédimentation prématurée des matières solides avant leur entrée dans le réservoir de sédimentation. L'eau purifiée passe d'abord en dessous d'une paroi

immergée avant de s'écouler au-dessus d'un déversoir jusqu'à l'évacuation.

Le déversoir côté évacuation est ajustable en hauteur, ce qui permet de modifier le niveau d'eau dans le réservoir de sédimentation. Le niveau d'eau au-dessus du déversoir d'alimentation peut également être ajusté. Cela influence la vitesse d'écoulement à travers le déversoir d'alimentation.

Il est possible de positionner une unité de lamelles dans la section d'essai. On peut ainsi étudier l'influence des lamelles sur le processus de séparation. L'écoulement traversant les lamelles circule du bas vers le haut. Une rigole d'évacuation est située au-dessus des lamelles. Les parois latérales de la rigole d'évacuation ont la forme d'un déversoir denté.

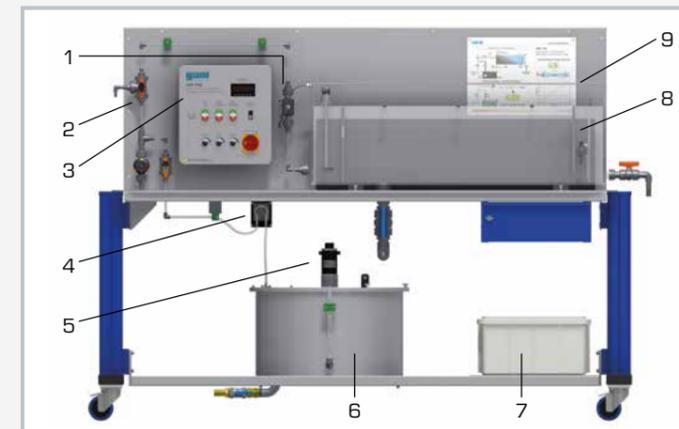
Les débits de la suspension concentrée et de l'eau fraîche sont ajustables par le biais de soupapes. Cela permet d'ajuster la composition du mélange et donc la concentration de matières solides à l'entrée du réservoir de sédimentation. Un capteur de débit électromagnétique enregistre le débit d'alimentation du réservoir de sédimentation. Le débit et la vitesse de rotation de l'agitateur sont affichés numériquement. Le réservoir de sédimentation est équipé d'un éclairage pour une meilleure observation des conditions d'écoulement.

Contenu didactique/essais

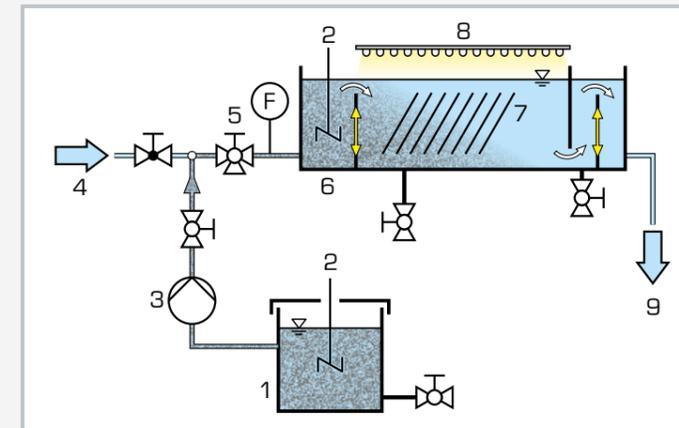
- principe de base de la séparation de matières solides de suspensions dans un réservoir de sédimentation
- détermination de la charge superficielle hydraulique
- influence des paramètres suivants sur le processus de séparation:
 - ▶ concentration de matières solides
 - ▶ débit
 - ▶ vitesse d'écoulement à l'entrée
 - ▶ niveau d'eau dans le réservoir de sédimentation
- étude des conditions d'écoulement
- influence des lamelles sur le processus de sédimentation

HM 142

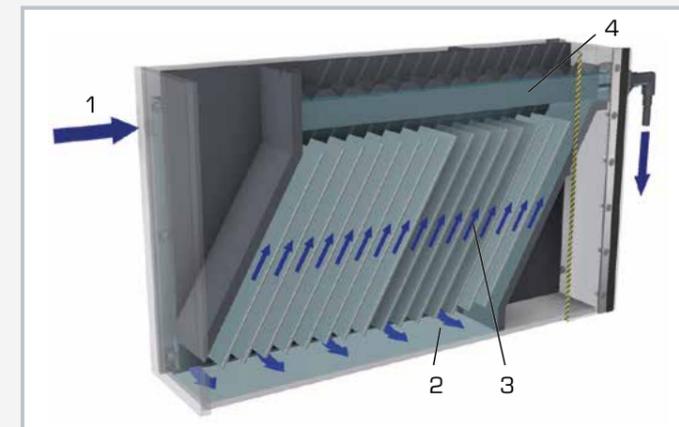
Séparation dans les réservoirs de sédimentation



1 capteur de débit électromagnétique, 2 point de prélèvement, 3 coffret de commande, 4 pompe, 5 agitateur, 6 réservoir à suspension, 7 bac de rangement, 8 réservoir de sédimentation, 9 éclairage



1 réservoir à suspension, 2 agitateur, 3 pompe, 4 eau claire, 5 point de prélèvement, 6 réservoir de sédimentation, 7 lamelles (en option), 8 éclairage, 9 sortie d'eau; F débit



Principe de fonctionnement de l'unité à lamelles
1 entrée d'eau brute, 2 l'eau brute passe sous le cloisonnement, 3 l'eau brute s'écoule vers le haut entre les lamelles, les matières solides tombent sur les lamelles et glissent vers le bas sur les lamelles, 4 l'eau épurée s'écoule dans la goulotte d'évacuation

Spécification

- [1] séparation de suspensions par sédimentation dans un réservoir de sédimentation
- [2] réservoir de sédimentation transparent avec éclairage pour visualiser les conditions d'écoulement
- [3] agitateur dans la zone d'entrée du réservoir de sédimentation
- [4] positionnement possible d'une unité de lamelles dans le réservoir de sédimentation
- [5] réservoir avec pompe et agitateur pour la préparation et le transport d'une suspension concentrée
- [6] le mélange de la suspension concentrée avec de l'eau fraîche permet d'obtenir l'eau brute à étudier
- [7] ajustage de la concentration de matières solides par le biais des soupapes pour le débit de l'eau fraîche et de la suspension
- [8] niveau d'eau du réservoir de sédimentation et vitesse d'écoulement à l'entrée ajustables
- [9] capteur de débit électromagnétique pour l'eau brute
- [10] cônes d'Imhoff pour déterminer les matières décantables d'un échantillon d'eau

Caractéristiques techniques

Réservoir de sédimentation (section d'essai)

- Lxlxh: 900x110x300mm
- volume de remplissage max.: env. 25L
- composition: plexiglas

Unité de lamelles

- angle d'inclinaison des lamelles: 60°
- nombre des lamelles: 16

Réservoir à suspension

- volume: env. 85L
- composition: acier inoxydable

Pompe

- débit de refoulement max.: 75L/h

Agitateurs (vitesse de rotation max)

- réservoir à suspension: 600min⁻¹
- réservoir de sédimentation: 330min⁻¹

Plages de mesure

- débit: 30...600L/h

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 2200x790x1540mm

Poids: env. 220kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu d'accessoires
- 1 emballage de matière solide
- 1 documentation didactique

Aperçu

CE 587 Flottation à l'air dissous

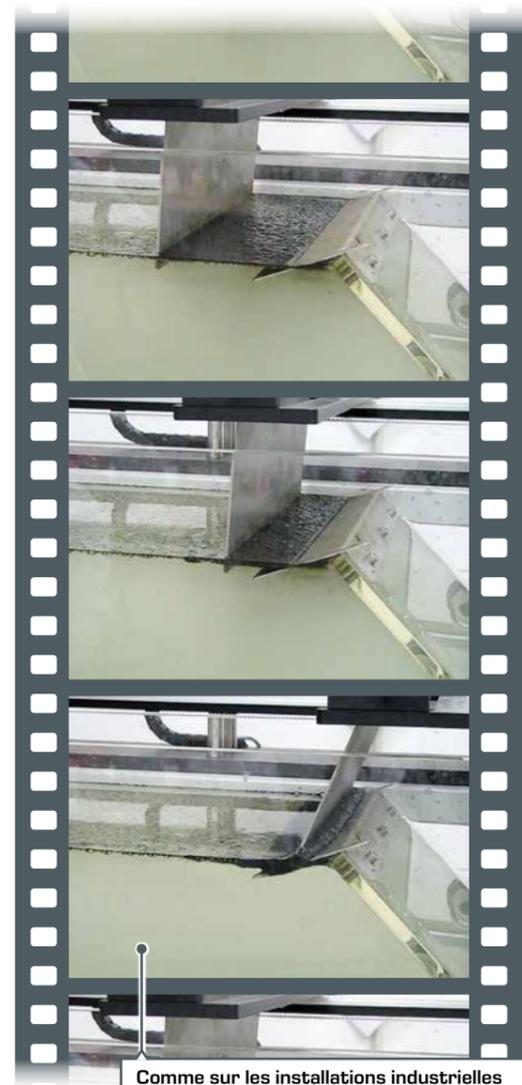
Élimination de matières solides par sustentation

À côté de la sédimentation, la flottation représente un autre procédé souvent utilisé pour séparer les matières solides dans le cadre du traitement de l'eau. Parmi les procédés de flottation, la flottation à l'air dissous est celui le plus fréquemment utilisé.

Des essais en lien étroit avec la pratique

Notre appareil didactique CE 587 vous permet d'étudier tous les aspects importants de ce procédé. Afin d'assurer un lien étroit avec la pratique, nous nous sommes efforcés d'être le plus près possibles de la réalité lorsque nous avons développé cet appareil.

L'appareil est constitué d'une unité d'alimentation et d'un banc d'essai. L'eau brute est tout d'abord prétraitée par floculation. Les flocons du bassin de flottation remontent ensuite à la surface de l'eau sous l'action de petites bulles d'air. Vous pouvez ensuite éliminer les résidus de flottation présents à la surface de l'eau à l'aide d'un racleur électrique. Nombre des composants utilisés ici, comme par exemple les capteurs de débit électromagnétiques ou les pompes de dosage, le sont également dans les installations industrielles. L'utilisation de matériaux transparents vous permet une observation optimale des étapes du processus.



Comme sur les installations industrielles de flottation, le CE 587 est lui aussi équipé d'un racleur électrique qui élimine les matières solides de la surface de l'eau.



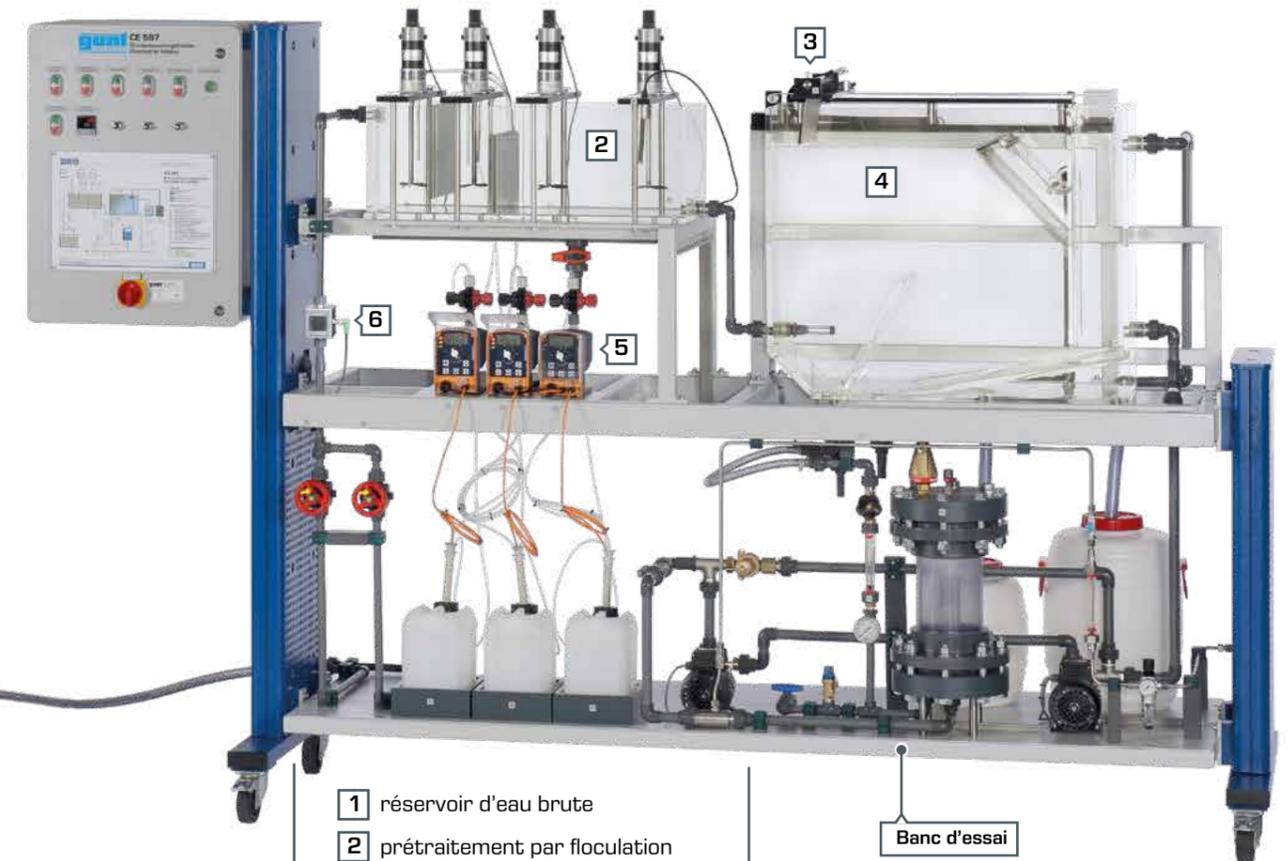
Unité d'alimentation



Standard chez GUNT: utilisation de composants industriels de qualité, comme par exemple les pompes de dosage professionnelles

Contenu didactique

- mode de fonctionnement de la flottation à l'air dissous
- établissement d'un état de fonctionnement stable
- influence de la concentration du coagulant et du floculant
- détermination de la charge superficielle hydraulique (vitesse ascensionnelle)



- 1 réservoir d'eau brute
- 2 prétraitement par floculation
- 3 racleur électrique
- 4 bassin de flottation
- 5 pompes de dosage
- 6 débitmètre électromagnétique

Banc d'essai

Sur le produit:



CE 587

Flottation à l'air dissous



L'illustration montre: unité d'alimentation (à gauche) et banc d'essai (à droite)

Description

- démonstration de la flottation à l'air dissous
- floculation pour conditionnement de l'eau brute
- racleur pour l'élimination des résidus de flottation

Le CE 587 met en évidence l'épuration d'une eau brute contenant des matières solides par le procédé de flottation à l'air dissous.

Dans un réservoir, on commence par produire une suspension (eau brute). De là, l'eau brute s'écoule dans un bassin de floculation divisé en trois compartiments. L'ajout d'un coagulant dans le premier compartiment permet de diminuer les forces répulsives entre les particules des matières solides. Les particules des matières solides s'agrègent pour former des floccs. Un floculant est ensuite ajouté dans le second compartiment pour générer des floccs de plus grande taille. Le coagulant fait baisser le pH. L'ajout de lessive de soude fait augmenter à nouveau le pH de l'eau. Dans le troisième compartiment du bassin de floculation, les vitesses d'écoulement sont faibles, ce qui permet d'éviter l'apparition d'une turbulence. La turbulence générerait en effet la formation des floccs.

L'eau brute s'écoule du bassin de floculation vers le réservoir de flottation. Une partie de l'eau pure est prélevée dans le bassin de flottation et saturée en air sous pression. Cette eau (eau de circulation) pénètre en passant par une soupape de décharge qui lui permet de se détendre instantanément à la pression atmosphérique. Ce qui entraîne la formation de minuscules bulles d'air qui se fixent sur les floccs. Les floccs montent ainsi à la surface de l'eau. Un racleur permet de pousser les floccs flottants (résidus de flottation) en direction d'une gouttière de récupération.

Les débits, pressions et pH sont enregistrés. Il est également possible de régler le pH. La pression de l'eau de circulation peut être ajustée.

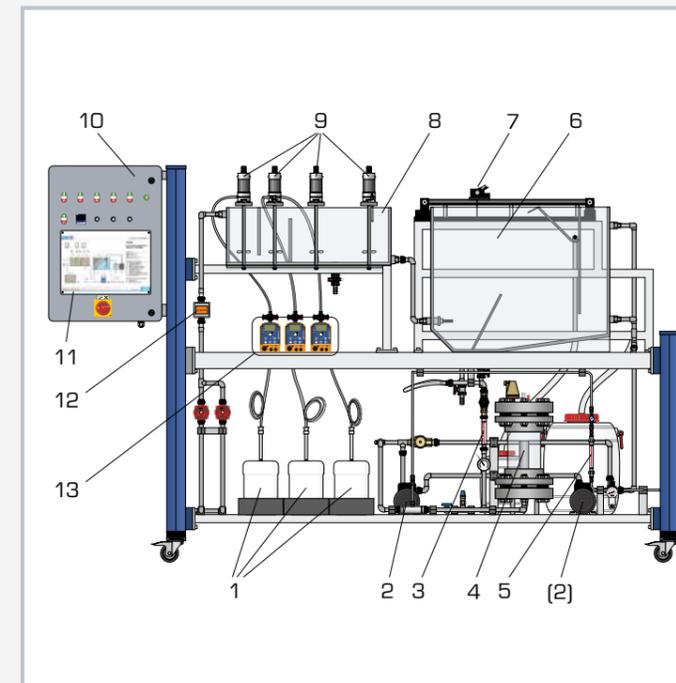
Les sels métalliques trivalents conviennent en principe très bien comme coagulants. Les polymères organiques sont couramment utilisés comme floculants. Il est possible d'utiliser du charbon actif poudreux pour produire l'eau brute.

Contenu didactique/essais

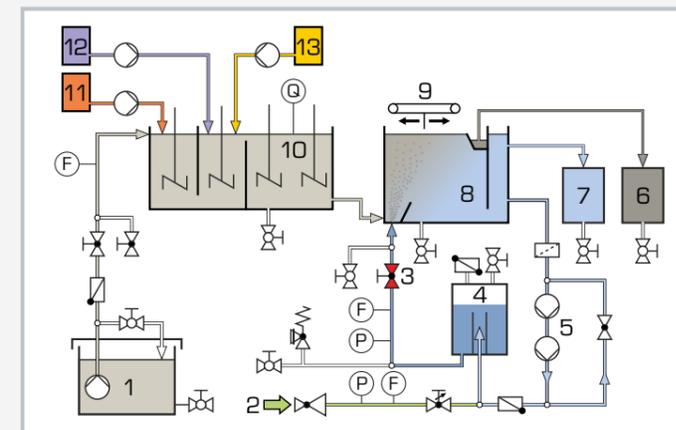
- mode de fonctionnement de la flottation à l'air dissous
- établissement d'un état de fonctionnement stable
- influence des différents paramètres
 - ▶ concentration du coagulant
 - ▶ concentration du floculant
- détermination de la charge superficielle hydraulique (vitesse ascendante)

CE 587

Flottation à l'air dissous



1 réservoirs de produits chimiques, 2 pompes de circulation, 3 débitmètre (eau de circulation), 4 réservoir sous pression, 5 débitmètre (air), 6 réservoir de flottation, 7 racleur, 8 réservoir de floculation, 9 agitateurs, 10 armoire de commande, 11 schéma de processus, 12 débitmètre à induction magnétique (eau brute), 13 pompes de dosage



1 eau brute, 2 air comprimé, 3 soupape de décharge, 4 réservoir sous pression, 5 pompes de circulation, 6 boues (résidus de flottation), 7 eau pure, 8 réservoir de flottation, 9 racleur, 10 réservoir de floculation, 11 coagulant, 12 floculant, 13 lessive de soude; F débit, P pression, Q pH

Spécification

- [1] élimination des matières solides de l'eau brute par flottation à l'air dissous
- [2] conditionnement de l'eau brute par floculation
- [3] 3 pompes de dosage pour des produits chimiques
- [4] réservoir de floculation avec 3 compartiments et 4 agitateurs
- [5] réservoir de flottation avec racleur à entraînement électrique
- [6] réservoir sous pression et 2 pompes de circulation
- [7] soupape de décharge
- [8] unité d'alimentation séparée avec un réservoir et une pompe d'eau brute
- [9] débitmètre à induction magnétique
- [10] enregistrement du débit, de la pression et du pH
- [11] régulation du pH

Caractéristiques techniques

Réservoirs

- réservoir de flottation: 150L
- réservoir de floculation: 45L
- eau brute: 300L
- eau pure: 80L
- boues (résidus de flottation): 15L

Pompe d'eau brute

- débit de refoulement max.: 135L/min chacune
- hauteur de refoulement max.: 7,0m chacune

Pompes de circulation

- débit de refoulement max.: 18L/min chacune
- hauteur de refoulement max.: 50m chacune

Pompes de dosage

- débit de refoulement max.: 2,3L/h

Agitateurs

- vitesse de rotation max: 600min⁻¹ chacun

Plages de mesure

- débit: 0,5...10L/min (eau brute)
- débit: 30...320L/h (eau de circulation)
- débit: 20...360L/h (air)
- pH: 1...14
- pression: 0...6bar (eau de circulation)

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

LxLxh: 1560x790x1150mm (unité d'alimentation)

LxLxh: 3100x790x1950mm (banc d'essai)

Poids total: env. 550kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain, air comprimé, lessive de soude, sulfate de fer (III), floculant, charbon actif poudreux (recommandation)

Liste de livraison

- 1 unité d'alimentation
- 1 banc d'essai
- 1 jeu de flexibles
- 1 documentation didactique

CE 588

Démonstration de la flottation à l'air dissous



Contenu didactique/essais

- mode opératoire de la flottation à l'air dissous
- dissolution des gaz dans les liquides:
 - ▶ loi de Henry
 - ▶ loi de Dalton

2E

Description

- **traitement mécanique de l'eau**
- **réservoirs transparents pour l'observation des processus**

Le procédé de flottation sert à séparer les matières solides d'un liquide (p.ex. l'eau). La flottation à l'air dissous est le procédé le plus souvent utilisé pour le traitement de l'eau.

La suspension à épurer (eau brute) est déposée dans un réservoir. Il est possible d'ajouter dans l'eau brute des produits chimiques de floculation pour améliorer la flottabilité des particules de saleté. L'eau brute est transportée à l'aide d'une pompe et pénètre dans la colonne de flottation par une conduite verticale. La conduite d'arrivée est ajustable en hauteur.

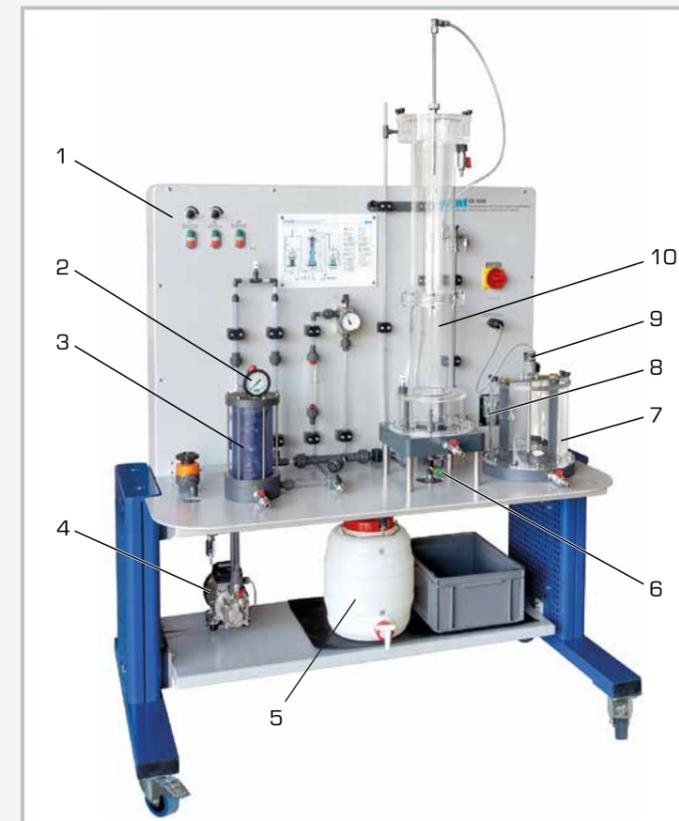
Un circuit d'eau avec pompe est raccordé à la colonne de flottation. Au point le plus élevé de la circulation, il y a une pression négative. L'air nécessaire à la flottation est aspiré en ouvrant une vanne à cet endroit. La pression a pour effet de dissoudre l'air dans l'eau. Une partie de l'eau retourne vers la pompe en passant par un bypass. L'autre partie de l'eau atteint un réservoir sous pression rempli d'anneau de Pall. Le réservoir sous pression assure une durée de séjour de l'air suffisante pour sa dissolution, et la séparation de l'air non dissous. Puis l'eau pénètre par le bas par une soupape dans la colonne de flottation. Cela entraîne une baisse brutale de la pression qui tombe pratiquement au niveau de la pression atmosphérique.

Étant donné que la solubilité de l'air augmente lorsque la pression augmente, l'excédent d'air s'évacue sous forme de gouttelettes. Les bulles d'air se déposent sur les particules de saleté. Les particules de saleté montent avec les bulles d'air à l'intérieur de la colonne. Puis les particules de saleté pénètrent dans un anneau circulaire situé à l'extrémité supérieure de la colonne de flottation. L'eau épurée est évacuée par le fond de la colonne de flottation et collectée dans un réservoir.

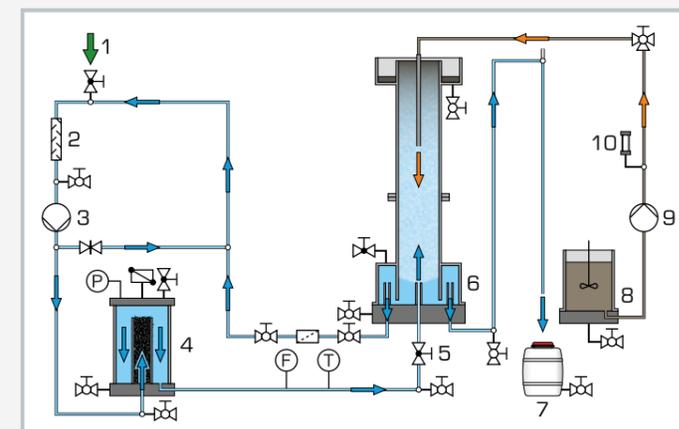
La pression et le débit de la circulation peuvent être ajustés. Le débit, la température et la pression sont mesurés et affichés.

CE 588

Démonstration de la flottation à l'air dissous



1 éléments de commande, 2 manomètre, 3 réservoir sous pression, 4 pompe de circulation, 5 réservoir d'eau pure, 6 soupape de décharge, 7 réservoir d'eau brute, 8 pompe d'eau brute, 9 agitateur, 10 colonne de flottation



1 air, 2 mélangeur statique, 3 pompe de circulation, 4 réservoir sous pression, 5 soupape de décharge, 6 colonne de flottation, 7 réservoir d'eau pure, 8 réservoir d'eau brute, 9 pompe d'eau brute, 10 amortisseur de pulsations; F débit, P pression, T température

Spécification

- [1] colonne de flottation en plexiglas
- [2] réservoir d'eau brute avec agitateur
- [3] pompe péristaltique pour le transport de l'eau brute
- [4] amortisseur de pulsations pour créer un écoulement d'eau brute régulier
- [5] vitesses de rotation de la pompe péristaltique et de l'agitateur ajustables en continu
- [6] entrée de l'eau brute dans la colonne de flottation ajustable en hauteur
- [7] pression et débit de la circulation ajustable
- [8] circuit d'eau avec pompe et bypass
- [9] pas d'air comprimé requis
- [10] réservoir sous pression avec anneaux de Pall
- [11] enregistrement du débit, de la pression et de la température

Caractéristiques techniques

Colonne de flottation

- diamètre intérieur: 115mm
- hauteur: 870mm
- volume: env. 10L

Réservoirs

- eau brute: 8L
- eau pure: 15L
- réservoir sous pression: 1,5L

Pompe d'eau brute (pompe péristaltique)

- débit de refoulement max.: 20L/h
- vitesse de rotation max.: 200min⁻¹

Pompe de circulation (pompe de circulation)

- débit de refoulement max.: 660L/h
- hauteur de refoulement max.: 65m

Agitateur: max. 330min⁻¹

Plages de mesure

- débit: 5...60L/h
- pression: 0...10bar
- température: 0...60°C

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase

120V, 60Hz, 1 phase

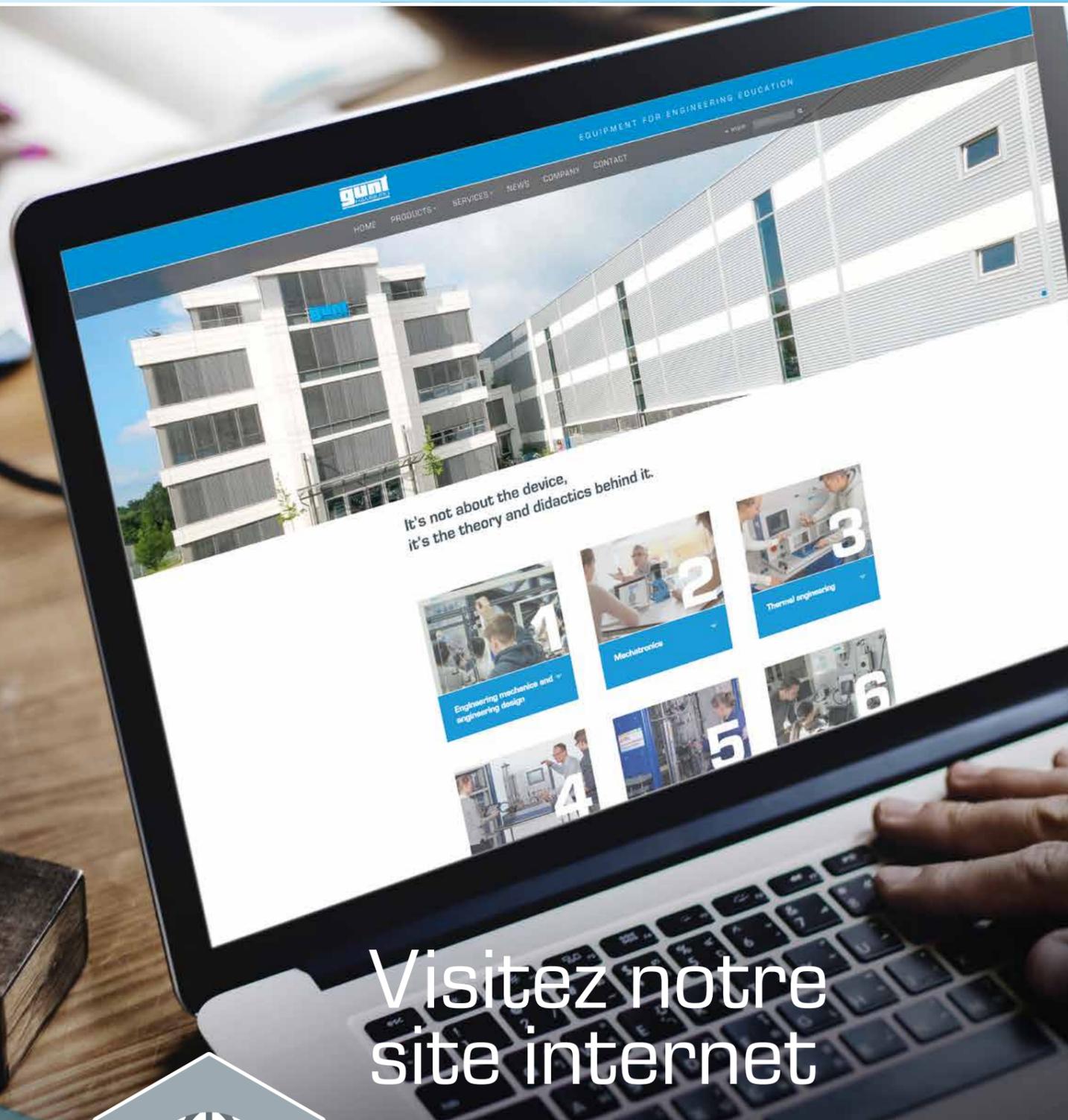
UL/CSA en option

Lxlxh: 1410x790x1850mm

Poids: env. 170kg

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 2 béchers de mesure
- 1 granules de noix
- 1 chlorure de fer(III)
- 1 floculant
- 1 caisse de rangement
- 1 documentation didactique

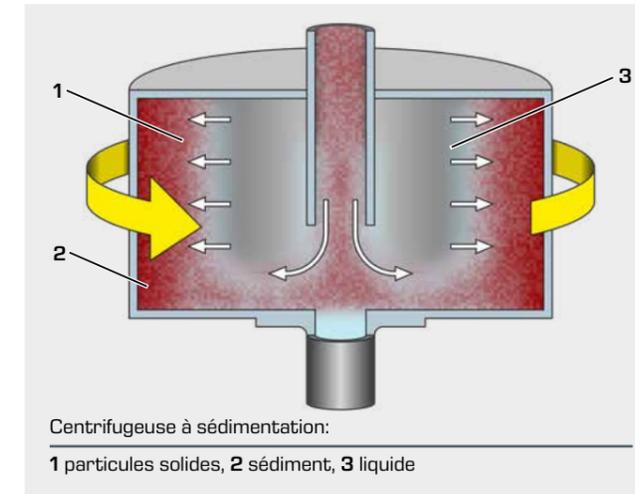


Visitez notre
site internet

Sur notre site, vous trouverez toutes
les informations autour de notre programme.

Connaissances de base

Séparation par centrifugation



Centrifugeuse à sédimentation:

1 particules solides, 2 sédiment, 3 liquide

La force nécessaire aux processus de séparation des phases peut être la force de gravité ou la force centrifuge. La force centrifuge peut être produite par la circulation du fluide ou par la rotation du récipient (centrifugeuse). La séparation est consécutive à la différence de densité entre le fluide et les particules solides.

Dans une **centrifugeuse**, la force centrifuge entraîne davantage vers l'extérieur les particules solides de forte densité que celles du fluide. La force centrifuge peut être considérablement supérieure à la force de gravité. C'est pourquoi il est possible de séparer de plus petites particules, de faible densité, dans un champ centrifuge par rapport à un champ gravitationnel.

Des centrifugeuses à sédimentation ou à filtration peuvent être utilisées pour séparer des mélanges solide / liquide:

Dans le cas des **centrifugeuses à sédimentation**, les particules solides s'accumulent sur la paroi sous forme de sédiment. Les centrifugeuses peuvent également être équipées de surfaces inclinées par rapport au champ centrifuge (centrifugeuse à plateaux). Ce dispositif réduit la distance et le temps de dépôt. Les centrifugeuses à plateaux peuvent également être utilisées pour séparer des émulsions comme l'eau et l'huile.

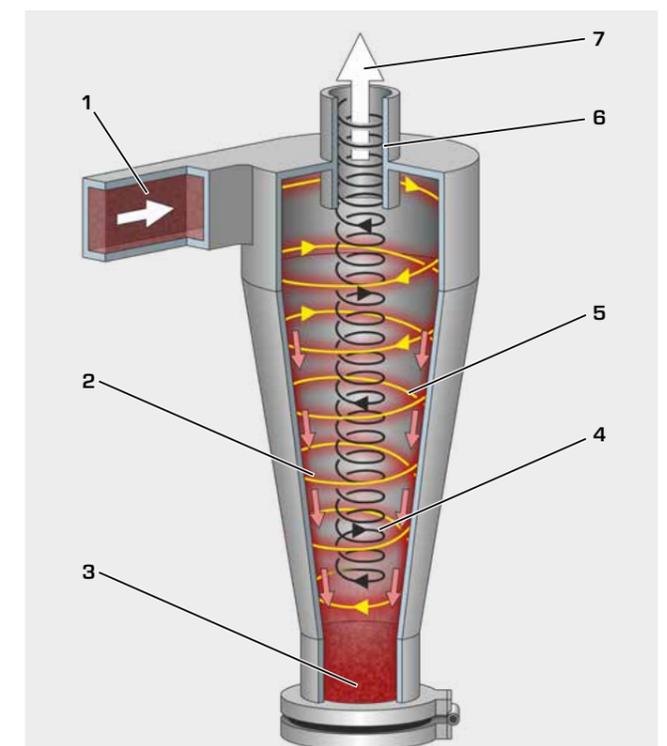
Dans le cas des **centrifugeuses à filtration**, l'enveloppe du récipient en rotation est perforée. Un filtre (tamis fin ou toile filtrante) est placé à l'intérieur de l'enveloppe. Sous l'effet des forces centrifuges, la suspension se déplace en direction du filtre. Les particules solides forment sur le filtre un gâteau de filtration.

Dans le cas des **cyclones**, la force centrifuge nécessaire à la séparation est induite par la circulation du fluide. Les cyclones sont de forme cylindrique en partie haute et de forme conique en partie basse.

Le fluide chargé de matière solide entre tangentiellement dans la partie haute du cyclone et décrit une trajectoire en spirale le long de la paroi. Il se forme un tourbillon primaire qui se déplace vers le bas. Au pied du cyclone, le tourbillon primaire se retourne. Dans le tourbillon secondaire, le fluide remonte au centre du cyclone en direction du tube de sortie (jupe). Le processus de séparation principal se déroule à l'intérieur du tourbillon primaire. Sous l'effet des forces centrifuges et de la différence de densité entre le fluide et la matière solide, les particules solides sont entraînées vers la paroi.

Dans le cas d'un **cyclone gaz**, les particules solides glissent vers le bas et y sont collectées. Les cyclones gaz sont très répandus car ils permettent notamment de séparer les matières solides dans les gaz chauds.

Dans le cas de l'**hydrocyclone**, la partie du liquide enrichie de matière solide se déplace vers le bas à proximité de la paroi, en formant une spirale, et y est évacuée en continu, contrairement au cyclone gaz. Les hydrocyclones sont utilisés par ex. pour dépolluer les sols contaminés.



Cyclone gaz:

1 gaz brut, 2 poussière séparée
3 poussière collectée, 4 tourbillon secondaire
5 tourbillon primaire, 6 tube de sortie, 7 gaz dépoussiéré

CE 282

Centrifugeuse à plateaux



Description

- séparation d'émulsions en continu
- possibilité d'exercices relatifs à l'entretien et l'inspection
- essais adaptés à l'expérimentation à l'échelle du laboratoire

Une centrifugeuse à plateaux permet de séparer des mélanges de liquides non miscibles entre-eux.

L'émulsion à séparer est préparée dans un réservoir de mélange. Une émulsion d'eau et d'huile est recommandée. Un agitateur à vitesse de rotation réglable brasse les deux phases liquides. Au fur et à mesure du processus de mélange, les gouttelettes d'huile se répartissent dans l'eau de manière de plus en plus fine. Lorsque les gouttelettes sont de très petite taille, l'émulsion reste stable pendant une durée prolongée.

Une pompe amène l'émulsion en haut, au centre de la centrifugeuse en rotation. L'émulsion rejoint les espaces intermédiaires des plateaux au travers du fond distributeur et des canaux montants. Le processus de séparation est lié à la force centrifuge.

Sous l'effet de celle-ci, les particules liquides de densité élevée (eau) sont davantage attirées vers l'extérieur que les particules liquides de densité faible (huile). Le parcours de dépôt et le temps de dépôt sont raccourcis par la disposition inclinée des plateaux par rapport au champ d'accélération. La partie de densité élevée de l'émulsion glisse sur le dessous des plateaux en rotation vers le bas et l'extérieur. La partie légère migre vers l'intérieur sur le dessus des plateaux. Les liquides séparés quittent la centrifugeuse au travers d'écoulements et peuvent être recueillis dans des réservoirs.

Un potentiomètre permet d'ajuster la vitesse de rotation de la centrifugeuse. Le débit de l'émulsion à séparer peut être ajusté à l'aide d'une vanne. Différents types de mobiles d'agitation sont disponibles pour le mélange. Un photomètre est recommandé pour l'analyse des fractions séparées.

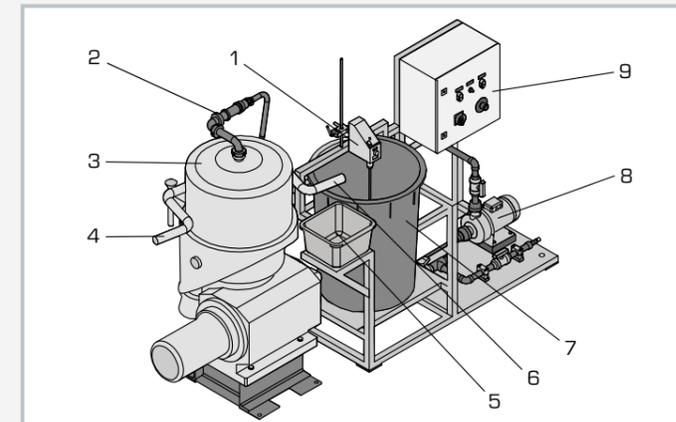
Les instructions d'utilisation et de maintenance servent de base à l'apprentissage de nombreux travaux d'entretien et d'inspection sur la centrifugeuse.

Contenu didactique/essais

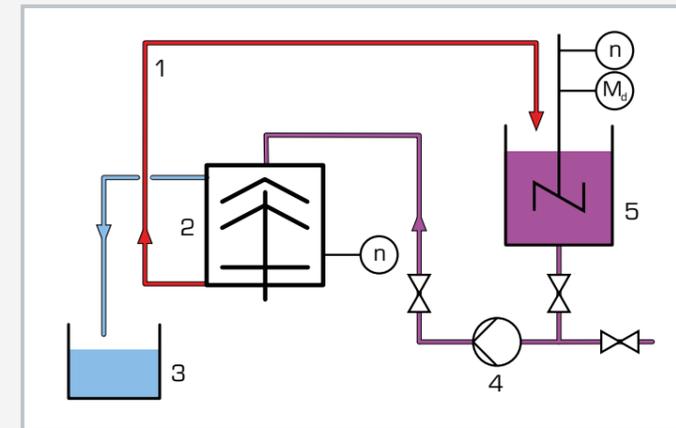
- réalisation d'émulsions stables avec différents types de mobiles d'agitation
- apprentissage du principe de base des centrifugeuses à plateaux
- influence de la vitesse de rotation et du débit d'alimentation sur le résultat de la séparation
- courbe de concentration de la phase légère dans le réservoir de mélange en fonction du temps (avec un photomètre)
- processus de démarrage/arrêt et fonctionnement d'une centrifugeuse à plateaux
- opérations d'entretien
- opérations de nettoyage
- opérations d'inspection

CE 282

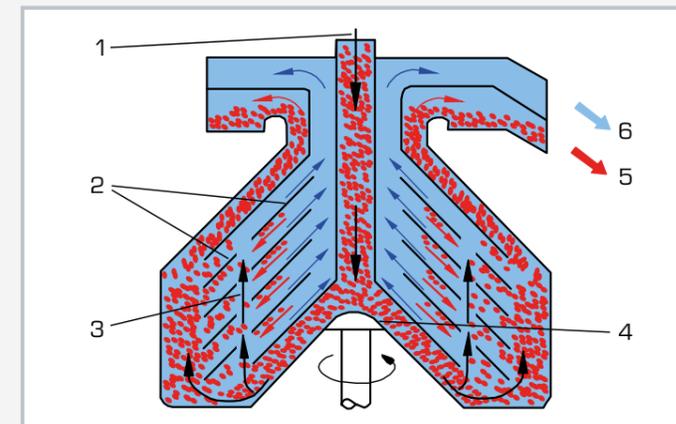
Centrifugeuse à plateaux



1 agitateur, 2 alimentation de l'émulsion, 3 centrifugeuse, 4 sortie de la phase légère, 5 réservoir collecteur pour la phase légère, 6 sortie de la phase lourde, 7 réservoir de mélange, 8 pompe, 9 coffret de commande avec les éléments de commande



1 phase lourde, 2 centrifugeuse à plateaux, 3 phase légère, 4 pompe, 5 réservoir de mélange de l'émulsion; n vitesse de rotation, M_d couple



Principe de base des centrifugeuses à plateaux: 1 alimentation de l'émulsion, 2 plateaux, 3 canaux montants, 4 fond d'alimentation, 5 sortie de la phase lourde, 6 sortie de la phase légère

Spécification

- [1] séparation en continu d'émulsions avec une centrifugeuse à plateaux
- [2] réservoir en HDPE avec agitateur pour la préparation de l'émulsion
- [3] pompe centrifuge pour le transport de l'émulsion vers la centrifugeuse
- [4] ajustage du débit de l'émulsion transportée à l'aide d'une vanne
- [5] vitesse de rotation de la centrifugeuse ajustable à l'aide d'un potentiomètre
- [6] agitateur à vitesse de rotation réglable avec affichage numérique du couple
- [7] 3 mobiles d'agitation interchangeables
- [8] réservoir collecteur pour la phase séparée

Caractéristiques techniques

Centrifugeuse à plateaux

- puissance: 7500W
- diamètre utile max.: env. 300mm
- vitesse de rotation max.: 6480min⁻¹

Agitateur

- puissance absorbée: 140W
- vitesse de rotation: 30...1000min⁻¹

Mobiles d'agitation

- 2x mobiles d'agitation grande surface: 3/10 trous
- 1x mobile d'agitation à 3 pales

Pompe centrifuge

- débit de refoulement max.: 300L/min
- hauteur de refoulement max.: 9,5m

Réservoirs

- réservoir de mélange: 200L
- réservoir collecteur: 14L

Plages de mesure

- vitesse de rotation:
 - ▶ 1x 0...8000min⁻¹
 - ▶ 1x 30...1000min⁻¹
- couple: 0...200Ncm

400V, 50Hz, 3 phases

400V, 60Hz, 3 phases; 230V, 60Hz, 3 phases

UL/CSA en option

Lxlxh: 3000x1000x1800mm

Poids: env. 1100kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau: 200...300L/h, drain; une fondation spéciale et une canalisation d'évacuation sont nécessaires

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

CE 235
Cyclone gaz

L'illustration montre: banc d'essai (à gauche) et ventilateur (à droite).

Description

- séparation de matières solides à l'aide d'un cyclone gaz
- cyclone transparent pour l'observation du processus de séparation
- essais adaptés à l'expérimentation à l'échelle du laboratoire

La séparation préliminaire des matières solides dans les gaz constitue une application des cyclones gaz. Cyclones gaz ne possèdent aucune pièce en mouvement et ne nécessitent par conséquent que très peu d'entretien. Ils sont utilisables également avec des gaz à température très élevée et sont, de ce fait, très répandus.

Ce banc d'essai a été développé en collaboration avec l'institut de Génie des Procédés liés aux Matières Solides et de Technologie des Particules de l'école polytechnique à Hamburg-Harburg. La charge d'alimentation (poudre de quartz recommandée) est finement répartie dans un écoulement d'air grâce à un dispositif de dispersion. L'écoulement d'air (gaz brut) ainsi chargé de matière solide est dirigé tangentiellement dans le cyclone en partie haute. À l'intérieur du cyclone, l'écoulement d'air descend sous la forme d'un tourbillon primaire en rotation. Au pied du cyclone, le tourbillon se retourne. Il remonte au centre du cyclone sous la forme d'un tourbillon secondaire en direction du tube de sortie (jupe). À ce niveau, le gaz purifié quitte le cyclone.

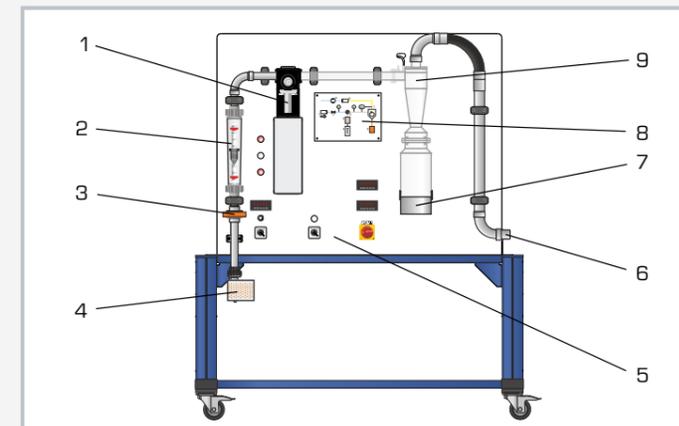
Le processus de séparation principal se déroule à l'intérieur du tourbillon primaire. Sous l'effet des forces centrifuges et de la différence de densité entre l'air et la matière solide, les particules grossières sont dirigées vers la paroi. Elles glissent le long de celle-ci et sont recueillies par un réservoir au pied du cyclone. La matière solide n'est pas intégralement séparée. Idéalement, les fines particules dont la taille est inférieure au diamètre de coupure sortent en haut par le tube de sortie avec le tourbillon secondaire. Ces fines particules sont séparées de l'écoulement d'air par un filtre. Le diamètre de coupure définit la limite théorique entre les fines particules et les grosses particules.

La teneur en matière solide du gaz brut peut être ajustée à l'aide du dispositif de dispersion et d'une vanne pour le débit volumétrique d'air. Afin d'éviter que l'écoulement d'air en amont du dispositif de dispersion soit chargé de particules, l'air ambiant aspiré est filtré. L'écoulement d'air est produit par un ventilateur. Des points de mesure de la pression aux endroits appropriés du banc d'essai permettent de mesurer les pertes de charge.

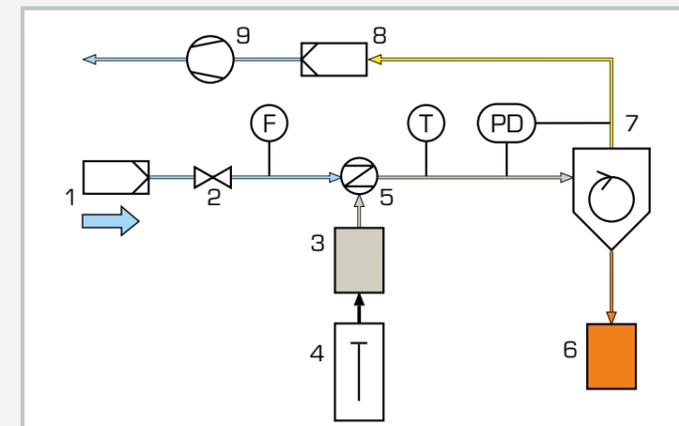
Une loi de répartition peut être élaborée et le diamètre de coupure déterminé à l'aide d'un dispositif d'analyse approprié (par ex. un spectromètre à diffraction).

Contenu didactique/essais

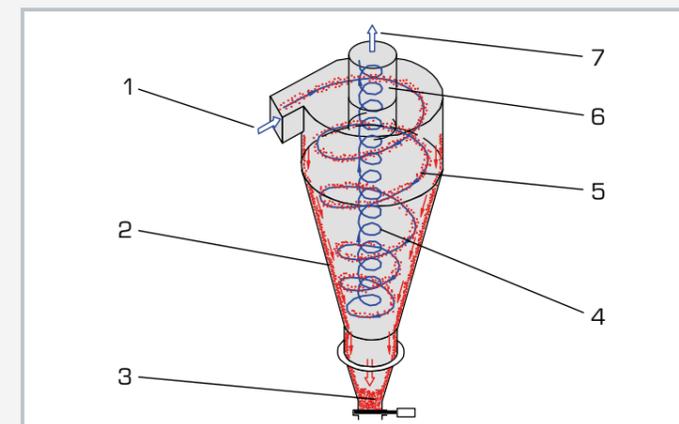
- influence de la teneur en matière solide et du débit volumétrique d'air sur
 - ▶ la perte de charge au niveau du cyclone
 - ▶ le rendement de séparation
 - ▶ la loi de répartition et le diamètre de coupure (avec un dispositif d'analyse approprié)
- comparaison de la perte de charge et du rendement de séparation avec les valeurs théoriques calculées

CE 235
Cyclone gaz

1 dispositif de dispersion avec réservoir de charge d'alimentation et transporteur, 2 débitmètre, 3 vanne de débit volumétrique d'air, 4 entrée d'air avec filtre, 5 éléments d'affichage et de commande, 6 raccord de ventilateur, 7 réservoir de grosses particules, 8 schéma de processus, 9 cyclone gaz



1 entrée d'air avec filtre, 2 vanne de débit volumétrique d'air, 3 réservoir de charge d'alimentation, 4 transporteur, 5 dispositif de dispersion, 6 grosses particules, 7 cyclone gaz, 8 filtre à particules fines, 9 ventilateur; F débit volumétrique, PD pression différentielle, T température



Caractéristiques d'écoulement dans un cyclone gaz: 1 entrée du gaz brut, 2 matière solide séparée, 3 matière solide recueillie, 4 tourbillon secondaire, 5 tourbillon primaire, 6 tube de sortie, 7 gaz purifié

Spécification

- [1] séparation des matières solides dans les gaz à l'aide d'un cyclone
- [2] cyclone à entrée tangentielle
- [3] dosage de la charge d'alimentation dans l'écoulement d'air avec un dispositif de dispersion
- [4] production de l'écoulement d'air avec un ventilateur; ajustage avec une vanne
- [5] réservoirs pour la charge d'alimentation et les grosses particules
- [6] 1 filtre à l'entrée d'air et 1 filtre pour fines particules à la sortie d'air
- [7] enregistrement de la pression différentielle, du débit volumétrique d'air et de la température de l'air

Caractéristiques techniques**Cyclone**

- hauteur: env. 250mm
- diamètre: env. 80mm
- diamètre du tube de sortie: env. 30mm

Ventilateur

- débit volumétrique: max. 600m³/h
- puissance: env. 3600W

Réservoirs

- charge d'alimentation: 15mL
- grosses particules: 700mL

Plages de mesure

- pression différentielle: 0...100mbar
- débit volumétrique: 10...100m³/h (air)
- température: 0...60°C

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
LxH: 1520x790x1800mm (banc d'essai)
Poids: env. 160kg (banc d'essai)
LxH: 660x510x880mm (ventilateur)
Poids: env. 33kg (ventilateur)

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 ventilateur
- 1 emballage de poudre de quartz (0...0,16mm; 25kg)
- 1 dispositif de remplissage pour dispositif de dispersion
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

CE 225 Hydrocyclone



Contenu didactique/essais

- principe de base et des caractéristiques de fonctionnement d'un hydrocyclone
- débit massique de matière solide dans l'alimentation, la surverse et la sousverse
- débit massique de liquide dans l'alimentation, la surverse et la sousverse
- valeurs caractéristiques de la précision de séparation
- perte de charge au niveau du cyclone en fonction du débit d'alimentation
- influence de la densité des matières solides sur les valeurs caractéristiques et la perte de charge

Description

- **séparation de matières solides à l'aide d'un hydrocyclone**
- **observation optimale des processus à l'aide de matériaux transparents**
- **essais adaptés à l'expérimentation à l'échelle du laboratoire**

Les hydrocyclones permettent de séparer les matières solides en suspension dans un liquide. Dans le cas du CE 225, la suspension est préparée dans un réservoir. Une pompe alimente tangentiellement la suspension à l'entrée du cyclone. Un tourbillon primaire dirigé vers le bas se forme dans le cyclone. Le rétrécissement conique oblige le tourbillon à se retourner. Il remonte au centre sous forme d'un tourbillon secondaire en direction du tube de surverse (jupe). À ce niveau, la suspension est débarrassée des grosses particules et quitte le cyclone.

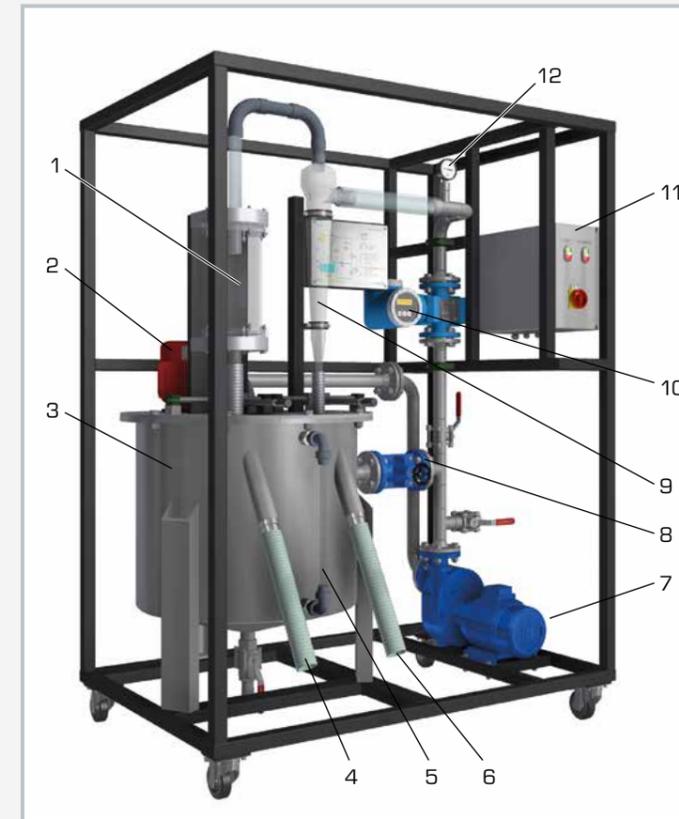
Un noyau d'air se forme à l'intérieur du tourbillon primaire. Sous l'effet des forces centrifuges, les particules les plus grossières se concentrent dans le tourbillon primaire. Elles sont extraites en partie basse du cyclone (sousverse) au niveau de l'apex. Les particules extraites en partie haute du cyclone (surverse) sont essentiellement des fines particules.

Le débit d'alimentation est ajusté à l'aide d'une dérivation avec une vanne et mesuré à l'aide d'un débitmètre électromagnétique. Des points de prélèvement sont prévus au niveau de la sousverse et de la surverse. Les débits volumétriques peuvent y être mesurés à l'aide d'un seau et d'un chronomètre. Une balance et une étuve sont recommandées pour déterminer les concentrations des matières solides. Une loi de répartition peut être élaborée et le diamètre de coupure

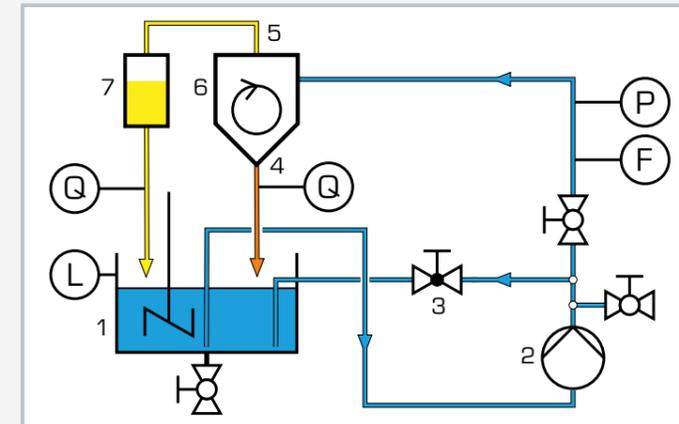
déterminé à l'aide d'un dispositif d'analyse approprié (par ex. un spectromètre à diffraction). L'utilisation de poudre de quartz et diatomite est recommandée comme matière solide.

Le banc d'essai a été développé en collaboration avec le **département Génie des Procédés Mécaniques de l'école supérieure Anhalt**.

CE 225 Hydrocyclone



1 réservoir pour observation de la surverse, 2 agitateur, 3 réservoir de mélange, 4 point de prélèvement de surverse, 5 indication du niveau, 6 point de prélèvement de sousverse, 7 pompe, 8 vanne (dérivation), 9 hydrocyclone, 10 débitmètre, 11 coffret de commande, 12 manomètre



1 réservoir de mélange, 2 pompe, 3 vanne (dérivation), 4 sousverse, 5 surverse, 6 hydrocyclone, 7 réservoir pour observation de la surverse; F débitmètre, P manomètre, L indication de niveau, Q point de prélèvement

Spécification

- [1] séparation des matières solides dans des liquides avec un hydrocyclone
- [2] hydrocyclone à alimentation tangentielle
- [3] réservoir de mélange pour la préparation de la suspension
- [4] pompe centrifuge pour le transport de la suspension
- [5] ajustage du débit par une dérivation avec vanne
- [6] débitmètre magnétique à induction pour la mesure du débit d'alimentation
- [7] points de prélèvement à la surverse et la sousverse pour la détermination des débits et des concentrations des matières solides
- [8] manomètre pour la détermination de la perte de charge dans le cyclone

Caractéristiques techniques

Cyclone

- hauteur: 710mm
- Ø: 114mm
- tube de surverse: Ø 40mm

Réservoir de mélange

- volume: 200L
- composition: acier inoxydable

Réservoir (surverse)

- volume: 5L
- composition: PMMA

Pompe

- débit de refoulement max.: 400L/min
- hauteur de refoulement max.: 30m

Plages de mesure
pression: 0...4bar
débit: 0...200L/min

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases
230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
LxIxh: 1500x1000x2020mm
Poids: env. 370kg

Liste de livraison

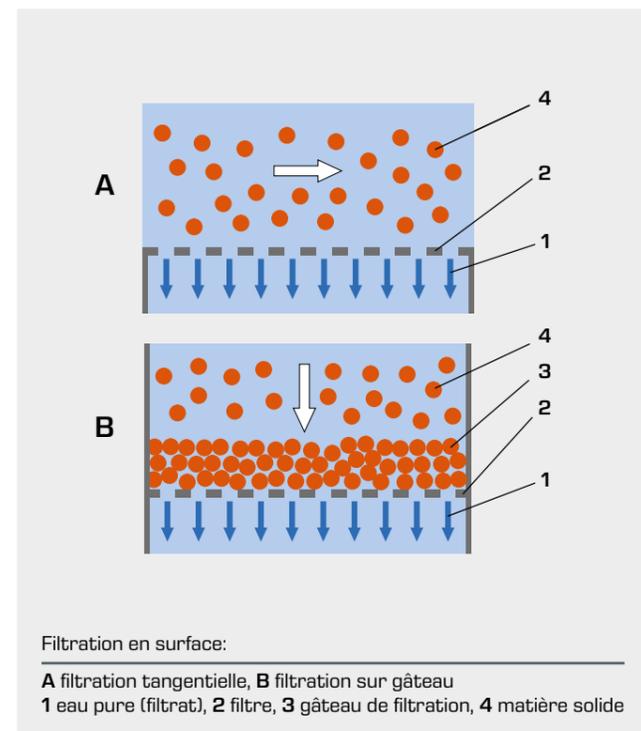
- 1 banc d'essai
- 7 buses d'apex
- 1 flexible
- 2 seaux
- 1 gobelet gradué
- 1 pelle
- 1 chronomètre
- 1 jeu d'outils
- 1 emballage de poudre de quartz (25kg)
- 1 emballage de diatomite (20kg)
- 1 documentation didactique

Connaissances de base Filtration

La filtration sert à éliminer les matières solides. Le principe de base consiste à retenir les matières solides en utilisant un filtre. La phase liquide de l'eau brute traverse le filtre et est appelée filtrat.

Filtration en surface

La filtration en surface repose sur un effet de tamisage. Les matières solides ne pénètrent pas dans le filtre, mais sont retenues à sa surface. Cela n'est possible que si la taille des pores de le filtre est inférieure à la taille des particules solides. Les tamis, les toiles filtrantes, le papier-filtre ou les membranes peuvent être des filtres. Si l'écoulement est perpendiculaire à la surface, on parle de filtration sur gâteau. L'inconvénient réside dans le fait qu'un gâteau de filtration se forme au fil du temps

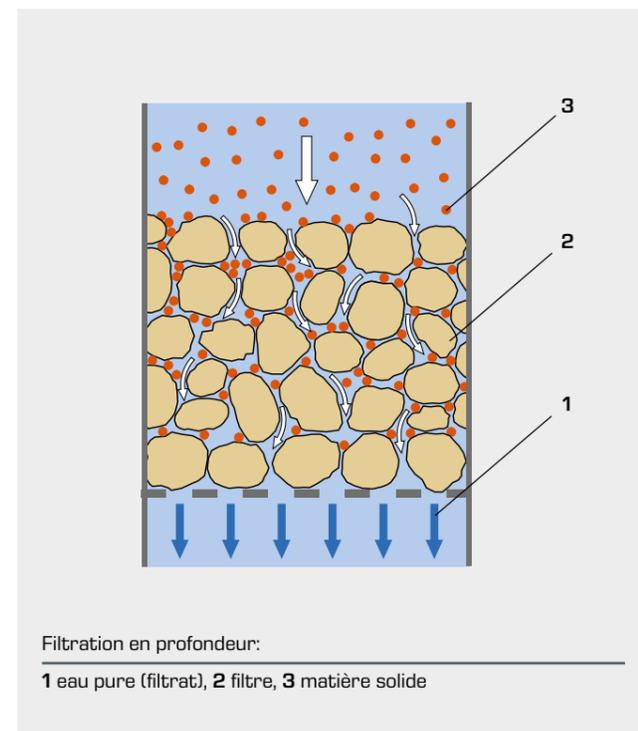


Filtration en profondeur

Lors de la filtration en profondeur, l'eau brute traverse un filtre sous la forme d'un lit de particules (lit filtrant). Le sable et le gravier sont des filtres très souvent utilisés. L'eau brute s'écoule dans les interstices du lit filtrant, les matières solides étant retenues. L'eau purifiée traverse quant à elle le lit filtrant. Progressivement, un nombre croissant de matières solides se dépose dans les interstices du lit filtrant. Cela entraîne un rétrécissement de la section de passage. Ainsi, la résistance du filtre à l'écoulement s'accroît. Cette résistance se manifeste par une augmentation de la perte de pression. Le débit du filtre diminue ou ne peut être maintenu qu'en augmentant la pression

On distingue principalement la filtration en profondeur et la filtration en surface.

sur le filtre, réduisant ainsi le débit du filtrat. Ce problème est réduit lors de la filtration tangentielle où l'eau brute s'écoule désormais parallèlement à la surface. Les dépôts sur le filtre sont ainsi en grande partie éliminés grâce à l'écoulement. Ce principe est surtout appliqué pour les procédés de séparation par membrane.



au niveau de l'entrée du filtre. Les matières solides déposées peuvent à nouveau être éliminées par un rinçage à contre-courant. Un rinçage à contre-courant permet donc de réduire la perte de pression. Normalement, ce processus est réalisé avec une eau purifiée (eau pure) dans le sens opposé à l'écoulement du filtrat.

L'évolution dans le temps du profil de pression dans un lit filtrant peut être mise en évidence à l'aide de diagrammes de résistance, également appelés diagrammes de Micheau.

CE 116 Filtration sur gâteau et en profondeur



Description

filtration sur gâteau et filtration en profondeur avec différentes suspensions et couches filtrantes

Le CE 116 permet d'observer et d'étudier les processus de filtration en profondeur et de filtration sur gâteau. La suspension (eau et diatomite comme matière solide) coule de l'entonnoir de remplissage dans l'élément filtrant, où les matières solides sont retenues.

Le filtrat est évacué et passe au travers d'un débitmètre. Le bas de l'élément filtrant est muni d'un filtre poreux. Dans le cas de la filtration sur gâteau, le filtre sert de support pour la formation du gâteau. Dans le cas de la filtration en profondeur, le filtre supporte la couche filtrante (gravier). Un manomètre bi-tube mesure la perte de charge due à l'élément filtrant.

La balance CE 116.01 est recommandée pour déterminer la quantité du filtrat.

Contenu didactique/essais

- bases de la filtration: équation de Darcy
- filtration en profondeur avec différentes couches et suspensions
- filtration sur gâteau avec différentes suspensions
- détermination des valeurs caractéristiques de la filtration

Spécification

- [1] bases de la filtration sur gâteau et de la filtration en profondeur
- [2] élément filtrant avec, dans le fond, un filtre fritté recevant les particules
- [3] mesure de la perte de charge avec un manomètre bi-tube
- [4] entonnoir de remplissage ajustable en hauteur composé de verre DURAN
- [5] débitmètre avec soupape à pointe pour l'ajustage

Caractéristiques techniques

- Élément filtrant
- hauteur du logement du filtre: 85mm
 - Ø intérieur: env. 37mm
 - section: env. 11cm²
 - composition du tube: verre DURAN

- Filtre fritté, SIKA 100
- diamètre de pore: 100µm
 - épaisseur: 2mm
 - composition: métal fritté

- Plages de mesure
- débit: 40...360mL/min
 - pression: 2x 0...500mmCA
 - température: -10...100°C
 - gobelet gradué
 - ▶ 1x 1000mL, graduation: 10mL
 - ▶ 1x 100mL, graduation: 2mL

Lxlxh: 450x410x1040mm
Poids: env. 13kg

Nécessaire pr le fonctionnement

drain

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 gobelets gradués
- 1 chronomètre
- 1 thermomètre
- 1 sable [1kg; 1...2mm]
- 1 emballage de diatomite [2kg]
- 1 documentation didactique

CE 117

Écoulement à travers des couches de particules



Contenu didactique/essais

- apprentissage des bases de l'écoulement à travers les lits fixes et fluidisés (Darcy)
- détermination du coefficient de perméabilité
- observation du processus de fluidisation
- pertes de charge en fonction du débit, du type, de la taille des particules et de la hauteur de la couche
- détermination de la vitesse de fluidisation et comparaison aux valeurs théoriques calculées
- vérification de l'équation de Carman-Kozeny

Description

- **essais de base relatifs aux mécanismes d'écoulement à travers des couches de particules**
- **écoulement à travers des lits fixes**
- **écoulement à travers des lits fluidisés**
- **pertes de charge dans le lit fixe et le lit fluidisé**

L'écoulement à travers des couches de particules est très répandu dans le génie des procédés. A l'intérieur de réacteurs, des lits fixes et des lits fluidisés sont traversés par des liquides et des gaz. Une application possible concerne la filtration sur gâteau ou en profondeur où les matières solides contenues dans la suspension peuvent être séparées.

Le CE 117 permet d'étudier les bases hydrodynamiques de l'écoulement à travers des lits fixes et fluidisés.

On dispose à cet effet d'un réservoir d'essai en verre, qui peut être traversé des deux côtés par de l'eau. Une plaque frittée sert de support pour les couches filtrantes.

L'alimentation en eau vers le réservoir d'essai est réalisée en se raccordant au réseau du laboratoire. Pour l'étude de l'écoulement à travers des lits fixes, l'eau entre dans le réservoir d'essai par le haut. Elle traverse le lit fixe et la plaque frittée avant d'être évacuée au travers d'un distributeur.

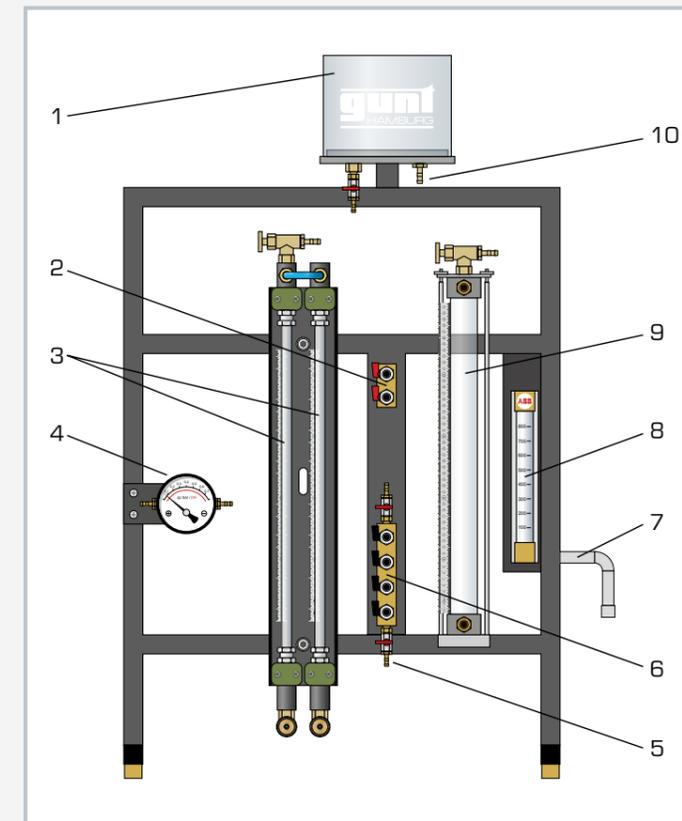
Des accouplements rapides permettent de modifier le montage expérimental. Ainsi, le sens d'écoulement dans le réservoir d'essai peut être inversé pour l'étude des lits fluidisés. L'eau remonte à travers la plaque frittée poreuse et la couche. Si la vitesse de l'eau est inférieure à la vitesse de fluidisation, la couche est simplement traversée.

Si la vitesse est supérieure, il se forme un lit fluidisé. L'eau coule en haut du réservoir d'essai dans un réservoir de compensation puis est évacuée.

Quel que soit le montage utilisé, le débit s'ajuste à l'aide d'une vanne et est indiqué par un débitmètre. Deux manomètres possédant des plages de mesure différentes sont prévus pour déterminer la perte de charge dans le lit fixe ou fluidisé. Des vannes permettent de choisir le manomètre souhaité.

CE 117

Écoulement à travers des couches de particules



1 réservoir de compensation, 2 distributeur de l'alimentation, 3 manomètre à tubes, 4 manomètre, 5 orifice de sortie, 6 distributeur pour mesure de pression, 7 alimentation, 8 débitmètre, 9 réservoir d'essai, 10 orifice de sortie

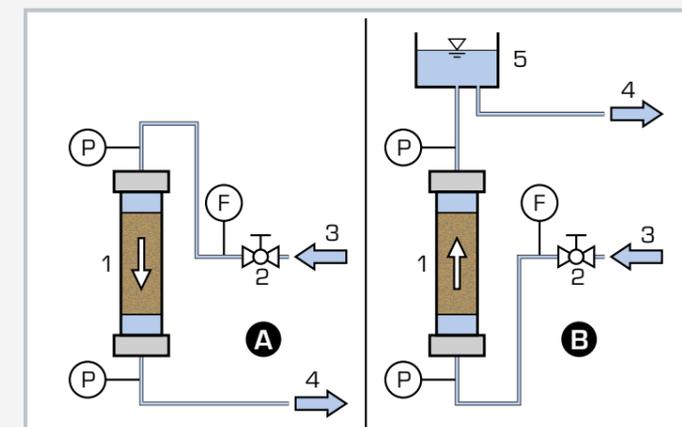


Diagramme du processus pour l'étude des lits fixes (A) ou fluidisés (B): 1 réservoir d'essai (couche de particule), 2 vanne débit, 3 alimentation, 4 sortie, 5 réservoir de compensation; P pression, F débit

Spécification

- [1] étude des propriétés des lits fixes et fluidisés traversés par un liquide
- [2] réservoir d'essai en verre avec un filtre fritté dans le fond
- [3] réservoir d'essai amovible pour le remplissage
- [4] écoulement vers le bas pour l'étude de lits fixes
- [5] écoulement vers le haut pour l'étude de lits fluidisés
- [6] débitmètre avec vanne d'ajustage
- [7] 2 manomètres à plages de mesure différentes pour la mesure des pertes de charge dans le réservoir d'essai
- [8] règle métallique pour la mesure de la hauteur du lit fixe ou fluidisé

Caractéristiques techniques

Réservoir d'essai

- longueur: 510mm
- diamètre intérieur: env. 37mm
- composition: verre DURAN

Filtre fritté

- épaisseur: 2mm
- composition: métal fritté

Réservoir de compensation

- volume: env. 4500mL
- composition: PVC

Plages de mesure

- débit: 82...820mL/min
- pression différentielle:
 - ▶ 2x 0...500mmCA
 - ▶ 1x 0...250mbar
- hauteur: 10...500mm

Lxhx: 690x410x1150mm

Poids: env. 26kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau: env. 1L/min
drain

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 emballage de billes de verre (420...590µm; 1kg)
- 1 emballage de sable (1...2mm; 0,5kg)
- 1 emballage de billes de verre (180...300µm; 0,5kg)
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

CE 287

Filtre-pressé à cadres et à plateaux



Description

- séparation des matières solides dans les suspensions à l'aide d'un filtre-pressé à cadres et à plateaux
- filtration sur gâteau discontinu
- essais adaptés à l'expérimentation à l'échelle du laboratoire

Les filtre-pressés à cadres et à plateaux sont utilisés par exemple dans l'industrie des boissons pour clarifier les produits intermédiaires.

Une suspension de diatomite et d'eau (recommandée) est préparée dans un réservoir. Une pompe maintient la matière solide en suspension et l'empêche de se déposer. La pompe alimente la suspension dans les différents compartiments de séparation du filtre-pressé. Un compartiment de séparation est formé d'un cadre et de deux plateaux filtrants. Les plateaux filtrants sont rainurés et recouvertes de toiles filtrantes. Le filtrat traverse la toile filtrante et coule dans une conduite collectrice via les rainures des plateaux. Le filtrat quitte le filtre-pressé au travers de la conduite collectrice et est recueilli dans le réservoir à filtrat. La matière solide est retenue par la toile filtrante et y forme un gâteau de filtre d'épaisseur croissante.

Plus l'épaisseur du gâteau de filtre augmente, plus sa résistance à l'écoulement devient importante. Lorsque le compartiment de séparation est plein ou qu'une différence de pression maximale est atteinte, le processus de filtration s'arrête. Les cadres et plateaux du filtre-pressé sont écartés. Le gâteau de filtre peut être retiré. Les plaques et plateaux doivent être remis en place pour la filtration suivante. Ils sont serrés entre-eux à l'aide d'une broche. Grâce aux forces de pression, la suspension ne s'échappe pas aux points de contact entre plateaux et cadres mais est pressée à travers la toile filtrante.

Une vanne permet d'ajuster le débit à travers le filtre-pressé. La pression produite pendant la filtration est indiquée par un manomètre. Le réservoir du filtrat est gradué. À l'aide d'un chronomètre, il devient ainsi possible de déterminer le débit. Un turbidimètre fourni permet de déterminer la concentration des matières solides du filtrat. Une étuve est recommandée pour l'analyse des essais.

Contenu didactique/essais

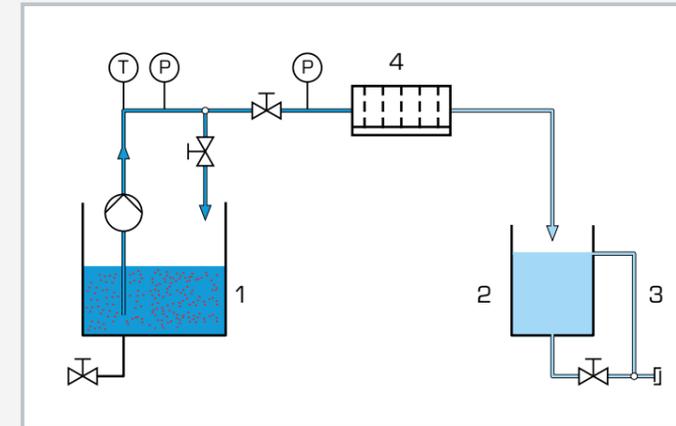
- apprentissage du principe de base et des caractéristiques de fonctionnement d'un filtre-pressé à cadres et à plateaux
- préparation d'une suspension
- élimination du gâteau de filtre
- mise en place de la toile filtrante
- principes de la filtration sur gâteau
 - ▶ équation de Darcy
- évolution de la quantité de filtrat et de la concentration des matières solides du filtrat
- masse du gâteau de filtre en fonction de la quantité de filtrat

CE 287

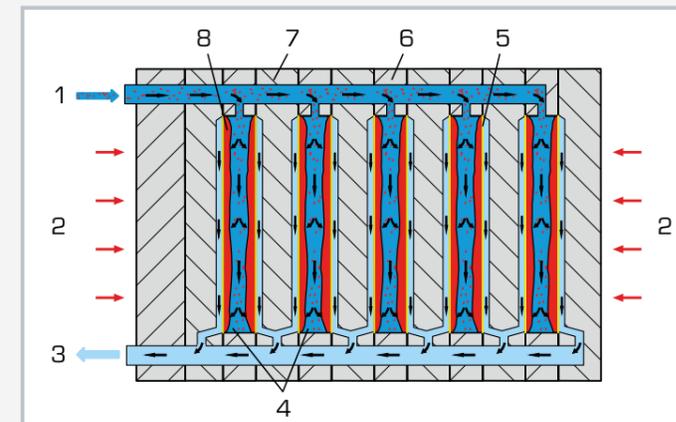
Filtre-pressé à cadres et à plateaux



1 coffret de commande avec les éléments de commande, 2 réservoir de la suspension, 3 orifice de sortie et trop-plein réservoir à filtrat, 4 réservoir du filtrat, 5 broche, 6 filtre-pressé à cadres et à plateaux



1 réservoir avec pompe, 2 réservoir à filtrat, 3 trop-plein, 4 filtre-pressé à cadres et à plateaux; T température, P pression



Principe de base d'un filtre-pressé à cadres et à plateaux: 1 alimentation de la suspension, 2 forces de pression, 3 sortie du filtrat, 4 compartiments de séparation, 5 toile filtrante, 6 cadre, 7 plateau filtrant, 8 gâteau de filtre

Spécification

- [1] filtre-pressé à cadres et à plateaux pour la filtration sur gâteau discontinu
- [2] réservoir en HDPE pour la préparation de la suspension
- [3] pompe centrifuge pour le transport de la suspension vers le filtre-pressé
- [4] filtre-pressé avec 10 compartiments de séparation ouvrables pour l'élimination du gâteau de filtre
- [5] réservoir gradué en PMMA pour le filtrat
- [6] ajustage du débit de la suspension transportée à l'aide d'une vanne
- [7] thermomètre et manomètre en alimentation
- [8] turbidimètre alimenté par batterie pour la détermination de la concentration des matières solides du filtrat

Caractéristiques techniques

Filtre-pressé à cadres et à plateaux

- surface filtrante: env. 0,72m²
- pression de service: env. 0,4...2,5bar

Pompe centrifuge (pompe noyée)

- débit de refoulement max.: 4,5m³/h
- hauteur de refoulement max.: 45m

Réservoirs

- réservoir de suspension: 200L
- filtrat: 20L

Plages de mesure

- pression: 0...4bar
- température: 0...60°C
- turbidité: 0...50,0NTU

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1900x800x1900mm
Poids: env. 208kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 turbidimètre
- 1 emballage de diatomite (20kg)
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

CE 283

Filtre cellulaire à tambour



Contenu didactique/essais

- apprentissage du principe de base et des caractéristiques de fonctionnement d'un filtre cellulaire à tambour
- bases de la filtration sur gâteau
- évolution de la quantité de filtrat, de la masse et de l'épaisseur du gâteau du filtre
- masse et épaisseur du gâteau du filtre en fonction de la quantité de filtrat, de la dépression et de la vitesse de rotation du tambour

Description

- séparation des matières solides dans les suspensions
- élimination continue du gâteau de filtre
- essais adaptés à l'expérimentation à l'échelle du laboratoire

Les filtres cellulaires à tambour permettent de séparer les matières solides en continu dans les suspensions.

Une suspension de diatomite et d'eau est préparée à l'aide du préparateur de suspension. Une pompe alimente la suspension dans le réservoir du filtre cellulaire à tambour. Un mobile d'agitation maintient les particules solides en suspension. Une partie du tambour rotatif plonge dans la suspension. L'enveloppe du tambour est perforée et recouverte d'une toile filtrante. Le tambour est subdivisé en cellules. Chaque cellule est reliée à une conduite à dépression par un arbre creux.

Sous l'effet de la dépression, le filtrat est aspiré dans le tambour à travers la toile filtrante puis entre dans un réservoir en dépression. La matière solide est séparée par la toile filtrante. Il se forme par conséquent dans la partie immergée du tambour un gâteau sur le filtre dont l'épaisseur augmente dans le sens de la rotation.

Lorsque le gâteau du filtre émerge de la suspension suite à la rotation du tambour, l'eau est évacuée par la dépression environnante. Un racloir sépare le gâteau du tambour avant que celui-ci ne replonge dans la suspension. Le gâteau du filtre peut également être retiré à l'aide d'air comprimé. Le gâteau du filtre tombe dans un réservoir collecteur.

Le débit d'alimentation de la suspension est ajusté au niveau du préparateur de suspension. La hauteur de remplissage du réservoir éipient contenant la suspension pour le filtre cellulaire à tambour peut être ajustée à l'aide d'un trop-plein ajustable. La dépression est affichée par un manomètre sur le réservoir à dépression. La vitesse de rotation du tambour est ajustable en continu.

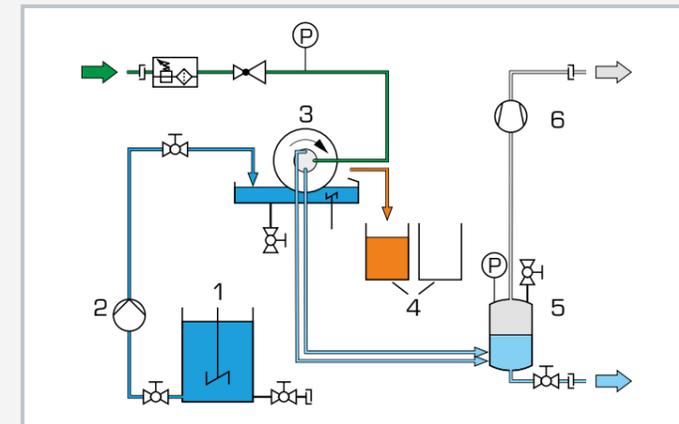
Un raccord d'air comprimé et un raccord de dépression sont nécessaires pour le fonctionnement du banc d'essai.

CE 283

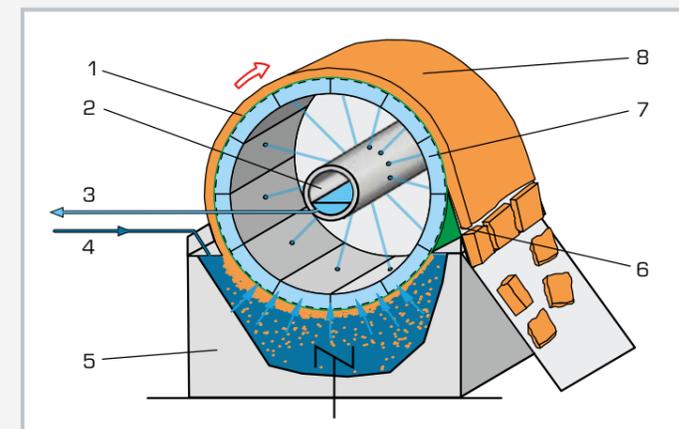
Filtre cellulaire à tambour



1 réservoir collecteur pour gâteau de filtre, 2 balances, 3 réservoir de réserve à suspension, 4 réservoir à dépression filtrat, 5 trop-plein/sortie, 6 filtre cellulaire à tambour, 7 raccord de dépression, 8 agitateur



1 réservoir de réserve à suspension, 2 pompe en suspension, 3 filtre cellulaire à tambour, 4 réservoir collecteur pour gâteau de filtre, 5 réservoir à dépression filtrat, 6 ventilateur d'aspiration; P pression; bleu clair: filtrat, bleu foncé: suspension, orange: gâteau de filtre, gris: dépression, vert: air comprimé



Principe de base d'un filtre cellulaire à tambour: 1 tambour perforé avec toile filtrante, 2 arbre creux, 3 dépression (filtrat), 4 alimentation de la suspension, 5 réservoir à suspension, 6 élimination du gâteau du filtre, 7 cellule, 8 gâteau du filtre

Spécification

- [1] filtration sur gâteau continue des suspensions avec un filtre cellulaire à tambour
- [2] tambour perforé rotatif, plongeant en partie dans la suspension, avec toile filtrante
- [3] dépression à l'intérieur du tambour pour l'aspiration du filtrat et le séchage du gâteau du filtre
- [4] élimination continue du gâteau du filtre par un racloir ajustable ou de l'air comprimé
- [5] ajustage en continu de la vitesse de rotation du tambour
- [6] réservoir à dépression en plastique pour recueillir le filtrat
- [7] réservoir à suspension avec mobile d'agitation et trop-plein
- [8] réservoir collecteur en plastique pour le gâteau de filtre
- [9] préparation et transport de la suspension avec le préparateur de suspension intégré
- [10] pompe péristaltique comme pompe en suspension

Caractéristiques techniques

Filtre cellulaire à tambour

- surface filtrante: env. 0,1 m²
- vitesse de rotation: env. 0,1...2 min⁻¹
- puissance absorbée du moteur: env. 200W

Mobile d'agitation

- vitesse de rotation: env. 15 min⁻¹
- puissance absorbée du moteur: env. 200W

Pompe en suspension

- débit max.: 160L/h
- pression max.: 6bar

Réservoirs

- réservoir à dépression filtrat: env. 30L
- 2 réservoirs collecteur pour gâteau de filtre: env. 30L
- réservoir à suspension: env. 5,5L, max. 10bar
- réservoir de réserve à suspension: env. 200L
- D'agitation dans le réservoir de réserve à suspension
- vitesse de rotation: env. 600 min⁻¹
- puissance absorbée: 40W

Plages de mesure

- pression: 0...1 bar (air comprimé)
- vide: -1...0bar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxhx: 2180x790x1900mm
Poids: env. 285g

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain
air comprimé: 3000L/h, min. 0,3bar

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

CE 284

Filtre Nutsche sous vide



Description

■ filtration sur gâteau avec un filtre Nutsche sous vide

Les filtres Nutsche sous vide sont utilisés pour la filtration sur gâteau en continu de suspensions à forte concentration des matières solides. Une suspension de diatomite et d'eau est préparée avec le préparateur de suspension CE 285 et alimentée par le haut dans le filtre Nutsche où se trouve un sachet-filtre. La matière séparée forme dans le sachet-filtre un gâteau de filtre d'épaisseur croissante. Sous l'effet de la dépression qui règne dans la partie inférieure du filtre Nutsche, le filtrat est aspiré à travers le sachet-filtre et le gâteau de filtre se forme.

À l'issue de la filtration, le gâteau de filtre est lavé à l'aide d'un liquide (eau) et séché par la dépression environnante. La documentation didactique bien structurée expose les principes de base et guide l'étudiant dans la réalisation des essais.

Contenu didactique/essais

- principe de base et caractéristiques de fonctionnement d'un filtre Nutsche sous vide
- principe de la filtration sur gâteau: équation de Darcy
- masse et épaisseur du gâteau de filtre en fonction de la quantité de filtrat

Spécification

- [1] filtre Nutsche sous vide pour la filtration discontinue sur gâteau
- [2] réservoir de filtre Nutsche ouvert, en 2 parties, avec une bride et un fond à tamis
- [3] partie inférieure pour l'aspiration et l'accumulation du filtrat
- [4] partie supérieure avec un sachet-filtre pour la formation du gâteau de filtre
- [5] sachet-filtre en polyester
- [6] manomètre pour l'affichage de la dépression dans la partie inférieure
- [7] 2 regards pour l'observation du niveau de remplissage dans la partie inférieure
- [8] préparation et alimentation de la suspension avec le préparateur de suspension CE 285

Caractéristiques techniques

- Réservoir de filtre Nutsche
- diamètre intérieur: env. 300mm
 - volume: env. 55L
 - pression admissible: -1bar
 - composition: acier inoxydable

- Manomètre
- Ø 160mm

- Plages de mesure
- pression: -1...0bar

- Lxlxh: 600x900x1900mm
Poids: env. 100kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain; raccord à dépression (200L/min, 200mbar abs.)

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

CE 286

Filtre Nutsche sous pression



Description

■ filtration sur gâteau avec un filtre Nutsche sous pression

Les filtres Nutsche sont utilisés pour la filtration sur gâteau en continu de suspensions à forte concentration en matières solides. Une suspension de diatomite et d'eau est préparée avec le préparateur de suspension CE 285 et alimentée par le haut du filtre Nutsche. La bride inférieure du filtre Nutsche comporte un fond à tamis avec une toile filtrante. La matière séparée forme sur la toile filtrante un gâteau de filtre d'épaisseur croissante. Sous l'effet de la surpression qui règne dans la partie supérieure du filtre Nutsche, le filtrat est pressé à travers la toile filtrante et le gâteau de filtre.

Il s'accumule dans la partie inférieure du récipient. À l'issue de la filtration, le gâteau de filtre est lavé à l'aide d'un liquide (eau) et séché par un écoulement d'air.

Contenu didactique/essais

- principe de base et caractéristiques de fonctionnement d'un filtre Nutsche sous pression
- principes de la filtration sur gâteau: équation de Darcy
- masse et épaisseur du gâteau de filtre en fonction de la quantité de filtrat

Spécification

- [1] filtre Nutsche sous pression pour la filtration sur gâteau discontinue
- [2] réservoir de filtre Nutsche fermé en 3 parties avec 2 brides et 2 fonds bombés
- [3] bride inférieure comportant un fond à tamis et une toile filtrante en PP
- [4] partie inférieure du réservoir pour l'accumulation du filtrat
- [5] partie centrale pour la formation du gâteau de filtre
- [6] partie supérieure amovible pour l'élimination du gâteau de filtre
- [7] régulateur de pression pour l'ajustage de la surpression dans la partie centrale et supérieure
- [8] 2 manomètres pour l'indication de la pression en amont et en aval du filtre
- [9] 2 regards pour l'observation du niveau de remplissage dans la partie inférieure
- [10] préparation et transport de la suspension avec le préparateur de suspension CE 285

Caractéristiques techniques

- Réservoir de filtre Nutsche
- diamètre intérieur: env. 300mm
 - volume: env. 75L
 - pression admissible: 0,6bar
 - composition: acier inoxydable

- Plages de mesure
- manomètre:
 - ▶ 2x 0...1bar (Ø 160mm)
 - ▶ 1x 0,2...3bar

- Lxlxh: 600x900x1900mm
Poids: env. 120kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'air comprimé: 3bar, raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

CE 285

Préparateur de suspension



Spécification

- [1] unité d'alimentation pour la préparation et le transport de suspensions pour les bancs d'essai de filtration
- [2] réservoir agitateur avec couvercle et agitateur pour la préparation d'une suspension
- [3] pompe à vis excentrée avec commutateur de surpression, protection contre la marche à sec et vitesse de rotation ajustable pour le transport de la suspension

Caractéristiques techniques

Réservoir: 200L, acier inoxydable
 Agitateur
 ■ puissance: 180W
 ■ vitesse de rotation: 1000min⁻¹ (constante)

Pompe
 ■ pression max.: env. 5bar
 ■ débit de refoulement max.: env. 300L/h

Plages de mesure
 ■ manomètre: 0...10bar

400V, 50Hz, 3 phases
 400V, 60Hz, 3 phases
 230V, 60Hz, 3 phases
 UL/CSA en option
 LxIxh: 1850x850x1450mm
 Poids: env. 250kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 préparateur de suspension
- 1 emballage de diatomite
- 1 jeu de flexibles
- 1 documentation didactique

Description

■ unité d'alimentation pour les bancs d'essai de filtration CE 284, CE 286

Le CE 285 alimente les bancs d'essai de filtration en suspension de diatomite et d'eau (recommandée). La suspension est préparée dans le réservoir agitateur. Le mobile d'agitation maintient la matière solide en suspension et l'empêche de se déposer. Une pompe à vis excentrée amène la suspension au banc d'essai.

Le rotor de la pompe se compose d'acier spécial et tourne dans un corps de pompe en élastomère. Un manomètre indique la pression. Un commutateur de surpression arrête la pompe lorsque la pression est excessive. Un capteur de température protège la pompe de la marche à sec.

Un potentiomètre permet d'ajuster la vitesse de rotation de la pompe. Le réservoir agitateur est muni d'un indicateur de niveau et de trois chicanes. Tous les éléments nécessaires au raccord de l'unité d'alimentation au banc d'essai de filtration sont fournis.

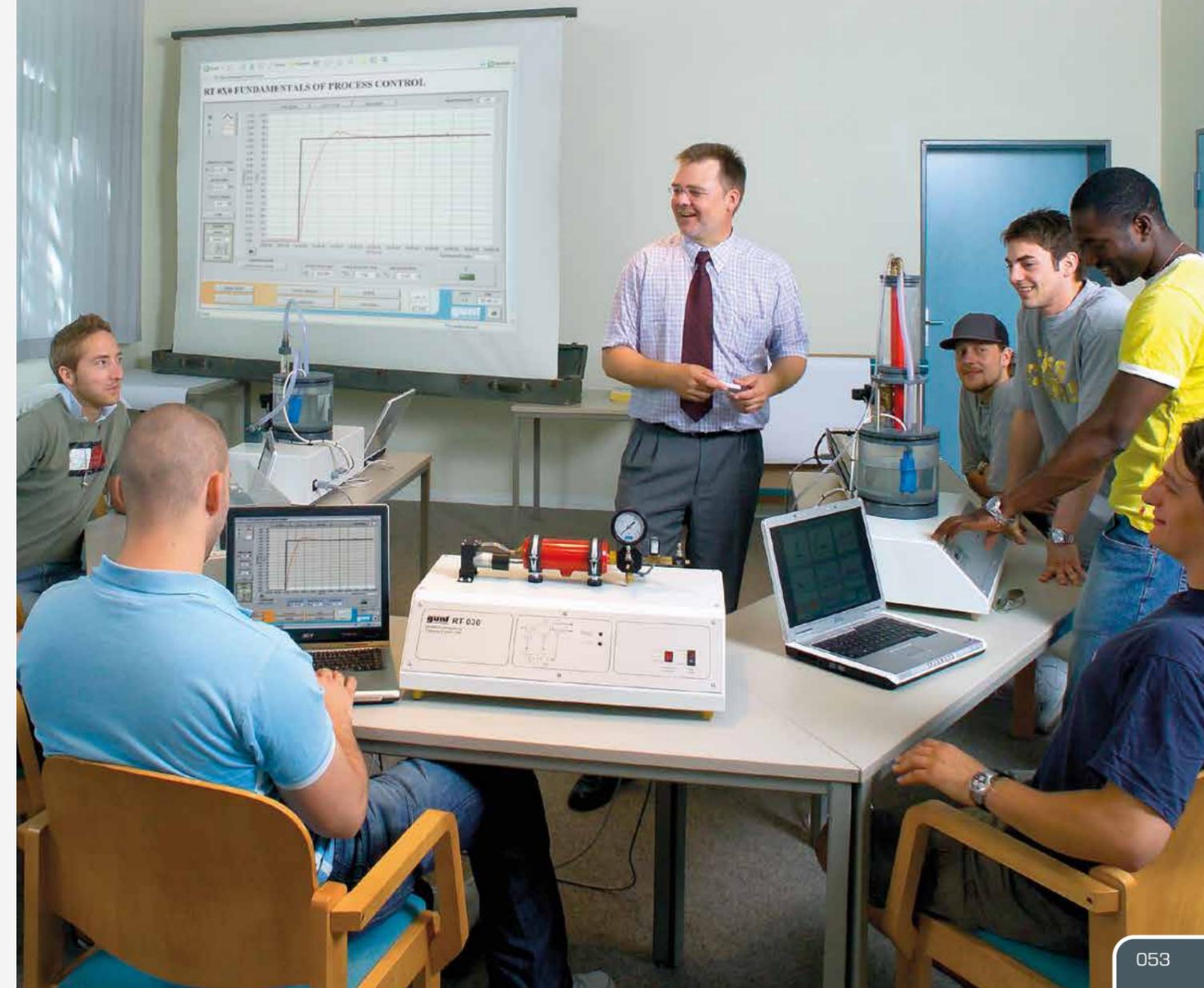
Acquisition des données et visualisation



Évaluation et analyse optimisées des essais

Les logiciels GUNT sont toujours accompagnés d'un support en ligne important permettant d'en expliquer les fonctions et l'utilisation.

Les logiciels GUNT sont développés et suivis en interne par un groupe d'ingénieurs expérimentés.



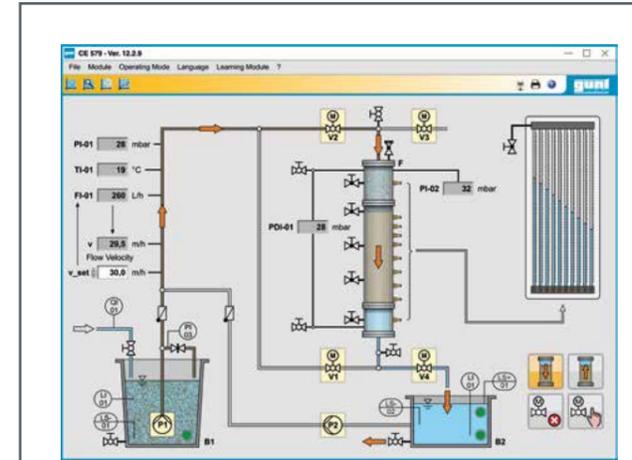
Aperçu CE 579 Filtration en profondeur

Filtration en profondeur: une étape incontournable du traitement de l'eau

La filtration en profondeur représente une étape importante et souvent utilisée dans les procédés de traitement de l'eau. C'est pourquoi l'acquisition de connaissances solides sur le principe de fonctionnement et les particularités de ce procédé représente un élément important de la formation des futurs ingénieurs et techniciens.

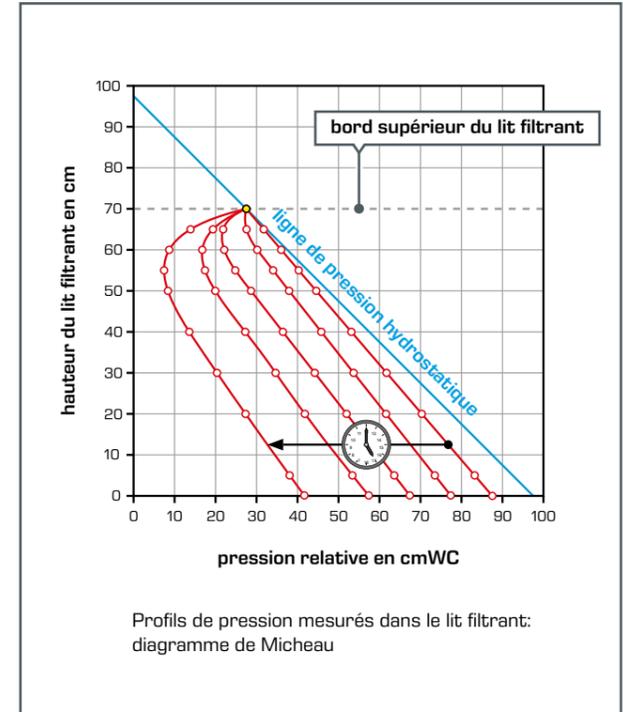
D'un point de vue didactique est centré sur l'étude des rapports de pression. Pour mesurer les pressions, le filtre est équipé d'un système de mesure de la pression différentielle et comporte de nombreux points de mesure le long du lit filtrant.

Ces points de mesure peuvent être reliés à un tableau des manomètres afin de bien visualiser les rapports de pression dans le lit filtrant et de les mesurer de manière très précise. L'utilisation d'un tube filtrant transparent permet d'observer aussi de visu le chargement progressif du lit filtrant. Si nécessaire, il est possible de procéder à un rinçage à contre-courant du filtre.



Logiciel

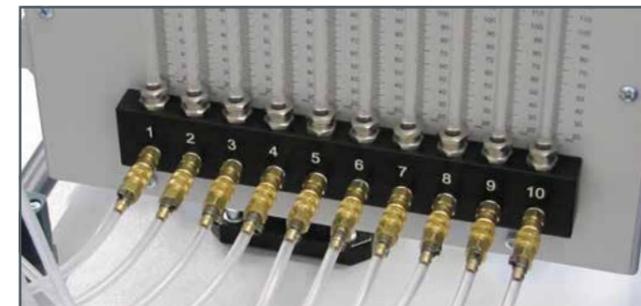
Le logiciel bien conçu du CE 579 affiche en continu les valeurs de toutes les grandeurs du processus importantes. Vous avez bien entendu la possibilité d'enregistrer les valeurs de mesure pour l'exploitation. Selon le mode sélectionné (filtration ou rinçage à contre-courant), le logiciel ajuste des robinets électriques sur la position correspondante.



Robinet électrique



Convertisseurs de fréquence pour contrôler les pompes



Connexions sur le tableau des manomètres pour mesurer le cours de la pression dans le lit filtrant

Contenu didactique

- conditions de pression dans un filtre
- facteurs influençant la perte de pression (loi de Darcy)
 - ▶ débit
 - ▶ hauteur du lit filtrant
 - ▶ perméabilité du lit filtrant
- déterminer la pression dans le lit filtrant (diagramme de Michéou)
- rinçage à contre-courant du filtre
 - ▶ observer le processus de fluidisation
 - ▶ déterminer l'expansion du lit filtrant
 - ▶ déterminer la vitesse d'écoulement nécessaire (vitesse de fluidisation)

Sur le produit:



CE 579

Filtration en profondeur



L'illustration montre: banc d'essai (à gauche) et unité d'alimentation (à droite).

Description

- filtration et rinçage à contre-courant
- conditions de pression dans un filtre
- logiciel de commande et acquisition de données

La filtration en profondeur est un procédé unitaire important du traitement de l'eau. Le CE 579 permet de mettre en évidence ce procédé.

L'eau brute polluée par les matières solides est introduite depuis le haut dans un filtre à l'aide d'une pompe. Lorsque l'eau brute traverse le lit filtrant, les matières solides sont retenues. L'eau, quant à elle, traverse le lit filtrant et est évacuée au niveau de l'extrémité inférieure du filtre. L'eau pure (filtrat) s'écoule ensuite dans un réservoir collecteur. Progressivement, un nombre croissant des matières solides se dépose dans le lit filtrant. Ceci entraîne une augmentation de la résistance à l'écoulement du lit filtrant. Ce phénomène est mis en évidence par la perte de pression croissante entre l'entrée et la sortie du filtre. Le débit à travers le filtre diminue. Un rinçage à contre-courant avec l'eau pure permet de nettoyer le lit filtrant et de réduire à nouveau la perte de pression.

Le filtre est équipé d'un dispositif de mesure de la pression différentielle. Plusieurs points de mesure de la pression sont également disposés le long du lit filtrant. Les pressions sont transmises au manomètres à tubes grâce à des flexibles et sont indiquées en hauteur de colonne d'eau. Les diagrammes de Micheau peuvent ainsi être établis. Le débit, la température, la pression différentielle et la pression du système sont enregistrés. La vitesse d'écoulement dans le lit filtrant peut être ajustée. Des prélèvements peuvent être pris à tous les points pertinents. La hauteur du lit filtrant peut être lue sur une échelle. La hauteur du lit filtrant peut être lue sur une échelle.

Un logiciel de contrôle des états de fonctionnement et d'acquisition de données est disponible. Un schéma de processus indique en permanence l'état de fonctionnement des différents éléments et les données enregistrées. Il est possible d'utiliser p.ex. du diatomite pour produire l'eau brute.

Contenu didactique/essais

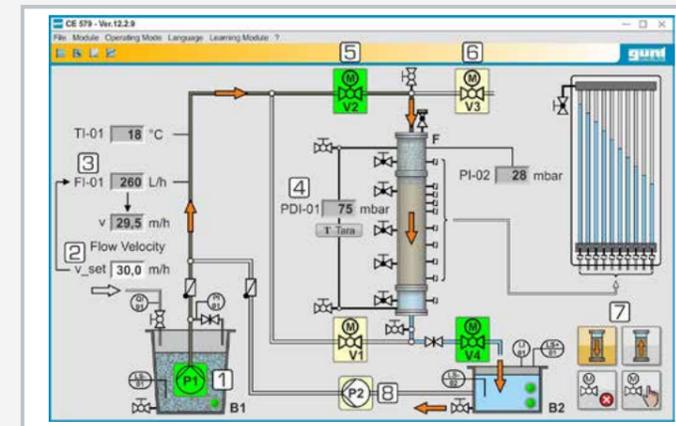
- conditions de pression dans un filtre
- facteurs influençant la perte de pression (loi de Darcy)
 - ▶ débit
 - ▶ hauteur du lit filtrant
 - ▶ perméabilité du lit filtrant
- déterminer la pression dans le lit filtrant (diagramme de Micheau)
- rinçage à contre-courant des filtres
 - ▶ observer le processus de fluidisation
 - ▶ déterminer l'expansion du lit filtrant
 - ▶ déterminer la vitesse d'écoulement nécessaire (vitesse de fluidisation)

CE 579

Filtration en profondeur



1 réservoir d'eau pure, 2 pompe de rinçage à contre-courant, 3 tableau des manomètres, 4 capteur de pression différentielle, 5 filtre, 6 capteur de pression du système, 7 robinet à tournant sphérique avec moteur, 8 capteur de débit, 9 armoire de commande



Logiciel de CE 579 (état de fonctionnement: filtration)

1 pompe d'eau brute (en opération), 2 ajustage de la vitesse d'écoulement, 3 débit, 4 pression différentielle, 5 robinet à tournant sphérique avec moteur (ouvert), 6 robinet à tournant sphérique avec moteur (fermé), 7 ajustage des robinets à tournant sphérique avec moteur, 8 pompe de rinçage à contre-courant (non opérationnel)

Spécification

- [1] filtration en profondeur et rinçage à contre-courant
- [2] unité d'alimentation séparée avec un réservoir et une pompe d'eau brute
- [3] pompe pour rincer du filtre à contre-courant
- [4] 10 manomètres à tubes pour déterminer les pressions
- [5] établissement des diagrammes de Micheau
- [6] débitmètre à induction magnétique
- [7] 4 robinets à tournant sphérique avec moteur
- [8] enregistrement du débit, de la pression différentielle, de la pression du système et de la température
- [9] régulation de la vitesse d'écoulement
- [10] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Filtre

- diamètre intérieur: 106mm
- hauteur totale: 1125mm
- hauteur du lit filtrant max.: env. 700mm

Pompe d'eau brute

- débit de refoulement max.: 150L/min
- hauteur de refoulement max.: 9m

Pompe de rinçage à contre-courant

- débit de refoulement max.: 40L/min
- hauteur de refoulement max.: 10m

Réservoirs pour l'eau brute et l'eau pure

- volume: 180L chacun

Plages de mesure

- débit: 0...1300L/h
- pression: 1x 0...0,6bar, 10x 0...1260mmCA
- pression différentielle: -1...1bar
- température: 0...100°C
- hauteur du lit filtrant: 0...720mm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase, 230V, 60Hz, 3 phases

UL/CSA en option

Lxlxh: 1900x790x1900mm banc d'essai

Lxlxh: 1200x790x1200mm unité d'alimentation

Poids total: env. 370kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain, PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 unité d'alimentation, 1 jeu de flexibles
- 1 emballage de gravier, 1 emballage de diatomite
- 1 tamis avec fond de collecte, 5 gobelets gradués
- 1 logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

Connaissances de base Broyage

Le broyage consiste à modifier la taille des particules, la forme des particules et la surface de matières solides. Pratiquement toutes les matières solides nécessitent un broyage au cours de leur production ou transformation.

■ Production de produits intermédiaires ou finaux avec des particules de taille donnée

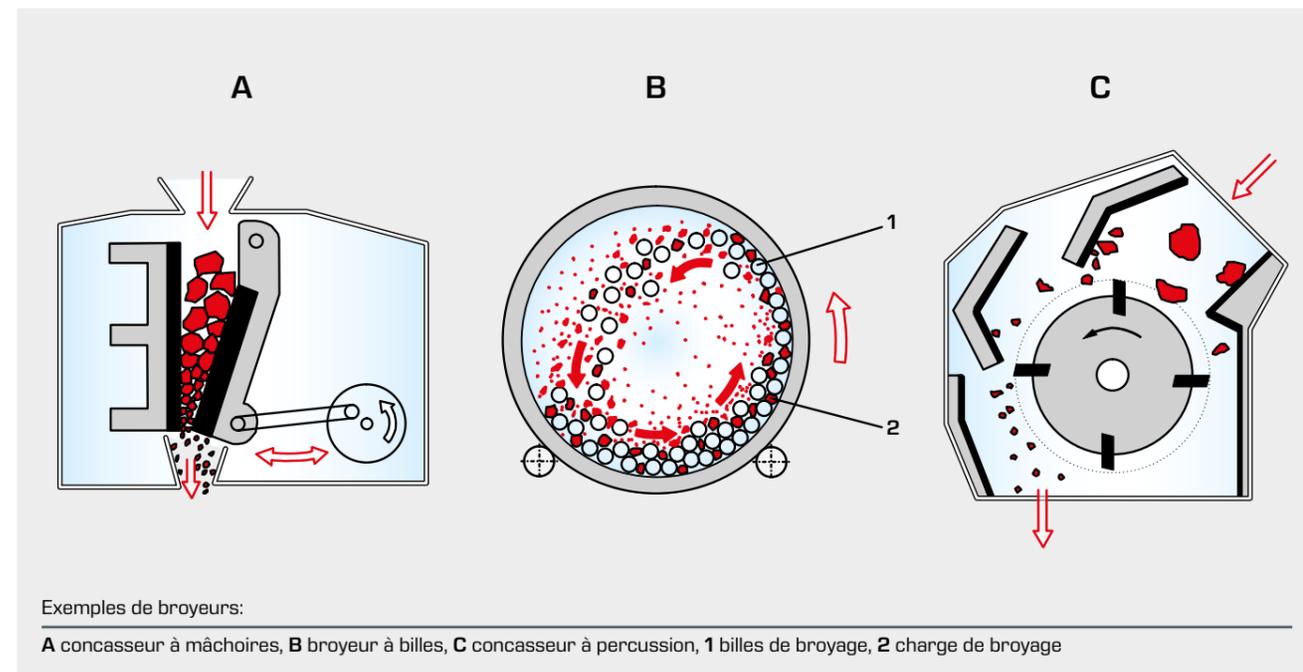
De nombreux processus de transformation de matières solides nécessitent des tailles de particules précises pour la production du produit souhaité. C'est ainsi que les matières thermoplastiques doivent être fournies sous la forme d'un produit primaire constitué de granulés d'une certaine taille pour pouvoir être facilement fondus et transformés.

■ Augmentation de la surface

Les réactions chimiques sont d'autant plus rapides que la surface des substances qui interagissent est grande. Ainsi, la poussière de charbon finement moulue brûle de façon explosive tandis que les gros morceaux de charbon ne se consomment que lentement. La dissolution de sels dans un liquide est également d'autant plus rapide que les particules sont de petite taille.

■ Récupération de matières valorisables dans un mélange de matières solides

Les déchets, les matières brutes minérales et végétales sont constitués de différents composants. Pour extraire les éléments valorisables en vue de les réutiliser, il est nécessaire de broyer les matières brutes. Le processus de broyage est souvent suivi d'un processus de tri dans le but de séparer la matière valorisable. L'extraction de minerais de fer dans les mélanges de roches est un exemple important de cette technique.



Le résultat du broyage dépend essentiellement du type de contrainte appliquée. Avec la plupart des broyeurs, les contraintes se font entre deux surfaces solides ou par percussion:

■ Contrainte entre des surfaces solides

Les particules se trouvent entre deux surfaces qui se déplacent l'une par rapport à l'autre. Les particules sont soumises par ex. à une pression, un cisaillement, un choc ou une coupe. Une telle contrainte est exercée par ex. par des concasseurs à mâchoires, des broyeurs à rouleaux ou des broyeurs à billes.

■ Contrainte par percussion

Les particules viennent percuter à vitesse élevée une paroi fixe ou un outil se déplace vers une particule mobile. Le broyage peut également être produit par la collision de deux particules. Les concasseurs à percussion et les broyeurs à marteaux sont typiques des machines réductrices dans lesquelles les particules sont soumises à percussion.

CE 245 Broyeur à billes



Contenu didactique/essais

- mouvements de cascade et de cataracte, vitesse de rotation critique
- puissance nécessaire théorique et réelle
- degré de réduction en fonction du temps de broyage, de la vitesse de rotation, du diamètre des billes, du degré de remplissage en billes, de la matière à moudre

Spécification

- [1] broyage de matières solides avec broyeur à billes
- [2] 2 tambours avec une enveloppe en acier et des faces latérales transparentes, 1 tambour en acier avec des barres de levage
- [3] 1 rouleau d'entraînement à vitesse ajustable, 1 rouleau libre
- [4] entraxes des rouleaux ajustables pour permettre la mise en place de différents tambours
- [5] mesure de la puissance absorbée
- [6] temps de broyage réglable par minuterie

Caractéristiques techniques

2 tambours avec des faces latérales en borosilicate

- Ø 100mm/185mm
- volume: env. 1,15L/7,5L

1 tambour avec des barres de levage

- Ø 185mm
- volume: env. 7,5L

Rouleau d'entraînement, rouleau libre

- Ø env. 50mm

1 jeu de billes de broyage

- Ø 5/10/15mm

Plages de mesure

- puissance absorbée: 0...200W
- vitesse de rotation: 0...370min⁻¹

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
LxIxH: 600x520x460mm
Poids: env. 76kg

Liste de livraison

- 1 broyeur à billes
- 3 tambours de broyage
- 1 jeu de billes de broyage
- 1 documentation didactique

Description

- broyage avec un broyeur à billes
- observation du processus de broyage

Les broyeurs à billes font partie des broyeurs à corps broyants libres. Les tambours peuvent être ouverts à l'avant et remplis de matière à moudre (calcaire recommandé) et de billes. Ils prennent appui sur un rouleau d'entraînement et un rouleau libre à entraxes ajustables. Aux faibles vitesses de rotation, le broyage est produit par le roulement des billes sur la matière à moudre (mouvement de cascade). Aux vitesses supérieures, certaines billes remontent le long de la paroi, se détachent et tombent sur le solide (mouvement de cataracte). Au-delà de la vitesse critique, aucune réduction de taille ne se produit en raison des forces centrifuges. Les faces transparentes des tambours permettent d'observer les mouvements.

Pour permettre de comparer la puissance nécessaire théorique et réelle, la puissance absorbée du moteur d'entraînement est indiquée par un afficheur numérique. Une tamiseuse (CE 264) est recommandée pour évaluer le résultat du broyage.

Connaissances de base Mélange

Mélanger est le contraire de séparer. Les matières à mélanger peuvent être gazeuses, liquides ou solides. Le mélange de matières solides concerne des substances pulvérulentes ou granuleuses, l'objectif consistant à obtenir une répartition aussi homogène que possible. Au cours de l'agitation, la phase continue est liquide. Un liquide, un gaz ou une matière solide est mélangé à la phase continue. Les principales applications de l'agitation sont les suivantes:

■ Mélange de liquides solubles entre eux

L'objectif est d'homogénéiser la concentration et la température du mélange. En outre, il est possible de contrôler le déroulement de la réaction dans le mélange car la vitesse de réaction dépend de la qualité du mélange des réactifs.

■ Mélange de liquides non solubles entre eux (émulsion)

La phase liquide dispersée est présente sous forme de gouttelettes dans l'autre phase liquide. C'est le cas par exemple des crèmes et lotions cosmétiques.

■ Dissolution de matières solides solubles dans des liquides

La matière solide est dissoute dans le liquide sous forme d'atomes, de molécules ou d'ions. Une fois dissoute, la matière solide n'est plus reconnaissable en tant que telle. L'agitation accélère la dissolution.

■ Dispersion d'une matière solide insoluble dans un liquide (suspension)

Les suspensions obtenues ont tendance à se déstabiliser, c'est-à-dire que les particules solides décantent avec le temps. Les suspensions ne sont stables qu'avec des particules dont la taille est inférieure à $1\mu\text{m}$. On peut citer comme exemple les peintures, dans lesquelles les pigments sont en suspension dans des résines.

Exemple

Lors de la fabrication de comprimés, un mauvais mélange des substances entraînerait des teneurs en principes actifs différentes dans les comprimés.

■ Bullage de liquides

Des bulles de gaz sont finement réparties dans le liquide au travers d'une tôle perforée ou d'autres types d'injecteurs. On peut citer comme application la précipitation des oxydes de fer par injection d'air dans le domaine du traitement des eaux usées.

Différents mobiles d'agitation sont utilisés, suivant les cas. Ils se distinguent notamment par le champ d'écoulement produit. Il existe des agitateurs à débit axial, radial et tangentiel. Des chicanes sont utilisées pour empêcher l'ensemble du contenu de tourner avec l'agitateur.

Connaissances de base Agglomération

Agglomérer est le contraire de réduire. Les termes d'agglomération, de granulation et de pelletisation désignent le processus d'agrandissement des grains de matières solides. Des particules fines et pulvérulentes sont assemblées en éléments de taille supérieure. Ces éléments peuvent être appelés floccs, granulés, agglomérats, boulettes, briquettes ou pastilles. Le recours à un procédé d'agglomération peut être motivé par l'amélioration des caractéristiques d'écoulement, par une meilleure miscibilité, par la réduction de la production de poussière ou par l'obtention d'une forme, taille, porosité, solidité voulue, etc.

On distingue notamment les procédés d'agglomération suivants:

■ Agglomération par accumulation

Des particules mobiles s'agglomèrent pour former des éléments de plus grande taille ou s'agglomèrent à des éléments déjà existants. Des liants liquides sont souvent utilisés. L'agglomération par accumulation peut se dérouler dans des lits fluidisés.

Dans le cas de l'agglomération par bouletage, des éléments de grande taille se forment par roulement selon le principe de la boule de neige. La mise en œuvre technique fait appel à des cuves de granulation, des tambours de granulation ou des mélangeurs.

■ Agglomération par compression

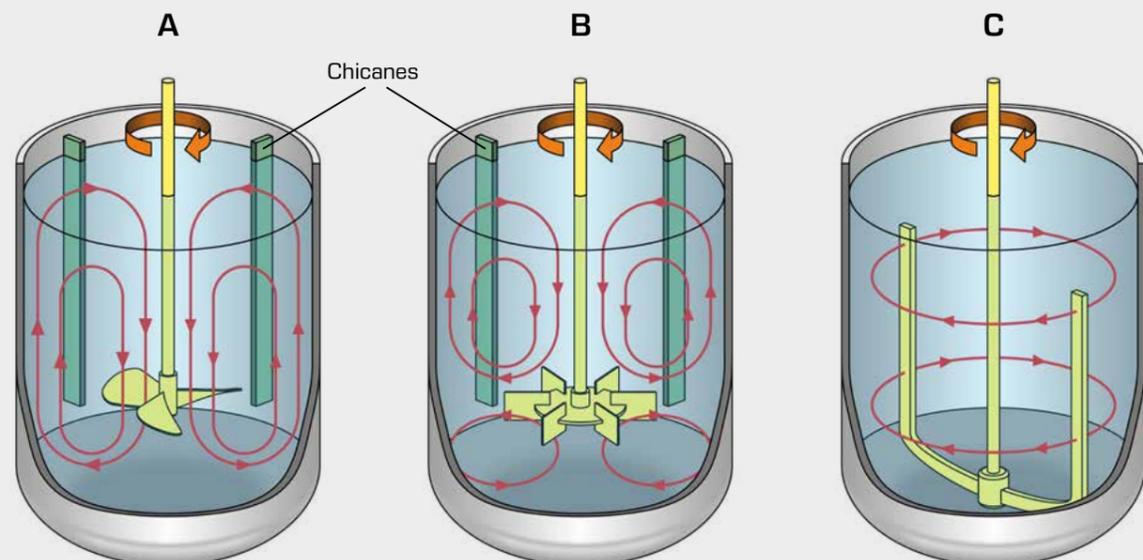
Un agglomérat est formé en soumettant une matière solide pulvérulente à des pressions externes. Pour la fabrication de pastilles, la poudre est compactée par un poinçon. Une autre application est la presse à cylindres, qui fait appel à deux cylindres lisses (pour l'obtention d'agglomérats irréguliers) ou à des cylindres présentant des renforcements (pour l'obtention de briquettes ou autres formes).

■ Autres procédés: floculation pour la séparation de matières en suspension dans un liquide, frittage.

Suivant le procédé, plusieurs types de liaison avec différentes forces de cohésion interviennent (voir la figure). On distingue principalement les mécanismes avec et sans liaison matérielle. Les ponts solides obtenus par frittage sont les plus robustes. Mais d'autres procédés permettent d'obtenir des ponts solides moyennant l'utilisation de liants à effet durcissant ou cristallisant.

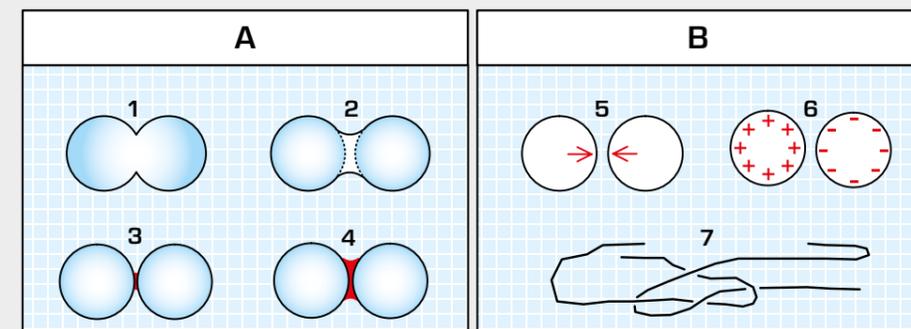
L'adhérence par ponts liquides joue un rôle important dans le cas de l'agglomération par accumulation. Suivant le rapport liquide/matière solide, le type de liquide et la forme et la taille des pores, il se forme des couches d'adsorption fortement liées à la surface ou des ponts liquides mobiles.

Avec les forces de van der Waals et les forces électrostatiques, il n'y a pas de liaison matérielle. Les forces de van der Waals jouent un rôle important dans l'agglomération par compression. Les matières fibreuses telles que le papier et le feutre présentent des liaisons par concordance de formes.



Champs d'écoulement fréquemment rencontrés dans les réservoirs de mélange:

A agitateur à hélice (axial), B turbine Rushton (radial), C agitateur à ancre (tangentiel)



Mécanismes de liaison des agglomérats:

A mécanismes à liaison matérielle, B mécanismes sans liaison matérielle

1 pont solide par frittage, 2 pont solide en liant durcissant ou cristallisant, 3 pont liquide avec une couche d'adsorption fixe, 4 pont liquide mobile, 5 attraction par forces de van der Waals, 6 attraction électrostatique, 7 liaison par concordance de formes



CE 320
Agitation**Contenu didactique/essais**

- champs d'écoulement de différents types de mobiles d'agitation
- puissance nécessaire, temps de mélange, qualité de mélange en fonction
 - ▶ du type de mobile d'agitation
 - ▶ de la vitesse de rotation
 - ▶ des produits utilisés (densité, viscosité)
 - ▶ de la mise en place de chicanes
- observation de l'état de suspension de matières solides avec différents types de mobiles d'agitation et vitesses de rotation
- observation de la taille des gouttes des émulsions avec différents types de mobiles d'agitation et vitesses de rotation

Description

- visualisation des champs d'écoulement lors de l'utilisation de différents types de mobiles d'agitation
- puissant agitateur à vitesse de rotation réglable
- détermination du temps de mélange de solutions
- mélange d'émulsions et de suspensions
- puissance nécessaire pour l'agitation

Au cours de l'agitation, la phase continue est liquide. Le CE 320 permet d'étudier la préparation de solutions (matière solide dissoute dans un liquide), d'émulsions (mélange de liquides non solubles entre eux) et de suspensions (matière solide non soluble dans un liquide).

Le mélange est effectué dans un réservoir à l'épreuve des produits chimiques et de la température. Le puissant agitateur permet même de réaliser des mélanges de produits fortement visqueux. La vitesse de rotation est réglable et le couple est indiqué par un afficheur numérique, ce qui permet de déterminer la puissance nécessaire.

Onze mobiles d'agitation différents, facilement interchangeables, sont disponibles. Des boules en plastique dispersées dans le fluide permet d'observer les champs d'écoulement caractéristiques des différents mobiles d'agitation.

Des chicanes peuvent être placés dans le réservoir pour étudier leur influence sur le processus de mélange. Un conductimètre est disponible pour déterminer le temps de mélange et la qualité de mélange des solutions. L'appareil permet également de mesurer les températures.

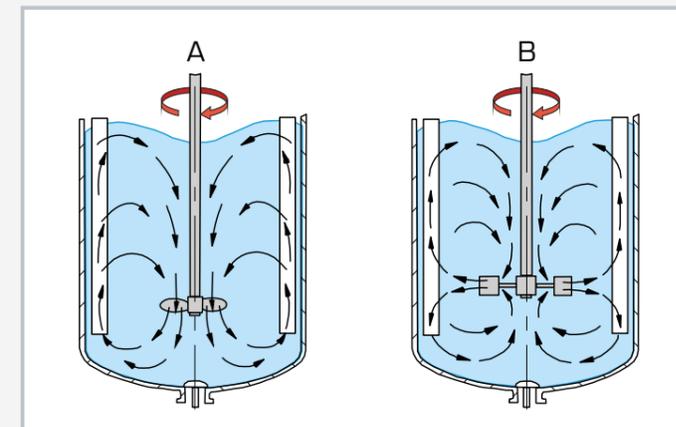
Un serpentin amovible sert d'échangeur de chaleur. Il peut être utilisé avec de l'eau fournie par le laboratoire pour le chauffage ou le refroidissement. Une vanne d'arrêt à réglage précis sert à régler le débit. Ceci permet d'étudier l'influence des variations de température sur le processus de mélange, par. ex. à cause de la dépendance thermique la viscosité de fluide.

CE 320
Agitation

1 agitateur avec indicateur de vitesse de rotation et de couple, 2 agitateur à turbine et arbre fileté pour mobiles d'agitation, 3 éléments d'agitation, 4 conductimètre, 5 sortie, 6 chicanes, 7 serpentin, 8 vanne d'arrêt pour le serpentin



1 agitateurs à hélice, 2 agitateurs à pale, 3 arbre fileté pour mobiles d'agitation, 4 agitateur à turbine



Champs d'écoulement dans le réservoir agitateur avec un mobile d'agitation à débit axial (A) et un mobile d'agitation à débit radial (B)

Spécification

- [1] étude des paramètres de mélange lors de l'agitation
- [2] réservoir agitateur transparent avec 4 chicanes amovibles
- [3] agitateur à vitesse de rotation réglable avec affichage numérique du couple
- [4] 11 mobiles d'agitation interchangeables: à débit axial, radial, tangentiel
- [5] serpentin amovible pour le refroidissement ou le chauffage avec une alimentation en eau externe
- [6] appareil portable de mesure de la conductivité et de la température

Caractéristiques techniques**Réservoir agitateur**

- capacité nominale: env. 15L
- composition: verre DURAN et PVDF (fond)

Éléments d'agitation

- 7 agitateurs à hélice
 - ▶ 2x 3 pales, Ø 70mm / 100mm
 - ▶ 1x 4 pales, Ø 70mm
 - ▶ 1x 2 pales, Ø 76mm, à gauche
 - ▶ 1x 2 pales, Ø 76mm, à droite
 - ▶ 2x 2 pales (coudées), Ø 70mm / 100mm
- 3 agitateurs à pale
 - ▶ 2x Ø 70mm avec 3 / 6 trous
 - ▶ 1x Ø 100mm avec 10 trous
- 1 agitateur à turbine avec arbre: Ø 50mm

Serpentin

- diamètre: env. 140mm
- composition: acier inoxydable

Plages de mesure

- conductivité: 0...200mS/cm
- température: -5...100°C
- vitesse de rotation: 50...2000min⁻¹

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1150x825x1950mm
Poids: env. 135kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 11 éléments d'agitation différents
- 1 jeu d'accessoires
- 1 conductimètre
- 1 emballage de boules en plastique
- 1 documentation didactique

Aperçu

CE 322 Rhéologie et qualité de mélange
dans un réservoir agitateur

Les processus de mélange sont largement déterminés par les propriétés d'écoulement des matières impliquées. La description des propriétés d'écoulement est l'objet de la **rhéologie**. Cet appareil permet de déterminer toutes les grandeurs caractéristiques servant à décrire un processus d'agitation. Il s'agit notamment des courbes de mélange et des courbes de puissance.

Le composant principal de l'appareil est un agitateur de haute qualité avec un dispositif intégré pour mesurer le couple. L'agitation s'effectue dans un réservoir circulaire en verre. Cela permet d'observer de manière optimale le processus d'agitation. L'utilisation d'une solution saline permet d'appréhender de manière fiable la progression du processus d'agitation en mesurant la conductibilité électrique. Un vaste choix d'agitateurs de différents types permet la réalisation d'une multitude de variantes d'essais. Les types d'agitateurs suivants sont inclus:

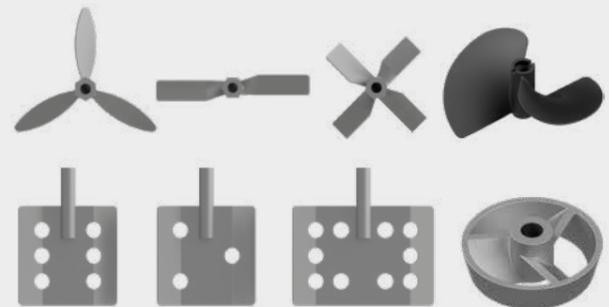
- agitateur à pales inclinées
- agitateur à hélice
- agitateur à pales plates
- agitateur à turbine

Le réservoir agitateur peut être équipé de chicanes, dont le nombre et la position peuvent être modifiés. La viscosité du fluide a une influence décisive sur le processus d'agitation. Comme la viscosité dépend de la température, un échangeur de chaleur sous forme de serpentin peut être inséré dans le réservoir agitateur.

Sur le produit:



Types d'agitateurs



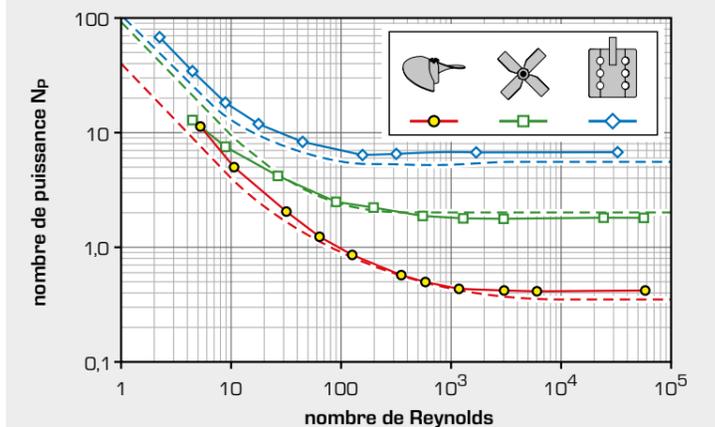
- 1 réservoir agitateur
- 2 débitmètre
- 3 régulateur de débit
- 4 régulateur de température
- 5 affichage numérique pour la conductivité
- 6 capteur de conductivité
- 7 capteur de température
- 8 agitateur avec mesure de couple
- 9 connexions pour l'eau chaude et froide



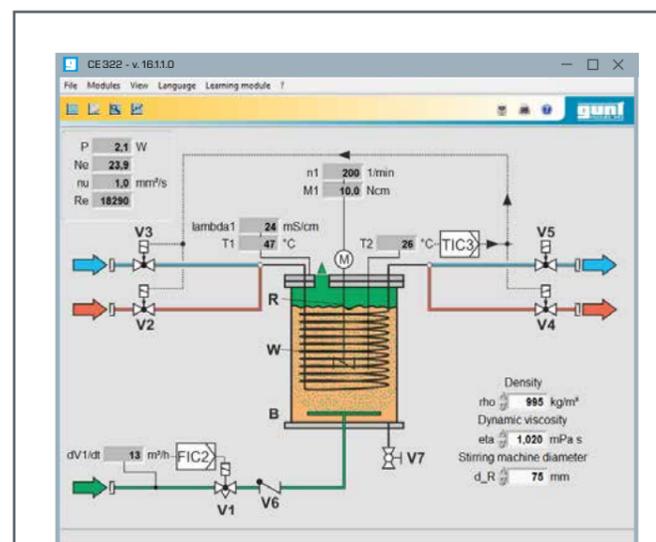
Réservoir agitateur avec échangeur de chaleur intégré

Courbes de puissance

Une courbe de puissance représente le nombre de puissance N_p en fonction du nombre de Reynolds. Le nombre de puissance permet de déterminer la puissance requise d'un agitateur, ce qui est d'une importance capitale pour son dimensionnement. L'évolution d'une courbe de puissance dépend du type d'agitateur.



Courbes de puissance mesurées avec le CE322 comparées aux caractéristiques de la littérature spécialisée



Logiciel du CE322



Logiciel

Les valeurs de mesure sont affichées numériquement. Elles peuvent être transmises via USB à un PC afin d'y être exploitées à l'aide du logiciel fourni.



Contenu didactique

- détermination de caractéristique de temps d'agitation
 - ▶ temps d'agitation et qualité du mélange
 - ▶ indicateur de temps d'agitation
- détermination de courbes de puissance
 - ▶ puissance nécessaire
 - ▶ nombre de puissance (nombre de Newton)
- influence des
 - ▶ type d'agitateur
 - ▶ relations géométriques
 - ▶ vitesse de rotation
 - ▶ substances utilisées (densité, viscosité)
- évaluer l'état du débit par le nombre de Reynolds (laminaire / turbulent)
- mode d'action des contre pales
- fumigation et transfert de chaleur dans réservoirs agitateur
- observation des champs d'écoulement selon le type d'agitateur avec des solutions, émulsions et suspensions

CE 322

Rhéologie et qualité de mélange dans un réservoir agitateur



Contenu didactique/essais

- détermination de caractéristique de temps d'agitation
 - ▶ temps d'agitation et qualité du mélange
 - ▶ indicateur de temps d'agitation
- détermination de courbe de puissance
 - ▶ puissance nécessaire
 - ▶ nombre de puissance (nombre de Newton)
- influence des
 - ▶ type d'agitateur
 - ▶ relations géométriques
 - ▶ vitesse de rotation
 - ▶ substances utilisées (densité, viscosité)
- évaluer l'état du débit par le nombre de Reynolds (laminaire / turbulent)
- mode d'action des contre pales
- fumigation et transfert de chaleur dans réservoirs agitateur
- observation des champs d'écoulement selon le type d'agitateur avec des solutions, émulsions et suspensions

Description

■ agitateur avec mesure directe du couple pour déterminer les courbes de puissance

La fabrication de nombreux produits nécessite de mélanger des substances solides, liquides et gazeuses. Les exigences que doit remplir l'agitateur varient fortement en fonction des matériaux, c'est pourquoi il existe une grande variété d'agitateurs différents.

Au cours de l'agitation, la phase continue est liquide. Le CE 322 permet d'étudier la préparation de solutions (matière solide dissoute dans un liquide), d'émulsions (mélange de liquides insolubles entre eux) et de suspensions (matière solide insoluble dans un liquide).

Le processus de mélange a lieu dans un réservoir agitateur avec serpentin, chicanes et distributeur de gaz dans le fond.

Tous les éléments intégrés sont amovibles. L'agitateur est situé au-dessus de la cuve agitée; et peut être abaissé; sa puissance permet l'étude de substances visqueuses. La vitesse de rotation est ajustable. Cela rend possible l'étude détaillée de différents mobiles d'agitation et substances, même avec fumigation (recommandation): eau, glycérine, air comprimé).

Onze mobiles d'agitation différents et interchangeableables sont disponibles. Des billes en plastique permettent d'observer les champs de courant caractéristiques des différents types d'agitateurs.

Des essais sur l'influence de la viscosité peuvent être effectués avec différentes substances ou à différentes températures. Des chicanes permettent d'étudier et de rendre visible l'influence sur le processus de mélange.

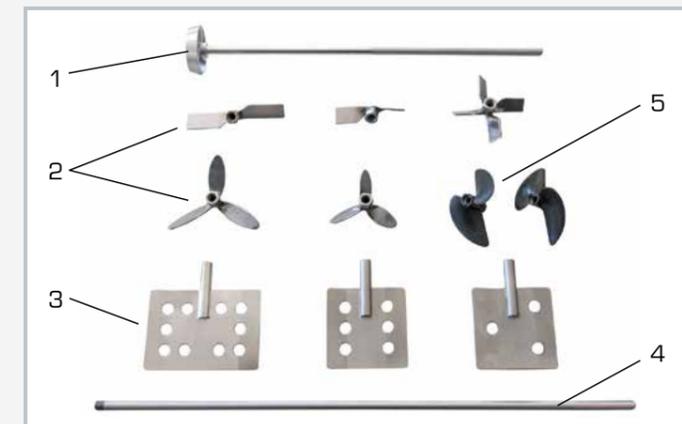
Des capteurs mesurent la conductivité électrique et la température dans la cuve agitée. La détermination du temps de mélange et du degré de mélange des solutions s'effectue au moyen des conductibilités électriques. Le couple et la vitesse de rotation sont utilisés pour les courbes de puissance. Les valeurs de mesure sont affichées numériquement. Elles peuvent être transmises via USB à un PC afin d'y être exploitées à l'aide du logiciel fourni.

CE 322

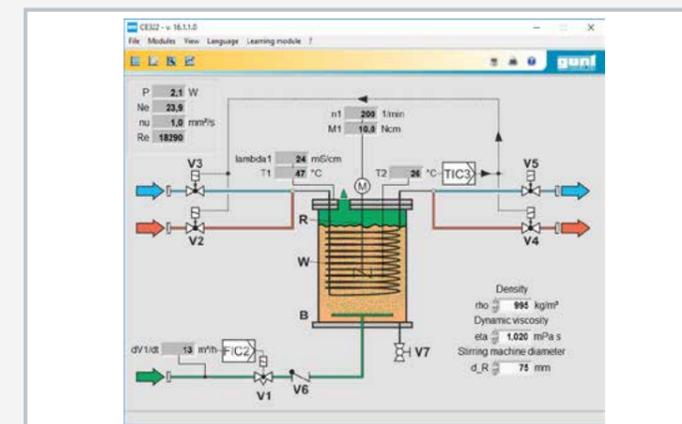
Rhéologie et qualité de mélange dans un réservoir agitateur



1 agitateur, 2 mesure du couple, 3 mesure de la conductivité électrique, 4 ajustage de la température, 5 ajustage du débit de gaz, 6 serpentin, 7 raccords pour l'eau chaude, l'eau froide et le gaz, 8 raccords libres pour autres instruments de mesure



1 agitateur à turbine, 2 agitateurs à pales oblique, 3 agitateurs à pales, 4 arbre fileté, 5 agitateurs à hélice



Capture d'écran du logiciel

Spécification

- [1] production de solutions, d'émulsions et de suspensions de différentes viscosités
- [2] réservoir agitateur avec serpentin, chicanes et distributeur de gaz au fond; éléments amovibles
- [3] agitateur abaissable, puissant à vitesse de rotation ajustable
- [4] 11 mobiles d'agitation présentant différentes géométries
- [5] billes en plastique pour la visualisation des champs d'écoulement
- [6] capteurs et affichages numériques pour la conductivité électrique, la température, la vitesse de rotation, le couple et le débit
- [7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 10

Caractéristiques techniques

Réservoir agitateur

- volume: env. 15L
- matériau: verre DURAN et PVC
- couvercle avec 2 raccords libres pour vos propres capteurs
- distributeur de gaz: alésages Ø 1,25mm

Mobiles d'agitation

- 2 agitateurs à hélice
- 3 agitateurs à pales
- 5 agitateurs à pales oblique
- 1 agitateur à turbine

Serpentin

- longueur: 9,4m, Ø 140mm

Plages de mesure

- conductivité: 0...100mS/cm
- température: 0...100°C
- vitesse de rotation: 6...2000min⁻¹
- couple: 0...200Ncm
- débit: 1...250L/min

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option

Lxlxh: 800x500x1000mm (appareil d'essai)

Lxlxh: 600x400x150mm (système de rangement)

Poids total: env. 80kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau chaude et froide, drain
air comprimé (0...9m³/h, min. 3bar)
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 logiciel GUNT + câble USB
- 1 système de rangement
- 1 documentation didactique

CE 255

Agglomération par bouletage



Description

- agglomération par bouletage avec une cuve de granulation
- contrôle de solidité des agglomérats pour l'évaluation du procédé
- essais adaptés à l'expérimentation à l'échelle du laboratoire

Les termes d'agglomération, de granulation et de pelletisation désignent le processus d'agrandissement des grains de matières solides. Ce banc d'essai consacré à l'agglomération a été développé en collaboration avec le **département de Mécanique et de Génie des Procédés de l'école supérieure Niederrhein (Krefeld)**.

Une poudre (fines particules) est versée continuellement sur une cuve de granulation inclinée, en rotation. Une pompe amène le liquide de granulation au niveau d'une buse bi-composant. Le liquide est pulvérisé par de l'air comprimé au-dessus de la poudre. A partir de quelques particules humectées, des boules (agglomérats) de taille croissante se forment suite à un mouvement de roulement. Les fines particules dans la couche en mouvement restent plutôt à proximité du fond. Compte tenu de la rotation la cuve, elle monte plus haut que les agglomérats en formation.

Les agglomérats sphériques roulent à la surface de la couche. Lorsqu'ils ont atteint une certaine taille, ils quittent la cuve par débordement. Les agglomérats sont recueillis dans un réservoir. Deux autres réservoirs sont prévus pour la matière solide (poudre de calcaire recommandée) et le liquide de granulation (sucre en poudre dissout dans l'eau). Le débit massique de la charge d'alimentation et le débit de liquide, la vitesse de rotation et l'angle d'inclinaison de la cuve sont ajustables. La résistance à la pression des agglomérats obtenus peut être déterminée à l'aide d'un appareil du laboratoire. Une étuve est par ailleurs recommandée pour déterminer cette caractéristique ainsi que d'autres caractéristiques importantes des agglomérats.

Contenu didactique/essais

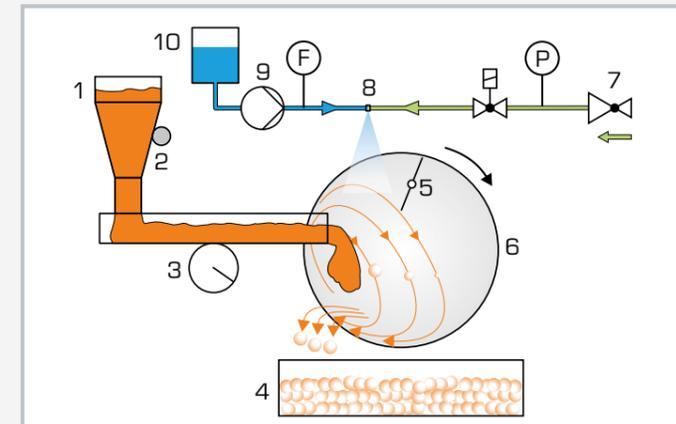
- apprentissage du principe de base et des caractéristiques de fonctionnement d'une installation d'agglomération
- taille et résistance des agglomérats en fonction des éléments suivants
 - ▶ débit massique de la charge d'alimentation
 - ▶ débit de liquide
 - ▶ rapport matière solide/liquide
 - ▶ vitesse de rotation de la cuve
 - ▶ angle d'inclinaison de la cuve
 - ▶ point d'alimentation de la matière solide et du liquide
 - ▶ matière solide choisie
 - ▶ liquide de granulation choisi

CE 255

Agglomération par bouletage



1 armoire de commande, 2 dispositif de dosage de matière solide, 3 balance, 4 soupape de réduction de pression, 5 réservoir de liquide de granulation, 6 réservoir de matière solide, 7 réservoir d'agglomérats, 8 cuve de granulation, 9 racleur, 10 buse bi-composant, 11 vibreur, 12 silo de matière solide



1 silo de matière solide, 2 vibreur, 3 dispositif de dosage de matière solide, 4 réservoir d'agglomérats, 5 racleur, 6 cuve de granulation, 7 soupape de réduction de pression, 8 buse bi-composant, 9 pompe, 10 réservoir de liquide de granulation; F débit, P pression



Agglomérats

Spécification

- [1] agglomération par bouletage avec une cuve de granulation
- [2] cuve de granulation à vitesse de rotation et angle d'inclinaison ajustables
- [3] dispositif de dosage pour l'ajustage du débit massique de la charge d'alimentation
- [4] buse bi-composant pour la pulvérisation du liquide de granulation avec de l'air comprimé
- [5] pompe péristaltique pour l'ajustage du débit de liquide
- [6] ajustage de la pression de l'air par une soupape de réduction de pression
- [7] positions ajustables de l'alimentation de matière solide et de liquide
- [8] réservoirs pour matière solide, liquide de granulation et agglomérats

Caractéristiques techniques

Cuve de granulation

- Ø: env. 400mm
- hauteur du bord: env. 100mm
- composition: acier inoxydable

Moteur d'entraînement de la cuve

- puissance: env. 750W
- vitesse de rotation: 20...400min⁻¹

Pompe

- débit de refoulement max.: env. 428mL/min

Réservoirs

- silo de matière solide: env. 10L
- liquide de granulation: 5L
- agglomérats: 10L
- matière solide: 40L

Plages de mesure

- débit: 0...100mL/min
- pression: 0...10bar
- vitesse de rotation: 4...70min⁻¹

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1810x810x1980mm
Poids: env. 205kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'air comprimé: min. 3bar

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 balance
- 2 emballages de poudre de calcaire (50kg)
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

Connaissances de base Stockage et écoulement de solides divisés

L'accumulation de matières solides sous forme de particules est appelée solides divisés. Celles-ci peuvent être très fines (poudre) ou grosses. Il s'agit par exemple des minerais, du ciment, de produits alimentaires ou de produits chimiques. Suivant leur quantité, les solides divisés sont stockés dans des petits récipients, des containers ou des silos, qui doivent être conçus de manière à ne pas altérer la qualité du produit ou à ne pas gêner le prélèvement du solide divisé.

Les solides divisés ne se comportent pas comme des liquides newtoniens, ni pendant l'écoulement, ni pendant le stockage

Les principaux phénomènes observés lorsqu'un solide divisé s'écoule d'un entonnoir ou d'un silo sont les suivants:

■ Écoulement en masse

L'ensemble du contenu du récipient bouge pendant l'écoulement du solide divisé. Si la partie située au dessus de l'entonnoir est suffisamment haute, le produit s'abaisse régulièrement sur toute la section transversale (écoulement de type piston).

■ Écoulement en noyau

Seule une zone limitée située au-dessus de l'ouverture est en mouvement pendant l'écoulement du solide divisé. Cette zone peut s'élargir en forme d'entonnoir vers le haut. Des zones mortes, dans lesquelles le solide divisé est au repos, se forment en périphérie du noyau d'écoulement. Dans ces zones, le solide divisé reste longtemps et n'est évacué que vers la fin de la vidange. En outre, les solides divisés qui s'écoulent difficilement peuvent se consolider dans les zones mortes au point de ne pas s'écouler sous l'effet de la seule force de gravité.

au repos. Contrairement à ceux-ci, les solides divisés peuvent transmettre des contraintes tangentielles de glissement même au repos et ainsi former des surfaces inclinées stables. Une analogie avec le comportement des corps solides n'est généralement pas possible non plus car, contrairement à un solide, un solide divisé ne peut pas transmettre d'efforts de traction significatifs.

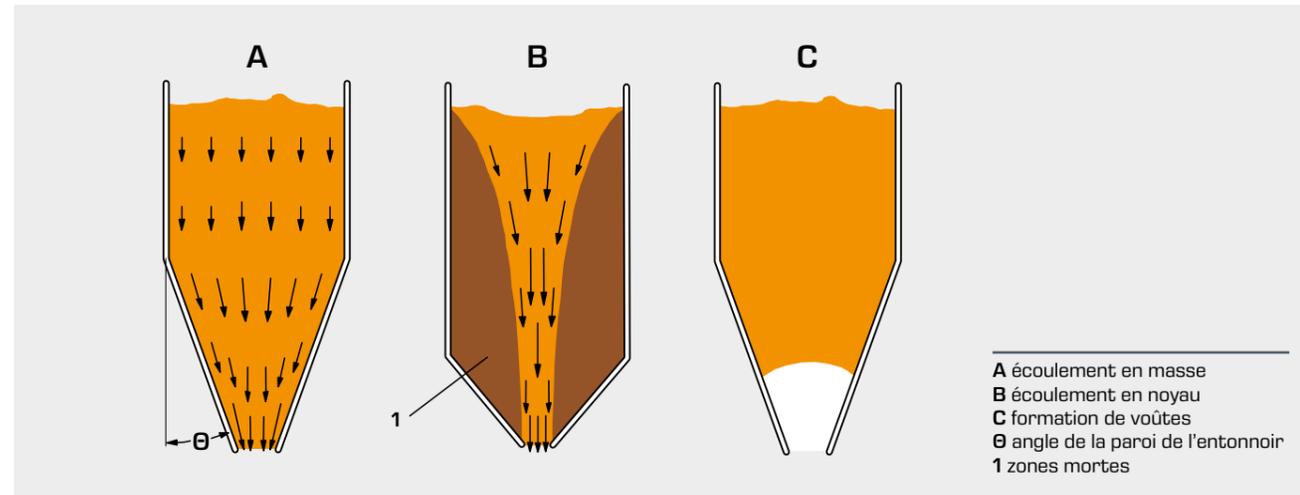
Le comportement des solides divisés est par conséquent décrit par une discipline spécifique, la mécanique des solides divisés, qui s'appuie sur la mécanique des sols.

■ Formation de voûtes

Dans le cas de solides divisés à faible coulabilité, de poudres cohésives, une voûte de solide peut se former dans l'entonnoir d'écoulement. Le solide divisé se trouve alors immobilisé au dessus de la voûte.

■ Ségrégation

Une ségrégation peut se produire lors du remplissage de récipients si les particules diffèrent quant à leur taille, leur forme ou leur densité. La ségrégation réduit logiquement la qualité du produit.



Suivant les caractéristiques d'écoulement du solide divisé, la nature des parois et l'inclinaison des parois de l'entonnoir, l'écoulement se fait en masse ou en noyau. La connaissance des caractéristiques d'écoulement permet de calculer la pente nécessaire

des parois de l'entonnoir. Les caractéristiques d'écoulement sont mesurées à l'aide d'appareils de cisaillement. Ces mesures permettent également de calculer la taille minimale de l'ouverture de sortie nécessaire pour éviter la formation de voûtes.

Autres informations sur le sujet: Schulze, D.: Powders and Bulk Solids, Springer, Berlin Heidelberg New York (2007)

Étude de laboratoire et élaboration d'un concept de A à Z



Vous prévoyez la réalisation d'un nouveau laboratoire?
D'une nouvelle salle?
De tout un service?
Vous voulez moderniser?

Alors, profitez de notre savoir-faire et de notre expérience! Nos ingénieurs conçoivent et aménagent des laboratoires complets. Nous sommes à l'écoute de vos attentes spécifiques et tenons compte des particularités de l'environnement local:

- plans de la salle
- raccords alimentation
- listes d'équipements
- descriptions des prestations etc.

Notre force de vente / notre SAV se tient à votre disposition pour toute question à ce sujet.

CE 210

Écoulement d'un solide divisé en sortie de silos



Description

- géométrie variable du silo
- différents types d'écoulements: écoulement en masse, écoulement en noyau et formation de voûtes

Les silos sont utilisés pour le stockage à grande échelle des solides divisés les plus divers. Les solides divisés en stock doivent être ensuite intégrés de manière fiable à des processus de production. Pour répondre à cet objectif, le silo doit être dimensionné pour l'écoulement en masse.

Le banc d'essai CE 210 démontre d'une manière proche de la pratique les différents types d'écoulements en sortie de silo: écoulement en masse, écoulement en noyau et formation de voûtes. Le type d'écoulement rencontré dépend des caractéristiques d'écoulement du solide divisé, de la géométrie du silo et du matériau constituant ses parois.

Le banc d'essai comprend deux silos de forme identique dont les parois avant sont transparentes et dont les parois latérales sont constituées de matériaux différents.

Les silos sont pourvus d'un entonnoir d'écoulement cunéiforme dont l'inclinaison et la largeur sont ajustables. Ce banc d'essai a été développé en collaboration avec le professeur Dr. Schulze (de l'école supérieure spécialisée de Braunschweig / Wolfenbüttel en Allemagne).

Le comportement d'écoulement est caractérisé par le temps mesuré, la pesée du solide divisé, la géométrie du silo et le type d'écoulement observé. Les données enregistrées permettent de vérifier de manière pratique le dimensionnement du silo, en utilisant par exemple l'appareil d'essai CE 200 Caractéristiques d'écoulement de solides divisés.

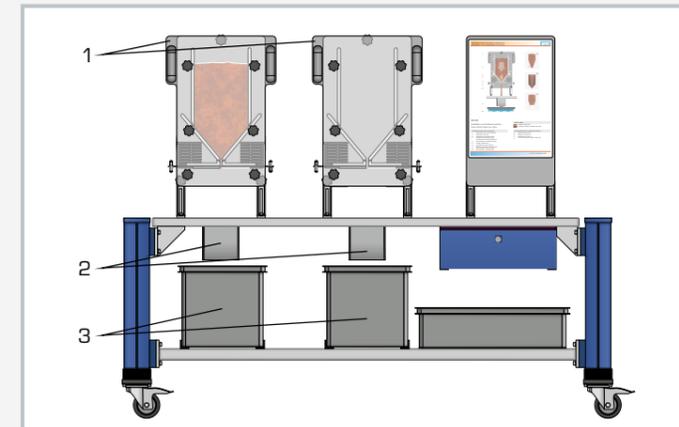
Pour les essais avec formation de voûtes, on recommande d'utiliser en plus comme solide divisé de la farine (de type 405).

Contenu didactique/essais

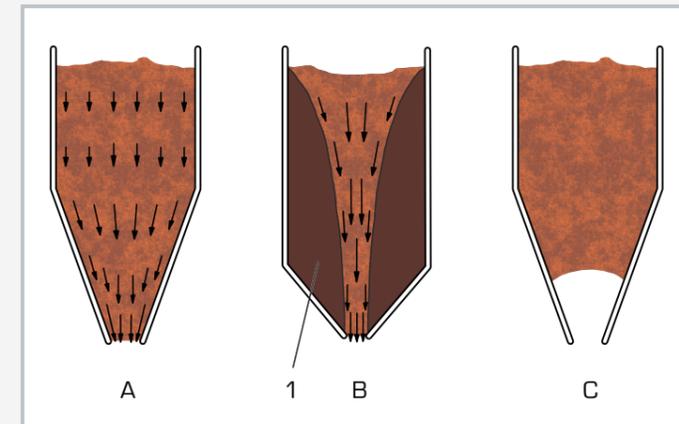
- influence du matériau des parois et de l'inclinaison des parois de l'entonnoir sur le temps d'écoulement
- démonstration des types d'écoulements typiques en sortie de silo:
 - ▶ écoulement en masse
 - ▶ écoulement en noyau
 - ▶ formation de voûtes
- influence des caractéristiques d'écoulement sur le temps et les modes d'écoulement
- comparaison entre différents solides divisés
- vérification du dimensionnement du silo du CE 200

CE 210

Écoulement d'un solide divisé en sortie de silos



1 silo, 2 entonnoir de collecte, 3 réservoir collecteur



A écoulement en masse: l'intégralité du solide divisé est en mouvement
B écoulement en noyau: le solide divisé est en mouvement au niveau du noyau, et au repos dans les zones mortes (1)
C formation de voûtes: l'écoulement du solide divisé s'immobilise

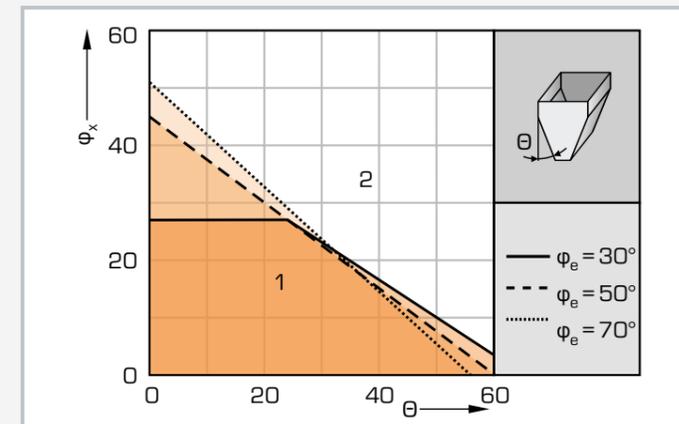


Diagramme de dimensionnement d'un silo cunéiforme pour différents angles de frottement effectifs φ_e
1 écoulement en masse, 2 écoulement en noyau; φ_e angle de frottement aux parois, θ inclinaison de l'entonnoir d'écoulement

Spécification

- [1] étude de l'écoulement de solides divisés en sortie de silo avec des entonnoirs d'écoulement cunéiformes
- [2] démonstration de la formation de voûtes, de l'écoulement en masse et de l'écoulement en noyau avec différents solides divisés
- [3] 2 silos ayant des parois constituées de matériaux différents
- [4] parois avant des silos en matériau transparent
- [5] silos amovibles pour le nettoyage
- [6] angle de la paroi de l'entonnoir ajustable par paliers avec section d'écoulement constante
- [7] pilon pour la compression du solide divisé
- [8] chronomètre pour la détermination des temps d'écoulement
- [9] vérification pratique des résultats de dimensionnement obtenus avec le CE 200

Caractéristiques techniques

- 2 silos avec entonnoir d'écoulement cunéiforme
- diamètre de la base: 200x200mm
 - largeur de la sortie: 10...70mm
 - hauteur de la tige du silo: env. 300mm
 - hauteur de l'entonnoir: env. 50...140mm
 - volume: env. 14...18L

2 solides divisés

- matière plastique en granulés: 2...5mm
- vannure d'épeautre: 5...15mm

Balance

- avec fonction de mise à zéro du poids
- jusqu'à 10kg
- alimentation électrique: 230V, 50Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase; UL/CSA en option

Chronomètre

- 0...10h

LxIxh: 1830x790x1420mm

Poids: env. 190kg

Nécessaire pr le fonctionnement

- 1 autre solide divisé (par ex. farine de type 405)

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 système de rangement
- 2 réservoirs collecteurs avec couvercle
- 1 balance
- 1 emballage de matière plastique en granulés (20L)
- 1 emballage de vannure d'épeautre (24L)
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

CE 200**Caractéristiques d'écoulement de solide divisé****Description**

- **détermination des caractéristiques d'écoulement de solide divisé avec un appareil de cisaillement annulaire pour la conception de silos**
- **manipulation simple grâce à une course de cisaillement illimitée**
- **logiciel d'évaluation professionnel**

Les caractéristiques d'écoulement d'une poudre ou d'un solide divisé déterminent sa façon de se comporter durant les manipulations. Ainsi, il peut se produire par exemple dans un silo, un écoulement irrégulier voire un arrêt de l'écoulement du solide divisé. Pour prévenir ces problèmes, il est possible d'utiliser, pour le dimensionnement des silos, des mesures effectuées à l'aide d'appareils de cisaillement comme l'appareil de Jenike ou appareil de cisaillement annulaire.

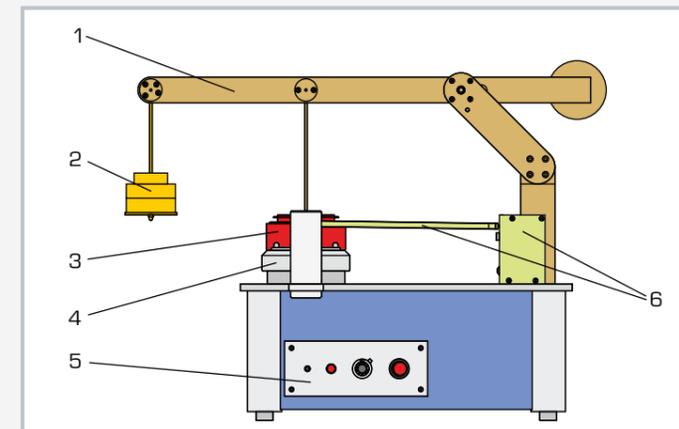
Dans le cas de l'appareil de cisaillement annulaire, un échantillon de solide divisé est placé dans une cellule de cisaillement annulaire. Une force normale est exercée sur l'échantillon par l'intermédiaire d'un couvercle. La force normale est produite par un lest variable. Un moteur déplace la cellule de cisaillement par rapport au couvercle pour appliquer un cisaillement à l'échantillon. Pour le compactage (précisaillement), une force normale élevée est exercée sur l'échantillon.

Un capteur de force à amplification électronique mesure les forces de cisaillement qui sont ensuite enregistrées en fonction du temps par un logiciel d'acquisition des données mesurées. Après le compactage, le cisaillement (mesure de la solidité) est produit à l'aide d'une force normale réduite et également enregistré par le logiciel. Les courbes de forces de cisaillement permettent de déterminer les caractéristiques telles la résistance à la pression et le frottement interne du solide divisé. Pour déterminer la densité du solide divisé, on détermine le volume de l'échantillon en mesurant l'abaissement du couvercle à l'aide d'un pied à coulisse. Pour tenir compte également de l'influence de la matière constitutive des parois de l'entonnoir sur les caractéristiques d'écoulement, une mesure séparée est effectuée avec un échantillon annulaire de cette matière.

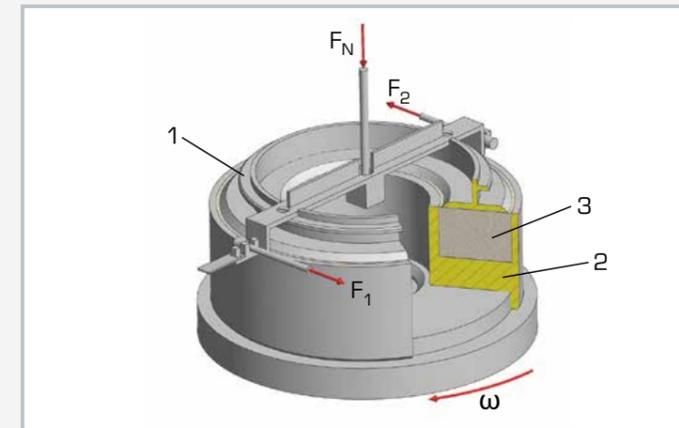
Un logiciel est prévu pour déterminer les caractéristiques d'écoulement à partir des résultats des essais. Les caractéristiques d'écoulement obtenues sont utilisées pour déterminer la géométrie idéale de l'entonnoir d'écoulement d'un silo. Le banc d'essai CE 210 permet de vérifier pratiquement les résultats du dimensionnement quant à l'écoulement en masse/écoulement en noyau. L'appareil de cisaillement annulaire et le logiciel d'évaluation ont été développés par le **Prof. Dr. Schulze (école supérieure de Brunswick/Wolfenbüttel)**.

Contenu didactique/essais

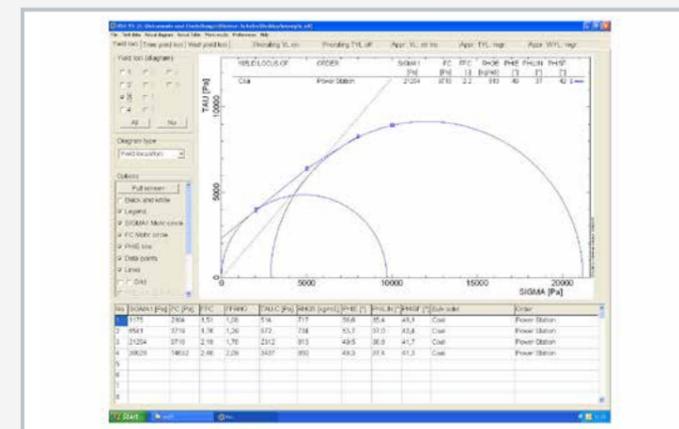
- relevé des courbes de force de cisaillement de solides divisés
- établissement des courbes de rupture (yield loci) et des courbes de rupture de la paroi (wall yield loci)
- détermination des caractéristiques d'écoulement
 - ▶ résistance à la pression
 - ▶ frottement interne et densité
 - ▶ angle de frottement sur les parois
- détermination de la forme optimale de l'entonnoir d'un silo pour solide divisé

CE 200**Caractéristiques d'écoulement de solide divisé**

1 système de charge pour génération de la force normale, 2 poids, 3 cellule de cisaillement, 4 dispositif d'entraînement, 5 éléments de commande, 6 capteur de force (force de cisaillement) avec tige de traction



Cellule de cisaillement pour la détermination des courbes de rupture (yield loci): 1 couvercle, 2 cellule de cisaillement, 3 solide divisé; F_1 , F_2 forces de cisaillement, F_N force normale, ω sens de rotation de la cellule de cisaillement



Capture d'écran du logiciel d'évaluation: courbe de rupture (yield locus) avec cercles de Mohr

Spécification

- [1] dimensionnement d'un silo pour solide divisé avec un appareil de cisaillement annulaire
- [2] 1 cellule de cisaillement annulaire pour la détermination des courbes de rupture
- [3] 1 cellule de cisaillement annulaire avec échantillon du matériau constitutif des parois pour la détermination des courbes de rupture de la paroi
- [4] cisaillement de l'échantillon de solide divisé par rotation de la cellule de cisaillement à l'aide d'un moteur
- [5] application d'une charge verticale sur l'échantillon par l'intermédiaire du couvercle annulaire et de poids
- [6] capteurs de force pour la mesure des forces de cisaillement
- [7] pied à coulisse pour la mesure des changements de hauteur et de densité de l'échantillon de solide divisé
- [8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 8.1, 10
- [9] logiciel GUNT pour l'enregistrement des courbes de force de cisaillement
- [10] logiciel d'évaluation pour la détermination des paramètres significatifs du solide divisé

Caractéristiques techniques

Cellule de cisaillement
 ■ volume de l'échantillon: env. 70cm³
 ■ composition: aluminium

Cellule de cisaillement avec échantillon du matériau constitutif des parois
 ■ volume de l'échantillon: env. 15cm³
 ■ composition: aluminium

Moteur
 ■ puissance absorbée: 75W
 ■ vitesse de rotation: 500...3000min⁻¹

1 jeu de poids:
 ■ 4x 500g
 ■ 2x 200g
 ■ 2x 100g
 ■ 2x 50g

Plages de mesure
 ■ force: 0...40N
 ■ balance: 0...1000g

230V, 50Hz, 1 phase
 230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
 UL/CSA en option
 Lxhx: 400x240x330mm
 Poids: env. 18kg

Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

appareil d'essai, 1 cellule de cisaillement, 1 cellule de cisaillement avec échantillon du matériau constitutif des parois, 1 pied à coulisse, 1 logiciel GUNT + câble USB, 1 CD avec logiciel d'évaluation, 1 emballage de solide divisé, 1 balance, 1 documentation didactique

Connaissances de base

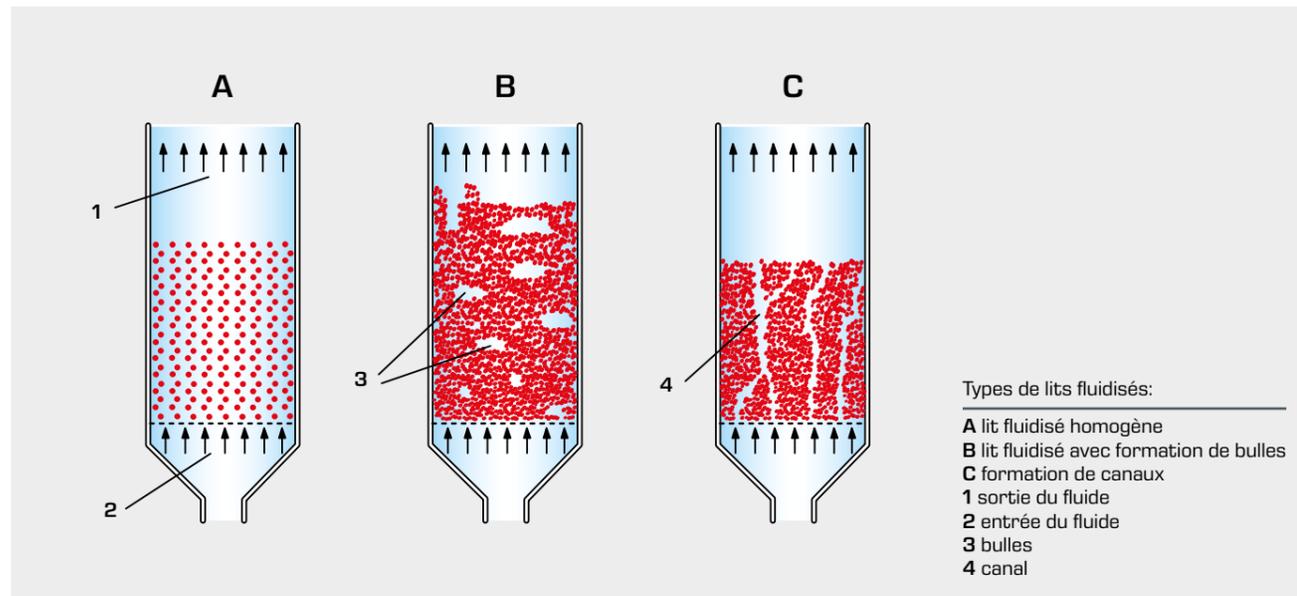
Lits fluidisés

Un lit fluidisé est constitué de deux phases: un solide et un fluide (gaz ou liquide). Lorsqu'un lit fixe de matière solide au repos est traversé par un fluide à une vitesse suffisante (vitesse de fluidisation), le lit se fluidise jusqu'à ce que les particules de matière solide soient en suspension. Cet état est appelé fluidisation. D'un point de vue de l'écoulement et sur le plan thermodynamique, le lit fluidisé obtenu se comporte de manière similaire à un liquide.

Si la vitesse est excessive, des particules sont extraites du lit fluidisé par transport hydraulique ou pneumatique.

Les surfaces de contact qui sont importantes entre le solide et le fluide favorisent les transferts de chaleur et de matière entre les particules et le fluide ainsi qu'entre les particules.

La combustion en lit fluidisé est une application. La combustion se déroule dans un lit fluidisé composé de combustible et d'air chaud. Le principe du lit fluidisé autorise des températures de combustion basses, ce qui permet d'obtenir des valeurs très faibles d'émissions d'oxydes d'azote.



Les types de lits fluidisés suivants sont possibles:

■ Lit fluidisé homogène

Lorsque la vitesse d'écoulement du fluide augmente, le volume du lit fluidisé augmente de manière régulière. Les particules solides sont bien réparties sur l'ensemble du lit. En réalité, un tel comportement n'est observable que dans des liquides, si les particules utilisées sont de taille identique.

■ Lit fluidisé non homogène

Des processus de classification ou de tri se déroulent à l'intérieur du lit fluidisé. Les particules de densité élevée s'accumulent au bas. Si le fluide utilisé est un gaz, des bulles apparaissent pratiquement toujours dans le lit fluidisé. Elles ne contiennent pas de matière solide. En remontant, les petites bulles coalescent et forment des grosses bulles qui éclatent en surface. La surface du lit fluidisé ressemble à un liquide en ébullition.

■ Formation de canaux

Si la matière solide est un solide divisé à grains fins et si les particules sont cohésives, la formation d'un lit fluidisé peut ne pas avoir lieu. Des canaux d'écoulement se forment. Il n'y a pas d'écoulement à travers les zones périphériques. Avec ces matières solides, une agitation supplémentaire est nécessaire pour aboutir à la formation d'un lit fluidisé.

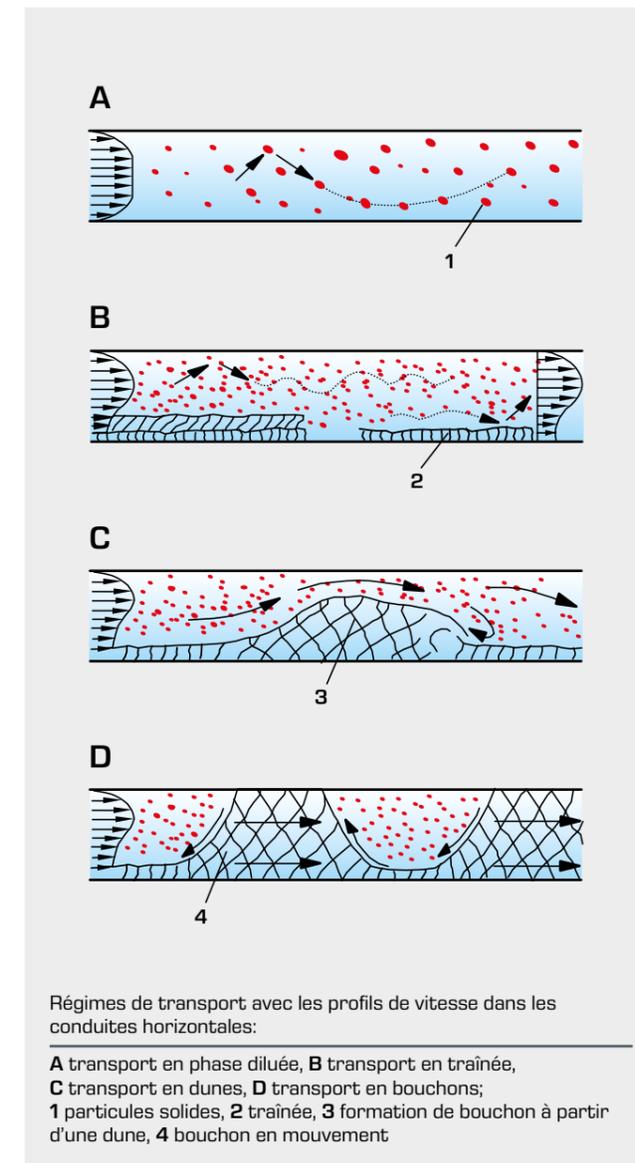
Connaissances de base

Transport pneumatique

Dans les installations de transport pneumatique, des solides divisés pulvérulents ou granuleux sont transportés à l'intérieur de conduites à l'aide d'un écoulement de gaz (le plus souvent de l'air). Les solides divisés peuvent être par exemple des produits alimentaires tels de la farine ou des légumineuses.

Les installations de transport pneumatiques se composent essentiellement d'un compresseur à air, d'une conduite et d'un séparateur de poussière (cyclone gaz). Le transport peut se faire horizontalement, verticalement et incliné.

La conduite de transport peut être raccordée côté aspiration (transport par aspiration) ou côté refoulement (transport par refoulement) du compresseur. Il existe également des installations aspirantes refoulantes mixtes. Les installations de transport refoulantes fonctionnent totalement sans poussière car la dépression dans le système empêche l'échappement d'air poussiéreux. Les installations de transport refoulantes sont capables de franchir des différences de hauteur et distance plus importantes que les installations de transport aspirantes.



Suivant la vitesse de l'écoulement d'air et sa teneur en matière solide, différents régimes de transport peuvent apparaître dans les conduites **horizontales**:

■ Transport en phase diluée

Aux vitesses grandes, les particules solides en mouvement sont bien réparties sur la section de la conduite. Des particules se percutent ou percutent la paroi de la conduite.

■ Transport en traînée / cheveux d'ange

Si la vitesse diminue pour une teneur en matière solide inchangée, l'énergie de l'écoulement ne suffit plus pour maintenir en suspension la totalité de la matière solide. Une partie des particules solides forme une traînée qui glisse sur le fond de la conduite. La partie restante des particules est transportée dans l'air au-dessus de la traînée.

■ Transport en dunes (phase dense)

Si la vitesse est encore abaissée, les particules solides se déplacent à la manière d'une dune. Des particules franchissent le sommet de la dune et se déposent à l'abri du vent. Si la vitesse est encore réduite, les dunes peuvent donner naissance à des boules qui occupent en grande partie la section de la conduite.

■ Transport en bouchons (phase dense)

Si la vitesse est très basse, les boules occupent toute la section de la conduite et il se forme des bouchons. Les boules et les bouchons n'avancent que très lentement. Si la pression du compresseur est insuffisante, le transport en boules et en bouchons peut rapidement conduire à l'obstruction de la conduite.

Dans les canalisations **verticales**, les régimes de transport possibles sont fondamentalement les mêmes mais l'influence de la force de gravité est alors plus grande.

CE 220

Formation d'un lit fluidisé



Contenu didactique/essais

- principes de base de la fluidisation des lits fixes
- observation et comparaison d'un processus de fluidisation dans l'eau et l'air
- pertes de charge en fonction
 - ▶ de la vitesse d'écoulement
 - ▶ du type et de la taille des particules du matériau de remplissage
- détermination de la vitesse de fluidisation et comparaison avec les valeurs théoriques calculées (équation d'Ergün)
- relation entre la hauteur du lit fluidisé et la vitesse d'écoulement
- vérification de l'équation de Carman-Kozeny

Description

- étude expérimentale du processus de fluidisation
- comparaison de la formation d'un lit fluidisé dans les gaz et dans les liquides
- pertes de charge dans un lit fixe et dans un lit fluidisé

Lorsque des couches de particules solides sont traversées par des liquides ou des gaz et que le lit fixe se relâche à tel point que les particules solides peuvent se déplacer librement, le lit fixe passe à l'état de lit fluidisé. La perte de charge du fluide qui le traverse peut être utilisée pour caractériser un lit fluidisé. Parmi les applications typiques des lits fluidisés, on peut citer le séchage de matières solides ou les procédés de torréfaction et de combustion.

Le CE 220 permet d'observer la formation d'un lit fluidisé dans l'eau et l'air.

La phase solide en dispersion se trouvant au-dessus d'une plaque frittée poreuse est traversée par le bas par la phase continue (eau ou air). Lorsque la vitesse du fluide est inférieure à ce que l'on appelle la vitesse de fluidisation, le lit est simplement traversé, et les particules restent immobiles. Cet état est appelé lit fixe. À des vitesses supérieures, le lit se fluidise et les particules deviennent mobiles. Le lit fixe passe alors à l'état de lit fluidisé. L'augmentation de la vitesse entraîne une expansion verticale du lit fluidisé. À une vitesse suffisamment élevée, les particules sont extraites du lit fluidisé.

Dans la pratique, les particules sont transportées par exemple dans des tuyaux. Dans le CE 220, des filtres ou des plaques frittées retiennent les particules.

Les débits des fluides sont lus sur des rotamètres. Le débit d'eau est ajusté par la vitesse de rotation de la pompe. Le débit volumétrique d'air peut être ajusté par une soupape d'étranglement distincte. Un appareil de mesure électronique portable est inclus dans la liste de livraison; il permet de mesurer les pertes de charge. On peut lire la hauteur des lits fluidisés sur les échelles des réservoirs.

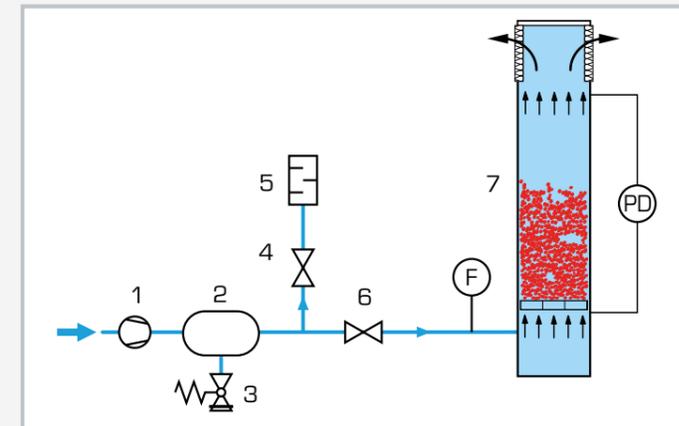
Les réservoirs sont amovibles, de sorte que le matériau de remplissage peut être facilement remplacé. Des billes de verre ayant différentes tailles de particules sont fournies comme matériau de remplissage.

CE 220

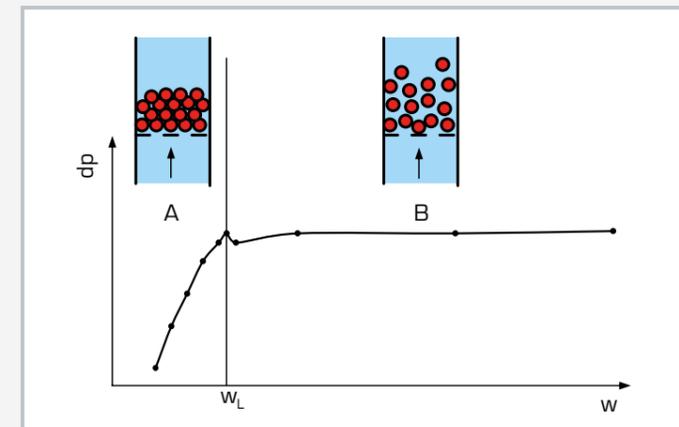
Formation d'un lit fluidisé



1 alimentation en eau, 2 réservoir d'eau, 3 rotamètre pour l'eau, 4 appareil de mesure portable pour la perte de charge, 5 rotamètre pour l'air, 6 réservoir pour l'air, 7 filtre



Montage expérimental pour la formation d'un lit fluidisé avec de l'air
1 compresseur à membrane, 2 réservoir d'air comprimé, 3 soupape de sécurité, 4 soupape de dérivation, 5 silencieux, 6 soupape à pointeau, 7 réservoir (air); F débit, PD pression différentielle



Perte de charge d'un lit fluidisé traversé par de l'air
dp perte de charge, w vitesse d'écoulement, w_L vitesse de fluidisation;
A lit fixe, B lit fluidisé

Spécification

- [1] étude du passage de l'état de lit fixe à l'état de lit fluidisé
- [2] essais en parallèle avec de l'air et de l'eau
- [3] deux réservoirs amovibles
- [4] échelles sur les réservoirs pour la mesure de la hauteur du lit fluidisé
- [5] alimentation en eau par le réservoir de stockage avec une pompe à diaphragme
- [6] alimentation en air comprimé par un accumulateur d'air comprimé et un compresseur à membrane
- [7] débit volumétrique de l'air ajustable par des soupapes
- [8] débit d'eau ajustable par la vitesse de rotation de la pompe à diaphragme
- [9] mesure des pertes de charge à l'aide d'un appareil de mesure électronique portable

Caractéristiques techniques

- 2 réservoirs
- longueur: 380mm
 - Ø intérieur: 44mm
 - graduation de l'échelle: 1mm
 - matériau: PMMA

- Pompe à diaphragme (eau)
- débit de refoulement max.: 1,7L/min
 - hauteur de refoulement max.: 70m

- Compresseur à membrane (air)
- débit volumétrique max.: 39L/min
 - pression max.: 2bar

- Réservoir de stockage de l'eau: env. 5,5L
Réservoir sous pression: 2L

- Plages de mesure
- pression: 0...200mmCE
 - débit: 0,2...1,6L/min (eau)
 - débit volumétrique: 4...33NL/min (air)
 - hauteur: 25...370mm

- 230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 750x610x1010mm
Poids: env. 80kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 emballage de billes de verre (180...300µm; 1kg)
- 1 emballage de billes de verre (420...590µm; 1kg)
- 1 documentation didactique

CE 222

Comparaison des lits fluidisés



Contenu didactique/essais

- principes de base de la fluidisation des lits fixes
- formation d'un lit fluidisé avec de l'air
- pertes de charge en fonction de
 - ▶ la vitesse dans le tube vide
 - ▶ la taille des particules
 - ▶ la densité des particules
 - ▶ la hauteur du lit fluidisé
- détermination de la vitesse de fluidisation et comparaison avec les valeurs théoriques calculées (équation d'Ergün)
- relation entre la hauteur du lit fluidisé et la vitesse d'écoulement
- vérification de la loi de Kozeny-Carman

Description

- deux colonnes transparentes de différents diamètres pour l'observation de la formation du lit fluidisé dans des gaz
- perte de charge dans le lit fixe et le lit fluidisé

Lorsqu'elles sont traversées par des gaz, les couches de particules solides peuvent passer de l'état de lit fixe à l'état de lit fluidisé. Les domaines d'application des lits fluidisés sont le séchage de matières solides, la combustion et le revêtement de particules.

Ce banc d'essai a été développé en collaboration avec l'université "University of Greenwich", UK. Le CE 222 comprend deux colonnes transparentes de diamètres différents pour la formation d'un lit fluidisé avec de l'air comprimé comme gaz. Une échelle graduée présente sur les colonnes montre la hauteur du lit fixe et du lit fluidisé.

La colonne est alimentée en air comprimé par le biais d'électrovannes. Seule une colonne peut fonctionner à la fois. Les colonnes sont amovibles, ce qui permet de remplacer facilement le lit fixe. Des billes de verre ayant différentes tailles de particules sont fournies comme matériau de remplissage.

Au début des essais, un lit fixe repose au fond de la colonne sur une plaque frittée. L'air comprimé s'écoule vers le haut à travers la colonne et s'échappe par le filtre à air. Si la vitesse de l'air est inférieure à la vitesse de fluidisation, le lit fixe est simplement traversé. Si la vitesse est supérieure, le lit se fluidise et des particules solides se mettent en suspension. Le lit fixe se transforme alors en lit fluidisé. Si l'on augmente encore la vitesse, des particules sont extraites du lit fluidisé (transport). Le filtre à air situé à l'extrémité supérieure de la colonne retient ces particules.

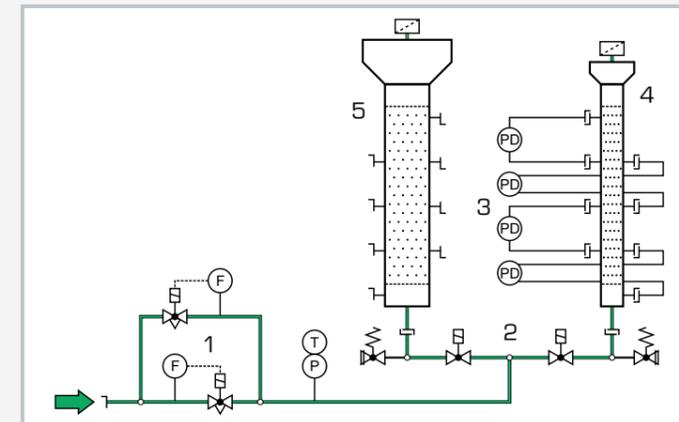
Le débit volumétrique de l'air comprimé est mesuré et réglé avec deux plages de mesure. Les deux colonnes sont pourvues de points de mesure auxquels on peut raccorder des capteurs de pression différentielle destinés à mesurer la perte de charge dans le lit fixe et le lit fluidisé. Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Le banc d'essai est commandé par le logiciel GUNT. Une alimentation externe en air comprimé est requise pour le fonctionnement.

CE 222

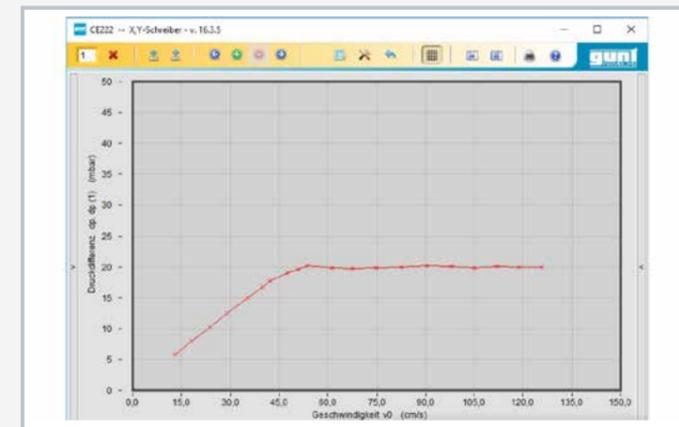
Comparaison des lits fluidisés



1 colonne K1 avec Ø 100mm, 2 colonne K2 avec Ø 50mm, 3 points de mesure de pression différentielle de K1, 4 alimentation en gaz de K1, 5 alimentation en gaz du banc d'essai, 6 mesure du débit pour 2 plages de mesure



1 mesure du débit, 2 commutation entre les colonnes, 3 mesure de la pression différentielle, 4 colonne K2 avec Ø 50mm, 5 colonne K1 avec Ø 100mm



Capture d'écran du logiciel: résultats de mesure dans l'enregistreur X,Y

Spécification

- [1] étude de la formation d'un lit fluidisé de matières solides dans des gaz
- [2] 2 colonnes transparentes amovibles de diamètres différents
- [3] électrovannes au choix de la colonne à étudier
- [4] chaque colonne avec plaque frittée, échelle graduée, filtre à air
- [5] chaque colonne avec 4 points de mesure de la pression différentielle dans le lit fixe et le lit fluidisé pour la détermination des pertes de charge
- [6] réglage du débit volumétrique avec 2 plages de mesure
- [7] billes de verre avec différentes tailles de particules comme matériau de remplissage
- [8] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 8.1, 10

Caractéristiques techniques

- 2 colonnes
- longueur: 500mm
 - Ø 1x 50mm, 1x 100mm
 - matériau: verre
 - graduation de l'échelle, graduation: 1mm
- Plages de mesure
- débit: 1x 1,8...18L/min, 1x 15...150L/min
 - pression différentielle: 4x 0...50mbar
 - pression: 0...2,5bar
 - température: 0...60°C

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1400x800x1700mm
Poids: env. 132kg

Nécessaire pr le fonctionnement

air comprimé (1,8...150L/min, 5bar)
PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 emballage de billes de verre (180...300µm; 2kg)
- 1 emballage de billes de verre (420...590µm; 2kg)
- 1 jeu d'accessoires
- 1 logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

CE 250

Transport pneumatique



Contenu didactique/essais

- apprentissage du principe de base et des caractéristiques de fonctionnement d'une installation de transport pneumatique
- observation de différents régimes de transport en fonction de la teneur en matière solide et de la vitesse de l'air
- détermination de la vitesse de flottement de la matière solide
- détermination de la teneur en matière solide de l'écoulement
- perte de charge en fonction de la teneur en matière solide et de la vitesse de l'air

Description

- transport pneumatique sous pression de matières solides vers le haut dans une section de tuyau verticale
- conduites et réservoirs transparents pour l'observation de différents régimes de transport
- essais adaptés à l'expérimentation à l'échelle du laboratoire

Les installations de transport pneumatiques permettent d'acheminer des matières solides en dispersion sur de grandes distances dans des conduites.

La matière solide contenue dans un réservoir est introduite dans un écoulement d'air grâce à un transporteur vibrant. Un injecteur interchangeable disperse la matière solide dans l'écoulement d'air. L'écoulement d'air transporte la matière solide vers le haut dans la conduite. L'écoulement débouche dans un réservoir collecteur.

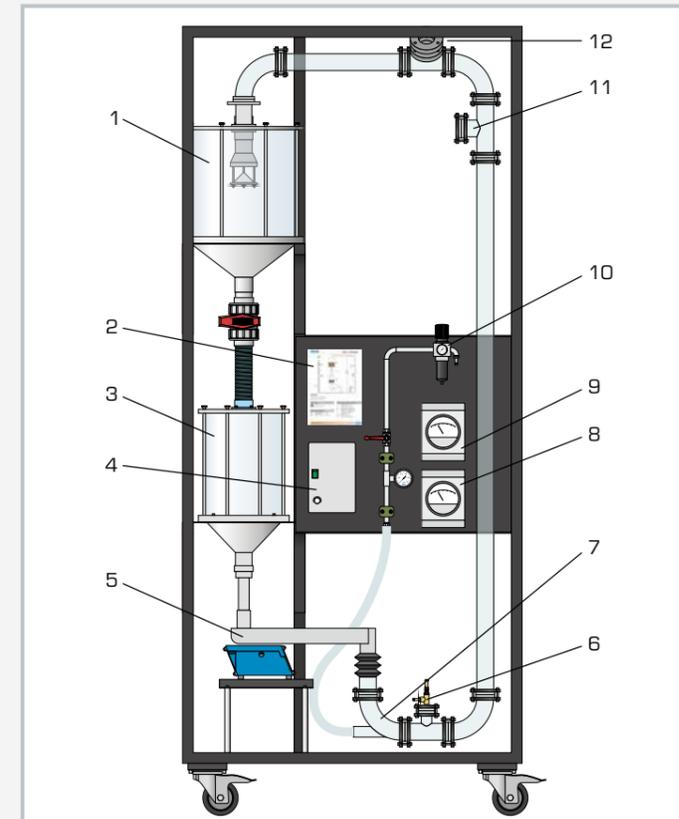
Suivant la vitesse de l'écoulement d'air et sa teneur en matière solide, différents régimes de transport peuvent se produire. Aux vitesses élevées, la matière solide est répartie de manière homogène sur la section de la conduite (transport en phase diluée). En réduisant la vitesse, il se forme sur la paroi de la conduite des traînées et des boules qui, compte tenu de leur vitesse de sédimentation supérieure, glissent vers le bas. Les traînées et les boules se défont constamment dans l'air et se reforment à nouveau. La réduction de la vitesse en deçà de la vitesse de sédimentation des particules conduit finalement à la formation de bouchons. Les différents régimes de transport peuvent être observés au travers de la conduite transparente.

Des points de mesure sont prévus à tous les endroits appropriés pour constater les pertes de charge et la vitesse d'écoulement. Un régulateur de pression permet d'ajuster la vitesse de l'écoulement d'air. Le débit massique de matière solide peut être ajusté à l'aide d'un potentiomètre agissant sur l'amplitude des oscillations de l'auge. L'alimentation en air comprimé doit être fournie par le laboratoire.

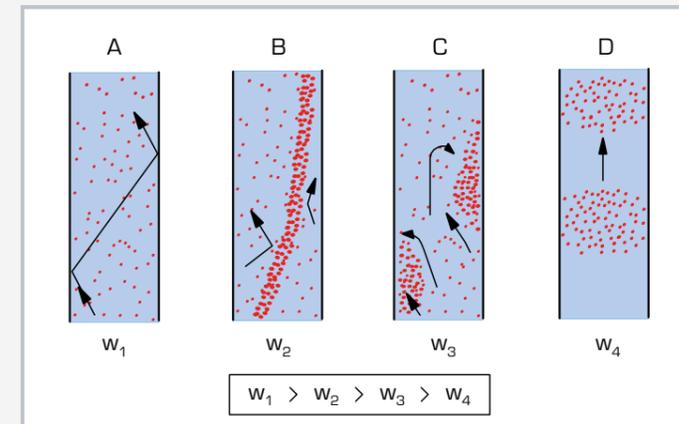
L'utilisation de petits pois ou de granulés de plastique est recommandée comme matière solide.

CE 250

Transport pneumatique



1 réservoir collecteur, 2 schéma de processus, 3 réservoir de la charge d'alimentation, 4 éléments de commande de l'auge vibrante, 5 auge vibrante, 6 point de mesure de la pression, 7 injecteur, 8 indicateur de pression différentielle, 9 indicateur de vitesse, 10 régulateur de pression de précision, 11 point de mesure de la vitesse (tube de Pitot), 12 point de mesure de la pression



Régimes de transport dans le cas du transport vertical: A transport en phase diluée, B transport en traînée, C transport en boules, D transport en bouchons; w vitesse de l'air

Spécification

- [1] transport pneumatique sous pression de matières solides vers le haut dans une section de tuyau verticale
- [2] introduction de la matière solide dans l'écoulement d'air par une auge vibrante à amplitude d'oscillations ajustable
- [3] 4 injecteurs interchangeables pour la dispersion de la charge d'alimentation dans l'écoulement d'air
- [4] section de tuyau verticale en verre
- [5] réservoir collecteur et réservoir de la charge d'alimentation en matière transparente (PMMA)
- [6] réservoir collecteur et de la charge d'alimentation reliés par une conduite avec un robinet
- [7] régulateur de pression de précision pour l'ajustage de la pression d'entrée et du débit volumétrique
- [8] points de mesure des pertes de pression et de la vitesse d'écoulement

Caractéristiques techniques

Section de tuyau verticale

- hauteur: 2m
- diamètre: 50mm

Réservoirs

- charge d'alimentation: 20L
- collecteur: 40L

Plages de mesure

- vitesse: 0...36m/s
- pression différentielle: 0...10kPa
- pression: 0...1bar

230V, 50Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1280x800x2880mm
Poids: env. 190kg

Nécessaire pr le fonctionnement

air comprimé: min. 1500mbar, 60m³/h

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 4 buses
- 1 emballage de granulés de plastique (PP; 30kg)
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

Introduction

Aperçu Les concepts d'apprentissage GUNT dans le domaine du génie des procédés thermiques 086

Séchage et évaporation

Connaissances de base Séchage 088

Connaissances de base Évaporation 089

CE 130 Séchage par convection 090

CE 715 Évaporation à couche ascendante 092

Développer, par l'expérience, les opérations de base du génie des procédés thermiques

Nous vous proposons une gamme complète de produits pour développer expérimentalement les opérations de base du génie des procédés thermiques.

Nos bancs d'essai simplifient la compréhension des bases théoriques sur lesquelles reposent les procédés de séparation thermiques. Les forces motrices et les phénomènes de transfert de chaleur et de matière nécessaires à la séparation peuvent être observés expérimentalement. Ainsi, la personne formée est préparée à l'utilisation responsable d'installations réelles. Dans de nombreux cas, nos dispositifs expérimentaux sont fournis avec un logiciel d'acquisition de données pour faciliter l'apprentissage.

Distillation/rectification

Connaissances de base Distillation 094

Connaissances de base Rectification 095

Aperçu CE 600 Rectification continue 096

CE 600 Rectification continue 098

CE 602 Rectification discontinue 100

CE 610 Comparaison de colonnes de rectification 102

Absorption et adsorption

Connaissances de base Absorption 104

Connaissances de base Adsorption 105

Aperçu CE 400 Absorption de gaz 106

CE 400 Absorption de gaz 108

CE 405 Absorption à film tombant 110

CE 540 Séchage de l'air par adsorption 112

Aperçu CE 583 Adsorption 114

CE 583 Adsorption 116

Cristallisation et procédés de séparation par membrane

Connaissances de base Cristallisation 118

Connaissances de base Procédés de séparation par membrane 119

CE 520 Cristallisation par refroidissement 120

CE 530 Osmose inverse 122

Extraction

Connaissances de base Extraction liquide-liquide 124

Connaissances de base Extraction solide-liquide 125

CE 620 Extraction liquide-liquide 126

CE 630 Extraction solide-liquide 128

Transfert de masse

Connaissances de base Transfert de masse 130

CE 110 Diffusion dans les liquides et les gaz 132

Les concepts d'apprentissage GUNT dans le domaine du génie des procédés thermiques

Qu'aborde le génie des procédés thermiques?

Le domaine du génie des procédés thermiques s'applique à la séparation. Dans les mélanges comprenant au moins deux composants, la composition du mélange (concentration) est modifiée sélectivement par des transferts de masse et d'énergie. Les forces motrices (différences de température et de concentration) pour ces processus de transfert sont générées par l'ajout

d'une contre-phase sélective pour un ou plusieurs composants du mélange. Le mélange comprenant les matières à séparer ainsi que la contre-phase peuvent être solides, liquides ou gazeux. Les procédés sont désignés sous le terme de procédés de séparation multiphasiques et classés selon la nature des phases en présence.

Comment peut-on classer les opérations unitaires du génie des procédés thermiques?

Procédés de séparation multiphasiques			
liquide / gazeux	évaporation	distillation / rectification	absorption
liquide / liquide	extraction	procédés de séparation par membrane/osmose inverse	
solide / liquide		crystallisation	adsorption
solide / gazeux	séchage		

La modélisation des procédés de séparation thermiques est basée sur les principes fondamentaux de conservation de la masse, de l'énergie et de la quantité de mouvement, sur les équilibres des phases et sur les modèles cinétiques pour la détermination des flux de chaleur et de matière. Les paramètres des modèles cinétiques doivent être mesurés et les flux de chaleur et de matière optimisés. Les travaux pratiques sont essentiels car ils permettent une meilleure compréhension des principes de base du génie des procédés, tels que les procédés à co-courant ou contre-courant, les procédés multiétagés, la géométrie des interfaces ou un cours uniforme des forces motrices. L'organisation nécessaire à l'étude, la mise en place et la réalisation des expériences qui permettent la détermination des paramètres de modélisation ne peuvent être transmises de manière claire et compréhensible qu'en faisant usage de bancs d'essai.



Prof. Dr.-Ing. habil.
Kurt Gramlich
(école supérieure Anhalt),
notre conseiller technique
pour le génie des procédés
thermiques

Le Prof. Gramlich nous a conseillé lors de la mise en place de ce projet et nous a fait bénéficier de sa longue expérience de formateur dans le domaine du génie des procédés thermiques.

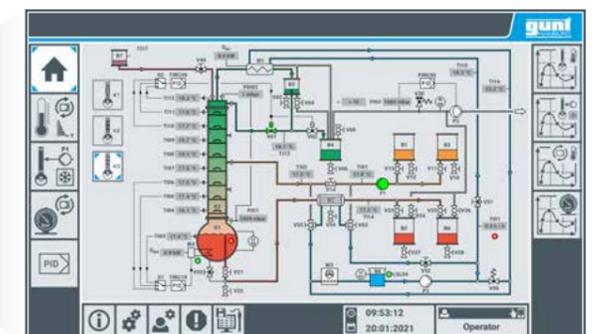
Les textes de cette page ont été rédigés par le Prof. Gramlich.

Nos systèmes didactiques pour le génie des procédés thermiques

Séchage	CE 130 Séchage par convection
Évaporation	CE 715 Évaporation à couche ascendante
Distillation et rectification	CE 600 Rectification continue CE 602 Rectification discontinue CE 610 Comparaison de colonnes de rectification
Absorption	CE 400 Absorption de gaz CE 405 Absorption à film tombant
Adsorption	CE 540 Séchage de l'air par adsorption CE 583 Adsorption
Extraction	CE 620 Extraction liquide-liquide CE 630 Extraction solide-liquide
Cristallisation	CE 520 Cristallisation par refroidissement
Procédés de séparation par membrane	CE 530 Osmose inverse
Transfert de masse	CE 110 Diffusion dans les liquides et les gaz



CE 600
Rectification
continue



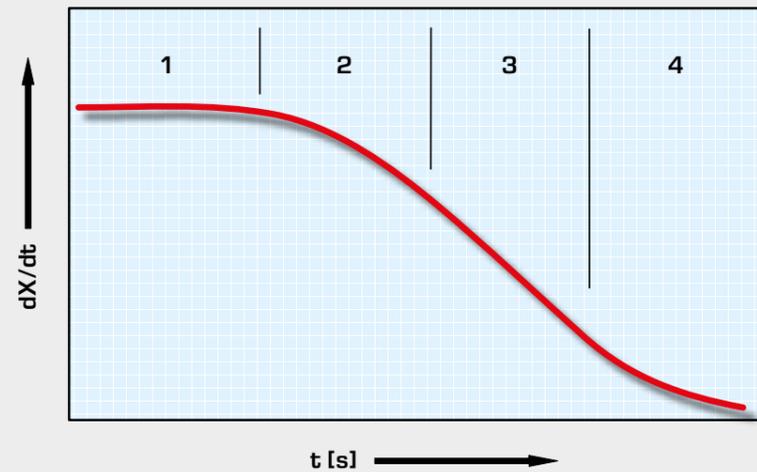
Interface utilisateur d'écran tactile

Connaissances de base Séchage

En règle générale, le terme séchage désigne la séparation de l'humidité des matières solides, des gaz ou des liquides. Pour le séchage des gaz et des liquides, l'adsorption est souvent utilisée. Le séchage des produits solides s'applique tout particulièrement à l'industrie agroalimentaire.

Lors du séchage thermique de matières solides, l'humidité est prélevée du produit par évaporation. Le déroulement du séchage dépend de la manière selon laquelle l'humidité est présente dans

le produit. Au début, il y a d'abord évaporation du liquide à la surface du produit à sécher. Une fois ce liquide enlevé, le séchage affecte l'humidité présente dans les capillaires et les pores. Etant donné que les forces capillaires et les résistances à la diffusion doivent être surmontées, la vitesse de séchage diminue. Pour les structures cristallines, l'eau liée ne peut être enlevée que par un fort chauffage et de faibles vitesses de séchage.



Déroulement du séchage d'une matière solide avec indication des séquences de séchage (1-4):

dX/dt vitesse de séchage, X degré d'humidité [kg (eau)/kg (solide sec)], t durée du séchage,
1 humidité de surface, 2 humidité capillaire, 3 humidité interstitielle, 4 humidité dans la structure cristalline

Etant donné la grande variété des produits humides existants et leur comportement spécifique vis-à-vis du séchage, une large gamme de procédés de séchage est utilisée.

Il est possible de distinguer les opérations unitaires suivantes:

■ Séchage par convection

Un écoulement de gaz échange par convection la chaleur nécessaire au séchage au produit. En plus de l'apport de chaleur, le gaz sert également à l'évacuation de l'humidité du produit.

■ Séchage par contact

Le produit à sécher repose ou est entraîné sur des surfaces chaudes. La chaleur est principalement transmise par conduction.

■ Séchage par rayonnement

Le produit à sécher absorbe le rayonnement électromagnétique émis par des sources de rayonnement (par ex. des émetteurs de rayons infra-rouges). Le chauffage et l'évaporation ne se font pas uniquement à la surface du produit, mais également à l'intérieur.

■ Lyophilisation

L'humidité du produit gelé est amenée directement de l'état solide à l'état de vapeur par la mise sous vide du produit en dessous du point triple.

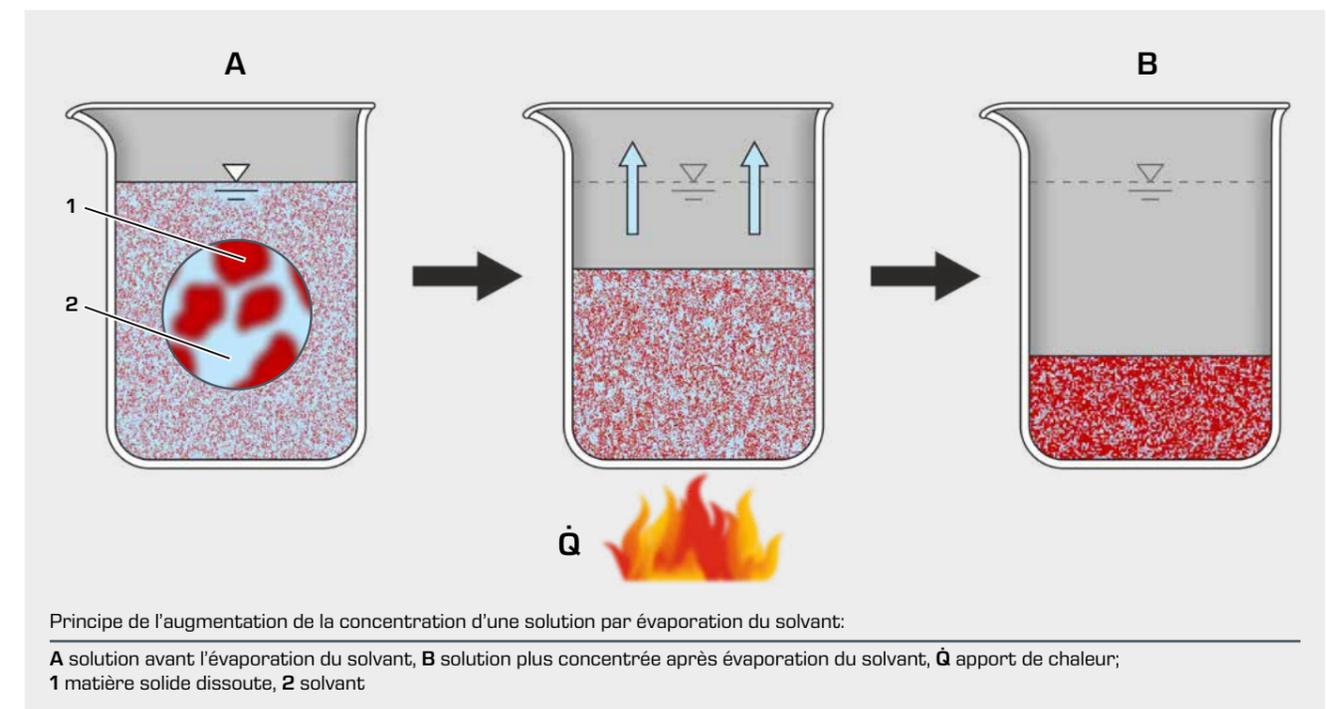
■ Séchage à haute fréquence

Le produit à sécher est exposé à des champs électriques à haute fréquence entre les électrodes d'un condenseur à lames. Une partie de l'énergie est absorbée par le produit. Le produit est ainsi chauffé et l'humidité est éliminée.

Connaissances de base Évaporation

Dans le domaine du génie des procédés thermiques, l'évaporation concerne la séparation du solvant en solution. Par exemple l'eau salée contient un sel (matière solide dissoute) et un solvant (eau). L'apport de chaleur entraîne l'évaporation et l'évacuation du solvant pur présent dans la solution (dans cet exemple l'eau).

La concentration en matière solide dissoute (sel) dans la solution résiduelle est ainsi plus élevée qu'avant l'apport de chaleur.



Principe de l'augmentation de la concentration d'une solution par évaporation du solvant:

A solution avant l'évaporation du solvant, B solution plus concentrée après évaporation du solvant, Q apport de chaleur;
1 matière solide dissoute, 2 solvant

Le but de l'évaporation peut être l'obtention d'un solvant, la production d'une solution concentrée ainsi que la décantation, par cristallisation, de la matière solide initialement dissoute.

Les applications industrielles de l'évaporation sont:

- l'augmentation de la concentration de solutions salines, alcalines, acides, solutions de matières synthétiques, de jus de fruits et de légumes, de lait et autres.
- l'obtention de produits tels que par ex. le sucre à partir du jus clair, le sel à partir d'une eau saumurée, l'eau potable à partir de l'eau de mer.

Selon l'objectif du procédé de séparation, différents types d'évaporateur sont utilisés. Il s'agit généralement d'échangeurs thermiques utilisant la plupart du temps la vapeur comme fluide caloporteur. La solution peut traverser les tubes de l'évaporateur une fois (évaporateur à passage) ou plusieurs fois (évaporateur à recirculation). Les évaporateurs à couche mince sont utilisés pour les solutions contenant des matières sensibles à la température. Ils limitent la durée de séjour de la solution dans les zones à hautes températures.

CE 130

Séchage par convection



Description

- sécheur à convection pour l'étude du séchage de matières solides granuleuses
- enregistrement de courbes de séchage

Les sécheurs à convection sont souvent utilisés pour le séchage de matières solides dans l'agroalimentaire. Le banc d'essai CE 130 permet de représenter et d'étudier de manière concrète le séchage par convection de matières solides granuleuses.

Quatre tôles amovibles en acier inoxydable pouvant être mises dans un canal de séchage sont disponibles pour le séchage de matières solides. Les tôles avec la matière solide à sécher sont exposées à un écoulement d'air dans le canal. Cet écoulement d'air sert d'une part à chauffer la matière solide et, d'autre part, à évacuer la quantité d'humidité libérée. La vitesse de l'air peut être ajustée avec la vitesse de rotation d'un ventilateur. Un dispositif de chauffage ajustable permet de chauffer l'air. La porte transparente dans le canal de séchage permet d'observer le processus de séchage.

La modification de poids de la matière solide occasionnée par l'évaporation de la quantité d'humidité peut être contrôlée même en service avec la balance numérique. La température et l'humidité relative de l'air sont détectées par un capteur de température et d'humidité combiné avant et après le passage de l'écoulement d'air sur la matière solide et affichées sous forme numérique. Un capteur supplémentaire mesure la vitesse de l'air.

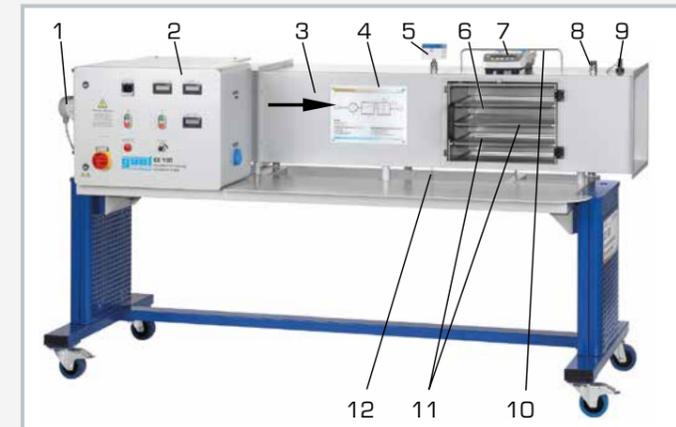
Les valeurs de mesure importantes (modification de poids, humidité, température, vitesse de l'air) peuvent être également transmises directement à un PC pour traitement.

Contenu didactique/essais

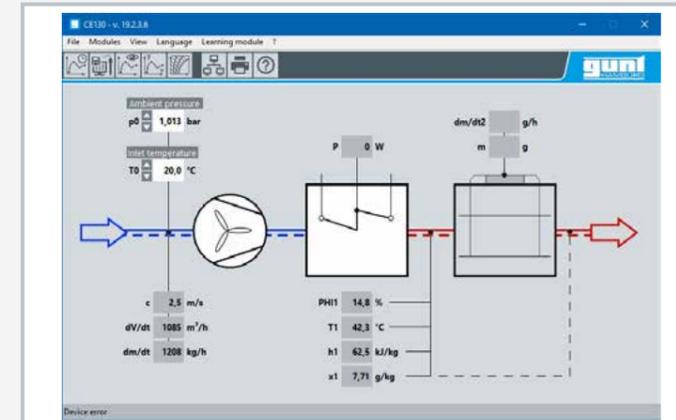
- influence de la température et de l'humidité de l'air sur la vitesse de séchage
- enregistrement des courbes de séchage avec conditions extérieures constantes
- détermination de la vitesse de séchage en fonction des propriétés de l'air et des matières solides à sécher
- évaluation des processus de séchage par bilans énergie et masse

CE 130

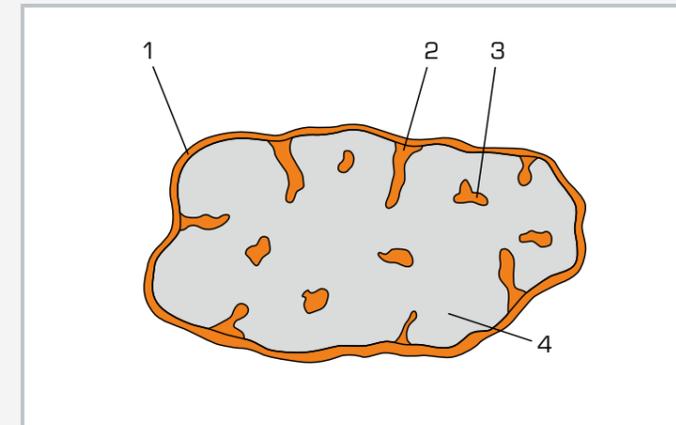
Séchage par convection



1 ventilateur, 2 armoire de commande avec affichages numériques, 3 canal de séchage, 4 schéma de processus, 5 point de mesure avec capteur de température et d'humidité combiné, 6 porte transparente, 7 balance numérique, 8 point de mesure de température et humidité, 9 capteur de vitesse de l'air, 10 bâti pour tôles de séchage, 11 tôles de séchage, 12 capteur de température de la régulation



Capture d'écran du logiciel



Matière à sécher humide: 1 humidité de surface, 2 humidité capillaire, 3 humidité interstitielle, 4 eau de cristallisation

Spécification

- [1] sécheur pour l'étude du séchage par convection de matières solides
- [2] séchage sur 4 tôles inoxydables dans un canal de séchage traversé par un écoulement d'air
- [3] ajustage de la vitesse de l'air par la vitesse de rotation d'un ventilateur
- [4] chauffage de l'air avec dispositif de chauffage réglable
- [5] balance numérique pour déterminer la modification du poids dans le processus de séchage
- [6] 1 capteur combiné pour mesurer la température et la humidité avant et après la matière solide
- [7] 1 capteur de vitesse de l'air
- [8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Canal de séchage

- longueur: 2340mm (avec ventilateur)
- dimensions intérieures: 350x350mm

Ventilateur

- puissance: 33W
- débit max.: 700m³/h
- vitesse de rotation max.: 950min⁻¹

Dispositif de chauffage

- puissance: 0...6750W
- avec limiteur de température ajustable

Balance

- plage de mesure: 0...10000g
- résolution: 0,1g

Plages de mesure

- humidité de l'air: 0...100% r.F.
- température: 0...125°C
- vitesse d'écoulement: 0...2,5m/s

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases
230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 2350x800x1200mm
Poids: env. 175kg

Nécessaire pr le fonctionnement

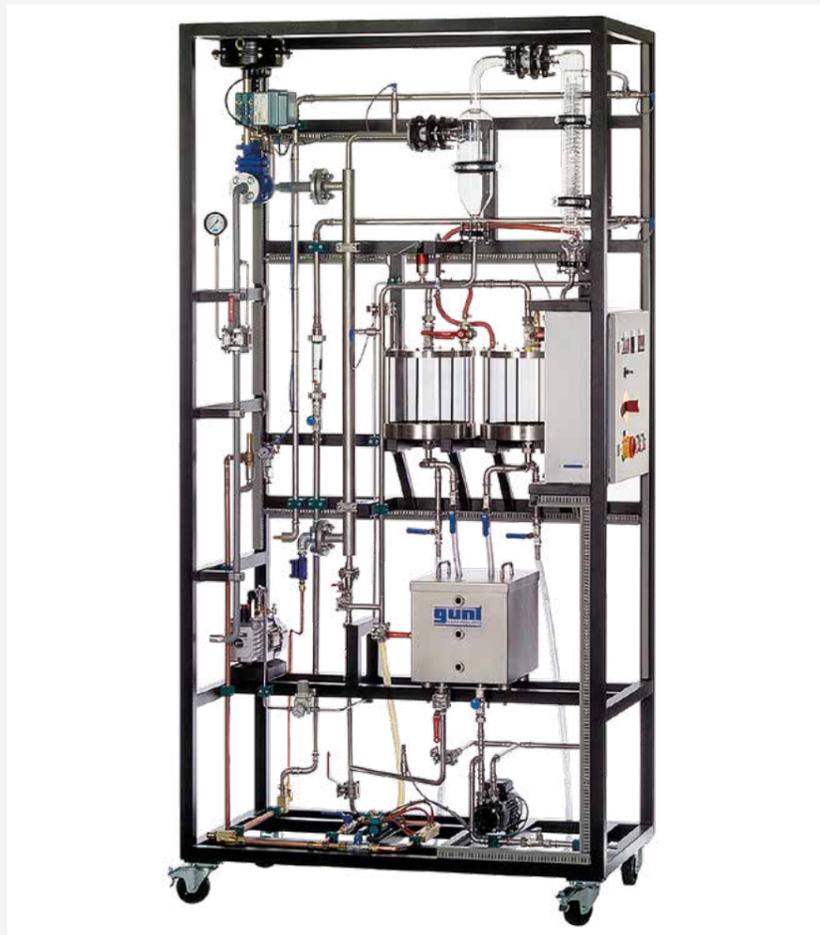
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 balance
- 4 tôles de séchage
- 1 logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

CE 715

Évaporation à couche ascendante



L'illustration montre un appareil similaire

Description

- évaporateur à couche ascendante pour l'augmentation de la concentration de solutions sensibles à la température
- fonctionnement hygiénique grâce à des matériaux sélectionnés tels que l'acier inoxydable et le verre
- nettoyage possible à l'état monté
- procédé en contre-courant

Les évaporateurs sont utilisés dans le génie des procédés et dans l'industrie agroalimentaire pour l'augmentation de la concentration de solutions. Une partie du solvant est séparée par évaporation, si bien que la solution présente une concentration plus élevée de matières solides dissoutes. Les évaporateurs à couche mince sont utilisés en particulier lorsqu'il s'agit de solutions sensibles à la température, telles que le lait par exemple.

Le CE 715 permet d'étudier le comportement en service de l'évaporateur à couche ascendante. Depuis le réservoir d'alimentation, la solution non traitée est transportée par le bas dans l'évaporateur. L'évaporateur est un échangeur de chaleur à double tube chauffé à la vapeur. La pression de la vapeur de chauffe côté enveloppe est ajustée par un régulateur PID. Un cyclone placé en aval de l'évaporateur sert à séparer le solvant évaporé et la solution concentrée. La vapeur du solvant séparée est liquéfiée dans un condenseur refroidi à l'eau et recueillie dans un réservoir. La solution concentrée peut également être recueillie dans un réservoir ou guidée à nouveau dans l'évaporateur pour augmenter la concentration.

Pour une meilleure observation, les deux réservoirs, le cyclone et le condenseur sont en verre. Le système peut également fonctionner sous vide afin de réduire la température d'ébullition du solvant. Pour permettre le bilan et le contrôle du processus, les pressions, les températures et les débits importants sont enregistrés.

Une pompe et des buses de nettoyage dans les réservoirs de condensat et de concentré sont prévues pour permettre le nettoyage du système à l'état monté.

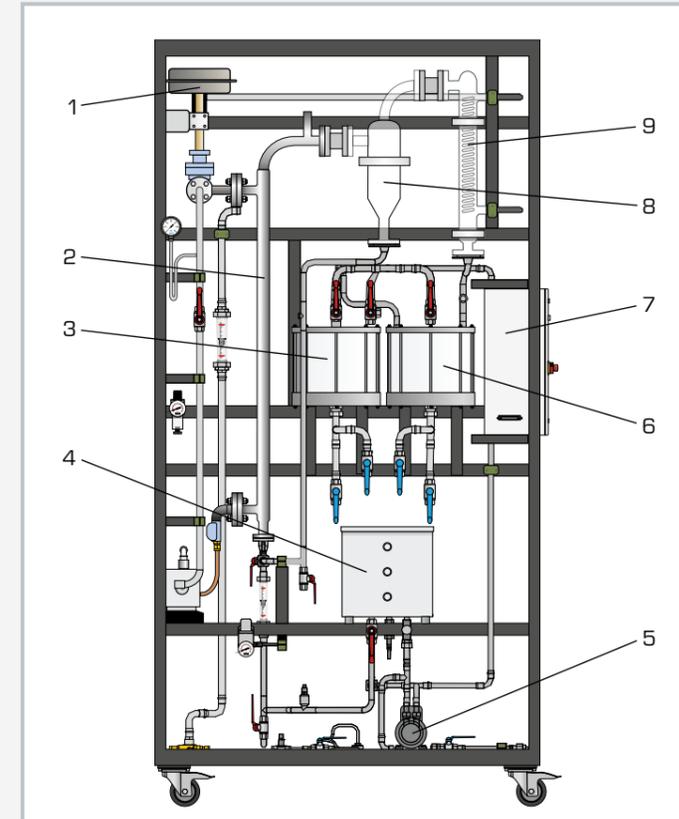
Le sel de cuisine / eau est recommandé comme système d'étude.

Contenu didactique/essais

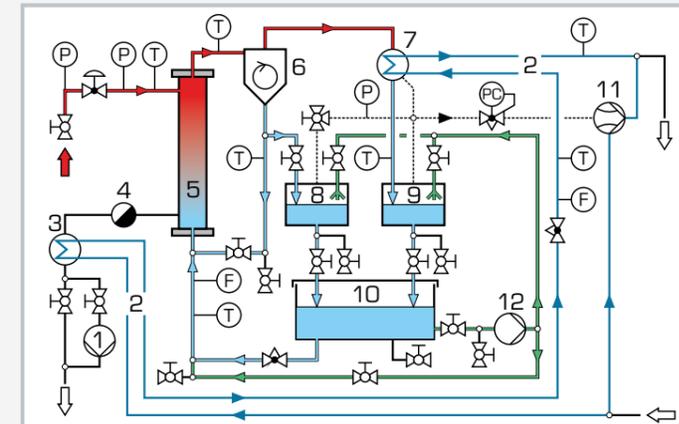
- principe de base de l'évaporation à couche pour l'augmentation de la concentration de solutions sensibles à la température
- étude des variables influant sur la concentration des matières solides de la solution concentrée
- influence de la pression et du débit de l'alimentation sur le processus de séparation
- influence du débit et de la pression de la vapeur de chauffe sur le processus de séparation
- étude des variables opératoires sur l'efficacité énergétique du processus
- bilans énergétiques sur les échangeurs de chaleur
- nettoyage de l'installation à l'état monté

CE 715

Évaporation à couche ascendante



1 soupape de régulation de la vapeur de chauffe, 2 évaporateur à couche ascendante, 3 réservoir de concentré, 4 réservoir d'alimentation, 5 pompe de nettoyage, 6 réservoir de condensat, 7 armoire de commande, 8 cyclone, 9 condenseur



1 pompe de condensat de vapeur de chauffe, 2 eau de refroidissement, 3 refroidisseur de condensat, 4 purgeur de vapeur, 5 évaporateur à couche ascendante, 6 cyclone, 7 condenseur, 8 réservoir de concentré, 9 réservoir de condensat, 10 réservoir d'alimentation, 11 pompe à jet d'eau, 12 pompe de nettoyage; F débit, P pression, T température

Spécification

- [1] évaporateur à couche ascendante pour l'augmentation de la concentration de solutions sensibles à la température
- [2] évaporateur monotubulaire chauffé à la vapeur en acier inoxydable
- [3] soupape de régulation pour l'ajustage de la pression de vapeur de chauffe par régulateur PID
- [4] pompe à jet d'eau et régulateur à vide pour la réduction de la température d'évaporation
- [5] séparation de la solution concentrée et du solvant évaporé par un cyclone en verre
- [6] condenseur en verre pour la liquéfaction de la vapeur de solvant séparée
- [7] réservoir d'alimentation en acier inoxydable
- [8] réservoir de concentré et réservoir de condensat en verre
- [9] enregistrement du débit, de la pression et de la température
- [10] alimentation de vapeur du réseau du laboratoire ou CE 715.01

Caractéristiques techniques

- Évaporateur à couche ascendante
- surface de transfert de chaleur: env. 0,08m²
 - longueur: env. 1,2m
- Soupape de régulation: coefficient de K_{vs} : 0,4m³/h
- Pompe à jet d'eau
- vide final: env. 100mbar
 - débit de refoulement: env. 90L/min
- Régulateur à vide: -100...0kPa
- Condenseur pour vapeur de solvant
- surface de transfert de chaleur: env. 0,2m²
- Réservoirs
- alimentation: env. 30L
 - concentré, condensat: chacun env. 10L

Plages de mesure

- température: 7x 0...170°C
- pression: -1...1bar; 0...6bar (abs); 0...10bar
- débit: 2...36L/h; 0...1000L/h

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxhx: 1420x750x2640mm
Poids: env. 300kg

Nécessaire pr le fonctionnement

eau de refroidissement / eaux usées: min. 500L/h
air comprimé (soupape de régulation): 3...4bar, max. 300L/h
vapeur: min. 3bar, min. 5kg/h ou CE 715.01

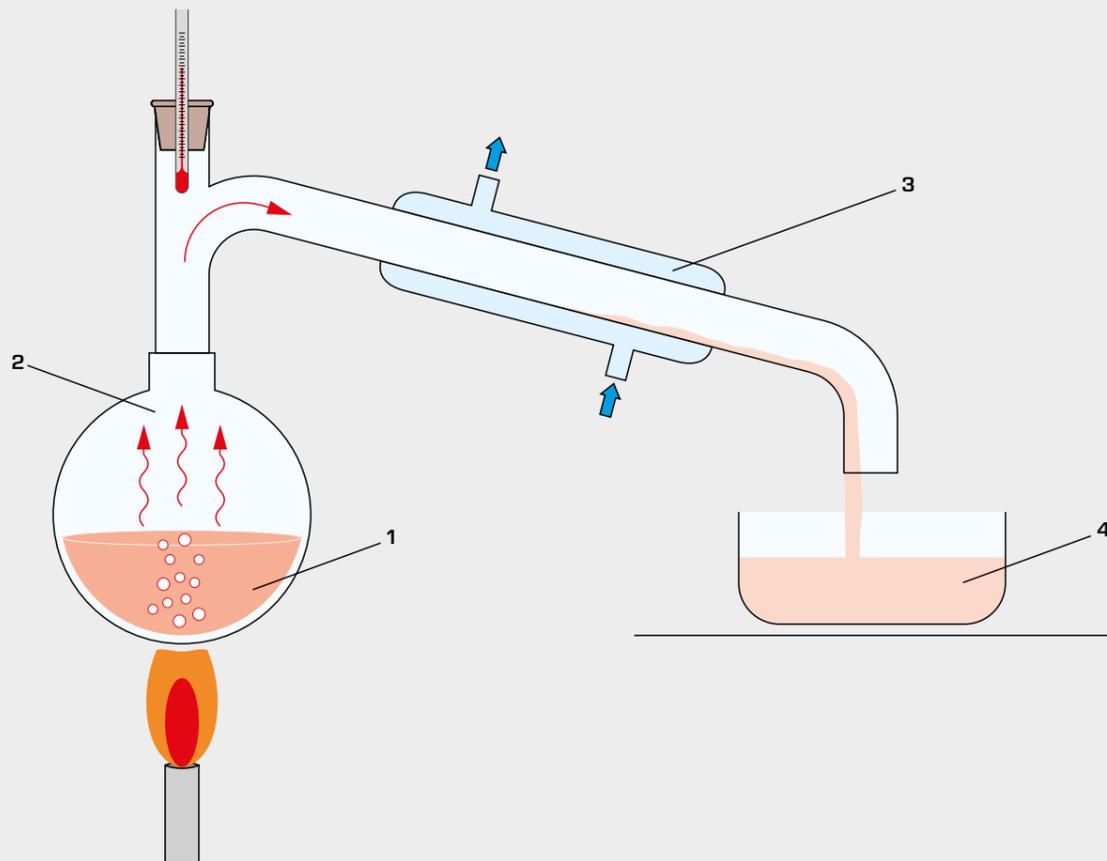
Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu de flexibles
- 1 documentation didactique

Connaissances de base Distillation

La distillation est une opération unitaire permettant de séparer les mélanges de liquides homogènes. On utilise pour la séparation les différentes volatilités des composants du mélange. Le terme volatilité signifie la tendance que présente une matière à

passer de la phase liquide à la phase gazeuse. L'acétone, l'alcool et l'essence sont des exemples de liquides facilement volatils.



Principe de la distillation:

1 mélange de liquides en ébullition, 2 phase de vapeur déplacée vers le haut, 3 condenseur, 4 distillat

Pour obtenir la séparation, le mélange de liquides est porté à ébullition. La phase vapeur obtenue présente plusieurs composants. Cette phase s'enrichit en composés les plus volatils. La phase vapeur est séparée de la phase liquide et est condensée (distillat). Les composés les moins facilement volatils restent quant à eux en majorité dans la phase liquide.

La distillation n'entraîne pas de séparation complète du mélange de liquides, mais la séparation en deux solutions dont les teneurs en composés plus ou moins volatils sont dif-

férentes. Le principe de séparation repose sur le fait que la teneur en composants facilement volatils est plus élevée dans la phase vapeur que dans la phase liquide.

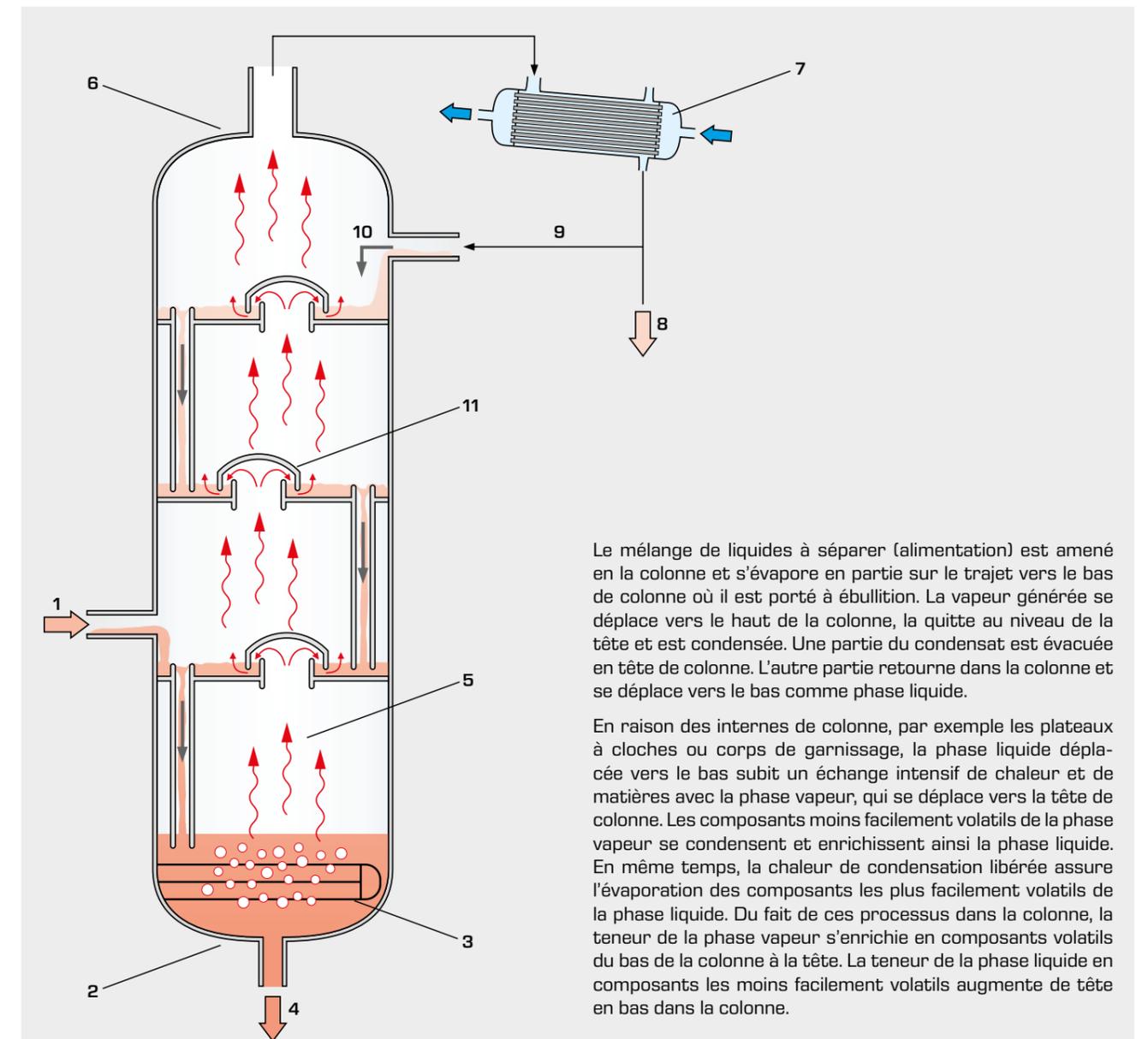
Connaissances de base Rectification

La rectification est une forme d'application de la distillation. Elle est utilisée pour les substances qui sont requises en haute pureté et/ou en grandes quantités, par exemple pour le fractionnement du pétrole.

Si le distillat obtenu par distillation est à nouveau distillé, on obtient un nouveau distillat dont la teneur en composants volatils est encore plus élevée. En recommençant cette opération

plusieurs fois, il est possible d'augmenter à chaque fois cette teneur.

En pratique, cette distillation à plusieurs étapes est effectuée dans une colonne sous forme de distillation à contre-courant (rectification).



Représentation simplifiée d'une colonne de rectification:

1 alimentation, 2 bas de colonne, 3 chauffage du bas de colonne, 4 produit de bas de colonne, 5 phase de vapeur déplacée vers le haut, 6 tête de colonne, 7 condenseur, 8 produit de tête, 9 reflux, 10 phase liquide déplacée vers le bas, 11 plateau de colonne (ici: plateau à cloches)

Le mélange de liquides à séparer (alimentation) est amené en la colonne et s'évapore en partie sur le trajet vers le bas de colonne où il est porté à ébullition. La vapeur générée se déplace vers le haut de la colonne, la quitte au niveau de la tête et est condensée. Une partie du condensat est évacuée en tête de colonne. L'autre partie retourne dans la colonne et se déplace vers le bas comme phase liquide.

En raison des internes de colonne, par exemple les plateaux à cloches ou corps de garnissage, la phase liquide déplacée vers le bas subit un échange intensif de chaleur et de matières avec la phase vapeur, qui se déplace vers la tête de colonne. Les composants moins facilement volatils de la phase vapeur se condensent et enrichissent ainsi la phase liquide. En même temps, la chaleur de condensation libérée assure l'évaporation des composants les plus facilement volatils de la phase liquide. Du fait de ces processus dans la colonne, la teneur de la phase vapeur s'enrichit en composants volatils du bas de la colonne à la tête. La teneur de la phase liquide en composants les moins facilement volatils augmente de tête en bas dans la colonne.

Aperçu

CE 600 Rectification continue

Les mélanges de liquides, constitués de liquides individuels solubles les uns dans les autres, peuvent être séparés par des procédés thermiques tels que la distillation. La rectification correspond à une distillation dont l'énergie est optimisée, effectuée plusieurs fois de suite.

Le CE 600 représente une rectification continue à l'échelle du laboratoire. Trois types de colonnes sont disponibles pour les expériences:

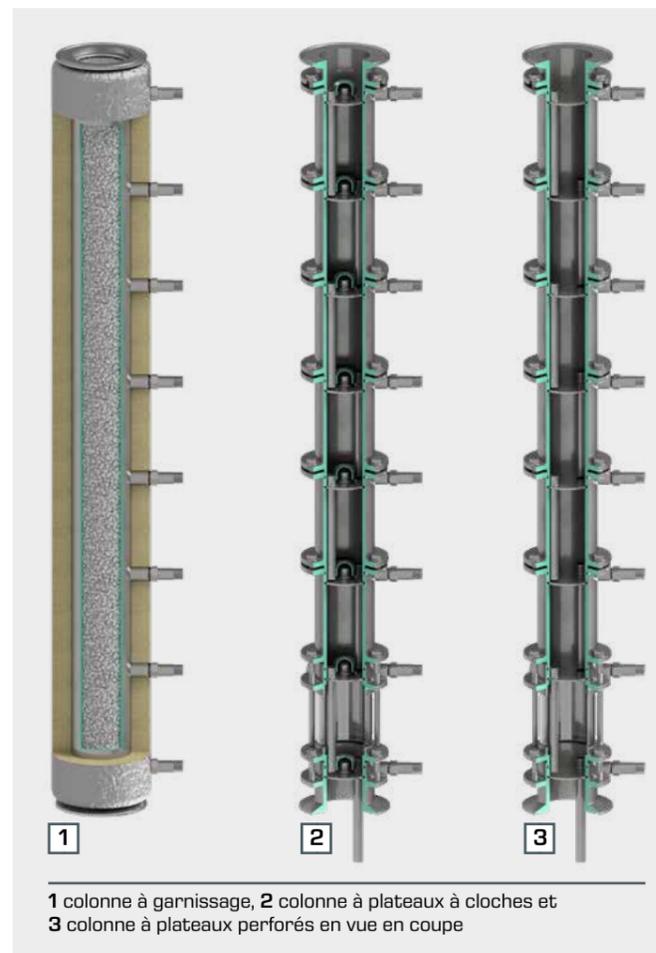
- colonne à plateaux à cloches
- colonne à plateaux perforés
- colonne à garnissage

La colonne à plateaux à cloches et la colonne à plateaux perforés disposent chacune de huit plateaux. Le mélange de liquides à séparer peut être acheminé vers les colonnes à trois hauteurs différentes. Le préchauffage de l'alimentation est possible à l'aide d'un échangeur de chaleur.



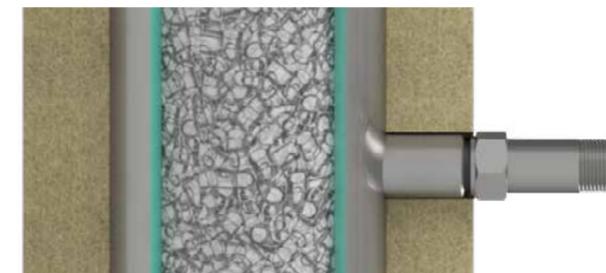
- 1 colonne
- 2 bas de colonne avec dispositif de chauffage
- 3 échangeur de chaleur
- 4 réservoir de produit de bas de colonne
- 5 pompe à diaphragme
- 6 réservoir d'eau pour le circuit de refroidissement
- 7 réservoir d'alimentation
- 8 réservoir de produit de tête
- 9 réservoir de séparation de phases
- 10 condenseur produit de tête

Sur le produit:



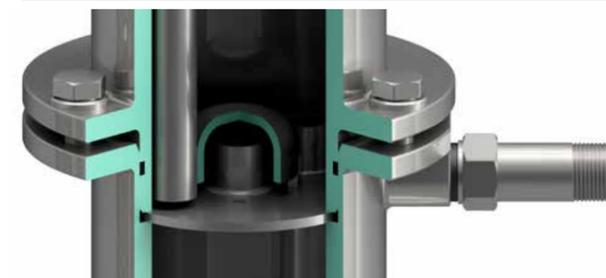
1 colonne à garnissage, 2 colonne à plateaux à cloches et 3 colonne à plateaux perforés en vue en coupe

Colonne à garnissage



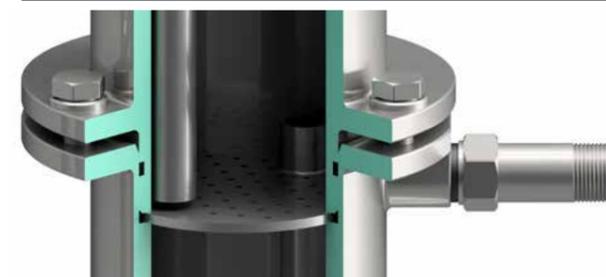
Une colonne à garnissage est constituée d'un matériau de remplissage contenant des corps de garnissage. Les corps de garnissage ont une très grande surface qui est utilisée pour la séparation. La phase liquide s'écoule vers le bas à travers le matériau de remplissage et la phase gazeuse s'écoule vers le haut. Il se produit alors un échange de matières entre les phases.

Colonne à plateaux à cloches



Chaque cloche est constituée d'une cheminée dans laquelle la phase gazeuse s'écoule à partir du bas. La cloche qui se trouve au-dessus dévie la phase gazeuse et la laisse s'échapper près du plateau. En fonctionnement, la cloche se trouve dans la phase liquide, de sorte que la phase gazeuse s'élève en sortant à travers la phase liquide. Il se produit alors un échange de matières entre les phases.

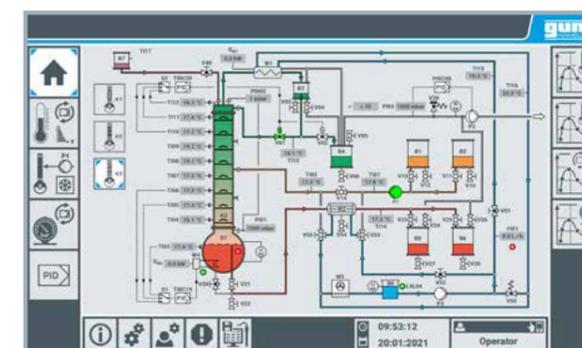
Colonne à plateaux perforés en vue en coupe



Chaque fond de tamis est composé de 3 sections: l'alimentation par un tuyau depuis le plateau situé au-dessus, le tamis au milieu du plateau et l'évacuation en direction du plateau situé en dessous. En fonctionnement, la phase gazeuse s'écoule par le bas à travers le tamis et remonte à travers la phase liquide. Il se produit alors un échange de matières entre les phases.

Contenu didactique

- étude et comparaison d'une colonne à plateaux perforés, d'une colonne à plateaux à cloches et d'une colonne à garnissage
 - ▶ en fonctionnement continu
 - ▶ en fonctionnement discontinu
 - ▶ en fonctionnement sous vide
 - ▶ avec l'alimentation à différentes hauteurs
 - ▶ avec un nombre différent de plateaux (colonne à plateaux perforés et colonne à plateaux à cloches)
- régulation de la température dans la colonne en lien étroit avec la pratique
 - ▶ taux de reflux comme actionneur pour la tête de la colonne
 - ▶ puissance de chauffe comme actionneur pour le bas de la colonne
- détermination des profils de température
- perte de pression au-dessus de la colonne
- augmentation de l'efficacité énergétique par préchauffage de l'alimentation



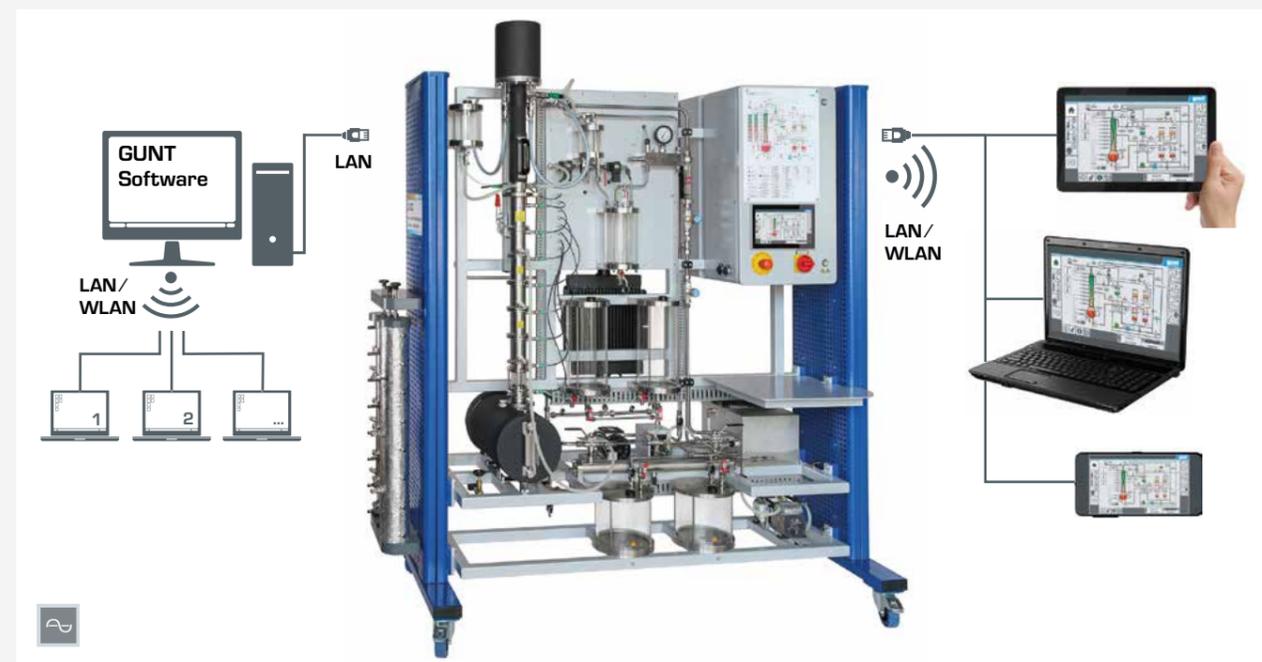
Interface utilisateur d'écran tactile

API et logiciel

L'installation est commandée par un API intégré avec écran tactile. Les valeurs de mesure sont affichées sur l'écran tactile et peuvent être visualisées simultanément directement sur un PC ou un terminal mobile via le réseau LAN. Les valeurs de mesure peuvent être évaluées à l'aide du logiciel GUNT.

CE 600

Rectification continue



L'illustration montre le CE 600 avec la colonne à plateaux perforés montée, possibilité de "screen mirroring" sur différents terminaux

Description

- comparaison de la colonne à garnissage, de la colonne à plateaux perforés et de la colonne à plateaux à cloches
- fonctionnement sous vide avec pompe à diaphragme possible
- commande de l'installation par API intégré
- un routeur intégré pour l'exploitation et le contrôle via un dispositif terminal et pour le "screen mirroring" sur des terminaux supplémentaires: PC, tablette, smartphone

La rectification est un procédé de séparation thermique important dans l'industrie pour les mélanges de liquides homogènes, par exemple pour le fractionnement du pétrole. La rectification correspond à une distillation optimisée sur le plan énergétique, réalisé en plusieurs étages consécutives.

Le CE 600 contient 3 colonnes échangeables: une colonne à plateaux perforés, une colonne à plateaux à cloches et une colonne à garnissage. Le mélange de liquides à séparer peut être amené dans les colonnes à trois hauteurs différentes. Le préchauffage de l'alimentation est possible au moyen d'un échangeur de chaleur. Pour le CE 600, le mélange de liquides éthanol/eau est recommandé.

Le mélange liquide amené s'évapore en partie sur le trajet vers le bas de colonne

chauffé et en ébullition. La vapeur du mélange ainsi créée se déplace vers le haut dans la colonne. Elle est enrichie avec le composant ayant le point d'ébullition plus faible (éthanol). Elle quitte la colonne par la tête, puis est liquéfiée avec un condenseur et un réservoir de séparation de phase. Une partie de ce condensat est recueillie dans un réservoir, l'autre partie revient dans la colonne comme reflux. Lors de sa descente, la vapeur est soumise à un échange de chaleur et de matière intensif avec la vapeur du mélange ascendante. Cet échange entraîne la poursuite de l'enrichissement de la phase vapeur avec de l'éthanol et de la phase liquide dans deux réservoirs.

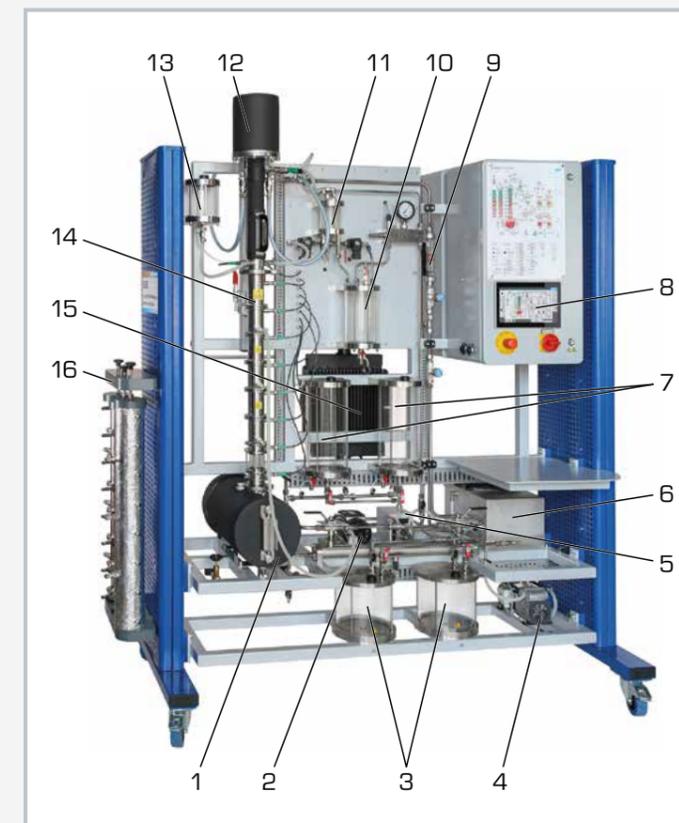
Le banc d'essai est commandé par l'API via un écran tactile. Grâce à un routeur intégré, le banc d'essai peut être alternativement commandé et exploité par un dispositif terminal. L'interface utilisateur peut également être affichée sur des terminaux supplémentaires ("screen mirroring"). Via l'API, les valeurs de mesure peuvent être enregistrées en interne. L'accès aux valeurs de mesure enregistrées est possible à partir des terminaux via WLAN avec routeur intégré/ connexion LAN au réseau propre au client. Via connexion LAN directe, les valeurs de mesure peuvent également être transmises à un PC afin d'y être exploitées à l'aide du logiciel GUNT.

Contenu didactique/essais

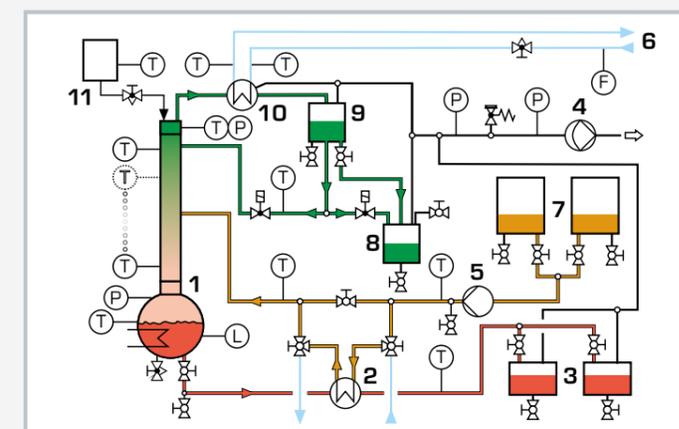
- étude et comparaison d'une colonne à plateaux perforés, d'une colonne à plateaux à cloches et d'une colonne à garnissage
 - ▶ en fonctionnement continu
 - ▶ en fonctionnement discontinu
 - ▶ en fonctionnement sous vide
 - ▶ avec l'alimentation à différentes hauteurs
 - ▶ avec un nombre différent de plateaux (colonne à plateaux perforés et colonne à plateaux à cloches)
- régulation de la température dans la colonne en lien étroit avec la pratique
 - ▶ taux de reflux comme actionneur pour la tête de la colonne
 - ▶ puissance de chauffe comme actionneur pour le bas de la colonne
- détermination des profils de température
- perte de pression au-dessus de la colonne
- augmentation de l'efficacité énergétique par préchauffage de l'alimentation
- "screen mirroring": mise en miroir de l'interface utilisateur sur des terminaux
 - ▶ navigation dans le menu indépendante de la surface affichée sur l'écran tactile
 - ▶ différents niveaux d'utilisateurs sélectionnables sur le terminal: pour l'observation des essais ou pour la commande et l'utilisation

CE 600

Rectification continue



1 évaporateur avec colonne, 2 échangeur de chaleur préchauffage de l'alimentation / refroidissement du bas de colonne, 3 réservoir de produit de bas de colonne, 4 pompe à diaphragme, 5 pompe d'alimentation, 6 réservoir de stockage de circuit d'eau de refroidissement, 7 réservoir d'alimentation, 8 réservoir de produit de tête, 9 réservoir de séparation de phases, 10 condenseur produit de tête, 11 réservoir de solvant, 12 fixation des colonnes



1 évaporateur avec colonne, 2 échangeur de chaleur préchauffage de l'alimentation / refroidissement du bas de colonne, 3 réservoir de produit de bas de colonne, 4 pompe à diaphragme, 5 pompe d'alimentation, 6 circuit d'eau de refroidissement, 7 réservoir d'alimentation, 8 réservoir de produit de tête, 9 réservoir de séparation de phases, 10 condenseur produit de tête, 11 réservoir de solvant; F débit, L niveau, P pression, T température; orange: alimentation, rouge: produit de bas, vert: produit de tête, bleu: circuit d'eau de refroidissement

Spécification

- [1] rectification continue et discontinue
- [2] commande de l'installation par API via l'écran tactile
- [3] routeur intégré pour le contrôle via dispositif terminal et pour "screen mirroring": affichage d'interface utilisateur sur 5 terminaux maximum
- [4] colonne à garnissage, colonne à plateaux perforés et colonne à plateaux à cloches, échangeables
- [5] colonne à plateaux perforés et colonne à plateaux à cloches, 8 plateaux chacun
- [6] colonne à garnissage avec anneaux Raschig
- [7] 3 alimentations et 8 capteurs de température par colonne
- [8] évaporateur à chauffage électrique
- [9] condenseur et réservoir de séparation de phases pour produit de tête
- [10] ajustage du taux de reflux au moyen de vannes
- [11] échangeur de chaleur pour préchauffage d'alimentation par produit de bas ou le refroidissement du produit de base par eau de refroidissement
- [12] économie d'eau grâce à le circuit fermé d'eau de refroidissement avec refroidisseur d'eau/air
- [13] fonctionnement sous vide possible
- [14] aréomètre pour la détermination de la composition d'alimentation/ des produits inclus
- [15] acquisition de données par API sur une mémoire interne, accès aux valeurs de mesure enregistrées par WLAN avec routeur intégré/ connexion LAN au réseau propre au client
- [16] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via LAN sous Windows 8.1, 10

Caractéristiques techniques

API: Eaton XV303 avec système d'E/S XN300
Colonnes: hauteur x diamètre intérieur: 780x50mm
Pompe d'alimentation

- débit de refoulement max.: 320mL/min
- débit de refoulement max.: 10L/min

- débit de refoulement max.: 10L/min
- débit de refoulement max.: 10L/min
- débit de refoulement max.: 10L/min
- débit de refoulement max.: 10L/min
- débit de refoulement max.: 10L/min

- débit de refoulement max.: 10L/min
- débit de refoulement max.: 10L/min
- débit de refoulement max.: 10L/min
- débit de refoulement max.: 10L/min
- débit de refoulement max.: 10L/min

400V, 50Hz, 3 phases; 400V, 60Hz, 3 phases
230V, 60Hz, 3 phases; UL/CSA en option
Lxlxh: 1905x790x2200mm
Poids: env. 400kg

Liste de livraison

- 1 banc d'essai, 1 jeu d'accessoires
- 1 logiciel GUNT, 1 documentation didactique

CE 602

Rectification discontinue



Contenu didactique/essais

- étude et comparaison d'une colonne à plateaux perforés et d'une colonne à garnissage
 - ▶ en fonctionnement discontinu
 - ▶ en fonctionnement sous vide
 - ▶ avec différents taux de reflux
 - ▶ avec nombre de plateaux différent
- détermination des profils de concentration
- détermination des profils de température
- perte de pression au-dessus de la colonne

Description

- **rectification discontinue**
- **comparaison de la colonne à garnissage et de la colonne à plateaux perforés**
- **fonctionnement sous vide possible**
- **plateaux de colonne à plateaux perforés amovibles**

La distillation sert à la séparation d'un mélange de liquides solubles. La distillation à contre-courant est désignée par le terme rectification. Pour la CE 602, le mélange de liquides éthanol/eau est recommandé. Il est rempli dans le réservoir de l'évaporateur (bas de colonne). La vapeur du mélange ainsi créée se déplace vers le haut dans la colonne. Elle est enrichie avec le composant ayant le point d'ébullition le plus faible (éthanol). Elle quitte la colonne par la tête, puis est liquéfiée avec un condenseur et un réservoir de séparation de phase.

Une partie de ce condensat est recueillie comme produit dans un réservoir, l'autre partie revient dans la colonne comme reflux. Lors de sa descente, la vapeur est soumise à un échange de chaleur et de matière intensif avec la vapeur du mélange ascendante. Cet échange entraîne la poursuite de l'enrichissement de la phase vapeur avec de l'éthanol et de la phase liquide avec de l'eau. La phase liquide se déplace vers le bas de colonne où elle s'accumule.

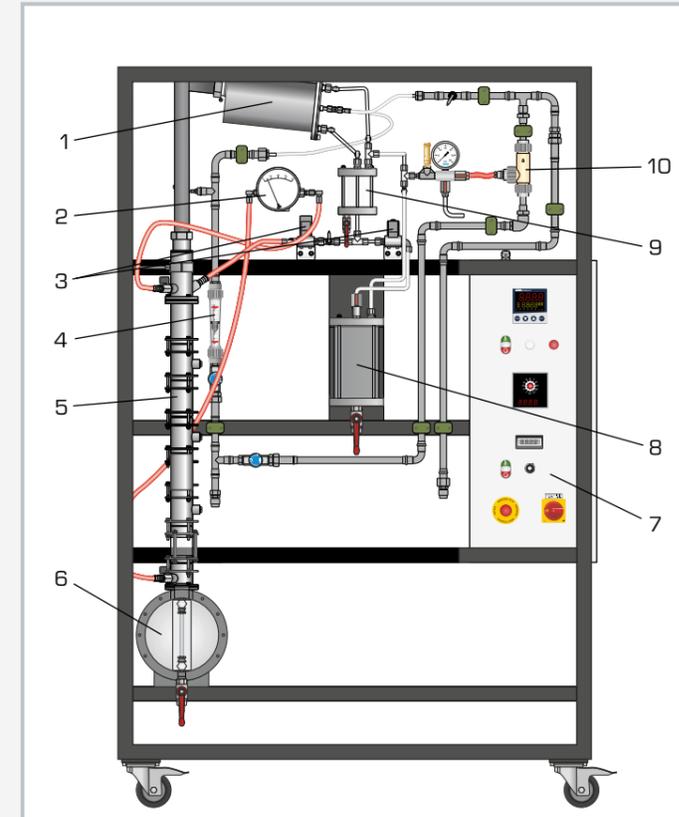
Une colonne à plateaux perforés et une colonne à garnissage sont disponibles. La colonne à garnissage est remplie d'anneaux Raschig. Le taux de reflux peut être ajusté par des vannes.

Les valeurs de mesure pertinentes sont enregistrées par des capteurs et affichées sous forme numérique sur l'armoire de commande. L'ajustage de l'évaporateur est effectué au moyen d'un régulateur PID.

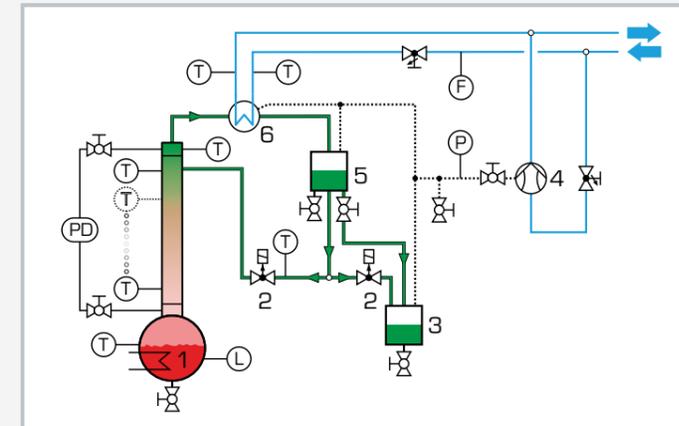
Un grand schéma de processus clair sur l'armoire de commande permet l'affectation aisée de toutes les grandeurs de processus.

CE 602

Rectification discontinue



1 condenseur produit de tête, 2 manomètre (pression différentielle colonne), 3 vannes (taux de reflux), 4 débitmètre eau de refroidissement, 5 colonne à plateaux perforés ou colonne à garnissage, 6 évaporateur, 7 armoire de commande avec éléments d'affichage et de commande, 8 réservoir de produit de tête, 9 réservoir de séparation de phases, 10 pompe à jet d'eau



1 évaporateur avec colonne, 2 vannes (taux de reflux), 3 réservoir de produit de tête, 4 pompe à jet d'eau, 5 réservoir de séparation de phases, 6 condenseur; F débit, L niveau, P pression, PD pression différentielle, T température; bleu: eau de refroidissement

Spécification

- [1] rectification discontinue avec colonne à garnissage et colonne à plateaux perforés
- [2] colonnes échangeables
- [3] colonne à plateaux perforés, 8 plateaux
- [4] colonne à garnissage avec anneaux Raschig
- [5] fonctionnement sous vide avec pompe à jet d'eau possible
- [6] évaporateur à chauffage électrique
- [7] réservoir pour produit de tête
- [8] condenseur et réservoir de séparation de phases pour produit de tête
- [9] tous les réservoirs sont en verre DURAN et en acier inoxydable
- [10] ajustage du taux de reflux au moyen de vannes
- [11] 8 capteurs de température par colonne

Caractéristiques techniques

Colonnes: diamètre intérieur: 50mm, hauteur: 765mm
Pompe à jet d'eau: vide final: env. 200mbar

Réservoirs

- produit de tête env. 2000mL
- séparation de phases: env.500mL

Évaporateur

- puissance: 0...4kW
- réservoir: env. 10L

Surface de transfert de chaleur

- condenseur produit de tête: env. 0,04m²

Plages de mesure

- température: 13x 0...150°C
- taux de reflux: 0...100%
- débit: 30...320L/h (eau de refroidissement)
- pression différentielle: 0...60mbar (colonne)
- manomètre: -1...0,6bar

400V, 50Hz, 3 phases

230V, 60Hz, 3 phases, 400V, 60Hz, 3 phases

UL/CSA en option

Lxlh: 1300x750x2100mm

Poids: env. 210kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau: 500...1000L/h, drain

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 colonne
- 1 jeu de flexibles
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

CE 610

Comparaison de colonnes de rectification



Contenu didactique/essais

- étude et comparaison d'une colonne à plateaux perforés et d'une colonne à garnissage
 - ▶ en fonctionnement continu
 - ▶ avec différentes pressions
 - ▶ avec différents taux de reflux
 - ▶ avec différentes hauteurs d'alimentation
- détermination des teneurs en éthanol dans l'alimentation et dans les produits
- détermination du rendement des plateaux perforés
- évaluation avec le diagramme de McCabe et Thiele
- évaluation avec le concept HTU-NTU

Description

- rectification continue
- colonne à garnissage et colonne à plateaux perforés
- alimentation en chaleur de processus par vapeur
- commande de l'installation par API avec écran tactile
- plus de 40 grandeurs de mesure et 12 boucles de régulation

Les colonnes de rectification sont utilisées pour la séparation des phases liquides et fonctionnent selon le principe de la distillation. Procédé de séparation, la distillation se compose de l'évaporation partielle d'une phase liquide et de la condensation de la phase gazeuse formée. Le procédé de séparation de la rectification est une distillation à plusieurs étages qui est optimisée sur le plan énergétique. Pour le fonctionnement de l'installation d'essai, il est recommandé d'utiliser un mélange eau-éthanol.

L'installation d'essai CE 610 est conçue pour le fonctionnement continu d'une colonne de rectification à la fois. Comme colonnes de rectification, on dispose d'une colonne à garnissage avec anneaux de Pall et d'une colonne à plateaux perforés avec dix plateaux.

Pour étudier les colonnes de rectification, il est possible de modifier les différents paramètres de processus. Parmi ces paramètres, on peut citer le taux de reflux et le point de mesure de la température pour la régulation de température. On mesure l'impact des modifications à l'aide des teneurs en éthanol dans les produits (mesure gravimétrique), ce qui permet de déterminer le rendement de séparation. Pour évaluer les essais, le logiciel offre une détermination des plateaux théoriques au moyen du diagramme de McCabe et Thiele et du concept HTU-NTU.

L'installation d'essai dispose de fonctions très complètes de mesure, de réglage et de commande qui sont pilotées par un API. Un écran tactile affiche les valeurs de mesure et les états de fonctionnement et permet de commander l'installation. Les valeurs de mesure peuvent être transmises simultanément via USB à un PC afin d'y être exploitées à l'aide du logiciel fourni.

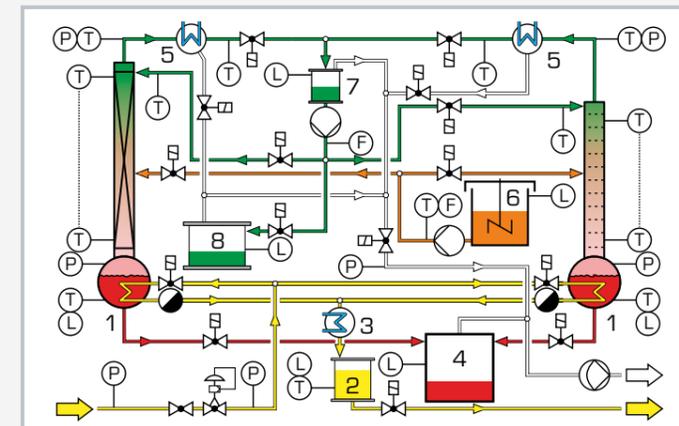
L'alimentation en vapeur est assurée par le réseau du laboratoire ou par le générateur de vapeur électrique (CE 715.01) disponible en option.

CE 610

Comparaison de colonnes de rectification



1 réservoir de condensat, 2 bas de colonne avec évaporateur, 3 réservoir de produit de bas, 4 réservoir d'alimentation, 5 colonne à plateaux perforés avec condenseur de tête et bas de colonne, 6 réservoir de produit de tête, 7 colonne à garnissage, 8 condenseur de tête, 9 plateforme, 10 armoire de commande avec API et écran tactile



1 évaporateur avec colonne, 2 réservoir de condensat, 3 refroidisseur de condensat, 4 réservoir de produit de bas, 5 condenseur de tête, 6 réservoir d'alimentation, 7 réservoir de séparation de phases, 8 réservoir de produit de tête; F débit, L niveau, P pression, T température; rouge: produit de bas, vert: produit de tête, orange: alimentation, bleu: eau de refroidissement, jaune: vapeur, blanc: vide

Spécification

- [1] rectification continue avec colonne à garnissage et colonne à plateaux perforés
- [2] taux de reflux variable
- [3] colonne à garnissage avec anneaux de Pall, avec 10 hauteurs d'alimentation et mesures de température
- [4] colonne à plateaux perforés avec 10 plateaux; chaque plateau est pourvu d'une alimentation et d'une mesure de température
- [5] réservoirs pour alimentation, produit de bas et produit de tête en verre DURAN et acier inoxydable
- [6] fonctionnement possible jusqu'à 115°C et 1,5bar
- [7] enregistrement de toutes les grandeurs pertinentes par le biais de plus de 40 capteurs
- [8] API avec écran tactile pour la commande de l'installation
- [9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Colonne à garnissage

- diamètre intérieur: 100mm
- hauteur de garnissage: 3000mm

Colonne à plateaux perforés

- diamètre intérieur: 100mm
- nombre de plateaux perforés: 10

Pompe d'alimentation

- débit max.: 19L/h

Réservoir

- alimentation: 20L

Plages de mesure

- température: 31x 0...150°C
- débit: 1x 1,5...20L/h (alimentation)
- débit: 1x 0,3...105L/h (distillat)
- débit: 1x 24...720L/h (eau de refroidissement)
- pression:
 - ▶ 5x 0...2,5bar (abs.)
 - ▶ 1x 0...5bar
 - ▶ 1x 0...10bar

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase, 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 2030x850x4000mm

Poids: env. 480kg

Nécessaire pr le fonctionnement

eau de refroidissement (min. 800L/h, min. 4bar, max. 25°C), vapeur (8kg/h, 4...6bar)
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

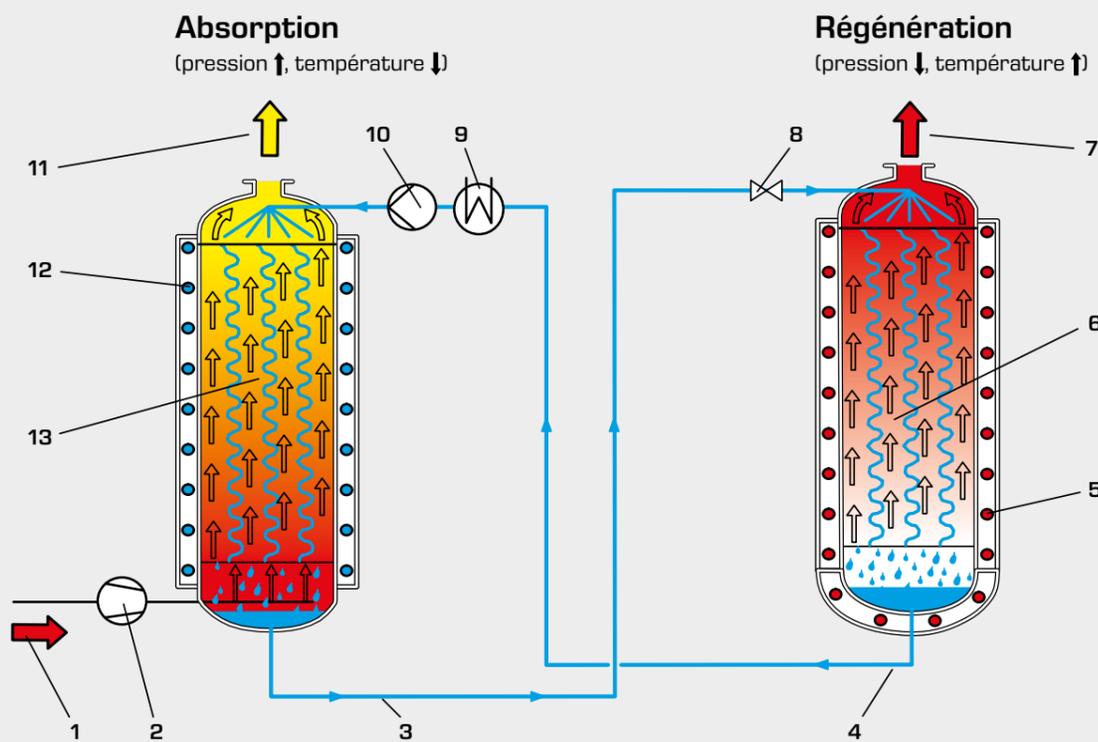
- 1 installation d'essai
- 1 logiciel GUNT + câble USB
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

Connaissances de base Absorption

L'absorption sert à la séparation d'un ou plusieurs composants gazeux d'un écoulement de gaz à l'aide d'un solvant. Les objectifs de l'absorption peuvent être divers:

- le composant gazeux à séparer est un produit souhaité.
- le composant gazeux à séparer n'est pas souhaité. Il peut s'agir par exemple d'enlever un produit nocif d'un écoulement de gaz de combustion.
- la production d'un liquide; par exemple la production d'acide chlorhydrique par absorption de gaz HCl dans l'eau.

Au moins 3 composants participent à l'absorption: le composant de gaz à séparer (absorbé), le gaz porteur et le solvant (absorbant).



Installation d'absorption:

- 1 écoulement de gaz avec le composant à séparer et gaz porteur, 2 compresseur, 3 solvant, chargé avec le composant à séparer, 4 solvant régénéré, 5 chauffage, 6 colonne de désorption, 7 composant de gaz séparé, 8 soupape de détente, 9 refroidisseur, 10 pompe, 11 gaz porteur, 12 refroidissement, 13 colonne d'absorption

En fonction du composant gazeux à séparer, il convient d'utiliser un solvant qui sépare ce composant de manière sélective. Dans ce cas, "de manière sélective" signifie que le solvant absorbe principalement le ou les composants à séparer et non pas le gaz porteur. Les pressions élevées et les températures basses favo-

risent l'absorption. Selon le type de solvant, le gaz est absorbé par dissolution physique (absorption physique) ou réaction chimique (absorption chimique).

Dans la plupart des cas, une étape de désorption pour la régénération du solvant suit l'étape d'absorption pour sépa-

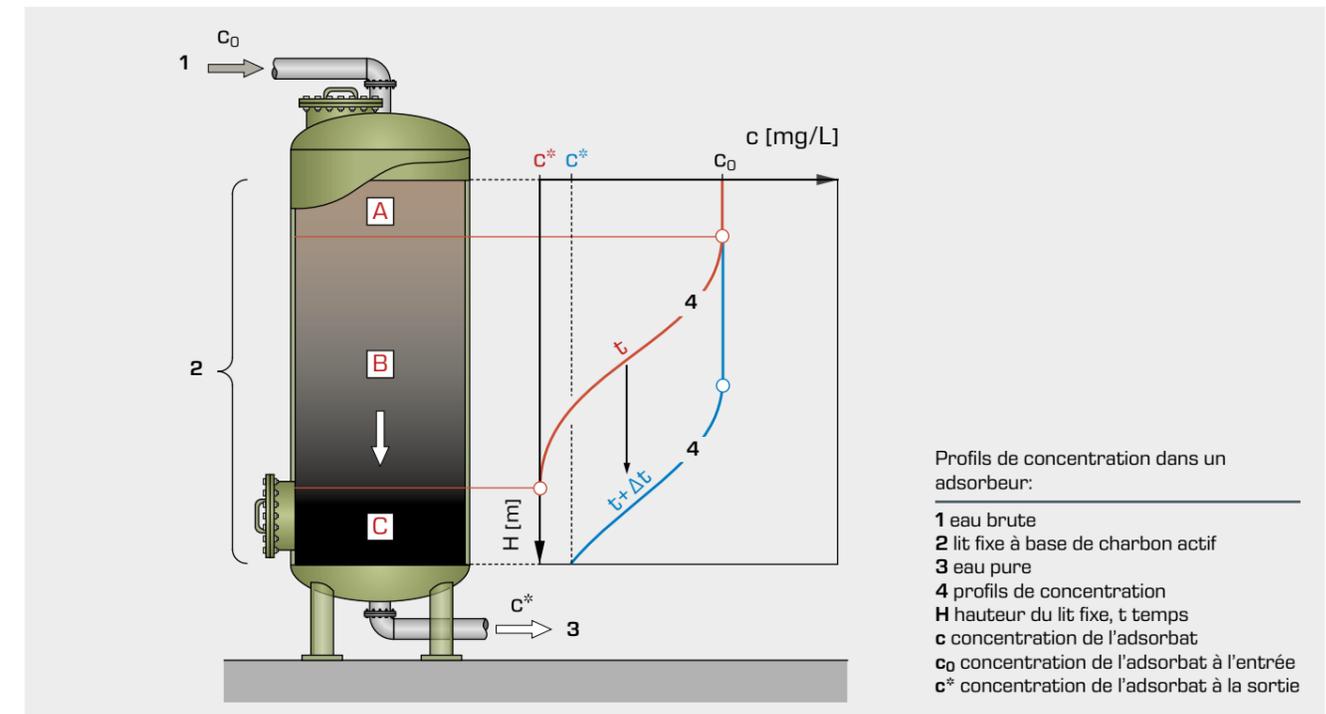
rer les composants du gaz présents dans le solvant. Les températures élevées ou les basses pressions réduisent la solubilité des gaz dans le solvant, ce qui entraîne l'expulsion des gaz. Le solvant peut par conséquent être réutilisé et introduit dans le circuit.

Connaissances de base Adsorption

L'adsorption sert à la séparation des différents composants d'un mélange gazeux ou liquide. Le composant à séparer est lié physiquement ou chimiquement à la surface du solide.

La matière solide est désignée par le terme adsorbant, le composant adsorbé par adsorbé. Si l'adsorbant reste en contact suffisamment longtemps avec l'adsorbé, un équilibre d'adsorption est établi. L'adsorbant est alors complètement saturé et

ne peut plus accepter d'adsorbé. L'adsorbant le plus répandu est le charbon actif. Le charbon actif possède une structure poreuse très marquée. La surface des pores pour un gramme de charbon actif est ainsi d'environ 1000 m².



Profils de concentration dans un adsorbent:

- 1 eau brute
2 lit fixe à base de charbon actif
3 eau pure
4 profils de concentration
H hauteur du lit fixe, t temps
c concentration de l'adsorbé
c₀ concentration de l'adsorbé à l'entrée
c* concentration de l'adsorbé à la sortie

L'adsorption est réalisée principalement au moyen d'adsorbents traversés en continu. Le profil de concentration représenté en rouge sur la figure correspond au temps d'écoulement t. Il correspond à l'évolution de la concentration de l'adsorbé dans l'eau le long du lit fixe.

Ce profil de concentration se divise en trois zones:

■ Zone A

L'adsorbant est complètement chargé et ne peut plus accepter d'adsorbé. L'équilibre d'adsorption est donc atteint. La concentration de l'adsorbé correspond à la concentration d'entrée (c₀).

■ Zone B

L'équilibre d'adsorption n'est pas encore atteint, de telle sorte que l'adsorbé continue d'être adsorbé. Cette zone est donc appelée zone de transfert de masse.

■ Zone C

L'adsorbé dans la zone B ayant été complètement éliminé, l'adsorbant reste non chargé. La concentration de l'adsorbé est donc zéro.

Progressivement, le profil de concentration traverse le lit fixe dans le sens de l'écoulement. Il correspond à la courbe bleue dans le sens de l'écoulement. Il correspond à l'instant t + Δt. Le lit fixe ne comporte plus aucun adsorbant non chargé. La concentration de l'adsorbé à la sortie (c*) est supérieure à zéro. On parle alors d'un état de perçage, la courbe temporelle de concentration de l'adsorbé à la sortie étant appelée courbe de perçage. La forme du profil de concentration indique avec quelle efficacité la capacité d'un adsorbant est exploitée jusqu'à le perçage. Plus la zone de transfert de masse est étroite, plus la capacité est exploitée efficacement.

Aperçu

CE 400 Absorption de gaz

Les procédés d'absorption sont fréquemment utilisés pour la préservation de la qualité de l'air. Parmi les domaines d'application typiques, on peut citer l'épuration de l'air extrait des centrales nucléaires pour la désulfuration des gaz. Le banc d'essai CE 400 vous permet d'expliquer de manière claire les fondements théoriques complexes de ce procédé à l'échelle du laboratoire.

L'appareil est conçu pour la séparation absorptive du dioxyde de carbone dans un écoulement d'air. De l'eau est utilisée comme solvant pour l'absorption du dioxyde de carbone. Cela permet d'assurer aux utilisateurs un fonctionnement sécurisé de l'appareil.



- 1 armoire de commande
- 2 colonnes d'absorption
- 3 manomètre à tube en U
- 4 colonne de désorption
- 5 groupe frigorifique
- 6 réservoir de refroidissement
- 7 schéma de processus

Mode de fonctionnement

Les composants principaux de l'appareil sont deux colonnes d'absorption remplies d'anneaux Raschig. Le mélange air/CO₂ préalablement refroidi est acheminé à partir du bas jusqu'aux colonnes d'absorption. Le solvant (eau) ruisselle à contre-courant du haut vers le bas à travers les colonnes d'absorption, ce qui a pour effet de dissoudre le dioxyde de carbone dans l'eau. L'eau ainsi enrichie en dioxyde de carbone peut ensuite être régénérée dans une colonne de désorption et redevenir ainsi disponible pour l'absorption.

Instrumentation

L'appareil est équipé d'instruments de mesure et de régulation très complets. Tous les débits, températures et pressions significatifs sont mesurés et affichés en continu. Chaque colonne d'absorption est en outre équipée d'un manomètre à tube en U pour la mesure des pressions différentielles. Vous pouvez vérifier le succès du processus d'absorption à l'aide de l'appareil d'analyse des gaz qui est fourni. Ainsi, vous n'avez besoin d'aucun dispositif de mesure supplémentaire pour obtenir des résultats quantifiables.



Appareil d'analyse des gaz pour la détermination de la teneur en oxygène et de la teneur en dioxyde de carbone.

Sur le produit:



Le CE 400 est utilisé avec succès par de nombreux établissements de formation supérieure à travers le monde. Comme par exemple à l'University of Hull (l'Angleterre).



Un employé de GUNT explique à des enseignants de l'University of Hull comment fonctionne le CE 400 Absorption de gaz.

- étude de l'absorption lors de la séparation de mélanges gazeux dans une colonne à garnissage
- détermination des pertes de pression dans la colonne
- représentation de l'absorption dans le diagramme d'équilibre
- étude des grandeurs d'influence sur l'effectivité de l'absorption

CE 400

Absorption de gaz



Contenu didactique/essais

- étude de l'absorption lors de la séparation de mélanges gazeux dans une colonne à garnissage
- détermination des pertes de pression dans la colonne
- représentation de l'absorption dans le diagramme d'équilibre
- étude des grandeurs d'influence sur l'efficacité de l'absorption

2E

Description

- **séparation d'un mélange CO₂-air par absorption à contre-courant**
- **colonne à garnissage en verre DURAN**
- **fonctionnement en toute sécurité grâce à l'utilisation de l'eau comme solvant et de gaz inoffensifs**
- **régénération du solvant par vide**
- **analyse du gaz avec appareil de mesure portable**

L'absorption sert à la séparation d'un ou plusieurs composants gazeux d'un écoulement de gaz à l'aide d'un solvant.

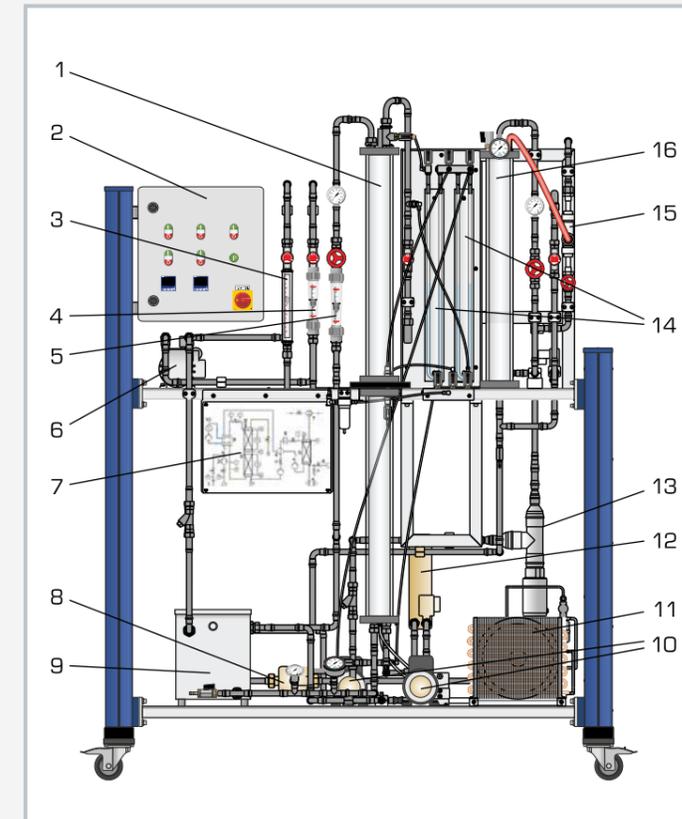
Un mélange gazeux est d'abord formé à partir du CO₂ et de l'air. Il est possible d'ajuster la proportion du mélange avec des vannes. Les débits des composants du gaz sont indiqués.

Un compresseur refoule le mélange gazeux dans la partie inférieure de la colonne d'absorption. Dans la colonne, la séparation d'une partie du CO₂ a lieu à contre-courant. De l'eau est utilisée comme solvant. Le CO₂ est absorbé par l'eau qui ruisselle et l'eau chargée est guidée au bas de la colonne d'absorption dans une colonne de désorption. La solubilité du CO₂ dans l'eau diminue pendant que la pression baisse et la température augmente. Un dispositif de chauffage chauffe l'eau. Une pompe à jet d'eau crée la dépression dans la colonne de désorption. Cette opération entraîne le dégagement du CO₂ de l'eau. Une pompe refoule le solvant ainsi régénéré dans la colonne d'absorption.

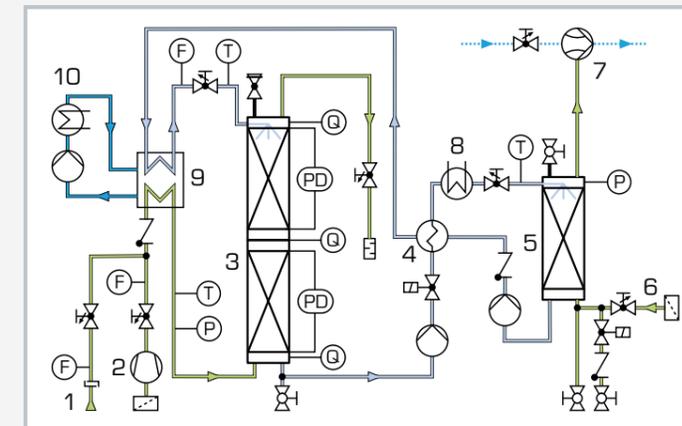
Il est possible de régler la température de l'eau. Le débit, la température et la pression sont mesurés en continu. La colonne en deux parties est équipée de raccords pour déterminer les pertes de pression. La perte de pression dans chaque partie peut être lue sur deux manomètres à tube en U. Pour évaluer le rendement de la séparation, le banc d'essai est équipé de points de prélèvement de gaz et de liquide. Les prélèvements de gaz peuvent être analysés avec un appareil de mesure portable fourni.

CE 400

Absorption de gaz



1 colonne d'absorption, 2 armoire de commande, 3 débitmètre CO₂, 4 débitmètre air, 5 débitmètre solvant, 6 compresseur, 7 schéma de processus, 8 pompe (refroidissement), 9 réservoir de refroidissement, 10 pompes (absorption/désorption), 11 groupe frigorifique, 12 échangeur de chaleur, 13 dispositif de chauffage, 14 manomètre à tube en U, 15 pompe à jet d'eau, 16 colonne de désorption



1 bouteille CO₂ externe sous pression avec soupape de réduction de pression, 2 compresseur (air), 3 colonne d'adsorption, 4 échangeur de chaleur, 5 colonne de désorption, 6 air pour désorption, 7 pompe à jet d'eau, 8 dispositif de chauffage, 9 réservoir de refroidissement, 10 groupe frigorifique; débit, P pression, PD pression différentielle, T température, Q point de prélèvement (gaz)

Spécification

- [1] séparation d'un mélange CO₂-air par absorption à contre-courant avec de l'eau
- [2] création du mélange gazeux avec CO₂ à partir de la bouteille sous pression et de l'air intérieur
- [3] ajustage de la proportion du mélange avec des vannes
- [4] compresseur pour le refoulement du mélange gazeux dans la colonne
- [5] colonne d'absorption (à garnissage) et colonne de désorption en verre DURAN
- [6] régénération continue du solvant dans le circuit avec colonne de désorption à vide
- [7] 1 pompe pour la colonne de désorption et 1 pompe pour le retour du solvant à la colonne d'absorption
- [8] régulation de la température de l'eau avec dispositif de chauffage et groupe frigorifique
- [9] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Colonne d'absorption
 ■ hauteur: 2x 750mm, diamètre intérieur: 80mm
 Colonne de désorption
 ■ hauteur: 750mm, diamètre intérieur: 80mm
 2 pompes (absorption/désorption)
 ■ débit de refoulement max.: 17,5L/min
 ■ hauteur de refoulement max.: 47m
 1 pompe (refroidissement)
 ■ débit de refoulement max.: 29L/min
 ■ hauteur de refoulement max.: 1,4m
 Compresseur
 ■ surpression max.: 0,5bar
 ■ débit de refoulement max.: 34L/min
 Puissance frigorifique: 1432W à 5/32°C
 Agent réfrigérant: R513A, GWP: 631
 ■ volume de remplissage: 600g
 ■ équivalent CO₂: 0,4t

Plages de mesure

- débit:
 - ▶ 0,2...2,4Nm³/h (air)
 - ▶ 50...600L/h (solvant)
 - ▶ 0,4...5,4L/min (CO₂)
- température: 2x -200...100°C, 3x 0...120°C, 4x 0...60°C
- pression: 1x 0...2,5bar, 1x -1...0,6bar
- pression différentielle: 2x 0...250mmCA
- teneur en CO₂: 0...100%vol.

230V, 50Hz, 1 phase
 230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
 UL/CSA en option
 Lxhx: 1920x790x2300mm
 Poids: env. 290kg

Nécessaire pr le fonctionnement

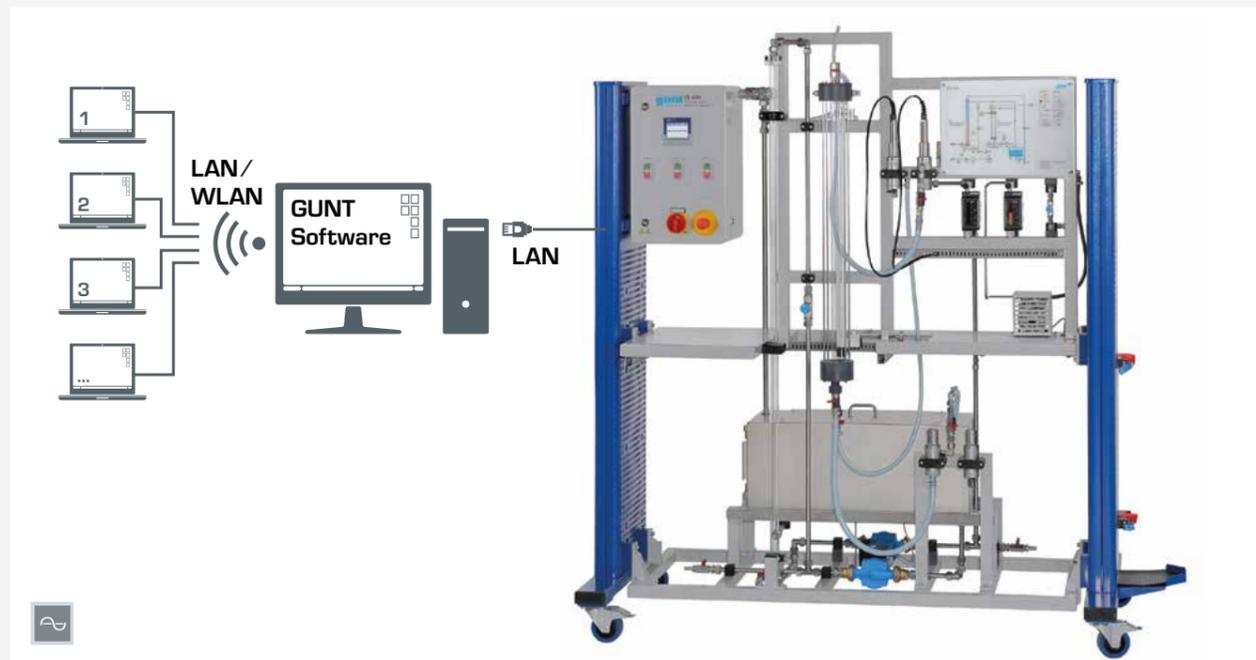
CO₂-bouteille de gaz avec soupape de réduction de pression; raccord d'eau, drain

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 appareil de mesure portable pour l'analyse des gaz
- 1 jeu de flexibles
- 1 documentation didactique

CE 405

Absorption à film tombant



Logiciel GUNT compatible réseau: commande et exploitation via 1 PC. Observation, acquisition, évaluation des essais sur un nombre illimité de postes de travail via le réseau LAN/WLAN propre au client.

Description

- **séparation de l'oxygène par absorption**
- **régénération continue du solvant avec de l'azote par stripage**
- **fonctionnement en toute sécurité grâce à l'utilisation de l'eau comme solvant et de gaz inoffensifs**
- **capacité de mise en réseau: observer, acquérir, évaluer des essais via le réseau propre au client**

L'absorption sert à la séparation d'un ou plusieurs composants gazeux d'un écoulement de gaz à l'aide d'un solvant. L'absorption sélective constitue un procédé technique important pour nettoyer les mélanges gazeux. CE 405 permet d'étudier les processus de base du système eau-oxygène-azote.

Un compresseur refoule l'air extérieur par le bas dans une colonne d'absorption. L'eau s'écoule sur le bord de la colonne d'absorption sous la forme d'un mince film. L'écoulement d'air passe au centre de la colonne vers le haut. Une partie de l'oxygène de l'air est dissoute dans le film d'eau. L'écoulement d'air sort de la colonne par le haut. L'eau comprenant l'oxygène dissout quitte la colonne par le bas et s'écoule dans un réservoir. Une pompe refoule l'eau comprenant l'oxygène dissout vers la tête de

la colonne de désorption.

La colonne de désorption est un simple tuyau dans lequel l'eau s'écoule vers le bas. De l'azote provenant d'une bouteille de gaz comprimé entre dans la colonne par le pied. L'azote monte dans l'eau sous forme de bulles dispersées. La pression partielle de l'oxygène dans l'eau est supérieure à la pression partielle en phase gazeuse (azote). Pour cette raison, une partie de l'oxygène de l'eau passe en phase gazeuse (stripage). Ce processus augmente l'absorptivité de l'eau en oxygène. Une pompe refoule le solvant ainsi régénéré vers la tête de la colonne d'absorption. Les matériaux transparents permettent l'observation optimale des processus dans les deux colonnes.

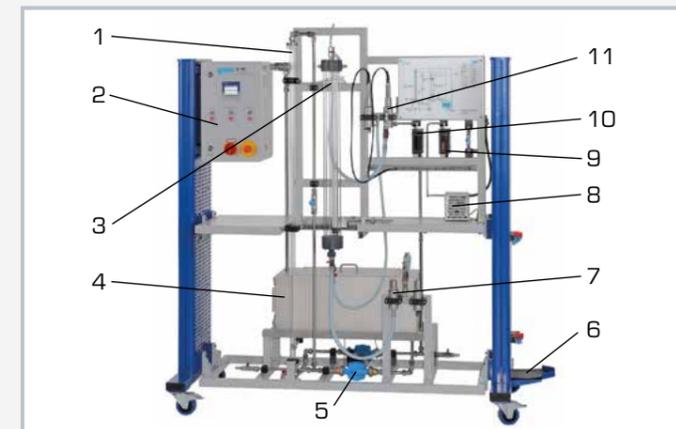
Des soupapes et des débitmètres permettent d'ajuster le débit moyen d'air et de solvant. La concentration d'oxygène et la température avant et après la colonne d'absorption sont mesurées en continu et affichées numériquement. Via connexion LAN directe, les valeurs de mesure peuvent également être transmises à un PC afin d'y être exploitées à l'aide du logiciel GUNT.

Contenu didactique/essais

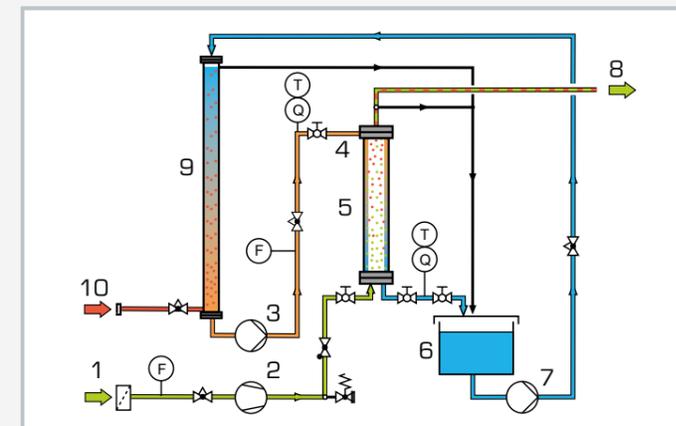
- étude du processus d'absorption lors de la séparation de l'oxygène d'un écoulement d'air dans une colonne à film tombant
- bilan du processus
- détermination du coefficient de transfert de masse en fonction de
 - ▶ débit volumétrique d'air
 - ▶ débit de solvant eau
- régénération du solvant par stripage
- familiarisation avec le procédé en contre-courant

CE 405

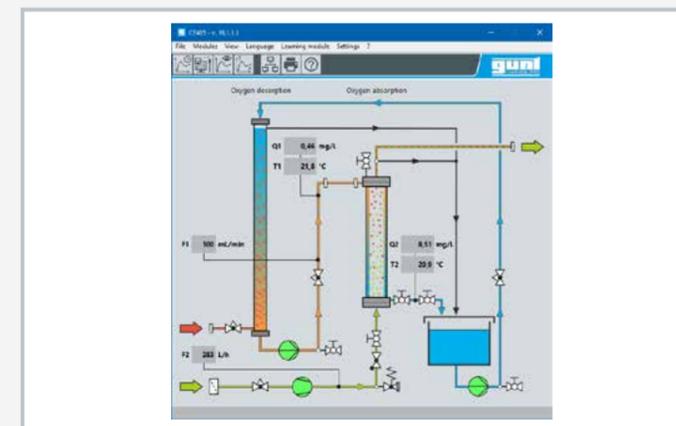
Absorption à film tombant



1 colonne de désorption, 2 armoire de commande, 3 colonne d'absorption, 4 réservoir, 5 pompe, 6 support pour bouteille de gaz sous pression, 7 capteurs d'oxygène et de température après l'absorption, 8 compresseur, 9 débitmètre (air), 10 débitmètre (eau), 11 capteurs d'oxygène et de température avant l'absorption



1 entrée d'air, 2 compresseur, 3 pompe, 4 solvant régénéré, 5 colonne d'absorption, 6 réservoir (solvant avec oxygène dissous), 7 pompe, 8 sortie d'air, 9 colonne de désorption, 10 entrée d'azote (externe); F débit, Q concentration d'oxygène, T température



Capture d'écran du logiciel

Spécification

- [1] colonne à film tombant transparente pour l'absorption de l'oxygène de l'air ambiant dans l'eau
- [2] régénération continue de l'eau (solvant) dans une colonne de désorption transparente par stripage avec de l'azote
- [3] compresseur refoule l'air ambiant dans la colonne à film tombant
- [4] 2 pompes refoule l'eau entre les colonnes
- [5] des soupapes et des débitmètres pour le réglage des débits d'air et de solvant
- [6] capteurs de concentration d'oxygène et de température avant et après la colonne d'absorption
- [7] affichage numérique de toutes les valeurs mesurées
- [8] capacité de mise en réseau: observer, acquérir, évaluer des essais sur un nombre illimité de postes de travail avec le logiciel GUNT via le réseau LAN/WLAN propre au client
- [9] l'acquisition de données via le réseau propre au client ou via connexion LAN directe avec logiciel GUNT sous Windows 10

Caractéristiques techniques

- Colonne d'absorption
- Ø intérieur x hauteur: 32x890mm
 - matériau: verre
- Colonne de désorption
- Ø intérieur x hauteur: 24x1650mm
 - matériau: PMMA
- 2 pompes
- débit de refoulement max.: 58L/min chacune
 - hauteur de refoulement max.: 3,7m chacune
- Compresseur
- surpression max.: 2 bar
 - débit de refoulement max.: 23L/min

Réservoir, acier inoxydable, volume: env. 50L

Plages de mesure

- débit: 38...380mL/min (eau)
- débit: 36...360NL/h (air)
- température: 2x 0...50°C
- concentration d'oxygène: 2x 0...20mg/L

230V, 50Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase; UL/CSA en option
Lxlxh: 1930x790x1980mm
Poids: env. 135kg

Nécessaire pr le fonctionnement

bouteille d'azote avec soupape de réduction de pression, PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu d'accessoires
- 1 logiciel GUNT
- 1 documentation didactique

CE 540

Séchage de l'air par adsorption



Contenu didactique/essais

- principe de base de l'adsorption et de la désorption
- étude des paramètres influant sur le processus d'adsorption et de désorption
 - ▶ débits d'air
 - ▶ humidité et température de l'air
 - ▶ hauteur de la couche d'adsorbant
- représentation des processus sur un diagramme h,x
- enregistrement de courbes de perçage et détermination du temps de perçage

Description

- séchage d'air humide par adsorption
- processus continu avec régénération de l'adsorbant
- colonnes transparentes et adsorbant avec indicateur pour l'observation de la zone de transfert de masse
- logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données

Le CE 540 permet d'expliquer clairement les bases théoriques complexes des processus d'adsorption à l'aide d'essais.

Un compresseur aspire l'air ambiant. L'air traverse le bain-marie d'un humidificateur et présente alors une humidité relative de 100%.

Avant que l'air entre par le bas dans la colonne d'adsorption, son humidité relative et sa température sont ajustées à l'aide d'un dispositif de chauffage. L'air humide traverse l'adsorbant (gel de silice) qui forme un lit fixe dans une colonne transparente. La quantité d'humidité contenue dans l'air est alors adsorbée. L'adsorbant contient un indicateur. La couleur de l'indicateur permet de reconnaître la position de la zone de transfert de masse (ZTM). L'air séché quitte la colonne et s'échappe.

Pour la régénération de l'adsorbant, de l'air ambiant est aspiré par un deuxième compresseur. L'air est chauffé puis entre dans la colonne par le haut. Ce processus de désorption peut également être observé à travers la colonne transparente. Le banc d'essai permet d'étudier simultanément l'adsorption et la désorption.

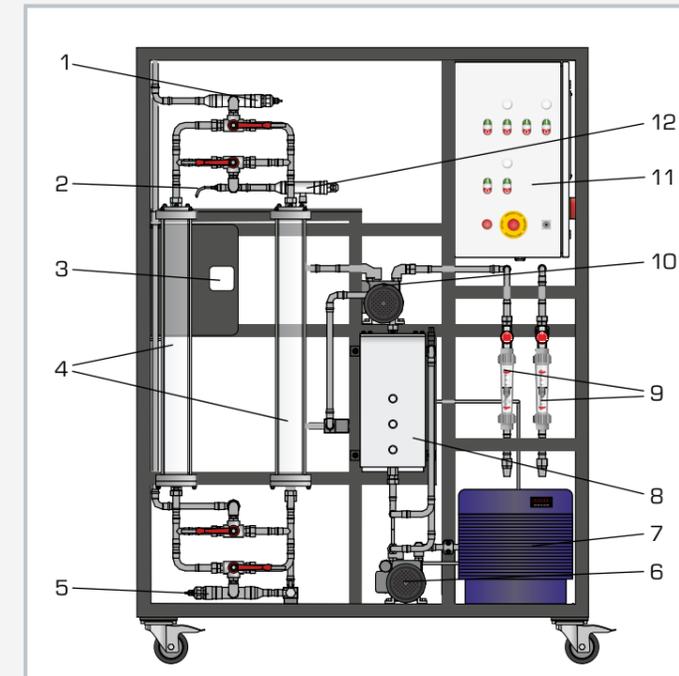
Lorsque la capacité de l'adsorbant dans une colonne est épuisée, l'air humide est guidé pour le séchage à travers une deuxième colonne contenant de l'adsorbant régénéré.

Un circuit comportant une pompe et un groupe frigorifique permet de mettre le bain-marie à température dans l'humidificateur. La température et l'humidité de l'air à sécher sont ajustées via un logiciel. Les deux débits d'air peuvent être ajustés à l'aide de vannes.

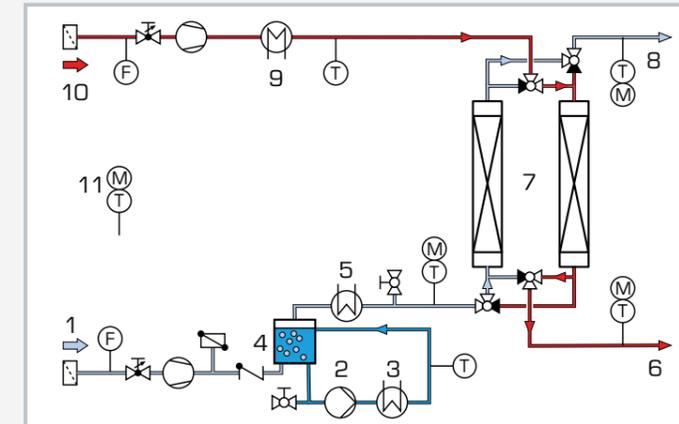
La mesure des humidités relatives de l'air et des températures à tous les endroits significatifs permet d'équilibrer entièrement les deux processus. Les valeurs mesurées sont enregistrées avec un logiciel. Celui-ci permet de représenter le processus d'adsorption et de désorption sur un diagramme h,x et d'enregistrer des courbes de perçage.

CE 540

Séchage de l'air par adsorption



1 capteur d'humidité et de température de l'air séché, 2 capteur de température de l'air de régénération, 3 capteur d'humidité et de température de l'air ambiant, 4 colonnes d'adsorption, 5 capteur d'humidité et de température de l'air d'admission humidifié, 6 compresseur pour l'air d'admission, 7 groupe frigorifique, 8 humidificateur (bain-marie), 9 capteurs de débit d'air de régénération et d'air d'admission, 10 compresseur d'air de régénération, 11 armoire de commande avec les éléments de commande, 12 dispositif de chauffage d'air de régénération



1 air d'admission (bleu), 2 pompe pour l'humidificateur, 3 groupe frigorifique, 4 humidificateur (bain-marie), 5 dispositif de chauffage, 6 air de régénération chargé (rouge), 7 colonne d'adsorption, 8 air séché, 9 dispositif de chauffage, 10 air pour la régénération, 11 air ambiant; M humidité, T température, F débit

Spécification

- [1] séchage continu de l'air par adsorption
- [2] 2 colonnes pour le chargement et la régénération de l'adsorbant en alternance
- [3] observation de la zone de transfert de masse à travers les colonnes transparentes et à l'aide de l'indicateur de l'adsorbant
- [4] 2 compresseurs pour l'aspiration de l'air d'admission et de l'air de régénération dans l'air ambiant
- [5] humidification de l'air d'admission par traversée d'un bain-marie
- [6] circuit avec pompe et groupe frigorifique pour la mise à température du bain-marie
- [7] ajustage de l'humidité relative et de température de l'air d'admission par un dispositif de chauffage
- [8] dispositif de chauffage pour l'ajustage de la température de l'air de régénération
- [9] ajustage des débits d'air de régénération et d'air d'admission à l'aide de vannes
- [10] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 8.1, 10

Caractéristiques techniques

- 2 colonnes
- Ø env. 80mm; hauteur: env. 800mm
- 2 compresseurs
- surpression max.: 1 bar
 - débit de refoulement max.: 8m³/h
- Pompe pour humidificateur
- débit de refoulement max.: 600L/h
 - hauteur de refoulement max.: 1,5m
- Groupe frigorifique
- puissance frigorifique: 395W avec une différence de température de 10K / 250L
 - 2 dispositifs de chauffage d'air électriques
 - puissance (air d'admission): 160W
 - puissance (régénération): 2x 250W

Plages de mesure

- débit: 2x 0...10Nm³/h
- température: 3x 0...50°C; 1x 0...200°C, 1x -25...125°C (air)
- humidité rel.: 4x 0...100%
- température: 1x 0...50°C (eau)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxhx: 1390x750x1890mm
Poids: env. 150kg

Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 emballage de gel de silice E
- 1 jeu d'outils
- 1 logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

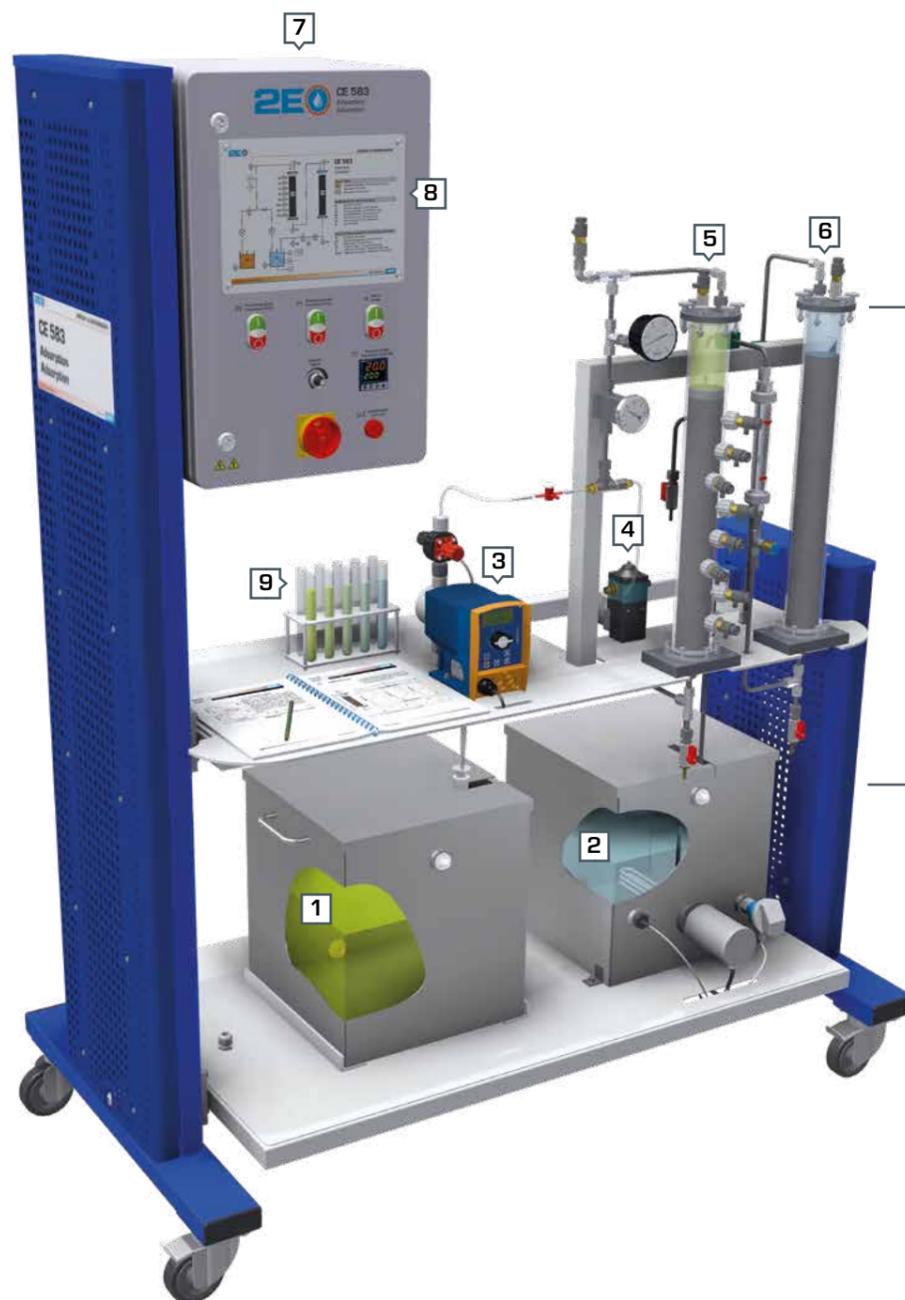
Aperçu

CE 583 Adsorption

Traitement adsorptif de l'eau en fonctionnement continu

L'adsorption sur charbon actif représente une alternative efficace et souvent utilisée pour éliminer des substances organiques non dégradables biologiquement, comme c'est le cas des hydrocarbures chlorés. Notre appareil CE 583 vous permet d'expliquer les fondements de ce procédé en fonctionnement continu et donc sous des aspects très pratiques.

Cet appareil est constitué pour l'essentiel de deux adsorbeurs montés en série et remplis de granules de charbon actif. Le premier adsorbeur est équipé de robinets d'échantillonnage vous permettant de déterminer des profils de concentration. Ces profils jouent un rôle central dans la compréhension de l'adsorption.



- 1 concentration d'adsorbat
- 2 eau épurée
- 3 pompe de dosage
- 4 pompe de circulation
- 5 premier adsorbeur
- 6 second adsorbeur
- 7 armoire de commande
- 8 schéma de processus
- 9 tubes réactifs pour les prélèvements d'échantillons

i Adsorbat

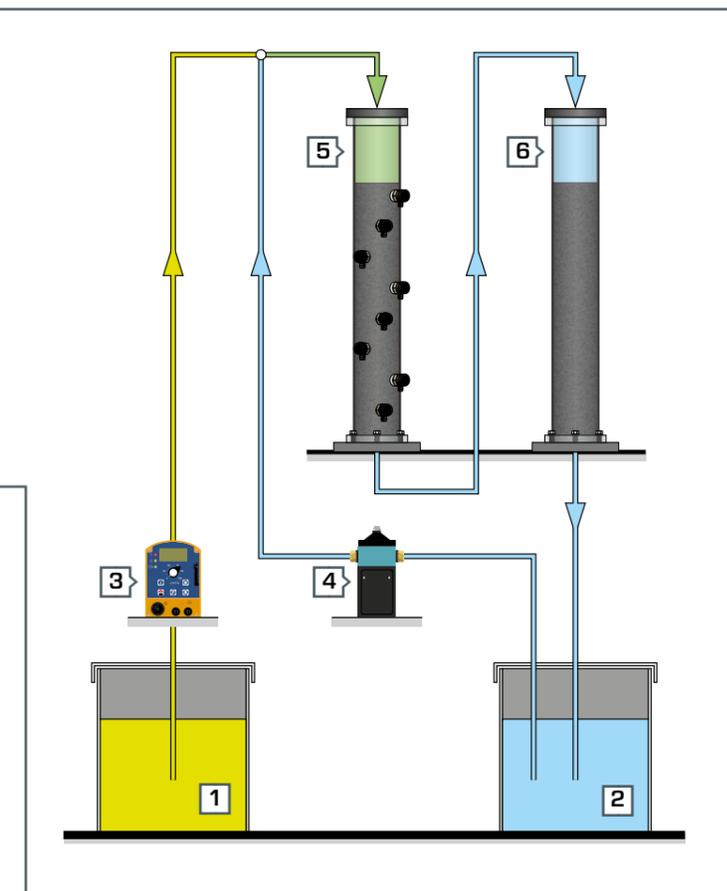
On appelle adsorbat la matière dissoute dans l'eau qui doit être éliminée par adsorption.

Principe de fonctionnement

On fait circuler de l'eau épurée à travers les deux adsorbeurs. Une pompe de dosage injecte une solution concentrée d'adsorbat dans la zone d'alimentation du premier adsorbeur du circuit. La pompe de dosage permet un ajustage très précis du débit de refoulement. Cela vous permet de régler très précisément la concentration d'alimentation de l'adsorbat. Le second adsorbeur permet de s'assurer que l'eau qui circule ne contient plus du tout d'adsorbat, même en cas de percée intégrale du premier adsorbeur. Cela garantit également, lors des essais de longue durée, une concentration constante de l'adsorbat dans l'alimentation du premier adsorbeur.

Régulation de la température

L'appareil est équipé d'un dispositif de régulation de la température. Cela vous permet d'étudier l'influence de la température de l'eau sur le processus d'absorption.

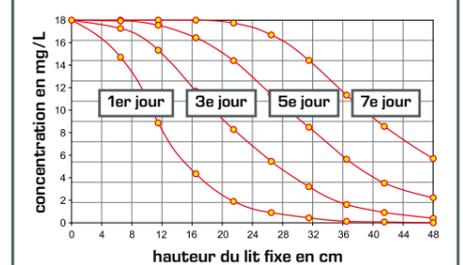


Sur le produit:



i Notre recommandation

Vous pouvez démontrer de manière impressionnante l'adsorption en utilisant comme adsorbat un colorant adsorbable soluble dans l'eau. C'est le cas par exemple du bleu de méthylène ou de la fluorescéine.



Extrait de l'instruction d'expériences du CE 583: profils de concentration du bleu de méthylène à différents instants

i Contenu didactique

- enregistrement des profils de concentration
- enregistrement des courbes de perçage
- relation entre des profils de concentration et des courbes de perçage
- détermination de la zone de transfert de masse
- bilan de masse et rendement d'un adsorbeur
- prédiction des courbes de perçage
- extrapolation des résultats à l'échelle industrielle (scale-up)
- paramètres influant sur l'absorption
 - ▶ temps de contact
 - ▶ température
 - ▶ mode de fonctionnement

CE 583
Adsorption**Contenu didactique/essais**

- enregistrement des profils de concentration
- enregistrement des courbes de perçage
- relation entre des profils de concentration et des courbes de perçage
- détermination de la zone de transfert de masse
- bilan de masse d'un adsorbent
- rendement d'un adsorbent
- prédiction des courbes de perçage
- extrapolation des résultats à l'échelle industrielle (scale-up)
- reconnaissance des paramètres suivants
 - ▶ temps de contact
 - ▶ température
 - ▶ mode de fonctionnement

2E

Description

- adsorption des matières dissoutes sur du charbon actif
- profils de concentration et courbes de perçage
- détermination de la zone de transfert de masse
- influence de la température et du temps de contact sur l'adsorption
- essais adaptés à l'expérimentation à l'échelle du laboratoire

Le CE 583 met en évidence l'élimination des matières dissoutes par adsorption. Pendant l'adsorption, les matières dissoutes dans l'eau brute sont appelées adsorbats.

Une pompe refoule l'eau depuis un réservoir pour alimenter un cycle à deux adsorbents remplis de charbon actif. La pompe fournit de l'eau pure au premier adsorbent.

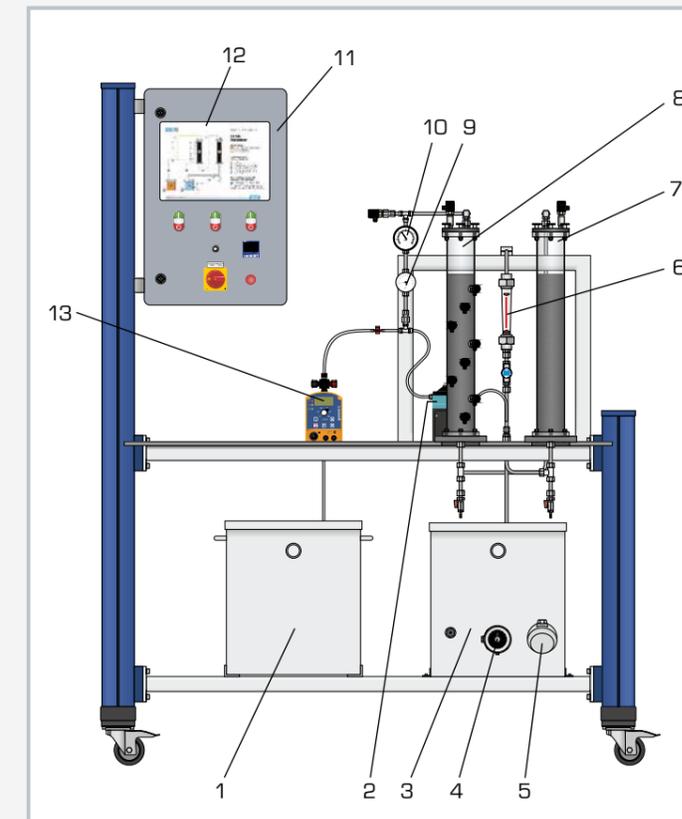
Une solution concentrée d'adsorbent est ajoutée à l'écoulement d'eau pure à l'aide d'une pompe de dosage. L'eau brute ainsi produite pénètre dans l'adsorbent et traverse le lit fixe de charbon actif. L'adsorbent s'adsorbe alors au contact du charbon actif. Afin d'éliminer d'éventuels résidus d'adsorbent dans l'eau, l'eau traverse ensuite un second adsorbent (adsorbent de sécurité). L'eau pure est retournée dans la conduite d'alimentation du premier adsorbent où on lui ajoute à nouveau de la solution concentrée d'adsorbent. Ainsi se crée un circuit fermé d'eau.

Les débits de refoulement des deux pompes sont ajustables. Il est ainsi possible de modifier les paramètres suivants:

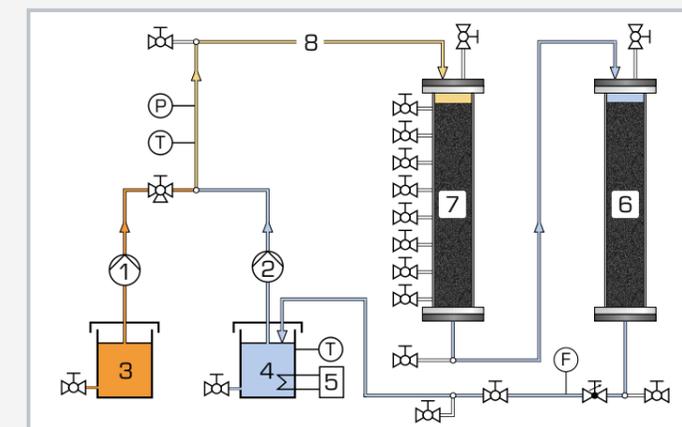
- concentration de l'adsorbent dans l'eau brute
- temps de contact de l'eau brute avec le charbon actif

Il est possible de régler la température de l'eau. Ce qui permet d'étudier l'influence de la température sur l'adsorption. Le débit, la température et la pression sont enregistrés en continu. Les points de prélèvement sont disposés de telle manière à ce que les courbes de perçage et les profils de concentration puissent être enregistrés.

L'évaluation des essais nécessite une technique d'analyse. Le choix de la technique d'analyse dépend de l'adsorbent utilisé. Comme adsorbent, on peut utiliser p.ex. du bleu de méthylène. La concentration du bleu de méthylène peut être déterminée à l'aide d'un photomètre.

CE 583
Adsorption

1 réservoir de solution d'adsorbent, 2 pompe de circulation, 3 réservoir d'eau pure, 4 dispositif de chauffage, 5 capteur de température, 6 débitmètre, 7 adsorbent de sécurité, 8 adsorbent, 9 thermomètre, 10 manomètre, 11 armoire de commande, 12 schéma de processus, 13 pompe de dosage



1 pompe de dosage, 2 pompe de circulation, 3 solution concentrée d'adsorbent, 4 eau pure, 5 dispositif de chauffage, 6 adsorbent de sécurité, 7 adsorbent, 8 eau brute; F débit, P pression, T température

Spécification

- [1] 2 adsorbents remplis de charbon actif
- [2] adsorbent avec 8 points de prélèvement
- [3] adsorbent de sécurité pour le circuit fermé d'eau
- [4] processus continu
- [5] pompe de dosage pour solution concentrée d'adsorbent
- [6] pompe assurant la circulation de l'eau pure
- [7] régulation de la température de l'eau
- [8] affichage numérique de la température
- [9] débit ajustable
- [10] modification de la concentration de l'adsorbent et du temps de contact

Caractéristiques techniques

Adsorbent et adsorbent de sécurité

- diamètre intérieur: 60mm chacun
- hauteur: 600mm chacun
- volume: 1700cm³ chacun

Réservoirs

- eau pure: 45L
- solution d'adsorbent: 45L

Pompe de circulation

- débit de refoulement max.: 180L/h
- hauteur de refoulement max.: 10m

Pompe de dosage

- débit de refoulement max.: 2,1L/h
- hauteur de refoulement max.: 160m

Dispositif de chauffage

- puissance max.: 500W

Plages de mesure

- débit: 0..60L/h
- température: 0..60°C
- pression: 0..2,5bar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1500x790x1900mm
Poids: env. 180kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain
bleu de méthylène [recommandation]

Liste de livraison

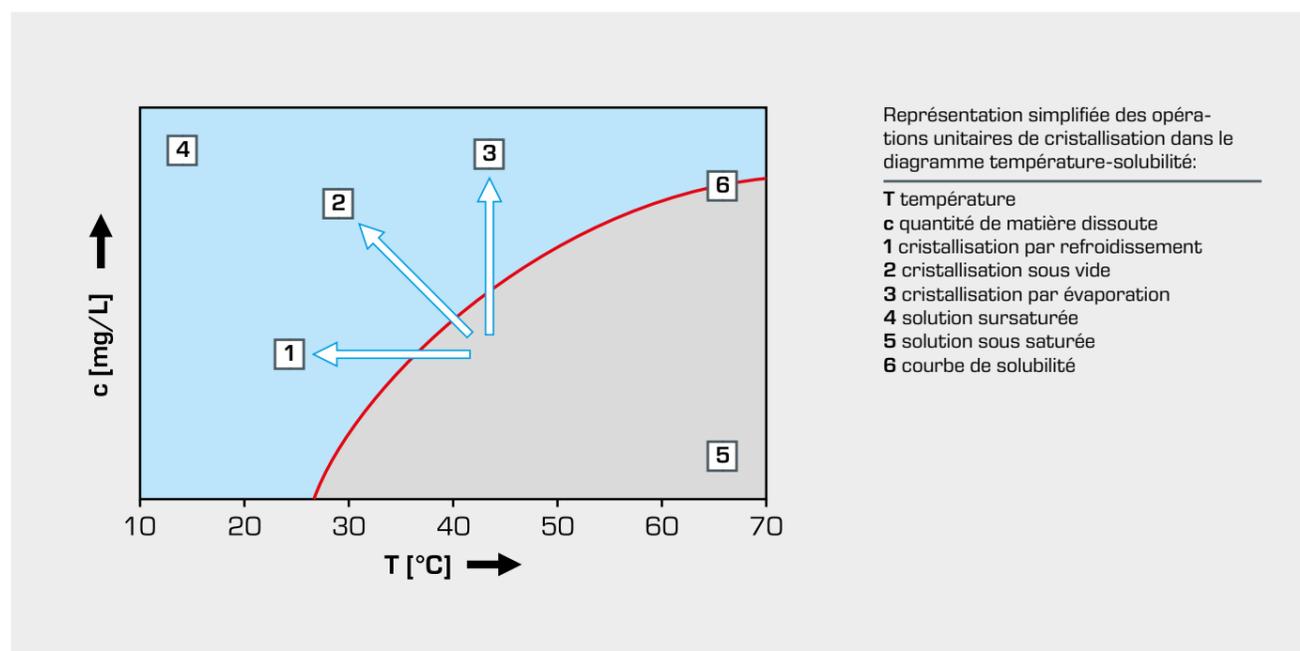
- 1 banc d'essai
- 1 emballage de charbon actif
- 1 jeu de tubes à essais
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

Connaissances de base

Cristallisation

La cristallisation est une opération unitaire du génie des procédés thermiques servant principalement à la séparation, au lavage mais aussi à la mise en forme des matières. La formation d'une nouvelle phase solide (cristallisé) est caractéristique de la cristallisation. Le cristallisé peut être créé à partir d'une solution, d'un bain fondu ou de vapeur. La plupart des applications en génie des procédés industriels et en génie chimique concerne la cristallisation à partir de phases liquides et en particulier à partir de solutions. La cristallisation à partir de solutions joue un rôle important dans la production de sucre, de sel de cuisine et d'engrais.

Un solvant (par ex. de l'eau) est capable de dissoudre à une température fixée une certaine quantité de matière (sel). Tant que la capacité d'absorption limite (concentration de saturation) du solvant en matière dissoute n'est pas atteinte, il n'y a qu'une seule phase liquide. Si la concentration de saturation est dépassée, la matière dissoute commence à cristalliser. Une deuxième phase, la phase solide, commence alors à apparaître: le cristallisé.



La cristallisation peut être obtenue par trois opérations unitaires:

■ Cristallisation par refroidissement

Lorsque la solubilité dépend fortement de la température, la concentration de saturation peut être dépassée par refroidissement.

■ Cristallisation par évaporation

Une partie du solvant est évaporée jusqu'à ce que la quantité de matière dissoute dans la solution résiduelle conduise au dépassement de la concentration de saturation. Cette opération unitaire est utilisée lorsque la solubilité ne dépend que faiblement de la température.

■ Cristallisation sous vide

Avec cette opération unitaire, une combinaison des effets susmentionnés est utilisée. Une partie de la solution s'évapore lors de la mise sous vide entraînant également son refroidissement. Étant donné que l'évaporation sous vide a lieu à basses températures, cette opération unitaire est avantageuse pour les matières thermo sensibles.

Connaissances de base

Procédés de séparation par membrane

En comparaison avec la filtration, les procédés de séparation par membrane permettent d'éliminer de l'eau des matières beaucoup plus petites (par exemple des virus et des ions dissous). Les différences de concentration et les différences de pression entre les deux côtés de la membrane peuvent par exemple constituer des forces motrices pour la séparation. Lors du traitement de l'eau, les procédés de séparation par membrane suivants sont utilisés:

Microfiltration

Ultrafiltration

Nanofiltration

Osmose inverse

L'osmose inverse

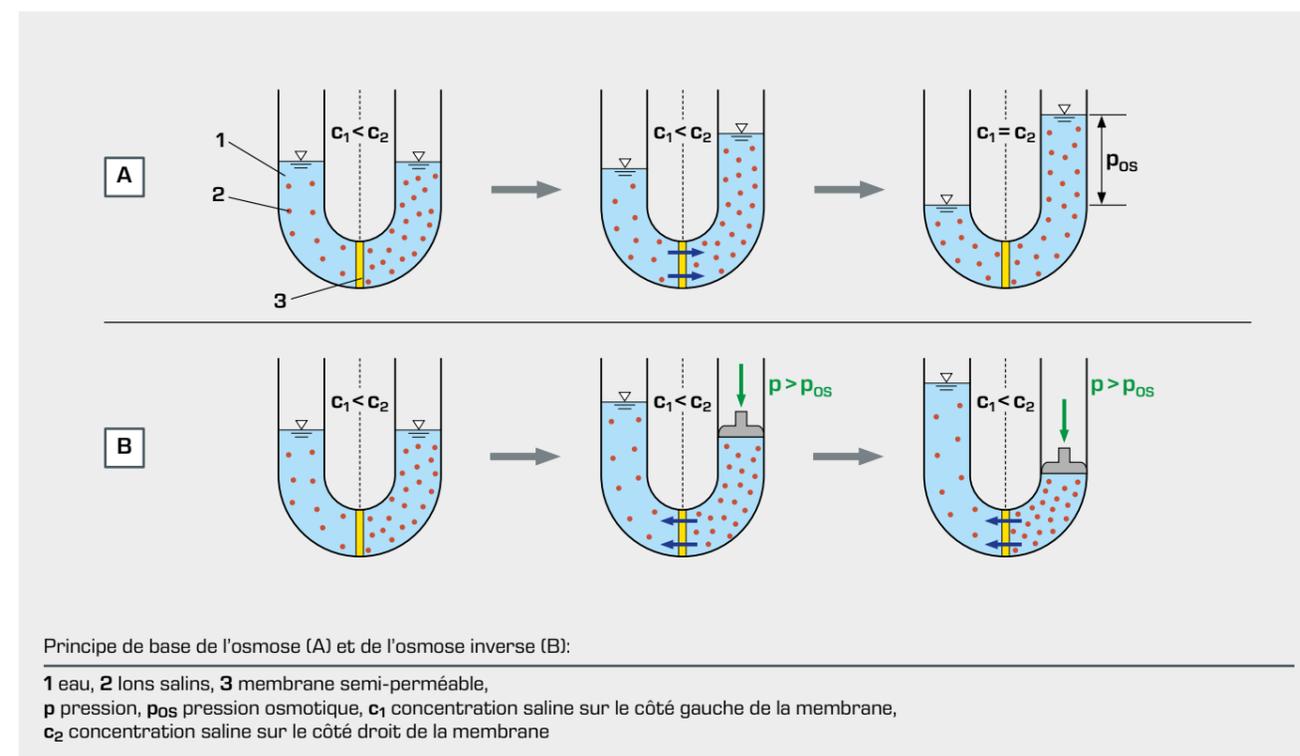
L'osmose inverse est particulièrement importante. Cette opération unitaire permet de produire une eau très pure. Cela s'avère nécessaire pour de nombreux procédés employés dans l'industrie. Le dessalement de l'eau de mer est un autre exemple d'application.

Pour comprendre l'osmose inverse, l'osmose doit d'abord être expliquée sous la forme d'un exemple (illustration). Deux solutions salines présentant des concentrations différentes sont séparées au moyen d'une membrane semi-perméable. La membrane est uniquement perméable à la molécule d'eau. Pour compenser les différences de concentration, l'eau s'écoule de gauche à droite à travers la membrane. La surface de l'eau monte sur le côté droit jusqu'à ce qu'un équilibre (équilibre osmotique) soit

La différence de pression, appelée pression transmembranaire, s'accroît dans l'ordre susmentionné. La limite de séparation, c'est-à-dire la taille des plus petites matières séparables, diminue dans le même temps. L'eau pure est appelée perméat, la partie retenue de l'eau brute est appelée rétentat.

établi. Les deux côtés de la membrane présentent désormais la même concentration saline. La différence de pression hydrostatique ainsi obtenue entre les deux côtés de la membrane est appelée pression osmotique.

Pour inverser le sens d'écoulement de l'eau (osmose inverse), la pression osmotique doit être dépassée. Pour cela, une pression supérieure à la pression osmotique doit être appliquée sur le côté droit de la membrane. L'eau s'écoule alors de droite à gauche à travers la membrane. Cela génère un rétentat sur le côté droit et un perméat sur le côté gauche. Dans les exemples d'application mentionnés, des pressions jusqu'à 100 bar sont nécessaires.



CE 520

Cristallisation par refroidissement



Description

- cristallisation à partir de solutions
- étude du grossissement des cristaux dans un lit fluidisé
- matériaux transparents permettant d'observer les processus

La cristallisation permet de transformer les matières dissoutes dans une solution en une matière solide et de les séparer.

Ce banc d'essai a été développé en collaboration avec l'Institut pour le Génie des Procédés Thermiques de l'Université Martin-Luther à Halle-Wittenberg (Prof. Dr. Ulrich).

Une pompe refoule une solution saturée de sulfate de potassium dans un circuit comprenant un réservoir. Pour éviter une cristallisation prématurée, la solution est chauffée à une température supérieure à la température de saturation avec l'aide d'un circuit de chauffage. Les deux circuits sont connectés par deux échangeurs de chaleur. Une petite partie de cette solution sous saturée traverse en bypass la cellule de cristallisation. Cette partie de la solution est refroidie en vue de la cristallisation avec de l'eau de refroidissement par deux échangeurs de chaleur.

La baisse de la température met la solution dans un état sursaturé, métastable.

La cellule de cristallisation est un tube pourvu de filtres poreux à l'entrée et à la sortie. La cellule amovible peut être ouverte pour permettre le remplissage de cristaux comme germes cristallins. La sortie des cristaux de la cellule est empêchée par le choix des filtres poreux. Les conditions d'écoulement entraînent la formation d'un lit fluidisé à l'intérieur de la cellule. Le sulfate de potassium dissous se cristallise sur les germes à partir de la solution métastable. Les cristaux grossissent.

La pesée des cristaux avant et après l'essai et la mesure du temps permet de déterminer la vitesse de croissance.

Un réservoir de mélange avec un échangeur de chaleur est prévu pour la préparation d'une solution saturée de sulfate de potassium. La température dans les deux réservoirs et la température nécessaire pour la cristallisation dans le bypass sont enregistrées et régulées par des capteurs.

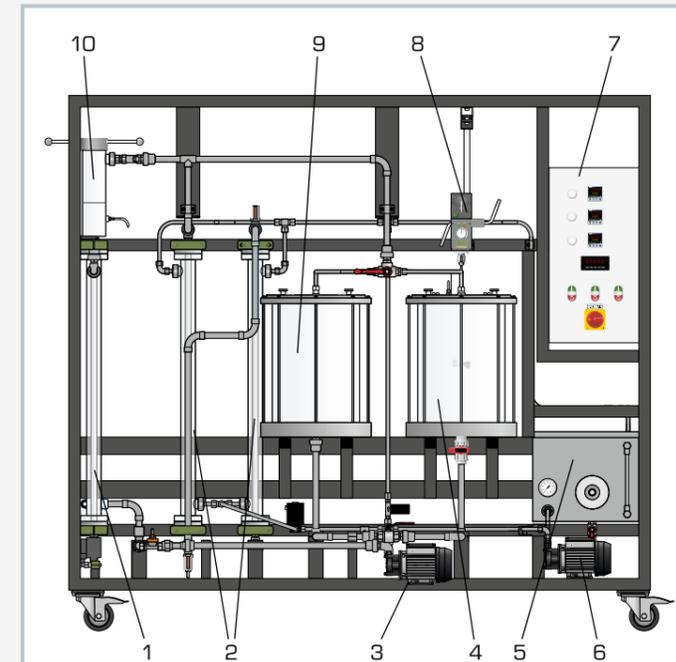
Une étuve, une balance, une tamiseuse et un microscope sont recommandés pour l'évaluation des essais. Le sulfate de potassium n'est pas fourni.

Contenu didactique/essais

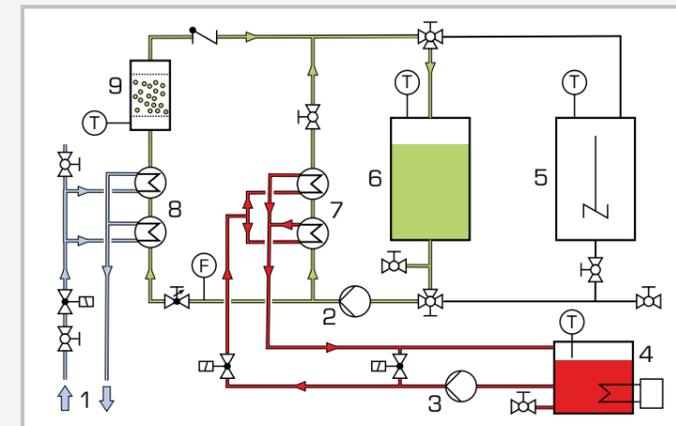
- principe de base de la cristallisation par refroidissement
- étude des facteurs influant sur le grossissement des cristaux
 - ▶ sursaturation
 - ▶ durée de cristallisation

CE 520

Cristallisation par refroidissement



1 échangeur de chaleur pour refroidir, 2 échangeur de chaleur pour chauffer, 3 pompe (solution), 4 réservoir de mélange pour la préparation de la solution saturée, 5 réservoir avec dispositif de chauffage et thermostat, 6 pompe (circuit de chauffage), 7 armoire de commande, 8 mobile d'agitation, 9 réservoir pour solution sous saturée, 10 cellule de cristallisation



1 eau de refroidissement externe, 2 pompe (solution), 3 pompe (circuit de chauffage), 4 réservoir avec dispositif de chauffage et thermostat, 5 réservoir de mélange pour la préparation de la solution saturée, 6 réservoir pour la solution sous saturée, 7 échangeur de chaleur pour chauffer, 8 échangeur de chaleur pour refroidir, 9 cellule de cristallisation; T température, F débit

Spécification

- [1] cristallisation à partir de solutions dans un lit fluidisé
- [2] réservoir de mélange pour la préparation d'une solution saturée
- [3] circuit pour la solution sous saturée avec réservoir, 2 échangeurs de chaleur pour le chauffage et pompe
- [4] bypass pour la solution sursaturée avec cellule de cristallisation et 2 échangeurs de chaleur pour le refroidissement
- [5] cellule de cristallisation amovible, pouvant être remplie, en PMMA
- [6] circuit de chauffage avec pompe, réservoir, dispositif de chauffage et thermostat
- [7] ajustage du débit dans le bypass à l'aide de vannes enregistrement et régulation des températures dans le réservoir de mélange, dans le réservoir pour solution sous saturée et dans la cellule de cristallisation

Caractéristiques techniques

Réservoirs

- réservoir de mélange: env. 25L
- pour solution sous saturée: env. 25L
- circuit de chauffage: env. 32L

Pompe (solution)

- débit de refoulement max.: env. 18L/min
 - hauteur de refoulement max.: env. 38m
- Pompe (circuit de chauffage)
- débit de refoulement max.: env. 6L/min
 - hauteur de refoulement max.: env. 9m

Cellule de cristallisation

- diamètre: env. 40mm
- hauteur: env. 80mm

Puissance du dispositif de chauffage: env. 2kW

Plages de mesure

- température: 3x 0...100°C, 1x 0...80°C
- débit: 1x 0...12L/min

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 2000x800x1850mm
Poids: env. 255kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau froide: min. 3bar, max. 15°C; drain

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 flexible
- 1 jeu d'outils
- 1 documentation didactique

CE 530

Osmose inverse



L'illustration montre: unité d'alimentation (à gauche) et banc d'essai (à droite), possibilité de "screen mirroring" sur différents terminaux

Description

- procédé de séparation par membrane pour l'obtention d'un solvant à partir d'une solution saline
- module à membrane spiralee pour la séparation
- commande de l'installation par API intégré
- un routeur intégré pour l'exploitation et le contrôle via un dispositif terminal et pour le "screen mirroring" sur des terminaux supplémentaires: PC, tablette, smartphone

Ce banc d'essai a été développé en collaboration avec l'Institut pour le Génie des Procédés Thermiques de l'Université Technique de Hamburg-Harburg. Une solution de NaCl de concentration définie (jusqu'à 3,2% max.) est préparée dans un réservoir muni d'un agitateur. Une pompe refoule la solution à un module à membrane spiralee. La pompe génère la pression osmotique nécessaire à la séparation.

Le module à membrane spiralee se compose de plusieurs compartiments. Un compartiment se compose de deux membranes séparées par un écarteur poreux. Trois compartiments sont fermés et le quatrième ouvert est raccordé au tube collecteur de perméat. Entre les compartiments sont placés d'autres écarteurs permettant le passage axial de la solution saline. Ces écarteurs sont enroulés, de même que les compartiments, en spirale autour du tube collecteur de perméat.

La solution saline entre par la face frontale du module et le traverse axialement entre les compartiments. La membrane semi-perméable permet la diffusion de l'eau (perméat), mais pas celle du NaCl dissous. Sous l'effet de la pression, l'eau est poussée à travers la membrane, dans les compartiments. L'eau s'écoule en spirale vers le tube collecteur de perméat et quitte le module axialement. La concentration de la solution augmente sous l'effet de la séparation de l'eau traversant le module. La solution quitte le module sous forme de rétentat. Le rétentat retourne au réservoir d'eau brute. Le perméat est récupéré dans un réservoir séparé. Les concentrations salines dans l'eau brute, le rétentat et le perméat sont enregistrées en mesurant la conductibilité respective afin de contrôler le rendement de la séparation.

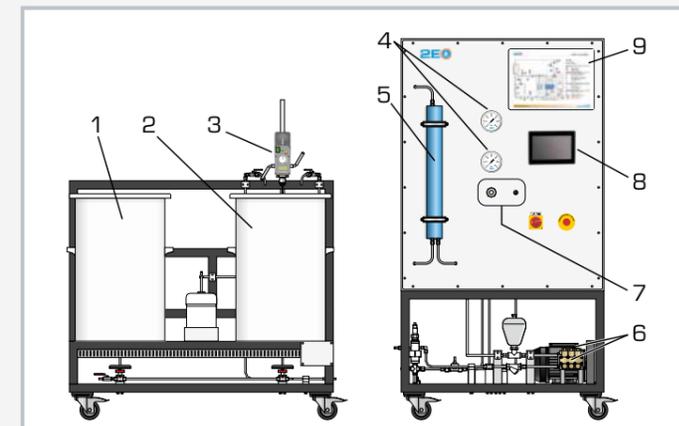
Le CE 530 est commandé par l'API via un écran tactile. Des vannes permettent d'ajuster la pression et le débit. Grâce à un routeur intégré, le banc d'essai peut être alternativement commandé par un dispositif terminal. L'interface utilisateur peut également être affichée sur des terminaux ("screen mirroring"). Via l'API, les valeurs de mesure peuvent être enregistrées en interne. L'accès aux valeurs de mesure enregistrées est possible à partir des terminaux. Via connexion LAN directe, les valeurs de mesure peuvent également être transmises à un PC afin d'y être exploitées à l'aide du logiciel GUNT.

Contenu didactique/essais

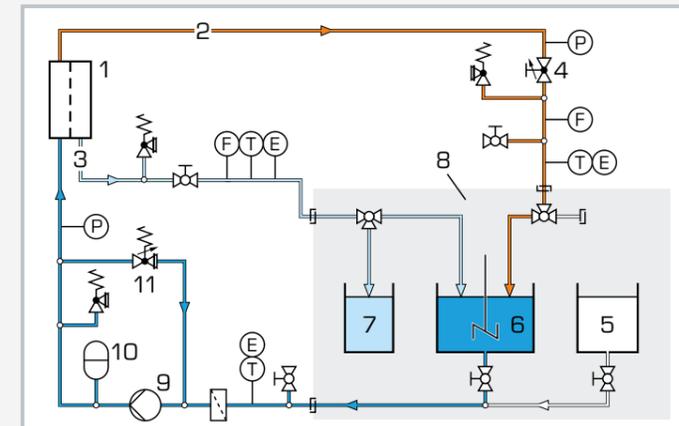
- assemblage, nettoyage et conservation des modules à membrane
- principe de base de l'osmose inverse
 - ▶ loi de Van't Hoff
- débit de perméat et capacité de rétention en fonction de
 - ▶ pression
 - ▶ concentration saline dans l'eau brute
 - ▶ rendement
- détermination du coefficient de diffusion
- "screen mirroring": mise en miroir de l'interface utilisateur sur des terminaux
 - ▶ navigation dans le menu indépendante de la surface affichée sur l'écran tactile
 - ▶ différents niveaux d'utilisateurs sélectionnables sur le terminal: pour l'observation des essais ou pour la commande et l'utilisation

CE 530

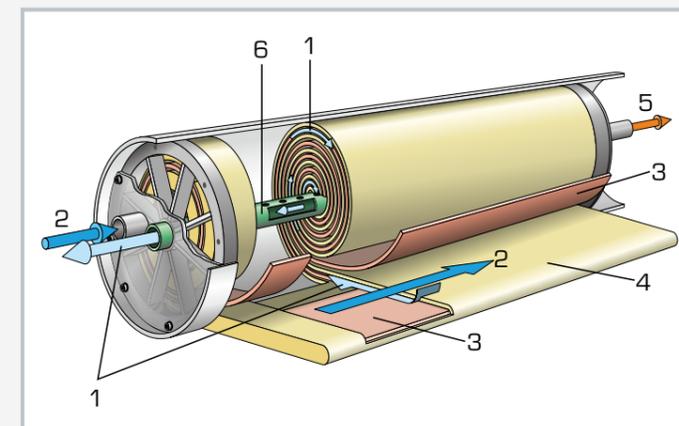
Osmose inverse



1 réservoir l'eau de rinçage (d'eau distillée), 2 réservoir d'eau brute (solution saline), 3 agitateur, 4 manomètres, 5 module à membrane spiralee, 6 pompe avec moteur, 7 vannes, 8 API avec écran tactile, 9 schéma de processus



1 module à membrane spiralee, 2 rétentat, 3 perméat, 4 vanne de rétentat, 5 l'eau de rinçage (eau distillée), 6 eau brute (solution saline), 7 perméat, 8 unité d'alimentation, 9 pompe, 10 amortisseur de pulsations, 11 vanne de décharge; P pression, F débit, T température, E conductivité



Module à membrane spiralee: 1 perméat, 2 eau brute, 3 écarteur, 4 compartiment, 5 rétentat, 6 tube collecteur de perméat

Spécification

- [1] séparation du solvant d'une solution saline au moyen de l'osmose inverse
- [2] module à membrane spiralee en polyamide
- [3] pompe à piston avec amortisseur de pulsations pour la génération de pression
- [4] vanne de décharge pour l'ajustage de la pression en amont du module à membrane spiralee
- [5] vanne d'ajustage du débit de rétentat
- [6] dispositif de sécurité protégeant la pompe de la marche à sec
- [7] commande de l'installation avec API par écran tactile
- [8] routeur intégré pour le contrôle via dispositif terminal et pour "screen mirroring": affichage d'interface utilisateur sur 5 terminaux maximum
- [9] acquisition de données par API sur une mémoire interne, accès aux valeurs de mesure enregistrées par WLAN avec routeur intégré/ connexion LAN au réseau propre au client, API: Eaton XV-303
- [10] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via LAN sous Windows 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Module à membrane spiralee

- surface active: 1,2m²
- débit d'eau brute: max. 1,4m³/h
- longueur: env. 533mm, Ø env. 61mm

Pompe à piston

- débit de refoulement max.: env. 585L/h
- pression max.: env. 140bar
- Pression de service max.: 58bar

Agitateur

- puissance absorbée: 130W
- vitesse de rotation: 50...1000min⁻¹

Réservoirs

- alimentation (solution saline, 3,2% max.): env. 110L
- l'eau de rinçage (eau distillée): env. 110L
- perméat: env. 5L

Plages de mesure

- débit: 0,5...7,5L/min (rétentat), 0,05...1,8L/min (perméat)
- température: 3x 0...60°C
- pression: 4x 0...100bar (2x manomètre, 2x capteur)
- conductivité: 3x 0...200mS/cm

230V, 50Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 1 phase

120V, 60Hz, 1 phase; UL/CSA en option

Lxlh: 1250x1050x2100mm (banc d'essai)

Lxlh: 1500x1050x1400mm (unité d'alimentation)

Poids total: env. 290kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain, chlorure de sodium (NaCl), eau distillée, disulfite de sodium (conservation du module à membrane), lessive de soude, acide chlorhydrique, PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

banc d'essai, unité d'alimentation, membrane, réservoir de conservation, 1 jeu d'accessoires, 3x conductimètre, 1 logiciel GUNT, 1 documentation didactique

Connaissances de base

Extraction liquide-liquide

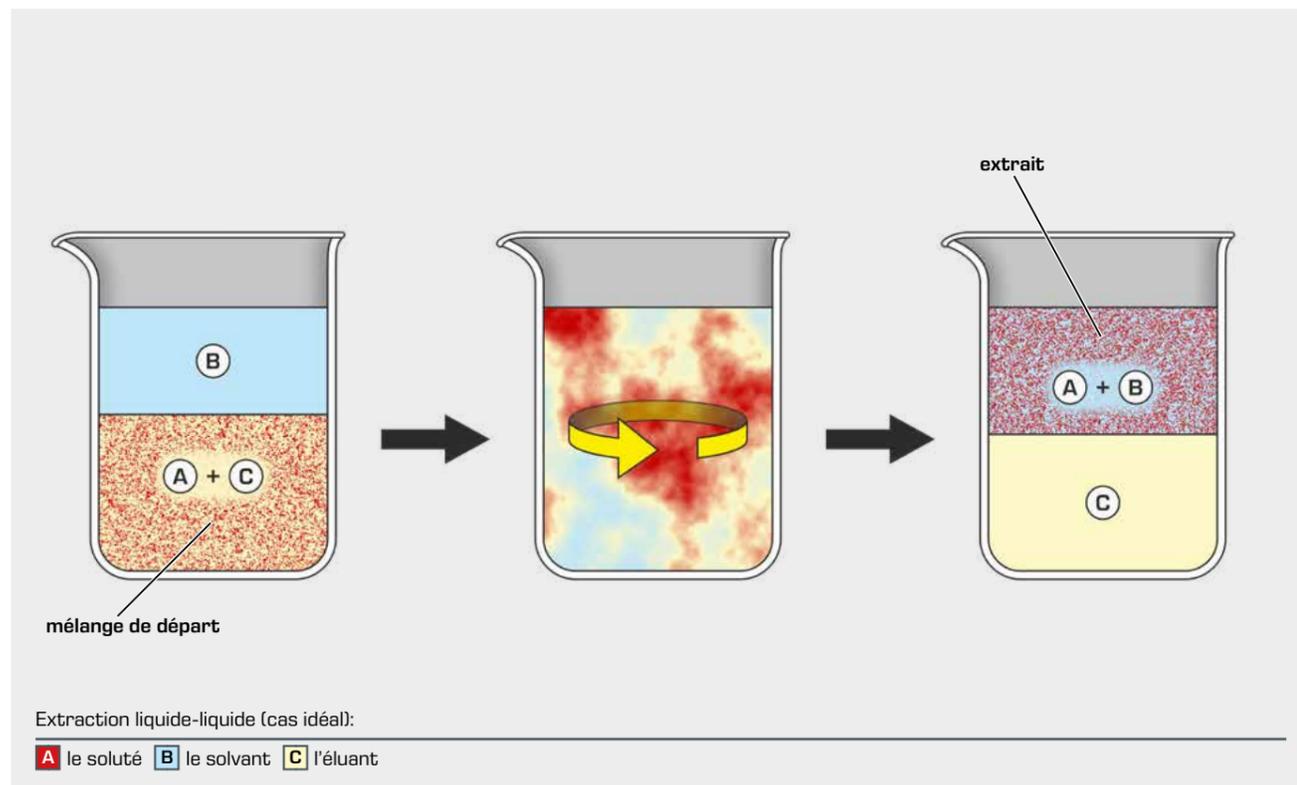
Avec l'extraction liquide-liquide, un composant sous forme liquide (soluté) peut être séparé de l'éluant par dissolution préférentielle dans un solvant. Les domaines d'utilisation sont par ex. la séparation de vitamines à partir de solutions aqueuses ainsi que la séparation de composés aromatiques à partir de fractions de pétrole.

Dans le plus simple des cas, trois composants participent:

- le soluté
- le solvant
- l'éluant

Le mélange de départ (alimentation) comprend le soluté et l'éluant. Si le mélange de départ et le solvant sont mélangés ensemble, le soluté passe dans le solvant,

à condition que la solubilité du composant du soluté dans le solvant soit plus élevée que dans l'éluant. Deux phases sont obtenues après décantation: Le solvant avec le soluté dissous (extrait) et l'éluant. L'éluant quant à lui doit être presque insoluble dans le solvant.



La représentation donnée en exemple représente la situation idéale dans laquelle le soluté A est complètement absorbé par le solvant. En réalité, il restera toujours un résidu du soluté dans l'éluant. De même, l'hypothèse d'insolubilité complète de l'éluant dans le solvant ne se vérifie pas toujours en pratique. Ainsi une partie de l'éluant est transféré dans le solvant.

Il s'ensuit qu'après décantation, deux phases sont créées:

- **l'extrait** (principalement A et B, résidus de C)
- **le raffinat** (principalement C, résidus de A et B)

Afin d'obtenir le soluté le plus pur possible, l'extraction est suivie, le plus souvent, par une étape de séparation sous

forme de rectification dans laquelle le solvant est séparé du soluté. Le solvant peut être remis dans le circuit et est ainsi de nouveau disponible pour l'extraction.

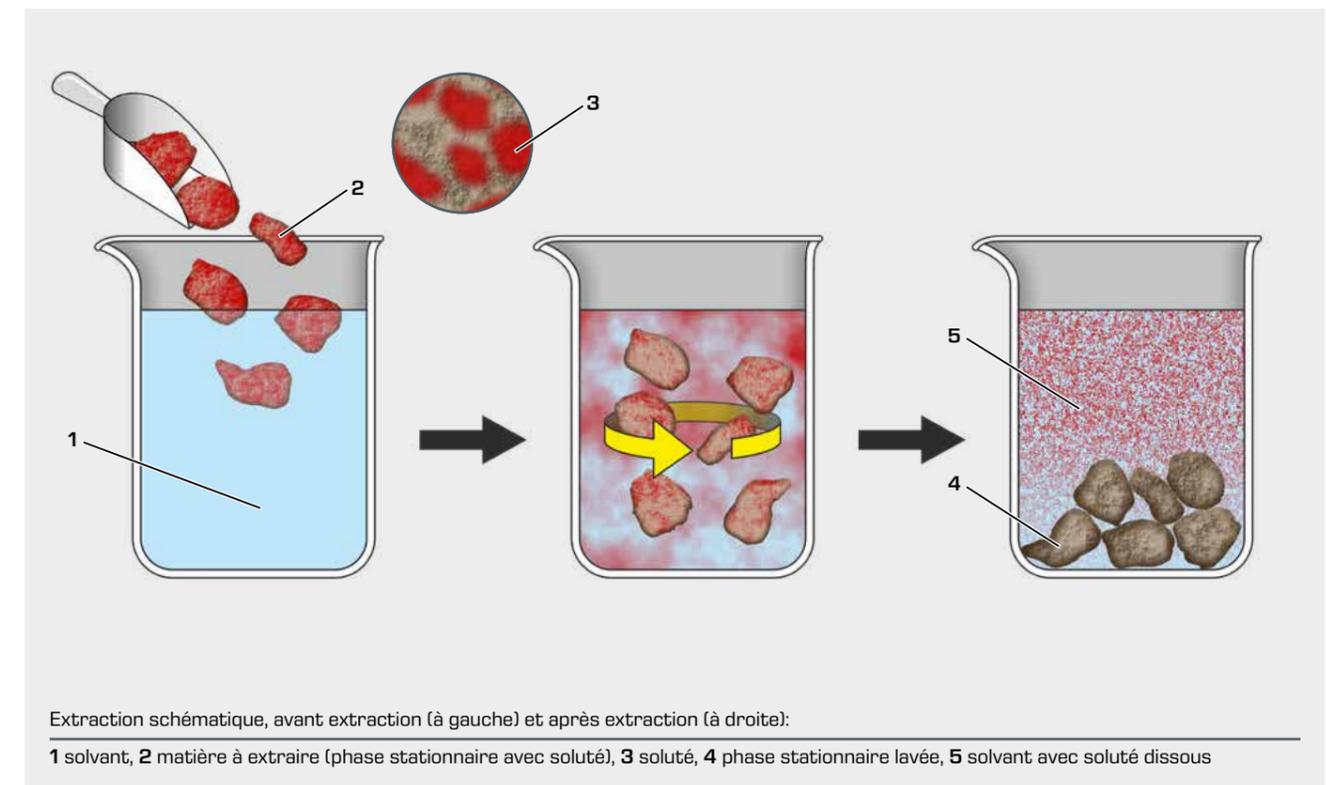
Connaissances de base

Extraction solide-liquide

L'extraction solide-liquide permet d'extraire par solubilisation les composants solubles de matières solides à l'aide d'un solvant. Les domaines d'application de l'opération unitaire sont par ex. l'obtention d'huile de fruits oléagineux ou le lavage de minerais.

Un exemple de tous les jours est celui de la préparation du café. Les substances aromatiques du café (soluté) sont extraites par solubilisation avec de l'eau (solvant) à partir du café en poudre (matière à extraire, composée de la phase stationnaire et le soluté). Idéalement, on obtient le café buvable (solvant avec substances aromatiques dissoutes) et le café en poudre complètement lavé reste dans le filtre (phase stationnaire).

En réalité, la phase stationnaire contiendra toujours une partie du soluté dans la matière solide après l'extraction. En outre, il restera toujours une partie de solvant liée par adsorption à la phase stationnaire.



Afin d'obtenir une extraction aussi rapide et complète que possible, le solvant nécessite de grandes surfaces d'échange et des chemins diffusionnels courts. Ceci peut être obtenu par le broyage de la matière solide à extraire. Une granulométrie trop petite peut entraîner la formation de grumeaux et rendre le passage du solvant plus difficile.

Dans la forme la plus simple de cette opération unitaire la matière à extraire et le solvant sont bien mélangés. Ensuite, le solvant contenant le soluté dissous est séparé et régénéré.

La matière à extraire peut également être présente comme lit fixe et traversée par le solvant. Dans une autre forme d'application, la matière à extraire est déplacée dans le solvant.

La régénération du solvant est le plus souvent effectuée par évaporation/distillation. Le solvant est évaporé et il reste une solution d'extrait concentrée comme produit. Le solvant est condensé et peut être réutilisé.

CE 620

Extraction liquide-liquide



Contenu didactique/essais

- transfert dans le solvant d'un composant d'un mélange de liquides à deux composants par extraction
- transmission des résultats de bécher à l'échelle pilote
- enrichissement du soluté dans l'extrait par distillation
- évaluation des processus de séparation par la mesure de la concentration et bilans masse
- influence de variantes d'essais différentes sur les processus de séparation

Description

- **séparation d'un mélange de liquides par extraction liquide-liquide à contre-courant**
- **enrichissement de l'extrait avec colonne de distillation intégrée**
- **fonctionnement possible comme processus continu et discontinu**
- **la construction et les matières permettent l'étude de différents systèmes ternaires**
- **ajustage et observation de la limite de phase possibles**
- **accessoires livrés dans un système de rangement avec mousse de protection**

Le CE 620 permet de séparer les mélanges de liquides au moyen de l'extraction liquide-liquide.

À partir du réservoir d'alimentation, le mélange de liquides à séparer est refoulé à l'aide d'une pompe en bas de la colonne d'extraction.

À cet endroit, il se déplace à contre-courant par rapport au solvant qui est transporté au moyen d'une pompe par le haut dans la colonne d'extraction. Le mélange à séparer est composé du soluté et de l'éluant. L'éluant et le solvant ne sont pas solubles l'un dans l'autre. Pour cette raison, une limite de phase se forme dans la colonne. Celle-ci peut être ajustée et observée avec deux soupapes. Le transfert du soluté dans le solvant a lieu dans la colonne. Deux vannes à trois voies permettent d'utiliser le banc d'essai comme processus continu ou discontinu.

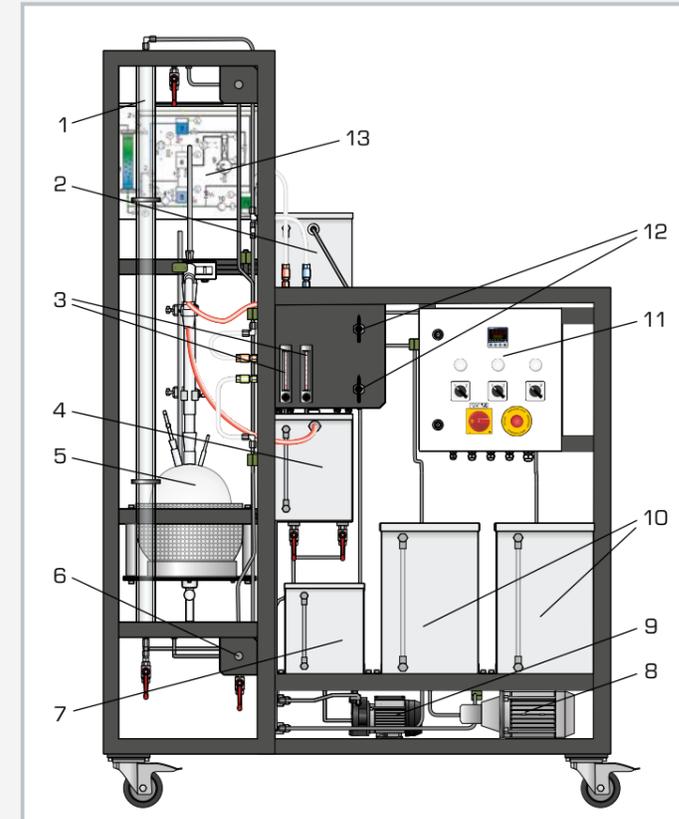
Une unité de distillation sert à l'enrichissement du soluté dans l'extrait. Elle est composée d'un ballon à fond rond chauffé avec colonne à garnissage et d'un pont de distillation avec refroidisseur Liebig.

L'extrait enrichi quitte la colonne par la tête est recueilli dans un réservoir. La température du bas de colonne est enregistrée avec un capteur, affichée sous forme numérique et réglée à l'aide d'un régulateur PID. La température en tête de la colonne de distillation est également enregistrée.

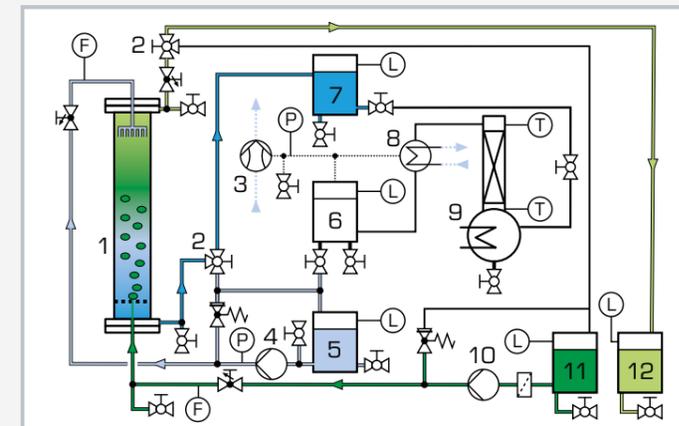
Comme système ternaire, de l'huile de colza est utilisée comme éluant, l'éthanol comme soluté et de l'eau comme solvant. Pour ce système ternaire les concentrations dans l'extrait, le produit de tête et le produit de bas sont déterminées à l'aide de la mesure de la densité. Pour autres systèmes ternaires, la liste de livraison comprend un conductimètre.

CE 620

Extraction liquide-liquide



1 colonne d'extraction, 2 réservoir d'extrait, 3 débitmètres d'alimentation et de solvant, 4 réservoir de produit de tête (distillation), 5 unité de distillation, 6 soupape pour limite de phase, 7 réservoir de solvant, 8 pompe d'alimentation, 9 pompe de solvant, 10 réservoir de l'alimentation et de produit raffiné, 11 armoire de commande, 12 vannes à trois voies, 13 schéma de processus



1 colonne d'extraction, 2 vannes à trois voies, 3 pompe à jet d'eau, 4 pompe de solvant, 5 réservoir de solvant, 6 réservoir de produit de tête (distillation), 7 réservoir d'extrait, 8 refroidisseur Liebig avec raccord d'eau de refroidissement, 9 colonne de distillation, 10 pompe d'alimentation, 11 réservoir d'alimentation, 12 réservoir de produit raffiné; F débit, P pression, T température, L niveau

Spécification

- [1] extraction liquide-liquide à contre-courant avec distillation pour enrichissement de l'extrait
- [2] fonctionnement en tant que processus continu ou discontinu via 2 vannes à trois voies
- [3] colonne d'extraction en verre
- [4] colonne et pont de distillation avec refroidisseur Liebig
- [5] chauffage électrique du bas de colonne via régulateur PID
- [6] pompe à jet d'eau pour abaissement de la température d'évaporation lors de la distillation
- [7] réservoirs pour alimentation, solvant, produit raffiné, extrait et produit de tête (distillation) en acier inoxydable
- [8] 2 pompes pour le transport de l'alimentation et du solvant
- [9] 2 soupapes pour l'ajustage de la limite de phase
- [10] colonne de distillation remplie d'anneaux Raschig

Caractéristiques techniques

Colonnes

- extraction: Ø 40mm, hauteur: 1500mm

- distillation: Ø 30mm, hauteur: 415mm

Dispositif de chauffage de bas de colonne

- puissance: 1200W

Réservoirs

- alimentation et produit raffiné: chacun env. 30L

- solvant et extrait: chacun env. 15L

- produit de tête (distillation): 15L

- réservoir de bas de colonne distillation: env. 5L

Pompe d'alimentation

- débit de refoulement max.: 1000mL/min

- hauteur de refoulement max.: 80m

Pompe de solvant

- débit de refoulement max.: 1200mL/min

- hauteur de refoulement max.: 10m

Pompe à jet d'eau, vide final: env. 200mbar

Plages de mesure

- température: 1x 0...150°C, 1x 0...120°C

- débit: 2x 100...850mL/min (eau)

- pression: -1...0,6bar

- conductivité: 0...1990µS/cm

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlh: 1350x750x2150mm

Poids: env. 180kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau: 720L/h

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 conductimètre
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

CE 630

Extraction solide-liquide



Contenu didactique/essais

- principe de base de l'extraction solide-liquide
- démonstration de l'extraction solide-liquide comme processus continu et discontinu
- étude du processus à 1, 2 et 3 étapes
- influence du débit et de la température du solvant sur le processus d'extraction
- influence du débit de matière à extraire et de la vitesse de rotation de l'extracteur sur le processus d'extraction

Description

- **extraction solide-liquide discontinue et continue**
- **fonctionnement possible à une, deux ou trois étapes**
- **possibilité de régénération de la matière à extraire**
- **logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données**

Le CE 630 permet d'extraire le composant soluble d'un mélange de matière solide à l'aide d'un extracteur rotatif.

Dans le fonctionnement continu à trois étapes, un solvant pur (eau distillée) est refoulé d'un réservoir à l'aspersion de la première étape d'extraction et distribué au-dessus du mélange de matière solide (matière à extraire).

Il s'infiltre dans la matière à extraire, absorbe les composants solubles du produit (hydrogénocarbonate de potassium) et parvient dans les segments de réception. À partir de là, le solvant enrichi est refoulé vers l'aspersion de l'étape suivante. Le solvant chargé du composant extrait est recueilli dans le réservoir d'extrait après avoir traversé la dernière étape. La matière à extraire est remplie en continu dans les cellules de l'extracteur en rotation par une vis sans fin. La matière à extraire et le solvant se déplacent à contre-courant. Après une rotation de l'extracteur, le résidu d'extraction extrait tombe dans un réservoir.

Des vannes permettent également de passer à un fonctionnement en continu à une ou deux étapes. Le fonctionnement discontinu est possible lorsque l'extracteur est à l'arrêt.

Trois pompes, dont la vitesse est individuellement ajustable pour chaque étape, sont disponibles pour le refoulement du solvant. La température du solvant peut être ajustée également pour chaque étape via des régulateurs PID. Chaque étape est équipée de capteurs de conductibilité afin de contrôler le processus de séparation. Toutes les valeurs mesurées peuvent être affichées via un logiciel.

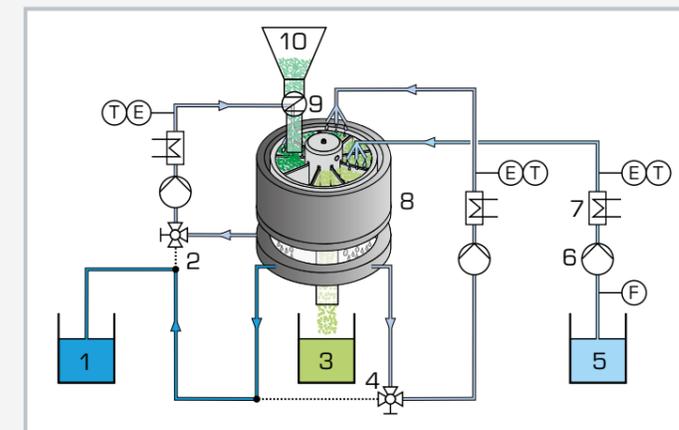
Le mélange de matière solide (matière à extraire) est préparé avant l'essai d'extraction. La matière support (oxyde d'aluminium en grains) est versée dans une solution saline (hydrogénocarbonate de potassium dissous dans l'eau). La matière support imbibée de solution saline est ensuite séchée.

CE 630

Extraction solide-liquide



1 schéma de processus, 2 vis sans fin pour le transport de la matière à extraire, 3 extracteur rotatif, 4 unité d'entraînement de l'extracteur, 5 pompe (derrière les réservoirs), 6 réservoir, 7 vannes de sélection du mode de fonctionnement, 8 dispositif de chauffage et alimentation de solvant, 9 armoire de commande avec éléments de commande



1 extrait, 2 liaison pour fonctionnement à deux étapes, 3 résidu d'extraction, 4 liaison pour fonctionnement à une étape, 5 réservoir de solvant, 6 pompe, 7 dispositif de chauffage, 8 extracteur rotatif, 9 vis sans fin, 10 matière à extraire; T température, E conductibilité, F débit

Spécification

- [1] extracteur rotatif pour l'extraction solide-liquide continue et discontinue
- [2] fonctionnement possible à 1, 2 ou 3 étapes possible à l'aide de vannes
- [3] vitesse de rotation de l'extracteur ajustable par potentiomètre
- [4] vis sans fin à vitesse de rotation ajustable pour l'ajustage du débit de matière à extraire
- [5] débit de solvant ajustable pour chaque étape via la vitesse de rotation des pompes
- [6] température du solvant ajustable pour chaque étape via des régulateurs PID
- [7] réservoirs pour matière à extraire, résidu d'extraction, solvant et extrait
- [8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Extracteur

- 9 cellules
- diamètre du rotor: env. 200mm
- vitesse de rotation: env. 0...9h⁻¹
- puissance absorbée du moteur: env. 0,9W

Vis sans fin

- débit max: env. 20L/h
 - puissance absorbée du moteur: env. 4W
- 4 pompes péristaltiques
- débit max.: env. 25L/h à 300min⁻¹ et flexible 4,8x1,6mm

3 dispositifs de chauffage

- puissance absorbée: env. 330W

Réservoirs

- matière à extraire: env. 5L
- résidu d'extraction, solvant, extrait: env. 20L chaque

Plages de mesure

- débit: 1x 0,025...0,5L/min
- conductivité: 4x 0...20mS/cm
- température: 4x 0...50°C

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option

LxIxh: 1360x780x1900mm

Poids: env. 150kg

Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu d'outils
- 1 emballage de oxyde d'aluminium
- 1 emballage de hydrogénocarbonate de potassium
- 1 logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

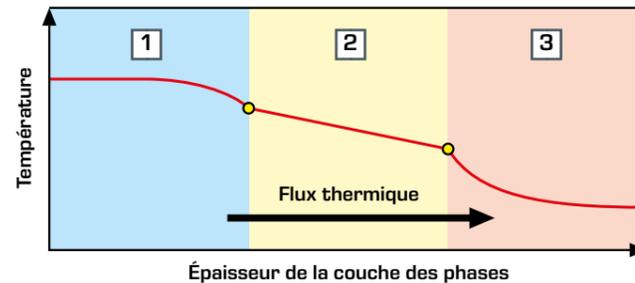
Connaissances de base Transfert de masse

Le transfert de masse fait partie de différents procédés de base. Il s'agit par exemple des processus de séchage, des absorptions et des adsorptions.

Les systèmes de matières ou les mélanges considérés aspirent à un état qui soit le plus faible possible du point de vue énergétique. Cette aspiration est également appelée « gradient moteur ». Pour une solution saline par exemple, cela signifie que les ions de sel dissous ont une distribution uniforme. Au bout d'un certain temps, la même concentration sera mesurable partout.

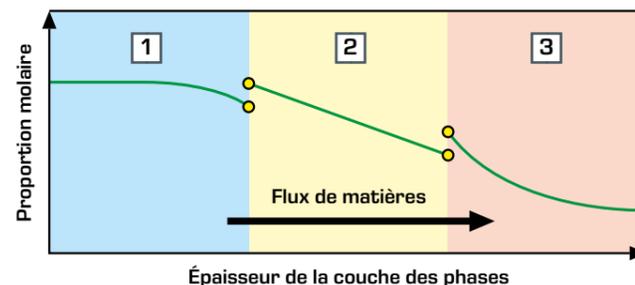
L'observation d'un **transfert de masse** à partir de plusieurs processus de transport de matières, comme la diffusion ou le transfert de masse par convection, est appelé **transfert de masse global**.

La description du transfert de masse s'effectue avec les différents processus de transport de matières, de manière analogue aux processus de transport de chaleur. Les deux diagrammes montrent les profils de température et de fraction molaire ainsi que les processus de transport présents dans chaque cas pour les phases planes.



Transfert de chaleur idéal avec trois phases planes:

1, 3 transfert de chaleur, 2 conduction thermique



Transfert de masse avec trois phases planes:

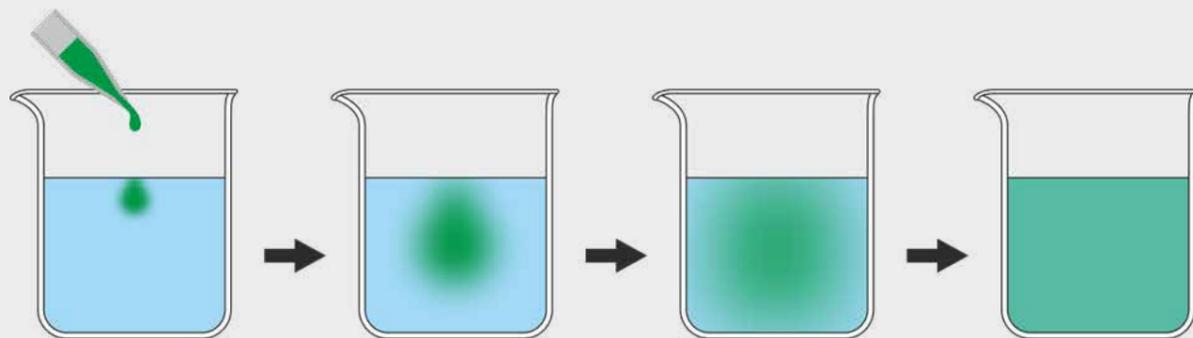
1, 3 transfert de masse, 2 diffusion

Diffusion

La diffusion est un processus physique au cours duquel des atomes ou des molécules se déplacent au sein d'un gaz, d'une solution ou même d'une matière solide. La diffusion est un **processus de transport de matières** basé sur le mouvement moléculaire, constitue un moyen d'atteindre l'état le moins énergétique. De manière générale, la diffusion suppose une différence locale de densité du nombre de particules, qui agit comme un gradient moteur. Les processus de diffusion prennent fin que toutes les densités du nombre de particules ont atteint l'équilibre. Dans les solutions, cela prend généralement plusieurs heures, alors que dans les gaz, quelques secondes suffisent.

Le calcul s'effectue à l'aide de coefficients de diffusion qui doivent être déterminés pour les matières impliquées. Le coefficient de diffusion décrit la mobilité d'une matière au sein d'une autre matière ou d'un mélange de matières. Dans le cas par exemple d'une solution saline, il s'agit de la mobilité des ions de sel dans l'eau.

La diffusion peut en outre être influencée par la température et la pression. La dépendance vis-à-vis de la température fait généralement partie de l'équation de calcul. La pression est mentionnée comme donnée supplémentaire, afin de contrôler la validité de l'équation de calcul pour le cas d'application concerné.



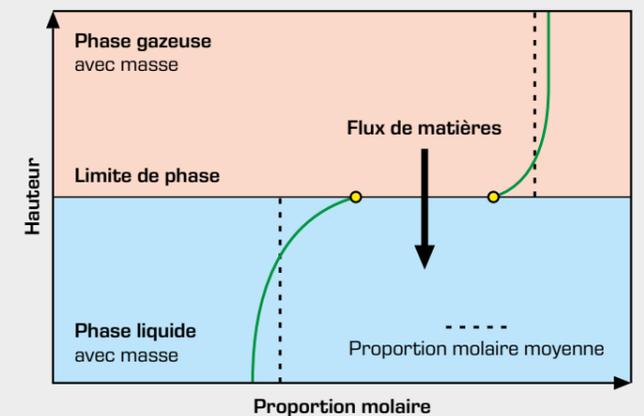
Transfert de masse global

Un exercice portant sur le transfert de masse comprend généralement plusieurs étapes de transport de matières. Le processus de transport à travers toutes les sections est appelé **transfert de masse global**. Les différents processus de transport de matières sont la diffusion et le transfert de masse. Ils peuvent apparaître plusieurs fois au sein d'un même exercice.

Exemple avec double transfert de masse

Une phase gazeuse se trouve au-dessus d'une phase liquide. Les deux phases s'écoulent. Une matière présente dans la phase gazeuse est soluble dans la phase liquide. Dans la mesure où l'état le plus faible en énergie n'est pas encore atteint, on tend vers cet état. Dans ce cas, il y a un transfert de masse global de la phase gazeuse à la phase liquide. En phase gazeuse, il se produit un transfert de masse en direction de la limite de phase et en phase liquide, un transfert de masse qui s'éloigne de la limite de phase. Les fractions molaires vont s'ajuster jusqu'à l'équilibre. Le flux de matière est calculé à l'aide des coefficients de transfert de masse et du gradient moteur, qui est formé par la différence entre les fractions molaires à la limite de phase et la valeur moyenne au sein de la phase.

L'une des particularités du transfert de masse est que la solubilité d'une matière est différente dans d'autres matières. Ce qui signifie que les concentrations aux limites de phase sont différentes.



Transfert de masse par convection

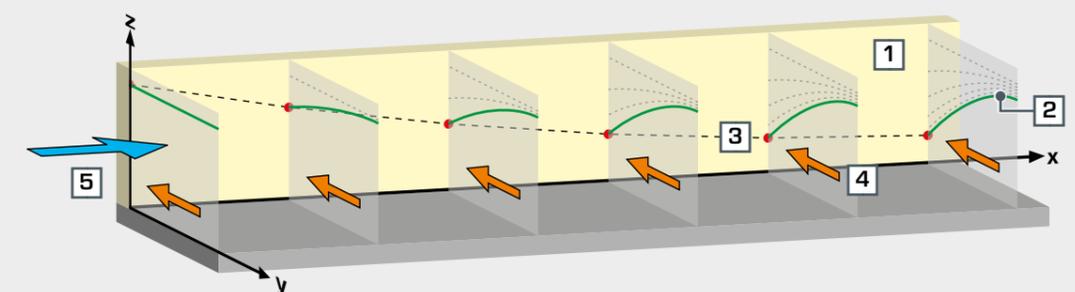
Le transfert de masse par convection est un processus de transport de matières qui a lieu en présence d'un écoulement. L'écoulement permet un bien meilleur transfert de masse, de sorte que d'autres équations ont été déterminées pour la conception. Les influences déterminantes pour le transfert de masse sont les suivantes:

- condition d'écoulement (laminaire ou turbulent)
- degré de formation de l'écoulement
- degré de formation du profil des fractions molaires

Selon les conditions présentes, on utilise pour calculer le coefficient de transfert de masse le nombre de Sherwood associé à la **fonction de Sherwood** applicable.

Exemple

Une phase liquide contenant une matière s'écoule le long d'une membrane. La matière est absorbée par la membrane. Au début de la formation du profil, la fraction molaire est constante, puis elle diminue par la suite. Comme la matière est absorbée par la membrane, la fraction molaire diminue plus fortement au niveau de la membrane que dans le reste de l'écoulement. Le profil des fractions molaires qui en résulte, perpendiculaire à la direction d'écoulement, représente une autre résistance au transport de matières. Dans la considération globale, c'est-à-dire le transfert de masse global, cette résistance est prise en compte par le coefficient de transfert de masse à calculer.



x trajet dans la direction d'écoulement, y distance de la membrane, z fraction molaire

1 membrane, 2 fraction molaire en fonction de la distance de la membrane (y),

3 fraction molaire à proximité immédiate de la membrane (y = 0), 4 flux de matière vers la membrane, 5 écoulement

CE 110

Diffusion dans les liquides et les gaz



Description

- transport de masse diffusée dans les gaz et les solutions aqueuses
- application de la loi de Fick

La diffusion est le transport microscopique de masse comme les atomes, les molécules et les ions sous l'effet des différences de concentration. Elle joue un rôle important dans de nombreux procédés. Ainsi, la diffusion peut par exemple mettre en contact les réactifs en jeu dans des réactions chimiques et, dans certains cas, constituer l'étape limitante de la vitesse du procédé.

CE 110 contient deux appareils d'essai pour analyser la diffusion dans les liquides et les gaz. Pour analyser la diffusion dans les liquides, on utilise une solution saline concentrée. Elle se trouve dans un tube en U, dont l'extrémité est munie d'une rondelle avec plusieurs capillaires verticaux. Le tube en U est immergé dans un réservoir d'eau déminéralisée, de manière à ce que la rondelle et les capillaires soient sous la surface de l'eau. En raison du gradient de concentration entre l'eau et la solution, les ions de sel sont éjectés hors du tube en U, via les capillaires pour arriver dans l'eau déminéralisée.

Les capillaires assurent le mouvement unidirectionnel des ions. Un mobile d'agitation placé dans le réservoir empêche la concentration saline d'augmenter à proximité de la rondelle, ce qui évite les différences de concentration dans le réservoir. Un conductimètre mesure la concentration saline dans le réservoir.

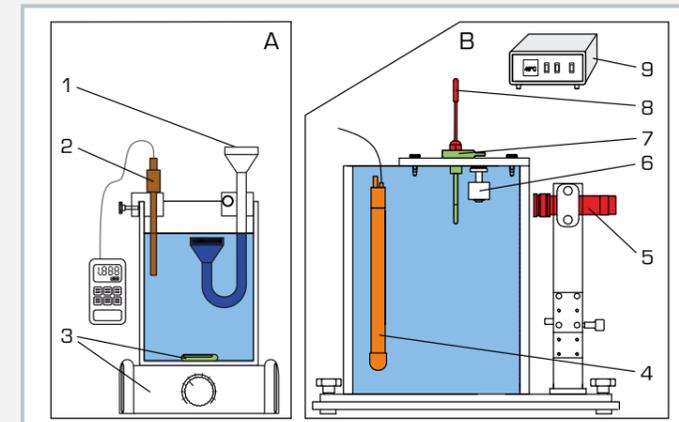
Pour analyser la diffusion des gaz, on utilise un solvant volatil. Il se trouve dans un tube vertical qui est immergé dans un bain-marie chauffé. L'énergie thermique du bain-marie entraîne l'évaporation du solvant. Un ventilateur génère un écoulement d'air caractérisé par un mouvement horizontal à l'extrémité supérieure du tube. Le solvant gazeux se diffuse sous l'effet du gradient de concentration, de la surface du solvant liquide vers le haut, vers l'écoulement d'air pur. L'écoulement d'air transporte les molécules du solvant, délivrant ainsi une concentration constante à l'extrémité supérieure du tube. Le volume du solvant liquide est alors réduit progressivement dans le tube. Un microscope gradué permet de déterminer le niveau de liquide. Un dispositif de chauffage avec régulateur maintient la température du bain-marie constante.

Contenu didactique/essais

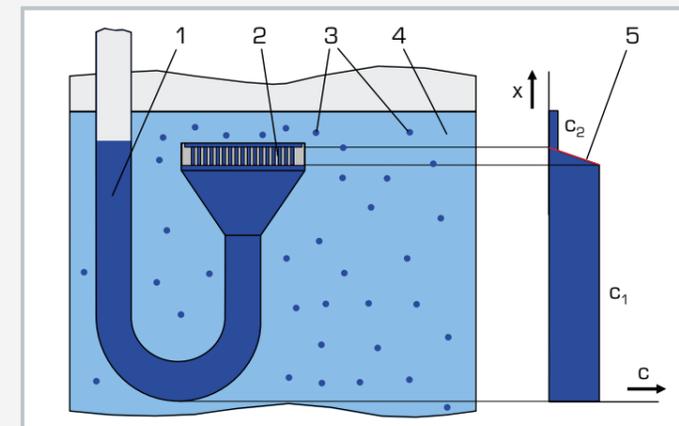
- principes de diffusion: loi de Fick
- formules de calcul pour les coefficients de diffusion, avec prise en compte des conditions expérimentales
- détermination du coefficient de diffusion pour le transport de masse dans le gaz
- détermination du coefficient de diffusion pour le transport de masse dans le liquide

CE 110

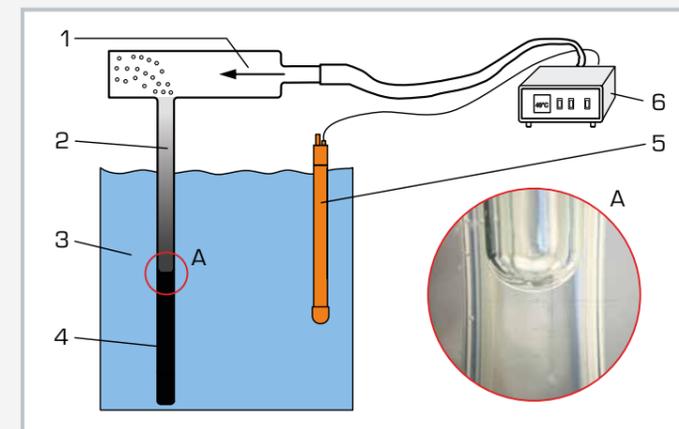
Diffusion dans les liquides et les gaz



Appareils utilisés pour la diffusion dans les liquides (A) et les gaz (B): 1 tube en U avec capillaires, 2 capteur de conductivité, 3 agitateur magnétique avec barreau aimanté, 4 dispositif de chauffage au bain-marie, 5 microscope, 6 interrupteur à flotteur, 7 tube à diffusion, 8 capteur de température, 9 appareil d'affichage et de commande



Diffusion dans les liquides: 1 solution saline concentrée, 2 capillaires, 3 ions de sel, 4 eau, 5 gradient de concentration; x voie, c concentration, c_1 solution concentrée, c_2 solution diluée



Diffusion dans les gaz: 1 écoulement d'air, 2 solvant gazeux, 3 bain-marie, 4 solvant liquide, 5 dispositif de chauffage, 6 appareil d'affichage et de commande; A vue du ménisque dans le microscope

Spécification

- [1] analyse de la diffusion dans les liquides et les gaz
- [2] réservoir transparent avec agitateur magnétique, conductimètre et tube en U avec capillaires pour l'analyse de la diffusion dans les solutions aqueuses
- [3] évaporation d'un solvant volatil avec tube à diffusion dans un bain-marie chauffé pour l'analyse de la diffusion dans les gaz
- [4] transport du solvant gazeux à l'extrémité supérieure du tube à diffusion avec ventilateur
- [5] dispositif de chauffage avec régulateur et capteur pour l'ajustage de la température du bain-marie
- [6] microscope ajustable en hauteur pour l'observation et la détermination du volume de solvant dans le tube à diffusion
- [7] l'appareil d'affichage et de commande séparé contient un affichage de la température et un ventilateur

Caractéristiques techniques

Réservoir avec mobile d'agitation: env. 1500mL
Vitesse de rotation mobile d'agitation: 0...1500min⁻¹
253 capillaires en acier inoxydable
■ diamètre: 1mm, longueur: 5mm

Bain-marie: env. 2L
Tube à diffusion pour solvant
■ diamètre: 3,4mm, longueur: 85mm

Puissance du dispositif de chauffage: env. 125W
Ventilateur: 120...320L/h
Graduation du microscope: pas de 0,1mm

Plages de mesure
■ température: 0...100°C
■ conductivité: 0...200mS/cm

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlh: 210x210x280mm
(appareil d'essai pour la diffusion dans les liquides)
Lxlh: 220x290x450mm
(appareil d'essai pour la diffusion dans les gaz)
Lxlh: 370x340x200mm
(conductimètre)
Poids: env. 16kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai pour la diffusion dans les liquides
- 1 appareil d'essai pour la diffusion dans les gaz
- 1 appareil d'affichage et de commande
- 1 conductimètre
- 1 agitateur magnétique avec 2 barreaux aimantés
- 1 chronomètre
- 1 documentation didactique

Introduction

Aperçu Les concepts d'apprentissage GUNT dans le domaine du génie des procédés chimiques 136

Activation thermique

Aperçu CE 310 Le système modulaire destiné au génie des procédés chimiques 138

CE 310 Unité d'alimentation pour réacteurs chimiques 140

CE 310.01 Réacteur à cuve agitée continu 142

CE 310.02 Réacteur tubulaire 144

CE 310.03 Cascade de cuves agitées 146

CE 310.04 Réacteur à cuve agitée discontinu 148

CE 310.05 Réacteur à écoulement piston 150

CE 310.06 Réacteur à écoulement laminaire 152

CE 100 Réacteur tubulaire 154

Activation catalytique

Connaissances de base Activation catalytique 157

Aperçu CE 380 Catalyse à lit fixe 158

CE 380 Catalyse à lit fixe 160

CE 380.01 Analyse par injection en flux continu (FIA) 162

CE 650 Installation de biodiesel 164

Activation photochimique

Connaissances de base Activation photochimique 166

Aperçu CE 584 Oxydation avancée 167

CE 584 Oxydation avancée 168

Les principes d'activation et les types de réacteurs en génie des procédés chimiques

Dans ce chapitre, vous trouverez des appareils d'essai permettant d'assimiler des principes importants de l'activation en génie des procédés chimiques. Le programme offre en outre la possibilité de se familiariser avec tous les modes de fonctionnement, domaines d'application et différences des types de réacteurs d'usage courant. Pour la sélection des réactions, on a privilégié celles pour lesquelles la détection des produits est aisée, et qui emploient dans la mesure du possible des produits chimiques inoffensifs. Néanmoins, la manipulation des produits chimiques exige de la pratique, de l'application et un environnement de laboratoire approprié. Selon le procédé et les matières utilisées, on doit avoir des sols étanches, des conduits d'évacuation, une alimentation en eau, des aérations, des lieux d'entreposage sécurisé pour les matières utilisées, des dispositifs de sécurité et des vêtements de protection.

Pour l'évaluation d'un grand nombre d'expérimentations, vous avez besoin – en plus de la liste de livraison des systèmes d'apprentissage GUNT – de systèmes d'analyse technique professionnelle.

Parlez-nous en – nous serons heureux de vous conseiller.

Les concepts d'apprentissage GUNT dans le domaine du génie des procédés chimiques

Quel est l'objet du génie des procédés chimiques?

À la différence du génie des procédés mécaniques ou thermiques, la modification des propriétés ou de la composition de la matière n'est pas au premier plan en génie des procédés chimiques. L'objet principal du génie des procédés chimiques est de produire, au moyen de réactions chimiques, un nouveau type de matière.

La chimie nous permet de connaître les réactifs de la réaction nécessaires pour un produit souhaité. La chimie renseigne par ailleurs sur les conditions permettant un déroulement optimal de la réaction chimique souhaitée.

Parmi ces conditions, on distingue l'activation de la réaction, l'ajustage de la pression et de la température ainsi que la composition des réactifs. L'objectif du génie des procédés chimiques est de mettre en place ces conditions en vue d'une exploitation à l'échelle industrielle. Outre ces conditions, l'état d'agrégation des réactifs et des produits de la réaction ont une influence importante sur la conception des réacteurs et du procédé de production dans son ensemble.

Comment peut-on classer les différents procédés chimiques?

Il existe différentes possibilités de classement des procédés chimiques. L'une des possibilités se réfère à l'énergie d'activation. De nombreuses réactions chimiques possibles en thermodynamique ne fonctionnent pas ou sont trop lentes pour pouvoir être exploitées techniquement, à moins de leur apporter une certaine énergie d'activation.

L'activation de réactions chimiques peut se faire selon différents principes. Le principe d'activation a une influence très importante sur la configuration et le fonctionnement des réacteurs chimiques. Différents principes d'activation peuvent être également associés:

■ Activation thermique

L'énergie requise pour l'activation de la réaction chimique peut être fournie par la chaleur. L'ajustage d'une plage de température souhaitée se fait au moyen d'un chauffage ou d'un refroidissement. Dans cette plage de température, la réaction se déroule de manière optimale, et toute réaction annexe indésirable est évitée.

■ Activation catalytique

De nombreuses réactions se déroulent trop lentement à température ambiante pour pouvoir être exploitées techniquement, parce que leurs énergies d'activation sont très élevées. Les catalyseurs permettent de réduire l'énergie d'activation et donc d'accélérer la réaction chimique. On distingue deux types de catalyse:

► Catalyse homogène

Le catalyseur et les matières de départ de la réaction chimique sont dans la même phase.

► Catalyse hétérogène

Le catalyseur est le plus souvent sous forme solide. Les matières de départ de la réaction sont en phase liquide ou gazeuse.

■ Activation photochimique

L'activation de la réaction a lieu lorsque des atomes ou des molécules absorbent un rayonnement optique. Les matières, qui sont la plupart du temps organiques, passent à un état actif plus riche en énergie sous l'effet de l'absorption.



Unité d'alimentation pour les réacteurs chimiques CE 310 avec Cascade de cuves agitées CE 310.03

Nos systèmes didactiques pour le génie des procédés chimiques

Activation thermique

- CE 310.01 Réacteur à cuve agitée continu
- CE 310.02 Réacteur tubulaire
- CE 310.03 Cascade de cuves agitées
- CE 310.04 Réacteur à cuve agitée discontinu
- CE 310.05 Réacteur à écoulement piston
- CE 310.06 Réacteur à écoulement laminaire
- CE 100 Réacteur tubulaire

Activation catalytique

- CE 380 Catalyse à lit fixe
- CE 650 Installation de biodiesel

Activation photochimique

- CE 584 Oxydation avancée

Une présentation claire de procédés abstraits

Le diagramme illustre la formation d'un radical hydroxyle (OH·) à partir d'un peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) sous l'effet d'un rayonnement UV. Les électrons sont représentés par des traits horizontaux.

À gauche, le système didactique CE 380 Catalyse à lit fixe est présenté, comprenant une unité de commande et des réacteurs en série.

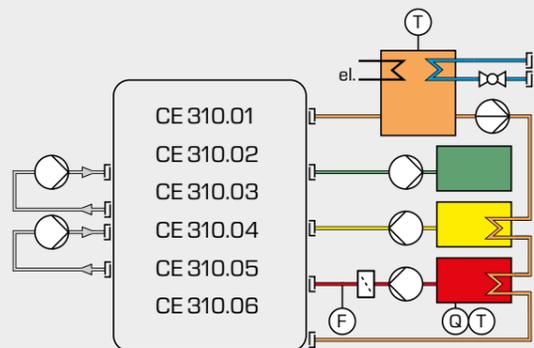
À droite, le système didactique CE 584 Oxydation avancée est présenté, caractérisé par une grande cuve cylindrique en verre bleu et un système de distribution de réactifs.

CE 380 Catalyse à lit fixe

CE 584 Oxydation avancée

Aperçu CE 310 Le système modulaire destiné au génie des procédés chimiques

Une unité d'alimentation pour tous les types de réacteurs



L'unité d'alimentation possède tous les composants requis pour le fonctionnement des différents réacteurs:

- réservoirs et pompes pour l'alimentation en réactifs, les produits intermédiaires et les produits
- technique de mesure pour la détermination des concentrations de produit
- circuit d'eau chaude pour le chauffage et le refroidissement avec WL 110.20 Générateur d'eau froide
- éléments de commande pour l'ajustage des débits et de la température

Contenus didactiques:

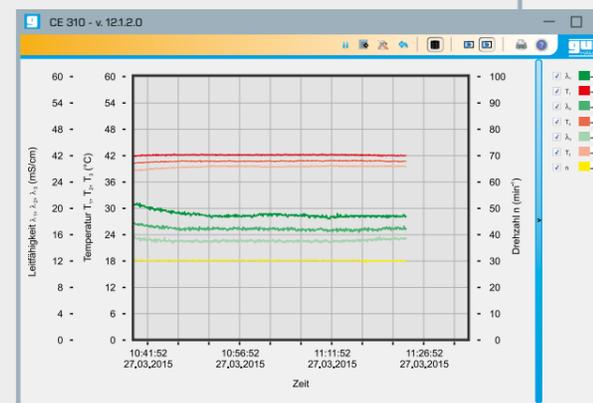
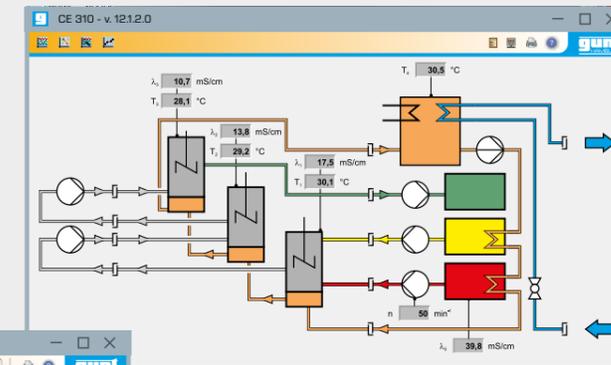
en association avec un réacteur (CE 310.01 – CE 310.06):

- transformation de la matière en fonction
 - ▶ du type de réacteur
 - ▶ du temps de séjour dans le réacteur
 - ▶ de la température
 - ▶ de la concentration
- bases d'une réaction de saponification
- détermination de l'évolution du temps de séjour (dans le réacteur)
- construction et principe de fonctionnement de différents types de réacteurs

Logiciel d'acquisition de données

Propriétés principales

- schéma de procédé avec affichage des valeurs de mesure actuelles pour chaque type de réacteur
- évolution dans le temps des conductivités comme indicateur de la concentration du produit
- évolution dans le temps de la température dans le réacteur
- transformation de la matière pour une réaction de second ordre



Le logiciel d'acquisition de données assiste l'ensemble des essais avec les quatre types de réacteurs différents.

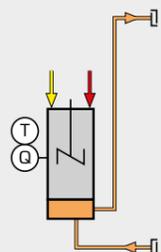
Sur le produit:



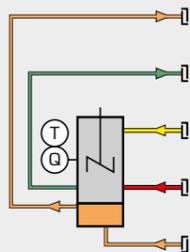
Réacteurs à cuve agitée



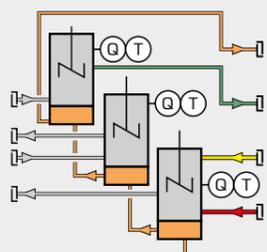
CE 310.04
Réacteur à cuve agitée discontinu



CE 310.01
Réacteur à cuve agitée continu



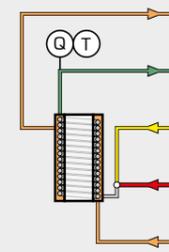
CE 310.03
Cascade de cuves agitées



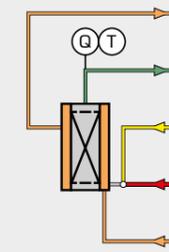
Réacteurs tubulaire



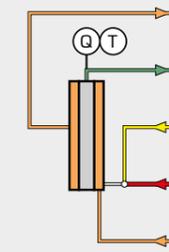
CE 310.02
Réacteur tubulaire



CE 310.05
Réacteur à écoulement piston



CE 310.06
Réacteur à écoulement laminaire



CE 310

Unité d'alimentation pour réacteurs chimiques



Description

- unité d'alimentation pour différents réacteurs (CE 310.01 – CE 310.06)
- réaction de saponification avec mesure de la conductivité pour la détermination de la conversion
- préchauffage des réactifs

Le réacteur est l'élément central d'une installation de production chimique. Dans le réacteur, les matières de départ (réactifs) réagissent ensemble pour former une nouvelle matière (produit). Le réacteur doit garantir les conditions requises pour un déroulement optimal de la réaction. Cela concerne avant tout la température dans le réacteur. On utilise différents types de réacteurs en fonction des conditions requises.

CE 310 sert d'unité d'alimentation pour six réacteurs différents. Le réacteur à étudier est placé sur l'unité d'alimentation et maintenu en position par deux tiges.

Le banc d'essai est équipé de deux réservoirs de réactifs pour assurer un fonctionnement continu des réacteurs. La liaison hydraulique entre l'unité d'alimentation et le réacteur se fait au moyen de flexibles. Pour faciliter le montage, les flexibles sont équipés d'accouplements rapides. Deux pompes acheminent les deux réactifs dans le réacteur. Le temps de séjour par les réactifs dans le réacteur est ajusté par l'intermédiaire de la vitesse de rotation des pompes. C'est dans le réacteur que les réactifs se transforment en produit.

Pour le produit, une autre pompe et un autre réservoir sont à disposition.

Pour la régulation de la température des réactifs dans le réacteur, l'unité d'alimentation dispose d'un circuit d'eau de chauffage avec pompe, réservoir et dispositif de chauffage. Le mode de refroidissement est possible en utilisant également le WL 110.20 Générateur d'eau froide.

La conductivité et la température à l'intérieur du réacteur sont enregistrées par un capteur combiné. L'armoire de commande comprend les éléments de commande requis pour mettre en marche les mobiles d'agitation dans les différents réacteurs.

Les valeurs de mesure s'affichent numériquement sur l'armoire de commande. Les valeurs sont transmises à un PC afin d'y être évaluées à l'aide du logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

Contenu didactique/essais

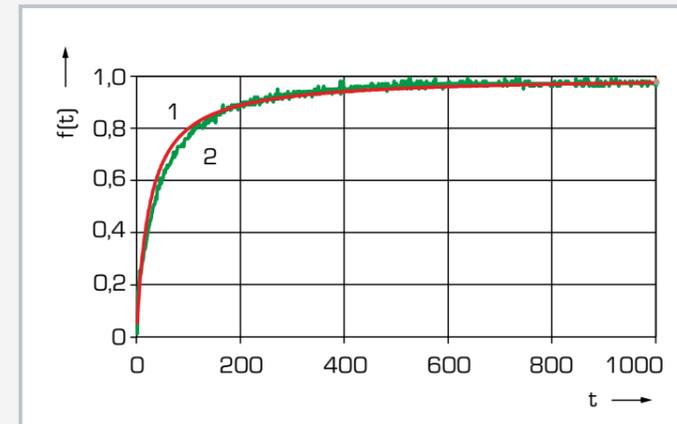
- en association avec un réacteur (CE 310.01 – CE 310.06):
 - ▶ se familiariser avec la construction et le principe de fonctionnement de différents types de réacteurs
 - ▶ conversion de la matière en fonction du type de réacteur
 - ▶ conversion de la matière en fonction du temps de séjour dans le réacteur
 - ▶ conversion de la matière en fonction de la température
 - ▶ conversion de la matière en fonction de la concentration
 - ▶ bases d'une réaction de saponification
 - ▶ détermination de l'évolution du temps de séjour (dans le réacteur)

CE 310

Unité d'alimentation pour réacteurs chimiques



1 éléments d'affichage et de commande, 2 réservoir pour produit, 3 panneau de connexion, 4 et 5 réservoirs pour réactifs, 6 raccord d'eau, 7 réservoir d'eau, 8 affichage de la conductivité et de température



Évolutions temporelle de la conversion avec réacteur à cuve agitée discontinu (CE 310.04)
1 conversion théorique, 2 conversion mesurée; f(t) conversion, t temps

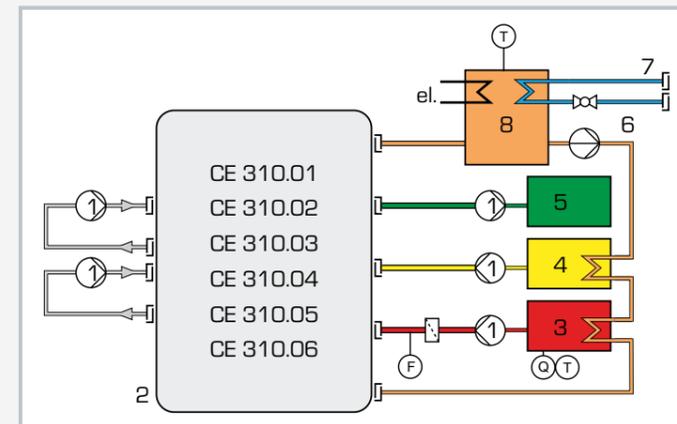


schéma de processus avec unité d'alimentation CE 310

1 pompe péristaltique, 2 réacteur, 3 réservoir de réactif A, 4 réservoir de réactif B, 5 réservoir de produit, 6 pompe d'eau, 7 raccord d'eau, 8 réservoir d'eau; Q conductivité, F débit, T température

Spécification

- [1] unité d'alimentation pour 6 types de réacteurs chimiques différents
- [2] raccordement des réacteurs par l'intermédiaire de flexibles avec accouplements rapides
- [3] circuit d'eau avec réservoir, dispositif de chauffage, régulateur de température, pompe et protection contre le manque d'eau pour le chauffage et le refroidissement (avec WL 110.20 Générateur d'eau froide)
- [4] régulation de la température des réactifs et des réacteurs
- [5] 3 réservoirs en verre pour les réactifs et les produits
- [6] 5 pompes péristaltiques pour l'acheminement des réactifs et des produits
- [7] 2 capteurs combinés pour l'enregistrement de la conductivité et de la température
- [8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Pompe péristaltique pour réactifs

- débit de refoulement max.: env. 180mL/min
- avec un flexible 8,0x4,8mm

Pompe péristaltique pour produits

- débit de refoulement max.: env. 420mL/min
- avec un flexible 8,0x4,8mm

Pompe d'eau

- débit de refoulement max.: 10L/min
- hauteur de refoulement max.: 30m
- puissance absorbée: env. 120W

Dispositif de chauffage

- puissance absorbée: 1500W

Réservoirs- réactifs: 2x 3L

- produit: 5L
- eau de chauffage: 8L

Plages de mesure

- conductivité: 2x 0...100mS/cm
- température: 2x 0...55°C, 1x 0...60°C
- débit: 1x 0...240L/min

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 1170x670x690mm

Poids: env. 82kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain / WL 110.20

Acétate d'éthyle, soude caustique (pour une réaction de saponification)

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 2 capteurs combinés (conductivité et température)
- 1 logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

CE 310.01

Réacteur à cuve agitée continu



Description

- réacteur à cuve agitée pour le raccordement à l'unité d'alimentation CE 310
- matériaux transparents pour l'observation du procédé
- fonctionnement isotherme
- volume du réacteur ajustable
- détermination de la conversion lors d'une réaction de saponification

Les réacteurs à cuve agitée peuvent fonctionner de manière continue ou discontinue. Les réacteurs à cuve agitée sont souvent utilisés en fonctionnement discontinu lorsque les quantités à fabriquer de produit sont faibles, ou que la durée de la réaction est longue. Les réacteurs à cuve agitée continus permettent quant à eux de fabriquer de manière fiable de grandes quantités de produit avec une qualité constante.

CE 310.01 fait partie d'une série d'appareils permettant de réaliser des essais sur différents types de réacteurs. En association avec l'unité d'alimentation CE 310, il est possible d'étudier le fonctionnement et le comportement d'un réacteur à cuve agitée en fonctionnement continu et en fonctionnement discontinu. L'unité d'alimentation CE 310 dispose d'un circuit d'eau de chauffage ainsi que de tous les raccords, pompes, réservoirs pour réactifs requis et d'un réservoir pour le produit.

Le CE 310.01 à étudier est placé sur l'unité d'alimentation et maintenu en position par deux tiges. Des accouplements rapides permettent de raccorder facilement le réacteur à l'unité d'alimentation.

En fonctionnement continu, deux pompes de l'unité d'alimentation acheminent les réactifs dans le réacteur. Un mobile d'agitation assure un mélange homogène et donc le contact direct avec les réactifs. La réaction des réactifs permet de former le produit. Le mélange constitué de produit et de réactifs non transformés quitte le réacteur par l'intermédiaire d'un trop-plein et est transporté dans un réservoir de l'unité d'alimentation.

La hauteur du trop-plein est variable. Le volume du réacteur est ainsi ajustable. Le temps de séjour par les réactifs dans le réacteur est ajusté par l'intermédiaire de la vitesse de rotation des pompes sur l'unité d'alimentation. Le fond compartimenté du réacteur à cuve agitée sert d'échangeur de chaleur pour étudier l'influence de la température sur la réaction.

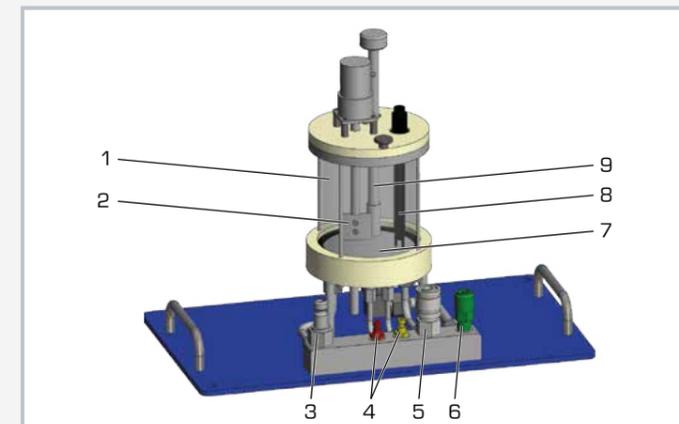
La conversion dans le réacteur à cuve agitée est déterminée en mesurant la conductivité. Un capteur combiné de conductivité et de température est inclus au CE 310. Les valeurs de mesure sont indiquées numériquement sur l'armoire de commande de l'unité d'alimentation. Les valeurs de mesure peuvent être en outre enregistrées et traitées à l'aide d'un logiciel d'acquisition de données (compris dans CE 310).

Contenu didactique/essais

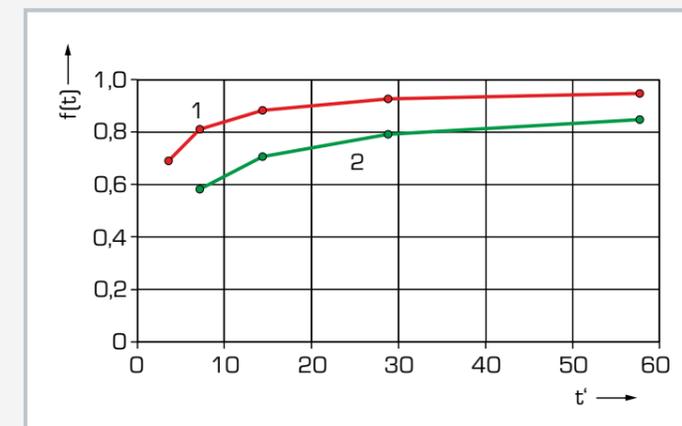
- bases d'une réaction de saponification
- conversion en fonction
 - ▶ du temps de séjour (dans le réacteur)
 - ▶ de la température
 - ▶ de la concentration

CE 310.01

Réacteur à cuve agitée continu



1 réacteur à cuve agitée, 2 mobile d'agitation, 3 alimentation d'eau, 4 alimentation des réactifs A/B, 5 évacuation d'eau, 6 évacuation de produit, 7 fond compartimenté comme échangeur de chaleur, 8 capteur de conductivité et de température (à partir de CE 310), 9 trop-plein modulable en hauteur



Conversions pour différents temps de séjour (dans le réacteur) et températures. 1 température élevée, 2 température basse; $f(t)$ conversion, t' temps de séjour (dans le réacteur)

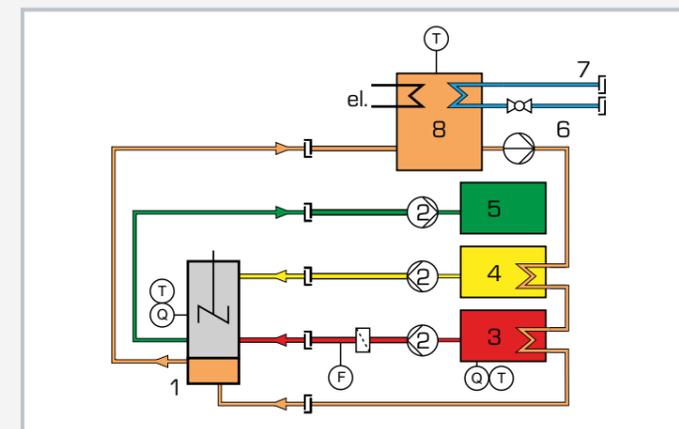


schéma de processus avec l'unité d'alimentation CE 310
1 réacteur à cuve agitée, 2 pompe péristaltique, 3 réservoir de réactif A, 4 réservoir de réactif B, 5 réservoir de produit, 6 pompe d'eau, 7 raccord d'eau, 8 réservoir d'eau; Q conductivité, F débit, T température

Spécification

- [1] réacteur à cuve agitée continu pour le raccordement à l'unité d'alimentation CE 310
- [2] réservoir en verre
- [3] trop-plein modulable en hauteur pour la modification du volume du réacteur
- [4] réacteur avec agitateur
- [5] fond compartimenté en acier inoxydable comme échangeur de chaleur pour raccordement au CE 310
- [6] capteur pour l'enregistrement de la conductivité et de la température par CE 310
- [7] régulation de la température dans le réacteur par CE 310

Caractéristiques techniques

Réacteur à cuve agitée
 ■ diamètre extérieur: 110mm
 ■ diamètre intérieur: 100mm
 ■ hauteur: 120mm
 ■ volume ajustable: 270...750mL

Vitesse de rotation du mobile d'agitation
 ■ env. 0...330min⁻¹

Lxlxh: 440x250x320mm
 Poids: env. 10kg

Liste de livraison

- 1 réacteur à cuve agitée continu

CE 310.02

Réacteur tubulaire



Description

- réacteur tubulaire pour le raccordement à l'unité d'alimentation CE 310
- matériaux transparents pour l'observation du procédé
- détermination de la conversion d'une réaction de saponification

Les réacteurs tubulaires font partie des réacteurs à fonctionnement continu. Les réacteurs tubulaires permettent de fabriquer de manière économique de grandes quantités de produit avec une qualité constante.

CE 310.02 fait partie d'une série d'appareils permettant de réaliser des essais sur différents types de réacteurs. En association avec l'unité d'alimentation CE 310, il est possible d'étudier le fonctionnement et le comportement d'un réacteur tubulaire. L'unité d'alimentation CE 310 dispose d'un circuit d'eau de chauffage ainsi que de tous les raccords, pompes, réservoirs pour réactifs requis, ainsi que d'un réservoir pour le produit.

Le CE 310.02 à étudier est placé sur l'unité d'alimentation et maintenu en position par deux tiges. Des accouplements rapides permettent de raccorder facilement le réacteur à l'unité d'alimentation.

Les deux pompes de l'unité d'alimentation transportent les réactifs séparément dans le réacteur par le biais d'une buse pour chacun. Les sorties des buses se trouvent dans une pièce en T et sont disposées de telle manière à ce que les deux réactifs se mélangent au milieu de la pièce en T. Le mélange entre ensuite dans le tube enroulé sous forme spiralée, dans lequel les deux réactifs réagissent. Le mélange constitué de produit et de réactifs non transformés quitte le tube et est collecté dans un réservoir de l'unité d'alimentation.

Le temps de séjour par les réactifs dans le réacteur tubulaire est ajusté par l'intermédiaire de la vitesse de rotation des pompes sur l'unité d'alimentation. Le tube se trouve lui aussi dans le bain d'eau. Le bain d'eau est relié au circuit d'eau de chauffage de l'unité d'alimentation par des accouplements rapides, ce qui permet d'étudier l'influence de la température sur la réaction.

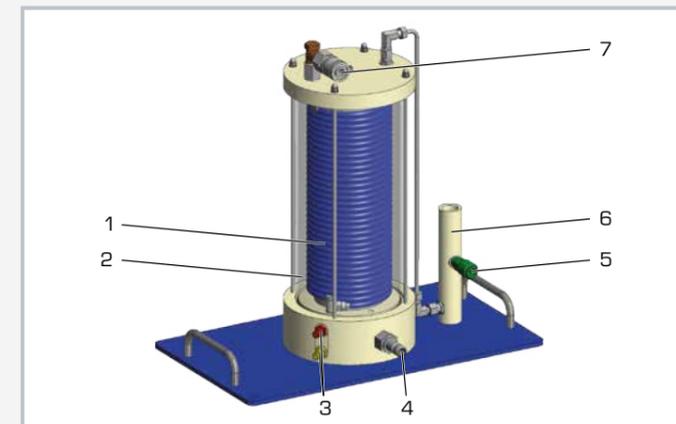
La conversion dans le réacteur tubulaire est déterminée en mesurant la conductivité électrique. Un capteur combiné de conductivité et de température est inclus au CE 310. Les valeurs de mesure sont indiquées numériquement sur l'armoire de commande de l'unité d'alimentation. Les valeurs de mesure peuvent être en outre enregistrées et traitées à l'aide d'un logiciel d'acquisition de données (compris dans CE 310).

Contenu didactique/essais

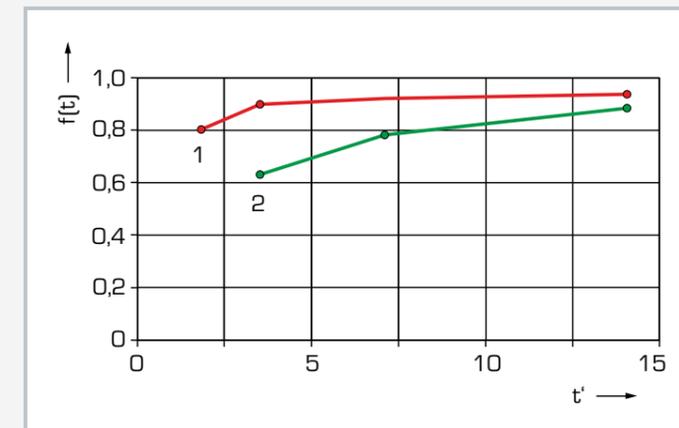
- bases d'une réaction de saponification
- conversion en fonction
 - ▶ du temps de séjour (dans le réacteur)
 - ▶ de la température
 - ▶ de la concentration

CE 310.02

Réacteur tubulaire



1 réacteur tubulaire, 2 l'enveloppe double, 3 alimentation des réactifs A/B, 4 alimentation d'eau, 5 évacuation de produit, 6 douille pour le capteur de conductivité et de température (de CE 310), 7 évacuation d'eau



Conversions pour différents temps de séjour (dans le réacteur) et températures. 1 température élevée, 2 température basse; $f(t)$ conversion, t' temps de séjour (dans le réacteur)

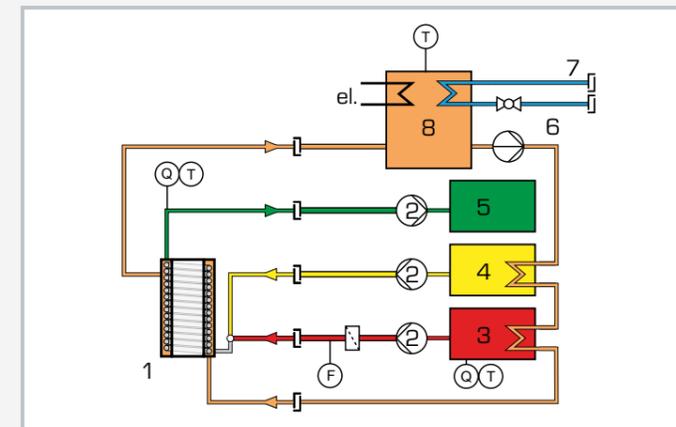


Schéma de processus avec l'unité d'alimentation CE 310
1 réacteur tubulaire, 2 pompe péristaltique, 3 réactif A, 4 réactif B, 5 produit, 6 pompe d'eau, 7 raccord d'eau, 8 réservoir d'eau; Q conductivité, n vitesse de rotation, T température

Spécification

- [1] réacteur tubulaire pour le raccordement à l'unité d'alimentation CE 310
- [2] tube enroulé sous forme spiralée en plastique en tant que réacteur
- [3] pièce en T avec 2 buses pour le mélange des réactifs préchauffés
- [4] réservoir transparent en PMMA comme bain d'eau pour le réacteur pour le raccordement au circuit d'eau de chauffage de CE 310
- [5] capteur pour l'enregistrement de la conductivité et de la température par CE 310
- [6] régulation de la température dans le réacteur par CE 310

Caractéristiques techniques

Réacteur tubulaire

- diamètre intérieur: 6mm
- volume du réacteur: env. 280mL
- matériau: PA

Bain-marie

- diamètre intérieur: 132mm
- diamètre extérieur: 140mm
- volume: 2L
- matériau: PMMA

Lxlxh: 440x250x430mm
Poids: env. 11,5kg

Liste de livraison

- 1 réacteur tubulaire

CE 310.03**Cascade de cuves agitées****Description**

- cascade de cuves agitées pour le raccordement à l'unité d'alimentation CE 310
- matériaux transparents pour l'observation du procédé
- détermination de la conversion lors d'une réaction de saponification, possible pour chaque étage
- fonctionnement isotherme

Les cascades de cuves agitées sont des réacteurs à cuves agitées montés en série. Par rapport à un réacteur à cuve agitée, les conversions possibles sont supérieures avec une cascade de cuves agitées. Les cascades de cuves agitées permettent une conduite de procédé flexible, étant donné qu'il est possible d'ajuster individuellement les températures et temps de séjour dans chaque réacteur.

CE 310.03 fait partie d'une série d'appareils permettant de réaliser des essais sur différents types de réacteurs. En association avec l'unité d'alimentation CE 310, il est possible d'étudier le fonctionnement et le comportement d'une cascade de cuves agitées. L'unité d'alimentation CE 310 dispose d'un circuit d'eau de chauffage ainsi que de tous les raccords, pompes, réservoirs pour réactifs requis et d'un réservoir pour le produit.

Le CE 310.03 à étudier est placé sur l'unité d'alimentation et maintenu en position par deux tiges. Des accouplements rapides permettent de raccorder facilement le réacteur à l'unité d'alimentation.

En fonctionnement continu, deux pompes de l'unité d'alimentation acheminent les réactifs jusqu'au premier réacteur. Un mobile d'agitation assure un mélange homogène et donc le contact direct avec les réactifs.

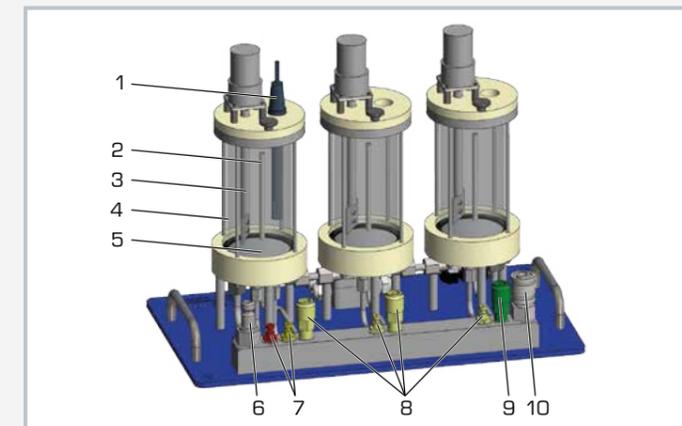
La réaction des réactifs permet de former le produit. Le mélange constitué de produit et de réactifs non transformés quitte le réacteur par l'intermédiaire d'un trop-plein et est conduit successivement dans deux autres réacteurs identiques. Le refoulement intermédiaire est assuré par deux autres pompes péristaltiques de l'unité d'alimentation. À la suite du troisième réacteur a lieu le transport dans un réservoir de l'unité d'alimentation.

Les temps de séjour dans les réacteurs sont ajustés par l'intermédiaire de la vitesse de rotation des pompes sur l'unité d'alimentation.

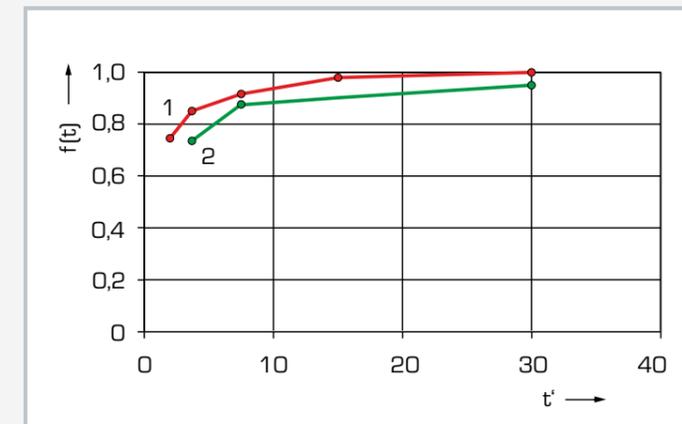
Les conversions dans les différents réacteurs et à l'extrémité de la section de flexible sont déterminées par la mesure de la conductivité. Un capteur combiné de conductivité et de température est inclus à la liste de livraison. Les valeurs de mesure sont indiquées numériquement sur l'armoire de commande de l'unité d'alimentation. Les valeurs de mesure peuvent être en outre enregistrées et traitées à l'aide d'un logiciel d'acquisition de données (compris dans CE 310).

Contenu didactique/essais

- bases d'une réaction de saponification
- conversion dans chaque réacteur en fonction
 - ▶ du temps de séjour (dans le réacteur)
 - ▶ de la température
 - ▶ de la concentration

CE 310.03**Cascade de cuves agitées**

1 capteur pour la conductivité et la température, 2 trop-plein, 3 mobile d'agitation, 4 réacteur à cuve agitée, 5 fond compartimenté comme échangeur de chaleur, 6 alimentation d'eau, 7 alimentation des réactifs A/B, 8 refoulement intermédiaire, 9 évacuation de produit, 10 évacuation d'eau



Conversions totales pour différents temps de séjour (dans le réacteur) et températures 1 température élevée, 2 température basse; $f(t)$ conversion, t' temps de séjour (dans le réacteur chacun)

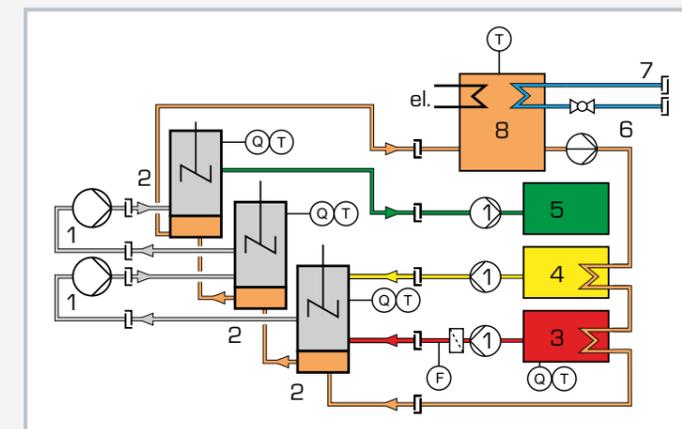


Schéma de processus avec l'unité d'alimentation CE 310
1 pompe péristaltique, 2 réacteur à cuve agitée, 3 réactif A, 4 réactif B, 5 produit, 6 pompe d'eau, 7 raccord d'eau, 8 réservoir d'eau; G conductivité, n vitesse de rotation, T température

Spécification

- [1] cascade de cuves agitées pour le raccordement à l'unité d'alimentation CE 310
- [2] 3 réacteurs à cuve agitée identiques en verre montés en série
- [3] fond compartimenté en acier inoxydable comme échangeur de chaleur pour raccordement au CE 310
- [4] refoulement entre les mélangeurs avec deux pompes péristaltiques de l'unité d'alimentation
- [5] volumes faibles des réacteurs pour besoin réduit en produits chimiques
- [6] capteur pour l'enregistrement de la conductivité et de la température
- [7] affichage de la conductivité et de la température via CE 310
- [8] régulation de la température dans les réacteurs par CE 310

Caractéristiques techniques

- 3 réacteurs
- diamètre extérieur: 80mm chacun
 - diamètre intérieur: 70mm chacun
 - hauteur: 140mm chacun
 - volume du réacteur: env. 350mL chacun

Vitesse de rotation de mobile d'agitation

- 3x env. 0...330min⁻¹

Plages de mesure

- conductivité: 0...100mS/cm
- température: 0...60°C

Lxlxh: 440x250x350mm
Poids: env. 14kg

Liste de livraison

- 1 cascade de cuves agitées
- 1 capteur de conductivité et de température

CE 310.04

Réacteur à cuve agitée discontinu



Description

- réacteur à cuve agitée discontinu pour le raccordement à l'unité d'alimentation CE 310
- matériaux transparents pour l'observation du procédé
- fonctionnement isotherme
- détermination de la conversion lors d'une réaction de saponification

Les réacteurs à cuve agitée sont souvent utilisés en fonctionnement discontinu lorsque les quantités de produit à fabriquer sont faibles, ou que la durée de la réaction est longue.

CE 310.04 fait partie d'une série d'appareils permettant de réaliser des essais sur différents types de réacteurs. En association avec l'unité d'alimentation CE 310, il est possible d'étudier le fonctionnement et le comportement d'un réacteur à cuve agitée discontinu. L'unité d'alimentation CE 310 dispose d'un circuit d'eau de chauffage ainsi que de tous les raccords, pompes, réservoirs pour réactifs requis et d'un réservoir pour le produit.

Le CE 310.04 à étudier est placé sur l'unité d'alimentation et maintenu en position par deux tiges. Des accouplements rapides permettent de raccorder

facilement le réacteur à l'unité d'alimentation.

Les réactifs sont préchauffés au début dans l'unité d'alimentation. Ensuite les réactifs sont ajoutés dans le réacteur à cuve agitée. Un mobile d'agitation assure un mélange homogène et donc le contact direct avec les réactifs. La réaction des réactifs permet de former le produit.

En fonctionnement isotherme, le fond compartimenté du réacteur à cuve agitée sert d'échangeur de chaleur, afin de maintenir constante, en la chauffant ou la refroidissant, la température à l'intérieur du réacteur.

La conversion dans le réacteur à cuve agitée est déterminée en mesurant la conductivité. Un capteur combiné de conductivité et de température est inclus au CE 310.

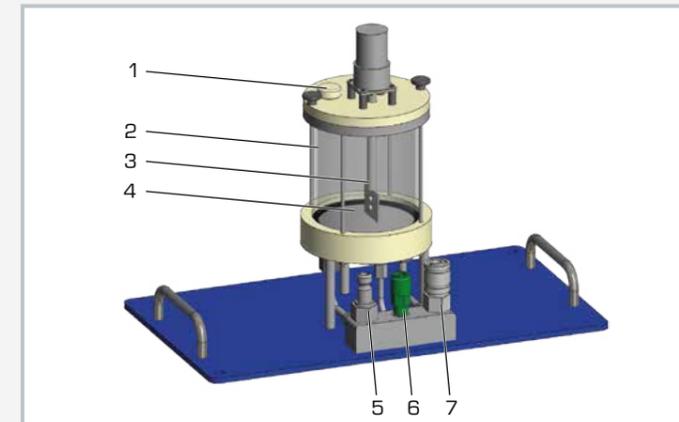
Les valeurs de mesure sont indiquées numériquement sur l'armoire de commande de l'unité d'alimentation. Les valeurs de mesure peuvent être en outre enregistrées et traitées à l'aide d'un logiciel d'acquisition de données (compris dans CE 310).

Contenu didactique/essais

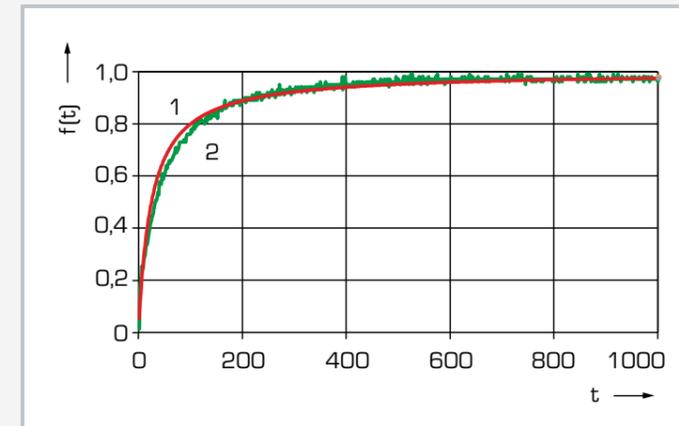
- bases d'une réaction de saponification
 - ▶ détermination des constantes de vitesse de réaction
 - ▶ détermination de la dépendance à la température des constantes de vitesse de réaction
- conversion en fonction
 - ▶ du temps de séjour (dans le réacteur)
 - ▶ de la température
 - ▶ de la concentration

CE 310.04

Réacteur à cuve agitée discontinu



1 forage pour le capteur de conductivité et de température (de CE 310), 2 réacteur à cuve agitée, 3 mobile d'agitation, 4 fond compartimenté comme échangeur de chaleur, 5 alimentation d'eau, 6 évacuation de produit, 7 évacuation d'eau



Évolutions temporelle de la conversion
1 conversion théorique, 2 conversion mesurée; f(t) conversion, t temps

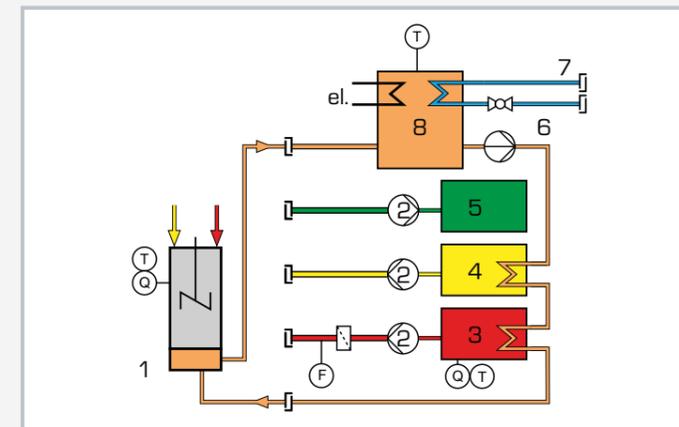


Schéma de processus avec l'unité d'alimentation CE 310
1 réacteur à cuve agitée, 2 pompe péristaltique, 3 réactif A, 4 réactif B, 5 produit, 6 pompe d'eau, 7 raccord d'eau, 8 réservoir d'eau; Q conductivité, n vitesse de rotation, T température

Spécification

- [1] réacteur à cuve agitée discontinu pour le raccordement à l'unité d'alimentation CE 310
- [2] un mobile d'agitation pour mixité
- [3] fond compartimenté en acier inoxydable comme échangeur de chaleur pour raccordement au CE 310
- [4] capteur pour l'enregistrement de la conductivité et de la température par CE 310
- [5] régulation de la température dans le réacteur par CE 310

Caractéristiques techniques

Réacteur

- diamètre extérieur: 110mm
- diamètre intérieur: 100mm
- hauteur: 140mm
- volume: env. 750mL

Vitesse de rotation du mobile d'agitation: env. 330min⁻¹

Lxlxh: 440x250x320mm

Poids: env. 10kg

Liste de livraison

- 1 réacteur à cuve agitée discontinu
- 2 béchers
- 1 entonnoir

CE 310.05

Réacteur à écoulement piston



Contenu didactique/essais

- bases de la réaction de saponification
- fonctionnement continu
- détermination de la conversion en fonction des éléments suivants
 - ▶ temps de séjour
 - ▶ température
 - ▶ concentration
- distribution du temps de séjour



Description

- réacteur à écoulement piston pour le raccordement à l'unité d'alimentation CE 310
- fonctionnement continu
- lit fixe constitué de billes en verre
- matériaux transparents pour l'observation du processus
- fonctionnement isotherme
- détermination de la conversion pour une réaction de saponification

Les réacteurs à écoulement piston sont des réacteurs à écoulement tubulaire et fonctionnent en continu. Ils permettent l'étude de réactions chimiques dans des conditions définies.

Le CE 310.05 fait partie d'une série d'appareils qui permet la réalisation d'essais sur différents types de réacteurs. Avec l'unité d'alimentation CE 310, il est possible d'étudier le fonctionnement et le comportement d'un réacteur à écoulement piston en fonctionnement continu.

L'unité d'alimentation CE 310 dispose d'un circuit d'eau chaude ainsi que de tous les raccords, pompes, réservoirs de réactifs qui sont requis, ainsi que d'un réservoir pour le produit. En association avec le WL 110.20 Générateur d'eau froide et le CE 310 Unité d'alimentation, il est également possible de refroidir les réacteurs.

Le CE 310.05 est placé sur l'unité d'alimentation et maintenu en position par deux tiges. Des accouplements rapides permettent de raccorder facilement le réacteur à l'unité d'alimentation.

En fonctionnement continu, deux pompes de l'unité d'alimentation transportent les réactifs dans le réacteur. Le lit fixe constitué de billes en verre entraîne un écoulement à travers toute la section du réacteur. La réaction des réactifs entraîne la formation du produit.

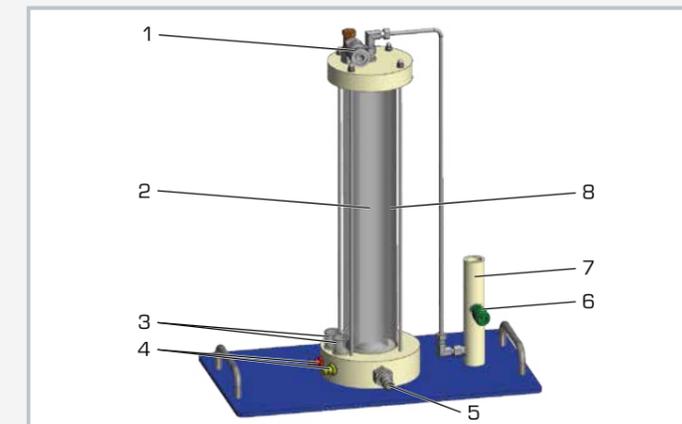
Le mélange composé de produit et des réactifs non transformés quitte le réacteur au niveau de l'extrémité supérieure. Le mélange est transporté avec une autre pompe péristaltique dans un réservoir de l'unité d'alimentation.

Le temps de séjour des réactifs dans le réacteur est ajusté par le biais de la vitesse de rotation des pompes sur l'unité d'alimentation.

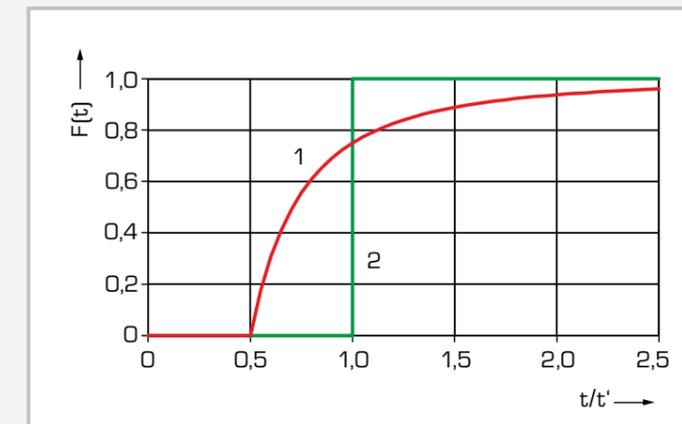
La conversion dans le réacteur à écoulement piston est déterminée en mesurant la conductivité. Un capteur combiné de conductivité et de température est inclus au CE 310. Les valeurs sont affichées numériquement sur l'armoire de commande de l'unité d'alimentation. Et il est en outre possible d'enregistrer et de traiter les valeurs de mesure à l'aide d'un logiciel d'acquisition de données inclus au CE 310.

CE 310.05

Réacteur à écoulement piston



1 évacuation d'eau, 2 réacteur à lit fixe, 3 réservoir d'air, 4 alimentation réactifs A/B, 5 alimentation en eau, 6 évacuation du produit, 7 manchon pour capteurs de conductivité et de température (inclus au CE 310), 8 double paroi pour l'eau



1 écoulement laminaire, 2 écoulement piston; $F(t)$ courbe cumulative du temps de séjour, t temps, t' temps de séjour

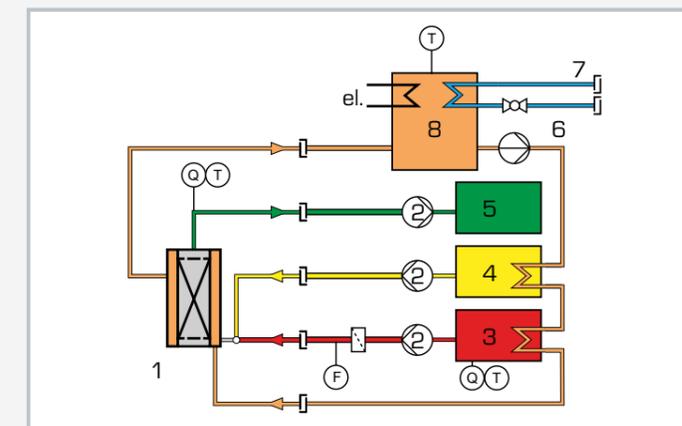


Schéma de processus avec unité d'alimentation CE 310
1 réacteur à écoulement piston, 2 pompe péristaltique, 3 réactif A, 4 réactif B, 5 produit, 6 pompe à eau, 7 raccord d'eau, 8 réservoir d'eau; Q conductivité, n vitesse de rotation, T température

Spécification

- [1] réacteur à écoulement piston pour le raccordement à l'unité d'alimentation CE 310
- [2] réservoir d'air pour la réduction des pulsations
- [3] pièce en T avec buse pour le mélange des réactifs
- [4] tube droit en verre avec lit fixe composé de billes en verre comme réacteur
- [5] double paroi transparente en PMMA pour le refroidissement et le chauffage avec CE 310 et WL 110.20
- [6] capteurs pour la saisie de la conductivité et de la température par le CE 310
- [7] régulation de la température par le CE 310

Caractéristiques techniques

Réacteur à écoulement piston

- diamètre intérieur: 40mm
- hauteur: 400mm
- matériau: verre

Bain-marie

- diamètre intérieur: 70mm
- volume: env. 0,4L
- matériau: PMMA

Lxlxh: 440x250x530mm
Poids: env. 15kg

Liste de livraison

- 1 réacteur à écoulement piston

CE 310.06

Réacteur à écoulement laminaire



Contenu didactique/essais

- bases de la réaction de saponification
- fonctionnement continu
- détermination de la conversion en fonction des éléments suivants
 - ▶ temps de séjour
 - ▶ température
 - ▶ concentration
- distribution du temps de séjour

Description

- réacteur à écoulement laminaire pour le raccordement à l'unité d'alimentation CE 310
- fonctionnement continu
- matériaux transparents pour l'observation du processus
- fonctionnement isotherme
- détermination de la conversion pour une réaction de saponification

Les réacteurs à écoulement laminaire sont des réacteurs à écoulement tubulaire et fonctionnent en continu. Ils permettent l'étude de réactions chimiques dans des conditions d'écoulement définies et de la distribution caractéristique du temps de séjour.

Le CE 310.06 fait partie d'une série d'appareils qui permet la réalisation d'essais sur différents types de réacteurs. Avec l'unité d'alimentation CE 310, il est possible d'étudier le fonctionnement et le comportement d'un réacteur à écoulement laminaire en fonctionnement continu.

L'unité d'alimentation CE 310 dispose d'un circuit d'eau chaude ainsi que de tous les raccords, pompes, réservoirs de réactifs qui sont requis, ainsi que d'un réservoir pour le produit. En association avec le WL 110.20 Générateur d'eau froide et le CE 310 Unité d'alimentation, il est également possible de refroidir le réacteur.

Le CE 310.06 est placé sur l'unité d'alimentation et maintenu en position par deux tiges. Des accouplements rapides permettent de raccorder facilement le réacteur à l'unité d'alimentation.

En fonctionnement continu, deux pompes de l'unité d'alimentation transportent les réactifs dans le réacteur. Un écoulement laminaire, qui dépend du dimensionnement et des débits volumétriques possibles. La réaction des réactifs entraîne la formation du produit.

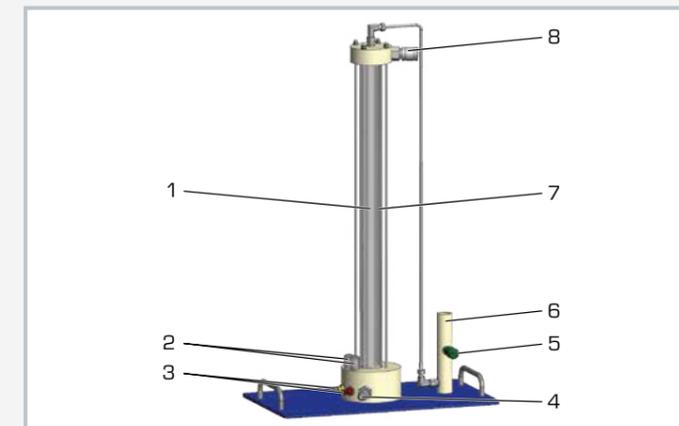
Le mélange composé de produit et des réactifs non transformés quitte le réacteur au niveau de l'extrémité supérieure une fois que le temps de séjour est écoulé. Le mélange est transporté avec une autre pompe péristaltique dans un réservoir de l'unité d'alimentation.

Le temps de séjour des réactifs dans le réacteur est ajusté par le biais de la vitesse de rotation des pompes sur l'unité d'alimentation.

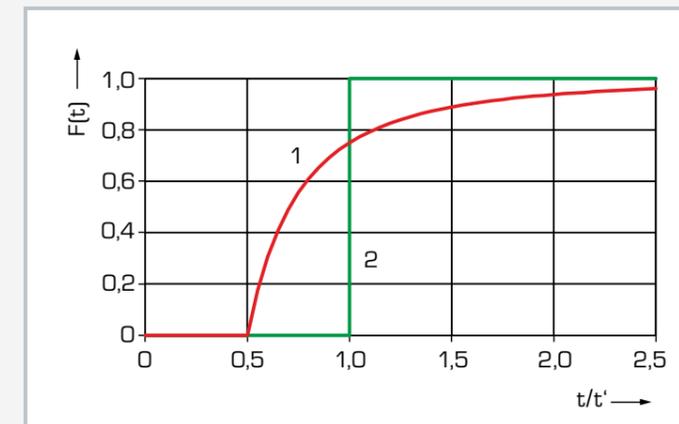
La conversion du réacteur à écoulement laminaire est déterminée par la mesure de la conductivité. Un capteur combiné de conductivité et de température est inclus au CE 310. Les valeurs sont affichées numériquement sur l'armoire de commande de l'unité d'alimentation. Et il est en outre possible d'enregistrer et de traiter les valeurs de mesure à l'aide d'un logiciel d'acquisition de données inclus au CE 310.

CE 310.06

Réacteur à écoulement laminaire



1 réacteur à lit fixe, 2 réservoir d'air, 3 alimentation en réactifs A/B, 4 alimentation en eau, 5 évacuation du produit, 6 manchon pour capteurs de conductivité et de température (inclus au CE 310), 7 double paroi pour l'eau, 8 évacuation de l'eau



1 écoulement laminaire, 2 écoulement piston; $F(t)$ courbe cumulative du temps de séjour, t temps, t' temps de séjour

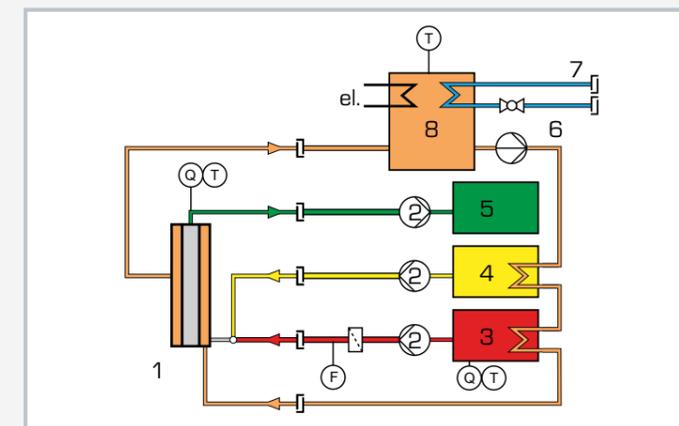


Schéma de processus avec unité d'alimentation CE 310
1 réacteur à écoulement laminaire, 2 pompe péristaltique, 3 réactif A, 4 réactif B, 5 produit, 6 pompe à eau, 7 raccord d'eau, 8 réservoir d'eau; Q conductivité, n vitesse de rotation, T température

Spécification

- [1] réacteur à écoulement laminaire pour le raccordement à l'unité d'alimentation CE 310
- [2] réservoir d'air pour la réduction des pulsations
- [3] pièce en T avec buse pour le mélange des réactifs
- [4] entrée spéciale pour la réduction de la longueur d'entrée
- [5] tube en verre droit à écoulement laminaire double paroi transparente en PMMA pour le refroidissement et le chauffage avec CE 310 et WL 110.20
- [7] capteurs pour la saisie de la conductivité et de la température par le CE 310
- [8] régulation de la température par le CE 310

Caractéristiques techniques

Réacteur à écoulement laminaire

- diamètre intérieur: 15mm
- hauteur: 600mm
- matériau: verre

Bain-marie

- diamètre intérieur: 45mm
- volume: env. 0,4L
- matériau: PMMA

Lxlxh: 440x250x750mm

Poids: env. 10kg

Liste de livraison

- 1 réacteur à écoulement laminaire

CE 100

Réacteur tubulaire



Description

- réacteur tubulaire avec régulation de la température
- réaction de saponification avec mesure de la conductivité pour déterminer la conversion
- préchauffage des réactifs

Les réacteurs tubulaires font partie des réacteurs à fonctionnement continu. Les réacteurs tubulaires permettent de fabriquer de manière économique de grandes quantités de produit avec une qualité constante.

L'élément central du CE 100 est le réacteur tubulaire avec dix sections tempérées. Deux pompes transportent les réactifs depuis deux réservoirs jusqu'à l'intérieur du réacteur en passant par les sections de préchauffage. Les sections de préchauffage sont constituées d'un serpentin situé dans le réservoir d'eau chaude. Après le préchauffage, les réactifs sont mélangés juste avant de pénétrer dans le réacteur. La conductivité électrique du mélange réactionnel est mesurée à l'entrée, au milieu et à la sortie du réacteur. Pendant que le mélange réactionnel s'écoule à travers le réacteur, les réactifs réagissent aux produits. Le mélange constitué de produits et de réactifs non transformés quitte le réacteur et est collecté dans un réservoir.

Les débits volumétriques et donc le temps de séjour des réactifs dans le réacteur tubulaire sont ajustés sur les pompes. Les dix sections du réacteur tubulaire sont constituées d'échangeurs de chaleur coaxiaux. Le mélange réactionnel s'écoule dans le tube intérieur de l'échangeur de chaleur tandis que l'eau chaude s'écoule dans le tube extérieur. La température de ce circuit d'eau chaude est régulée. Le régulateur de l'armoire de commande permet de définir la température souhaitée et affiche la température actuelle du réservoir d'eau chaude. Trois agitateurs assurent un mélange homogène et une température uniforme dans les réservoirs de réactif et dans le réservoir d'eau chaude.

Des capteurs enregistrent les températures et les conductibilités électriques. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide du logiciel. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. L'analyse de la réaction s'effectue au moyen des conductibilités électriques mesurées et de la conversion calculée à partir de ces dernières.

Contenu didactique/essais

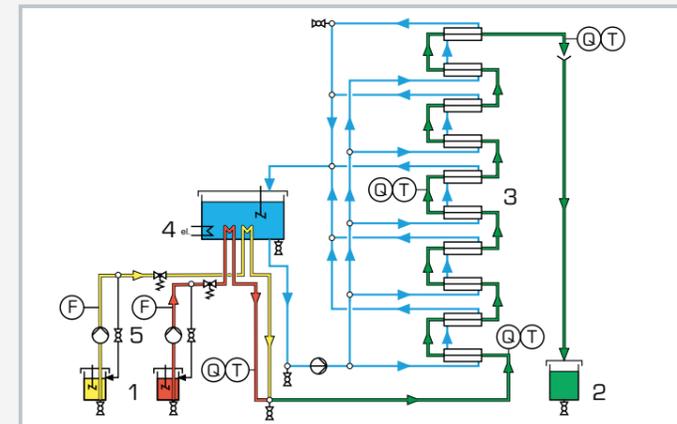
- principes de base d'une réaction de saponification
- conversion
 - ▶ en fonction du temps de séjour
 - ▶ en fonction de la température
 - ▶ en fonction de l'ordre de réaction

CE 100

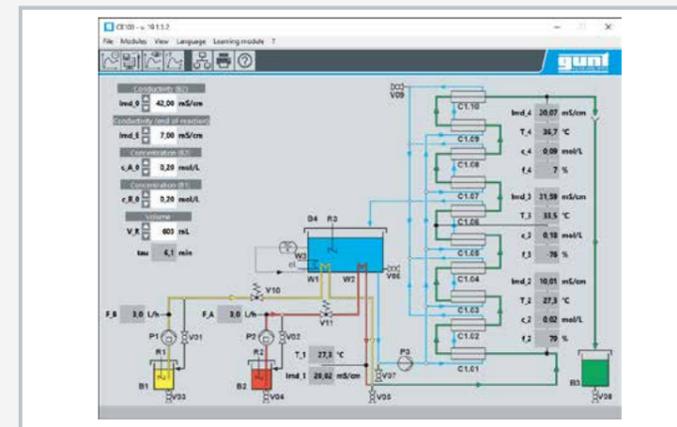
Réacteur tubulaire



1 armoire de commande, 2 pompes à réactif avec mesure de débit volumétrique, 3 réservoir de réactif, 4 réservoir d'eau chaude, 5 pompe, 6 réservoir de produit, 7 mesure de la température et de la conductivité électrique, 8 réacteur tubulaire à 10 sections



1 réservoir de réactif, 2 réservoir de produit, 3 réacteur tubulaire avec 10 segments, 4 dispositif de chauffage, 5 pompes à réactif, F débit, Q conductivité électrique, T température



Capture d'écran du logiciel

Spécification

- [1] réacteur tubulaire continu pour la réalisation d'une réaction de saponification
- [2] 10 échangeurs de chaleur coaxiaux comme réacteur
- [3] 2 pompes de même type pour le transport des réactifs
- [4] ajustage des débits volumétriques des réactifs sur les pompes
- [5] préchauffage des réactifs avec 2 serpentins en acier inoxydable
- [6] pièce en T pour l'agitation des réactifs préchauffés
- [7] réservoir d'eau chaude avec régulation de température
- [8] mesures pour la conductivité électrique: à l'entrée, au milieu et à la sortie du réacteur
- [9] enregistrement de la conductivité et de la température avec 3 capteurs combinés
- [10] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Réacteur tubulaire

- Ø intérieur: env. 8mm
- volume du réacteur: env. 0,6L
- matériau: 1.4571

Pompes à réactif

- débit de refoulement max.: 0,3L/min
- hauteur de refoulement max.: 20m

Réservoir

- réactifs: 2x 25L
- produits: 1x 50L
- eau: 1x 30L

Circuit d'eau chaude

- puissance du dispositif de chauffage: env. 4kW
- température: max. 55°C

Vitesse de rotation des agitateurs: max. 310min⁻¹

Plages de mesure

- débit volumétrique: 2x 2...320mL/min
- température: 4x 0...80°C
- conductivité: 3x 0...100mS/cm

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases, 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1900x790x1950mm
Poids: env. 290kg

Nécessaire pr le fonctionnement

Acétate d'éthyle, lessive de soude (pour la réaction de saponification)
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

Visitez notre
site internet

Sur notre site, vous trouverez toutes
les informations autour de notre programme.

Connaissances de base Activation catalytique

De nombreuses réactions se déroulent trop lentement à température ambiante pour pouvoir être exploitées techniquement, parce que leurs énergies d'activation sont très élevées. Les catalyseurs permettent de réduire l'énergie

d'activation et donc d'accélérer la réaction chimique. C'est ainsi que l'exploitation de certaines réactions est rendue possible et que le niveau d'énergie requis pour la production est réduit.

Selon la définition de Wilhelm Ostwald, on qualifie de catalyseur toute matière qui accélère une réaction chimique tout en étant absente du produit final. On peut qualifier de catalyse l'accélération d'une réaction chimique sous l'effet d'un catalyseur. On estime que les catalyseurs participent à plus de 80% de tous les procédés chimiques industriels.

Dans le cas simple de la réaction d'un réactif **A** pour former un produit **P** avec la participation d'un catalyseur **K**, on peut imaginer que la catalyse se déroule par le biais d'un produit intermédiaire **X**. Le réactif et le catalyseur forment donc tout d'abord un produit intermédiaire. Le produit **P** se forme alors à partir du produit intermédiaire sous l'effet de la libération du catalyseur. Le catalyseur reste inchangé au terme de la réaction et est à nouveau disponible pour de nouvelles réactions.

Une explication possible de la catalyse est donnée par la théorie de transition. Cette théorie suppose que les réactifs participant à la réaction doivent franchir un seuil énergétique pour que la réaction puisse avoir lieu. L'état moléculaire au maximum du seuil énergétique E_1 est dénommé complexe activé. Les produits se forment alors directement à partir de cet état moléculaire. Lors de la catalyse, le complexe activé se forme à partir des réactifs et du catalyseur. L'énergie E_2 nécessaire à la formation du complexe avec le catalyseur est plus faible que l'énergie E_1

requis en l'absence de catalyseur. Ce besoin inférieur en énergie fait que le nombre de réactifs qui réagissent par unité de temps pour former des produits est supérieur. La vitesse de réaction est donc plus élevée.

On distingue deux types de catalyse:

■ Catalyse homogène

Le catalyseur et les matières de départ de la réaction chimique sont dans la même phase. Elle se fait donc durant la phase liquide ou gazeuse. En phase liquide, outre le type de réactifs et du catalyseur, certaines propriétés du solvant (la viscosité par ex.) ont également une influence sur la vitesse de réaction.

■ Catalyse hétérogène

Le catalyseur est le plus souvent sous forme solide. Les matières de départ de la réaction sont sous forme liquide ou gazeuse. En dehors de la réaction chimique proprement dite entre les réactifs et le catalyseur, des procédés tels que la diffusion à l'intérieur du catalyseur solide ainsi que des procédés d'absorption ont une grande influence sur la vitesse de réaction.

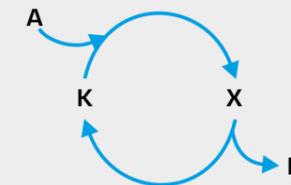
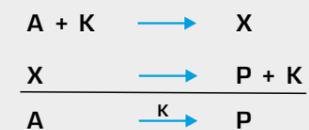
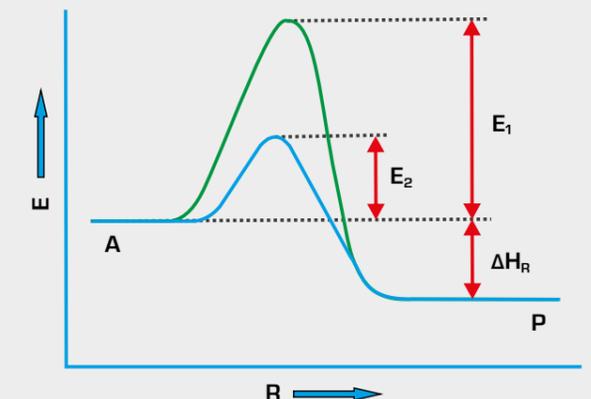


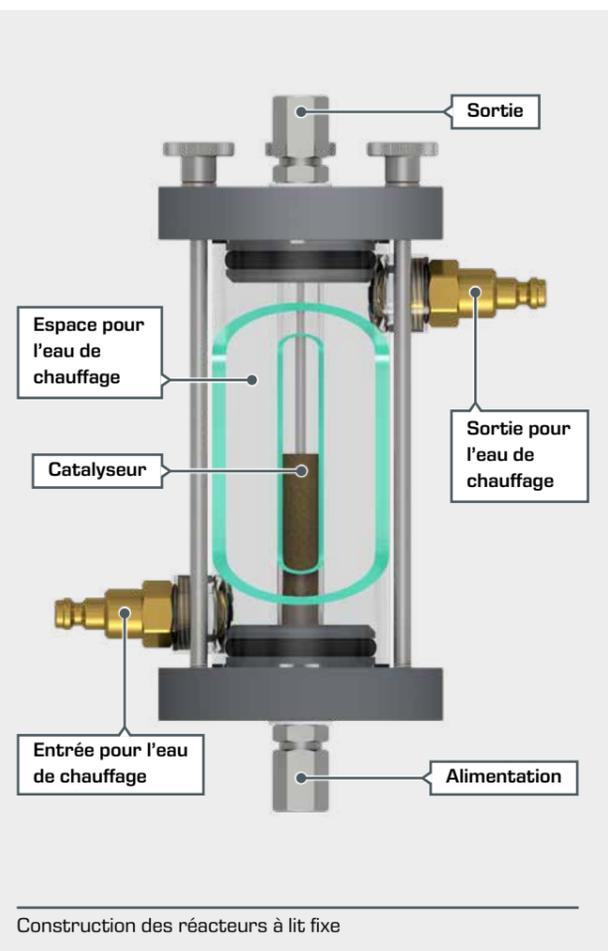
Schéma de réaction d'une réaction catalytique simple sous forme de schéma (en haut) et sous forme de cycle (en bas):

A réactif, **K** catalyseur,
X produit intermédiaire, **P** produit



Modification de l'énergie avec et sans catalyseur (exothermique):

E énergie, **R** coordonnées de la réaction, E_1 énergie nécessaire pour la formation d'un complexe activé sans catalyseur, E_2 énergie nécessaire pour la formation d'un complexe activé avec catalyseur, ΔH_r enthalpie de réaction

Aperçu
CE 380 Catalyse à lit fixe

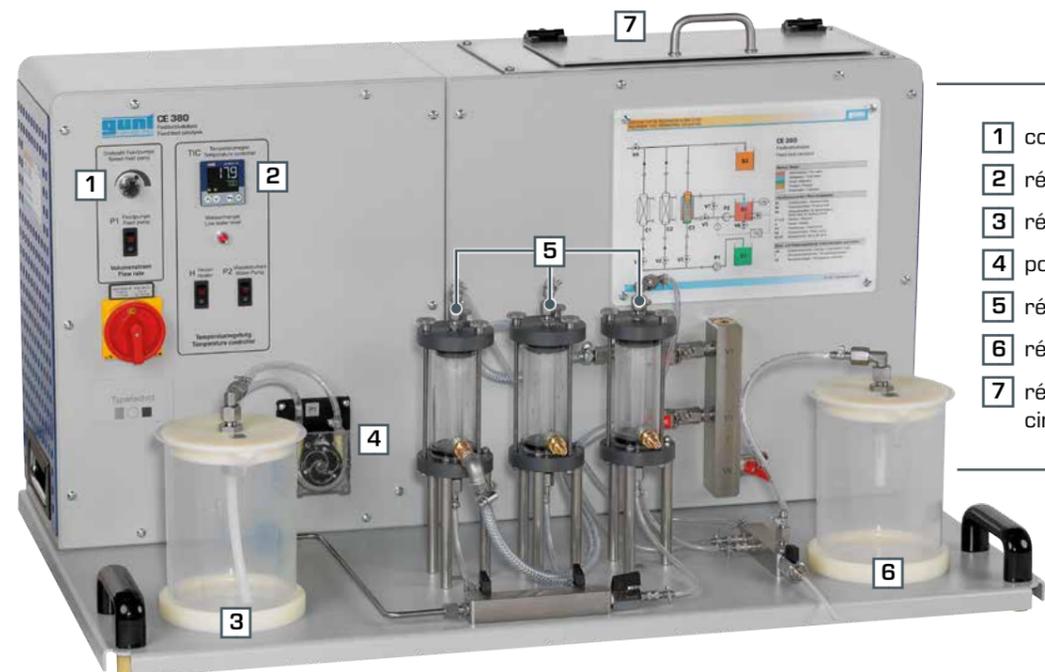
Les réactions chimiques sont souvent réalisées à l'aide de catalyseurs. Les catalyseurs accélèrent les réactions chimiques ou en rendent certaines possibles. Les catalyseurs réduisent l'énergie d'activation nécessaire ou produisent des composés temporaires pour permettre d'autres voies de réaction. Les catalyseurs sortent inchangés des réactions et sont donc à nouveau disponibles pour la réaction suivante.

Dans le cas d'une **catalyse à lit fixe**, le catalyseur est présent sous forme de lit fixe dans un réacteur. L'écoulement traversant avec les produits de départ (édults) et la réaction dans le lit fixe ont lieu en continu. Cela permet d'avoir des conditions de réaction constantes et un meilleur rendement du produit.

Les principaux composants du CE 380 sont trois réacteurs à lit fixe. Cela permet de réaliser trois montages expérimentaux avec, par exemple, des quantités de catalyseur différentes à chaque fois. Les réacteurs sont conçus sous la forme de doubles tubes, et le catalyseur se trouve dans le tube interne. La zone située entre les deux tubes sert à chauffer les réacteurs avec de l'eau chaude. L'écoulement de la solution de départ, et donc le temps de séjour hydraulique dans le réacteur, peut être ajusté en continu.

Contenu didactique

- bases de la catalyse chimique
- dépendance de la réaction de
 - ▶ masse du catalyseur
 - ▶ température
- utilisation d'un appareil d'analyse photométrique
- création d'un bilan matière
- calcul du rendement



- 1 contrôle du débit
- 2 régulateur de température
- 3 réservoir à réactif
- 4 pompe d'alimentation
- 5 réacteurs
- 6 réservoir à produit
- 7 réservoir d'eau pour le circuit de chauffage

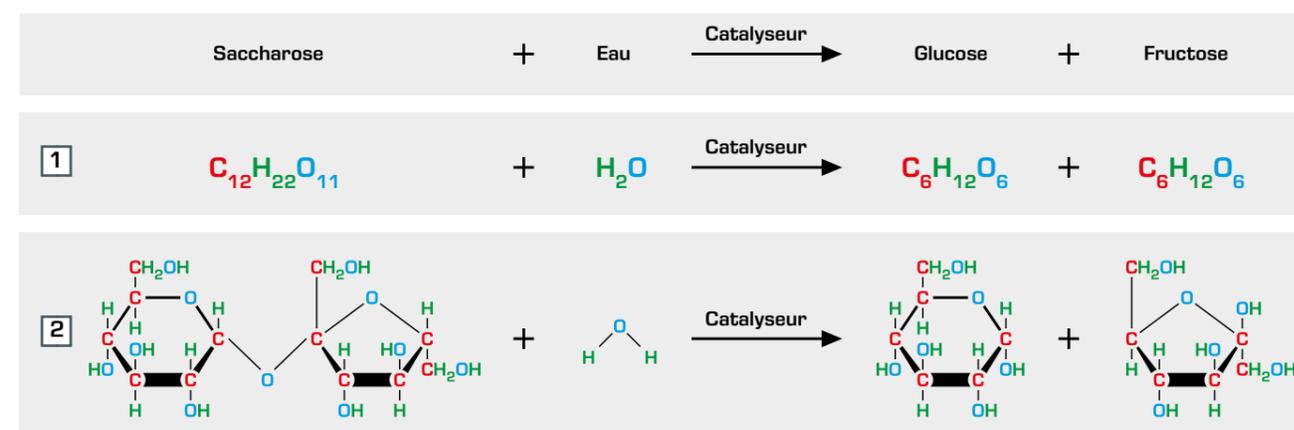
Sur le produit:



Hydrolyse catalysée du saccharose

L'**hydrolyse** désigne de manière générale la décomposition d'un composé chimique sous l'effet d'une réaction avec de l'eau. La décomposition du saccharose en glucose et fructose en est un exemple. Cette réaction nécessite en outre un catalyseur. Bien que le glucose et le fructose aient la même formule brute, ils se distinguent par la disposition des différents atomes.

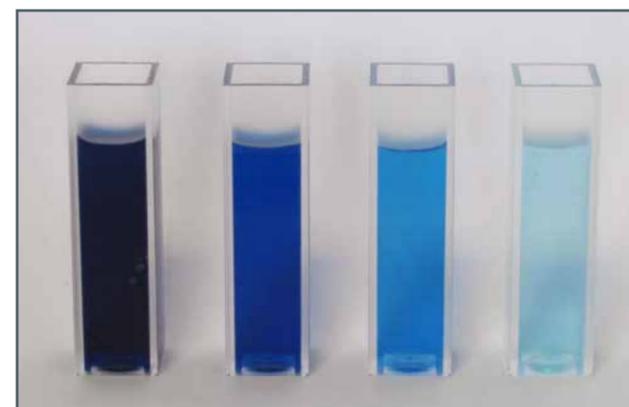
Le CE 380 est conçu pour l'hydrolyse du saccharose en glucose et fructose. Un échangeur d'ions fortement acide, inclus dans la liste de livraison, sert de catalyseur.



Hydrolyse du saccharose: 1 équation de réaction et 2 projections de Haworth

Evaluation de l'expérience avec le photomètre

Le taux de conversion est un paramètre important pour évaluer les réactions chimiques. Pour le CE 380, on le calcule en déterminant la concentration de glucose dans le produit de la réaction. Pour ce faire, un complexe iode-amidon est d'abord préparé à partir de la solution de produit en utilisant différents produits chimiques. Le complexe iode-amidon se caractérise par sa couleur bleue. L'intensité de la coloration permet de mesurer la concentration en glucose.



Complexes iode-amidon avec concentration de glucose décroissante de gauche à droite

Le complexe iode-amidon absorbe de la lumière dans la zone jaune-orange, ce qui permet de déterminer la concentration en glucose par photométrie. L'appareil est donc livré avec un photomètre afin de permettre l'évaluation des essais. Les données du photomètre sont transmises sur un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel.



Photomètre pour l'évaluation des essais

CE 380

Catalyse à lit fixe



Description

- catalyse chimique à lit fixe
- trois réacteurs pour essais comparatifs
- analyse du produit à l'aide d'un photomètre

Les catalyseurs permettent ou accélèrent les réactions chimiques. Le CE 380 est conçu pour étudier la réaction de décomposition du saccharose dissous en glucose et fructose.

Une pompe péristaltique transporte le réactif (solution de saccharose) d'un réservoir par le bas jusqu'au réacteur. Le catalyseur est présent dans le réacteur en tant que lit fixe. La solution de saccharose traverse le lit fixe. Le saccharose se décompose alors en glucose et fructose. Le catalyseur accélère la réaction et augmente ainsi le rendement du produit (mélange glucose-fructose). Le produit est recueilli dans un réservoir.

Trois réacteurs permettent d'effectuer une comparaison entre différentes catalyses. Une résine échangeuse d'ions est utilisée comme catalyseur chimique.

Par ailleurs, un circuit d'eau de chauffage régulé permet d'étudier l'influence de la température sur la réaction.

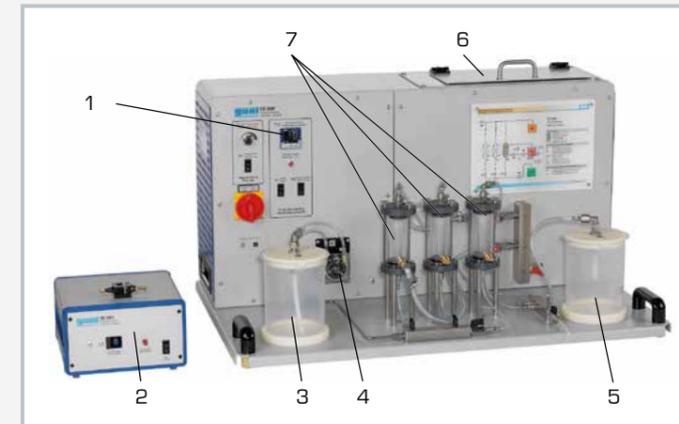
Les équipements fournis incluent un photomètre adapté à cet appareil afin de déterminer la concentration de glucose. Les données du photomètre sont transférées vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel. L'analyse par injection en flux continu (FIA – Flow Injection Analysis) CE 380.01 est disponible en option en tant qu'accessoire. Par rapport à l'analyse manuelle, la FIA permet de procéder à un plus grand nombre de mesures lors de l'essai, avec une intervention réduite et une reproductibilité améliorée.

Contenu didactique/essais

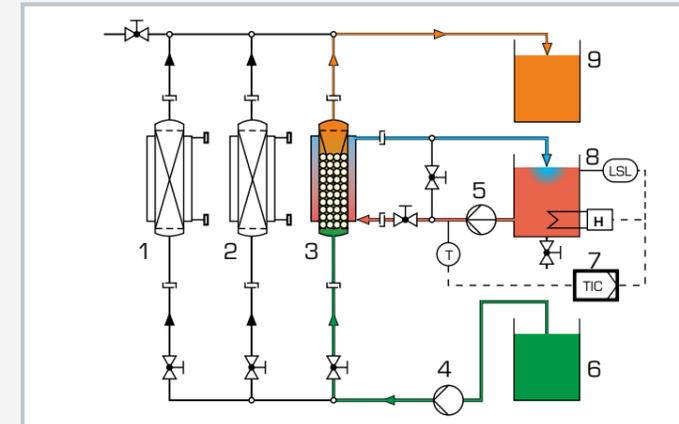
- bases de la catalyse chimique
 - dépendance de la réaction de
 - ▶ masse du catalyseur
 - ▶ température
- utilisation d'un appareil d'analyse photométrique
- création d'un bilan matière
- calcul du rendement

CE 380

Catalyse à lit fixe



1 régulateur de température, 2 photomètre, 3 réservoir à réactif, 4 pompe d'alimentation, 5 réservoir à produit, 6 réservoir d'eau pour le circuit de chauffage, 7 réacteurs



1-3 réacteur, 4 pompe d'alimentation, 5 pompe circuit de chauffage, 6 réservoir à réactif, 7 régulateur de température, 8 réservoir d'eau avec dispositif de chauffage et contacteur de niveau, 9 réservoir à produit



Photomètre: 1 support de cuvette, 2 raccordement de source lumineuse, 3 raccordement de spectromètre

Spécification

- [1] étude de la réaction catalytique
- [2] 3 réacteurs en PMMA utilisés pour comparer les différentes catalyses à lit fixe
- [3] pompe péristaltique à vitesse de rotation ajustable conçue pour alimenter les réacteurs en réactif
- [4] circuit de chauffage régulé avec réservoir d'eau, dispositif de chauffage et pompe, conçu pour thermaliser les réacteurs
- [5] 1 réservoir gradué pour le réactif et 1 autre pour le produit
- [6] photomètre pour l'analyse du produit
- [7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 8.1, 10 (photomètre)
- [8] analyse par injection en flux continu (CE 380.01) disponible en tant qu'accessoire

Caractéristiques techniques

Réacteurs

- diamètre: env. 10mm
- hauteur: env. 120mm

Pompe péristaltique

- débit de refoulement max.: env. 50mL/min

Pompe circuit de chauffage

- débit de refoulement max.: 10L/min
- hauteur de refoulement max.: 30m
- puissance absorbée: 120W

Circuit de chauffage

- réservoir: env. 7500mL
- dispositif de chauffage: env. 1kW

Réservoirs pour réactif et produit

- volume: env. 2000mL
- graduation échelle: 50mL
- composition: PP

Longueur d'onde du photomètre: 610nm

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 1000x680x500mm (appareil d'essai)

Lxlxh: 260x260x180mm (photomètre)

Poids: env. 63kg

Nécessaire pr le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 photomètre
- 1 emballage de catalyseur chimique
- 1 avec logiciel pour le photomètre
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

CE 380.01**Analyse par injection en flux continu (FIA)****Description**

- **appareil d'analyse professionnel pour CE 380**
- **détermination photométrique continue de la concentration de glucose**

L'analyse par injection en flux continu (FIA – **F**low **I**njection **A**nalysis) complète le CE 380. Elle utilise le photomètre existant dans le CE 380 comme détecteur pour déceler le produit de réaction (glucose).

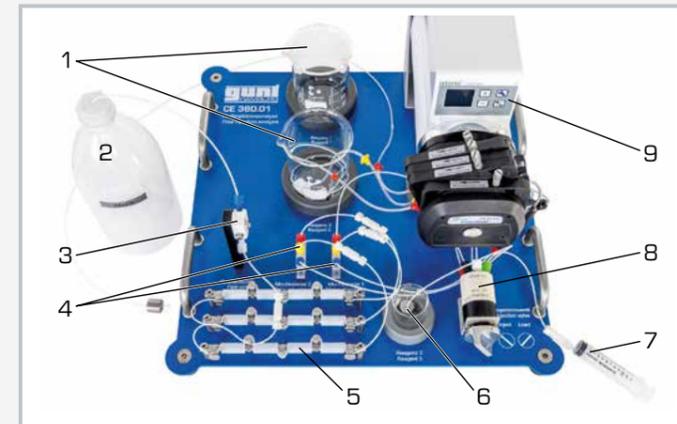
La pompe multi-canaux achemine en permanence trois écoulements de liquide en direction de la FIA. Dans un premier temps, les produits dissous de la réaction de CE 380 sont mélangés dans une chambre avec un réactif de détection. Ensuite, le mélange traverse une boucle de réaction en forme de bobine. Le guidage de l'écoulement dans la boucle de réaction permet une distribution homogène des matières. Un autre réactif de détection est ajouté dans une seconde chambre de mélange.

Après avoir traversé une autre boucle de réaction, le mélange arrive dans une cellule d'écoulement. L'intensité lumineuse y est enregistrée en permanence au moyen d'un photomètre afin de déterminer la concentration de glucose. Afin de déclencher la coloration nécessaire pour la mesure photométrique, une quantité définie de l'enzyme glucose oxydase (GOD) est injectée au moyen d'une soupape d'injection. Les réactifs de détection et l'enzyme glucose oxydase (GOD) ne sont pas compris dans la livraison.

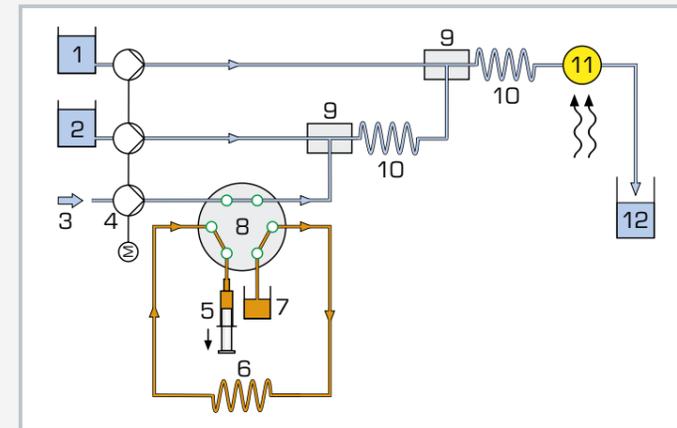
Comparé à l'analyse manuelle, il est possible avec CE 380.01 de réaliser davantage de mesures pendant l'essai. La reproductibilité est en outre meilleure et le mélange de chacun des échantillons n'est plus nécessaire.

Contenu didactique/essais

- manipulation de l'analyse par injection en flux continu
- détermination de la concentration
- calcul du rendement avec CE 380

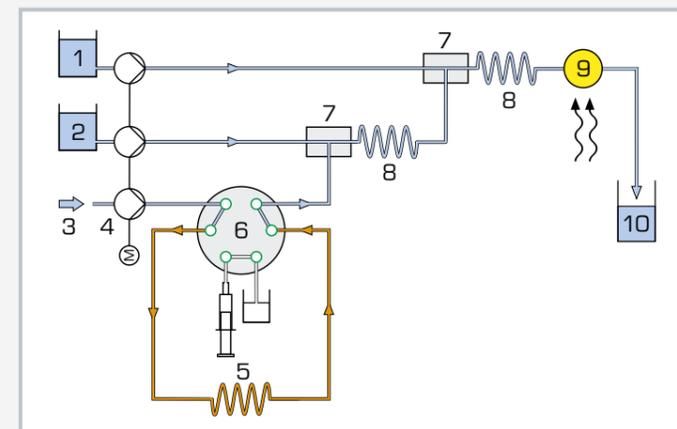
CE 380.01**Analyse par injection en flux continu (FIA)**

1 réservoir pour réactif 1 et 2, 2 déchets, 3 cellule d'écoulement, 4 chambres de mélange, 5 boucle de réaction, 6 réactif 3 GOD, 7 seringue d'injection, 8 soupape d'injection, 9 pompe péristaltique multicanaux



Chargement de la boucle d'injection avec GOD:

1 réactif 2, 2 réactif 1, 3 produits de réaction de CE 380, 4 pompe péristaltique multicanaux, 5 seringue d'injection, 6 boucle d'injection, 7 réactif 3 GOD, 8 soupape d'injection, 9 chambres de mélange, 10 boucles de réaction, 11 cellule d'écoulement, 12 déchets



Injection de GOD:

1 réactif 2, 2 réactif 1, 3 produits de réaction de CE 380, 4 pompe péristaltique multicanaux, 5 boucle d'injection, 6 soupape d'injection, 7 chambre de mélange, 8 boucle de réaction, 9 cellule d'écoulement, 10 déchets

Spécification

- [1] détermination photométrique continue de la concentration de glucose dans le produit de CE 380
- [2] cellule d'écoulement en PTFE pour la détermination de la concentration avec le photomètre de CE 380
- [3] pompe péristaltique multicanaux pour l'acheminement du produit de CE 380 et des réactifs de détection
- [4] soupape d'injection, seringue d'injection et boucle d'injection pour l'ajout de l'enzyme GOD requise pour la détection
- [5] 2 chambres de mélange pour le mélange du produit et des réactifs de détection
- [6] 2 boucles de réaction en PTFE
- [7] 3 béchers DURAN en verre pour réactifs de détection et GOD
- [8] réservoir à déchets

Caractéristiques techniques

Longueur d'onde de la cellule d'écoulement: 1 cm

Pompe péristaltique multicanaux

- 4 canaux
- débit de refoulement max. par canal: 11 mL/min à 100min⁻¹ et flexible D_i=1,42mm

Soupape d'injection

- 6 raccords
- 2 positions de commutation

Boucles

- boucles de réaction: 1x 2000mm, 1x 4000mm
- boucle d'injection: 1x 100mm

Réservoir

- réactifs de détection: 2x 250mL
- GOD: 1x 25mL
- déchets: 1x 1000mL
- seringue d'injection: 1x 10mL

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 400x400x200mm
Poids: env. 8kg

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 1 jeu de flexibles
- 1 jeu d'accessoires
- 1 notice

CE 650

Installation de biodiesel



possibilité de "screen mirroring" sur différents terminaux

Description

- transestérification chimique
- processus à deux étapes
- commande de l'installation par API et écran tactile
- un routeur intégré pour l'exploitation et le contrôle via un dispositif terminal et pour le "screen mirroring" sur des terminaux supplémentaires: PC, tablette, smartphone

L'utilisation de sources d'énergie renouvelables dans le domaine de la mobilité est possible en remplaçant les combustibles fossiles. Le biodiesel, récupéré à partir d'huiles végétales, en est l'une des possibilités. La production de biodiesel à partir d'huiles végétales avec addition de méthanol et d'hydroxyde de potassium (comme catalyseur) est appelée transestérification; il s'agit d'un processus chimique. À l'échelle industrielle, la production est réalisée en fonctionnement continu dans des réacteurs à cuve agitée. Ce processus est reproduit à petite échelle par le CE 650.

La réaction chimique se produit lorsque la température atteint à peu près 60°C. Les produits sont ensuite retirés du réacteur après un temps de séjour prédéfini. Les produits sont constitués d'un mélange qui subit un processus en deux phases : Une phase riche en biodiesel et une phase à base de sous-produits. Les sous-produits sont pompés du séparateur de phase suivant (piège) vers le dépôt. Pour la phase riche en biodiesel, voici les options

possibles: réacheminement dans le réacteur, 2^e transestérification, récupération du méthanol (distillation) et épuration du biodiesel (absorption). La phase riche en biodiesel contient du biodiesel ainsi que des quantités résiduelles de méthanol, d'hydroxyde de potassium et d'huile végétale. L'huile végétale restante est réacheminée afin d'être à nouveau soumise à la réaction, la 2^e transestérification. Le méthanol est éliminé par distillation pendant la récupération du méthanol. Les quantités résiduelles du catalyseur sont éliminées pendant l'épuration du biodiesel. On procède enfin à l'entreposage des produits.

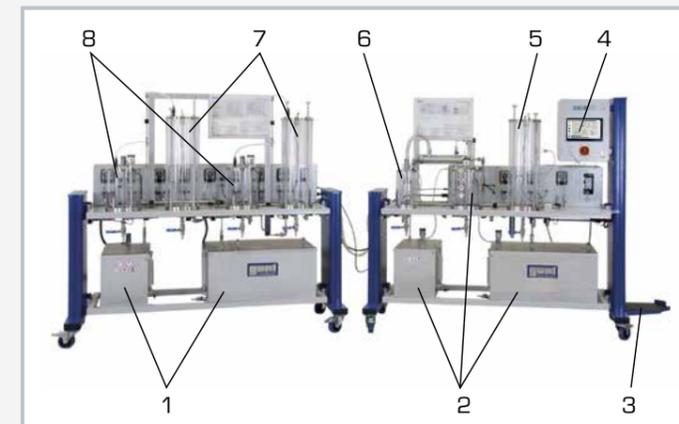
La conversion de transestérification dépend du temps de réaction et de la température. L'équilibre chimique est modifié par l'élimination des sous-produits. L'analyse du biodiesel qui est produit est réalisée en laboratoire. Les paramètres de processus peuvent être modifiés afin d'étudier les différentes influences. Le CE 650 est commandé à l'aide d'un API via écran tactile. Grâce à un routeur intégré, l'installation peut être alternativement commandée et exploitée par un dispositif terminal. L'interface utilisateur peut également être affichée sur des terminaux supplémentaires ("screen mirroring"). Via l'API, les valeurs de mesure peuvent être enregistrées en interne. L'accès aux valeurs de mesure enregistrées est possible à partir des terminaux via WLAN avec routeur intégré/ connexion LAN au réseau propre au client.

Contenu didactique/essais

- production de biodiesel à partir d'huile végétale
 - ▶ influence du temps de séjour
 - ▶ influence de la température
- transestérification chimique
- séparation de phase dans le champ de gravité
- distillation
- extraction liquide-liquide
- démarrage d'un processus continu avec plusieurs opérations de base
- "screen mirroring": mise en miroir de l'interface utilisateur sur des terminaux
 - ▶ navigation dans le menu indépendante de la surface affichée sur l'écran tactile
 - ▶ différents niveaux d'utilisateurs sélectionnables sur le terminal: pour l'observation des essais ou pour la commande et l'utilisation

CE 650

Installation de biodiesel



1 réservoir d'alimentation, 2 dépôt, 3 porte-bouteille à gaz, 4 API avec écran tactile, 5 épurateur de biodiesel, 6 récupération du méthanol, 7 séparateur de phases, 8 réacteur

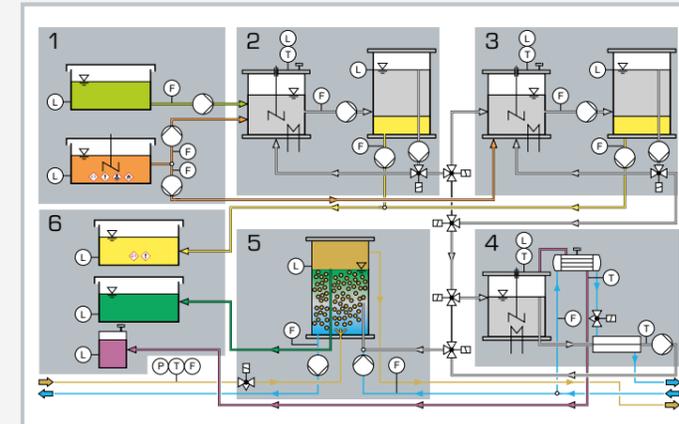


Schéma de processus de l'installation d'essai
1 alimentation, 2 transestérification 1^{ère} étape, 3 transestérification 2^e étape, 4 récupération de méthanol, 5 épuration de biodiesel, 6 dépôt



Écran de démarrage de l'API pour la commande de l'installation d'essai

Spécification

- [1] transestérification chimique d'huiles végétales
- [2] processus continu à deux étapes
- [3] 2 réacteurs à cuve agitée chauffés pour la transestérification chimique
- [4] 2 séparateurs de phase (piège) pour la séparation des produits et des sous-produits
- [5] récupération de méthanol (distillation) pour réduire la quantité nécessaire de méthanol
- [6] épuration du biodiesel (absorption) pour l'extraction d'impuretés à partir du biodiesel
- [7] variation de paramètres de processus pour étudier les influences de la production de biodiesel
- [8] API pour la commande de l'installation
- [9] écran tactile pour la commande de l'API
- [10] acquisition de données par API sur une mémoire interne, accès aux valeurs de mesure enregistrées par WLAN avec routeur intégré/ connexion LAN au réseau propre au client

Caractéristiques techniques

API: Eaton XV303

Réservoir

- réacteurs à cuve agitée: 2x 5L
- réservoir de stockage (huile végétale): 110L
- réservoir de stockage (produits chimiques): 45L
- réservoir de produit: 110L
- réservoir de sous-produit: 45L
- réservoir de méthanol: 6L
- séparateur de phase/épurateur de biodiesel: 3x 15L

Pompes péristaltiques: max. 25L/h

Plages de mesure

- température: 6x 0...100°C
- pression: 1x 0...6bar (abs.)
- débit: 11x 0...30L/h
- niveau:
 - ▶ 3x 1...22cm
 - ▶ 2x 1...29cm

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
1x Lxlxh: 1900x790x1700mm
1x Lxlxh: 2200x790x1700mm
Poids: env. 560kg

Nécessaire pr le fonctionnement

huile végétale, hydroxyde de potassium, méthanol, azote 0,06kg/h, min. 2bar; raccord d'eau + drain 400L/h, min. 2bar; évacuation d'air + ventilation 245m³/h

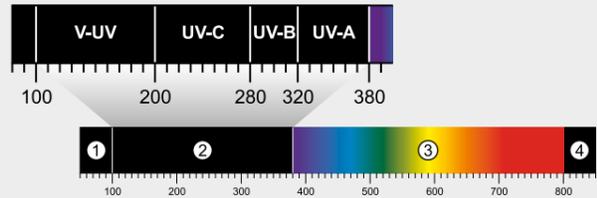
Liste de livraison

- 1 installation d'essai
- 1 documentation didactique

Connaissances de base

Activation photochimique

Lors de l'activation photochimique, l'énergie d'activation qui rend possible ou qui permet d'accélérer la réaction est fournie par un rayonnement électromagnétique. Les atomes ou les molécules absorbent le rayonnement et atteignent ainsi un état activé plus riche. Pour assurer un déroulement efficace de la réaction, il est important que le spectre d'émission (plage de longueurs d'onde) de la source de lumière utilisée se rapproche le plus possible des spectres d'absorption des matières qui réagissent.



Spectre d'ondes électromagnétiques:

1 rayonnement radiographique, 2 rayonnement ultraviolet, 3 lumière visible, 4 rayonnement infrarouge

Lors des réactions photochimiques utilisées à l'échelle industrielle, le rayonnement électromagnétique entraîne la formation de radicaux. La caractéristique principale des radicaux est la présence, au lieu d'une paire d'électrons, d'un seul électron libre. C'est cet électron qui transmet au radical sa forte réactivité et permet d'atteindre les vitesses de réaction requises pour le procédé industriel concerné. Un avantage de l'activation photochimique est la possibilité d'exciter de manière ciblée des liaisons chimiques spécifiques en sélectionnant un spectre d'émission adapté. Un autre avantage réside dans le fait que l'on peut influencer facilement sur la vitesse de réaction en allumant ou en éteignant les sources de lumière.

Les applications suivantes sont des exemples d'exploitation industrielle de réactions photochimiques:

- chloration d'hydrocarbures
- fabrication de vitamine D
- fabrication de polychlorure de vinyle (PVC)
- traitement de substances contenues dans les eaux usées

Pour la production du rayonnement électromagnétique, on utilise essentiellement des lampes qui fonctionnent selon le principe de la décharge gazeuse. Comme gaz, on utilise en général de la vapeur de mercure.

On fait généralement la distinction entre les deux types de lampes suivants:

■ Lampes à basse pression

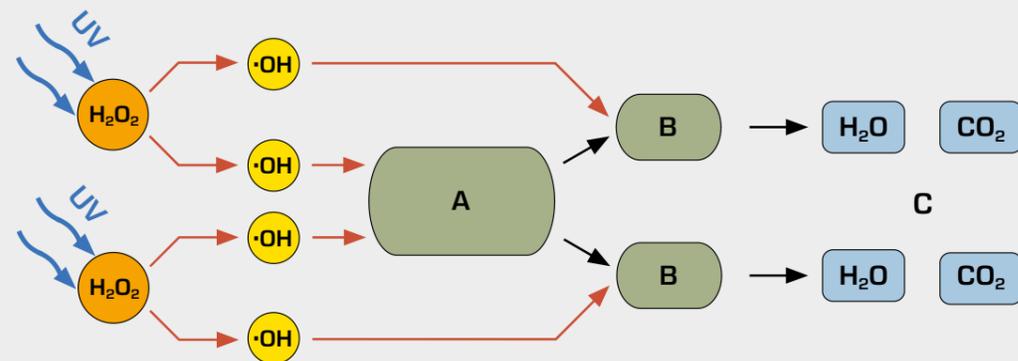
Ces lampes produisent une lumière pratiquement monochromatique (lumière d'une seule longueur d'onde) de longueur d'onde de 254nm (UV-C).

■ Lampes à moyenne pression

Ces lampes émettent un rayonnement ayant différentes longueurs d'onde sur la plage UV et sur la plage visible. Le spectre d'émission se situe sur la plage 200...600nm.

■ Lampes à haute pression

Le spectre de ces lampes s'étend de la plage UV d'ondes courtes (V-UV) jusqu'à la plage visible et est efficace pour de nombreuses réactions photochimiques.



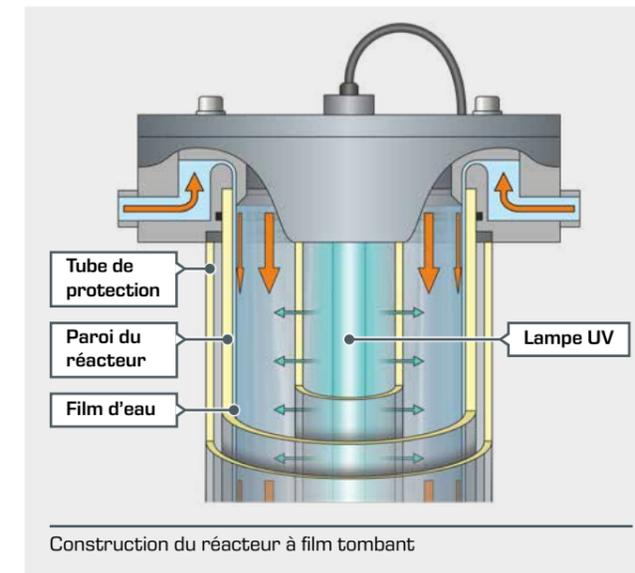
Exemple d'une réaction photochimique activée pour la dégradation de matières organiques non biodégradables:

H₂O₂ eau oxygénée, ·OH radical hydroxyle, A matière organique non biodégradable, B produits intermédiaires organiques, C produits finaux inorganiques

Aperçu

CE 584 Oxydation avancée

Réacteur à film tombant en mode de fonctionnement batch



Construction du réacteur à film tombant

Les procédés d'oxydation avancés sont à la pointe des techniques de traitement de l'eau. Avec cet appareil, vous pouvez étudier l'oxydation des matières organiques non biodégradables avec de l'eau oxygénée (H₂O₂) et un rayonnement UV. L'accent didactique porte sur la mise en œuvre expérimentale des principes de cinétique des réactions.

L'élément principal de l'appareil est un réacteur à film tombant fonctionnant de manière discontinue. L'eau brute mélangée à de l'eau oxygénée est pompée depuis un réservoir en direction d'une gouttière située à l'extrémité supérieure du réacteur. En passant par un bord de trop-plein, l'eau s'écoule en mince film vers le bas le long de la paroi interne du réacteur, et retourne ensuite dans le réservoir.

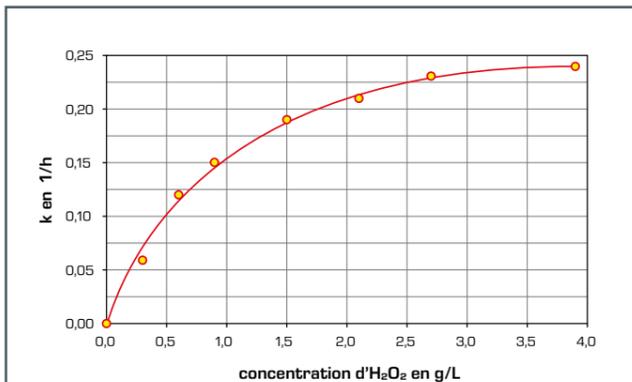
Une lampe UV se trouve au milieu du réacteur. Le rayonnement de lumière UV (254nm) a pour effet de séparer l'eau oxygénée pour former les radicaux OH souhaités.

Matériel d'accompagnement didactique

La documentation didactique présente de manière détaillée les fondements du procédé ainsi que les principes de cinétique des réactions. En outre, un essai réalisé à titre d'exemple y est décrit et analysé de manière détaillée.



Sur le produit:



Extrait de l'instruction d'expériences du CE 584: constante de vitesse k en fonction de la quantité d' H₂O₂ utilisée. Le polluant organique utilisé est de l'éther diméthylque du triéthylène-glycol.

Contenu didactique

- enregistrement de courbes concentrations-temps
- étude de la cinétique des réactions
 - ▶ ordre de réaction
 - ▶ vitesse de réaction
- influence de la quantité d'H₂O₂ sur la courbe de réaction

CE 584

Oxydation avancée



2E

Description

- oxydation des matières organiques avec de l'eau oxygénée (H_2O_2) et de la lumière UV
- fonctionnement discontinu avec réacteur à film tombant

Dans le traitement de l'eau, les procédés d'oxydation servent à éliminer des matières organiques non biodégradables. Si l'oxydation se fait avec des radicaux hydroxyles (radicaux OH), on parle d'oxydation avancée. Une méthode courante pour générer des radicaux hydroxyles consiste à irradier de l'eau oxygénée avec de la lumière UV. CE 584 met en évidence ce procédé à l'aide d'un réacteur à film tombant à fonctionnement discontinu.

Le réacteur à film tombant est composé d'un tube transparent ouvert à son extrémité inférieure. L'extrémité supérieure du tube est pourvue d'une gouttière circulaire. L'eau brute enrichie d'eau oxygénée est acheminée depuis un réservoir jusqu'à la gouttière à l'aide d'une pompe. De là, sous la forme d'un mince film tombant le long de la paroi intérieure du tube, l'eau retourne dans le réservoir. Ainsi se crée un cycle d'eau fermé. Une lampe UV est disposée au centre du tube. L'irradiation par la lumière UV de l'eau brute qui descend entraîne la formation de radicaux hydroxyles à partir des molécules d'eau oxygénée. Les radicaux hydroxyles oxydent les matières organiques non biodégradables contenues dans l'eau brute. La lampe UV est équipée d'un tube de protection contre le rayonnement.

Le débit et la température de l'eau sont enregistrés en continu. La température est affichée numériquement sur l'armoire de commande. Il est possible de faire des prélèvements dans le réservoir.

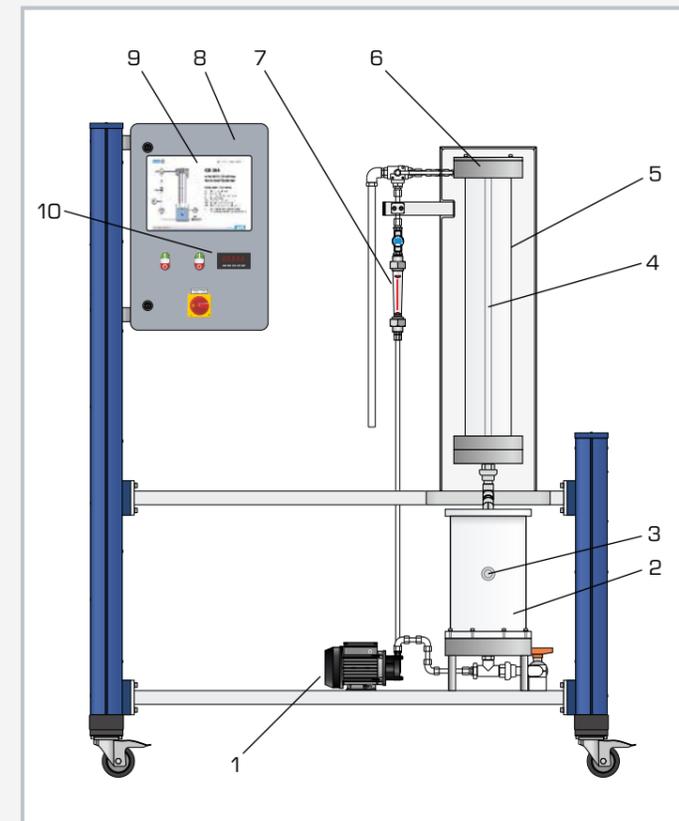
Il est possible d'utiliser p.ex. de l'ether diméthylque du triéthylèneglycol pour produire l'eau brute. L'évaluation des essais nécessite une technique d'analyse. La documentation didactique bien structurée expose les principes de base et guide l'étudiant dans la réalisation des essais.

Contenu didactique/essais

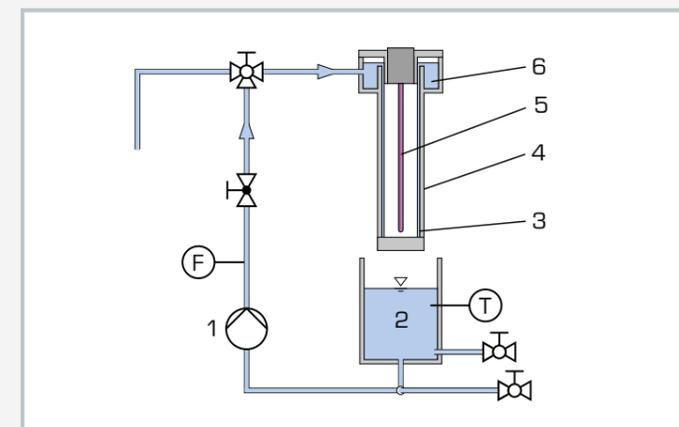
- apprentissage de l'oxydation avec l'eau oxygénée et la lumière UV
- enregistrement des courbes de dégradation pour l'étude surveillance de la cinétique des réactions
- influence de la quantité d'eau oxygénée sur le procédé

CE 584

Oxydation avancée



1 pompe, 2 réservoir, 3 capteur de température, 4 lampe UV avec tube de protection, 5 réacteur à film tombant (tube), 6 gouttière, 7 débitmètre, 8 armoire de commande, 9 schéma de processus, 10 affichage numérique de la température



1 pompe, 2 réservoir, 3 film tombant, 4 réacteur à film tombant (tube), 5 lampe UV, 6 gouttière; F débit, T température

Spécification

- [1] procédé d'oxydation avancée
- [2] utilisation de l'eau oxygénée et de la lumière UV
- [3] formation des radicaux hydroxyles (radicaux OH)
- [4] réacteur à film tombant avec lampe UV
- [5] fonctionnement discontinu
- [6] débit ajustable
- [7] enregistrement de la température et du débit
- [8] affichage numérique de la température
- [9] dispositif de protection contre le rayonnement UV

Caractéristiques techniques

Réacteur à film tombant (tube)

- Ø 130mm
- hauteur: 1000mm
- matériau: verre

Lampe UV

- longueur d'onde émise: 254nm
- puissance: 120W

Pompe

- débit de refoulement max.: 360L/h
- hauteur de refoulement max.: 9m

Réservoir

- volume: 10L

Plages de mesure

- débit: 30...320L/h
- température: 0...50°C

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 1510x790x1900mm

Poids: env. 170kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain, l'eau oxygénée, ether diméthylque du triéthylèneglycol (recommandation)

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique



Génie des procédés biologiques

Introduction

Aperçu Les concepts d'apprentissage GUNT dans le domaine du génie des procédés biologiques 172

Connaissances de base Procédés biologiques et réacteurs 174

Procédés aérobies

CE 701 Procédé à biofilm 176

CE 704 Procédé SBR 178

Aperçu CE 705 Procédé à boues activées 180

CE 705 Procédé à boues activées 182

Aperçu CE 730 Réacteur airlift 184

CE 730 Réacteur airlift 186

Procédés anaérobies

Aperçu CE 702 Traitement anaérobie de l'eau 188

CE 702 Traitement anaérobie de l'eau 190

Connaissances de base Bioéthanol 192

Aperçu CE 640 Production biotechnique d'éthanol 194

CE 640 Production biotechnique d'éthanol 196

Connaissances de base Biogaz 198

CE 642 Installation de biogaz 200

Les agents et types de réacteurs en génie des procédés biologiques

Dans ce chapitre vous trouverez des appareils d'essai adaptés à l'étude des agents (ex. micro-organismes) et de leurs conditions de vie. Différents types de réacteurs biologiques existent afin de créer ces conditions de vie. Le programme offre en outre la possibilité de se familiariser avec tous les modes de fonctionnement, les domaines d'application et les différences entre les types de réacteurs les plus utilisés.

La manipulation des bancs d'essai exige de la pratique, de l'application, un environnement de laboratoire approprié et du temps. Selon le procédé et les matières utilisées, on doit avoir des sols étanches, des conduits d'évacuation, une alimentation en eau ou en air comprimé, des aérations, des lieux d'entreposage sécurisés pour les matières utilisées, des dispositifs de sécurité et des vêtements de protection.

Pour l'analyse de nombreuses expérimentations vous avez besoin – en plus des systèmes d'apprentissage GUNT de systèmes d'analyse professionnels.

Parlez-nous en, nous serons heureux de vous conseiller.

Les concepts d'apprentissage GUNT dans le domaine du génie des procédés biologiques

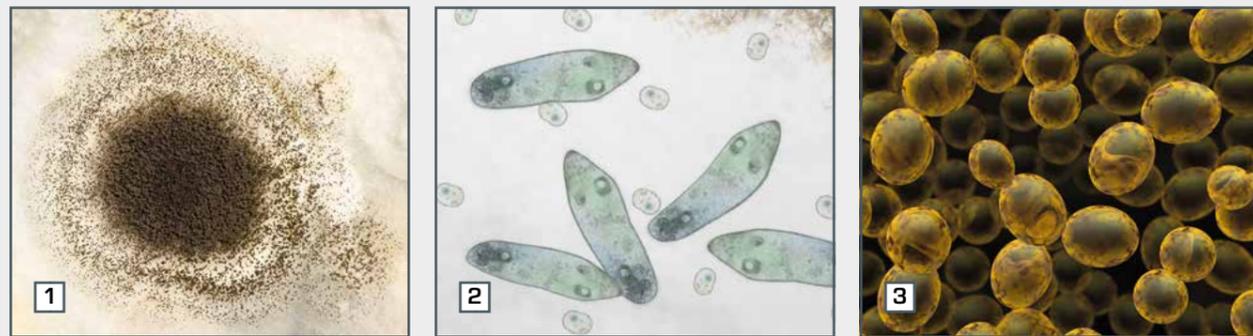
Quel est l'objet du génie des procédés biologiques?

Le génie des procédés biologiques traite des transformations de la matière par voie biologique. Les agents suivants réalisent ces transformations de matière:

- organismes vivants complets à une ou plusieurs cellules telles que les bactéries, les champignons ou les algues
- parties isolées et biologiquement actives d'organismes tels que des cellules d'animal ou de plante
- parties isolées et biologiquement actives de cellules, comme par ex. les enzymes

Le génie des procédés biologiques vise à créer les conditions optimales pour ces organismes, cellules ou parties de cellule. Les découvertes en biologie, en biochimie, etc. sont exploitées à grande échelle dans les procédés industriels. Exemples de procédés typiques:

- fabrication de médicaments
- fabrication de produits chimiques
- fabrication de produits alimentaires
- nettoyage de sols, air ou eaux usées
- fabrication de sources d'énergie à partir de la biomasse



Exemples d'agents en génie des procédés biologiques:

1 aspergillus niger: moisissure pour la production de l'acide citrique, **2** Paramecium: microorganisme pour le traitement biologique des eaux usées, **3** saccharomyces cerevisiae: levure pour la production de l'éthanol



Étape de traitement biologique dans une station d'épuration (bassin d'aération)

Nos systèmes didactiques en génie des procédés biologiques

Procédés aérobies

- CE 701 Procédé à biofilm
- CE 704 Procédé SBR
- CE 705 Procédé à boues activées
- CE 730 Réacteur airlift

Procédés anaérobies

- CE 702 Traitement anaérobie de l'eau
- CE 640 Production biotechnique d'éthanol
- CE 642 Installation de biogaz

Procédés aérobies et anaérobies

Le fait que les processus microbiologiques se déroulent dans des conditions aérobies ou anaérobies est un élément important de distinction des procédés biologiques. Le génie des procédés biologiques vise à créer des conditions ambiantes aussi bonnes que possible pour les différents micro-organismes. Dans le cas des micro-organismes anaérobies obligatoires, il s'agit de l'absence d'oxygène. Pour les micro-organismes anaérobies, il faut au contraire veiller à une alimentation suffisante et aussi régulière que possible en oxygène.

Dans le cas d'un métabolisme aérobie, le gain d'énergie pour les micro-organismes est supérieur à celui obtenu avec le métabolisme anaérobie. Les micro-organismes aérobies se multiplient donc à une vitesse supérieure et davantage de biomasse est produite.



API avec écran tactile



CE 642 Installation de biogaz

Connaissances de base

Procédés biologiques et réacteurs

Il existe un grand nombre de procédés très différents en génie des procédés biologiques. À la base de chacun de ces procédés, on trouve des agents tels que les organismes, les cellules ou les enzymes. Ces agents sont sélectionnés en fonction des produits souhaités et des matières de départ. Les sciences de base telles que la biologie, la biochimie etc. fournissent les connaissances requises pour la sélection des agents adaptés pour chaque

application. Ces disciplines nous renseignent également sur les conditions ambiantes optimales pour ces acteurs, afin de garantir une quantité et une qualité élevée de produits. Le développement de chacun des procédés de production est basé sur ces connaissances. Les différentes étapes de nombreux procédés et leur déroulement sont souvent similaires.

Étapes générales des procédés

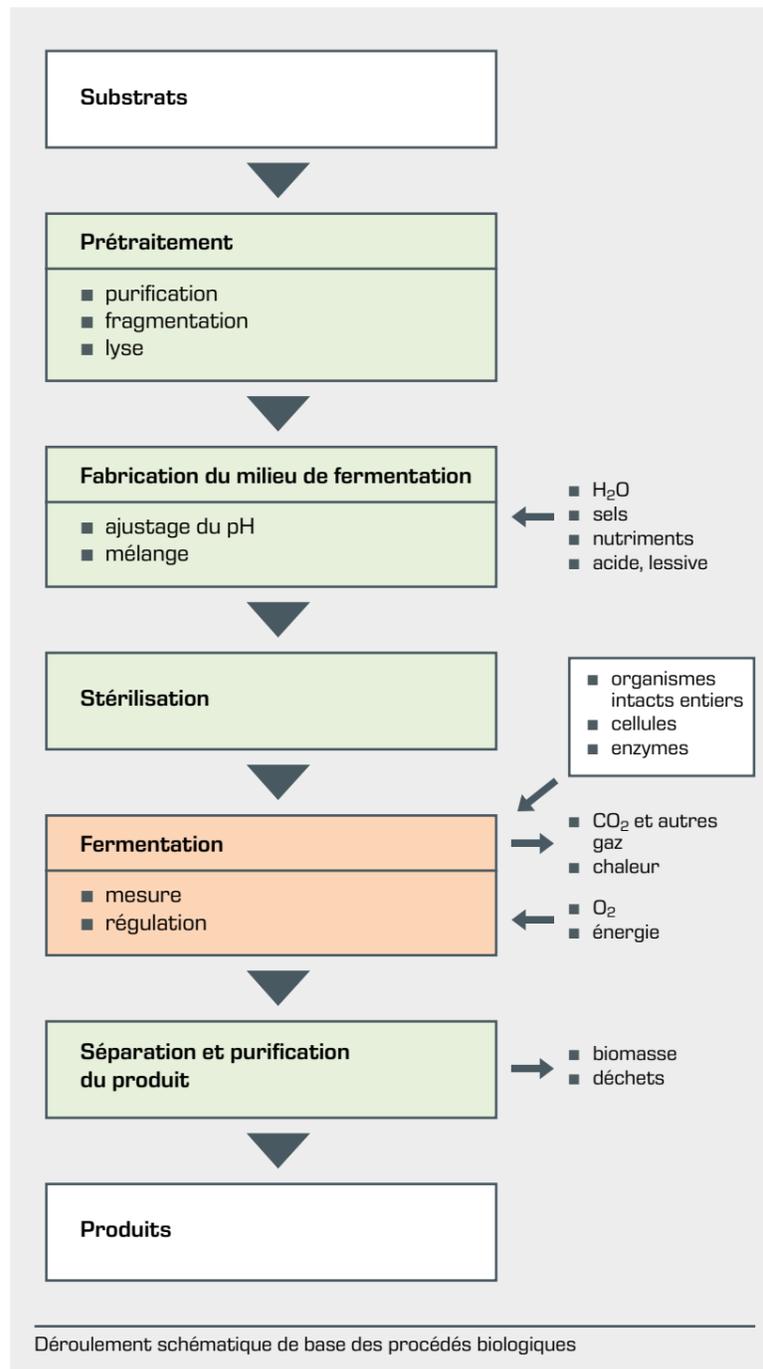
Les matières de départ sont qualifiées de substrats. Pour les substrats, il peut s'agir de matières pures comme le sucre ou l'alcool. Mais souvent ces matières doivent être produites à partir de substrats plus complexes tels que la mélasse, la vinasse, etc. en se servant de procédés tels que le concassage, pour pouvoir être mises à disposition des agents biologiques.

En ajoutant de l'eau, des sels et des nutriments, on produit enfin le milieu de fermentation optimal pour les agents. L'ajustage du pH joue ici souvent un rôle important.

De nombreux procédés biologiques nécessitent l'exclusion ciblée de germes étrangers pour éviter que d'autres micro-organismes et réactions interfèrent. Cela nécessite la stérilisation du milieu de fermentation et du réacteur.

Le procédé de production à proprement dit (fermentation) a lieu dans le réacteur. Là, des agents comme les organismes, les cellules et les enzymes transforment les matières de départ en produits. Le réacteur doit être parfaitement adapté aux différents agents. Pour les processus aérobies, l'alimentation régulière de toutes les zones en oxygène joue par exemple un rôle important. Par ailleurs, la régulation de la température par l'apport ou le retrait de chaleur est importante.

Le milieu de fermentation qui quitte le réacteur est un mélange complexe dans lequel le produit est dissous ou à l'intérieur des cellules. C'est la raison pour laquelle la séparation de ces matières solides s'effectue à l'aide de procédés tels que la filtration, la centrifugation ou la sédimentation. La libération du contenu intracellulaire peut se faire par exemple par le biais d'une action mécanique ou d'une pression osmotique. Pour les étapes de concentration et de purification, on utilise des procédés comme l'extraction, l'adsorption ou la précipitation.



Bioréacteurs

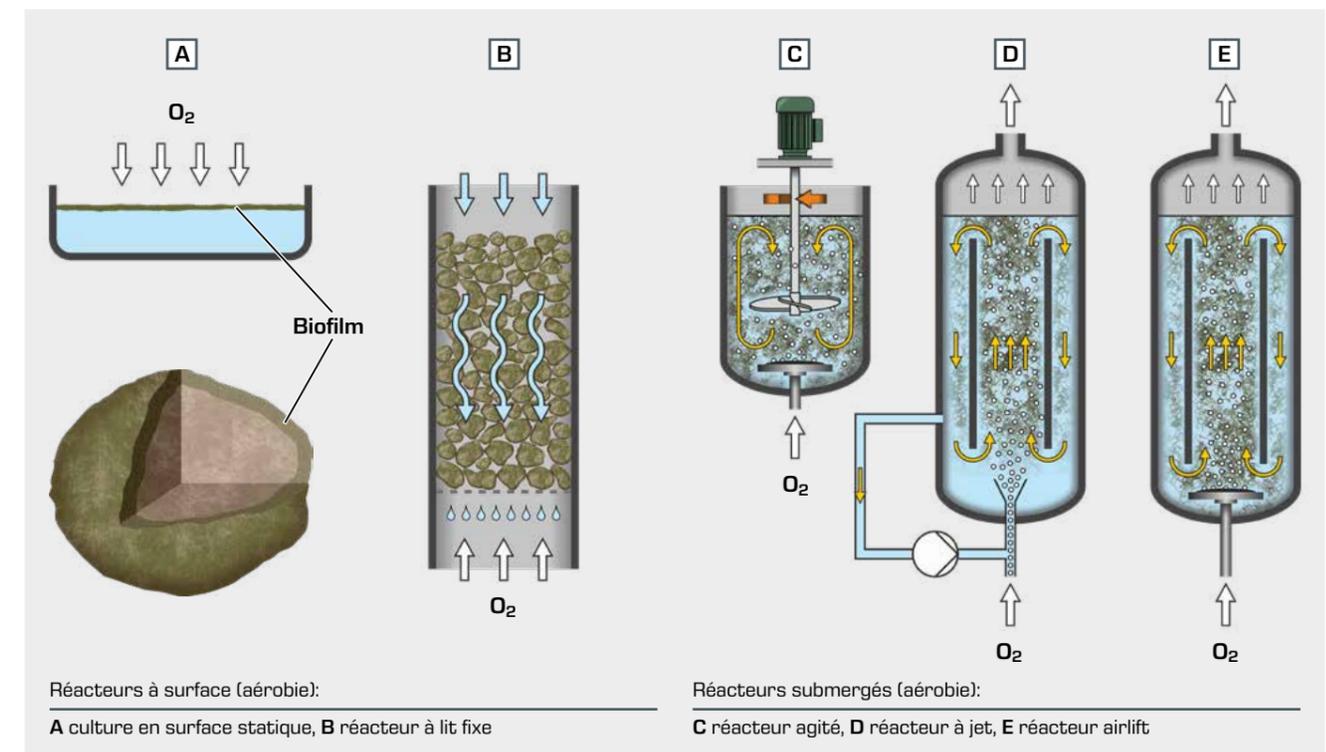
Le bioréacteur est l'élément central d'une installation de production biotechnique. L'une des tâches principales est d'assurer un mélange optimal du contenu du réacteur pour garantir un contact aussi fréquent que possible des nutriments avec les agents biologiques. D'autre part, il est important de créer une surface de contact aussi étendue que possible entre la phase gazeuse et le liquide. Dans le cas des procédés aérobies, il s'agit du transport d'oxygène en direction des agents biologiques. Pour les procédés anaérobies, il faut assurer une évacuation rapide des gaz formés tels que le méthane. On fait en général la distinction entre réacteurs à surface et réacteurs submergés.

Réacteurs à surface

Les agents biologiques adhèrent sous la forme d'un biofilm à la surface des matières liquides ou solides. Pour les procédés aérobies, l'entrée d'oxygène a lieu directement à partir de la phase gazeuse attenante au biofilm.

Le procédé le plus simple est la **culture en surface statique (A)**, dans laquelle du substrat liquide se trouve dans un plat peu profond. Un biofilm alimenté par le bas en nutriments, et par le haut en oxygène, flotte à la surface du substrat.

Sur les réacteurs à lit, le biofilm est fixé sur une surface de matière solide. Dans les réacteurs à lit fluidisé, la matière solide peut se déplacer librement dans le liquide. Dans les **réacteurs à lit fixe (B)**, la matière solide ne se déplace pas. Le substrat liquide ruisselle depuis le haut à travers le lit fixe. Sur les réacteurs aérobies, l'alimentation en oxygène se fait par le bas.



CE 701

Procédé à biofilm



2E

L'illustration montre: unité d'alimentation (à gauche) et banc d'essai (à droite)

Description

- **procédé à biofilm aérobic: lit bactérien**
- **essais adaptés à l'expérimentation à l'échelle du laboratoire**
- **profils de concentration**

Les procédés à biofilm sont mis en œuvre dans l'épuration biologique des eaux usées. Les lits bactériens reposent sur ce procédé.

Une pompe transporte l'eau usée de l'unité d'alimentation à l'extrémité supérieure du lit bactérien. L'eau usée tombe sous forme de gouttes sur le lit bactérien à l'aide d'un distributeur rotatif. Le lit bactérien comprend un lit fixe constitué d'une matière support spéciale. Sur cette matière support se trouve une mince couche de microorganismes (biofilm). Lorsque l'eau usée traverse le lit fixe, les microorganismes l'épurent biologiquement. Dans la partie supérieure du lit bactérien a lieu principalement la dégradation des substances organiques. Dans la partie inférieure domine l'oxydation de l'ammonium en nitrate (nitrification). L'eau usée s'écoule ensuite dans un réservoir collecteur. Deux pompes transportent une partie de l'eau usée recueillie au distributeur rotatif (recirculation).

Dans la partie inférieure du lit bactérien se trouvent des ouvertures permettant une aération par convection naturelle.

L'aération peut également être assurée par un compresseur.

Pour produire le biofilm, on remplit d'abord le lit bactérien, de matière support, d'eau usée et de boue activée. La boue activée sortant en continu du lit bactérien sédimmente dans un décanteur secondaire. Une pompe transporte la boue activée au lit bactérien. L'aération du lit bactérien est assurée par un compresseur. Au fil du temps, les micro-organismes présents dans la boue activée colonisent la matière support et génèrent ainsi le biofilm.

Les débits suivants sont enregistrés et peuvent être ajustés: eau usée, recirculation, aération (par compresseur).

La vitesse de rotation du distributeur rotatif est ajustable également. Les points de prélèvement d'échantillons permettent d'enregistrer des profils de concentration. De la boue activée de station d'épuration est nécessaire pour les essais.

Pour l'interprétation des résultats des essais, nous recommandons la technique d'analyse pour la détermination des paramètres suivants:

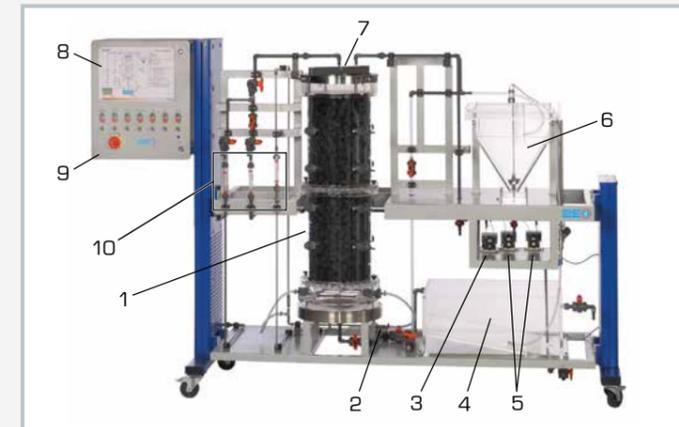
- demande biochimique ou chimique en oxygène
- concentration d'ammonium
- concentration de nitrates

Contenu didactique/essais

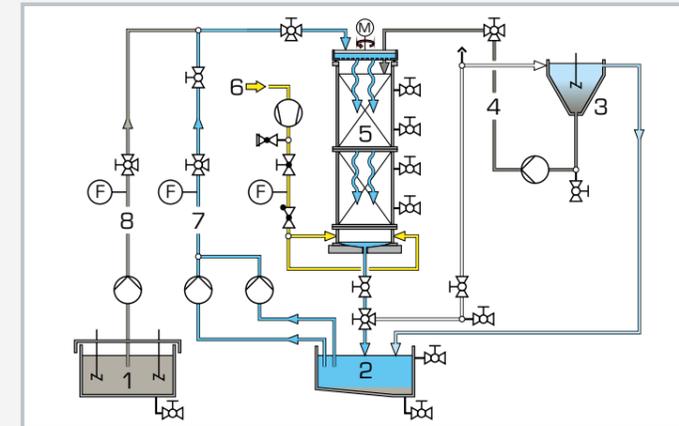
- mode de fonctionnement d'un lit bactérien
- enregistrement des profils de concentration
- établissement d'un état de fonctionnement stable
- identification des grandeurs influentes suivantes
 - ▶ débit de la recirculation
 - ▶ charge massique du lit bactérien
 - ▶ charge superficielle du lit bactérien
- comparaison des différentes matières support

CE 701

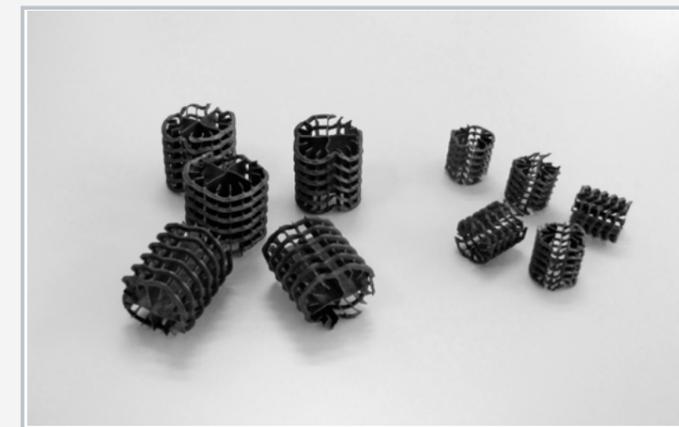
Procédé à biofilm



1 lit bactérien, 2 compresseur, 3 pompe de boues de retour, 4 réservoir collecteur, 5 pompes de circulation, 6 décanteur secondaire, 7 distributeur rotatif, 8 schéma de processus, 9 armoire de commande, 10 débitmètres



1 réservoir d'eaux usées, 2 réservoir collecteur, 3 décanteur secondaire, 4 boues de retour, 5 lit bactérien, 6 air, 7 recirculation, 8 eaux usées; F débit



Matières support pour le remplissage du lit bactérien

Spécification

- [1] procédé à biofilm aérobic pour la dégradation des substances organiques et la nitrification
- [2] lit bactérien transparent avec distributeur rotatif
- [3] vitesse de rotation du distributeur rotatif ajustable en continu
- [4] aération du lit bactérien possible par convection naturelle ou avec un compresseur
- [5] enregistrement possible de profils de concentration
- [6] décanteur secondaire avec pompe pour le retour de la boue
- [7] tous les débits pertinents sont ajustables en continu
- [8] unité d'alimentation à part avec réservoir d'eau usée et 2 agitateurs
- [9] 2 matières support différents en HDPE

Caractéristiques techniques

Lit bactérien

- diamètre: 340mm
- hauteur: 1000mm
- volume: 90L

Distributeur rotatif

- vitesse de rotation max: 2min⁻¹

Réservoirs

- eaux usées: env. 300L
- eau pure: env. 90L
- décanteur secondaire: 30L

Débits de refolement

- pompe d'eaux usées: max. 25L/h
 - pompes de circulation: 2x max. 25L/h
 - pompe de boues de retour: max. 25L/h
 - compresseur: max. 600L/h
- Matière support
- surface spécifique: 180 ou 300m²/m³

Plages de mesure

- débit:
 - ▶ 2...25L/h (eaux usées)
 - ▶ 5...65L/h (recirculation)
 - ▶ 50...900L/h (aération)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1550x790x1150mm (unité d'alimentation)
Lxlxh: 2870x790x1900mm (banc d'essai)
Poids total: env. 500kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain, boues activées, substances pour préparer des eaux usées artificielles

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 unité d'alimentation
- 1 jeu de flexibles
- 1 jeu d'outils
- 2 emballages de matière support
- 1 documentation didactique

CE 704

Procédé SBR



2E

Description

- épuration biologique des eaux usées
- Sequencing Batch Reactor (SBR)
- régulateur de processus avec écran tactile

Le procédé SBR est un procédé d'épuration des eaux usées biologique aérobie. Au contraire du procédé à boues activées continu classique, les différentes étapes du processus n'ont pas lieu en même temps à des endroits différents, mais de manière discontinue et successive dans un réacteur unique.

Le réacteur est équipé d'un compresseur pour l'aération et d'un agitateur. L'agitateur garantit un mélange suffisant du contenu du réacteur même lors des phases sans aération (dénitrification). À la fin, l'eau épurée (eau claire) est évacuée du réacteur et collectée dans un réservoir. Cette étape est assurée par un dispositif flottant typique du procédé SBR. Un dispositif situé au-dessus du réacteur permet si besoin est de doser une source de carbone externe (p.ex. une solution de sucre).

Des programmeurs pour le compresseur et l'agitateur permettent d'ajuster individuellement les phases d'aération (nitrification) et les phases d'agitation (dénitrification).

La concentration d'oxygène, la valeur du pH et la température du réacteur sont enregistrées. Un régulateur numérique de processus indique les valeurs de mesure et la vitesse de rotation de l'agitateur. Le régulateur de processus dispose d'un écran tactile et sert aussi à régler la concentration d'oxygène durant les phases d'aération.

Des boues activées aérobie sont requises pour les essais (p.ex. d'une station d'épuration). On peut utiliser du sucre alimentaire (saccharose) comme source de carbone pour les eaux usées synthétiques. Pour l'évaluation des essais, il faut déterminer les paramètres suivants:

- matière organique totale
 - DBO₅ ou DCO ou COT
- concentrations d'azote
 - NH₄-N: ammonium
 - NO₂-N: nitrite
 - NO₃-N: nitrate

Contenu didactique/essais

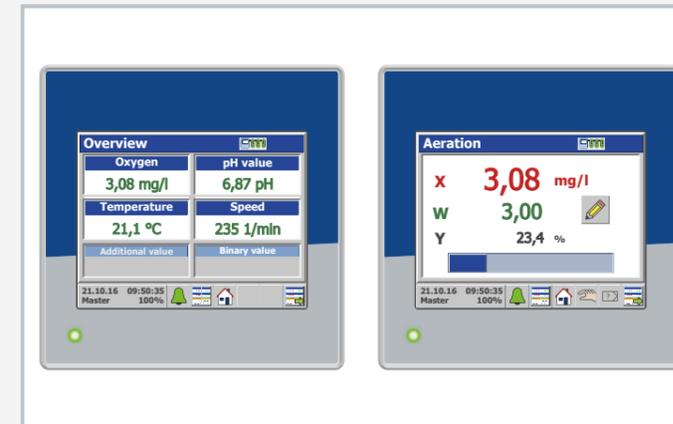
- mode opératoire du procédé SBR
- élimination de l'azote par nitrification et dénitrification
- influence de la forme du cycle sur le résultat de l'épuration
- enregistrement et interprétation des courbes de concentration dans le temps
- détermination des taux de conversion
- propriétés de sédimentation des boues activées

CE 704

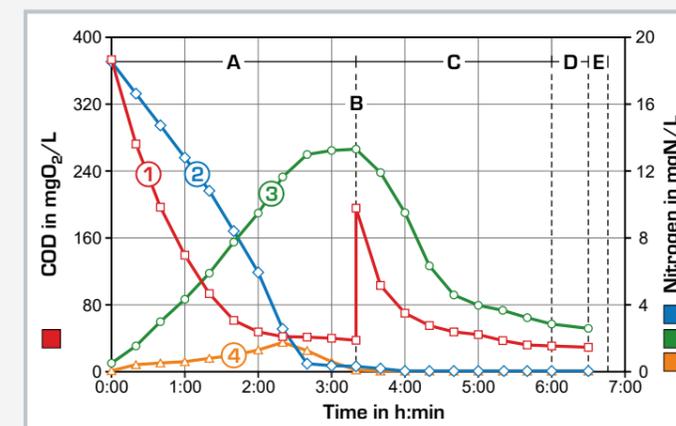
Procédé SBR



1 éléments de commande pour le compresseur et pour l'agitateur, 2 régulateur de processus, 3 débitmètre [air], 4 capteur de valeur de pH, 5 dispositif de dosage, 6 agitateur, 7 capteur d'oxygène, 8 dispositif d'aération, 9 flotteur pour retrait de l'eau claire, 10 balle d'aspiration pour l'eau claire



Régulateur numérique de processus affichage des grandeurs de processus (à gauche), interface utilisateur pour la régulation de la concentration d'oxygène (à droite)



Courbes de concentration mesurées
1 besoin en oxygène chimique (DCO), 2 ammoniacque (NH₄-N), 3 nitrate (NO₃-N), 4 nitrite (NO₂-N)
Étapes du processus
A agitation avec aération (nitrification), B dosage d'une solution de sucre (source de carbone), C agitation sans aération (dénitrification), D sédimentation des boues activées, E retrait de l'eau épurée (eau claire)

Spécification

- [1] procédé à boues activées discontinu
- [2] Sequencing Batch Reactor (SBR)
- [3] agitateur avec programmeur et vitesse de rotation ajustable en continu
- [4] compresseur avec programmeur pour aération
- [5] dispositif flottant pour le retrait de l'eau épurée
- [6] dispositif de dosage pour source de carbone externe
- [7] débitmètre pour aération
- [8] réservoirs pour les eaux usées et pour l'eau épurée
- [9] enregistrement de la valeur de pH, de la température et de la concentration d'oxygène
- [10] régulateur de processus avec écran tactile pour l'affichage des valeurs de processus et la régulation de la concentration d'oxygène

Caractéristiques techniques

Réacteur

- Ø 290mm
- hauteur: 300mm
- quantité de remplissage: max.: 18L
- matériau: plexiglas

Réservoirs

- eaux usées: 15L
- eau épurée: 30L
- récipient de dosage: 260 mL

Agitateur: max. 330min⁻¹

Compresseur: max. 15,5L/min

Plages de mesure

- concentration d'oxygène: 0...20mg/L
- pH: 0...14
- température: 0...50°C
- débit: 50...900L/h

230V, 50Hz, 1 phase

230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase

UL/CSA en option

Lxlxh: 850x520x480mm

Poids: env. 30kg

Nécessaire pr le fonctionnement

Boues activées aérobie, sucre, instruments d'analyse

Liste de livraison

- 1 appareil d'essai
- 3 emballages de solution d'étalonnage du pH (1L chacun)
- 1 emballage de solution de chlorure de potassium (1L)
- 1 emballage de hydrogénocarbonate d'ammonium (250g)
- 1 emballage de dihydrogénophosphate de potassium (250g)
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

Aperçu

CE 705 Procédé à boues activées



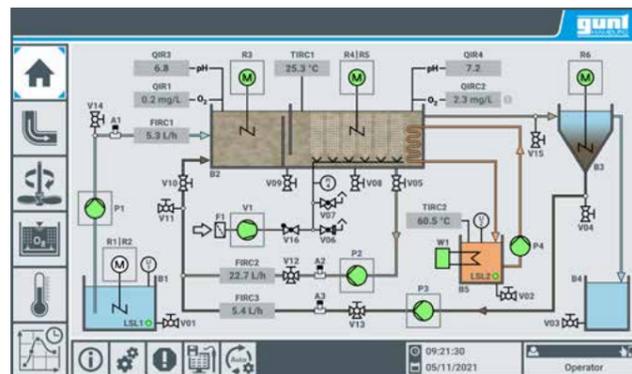
La station d'épuration à l'échelle du laboratoire

Le procédé à boues activées aérobie est le procédé biologique le plus utilisé au monde dans les stations d'épuration. Les futurs spécialistes en ingénierie de l'environnement doivent donc impérativement disposer des connaissances solides sur ce procédé.

Cet appareil a été développé par des ingénieurs expérimentés pour expliquer d'une manière claire et pratique les processus complexes de ce procédé en fonctionnement continu. L'appareil est conçu pour l'élimination du carbone et de l'azote. L'élimination de l'azote se fait par nitrification et dénitrification en amont. Le bassin d'aération est divisé à cet effet en deux zones: l'une aérobie, l'autre anoxique.

Commande avec API

La commande du banc d'essai est effectuée avec un API intégré via écran tactile. Grâce à un routeur intégré, le banc d'essai peut être alternativement commandé et exploité par un dispositif terminal. L'interface utilisateur peut également être affichée sur des terminaux supplémentaires ("screen mirroring"). Les valeurs de mesure sont affichées sur l'écran tactile et peuvent être visualisées simultanément directement sur un PC ou un terminal mobile via le réseau LAN.



Interface utilisateur d'écran tactile (aperçu)

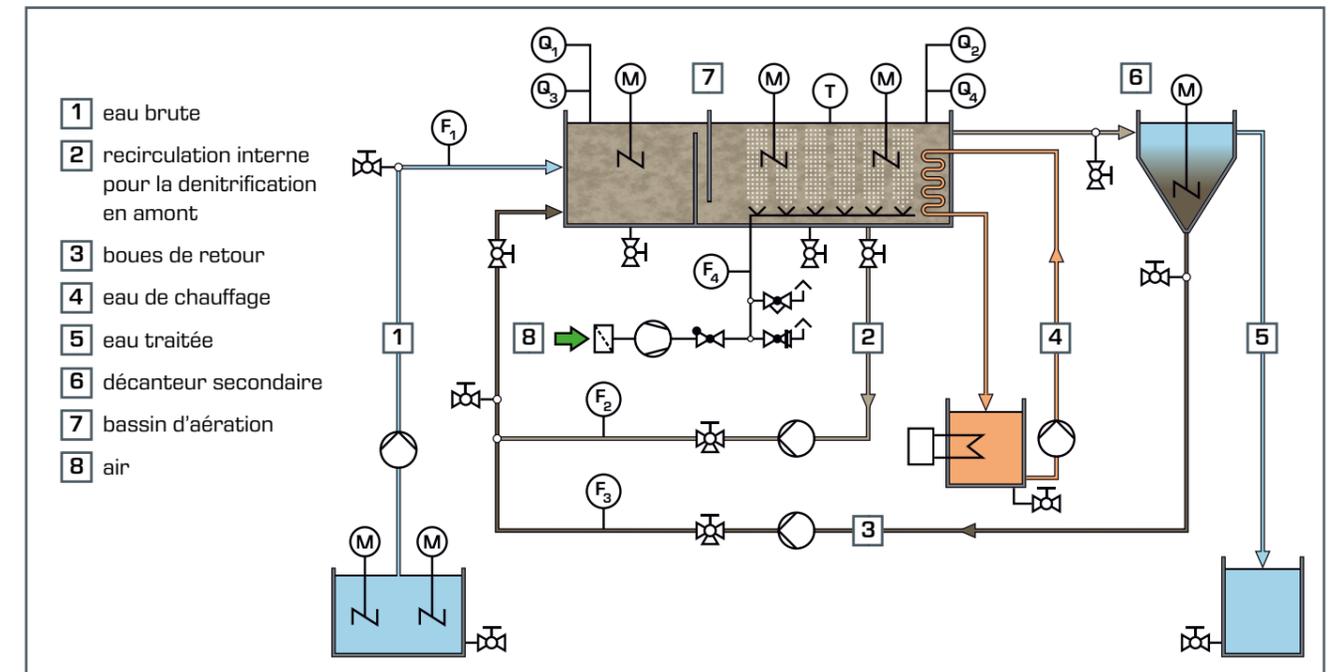
Contenu didactique

- mode de fonctionnement de la nitrification et de la dénitrification en amont
- établissement d'un état de fonctionnement stable
- identification des grandeurs influentes suivantes:
 - ▶ âge des boues
 - ▶ charge volumique
 - ▶ charge massique
 - ▶ taux de reflux de boues de retour
 - ▶ taux de reflux de recirculation interne (dénitrification)
- rendement de la dénitrification en amont
- influence des conditions ambiantes suivantes sur la dégradation biologique:
 - ▶ température
 - ▶ concentration d'oxygène

Techniques de mesure et de régulation

Les processus complexes tels que le procédé à boues activées sont aujourd'hui en grande partie automatisés. Ce qui requiert l'utilisation de techniques modernes de mesure et régulation. Et cela demande aussi aux ingénieurs en environnement d'avoir au minimum des connaissances de base sur ce type de systèmes.

Afin de préparer les apprentis et les étudiants à ces exigences professionnelles, nous avons également tenu compte de cet aspect important lors du développement de l'appareil. C'est pourquoi le CE 705 est équipé de techniques très complètes de mesure et d'un API avec écran tactile.



Grandeurs de mesure

Grandeurs de mesure			Auto
débit	F ₁	eau brute	<input checked="" type="checkbox"/>
	F ₂	recirculation interne	<input checked="" type="checkbox"/>
	F ₃	boues de retour	<input checked="" type="checkbox"/>
	F ₄	aération	<input type="checkbox"/>
concentration d'oxygène	Q ₁	zone de dénitrification	<input type="checkbox"/>
	Q ₂	zone de nitrification	<input checked="" type="checkbox"/>
pH	Q ₃	zone de dénitrification	<input type="checkbox"/>
	Q ₄	zone de nitrification	<input type="checkbox"/>
température	T	zone de nitrification	<input checked="" type="checkbox"/>

Sur le produit:



Auto régulation

CE 705

Procédé à boues activées



L'illustration montre: banc d'essai (à gauche) et unité d'alimentation (à droite), possibilité de "screen mirroring" sur différents terminaux

Description

- **dégradation biologique aérobie des matières organiques**
- **nitrification et dénitrification en amont**
- **commande de l'appareil par API intégré**
- **un routeur intégré pour l'exploitation et le contrôle via un dispositif terminal et pour le "screen mirroring" sur des terminaux supplémentaires: PC, tablette, smartphone**

Le procédé à boues activées est le procédé biologique le plus important du traitement de l'eau. Le CE 705 permet de mettre en évidence ce procédé.

Une pompe refoule l'eau brute polluée par des matières organiques (substrat) vers le bassin d'aération. Des micro-organismes aérobies (boues activées) présents dans le bassin d'aération utilisent le substrat comme nutriment et, de cette façon, le dégradent biologiquement. Les micro-organismes aérobies ayant besoin d'oxygène, l'eau brute est aérée dans le bassin d'aération. Le mélange de la boue activée avec l'eau brute est réalisé à l'aide d'un agitateur. Dans le décanteur secondaire, la boue activée est ensuite séparée de l'eau pure par sédimentation. Une partie des boues activées est réintroduite dans le bassin

d'aération (boues de retour). L'eau pure est collectée dans un réservoir. La transformation de l'ammonium en nitrate (nitrification) et du nitrate en azote (dénitrification) est également possible. Une cloison située dans le bassin d'aération permet de définir une zone non aérée pour la dénitrification.

La commande du banc d'essai est effectuée avec un API intégré via écran tactile. Grâce à un routeur intégré, le banc d'essai peut être alternativement commandé et exploité par un dispositif terminal. L'interface utilisateur peut également être affichée sur des terminaux supplémentaires ("screen mirroring"). Via l'API, les valeurs de mesure peuvent être enregistrées en interne. L'accès aux valeurs de mesure enregistrées est possible à partir des terminaux via WLAN avec routeur intégré/ connexion LAN au réseau propre au client.

Les essais nécessitent des boues activées d'une station d'épuration et une technique d'analyse. Pour l'évaluation des essais, il faut déterminer les paramètres suivants:

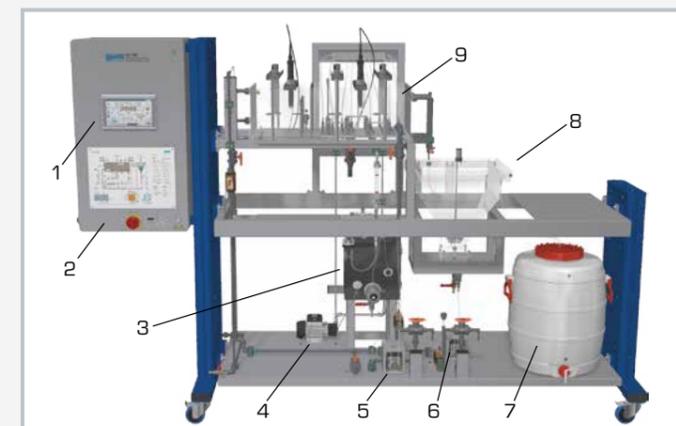
- matière organique DBO₅ ou DCO ou COT
- concentrations d'azote ammonium, nitrite et nitrate

Contenu didactique/essais

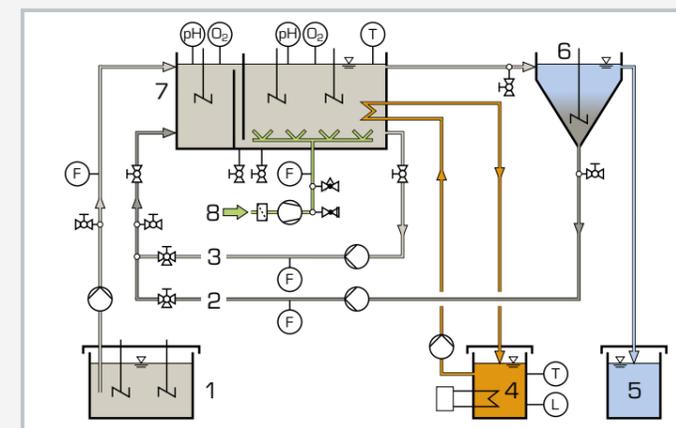
- apprentissage du procédé à boues activées
- mode de fonctionnement de la nitrification et de la dénitrification en amont
- établissement d'un état de fonctionnement stable
- identification des grandeurs influentes suivantes
 - ▶ taux de reflux de boues de retour
 - ▶ taux de reflux de recirculation interne
 - ▶ âge de boues
 - ▶ charge massique
 - ▶ charge volumétrique
 - ▶ concentration d'oxygène et température
- rendement de la dénitrification en amont
- "screen mirroring": mise en miroir de l'interface utilisateur sur des terminaux
 - ▶ navigation dans le menu indépendante de la surface affichée sur l'écran tactile
 - ▶ différents niveaux d'utilisateurs sélectionnables sur le terminal: pour l'observation des essais ou pour la commande et l'utilisation

CE 705

Procédé à boues activées



1 API avec écran tactile, 2 armoire de commande, 3 réservoir d'eau de chauffage, 4 pompe d'eau de chauffage, 5 pompe de circulation, 6 pompe de boues de retour, 7 réservoir d'eau traitée, 8 décanteur secondaire, 9 bassin d'aération



1 eau brute, 2 boues de retour, 3 recirculation interne pour la dénitrification en amont, 4 eau de chauffage, 5 eau traitée, 6 décanteur secondaire, 7 bassin d'aération, 8 air; F débit, L niveau, O₂ concentration d'oxygène, T température



Bassin d'aération:
1 zone de dénitrification (non aérée), 2 zone de nitrification (aérée), 3 capteur d'oxygène, 4 capteur de valeur de pH, 5 agitateur

Spécification

- [1] bassin d'aération divisé en deux zones
- [2] décanteur secondaire avec racleur de boue
- [3] nitrification et dénitrification en amont
- [4] unité d'alimentation séparée avec 2 agitateurs
- [5] régulation et enregistrement de température, concentration d'oxygène et de débit
- [6] enregistrement du pH
- [7] capteurs de débit électromagnétique
- [8] commande de l'appareil par API via l'écran tactile
- [9] routeur intégré pour le contrôle via dispositif terminal et pour "screen mirroring": affichage d'interface utilisateur sur 5 terminaux maximum
- [10] acquisition de données par API sur une mémoire interne, accès aux valeurs de mesure enregistrées par WLAN avec routeur intégré/ connexion LAN au réseau propre au client

Caractéristiques techniques

- API: Eaton XV-303
Réservoirs
- bassin d'aération (zone de nitrification): env. 34L
 - bassin d'aération (zone de dénitrification): env. 17L
 - décanteur secondaire: 30L
 - eau brute: 200L
 - eau pure: 80L
- Débits de refoulement
- pompe d'eau brute: max. 34L/h
 - pompe de boues de retour: max. 34L/h
 - pompe de circulation: max. 34L/h
- Vitesse de rotation (agitateurs)
- réservoir d'eau brute: max. 600min⁻¹ chacun
 - bassin d'aération: max. 330min⁻¹ chacun
 - décanteur secondaire: max. 45min⁻¹

Plages de mesure

- débit:
 - ▶ 0,6...30L/h (eau brute et boues de retour)
 - ▶ 3...60L/h (recirculation interne)
 - ▶ 50...550L/h (air comprimé)
- température: 0...50°C
- pH: 0...14
- concentration d'oxygène: 0...20mg/L

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1550x790x1150mm (unité d'alimentation)
Lxlxh: 2830x790x1900mm (banc d'essai)
Poids total: env. 450kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain, boues activées, technique d'analyse

Liste de livraison

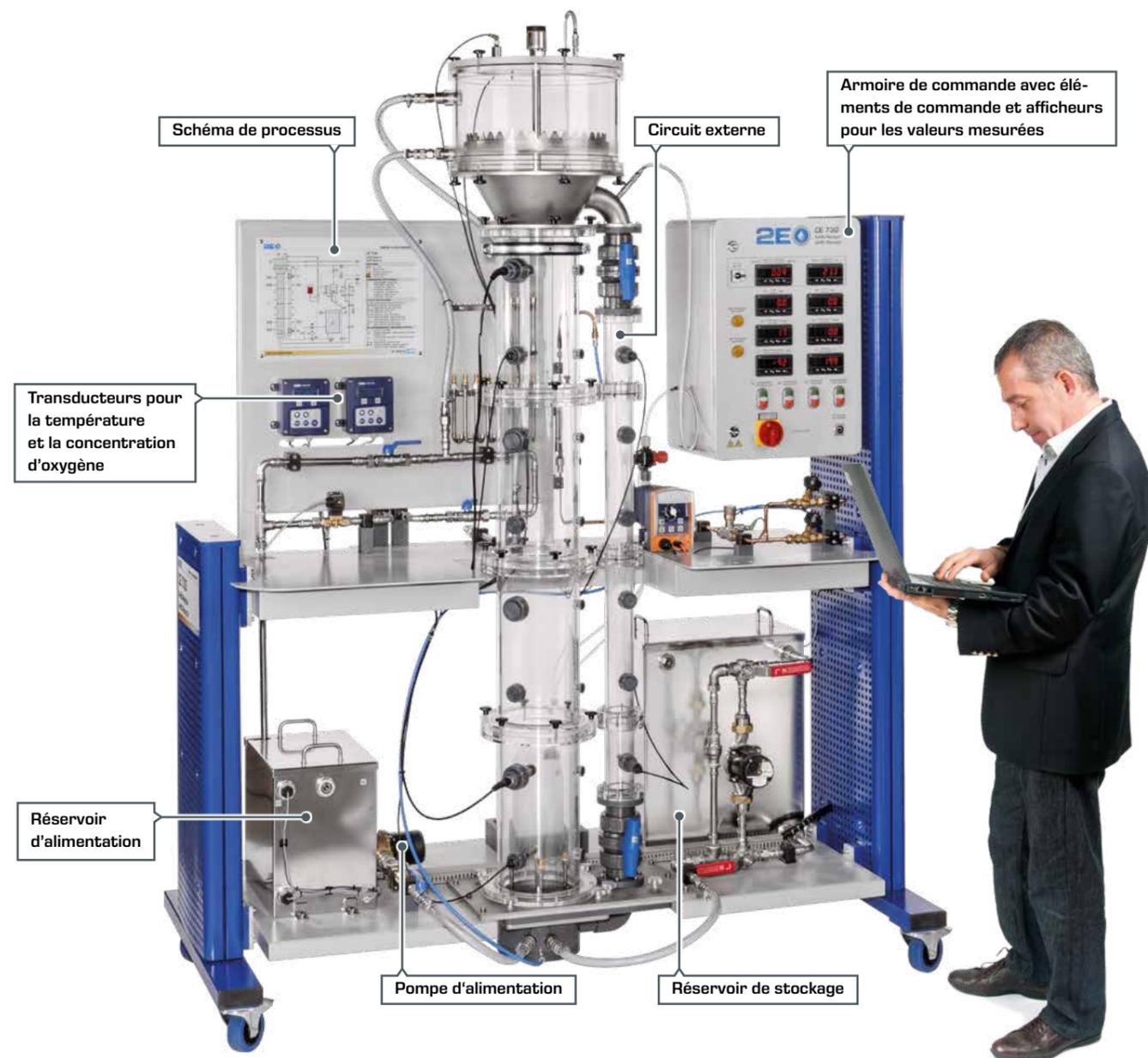
banc d'essai, unité d'alimentation, solutions d'étalonnage du pH, solution de chlorure de potassium, hydrogencarbonate d'ammonium, dihydrogénophosphate de potassium, documentation didactique

Aperçu
CE 730 Réacteur airlift

Bioréacteurs puissants

L'alimentation en oxygène des micro-organismes (biomasse) joue un rôle central dans l'efficacité d'un bioréacteur aérobique. Le mélange homogène du contenu dans le réacteur représente un autre aspect important. Les réacteurs airlift répondent particulièrement bien à ces deux exigences.

Dans un réacteur airlift, le mélange se fait exclusivement par le biais de l'aération qui est de toute façon requise. Aucune pièce mécanique mobile (par ex. agitateurs) n'est requise. La retenue de la biomasse dans le réacteur, condition nécessaire pour un fonctionnement efficace, est assurée par une circulation. Les réacteurs airlift sont utilisés en biotechnologie ainsi que pour l'épuration biologique des eaux usées.



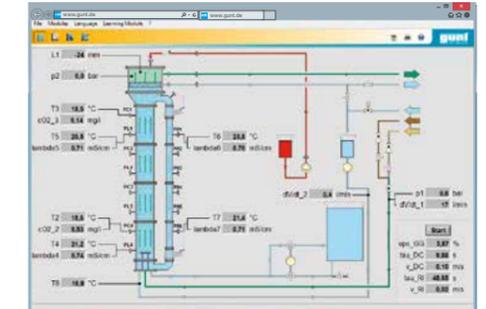
Réacteur airlift CE 730

L'accent didactique du CE 730 porte sur le principe et le mode de fonctionnement d'un réacteur airlift. Ce qui inclut la libération d'oxygène dans la phase liquide (eau) et la détermination des conditions d'écoulement dans le réacteur.

Au cœur du banc d'essai, on trouve le réacteur airlift avec un circuit externe. Différents types de distributeurs sont à votre disposition pour l'aération du réacteur. Cela permet d'étudier l'influence de la taille des bulles sur le transfert de masse. Deux points de mesure de la conductivité se trouvent sur la circulation, à des intervalles définis. L'ajout d'une solution saline entraîne, aux deux points de mesure, une augmentation soudaine (pic) et décalée dans le temps de la conductivité. Il est possible de déterminer la vitesse d'écoulement dans le réacteur à l'aide de ce décalage temporel entre les deux pics et de la distance qui sépare les points de mesure.

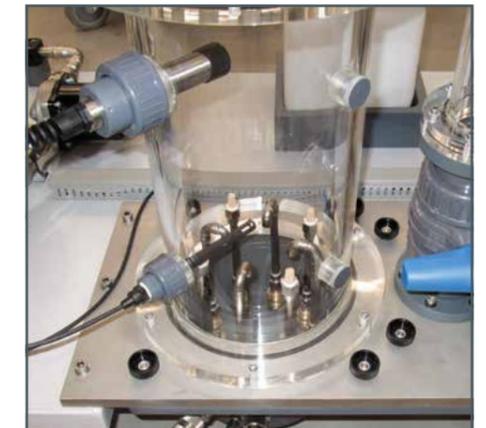


Réacteur airlift dans l'opération de test



Logiciel

Le logiciel bien conçu du CE 730 affiche en continu les valeurs de toutes les grandeurs du processus importantes. Vous avez bien entendu la possibilité d'enregistrer les valeurs de mesure pour l'exploitation.



Distributeurs divers pour l'aération du réacteur

Contenu didactique

- influence de la vitesse du gaz dans le tube vide:
 - ▶ teneur en gaz
 - ▶ coefficient de transfert de masse
 - ▶ temps de mélange
 - ▶ vitesse du liquide dans le tube vide

Sur le produit:



CE 730

Réacteur airlift



Contenu didactique/essais

- influence de la vitesse du gaz dans le tube vide:
 - ▶ teneur en gaz
 - ▶ coefficient de transfert de masse
 - ▶ temps de mélange
 - ▶ vitesse du liquide dans le tube vide

Description

- réacteur submergé aérobie
- circuit externe
- étude de propriétés caractéristiques

Les réacteurs Airlift sont des réacteurs submergés alimentés en énergie par gazage. Pour le gazage, on utilise habituellement de l'air comprimé.

En service, de l'air comprimé entre par le bas dans le réacteur Airlift en passant par le distributeur de gaz. Cet air apporté mélange le contenu du réacteur et monte sous la forme de bulles d'air. Les bulles d'air qui montent produisent un écoulement ascendant. Une partie de l'oxygène de l'air est alors libérée dans l'eau. La zone où se trouve l'écoulement ascendant est appelée Riser. En tête du réacteur, les bulles d'air restantes quittent l'eau.

Le liquide exempt de gaz est reconduit en parallèle du Riser jusqu'à la zone inférieure du réacteur. La zone d'écoulement descendant d'un réacteur Airlift est appelée Downcomer. En service, on a une recirculation du contenu du réacteur par le Riser et le Downcomer. En fonctionnement continu, on superpose un écoulement traversant à ce circuit. À cet effet, un réservoir supplémentaire avec pompe d'alimentation est présent. La vitesse du circuit est ajustée par le biais du débit d'air.

Le banc d'essai CE 730 est conçu pour l'étude des propriétés caractéristiques d'un réacteur Airlift avec air, azote et eau. Le gazage avec de l'air a pour effet d'augmenter la teneur en oxygène de l'eau. On peut réduire la teneur en oxygène de l'eau en utilisant de l'azote.

C'est la condition requise pour pouvoir déterminer le coefficient de transfert de masse de l'oxygène dans l'eau. La vitesse du liquide dans le tube vide est déterminée par la mesure de la conductibilité électrique. Une pompe de dosage et un réservoir de solution saline permettent d'augmenter la conductibilité électrique. Le temps de mélange est déterminé au moyen d'un indicateur. La teneur en gaz est déterminée par le niveau dans le réacteur Airlift.

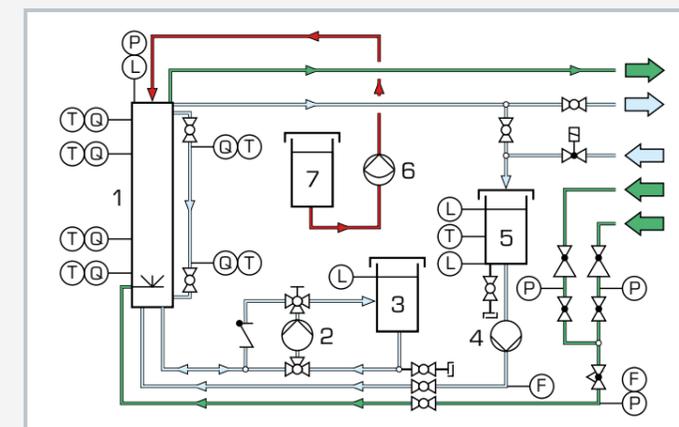
Les valeurs de mesure s'affichent numériquement sur l'armoire de commande. Elles peuvent être transmises via USB à un PC afin d'y être exploitées à l'aide du logiciel fourni.

CE 730

Réacteur airlift



1 réacteur Airlift avec circuit externe, 2 pompe d'alimentation, 3 réservoir d'alimentation, 4 pompe de circulation, 5 réservoir de stockage, 6 pompe de dosage



1 réacteur Airlift avec circuit externe, 2 pompe de circulation, 3 réservoir de stockage, 4 pompe d'alimentation, 5 réservoir d'alimentation, 6 pompe de dosage, 7 réservoir de traqueur; F débit, L niveau, P pression, Q analyse, T température; bleu: eau, vert: gaz, rouge: traqueur

Spécification

- [1] détermination des grandeurs caractéristiques importantes sur le réacteur airlift
- [2] réacteur airlift transparent avec circuit externe
- [3] air comprimé pour la production de bulles d'air servant à la recirculation du contenu du réacteur
- [4] ajustage de la vitesse du gaz dans le tube vide
- [5] azote pour le retrait de l'oxygène du contenu du réacteur
- [6] détermination de la vitesse du liquide dans le tube vide en utilisant la conductivité
- [7] détermination du temps de mélange avec indicateur et méthode de changement de couleur
- [8] capteurs pour l'enregistrement de la conductivité, de la teneur en oxygène, de la pression et du débit
- [9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows

Caractéristiques techniques

Réacteur airlift

- Riser: Ø 180mm
- Downcomer: Ø 60mm
- hauteur: 2000mm

Plages de mesure

- conductivité: 4x 0...100mS/cm
- concentration d'oxygène: 2x 0...10mg/L
- pression: 0...3bar
- débit:
 - ▶ 0,06...3m³/h (eau)
 - ▶ 1...10m³/h (gaz)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1850x790x2450mm
Poids: env. 300kg

Nécessaire pr le fonctionnement

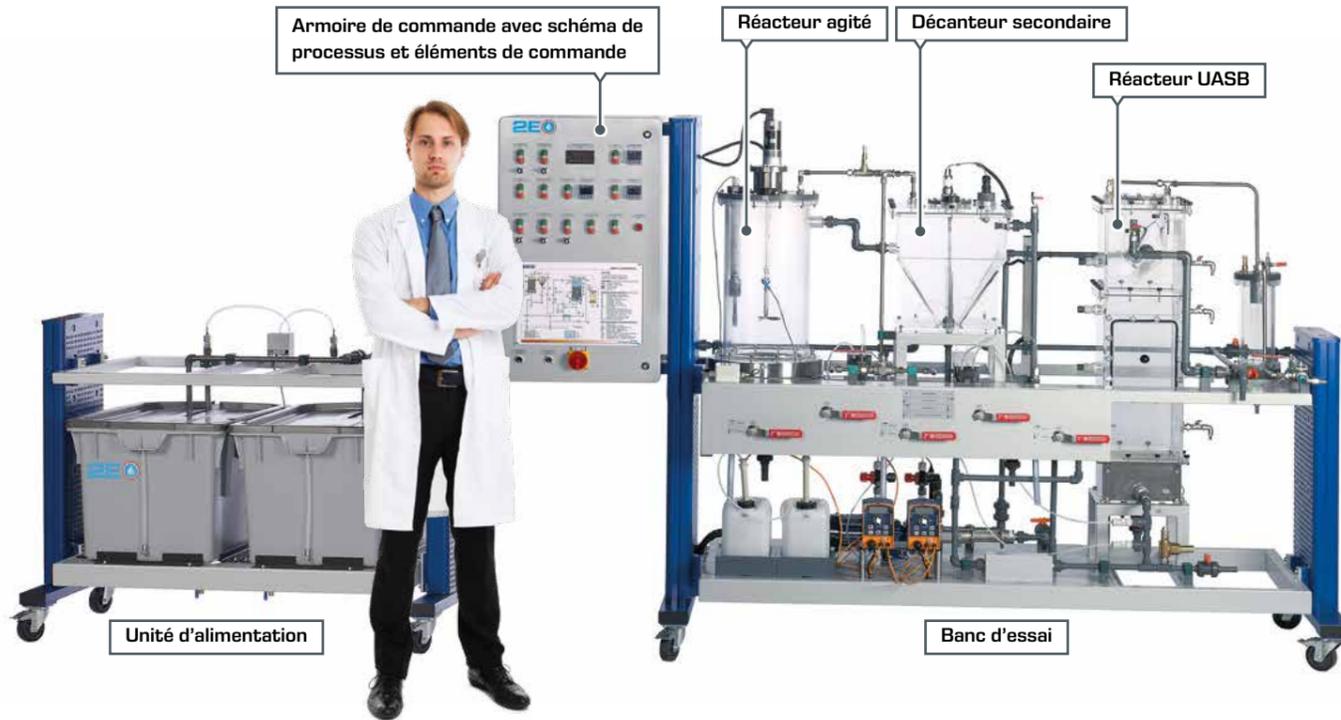
air comprimé (>8m³/h), bouteille d'azote avec soupape de réduction de pression, raccord d'eau froide (>400L/h), drain
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 logiciel GUNT + câble USB
- 1 jeu d'accessoires
- 1 documentation didactique

Aperçu

CE 702 Traitement anaérobie de l'eau



Les procédés anaérobies sont essentiellement utilisés pour les eaux usées très chargées en matières organiques, comme c'est le cas par exemple dans l'industrie alimentaire.

Avec notre appareil didactique CE 702, vous disposez de deux procédés différents. D'un côté, le procédé à boues activées anaérobie, de l'autre le procédé UASB. Les deux procédés peuvent être installés soit séparément (1 étape) soit en série (2 étapes). Vous disposez ainsi de trois modes de fonctionnement différents. L'appareil dispose en outre de techniques de mesure et régulation très complètes, ainsi que d'un logiciel.

Vous recevrez bien entendu avec cet appareil une documentation didactique exhaustive qui vous permettra de vous familiariser rapidement à son utilisation. Les fondements théoriques de l'épuration anaérobie des eaux usées sont en outre présentés de manière claire et détaillée.

Le mode de fonctionnement à deux niveaux vous permet de régler le pH et la température aux deux niveaux, indépendamment l'un de l'autre. Ce type de procédure a fait ses preuves et a l'avantage de permettre un meilleur ajustement des conditions ambiantes aux différentes étapes de la dégradation. L'appareil est équipé de conduites de collecte des gaz, ce qui vous permet de prélever des échantillons de gaz sur le système à des fins d'analyse.

**Mode de fonctionnement 1
(1 étape)**

**Mode de fonctionnement 2
(1 étape)**

**Mode de fonctionnement 3
(2 étapes)**


réacteur agité



décanteur secondaire



réacteur UASB

} procédé anaérobie
à boues activées

Essai de fonctionnement réussi du réacteur UASB du CE 702 dans notre laboratoire

Logiciel

Le logiciel du CE 702 indique en continu les températures et le pH dans les deux réacteurs. Cela vous permet d'obtenir à tout moment un aperçu rapide des conditions dans les réacteurs. Vous pouvez enregistrer les valeurs de mesure pour les analyser. Cela réduit les tâches de routine et permet de se concentrer sur la réalisation des essais.

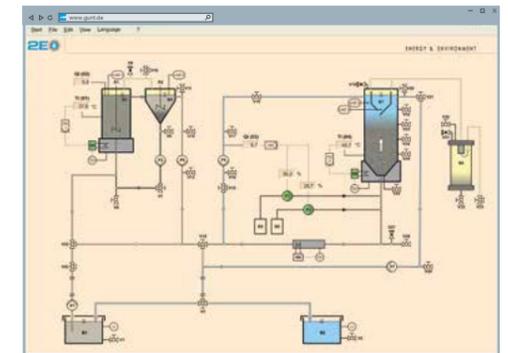
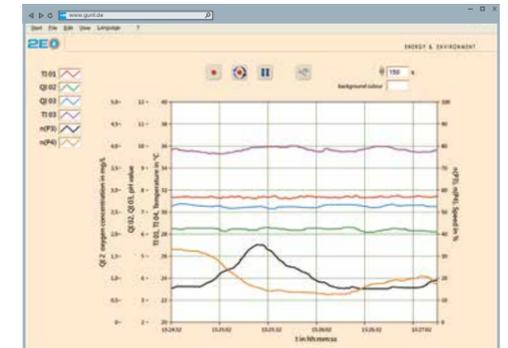


Schéma de processus avec affichage des valeurs de mesure



Affichage des valeurs de mesure en fonction du temps

Sur le produit:


Contenu didactique

- influence de la température et du pH sur la dégradation anaérobie
- mode de fonctionnement d'un réacteur UASB
- comparaison entre les modes de fonctionnement en 1 et en 2 étapes
- observation et optimisation des conditions de fonctionnement
- identification des grandeurs influentes suivantes
 - ▶ charge massique
 - ▶ charge volumique
 - ▶ vitesse d'écoulement dans le réacteur UASB

CE 702

Traitement anaérobie de l'eau



L'illustration montre: unité d'alimentation (à gauche) et banc d'essai (à droite)

Description

- **dégradation anaérobie des matières organiques dans un réservoir de mélange et un réacteur UASB**
- **trois modes de fonctionnement différents**

Le CE 702 démontre le traitement anaérobie biologique de l'eau. Le banc d'essai est principalement composé de deux unités:

- réservoir de mélange avec décanteur secondaire
- réacteur UASB

Les deux unités peuvent être utilisées ensemble ou séparément. Un mode de fonctionnement aussi bien en une étape qu'en deux étapes est donc possible. Dans le cas d'un fonctionnement en deux étapes, une pompe refoule tout d'abord l'eau brute en direction d'un réservoir de mélange. L'acidification des matières organiques dissoutes dans l'eau brute a lieu dans ce réservoir. Pour ce faire, des micro-organismes anaérobies transforment les matières organiques à chaîne courte. La biomasse issue du réservoir de mélange est séparée de l'eau dans un décanteur secondaire. La biomasse extraite est à nouveau pompée en direction du réservoir de mélange.

L'eau brute ainsi prétraitée passe du décanteur secondaire à un réacteur UASB (UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket) où a lieu la dernière étape de la dégradation anaérobie. Les matières organiques à chaîne courte formées précédemment y sont transformées en biogaz (méthane et dioxyde de carbone) au contact de micro-organismes spécifiques. L'écoulement à l'intérieur du réacteur UASB est ascendant. Un système de séparation se trouve dans la partie supérieure du réacteur UASB. Il permet de séparer le gaz formé de l'eau pure et d'assurer que la biomasse reste bien dans le réacteur. Le gaz peut être soit évacué vers l'extérieur, soit collecté. L'eau pure sort par le haut du réacteur et est collectée dans un réservoir. Pour l'ajustage de la vitesse d'écoulement dans le réacteur UASB, il est possible de faire recirculer une partie de l'écoulement d'eau pure.

Les températures du réservoir de mélange et du réacteur UASB sont réglables. Le pH du réservoir de mélange est enregistré. Il est également possible de régler le pH du réacteur UASB. Un logiciel et une webcam sont à disposition pour la saisie des données et le contrôle visuel.

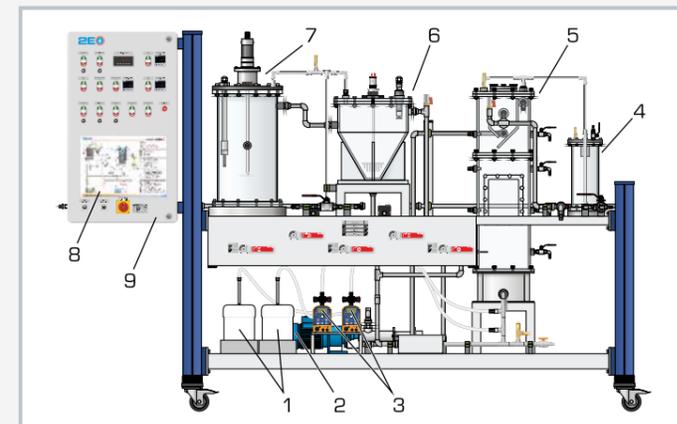
La réalisation des essais requiert une biomasse anaérobie et une technique d'analyse. Les paramètres conseillés sont: DCO (Demande Chimique en Oxygène), azote et phosphore.

Contenu didactique/essais

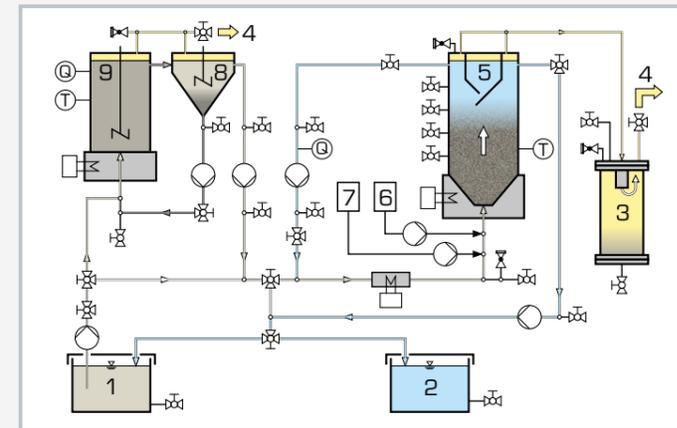
- apprentissage du traitement anaérobie de l'eau
- influence de la température et du pH sur la dégradation anaérobie
- mode de fonctionnement d'un réacteur UASB
- comparaison entre les modes de fonctionnement en une et en deux étapes
- observation et optimisation des conditions de fonctionnement
- identification des grandeurs influentes suivantes
 - ▶ charge massique
 - ▶ charge volumétrique
 - ▶ vitesse d'écoulement dans le réacteur UASB

CE 702

Traitement anaérobie de l'eau



1 réservoirs de produits chimiques, 2 pompe de circulation, 3 pompes de dosage, 4 séparateur d'écume 5 réacteur UASB, 6 décanteur secondaire, 7 réservoir de mélange, 8 schéma de processus, 9 armoire de commande



1 eau brute, 2 eau pure, 3 séparateur d'écume, 4 gaz, 5 réacteur UASB, 6 acide, 7 lessive, 8 décanteur secondaire, 9 réservoir de mélange; T Température, Q pH



Réacteur UASB en mode essai

Spécification

- [1] dégradation anaérobie des matières organiques
- [2] réservoir de mélange avec décanteur secondaire
- [3] réacteur UASB avec système de séparation
- [4] unité d'alimentation séparée avec réservoirs d'eau brute et d'eau pure
- [5] mode de fonctionnement en une ou en deux étapes
- [6] les températures du récipient mélangeur et du réacteur UASB sont réglables
- [7] régulation du pH dans le réacteur UASB
- [8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 8.1, 10
- [9] contrôle visuel avec webcam

Caractéristiques techniques

Réservoirs

- réservoir de mélange: 30L
- décanteur secondaire: 30L
- réacteur UASB: 50L
- réservoir d'eau brute: 180L
- réservoir d'eau pure: 180L

Débits de refoulement (max.)

- pompe d'eau brute: 10L/h
- pompe de boues de retour: 10L/h
- pompe de circulation: 100L/h
- pompes de dosage: 2x 2,1L/h

Plages de mesure

- pH: 0...14
- température: 0...100°C

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases
230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option

LxIxh: 1550x790x1150mm (unité d'alimentation)
LxIxh: 2830x790x1900mm (banc d'essai)
Poids total: env. 520kg

Nécessaire pr le fonctionnement

raccord d'eau, drain, boues d'épuration, granulés d'un réacteur UASB, substances pour préparer des eaux usées artificielles, lessive de soude, acide chlorhydrique, solutions d'étalonnage du pH, solution de chlorure de potassium PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

- 1 banc d'essai
- 1 unité d'alimentation
- 1 jeu d'accessoires
- 1 logiciel GUNT + câble USB
- 1 documentation didactique

Connaissances de base Bioéthanol

La consommation de sources d'énergie fossiles (charbon, hydrocarbures et gaz naturel), a beaucoup augmenté au cours des dernières décennies. Les débits de refoulement requis pour couvrir les besoins en énergie conduisent à un épuisement de plus en plus rapide des gisements. En raison de leurs emplacements et des teneurs fréquentes en impuretés, les nouveaux gisements sont difficiles à exploiter. Il faut donc trouver des alternatives.

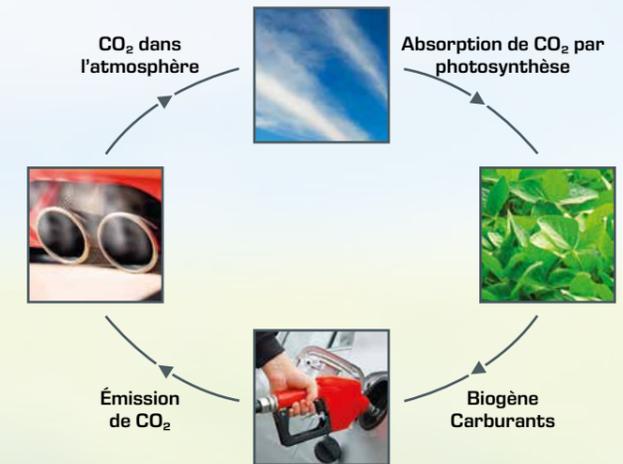
Pour parvenir à un approvisionnement énergétique qui soit renouvelable et neutre pour le climat, outre les sources inconstantes d'énergie telles que le vent ou le soleil, les sources stockables et neutres pour le climat issues de la biomasse renouvelable jouent un rôle important.

Pour transformer les matières premières énergétiques biogènes en source d'énergie stockable, on utilise différents procédés biologiques et thermiques.



Le cycle du CO₂ du bioéthanol

La photosynthèse permet la croissance des plantes à l'aide de la lumière du soleil. Du CO₂ provenant de l'atmosphère, ainsi que de l'eau et des matières inorganiques sont absorbés par la plante et transformés en liaisons organiques enrichies en énergie. Cette biomasse peut être considérée comme le produit d'un processus biochimique dans lequel une partie de la lumière du soleil absorbée est stockée sous forme d'énergie chimique. Afin de pouvoir utiliser la biomasse comme source d'énergie dans différents processus techniques, des méthodes spéciales de traitement sont nécessaires. Parmi eux figurent des procédés physiques simples, mais aussi des procédés thermochimiques et biologiques plus complexes.



Des biocarburants pour une énergie climatiquement neutre

À côté des procédés mécaniques simples comme le broyage et l'agglomération par pressage utilisés pour produire des carburants solides (pellets), la production de biocarburants et de biogaz met en jeu des procédés biologiques complexes.

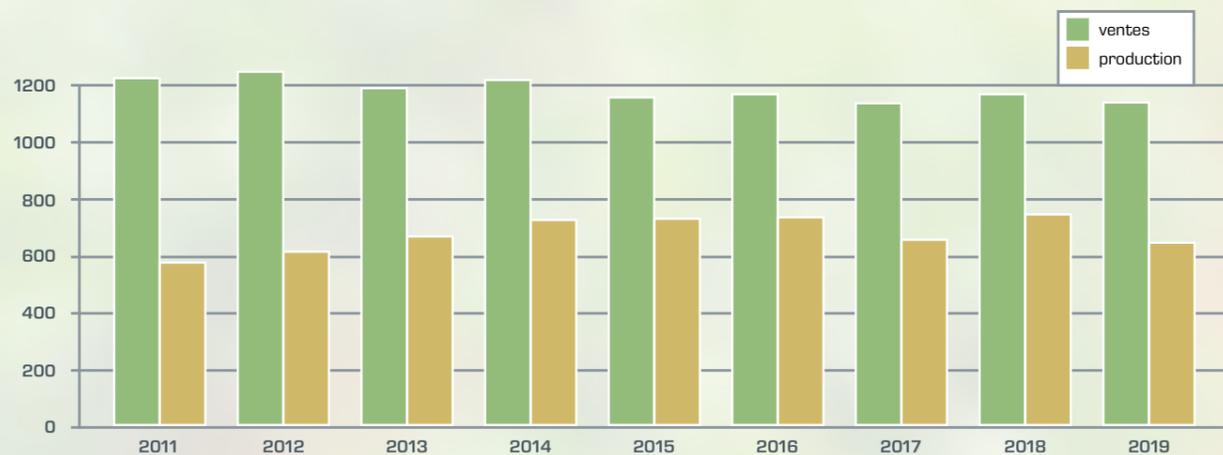
Ces procédés sont une exploitation à l'échelle industrielle de processus naturels observés dans la nature. La température, le pH, le mélange et le temps de séjour sont des facteurs jouant un rôle important dans l'optimisation du rendement énergétique de la biomasse.

Les biocarburants sont des matières alternatives aux essences super et au Diesel, qui sont soit mélangés aux carburants fossiles, soit utilisés tels quels dans des moteurs spécialement adaptés. La base des biocarburants est

l'éthanol pour l'essence super et l'huile végétale dans le cas du Diesel.

Dans le domaine des biocarburants, nous vous proposons aussi bien une installation pour la transformation de l'amidon en éthanol au moyen d'enzymes et de levures, qu'une autre installation pour la production classique de biodiesel à partir d'huiles végétales par transestérification.

Notre installation de bioéthanol contient non seulement l'unité de distillation pour la séparation de l'éthanol du digestat, mais aussi les cuves de mûlt et de fermentation nécessaires auparavant pour le processus de fabrication complet.



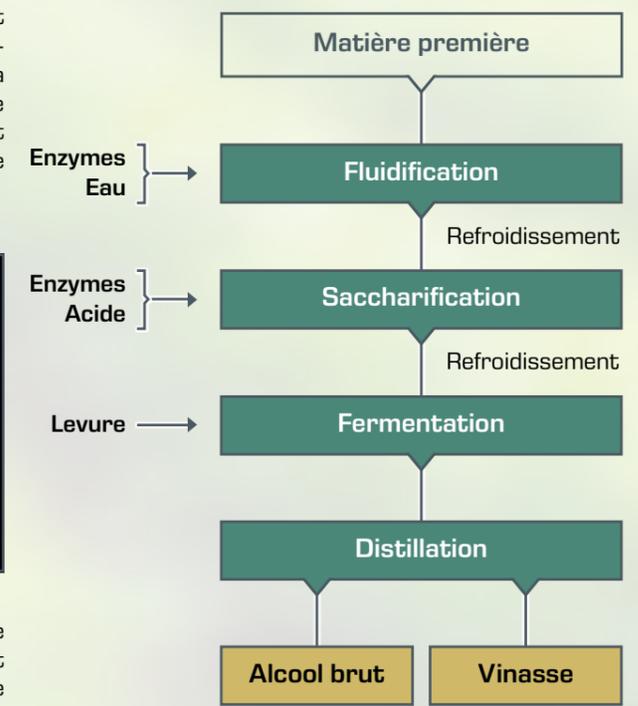
Développement du bioéthanol en Allemagne (en 1.000t)

(Source: BDBe/FNR)

Les glucides contenus dans les plantes (sucres) constituent la matière de départ du bioéthanol, auquel on ajoute des enzymes et des levures pour produire de l'alcool. Tandis que la fermentation des plantes contenant des sucres s'effectue directement, celle des plantes contenant de l'amidon est précédée de la décomposition enzymatique de la matière végétale.



Le processus de fermentation est terminé lorsque le sucre est épuisé, ou que la concentration maximum d'alcool est atteinte. Le bioéthanol produit est séparé par distillation. Le produit de la distillation est appelé alcool brut.



Principe de base de la production d'éthanol

Aperçu

CE 640 Production biotechnique d'éthanol

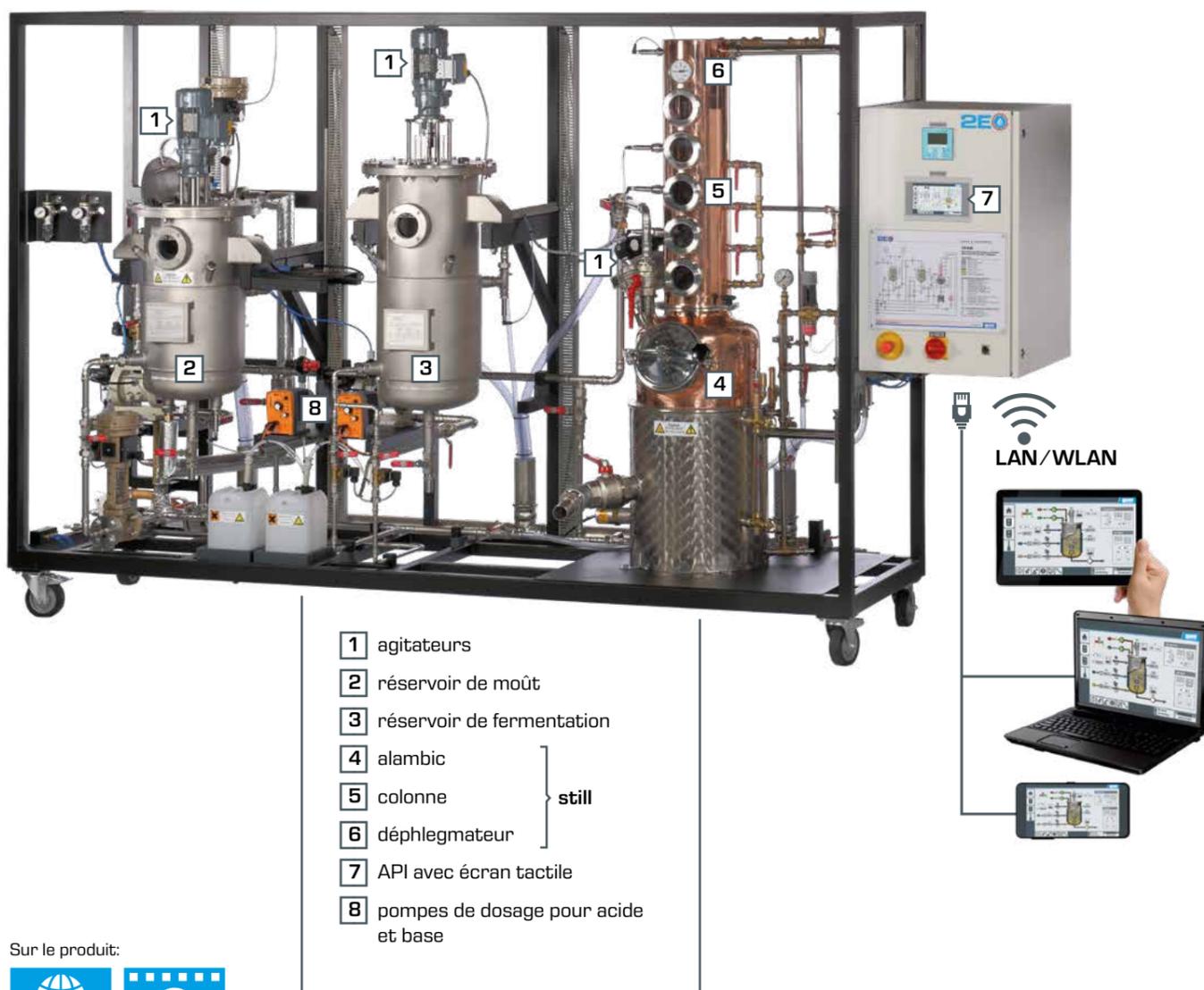
De la plante au biocarburant

Avec le banc d'essai CE 640, vous pouvez réaliser le processus complet de production d'éthanol à l'échelle du laboratoire. L'éthanol est utilisé comme produit de départ des biocarburants, ainsi que de nombreux autres produits fabriqués à partir de matières premières contenant de l'amidon et des glucides. La transformation de l'amidon en éthanol passe par différentes étapes rendues possibles par l'ajout d'enzymes et de levures.

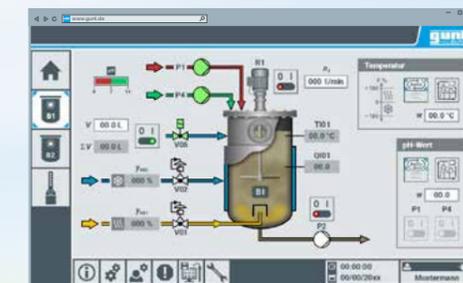
L'amidon est transformé en sucre dans le premier réservoir en présence des enzymes gluco-amylase et alpha-amylase. Ce processus requiert la surveillance et la régulation de la température et du pH.

Après le pompage jusqu'au second réservoir et l'ajout de levures, le processus de fermentation s'effectue en milieu clos. La levure transforme alors le sucre en éthanol et en dioxyde de carbone. Le dioxyde de carbone s'échappe alors dans l'environnement par l'intermédiaire d'un obturateur de contrôle de fermentation. Ce processus se déroule sous surveillance et régulation de la température du réservoir de fermentation.

Une fois le processus de fermentation terminé, l'éthanol est séparé des produits résiduels au sein d'une unité de distillation (distillerie).



Alambic à parois épaisses, en cuivre pur martelé et poli brillant.



Commande de l'installation et acquisition des données par API

L'installation d'essai est commandée par un API via un écran tactile. L'API permet d'enregistrer les principales grandeurs dans la mémoire interne:

- température
 - pH
 - température de fermentation
 - température de l'eau
 - température de la cuve
 - Températures des plateaux à cloches
 - Température du déflegmateur
 - Température du condensat
- Réservoir de moût
Réservoir de fermentation
Distillerie

Contenu didactique

- mise en pâte par injection de vapeur
- fluidification par utilisation d'alpha-amylase
- saccharification par utilisation de gluco-amylase
- fermentation: transformation du sucre en éthanol par cultures de levures en conditions anaérobies
- distillation: séparation de l'éthanol du moût

Sur le produit:



CE 640

Production biotechnique d'éthanol



possibilité de "screen mirroring" sur différents terminaux

Description

- production d'éthanol à partir de matières premières biologiques contenant de l'amidon
- commande de l'installation avec API via écran tactile
- un routeur intégré pour l'exploitation et le contrôle via un dispositif terminal et pour le "screen mirroring" sur des terminaux supplémentaires: PC, tablette, smartphone

Mise à part sa grande importance pour les industries alimentaire et chimique, l'éthanol (alcool) est de plus en plus utilisé comme carburant. Le CE 640 permet d'étudier la production d'éthanol proche de la réalité à partir de matières premières contenant de l'amidon, comme par ex. les pommes de terre. L'installation d'essai comprend trois principaux composants: un réservoir contenant le moût, un réservoir de fermentation et une unité de distillation. Le réservoir contenant le moût est rempli d'un mélange d'eau, de pommes de terre prédécoupées mécaniquement et d'alpha-amylase (enzymes). De la vapeur de chauffe est injectée par une buse dans le mélange pour dégrader les chaînes d'amidon denses des pommes de terre (mise en pâte). La résistance à l'écoulement du moût augmente alors, ce qui pourrait gêner la suite du processus. L'alpha-amylase diminue la résistance à l'écoulement en séparant les chaînes d'amidon (fluidification). La gluco-amylase est utilisée pour convertir l'amidon en sucre (saccharification).

Ces enzymes nécessitent des températures et des pH plus faibles. La température est atteinte par le refroidissement par l'eau côté enveloppe du réservoir contenant le moût, l'ajustage du pH par adjonction d'acide et de lessive. Après saccharification, le moût est pompé dans le réservoir de fermentation. Le processus de fermentation produit de l'éthanol dans ce réservoir. Un refroidissement par eau règle la température. Après le processus de fermentation, le moût est pompé dans le bas de colonne de l'unité de distillation. Celle-ci est équipée d'une colonne à plateaux à cloches pour la séparation de l'éthanol. Deux réservoirs sont disponibles pour l'éthanol séparé et la vinasse.

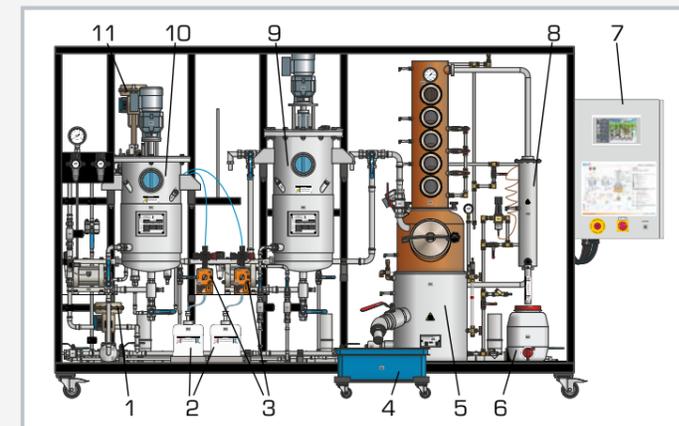
Le CE 640 possède de nombreuses fonctions de mesure, de régulation et de commande, le tout piloté par API via écran tactile. Grâce à un routeur intégré, l'installation peut être alternativement commandée et exploitée par un dispositif terminal. L'interface utilisateur peut également être affichée sur des terminaux supplémentaires ("screen mirroring"). Via l'API, les valeurs de mesure peuvent être enregistrées en interne. L'accès aux valeurs de mesure enregistrées est possible à partir des terminaux via WLAN avec routeur intégré/ connexion LAN au réseau propre au client. La alimentation de vapeur est assurée du réseau du laboratoire ou un générateur de vapeur électrique (CE 715.01) qui est disponible en option.

Contenu didactique/essais

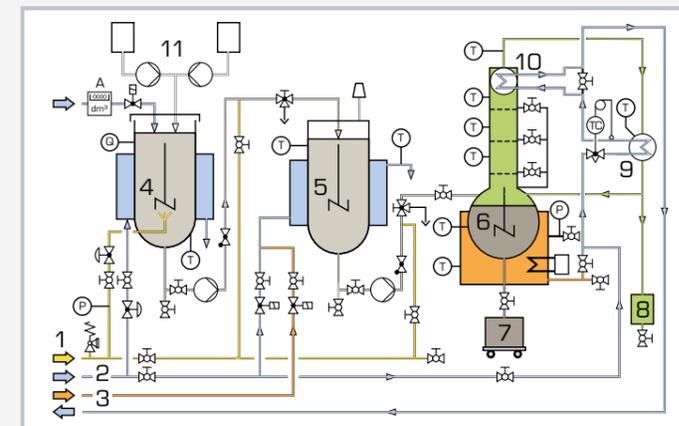
- apprentissage des différentes étapes et des composants de l'installation nécessaires pour la production d'éthanol
 - ▶ mise en pâte par injection de vapeur
 - ▶ fluidification par utilisation d'alpha-amylase
 - ▶ saccharification par utilisation de gluco-amylase
 - ▶ fermentation: conversion du sucre en éthanol par cultures de levures dans des conditions anaérobies
 - ▶ distillation: séparation de l'éthanol du moût
- "screen mirroring": mise en miroir de l'interface utilisateur sur des terminaux
 - ▶ navigation dans le menu indépendante de la surface affichée sur l'écran tactile
 - ▶ différents niveaux d'utilisateurs sélectionnables sur le terminal: pour l'observation des essais ou pour la commande et l'utilisation

CE 640

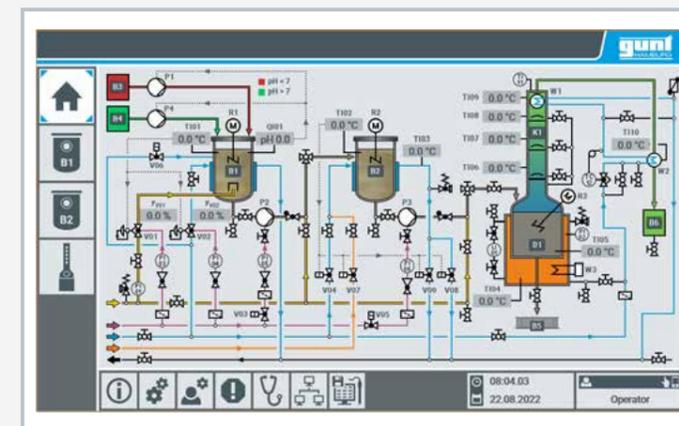
Production biotechnique d'éthanol



1 vanne de régulation d'eau de refroidissement, 2 réservoirs d'acide/ de lessive, 3 pompes d'acide/ de lessive, 4 réservoir de vinasse (transportable), 5 unité de distillation, 6 réservoir de produit, 7 armoire de commande, 8 condenseur, 9 réservoir de fermentation, 10 réservoir de moût, 11 vanne de régulation de vapeur de chauffe



1 vapeur de chauffe, 2 eau de refroidissement, 3 eau de chauffage, 4 réservoir de moût, 5 réservoir de fermentation, 6 unité de distillation, 7 réservoir de vinasse, 8 réservoir de produit, 9 condenseur, 10 déphlegmateur, 11 pompes et réservoirs d'acide/ de lessive; P pression, T température, A quantité d'eau, Q pH



Capture d'écran de l'écran tactile de l'unité de commande API

Spécification

- [1] transformation discontinue de matières premières biologiques contenant de l'amidon en éthanol
- [2] réservoir ouvert contenant le moût avec refroidissement par eau côté enveloppe, injection de vapeur de chauffe et mobile d'agitation
- [3] réservoir de fermentation fermé avec mobile d'agitation et refroidissement/ chauffage par eau côté enveloppe
- [4] unité de distillation avec 3 plateaux à cloches, déphlegmateur, condenseur et mobile d'agitation
- [5] 2 pompes pour refouler le moût
- [6] réglage du pH dans le réservoir contenant le moût avec de l'acide et de lessive par l'intermédiaire d'une pompe de dosage
- [7] ajustage de la quantité de vapeur de chauffe injectée, des écoulements d'eau de refroidissement et de la température de tête par régulateurs PID
- [8] commande de l'installation avec API par écran tactile
- [9] routeur intégré pour le contrôle via dispositif terminal et pour "screen mirroring": affichage d'interface utilisateur sur 5 terminaux maximum
- [10] acquisition de données par API sur une mémoire interne, accès aux valeurs de mesure enregistrées par WLAN avec routeur intégré/ connexion LAN au réseau propre au client

Caractéristiques techniques

- API: Eaton XV303
 Réservoir de moût: 40L
 Réservoir de fermentation: 50L
 Réservoir de produit: 10L
 Réservoir de vinasse: 30L
 Unité de distillation
- colonne: dxh: 220x1200mm
 - volume du bas de colonne: 45L
 - dispositif de chauffage du bas de colonne: 0...7500W
 - 2 pompes pneumatiques à membranes
 - pression d'entraînement: 2bar
 - débit de refoulement max.: 15L/ min; hauteur max.: 20m
 - taille max. des matières solides: 4mm
 - 2 pompes de dosage (acide et lessive)
 - débit de refoulement max.: chacun 2,1L/h

Plages de mesure

- température: 10x0...150°C
- débit: 0...25L/ min (au réservoir de moût)
- pH: 2...10
- pression: 0...10bar (vapeur)

400V, 50Hz, 3 phases; 400V, 60Hz, 3 phases
 230V, 60Hz, 3 phases; UL/CSA en option
 Lxlxh: 3500x1200x2000mm; Poids: env. 500kg

Nécessaire pr le fonctionnement

air comprimé (1,5...6bar), raccord d'eau chaude et froide (min. 400L/h, 40°C), drain, CE 715.01 ou vapeur (10kg/h, min. 3bar)

Liste de livraison

installation d'essai, 1 jeu d'enzymes etc., 1 jeu d'accessoires, 1 documentation didactique

Connaissances de base

Biogaz

L'augmentation de la demande en énergie et la limitation des sources d'énergie fossiles exigent de nouveaux concepts pour garantir l'approvisionnement énergétique. Outre l'énergie solaire et l'énergie du vent, la production d'énergie à partir de la biomasse représente un élément important des concepts énergétiques du futur.

Dans une installation de biogaz, des micro-organismes décomposent biologiquement les matières organiques de départ (substrat) en l'absence de lumière et d'oxygène. Le produit de cette dégradation anaérobie est un mélange de gaz composé en grande partie de méthane. Ce mélange gazeux est appelé biogaz.



Pour simplifier, les processus complexes de la dégradation anaérobie peuvent être divisés en quatre phases successives.

Phase 1: Hydrolyse

Le substrat utilisé dans les installations de biogaz se présente sous la forme de composés non dissous de poids moléculaire élevé, tels que les protéines, les graisses et les glucides. C'est pourquoi ces composés doivent d'abord être décomposés en leurs différents composants. Les produits de l'hydrolyse sont des acides aminés, des sucres et des acides gras.

Phase 2: Acidification

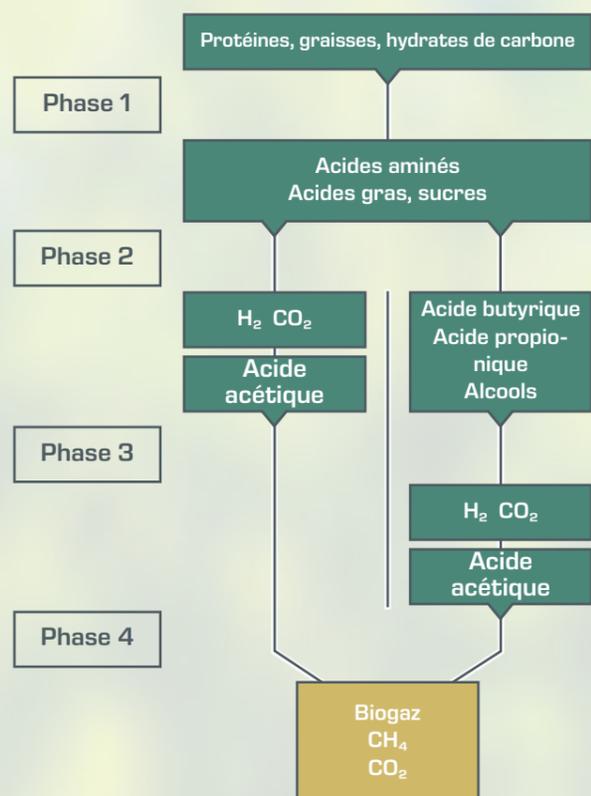
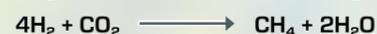
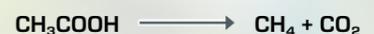
Les produits de l'hydrolyse se transforment ensuite, par dégradation biochimique, principalement en acide propionique, acide butyrique, acide acétique, alcools, hydrogène et dioxyde de carbone.

Phase 3: Formation d'acide acétique

Les produits de la phase précédente sont maintenant transformés en acide acétique, hydrogène et dioxyde de carbone.

Phase 4: Formation de méthane

Pour leur métabolisme, les bactéries méthanogènes peuvent utiliser soit de l'acide acétique (CH_3COOH), soit du dioxyde de carbone et de l'hydrogène. Les deux réactions biochimiques suivantes peuvent conduire à la formation de méthane (CH_4):



Principe de base de la dégradation anaérobie

Conditions ambiantes

Les micro-organismes impliqués dans la dégradation anaérobie ont des exigences différentes quant aux conditions ambiantes. Cela concerne en premier lieu la valeur du pH et la température. Les bactéries méthanogènes, en particulier, sont très sensibles aux écarts entre ces deux paramètres du processus et leur valeur optimale respective. Si les quatre phases de la dégradation ont lieu dans un seul

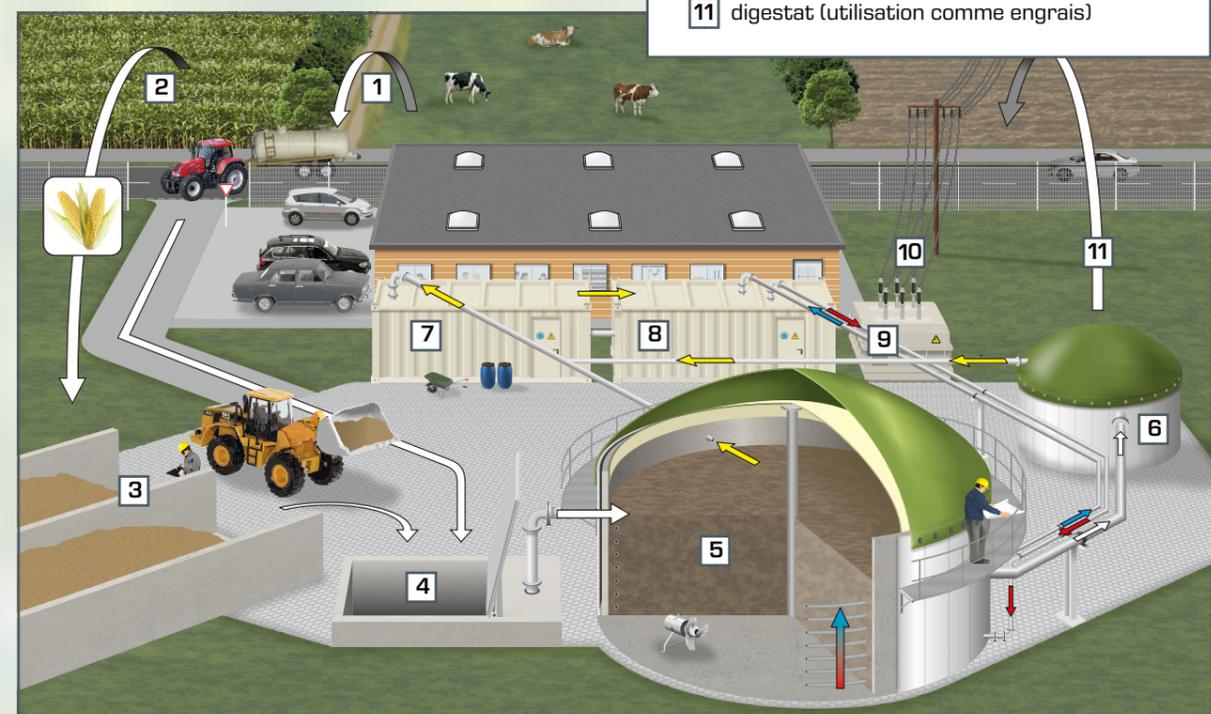
réacteur, il faut trouver un compromis en ce qui concerne la température et le pH. Il en résulte un rendement de biogaz plus faible. Du point de vue du génie des procédés, il est plus judicieux d'avoir un processus à deux étages dans deux réacteurs séparés. De cette manière, les conditions ambiantes peuvent être adaptées de manière plus ciblée aux micro-organismes concernés.

Utilisation du biogaz

Le biogaz ainsi produit peut ensuite être brûlé dans une centrale de cogénération. L'énergie stockée dans le biogaz est ainsi transformée en énergie de rotation. Un générateur connecté s'en sert pour produire à son tour du courant électrique. En plus de l'énergie électrique, une centrale de cogénération produit également de la chaleur, qui peut être utilisée pour chauffer le réacteur ou des locaux, par exemple.

Principe de fonctionnement d'une installation de biogaz:

- 1 lisier d'élevage
- 2 matières premières renouvelables (par ex. maïs)
- 3 modèle pour les matières premières broyées
- 4 modèle de chargement du bioréacteur
- 5 bioréacteur (fermenteur)
- 6 stockage de digestat
- 7 traitement des biogaz
- 8 centrale de cogénération
- 9 circuit d'eau pour le chauffage du bioréacteur
- 10 alimentation du réseau public
- 11 digestat (utilisation comme engrais)



CE 642

Installation de biogaz



L'illustration montre, en partant de la gauche: unité d'alimentation, banc d'essai et unité de post-fermentation; possibilité de "screen mirroring" sur différents terminaux

Description

- installation de biogaz à deux étapes
- analyse détaillée du biogaz
- commande de l'installation avec API via écran tactile
- un routeur intégré pour l'exploitation et le contrôle via un dispositif terminal et pour le "screen mirroring" sur des terminaux supplémentaires: PC, tablette, smartphone

Dans une installation de biogaz, des micro-organismes décomposent biologiquement les matières organiques de départ (substrat) en l'absence de lumière et d'oxygène. Le résultat de cette dégradation anaérobie est un mélange gazeux constitué essentiellement de méthane. Ce mélange gazeux est connu sous le nom de biogaz.

L'installation d'essai CE 642 démontre la production de biogaz d'une manière proche de la pratique industrielle. Une suspension de matières solides organiques broyées est utilisée comme substrat. L'hydrolyse et l'acidification du substrat ont lieu dans le premier réacteur à cuve agitée. Pour ce faire, des micro-organismes anaérobies transforment les matières organiques à chaîne longue en matières organiques à chaîne courte. Dans le second réacteur à cuve agitée à lieu en dernier pas la dégradation anaérobie du biogaz contenant essentiellement du méthane et du dioxyde de carbone.

Ce fonctionnement à deux étages permet d'ajuster et optimiser les conditions ambiantes séparément pour chacun des deux réacteurs. Le digestat est collecté dans un réservoir séparé.

La température et le pH sont régulés dans les deux réacteurs. Le biogaz qui se forme est séché dans une colonne. Enfin, le débit, l'humidité, la teneur en méthane, la teneur en dioxyde de carbone et la température du biogaz sont enregistrés. L'installation est commandée par l'API via un écran tactile. Grâce à un routeur intégré, l'installation peut être alternativement commandée et exploitée par un dispositif terminal. L'interface utilisateur peut également être affichée sur des terminaux supplémentaires ("screen mirroring"). Via l'API, les valeurs de mesure peuvent être enregistrées en interne. L'accès aux valeurs de mesure enregistrées est possible à partir des terminaux via WLAN avec routeur intégré/ connexion LAN au réseau propre au client.

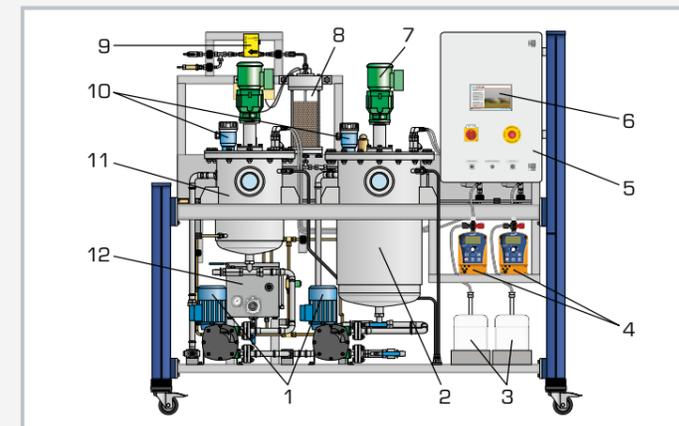
L'installation d'essai permet une mode de fonctionnement continu et discontinu. Les essais nécessitent de la biomasse d'une installation de biogaz. Il est possible d'utiliser p.ex. de la pommes de terre ou du maïs pour produire le substrat. Pour vider l'installation d'essai du gaz inerte est nécessaire (p.ex. du dioxyde de carbone).

Contenu didactique/essais

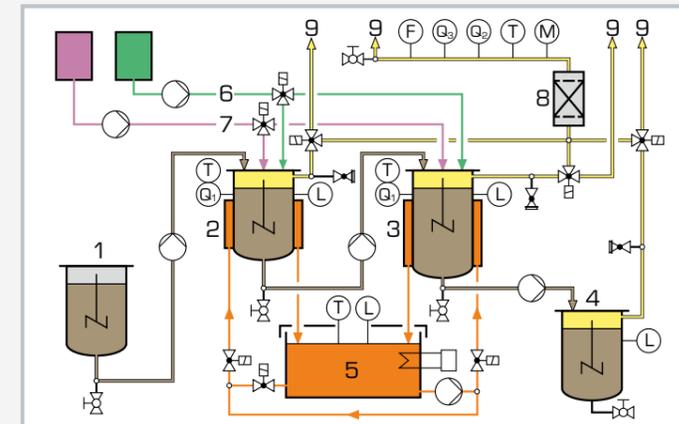
- établissement d'un état de fonctionnement stable
- influence des différentes grandeurs de processus sur la génération de biogaz
 - ▶ température
 - ▶ substrat
 - ▶ charge volumétrique
 - ▶ pH
- influence du mode de fonctionnement sur le rendement de biogaz
 - ▶ 1 ou 2 étapes
 - ▶ avec et sans post-fermentation
 - ▶ continu et discontinu
- détermination des paramètres suivants en fonction des conditions de fonctionnement
 - ▶ rendement de biogaz
 - ▶ débit du biogaz
 - ▶ qualité du biogaz
- "screen mirroring": mise en miroir de l'interface utilisateur sur des terminaux
 - ▶ navigation dans le menu indépendante de la surface affichée sur l'écran tactile
 - ▶ différents niveaux d'utilisateurs sélectionnables sur le terminal: pour l'observation des essais ou pour la commande et l'utilisation

CE 642

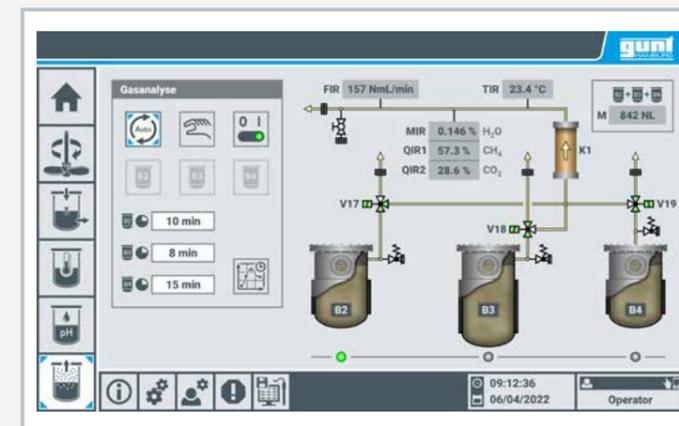
Installation de biogaz



1 pompes péristaltiques, 2 réacteur (étape 2), 3 réservoirs pour l'acide et la lessive, 4 pompes de dosage, 5 armoire de commande, 6 API avec écran tactile, 7 agitateur, 8 colonne de séchage, 9 débitmètre (biogaz), 10 capteurs de niveau capacitif, 11 réacteur (étape 1), 12 réservoir d'eau de chauffage



1 réservoir de substrat, 2 réacteur (étape 1), 3 réacteur (étape 2), 4 réservoir pour digestats, 5 eau de chauffage, 6 acide, 7 lessive, 8 colonne de séchage, 9 biogaz; F débit, L niveau, M humidité, Q₁ pH, Q₂ teneur en méthane, Q₃ teneur en dioxyde de carbone, T température



Surface utilisateur de l'API: point de menu "analyse de gaz"

Spécification

- [1] installation de biogaz à deux étapes (fonctionnement continu ou discontinu possible)
- [2] 2 réacteurs à cuve agitées en acier inoxydable avec des capteurs de niveau capacitif
- [3] unité d'alimentation séparée avec réservoir de substrat et pompe d'alimentation
- [4] régulation de la température et du pH dans les réacteurs
- [5] 2 pompes de dosage pour l'acide et la lessive
- [6] circuit d'eau de chauffage avec réservoir, dispositif de chauffage, régulateur de température et pompe
- [7] séchage du biogaz avec gel de silice
- [8] analyse du biogaz: débit, teneur en méthane, teneur en dioxyde de carbone, humidité et température
- [9] commande de l'installation par API via l'écran tactile
- [10] routeur intégré pour le contrôle via dispositif terminal et pour "screen mirroring": affichage d'interface utilisateur sur 5 terminaux maximum
- [11] acquisition de données par API sur une mémoire interne, accès aux valeurs de mesure enregistrées par WLAN avec routeur intégré/ connexion LAN au réseau propre au client

Caractéristiques techniques

- API: Eaton XV303
Réservoirs en acier inoxydable
- réacteurs: 26,3L (étape 1), 73,5L (étape 2)
 - réservoir de substrat: env. 30L
 - réservoir pour digestats: 26,3L
- Pompes
- 3 pompes péristaltiques: max. 25L/h chacune
 - 2 pompes de dosage: max. 2,1L/h chacune
 - pompe d'eau de chauffage: max. 480L/h
- Agitateurs: réservoir de substrat: max. 200min⁻¹, réacteurs: max. 120min⁻¹ chacun

Plages de mesure

- teneur en méthane: 0...100%
- teneur en dioxyde de carbone: 0...100%
- débit: 0...30NL/h (biogaz)
- pH: 2x 1...14
- humidité: 0...100%
- température: 3x 0...100°C (réacteurs et biogaz)

400V, 50Hz, 3 phases; 400V, 60Hz, 3 phases
230V, 60Hz, 3 phases; UL/CSA en option
Lxlxh: 1100x790x1400mm (unité d'alimentation)
Lxlxh: 2060x790x1910mm (banc d'essai)
Lxlxh: 1100x790x1400mm (unité de post-fermentation)
Poids total: env. 770kg

Nécessaire pr le fonctionnement

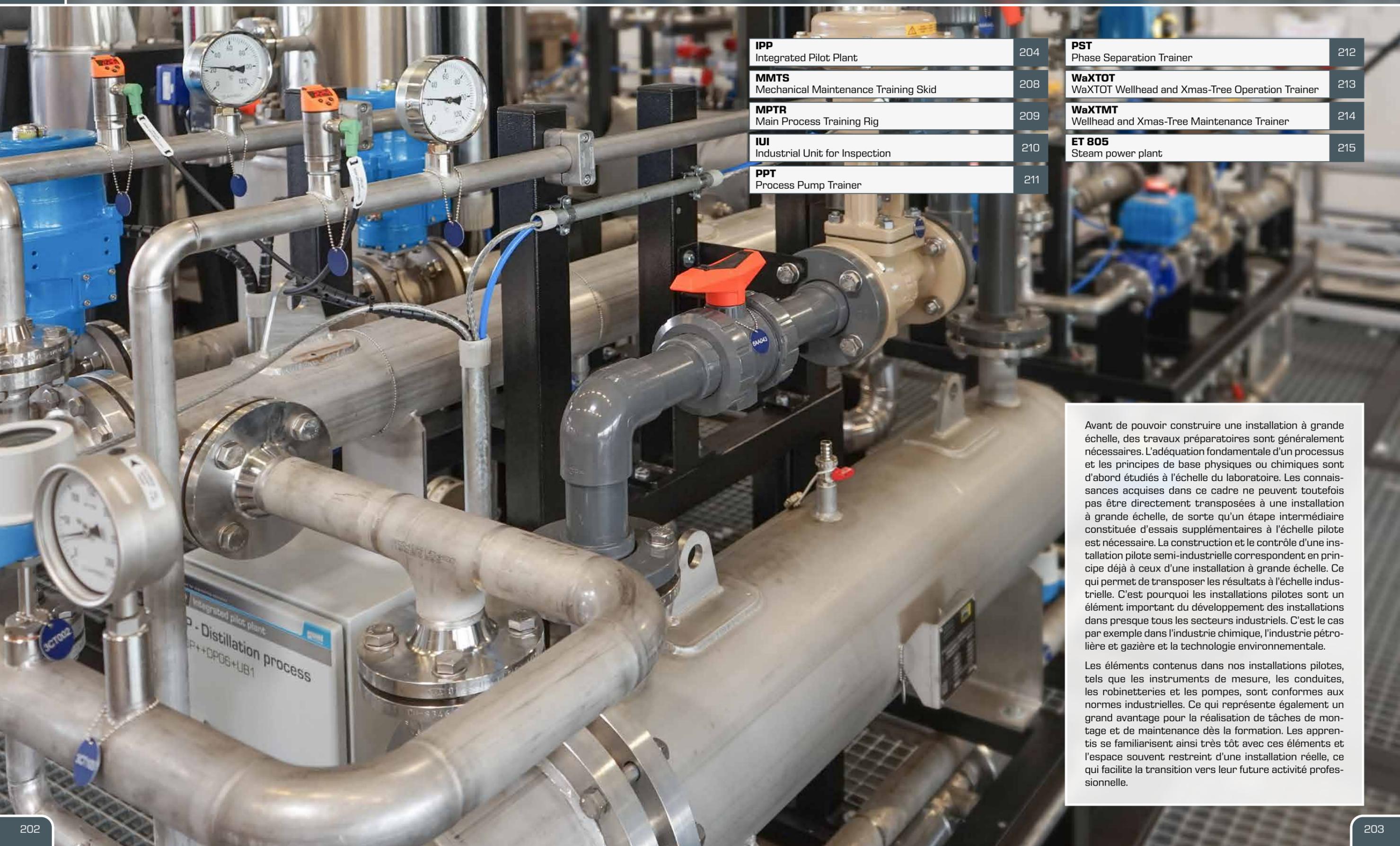
biomasse d'une installation de biogaz, substrat (recommandation: pommes de terre ou maïs), lessive de soude, acide chlorhydrique, gaz inerte (p.ex. du dioxyde de carbone) 5kg/h, min. 2bar; raccord d'eau + drain 300L/h, min. 3bar; évacuation d'air + ventilation 245m³/h

Liste de livraison

installation d'essai, 1 emballage de gel de silice, 1 jeu d'accessoires, 1 documentation didactique



Installations pilotes



IPP Integrated Pilot Plant	204
MMTS Mechanical Maintenance Training Skid	208
MPTR Main Process Training Rig	209
IUI Industrial Unit for Inspection	210
PPT Process Pump Trainer	211

PST Phase Separation Trainer	212
WaXTOT WaXTOT Wellhead and Xmas-Tree Operation Trainer	213
WaXTMT Wellhead and Xmas-Tree Maintenance Trainer	214
ET 805 Steam power plant	215

Avant de pouvoir construire une installation à grande échelle, des travaux préparatoires sont généralement nécessaires. L'adéquation fondamentale d'un processus et les principes de base physiques ou chimiques sont d'abord étudiés à l'échelle du laboratoire. Les connaissances acquises dans ce cadre ne peuvent toutefois pas être directement transposées à une installation à grande échelle, de sorte qu'une étape intermédiaire constituée d'essais supplémentaires à l'échelle pilote est nécessaire. La construction et le contrôle d'une installation pilote semi-industrielle correspondent en principe déjà à ceux d'une installation à grande échelle. Ce qui permet de transposer les résultats à l'échelle industrielle. C'est pourquoi les installations pilotes sont un élément important du développement des installations dans presque tous les secteurs industriels. C'est le cas par exemple dans l'industrie chimique, l'industrie pétrolière et gazière et la technologie environnementale.

Les éléments contenus dans nos installations pilotes, tels que les instruments de mesure, les conduites, les robinetteries et les pompes, sont conformes aux normes industrielles. Ce qui représente également un grand avantage pour la réalisation de tâches de montage et de maintenance dès la formation. Les apprentis se familiarisent ainsi très tôt avec ces éléments et l'espace souvent restreint d'une installation réelle, ce qui facilite la transition vers leur future activité professionnelle.

IPP Integrated Pilot Plant

Cette installation démontre le fonctionnement d'une installation avec un mélange eau/éthylène glycol comme fluide principal. L'installation combine des éléments de cycles conventionnels avec des réservoirs, des échangeurs de chaleur, des pompes et des sections de refroidissement ainsi que la commande et la régulation d'un processus de distillation. L'installation se compose de quatre unités fonctionnelles:

- unité d'alimentation (extérieur)
- unité d'alimentation (intérieur)
- procédé de distillation
- procédé circulaire

Cette installation se concentre sur la mise en service, l'utilisation, l'arrêt et l'entretien d'un processus typique du génie des procédés à

l'échelle industrielle. Les autres points didactiques traités sont:

- comportement des circuits de régulation de la température, de la pression, du niveau et du débit
- paramétrage des régulateurs PID
- lecture de diagrammes de tuyauterie et d'instrumentation
- localisation des composants dans l'installation
- modes de fonctionnement des pompes
 - ▶ mode individuel
 - ▶ montage en série
 - ▶ montage en parallèle
- commande d'un système de conduite de procédés professionnel (DeltaV™)

Procédé de distillation

- 7 évaporateur (produit de bas de colonne)
- 8 colonne de rectification

Procédé circulaire

- 9 échangeurs de chaleur
- 10 réservoirs de stockage
- 11 stations de pompage



Unité d'alimentation (extérieur)

- 1 réservoir (éthylène glycol)
- 2 réservoir (eau de processus)
- 3 tours de refroidissement par voie humide

Unité d'alimentation (intérieur)

- 4 traitement de l'eau
- 5 production de vapeur
- 6 alimentation en air comprimé

Sur le produit:



IPP Integrated Pilot Plant



Tours de refroidissement humides et réservoirs de stockage pour l'eau de processus et l'éthylène glycol à l'extérieur

Unités d'alimentation

Les unités d'alimentation mettent à disposition les fluides nécessaires ainsi que la puissance de refroidissement et de chauffe. Les trois tours de refroidissement par voie humide et les deux réservoirs contenant l'eau de process et l'éthylène glycol sont installés dans la partie extérieure. Le générateur de vapeur, l'alimentation en air comprimé, le traitement de l'eau et les deux stations de dosage des produits chimiques sont installés à l'intérieur.

Le traitement de l'eau de process se déroule en cinq étapes:

- échange d'ions
- filtration
- osmose inverse
- dégazage par membrane
- désinfection par UV

Procédé de distillation

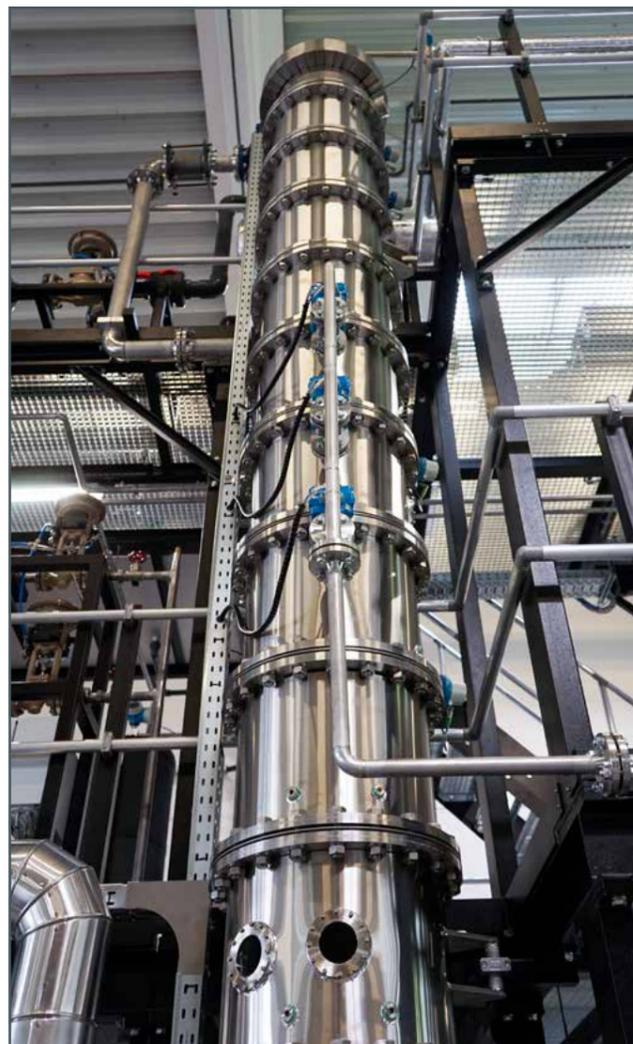
L'élément principal du processus de distillation est une colonne de rectification avec 10 plateaux à cloches. Le mélange eau-glycol est chauffé par circulation naturelle dans un évaporateur. Puis le mélange eau-glycol est séparé en vapeur d'eau et en glycol liquide dans la colonne. L'alimentation du processus de distillation est assurée soit par l'unité d'alimentation, soit par le cycle.

Procédé circulaire

Durant le cycle, un mélange d'eau et de glycol est chauffé et transporté dans le circuit par des pompes. Le mélange eau-glycol est chauffé dans le réservoir de stockage. Les circuits de régulation de processus avec grandeurs réglées telles que la température, la pression, le niveau et le débit font partie du cycle.



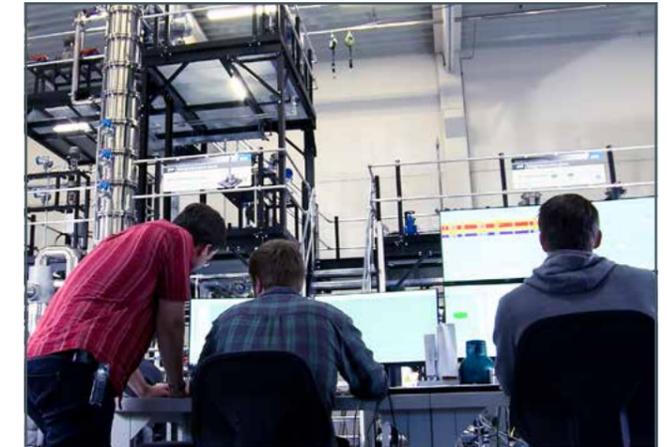
Procédé circulaire: pompes redondantes et débitmètres à effet Coriolis



Procédé de distillation: colonne de rectification



Utilisation de composants de haute qualité à un niveau industriel

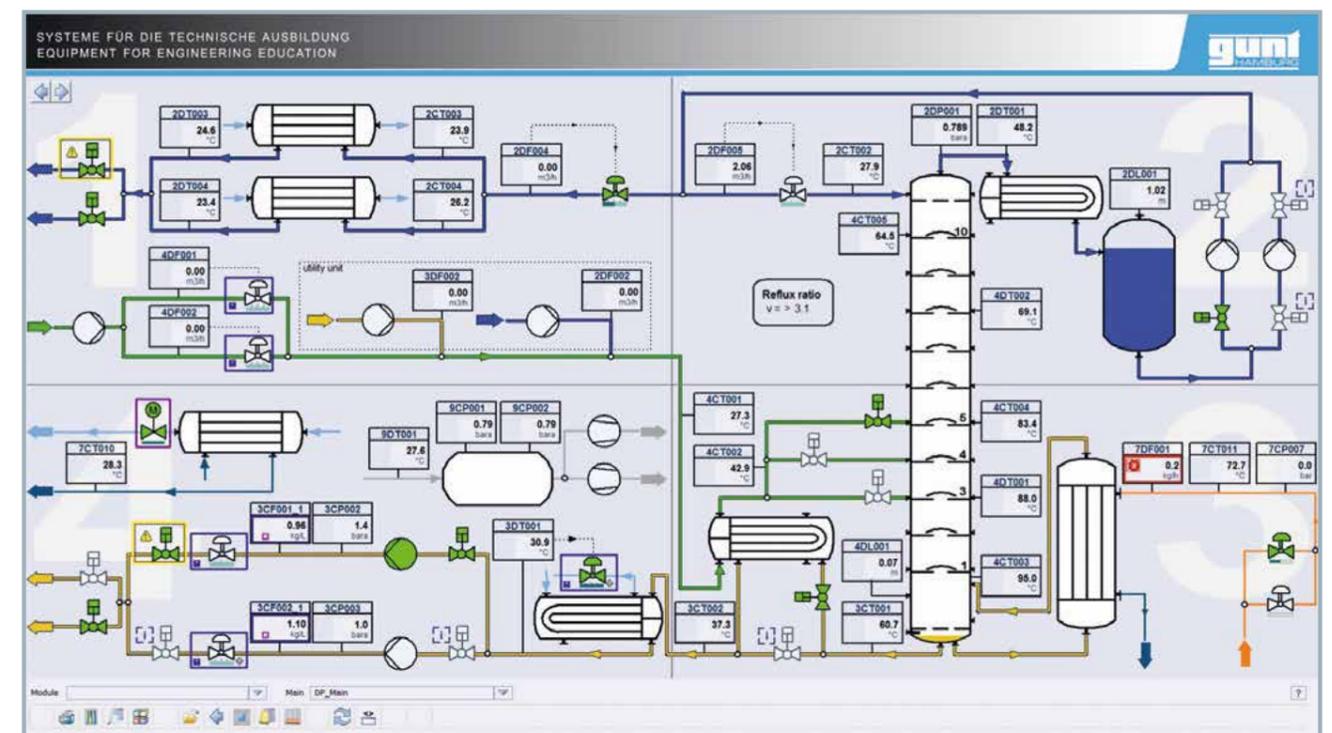


IPP pendant les tests avant la livraison de l'installation

Système de conduite de procédés

Le système de conduite de procédés **DeltaV™** de la société **Emerson Electric Co.** est utilisé pour commander l'installation. Ce système d'automatisation est très convivial et très répandu dans l'industrie des processus et de l'énergie. DeltaV™ dispose de fonctions de commande modernes et permet à l'opérateur de contrôler l'installation de manière optimale à tout moment.

Toutes les variables pertinentes du processus sont mesurées par des capteurs et transmises au poste de travail de l'opérateur. Les différentes options de contrôle de processus et les boucles de contrôle de processus peuvent être sélectionnées individuellement afin de réaliser plusieurs états de fonctionnement différents.



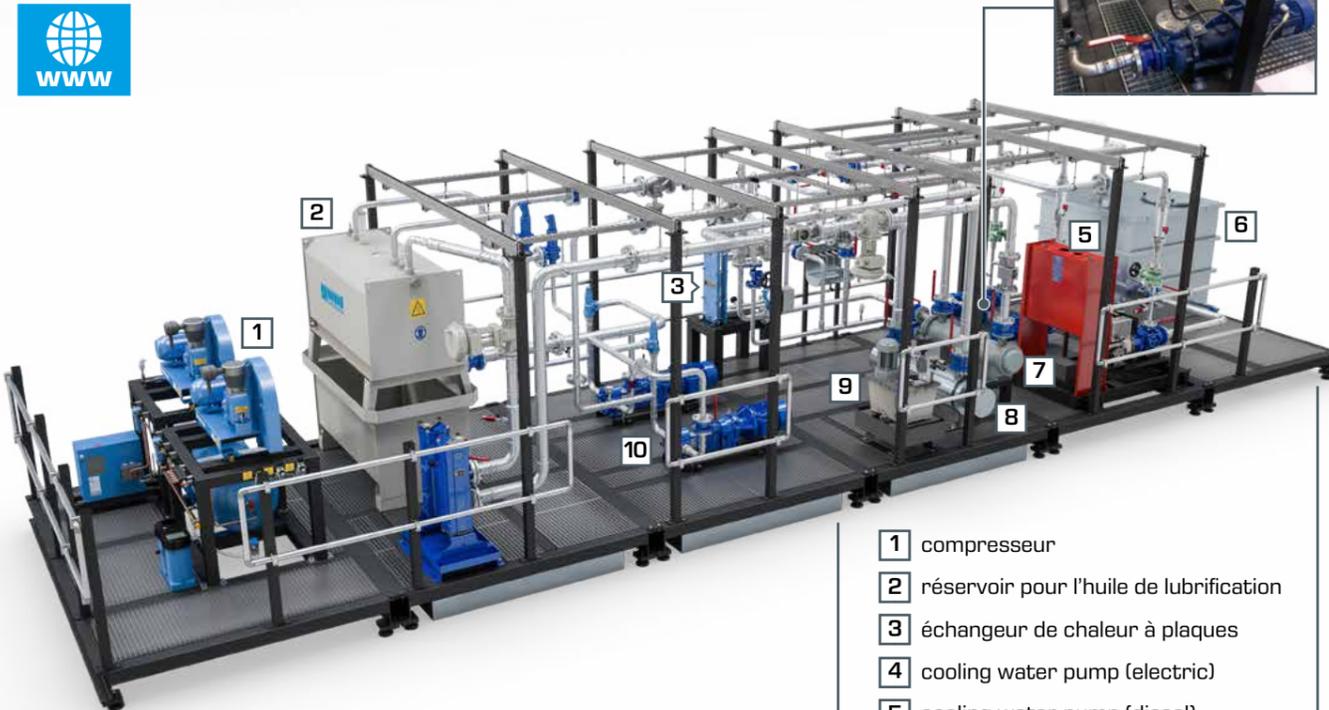
Visualisation du système de conduite de procédés DeltaV™

MMTS Mechanical Maintenance Training Skid

L'installation d'exercice MMTS sert à l'entretien de composants mécaniques ainsi qu'à la mesure, à la commande et à la régulation de divers paramètres dans un système de tuyauterie contenant plusieurs fluides. Dans les applications réelles, on trouve de tels systèmes dans les centrales électriques ainsi que dans les installations de transformation des hydrocarbures et de traitement du gaz naturel. Contrairement à l'application industrielle, l'installation d'exercice ne contient pas de moteurs ou de turbines réels. L'apport de chaleur de ces machines est simulé en faisant chauffer de l'huile lubrifiante par un dispositif de chauffage. Dans le processus central de l'installation d'exercice, la chaleur ainsi produite est évacuée par un échangeur de chaleur et un circuit d'eau de refroidissement.

Divers capteurs détectent la pression, le débit, le niveau et la température. L'installation d'exercice est commandée par un écran tactile se trouvant dans l'armoire de commande, en utilisant le système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Les données de mesure sont enregistrées par un autre logiciel installé sur un PC.

Sur le produit:



- 1 compresseur
- 2 réservoir pour l'huile de lubrification
- 3 échangeur de chaleur à plaques
- 4 cooling water pump (electric)
- 5 cooling water pump (diesel)
- 6 cooling water tank
- 7 shell-and-tube heat exchanger
- 8 lubricating oil heater
- 9 supply unit for hydraulic oil
- 10 oil pumps

- circuit d'huile lubrifiante avec réservoir d'huile lubrifiante, 2 pompes, chauffage et refroidisseur d'huile lubrifiante
- circuit d'eau de refroidissement avec réservoir d'eau de refroidissement et 3 pompes pour refroidir l'huile lubrifiante via le refroidisseur d'huile lubrifiante
- circuit d'huile hydraulique avec réservoir d'huile hydraulique, accumulateur de pression et pompe pour alimenter les soupapes à commande hydraulique
- alimentation en air comprimé avec 2 compresseurs et un réservoir sous pression pour alimenter en air comprimé les actionneurs pneumatiques des soupapes de régulation
- circuit de tour de refroidissement avec tour de refroidissement et bac de tour de refroidissement pour le refroidissement en circuit fermé du circuit d'eau de refroidissement via le refroidisseur d'eau secondaire



MPTR Main Process Training Rig

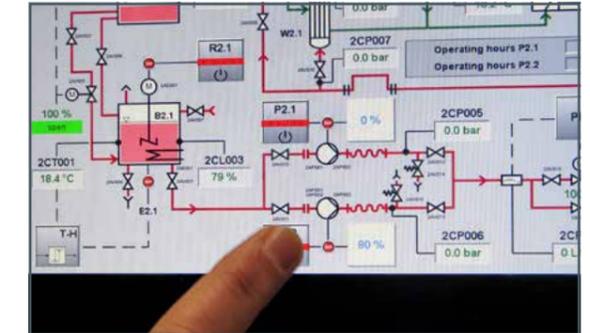
Le dispositif d'entraînement MPTR est entièrement basé sur les technologies industrielles. Il offre une tâche de projet complexe pour la formation des constructeurs de conduites et d'installations ainsi que pour les techniciens de maintenance. Cette installation permet d'aborder des thématiques mécaniques, électriques et hydrauliques. L'installation est divisée en deux unités:

Unité 1: régulation du débit et du niveau

Unité 2: régulation du débit, du niveau et de la température

Chaque unité contient un circuit de processus complet avec des pompes, des réservoirs et les conduites nécessaires. Un grand nombre de raccords et de techniques de mesure sont inclus. L'installation comprend également des composants industriels typiques tels que des échangeurs de chaleur, des filtres ou des chauffages. Cela permet de créer une situation industrielle réaliste. L'installation est conçue de telle manière à devoir travailler dans un espace restreint, en hauteur ou sous d'autres composants des équipements. L'apprenti se trouve ainsi dans un environnement proche de la réalité des installations industrielles.

Les deux unités sont indépendantes l'une de l'autre sur le plan mécanique, hydraulique et électrique. Deux armoires de commande distinctes sont disponibles pour les deux unités. Chaque unité est commandée par son propre écran tactile.



Commande avec écran tactile



Sur le produit:



Comme pour toutes les installations pilotes, des composants industriels de haute qualité garantissent un lien très étroit avec la pratique et donc une préparation optimale des apprentis à leur future activité professionnelle.



IUI Industrial Unit for Inspection

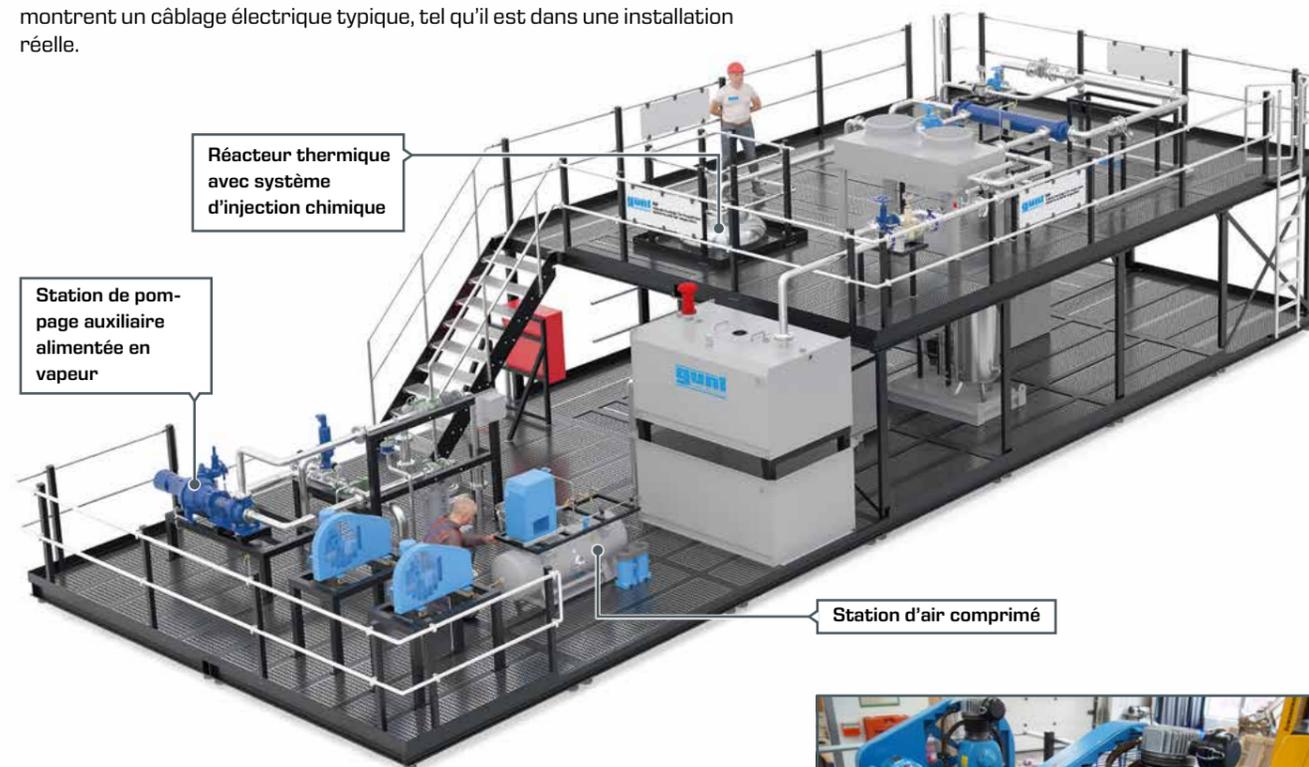
La connaissance des composants industriels joue un rôle important dans la formation des contrôleurs industriels. Pour acquérir ces connaissances, il est très utile de s'exercer sur des installations à l'échelle réelle. À cette fin, GUNT a développé une installation de démonstration qui contient les principaux éléments d'une installation de génie des procédés. On a veillé à ce que tous les composants utilisés se retrouvent dans un environnement réel. Cela permet aux apprentis de se familiariser plus facilement avec une installation typique de génie des procédés, de comprendre la fonction des différents composants et les relations entre tous les éléments d'une installation. L'installation de démonstration se compose de trois parties:

- réacteur thermique avec système d'injection chimique
- station de pompage auxiliaire alimentée en vapeur
- station d'air comprimé

Toutes ces parties sont reliées par des tubes et des vannes. Une multitude de composants électriques tels que des câbles, des interrupteurs, des contacteurs, des écrans, des fusibles et une armoire de commande montrent un câblage électrique typique, tel qu'il est dans une installation réelle.



Réacteur thermique avec système d'injection chimique



Réacteur thermique avec système d'injection chimique

Station de pompage auxiliaire alimentée en vapeur

Station d'air comprimé



Station d'air comprimé



Station de pompage auxiliaire alimentée en vapeur

Sur le produit:



PPT Process Pump Trainer

Dans l'industrie pétrolière, le pétrole brut est extrait d'un puits puis pompé pour pouvoir ensuite être traité. Dans le Trainer pour pompes de processus (PPT), trois types de pompes sont utilisés dans différents modes de fonctionnement puis comparés entre eux. Le fluide de travail est un mélange d'air, d'eau et d'huile permettant de simuler du pétrole brut. Après être passé par la partie pompe, le pétrole brut synthétique est ensuite séparé en huile, eau et air par une séparation de phases, puis mélangé à nouveau pour garantir une composition homogène.

Le trainer se compose de trois unités de pompe et d'une unité d'alimentation. Chaque unité de pompe est équipée de deux pompes identiques. Les types de pompes utilisés sont:

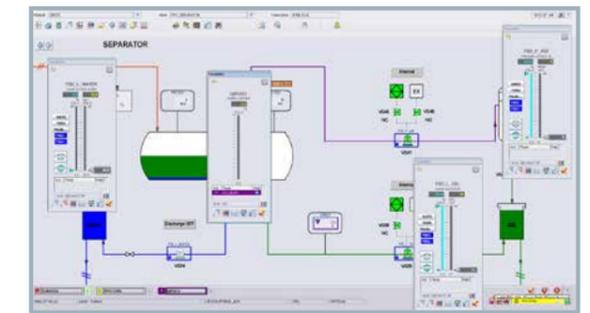
- unité de pompage 1: pompes centrifuges monocellulaires
- unité de pompage 2: pompes centrifuges multicellulaires
- unité de pompage 3: pompes à double vis polyphasées

L'installation comprend quatre débitmètres différents et de haute qualité:

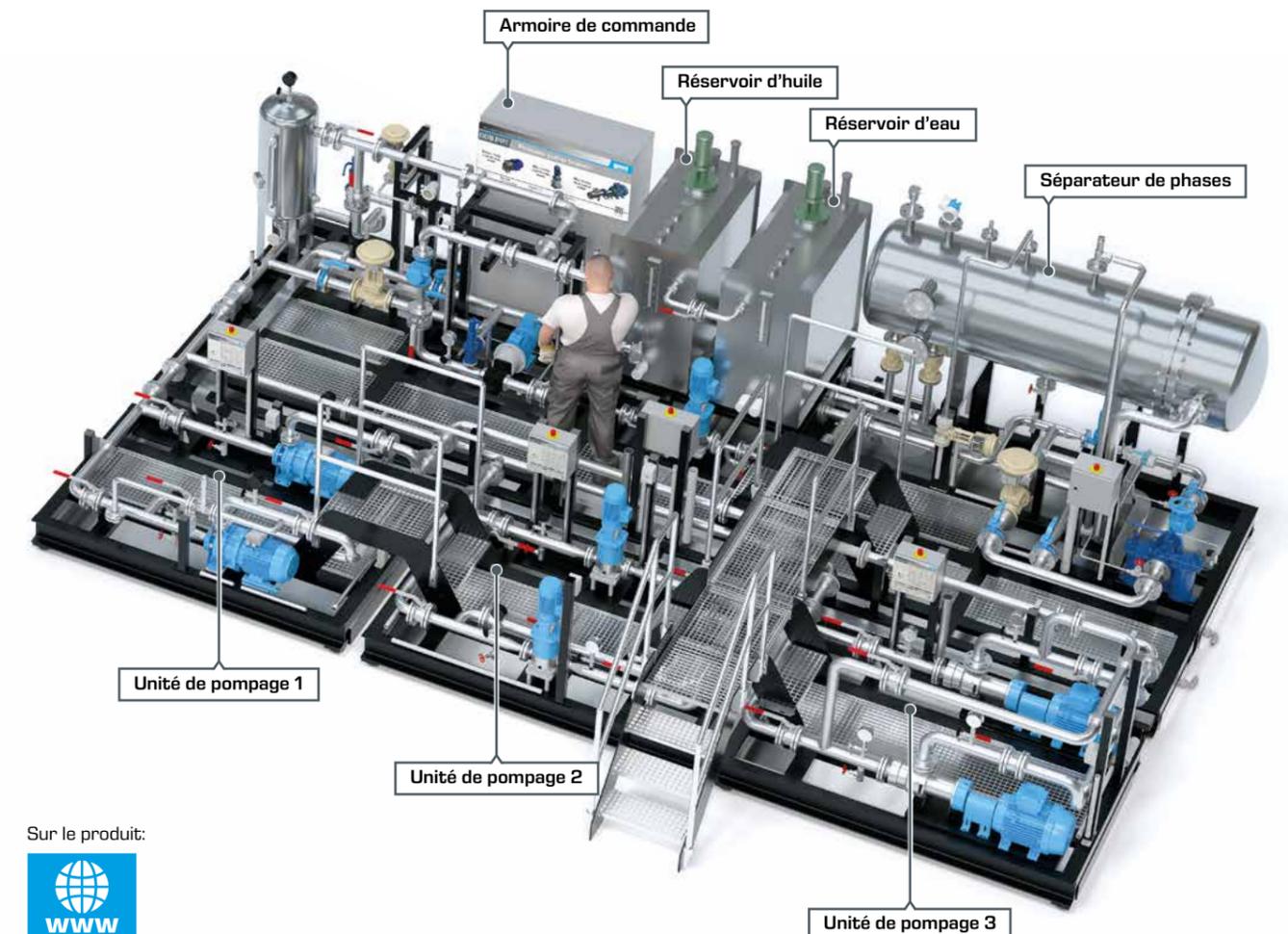
- débitmètre Coriolis
- débitmètre électromagnétique
- débitmètre à roue ovale
- débitmètre massique thermique

Système de conduite de procédés

Le système de conduite de procédés **DeltaV™** de la société **Emerson Electric Co.** est utilisé pour commander l'installation. Ce système d'automatisation est très convivial et très répandu dans l'industrie des processus et de l'énergie. DeltaV™ dispose de fonctions de commande modernes et permet à l'opérateur de contrôler l'installation de manière optimale à tout moment.



Visualisation du système de conduite de procédés DeltaV™



Armoire de commande

Réservoir d'huile

Réservoir d'eau

Séparateur de phases

Unité de pompage 1

Unité de pompage 2

Unité de pompage 3

Sur le produit:



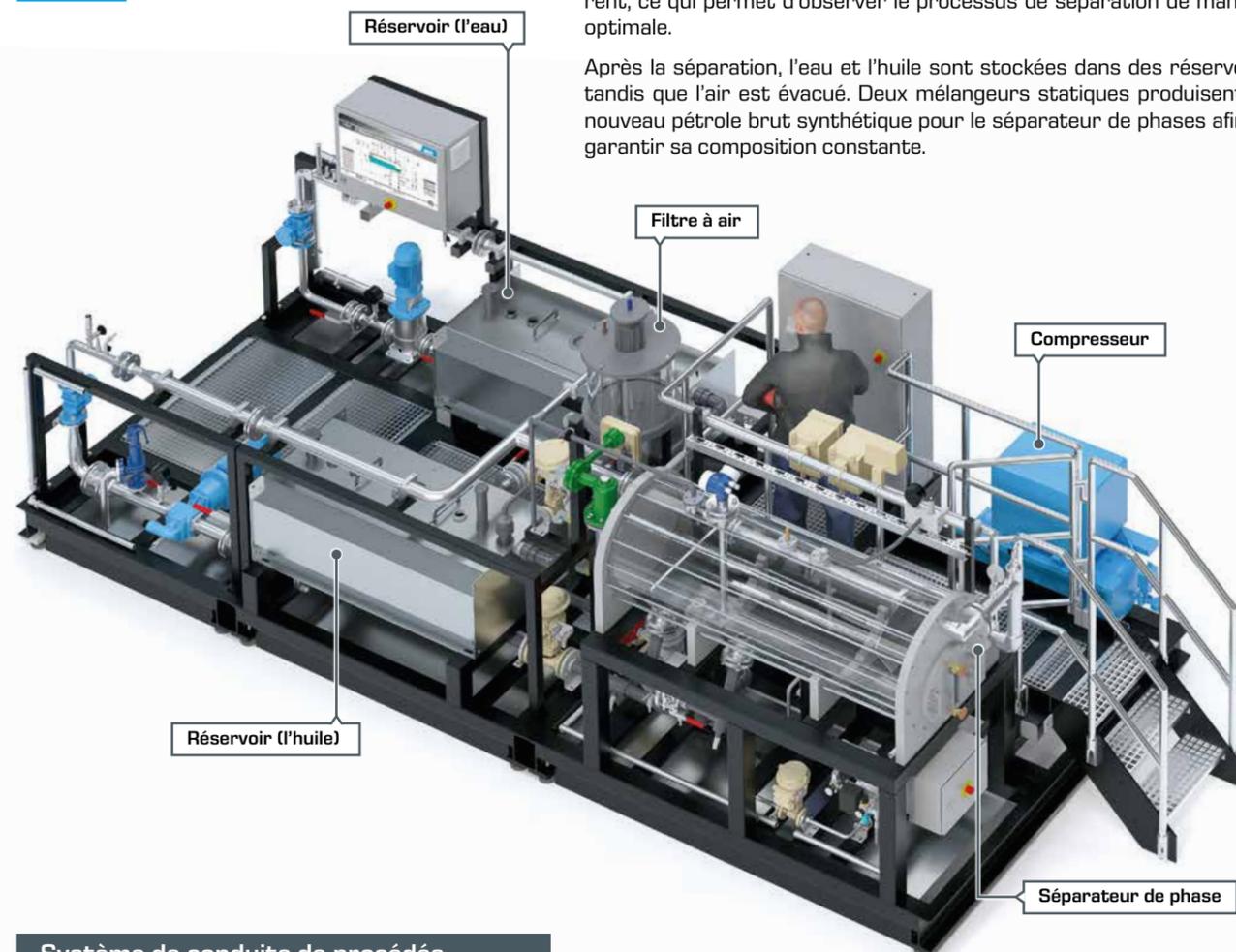
PST Phase Separation Trainer

Sur le produit:



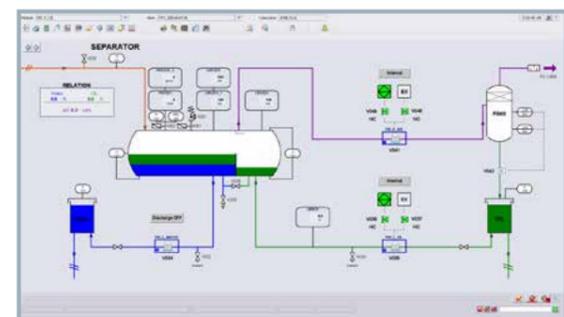
Cette installation démontre la séparation de pétrole brut simulé en air, eau et huile. L'élément principal de l'installation est un séparateur de phase qui sépare le pétrole brut simulé en utilisant une entrée en forme de tourbillon et la force de gravité. Le séparateur de phase est transparent, ce qui permet d'observer le processus de séparation de manière optimale.

Après la séparation, l'eau et l'huile sont stockées dans des réservoirs, tandis que l'air est évacué. Deux mélangeurs statiques produisent un nouveau pétrole brut synthétique pour le séparateur de phases afin de garantir sa composition constante.



Système de conduite de procédés

Le système de conduite de procédés **DeltaV™** de la société **Emerson Electric Co.** est utilisé pour commander l'installation. Ce système d'automatisation est très convivial et très répandu dans l'industrie des processus et de l'énergie.



Visualisation du système de conduite de procédés DeltaV™



Séparateur de phase

WaXTOT Wellhead and Xmas-Tree Operation Trainer

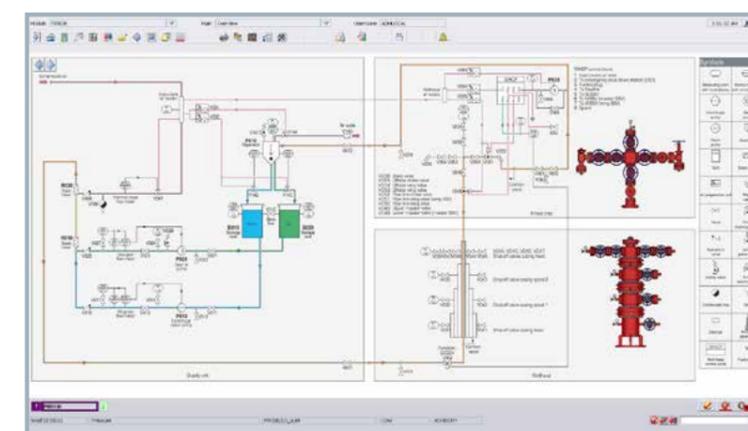
Dans l'industrie pétrolière, le pétrole brut est extrait d'un puits puis pompé pour pouvoir ensuite être traité. Une tête de puits est installée au sommet du puits de pétrole pour servir d'interface entre l'équipement de forage et l'équipement de production. La tête de puits est suivie d'un arbre de Noël (Xmas-tree) avec vannes, bobines et robinetteries pour le traitement du pétrole.

Dans cette installation, un pétrole brut simulé est pompé à travers une tête de puits et un arbre de Noël. Le pétrole brut synthétique est ensuite séparé en huile, eau et air par une séparation de phases, puis mélangé à nouveau pour garantir une composition homogène.

L'arbre de Noël comprend la vanne principale inférieure et supérieure, des vannes à ailettes et des soupapes d'étranglement pour contrôler le débit. Un Control-Panel classique est utilisé pour commander les fonctions de sécurité et le reflux. Le système de conduite de procédés **DeltaV™** de la société **Emerson Electric Co.** est utilisé pour commander l'installation. Ce système est très répandu dans l'industrie des procédés et de l'énergie.



Sur le produit:



Visualisation du système de conduite de procédés DeltaV™



Tête de puits et arbre de Noël (Xmas-tree)

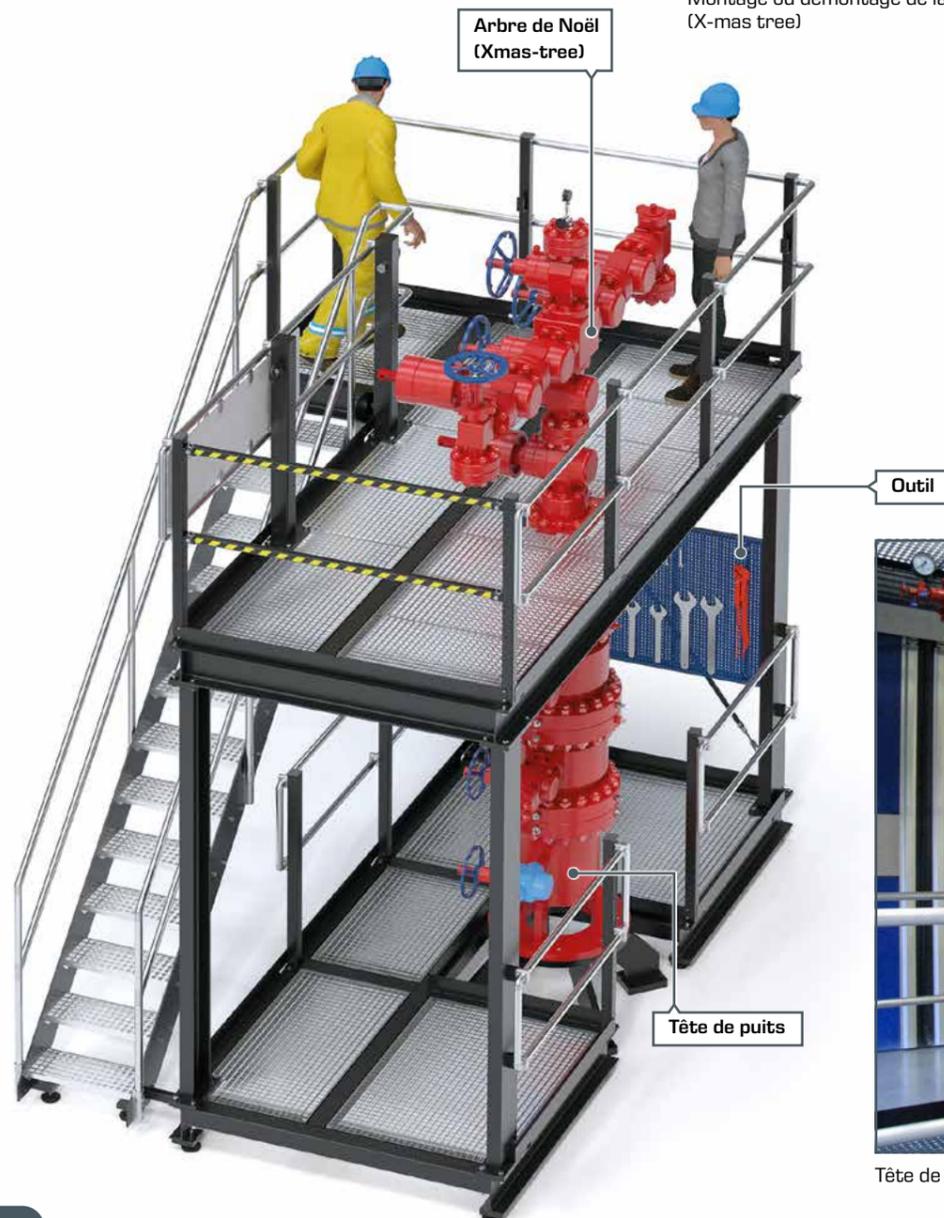
WaXTMT Wellhead and Xmas-Tree Maintenance Trainer

Dans l'industrie pétrolière, le pétrole brut est extrait d'un puits puis pompé pour pouvoir ensuite être traité. Une tête de puits est installée au sommet du puits de pétrole pour servir d'interface entre l'équipement de forage et l'équipement de production. La tête de puits est suivie d'un arbre de Noël (Xmas-tree) avec vannes, bobines et robinetteries pour le traitement du pétrole.

WaXTMT montre la structure d'une tête de puits et d'un arbre de Noël. L'installation sert au montage et au démontage de la tête de puits et de l'arbre de Noël. Le Trainer ne pompe pas de liquide. Les outils nécessaires pour les travaux sont inclus.



Montage ou démontage de la tête de puits et de l'arbre de Noël (X-mas tree)



Tête de puits

Sur le produit:



ET 805 Steam power plant

La centrale électrique à vapeur ET 805 est spécialement conçue pour la formation et les exercices pratiques dans le domaine de la technique des centrales électriques avec système de conduite de procédés. Grâce à sa taille et à sa complexité, l'installation correspond sur de nombreux points au comportement en service des installations industrielles réelles et permet donc un apprentissage très proche de la pratique.

Cette installation permet d'étudier toutes les propriétés pertinentes d'une centrale à turbines à vapeur. Le système de conduite de procédés intégré permet aux étudiants de s'exercer au fonctionnement d'une centrale électrique automatisée. Toutes les grandeurs importantes pour le processus sont représentées de manière claire dans des diagrammes de processus et converties en caractéristiques.

La chaudière à vapeur peut fonctionner au choix au fioul ou au gaz. La vapeur surchauffée est acheminée vers une turbine industrielle à un étage avec régulation de vitesse de rotation. Celle-ci entraîne un générateur synchrone qui peut être couplé au réseau ou fonctionner de manière autonome. La vapeur d'échappement de la turbine est condensée et réintroduite dans le circuit d'eau d'alimentation.

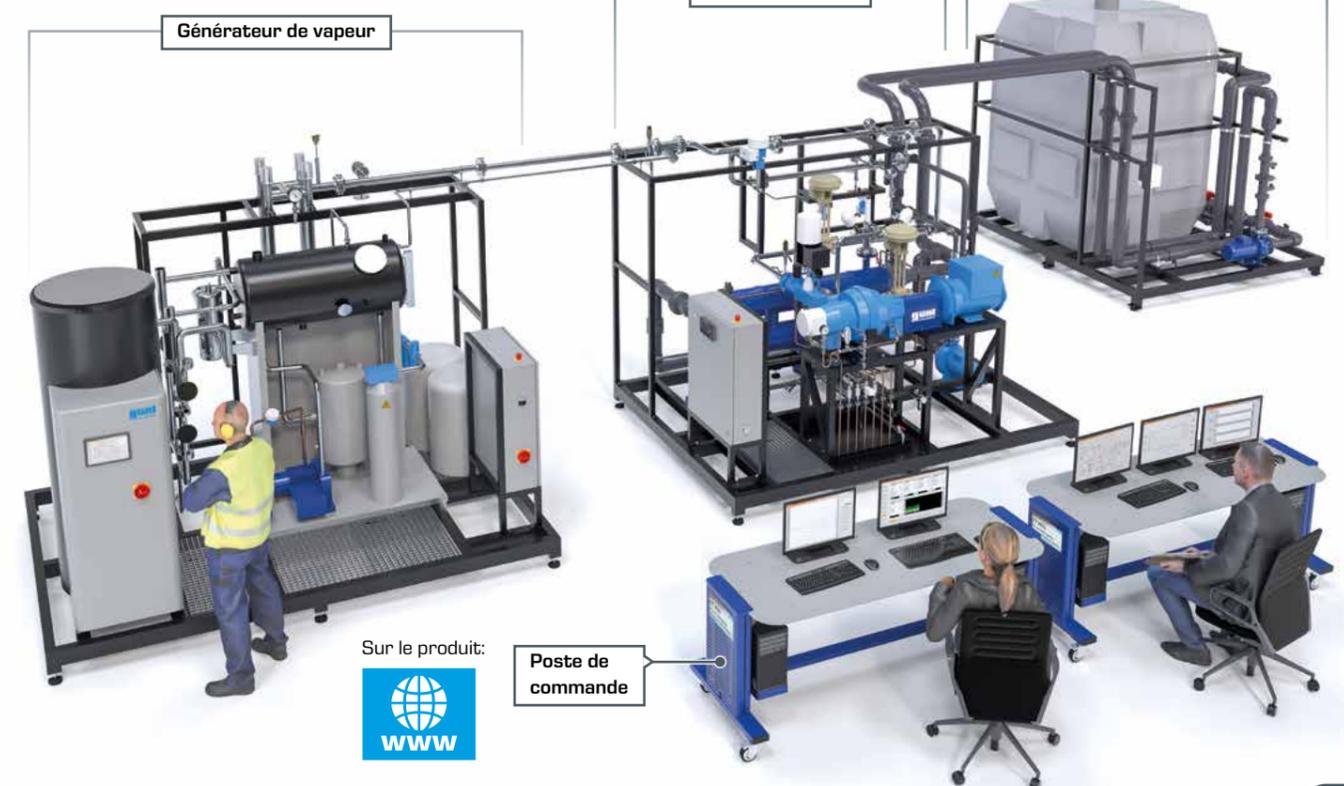
La centrale est composée de quatre modules distincts, et s'adapte ainsi de manière flexible à l'espace disponible dans le laboratoire:

Module 1: générateur de vapeur avec traitement de l'eau d'alimentation

Module 2: turbine à vapeur avec générateur et condenseur

Module 3: tour de refroidissement par voie humide

Module 4: station de contrôle avec système de conduite de procédés



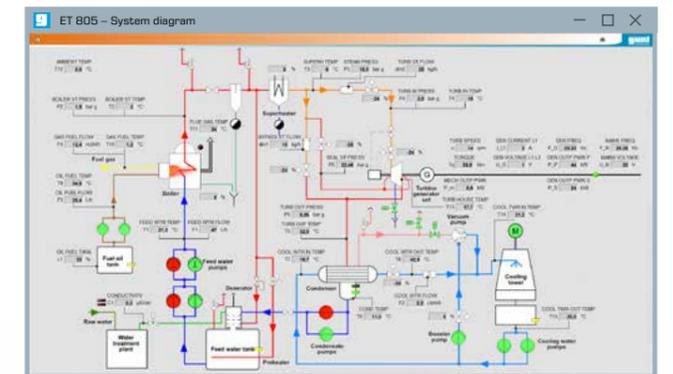
Sur le produit:



Système de conduite de procédés

Le fonctionnement de la centrale est entièrement surveillé et commandé par le système de conduite de procédés. La commande se fait au moyen d'écrans tactiles modernes sur le poste de commande. Les valeurs de mesure sont transmises au système de conduite de procédés avec automate programmable industriel, ainsi qu'à un PC pour l'acquisition de données où elles sont représentées et évaluées à l'aide du logiciel GUNT.

Un système de sécurité assure, en cas d'état de fonctionnement critique, la désactivation des composants concernés et l'enregistrement des états de défaut.



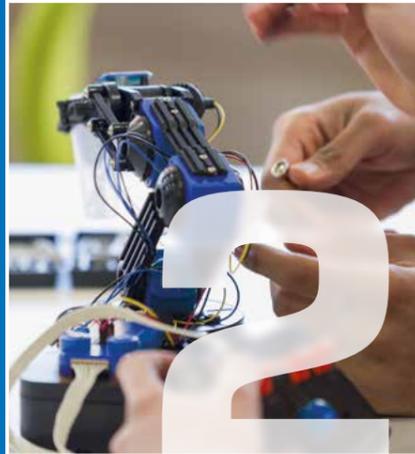
Capture d'écran du logiciel

Le programme complet GUNT – équipements pour l'enseignement technique



Mécanique appliquée et conception mécanique

- statique
- résistance des matériaux
- dynamique
- dynamique des machines
- conception mécanique
- essai des matériaux



Mécatronique

- dessin industriel
- modèles en coupe
- métrologie
- technique d'assemblage et d'ajustage
- techniques de production
- kits d'assemblage
- maintenance
- diagnostic de machines
- automatisation et conduit de procédés



Génie thermique et énergie

- principes de base de la thermodynamique
- applications thermodynamiques en CVC
- énergies renouvelables
- machines à fluide thermiques
- génie frigorifique et génie climatique



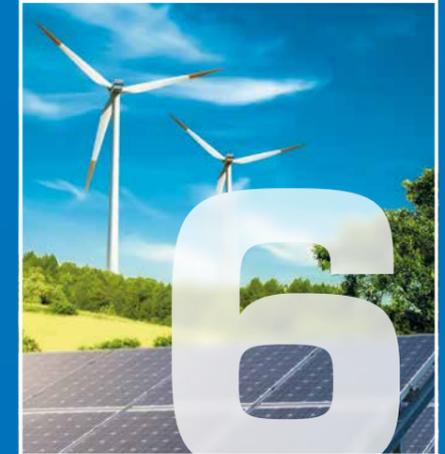
Mécanique des fluides

- écoulement stationnaire
- écoulement non stationnaire
- écoulements autour de corps
- machines à fluide
- éléments de construction de tuyauteries et d'installations industrielles
- génie hydraulique



Génie des procédés

- génie des procédés mécaniques
- génie des procédés thermiques
- génie des procédés chimiques
- génie des procédés biologiques
- Installations pilotes



2E Energy & Environment

Energy

- énergie solaire
- énergie hydraulique et énergie marine
- énergie éolienne
- biomasse
- géothermie
- systèmes énergétiques
- efficacité énergétique en génie du bâtiment

Environment

- eau
- air
- sol
- déchets

Planification et conseils · Service technique
Mise en service et formation

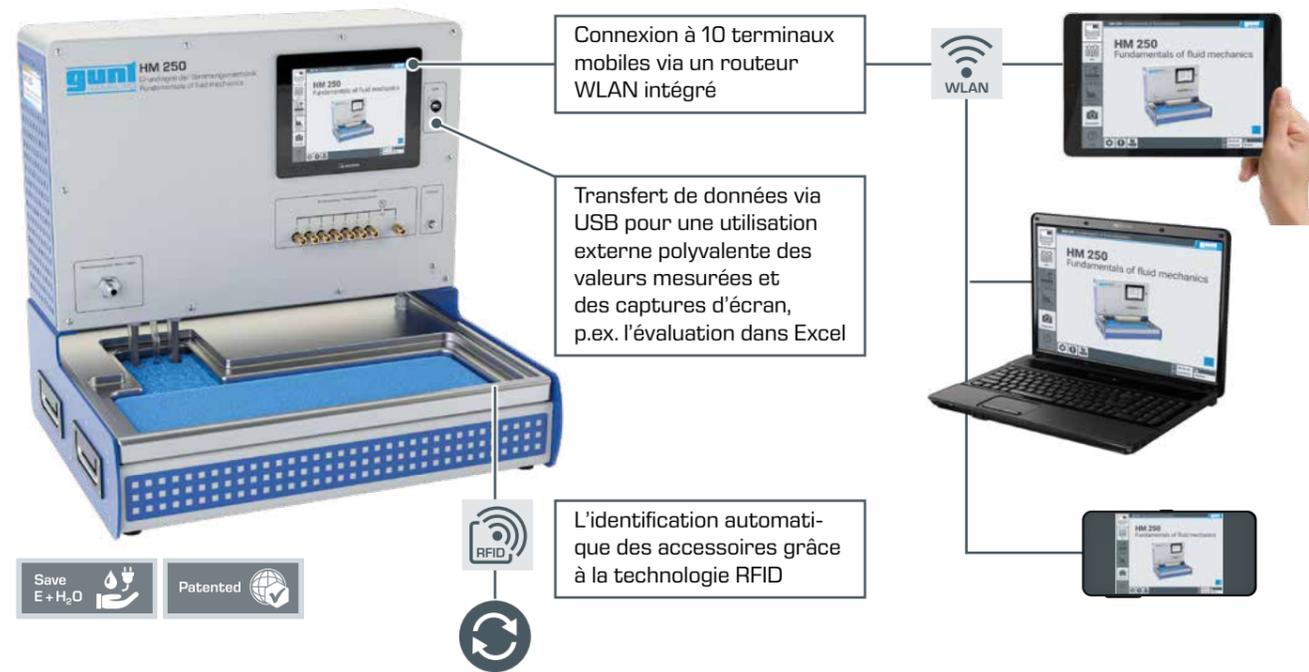
HM 250

Principes de base de la mécanique des fluides

Le concept d'enseignement-apprentissage numérique offre une interaction entre les expériences réelles et l'enseignement numérique avec la préparation, l'exécution et l'évaluation des expériences. Le module de base HM 250 assure l'approvision-

nement de base dans chaque cas. Les techniques de mesure, de commande et de régulation ainsi que les systèmes de communication sont également fournis par le module de base.

HM 250 Module de base



Essais réels – médias numériques



Grâce à "screen mirroring", les élèves peuvent suivre la préparation et l'exécution des expériences sur les dispositifs terminaux et garder une distance suffisante les uns par rapport aux autres.

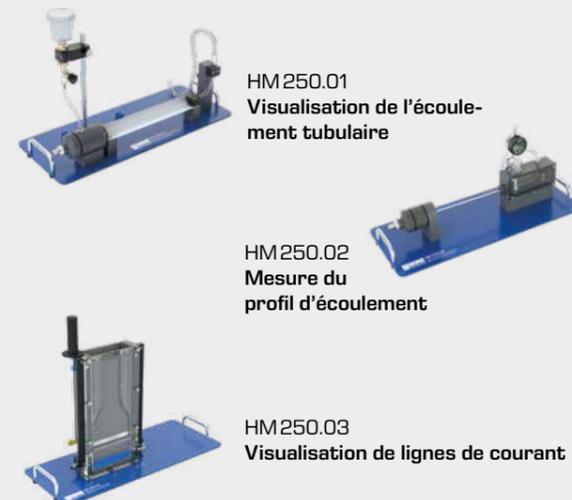
L'étagère de laboratoire HM 250.90 peut être utilisée pour le rangement pratique et peu encombrant des accessoires.

- exécution intuitive des essais via l'écran tactile (HMI)
- commande des appareils par API, via l'écran tactile ou un dispositif terminal
- un routeur WLAN intégré pour l'exploitation et le contrôle via un dispositif terminal et pour le "screen mirroring" sur 10 terminaux maximum: PC, tablette, smartphone

- l'identification automatique des accessoires grâce à la technologie RFID
- configuration automatique du système, y compris la purge d'air automatique des sections d'essai
- techniques d'économie d'énergie et d'eau, montage peu encombrante

Écoulement dans les conduites

- écoulement laminaire / turbulent
- influence du n° de Reynolds sur le profil d'écoulement
- visualisation de lignes de courant via des bulles d'hydrogène générées par électrolyse



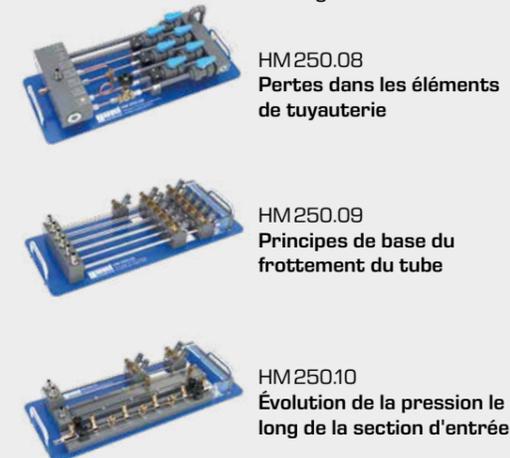
Les lois de l'hydrodynamique

- loi de la continuité et ses grandeurs d'influence
- principe de conserv. de l'impuls.: étude des forces de jet
- trajectoire: tracé de la trajectoire
- théorème de Bernoulli: la relation entre la vitesse d'écoulement et la pression



Perte par frottement en l'écoulement tubulaire

- coefficients de trainée dans les différents éléments de la tuyauterie
- relation entre nombre de Reynolds et le coefficient de frottement du tuyau
- utilisation du diagramme de Moody
- formation de l'écoulement le long de la section d'entrée



Écoulement dans des canaux ouverts

- hauteurs d'énergie de l'eau
- ressaut
- dissipation d'énergie dans le canal



WL 110 Série d'appareil

Essais sur les principes de base du transfert de chaleur



WL 110
Unité d'alimentation pour échangeurs de chaleur

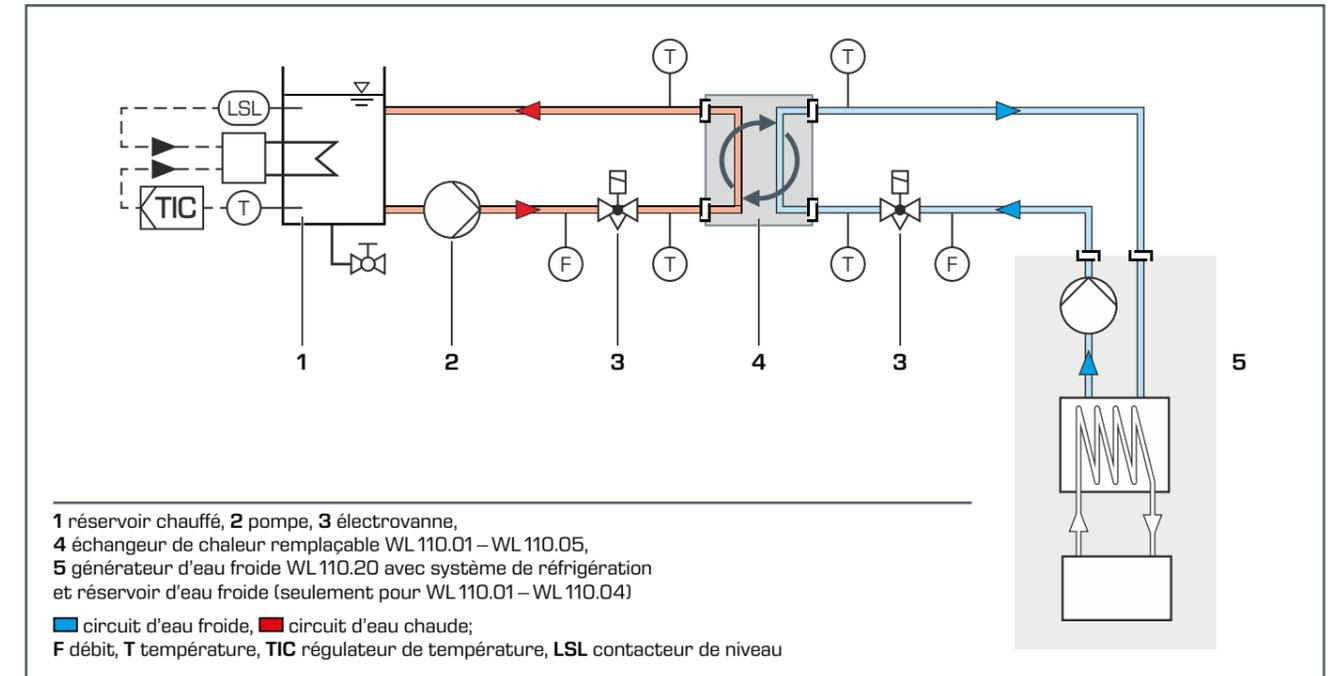
L'unité d'alimentation produit de l'eau chaude. Toutes les valeurs mesurées sont affichées sur l'écran tactile de l'appareil et peuvent être transmises via une connexion LAN/WLAN.

WL 110.20
Générateur d'eau froide

Le générateur d'eau froide permet de faire fonctionner les échangeurs de chaleur dans les conditions qui conviennent pour les essais.



- reconnaissance automatique des accessoires via la technologie RFID
- technologie permettant d'économiser l'énergie et l'eau, conception permettant de gagner de l'espace



Sur le produit:



WL 110.01
Échangeur de chaleur coaxial

- conception simple
- le tube extérieur transparent offre un espace d'écoulement visible
- possibilité de fonctionnement en courant parallèle ou en contre-courant



WL 110.02
Échangeur de chaleur à plaques

- conception compacte
- possibilité de fonctionnement en courant parallèle ou en contre-courant



WL 110.03
Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire

- tube à enveloppe transparente
- écoulement des médias en courant croisé parallèle et en contre-courant croisé



WL 110.04
Réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentín

- chauffage via l'enveloppe ou via le serpentín
- agitateur permettant un meilleur mélange du fluide



WL 110.05
Échangeur de chaleur tube à ailettes

- transfert de chaleur entre l'eau et l'air; fonctionnement à courant croisé
- augmentation de la surface de transfert de chaleur grâce aux ailettes sur les tuyaux

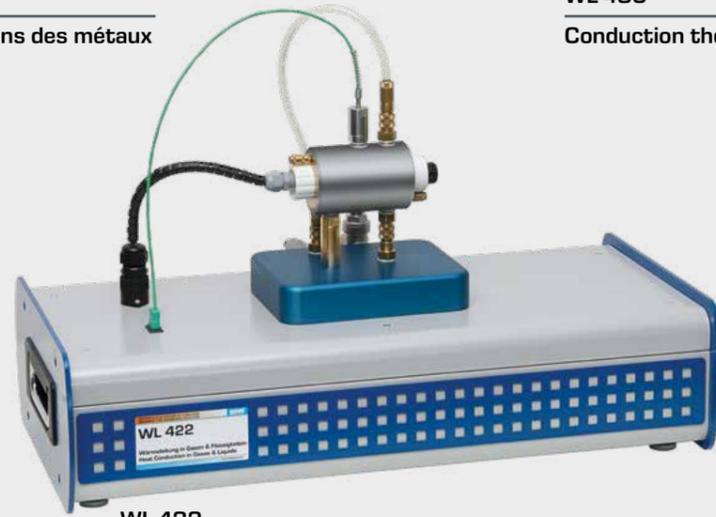
GUNT Thermoline principes de base du transfert de chaleur



WL 420
Conduction thermique dans des métaux



WL 430
Conduction thermique et convection



WL 422
Conduction thermique dans des fluides



WL 440
Convection libre et forcée



WL 460
Transfert de chaleur par rayonnement

Sur le produit:



Aperçu de produits

CE		
CE 100	Réacteur tubulaire	154
CE 110	Diffusion dans les liquides et les gaz	132
CE 115	Principes de base de la sédimentation	023
CE 116	Filtration sur gâteau et en profondeur	043
CE 117	Écoulement à travers des couches de particules	044
CE 130	Séchage par convection	090
CE 200	Caractéristiques d'écoulement de solide divisé	074
CE 210	Écoulement d'un solide divisé en sortie de silos	072
CE 220	Formation d'un lit fluidisé	078
CE 222	Comparaison des lits fluidisés	080
CE 225	Hydrocyclone	040
CE 235	Cyclone gaz	038
CE 245	Broyeur à billes	059
CE 250	Transport pneumatique	082
CE 255	Agglomération par bouletage	068
CE 264	Tamiseuse	016
CE 275	Aéroséparation	014
CE 280	Séparation magnétique	018
CE 282	Centrifugeuse à plateaux	036
CE 283	Filtre cellulaire à tambour	048
CE 284	Filtre Nutsche sous vide	050
CE 285	Préparateur de suspension	052
CE 286	Filtre Nutsche sous pression	051
CE 287	Filtre-presse à cadres et à plateaux	046
CE 310	Unité d'alimentation pour réacteurs chimiques	140
CE 310.01	Réacteur à cuve agitée continu	142
CE 310.02	Réacteur tubulaire	144
CE 310.03	Cascade de cuves agitées	146
CE 310.04	Réacteur à cuve agitée discontinu	148
CE 310.05	Réacteur à écoulement piston	150
CE 310.06	Réacteur à écoulement laminaire	152

CE 320	Agitation	062
CE 322	Rhéologie et qualité de mélange dans un réservoir agitateur	066
CE 380	Catalyse à lit fixe	160
CE 380.01	Analyse par injection en flux continu (FIA)	162
CE 400	Absorption de gaz	108
CE 405	Absorption à film tombant	110
CE 520	Cristallisation par refroidissement	120
CE 530	Osmose inverse	122
CE 540	Séchage de l'air par adsorption	112
CE 579	Filtration en profondeur	056
CE 583	Adsorption	116
CE 584	Oxydation avancée	168
CE 587	Flottation à l'air dissous	030
CE 588	Démonstration de la flottation à l'air dissous	032
CE 600	Rectification continue	098
CE 602	Rectification discontinue	100
CE 610	Comparaison de colonnes de rectification	102
CE 620	Extraction liquide-liquide	126
CE 630	Extraction solide-liquide	128
CE 640	Production biotechnique d'éthanol	196
CE 642	Installation de biogaz	200
CE 650	Installation de biodiesel	164
CE 701	Procédé à biofilm	176
CE 702	Traitement anaérobie de l'eau	190
CE 704	Procédé SBR	178
CE 705	Procédé à boues activées	182
CE 715	Évaporation à couche ascendante	092
CE 730	Réacteur airlift	186

HM		
HM 142	Séparation dans les réservoirs de sédimentation	026
HM 250	Principes de base de la mécanique des fluides	218
HM 250.01	Visualisation de l'écoulement tubulaire	218
HM 250.02	Mesure du profil d'écoulement	218
HM 250.03	Visualisation de lignes de courant	218
HM 250.04	Loi de la continuité	218
HM 250.05	Mesure des forces de jet	218
HM 250.06	Écoulement libre	218
HM 250.07	Théorème de Bernoulli	218
HM 250.08	Pertes dans les éléments de tuyauterie	219
HM 250.09	Principes de base du frottement du tube	219
HM 250.10	Évolution de la pression le long de la section d'entrée	219
HM 250.11	Canal ouvert	219

MT		
MT 174	Installation de tri	017

WL		
WL 110	Unité d'alimentation pour échangeurs de chaleur	220
WL 110.01	Échangeur de chaleur coaxial	220
WL 110.02	Échangeur de chaleur à plaques	220
WL 110.03	Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire	220
WL 110.04	Réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentins	221
WL 110.05	Échangeur de chaleur tube à ailettes	221
WL 110.20	Générateur d'eau froide	220
WL 420	Conduction thermique dans des métaux	222
WL 422	Conduction thermique dans des fluides	222
WL 430	Conduction thermique et convection	222
WL 440	Convection libre et forcée	223
WL 460	Transfert de chaleur par rayonnement	223

Installation pilotes		
ET 805	Steam power plant	215
IPP	Integrated Pilot Plant	204
IUI	Industrial Unit for Inspection	210
MMTS	Mechanical Maintenance Training Skid	208
MPTR	Main Process Training Rig	209
PPT	Process Pump Trainer	211
PST	Phase Separation Trainer	212
WaXTMT	Wellhead and Xmas-Tree Maintenance Trainer	214
WaXTOT	Wellhead and Xmas-Tree Operation Trainer	213



Contact

GSDE 181 rue Franz Liszt
F 73000 CHAMBERY

Tél : 04 56 42 80 70 Fax : 04 56 42 80 71

xavier.granjon@systemes-didactiques.fr



Consultez notre
page d'accueil
www.gunt.de

