

## Basisprincipe van centrifugale scheidingen

Centrifugale scheidingstechnieken kunnen worden toegepast voor het scheiden van een vastestof van een vloeistof of een vloeistof van een niet mengbare andere vloeistof waarvan beide fasen in dichtheid verschillen (bijv. emulsies).

Centrifugale scheidingen zijn bijzonder geschikt om te worden toegepast als:

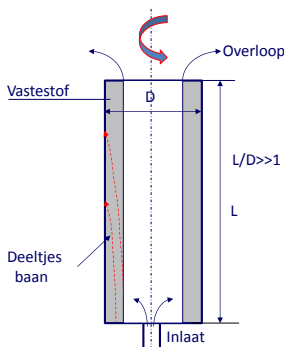
1. het dichtheidsverschil tussen de fasen klein is ( $10\text{-}50\text{ kgm}^{-3}$ )
2. de deeltjesgrootte klein is ( $0,5\text{-}500\text{ }\mu\text{m}$ )
3. viscositeit van de vloeibare fase "hoog" is ( $5\text{-}50\text{ mPas}$ )

Hoe werkt het: vergelijking met een bezinker:

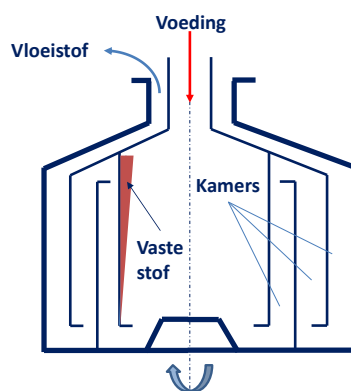
De sedimentatiecapaciteit van een bezinker is evenredig met de (versnelling van de) zwaartekracht ( $g=9,8\text{ ms}^{-2}$ ) en de af te scheiden deeltjes/druppel-diameter in het kwadraat ( $d^2$ ). Bij centrifugale scheidingen wordt de zwaartekracht vervangen door een centrifugaalkracht ( $\omega^2 r$ ) die honderden tot duizenden malen groter is dan de zwaartekracht. Verder is de sedimentatiecapaciteit van een bezinker evenredig met het sedimentatieoppervlak. Bij een bezinker kan dit oppervlak worden vergroot door een groot aantal schuine platen aan te brengen waarop het sediment neerslaat. Bij schotelcentrifuges is het sedimentatie oppervlak vergroot door een groot aantal conische schotels op kleine afstand van elkaar aan te brengen en bij andere uitvoeringsvormen (Evodos) een groot aantal spiraalvormige platen. Door het vergroten van de drijvende kracht en het sedimentatie oppervlak kan een centrifugaal scheider van beperkte afmetingen een capaciteit hebben van een bezinker die duizend tot honderdduizend maal groter is in oppervlak.

## Typen centrifugaal scheiders

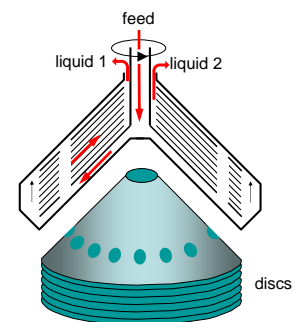
Wij onderscheiden hier zes typen centrifugaal scheiders: 1: buis, 2: kamer, 3: schotel, 4: filterende, 5: decanter en 6: spiral plate centrifugaal scheiders.



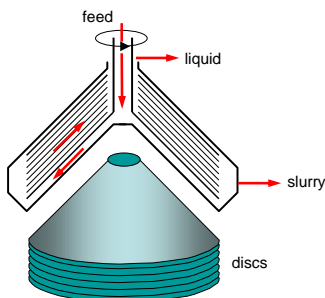
Figuur 1: Buiscentrifuge



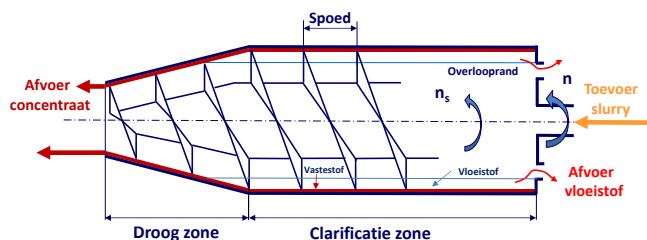
Figuur 2: Kamercentrifuge



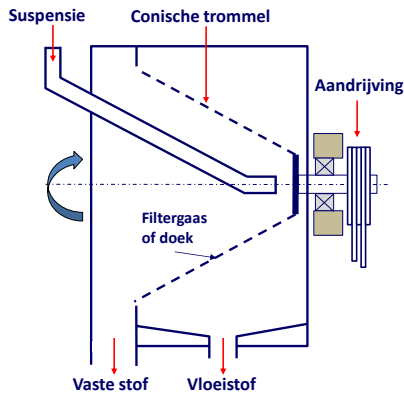
Figuur 3a: Schotelcentrifuge voor het scheiden van twee vloeistoffen



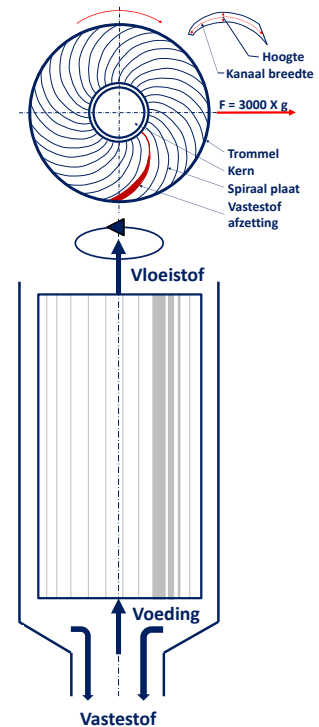
Figuur 2b: Schotelcentrifuge voor het scheiden van vastestof-vloeistof



Figuur 4: Decanter of scroll centrifuge



Figuur 5: Filtrerende centrifuge



Figuur 6: Evodos Spiral plate

### **Bepalen van de toepasbaarheid en capaciteit van centrifugaal scheiders**

De capaciteit van centrifugaal scheiders hangt af van de sedimentatiesnelheid van de te scheiden vaste stof in  $\text{ms}^{-1}$  en het klarificatieoppervlak van de machine uitgedrukt in  $\text{m}^2$ . Voor bijv. gist en bacteriecellen is de zwaartekracht sedimentatiesnelheid laag ( $10^{-6} - 10^{-8} \text{ms}^{-1}$ ). Bij grove kristallen is de sedimentatiesnelheid onder zwaartekrachtcondities hoog ( $0,5 - 5 \cdot 10^{-2} \text{ms}^{-1}$ ). Ook het vol% aan vastestof in de slurry is van belang. In Tabel 1 zijn enige karakteristieke data gegeven. Het zijn slechts richtwaarden. Voor exacte gegevens moet men zich tot de leverancier wenden.

Als eerste benadering kan de capaciteit worden berekend volgens de in de literatuur of door de fabrikant gegeven rekenmethode. Beter is een oriënterende sedimentatieproef uit te voeren in een swing-out centrifuge op het laboratorium. Als deze positief is, zullen uiteindelijk toch nog proeven moeten worden uitgevoerd op grote schaal. Dat kan, in het algemeen, alleen bij fabrikanten/leveranciers. Bij de keuze van een centrifuges spelen nog andere factoren een rol: schotel- afstand en -hoek, type vastestof lossing, type filtergaas of doek bij filtrerende centrifuges etc. Die factoren kunnen alleen met leverancierstesten worden vastgesteld. Het zelfde geldt voor decanters waar schroefspoed, verschil in toerental van schroef en mantel, een maat voor het vastestof transport, en de overlooprand (weir) hoogte van belang zijn voor een optimale scheidende werking.

Tabel 1 onderaan geeft een overzicht van de belangrijkste centrifugaal scheidertypen en hun werkgebied

Tabel 2 onderaan zet de kenmerken van de belangrijkste centrifugaal scheidingstechnieken op een rij

Tabel 1: Overzicht van de belangrijkste centrifugaal scheiderstypen en hun werkgebied

Centrifuge type	Werkwijze	Processing	g-kracht	Capaciteit	Voeding	Concentratie	$d_p$	Reiniging	Steriliteit
Eenheid	-	-	$\text{ms}^{-2} * 1000$	$\text{m}^3 \text{uur}^{-1}$	-	vol %	$\mu\text{m}$	-	-
Buis	batch	hand/auto	12-17	0,1 – 0,5	slurry	1 – 5	0,5 – 5	hand/cip	chemisch
Kamer	batch	handmatig	10	0,1 - 15	slurry	1 – 5	0,5 – 5	hand/cip	chemisch
Schotel S/L nozzle	continu	automatisch	5-13	0,5 – 100	slurry	1 – 25	0,5 – 500	cip	stoom
Schotel S/L bodemlosser	intermit.	automatisch	5 - 13	0,5 – 90	slurry	1 – 10	0,5 – 500	cip	stoom
Schotel L/L	continu	automatisch	4 ?	1 - 25	vloeistof	nvt	nvt	hand/cip	stoom
Decanter	continu	automatisch	3-10	0,5 – 350	slurry	5 – 60	5-10.000	hand/cip	chemisch
Filter	con/batch	hand/auto	0,5 - 2.5	0,1 – 35	slurry	10 – 60	10 - $2 \cdot 10^4$	cip	stoom
Spiral plate	intermit.	automatisch	3-4,5	0,75 – 25	slurry	3 - 60	0,5 - 2000	hand	--

Noot: dit zijn richtgetallen. Meer details en exactere cijfers worden gegeven door de leverancier/fabrikant

Capaciteit is hier de voedingscapaciteit

Tabel 2: Kenmerken van de belangrijkste centrifugaal scheidingstechnieken

Centrifuge type	Kenmerken
Buis	door hoge g-waarde geschikt voor kleine deeltjes echter in lage concentratie
Kamer	kamers worden "met de hand" leeggemaakt. Voor kleine batches in pharma
Schotel S/L nozzle	door nozzle lossing is de concentratie beperkt (afhankelijk van stromingseigenschappen)
Schotel S/L bodemlosser	bij bodem opening voor lossen wordt de voeding afgesloten, hogere concentratie mogelijk dan bij nozzles
Schotel L/L	geschikt voor het scheiden van emulsies met druppelgrootte vanaf $1\text{-}2\mu\text{m}$
Decanter	geschikt voor hoog geconcentreerde sticky voedingen met hoge (diluaat) viscositeiten
Filter	zorgt voor goede koekontwatering, koek kan gewassen worden en gedroogd
Spiral plate	snelle koeklossing door geautomatiseerde batch operatie, hoog eind vol.% bereikbaar zonder flocculanten

### **Variabelen bij het centrifuge proces**

Vrijwel alle centrifuge types kunnen, binnen gegeven grenzen, volledig automatisch hun werk doen, inclusief reiniging en desinfectie. Het gebeurt echter nogal eens dat de sedimentatie eigenschappen van de voeding flink kunnen variëren zoals dat bij fermentatie maar ook bij kristallisatie gebeurt of als een centrifugaal scheider als multi-purpose machine wordt ingezet bijv. in proeffabrieken. In die gevallen moet handmatig worden bijgesteld. Bij bestaande centrifuges liggen de machinegegevens en de constructie vast. Daarom is het aantal vrijheidsgraden beperkt. Uitgaande van een gegeven slurry (deeltjesgrootte, drogestof gehalte en viscositeit (van het centrifugaat)) zijn de instellingen, bij schotel en spiral plate centrifuges, die kunnen worden aangepast:

- invoer capaciteit
- verhouding diluaat/concentraat
- aantal en of grootte nozzles of aantal deellossingen per tijdseenheid
- viscositeitsvariatie (bijv. te veel vastestof) opvangen door verdunning
- toepassen van flocculanten

Variabelen bij decanter centrifuges:

- ✓ verschil toerental mantel-schroef
- ✓ invoer capaciteit
- ✓ verdunnen bij te hoog vol% vastestof
- ✓ overlooprand instellen
- ✓ flocculanten toevoegen

Variabelen bij filtrerende centrifuges:

- ❖ invoercapaciteit
- ❖ concentratie vastestof
- ❖ doek of screen aanpassen
- ❖ afhankelijk van het type: lossingstijd/duur aanpassen

### **Hygiëne, steriliteit en ATEX**

Centrifuges voor de pharma, biotechnologie en zuivel moeten aan hoge hygiënische standaarden voldoen. CIP-reiniging en stoomsterilisatie is standaard in deze sectoren. Dat maakt centrifuges complex en duur. Veelal zijn dit type centrifuges “volledig” geautomatiseerd, zowel bij het scheidings- als het reinigingsproces. Decanters zijn niet eenvoudig hygiënisch te houden. CIP reiniging is moeilijk uit te voeren en vereist veel ervaring. Reden waarom decanters voornamelijk buiten de voedingsmiddelen, pharma en biotechnologie worden gebruikt. Op dit moment is er nog geen hygiënische uitvoering van de spiral plate centrifuges. Vrijwel alle genoemde centrifugaal scheiders zijn verkrijgbaar in een explosievrije uitvoering. De algemene veiligheidseisen voor centrifuges zijn te vinden in NEN-EN12547:2014.

### **Energieverbruik**

Het energieverbruik per m<sup>3</sup> water verwijdering bedraagt voor een schotelcentrifuge ca 2-3 MJ. Dat is hoger dan bij (membraan)filtratie maar vele malen lager dan het verwijderen van water met bijv. indampen: 2000 - 2300 MJ per m<sup>3</sup> waterverdamping voor een eentraps- en 420 - 480 MJ voor een vijftrapsindamper. Bij de spiral plate wordt het energieverbruik gerelateerd aan het drogestof gehalte en niet aan de hoeveelheid verwijderd water: 0,10-0,20 kWh/kg ds (voor algen).

### **Voordelen centrifugale scheiding**

Centrifugale scheidingstechnieken kunnen worden ingezet voor een breed scala aan toepassingen: vloeistof/vastestof scheidingen; vloeistof/vloeistof scheidingen inclusief extractie en zelfs drie fasen scheiding is mogelijk. Centrifugaal scheiders zijn vele malen

effectiever dan zwaartekrachtsafscheiders (settlers) en kunnen in sommige gevallen grote en complexe filters vervangen. De meeste centrifugaal scheiders zijn CIP-reinigbaar en chemisch of stoom steriliseerbaar. Het centrifugeproces is volledig te automatiseren. Ook zijn er nog andere mogelijkheden met centrifuges. Zo kunnen vloeistof-vloeistof centrifugaal scheiders worden ingezet als extractor. Ook meertraps-tegenstroom extractie is mogelijk. Vastestof-vloeistof centrifugaal scheiders kunnen naast indikken ook worden ingezet voor het wassen/uitspoelen van de vaste stof. Drie centrifugaal scheiders in tegenstroom komen veelvuldig voor. Daarnaast kan de decanter worden ingezet voor vloeistof-vastestof extractie. Met filtrerende centrifuges kan de (kristal)koek worden gewassen en gedroogd. Kortom een centrifugaal scheider is een breed inzetbare "unit operation".

Centrifugaal scheiders zijn echter veel duurder dan filters en settlers en het onderhoud is complexer. Maar in veel gevallen is de centrifugaal scheider het enig overblijvende alternatief (pharma) en is de prijsvergelijking dan ook irrelevant.

## **Toepassingen**

### *Industriële biotechnologie:*

Met name schotelcentrifuges vinden toepassing in de biotechnologie. In de eerste plaats voor het afscheiden van cellen van een fermentatie vloeistof (broth). Maar ook voor het reinigen van melasse voordat het gebruikt wordt in de fermentor, het verwijderen van vastestof uit gistextracten en het klarificeren van cel homogenaten.

Voor het afscheiden van kristallen uit een moederloog bijv. bij de productie van antibiotica-derivaten worden meestal filtrerende centrifuges gebruikt. Het scheiden van algen van de kweekvloeistof voor de productie van biodiesel.

Omdat algen relatief groot zijn (kolonies tot 2000  $\mu\text{m}$ ) en een lage dichtheid hebben wordt hier vaak gekozen voor een spiral plate technologie ivm de vrije ruimte tussen de spiraal platen. Scheiding van water-glycerol bij de productie van biodiesel m.b.v. een schotelcentrifuge.

### *Farmaceutische biotechnologie:*

In de farmaceutische industrie worden centrifuges veelvuldig gebruikt bij het winnen van plasma uit menselijk bloed (verwijdering van rode en witte bloedlichaampjes), bij het maken van vaccins, plantenextracten, hormonen etc. Voor het scheiden van kristallen bijv. bij de productie van vitamines, insuline, aminozuren en andere pharma-producten worden veelvuldig filter centrifuges ingezet die volledig CIP reinigbaar zijn en vaak ook stoom steriliseerbaar zijn. Voor kleine producties van farmaceutische producten worden nog wel buis/kamer-centrifuges gebruikt.

### *Zuivel:*

In de zuivel worden veelal schotelcentrifuges gebruikt bijvoorbeeld bij het af/ontromen van melk (vloeistof/vloeistof scheiding), caseïne scheiding van wei en het indikken van kwark (vastestof/vloeistof scheiding) etc. Het isoleren en concentreren van startercultures (bijv. *Lactobacillus*) voor de bereiding van yoghurt

Melk en wei kunnen vaste verontreinigingen bevatten zoals bacteriën. Die kunnen verwijderd worden met een speciaal voor dit doel ontworpen schotelcentrifuges (bactofuges genoemd).

### *Eetbare oliën en vetten industrie:*

Het verwijderen van water en vastestof uit olijfolie, palm en notenolie wordt overwegend uitgevoerd met een vloeistof-vloeistof schotel centrifuge. Ontslimmen (degumming) van plantaardige oliën door toevoeging van heet water (fosfolipiden verwijdering), het verwijderen

van restanten fosfolipiden en zouten (Ca, Mg etc.) door toevoeging van fosforzuur of citroenzuur geschiedt veelal met schotelcentrifuges. Na het neutraliseren met NaOH worden de zeepen (soapstock) die daarbij ontstaan met schotelcentrifuges verwijderd.

*Chemische en metallurgische industrie:*

Scheiden van nitrobenzeen van afvalzuur en wassen van nitrobenzeen met water. Scheiden van katalysatoren en actieve kool uit reactie/gekleurde vloeistoffen. Concentreren van lakken, verven en pigmenten. Kooldeeltjes verwijderen uit kraak/roetolie. Proceswater van mijn en metallurgische industrie. Voor laaggeconcentreerde slurries met kleine deeltjes  $<<1000 \mu\text{m}$  worden veelal schotelcentrifuges gebruikt. Voor zware en hoog visceuze slurries worden decanters maar vooral spiral plate centrifuges ingezet.

*Voedingsmiddelen/dranken industrie:*

Voor het scheiden van zetmeel en zetmeelderivaten van afval/waswater worden ondermeer schotelcentrifuges ingezet. Afscheiden van sinaasappel en grapefruit pulp van sap geschiedt meestal met decanters. Spiral plate kan ook hier een rol van betekenis in spelen. Scheiding van gist en bier en afvalwater van brouwerijen gebeurt overwegend met schotelcentrifuges.

*Milieu:*

Het ontwateren van zuiveringsslib en mest is vooral het werkgebied van decanters en nu ook van de spiraal plate centrifuges. Zeer hoge capaciteit bij een hoog vol% vastestof. Het scheiden van vruchtwater van aardappelpulp. Vetverwijdering uit slachtafvalwater. Dit gebeurt zowel met schotel, decanter als spiral plate centrifugaal scheidings

### ***Bekende leveranciers:***

AlfaLaval: schotelcentrifuges, decanters idem

Evodos: spiral plate technologie o.a. voor biomassa (algen etc.)

Flottweg: decanters

Pieralisi: schotelcentrifuges, (extractie)-decanters

Rousselet: filtrerende centrifuges

Sharples/Pennwalt: buiscentrifuges, decanters (rinsing bowl centrifuges)

Siebtechnik: filtrerende centrifuges, decanters

Westfalia: schotelcentrifuges, (extractie)-decanters

### ***Literatuur:***

J.A. Wesselingh, J. Krijgsman: Biotechnology, Downstream, Delft Academic Press, 2016

L. Svarovsky, Solid-Liquid separation 4ed, Butterworths, 2001