



Waardevermeerdering co-producten uit humane voeding

Literatuuronderzoek naar scheidings- en opwerkmethoden

Dick A.J. Starmans en Carola M.C. van der Peet-Schwering

RAPPORT 1276



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Waardevermeerdering co-producten uit humane voeding

Literatuuronderzoek naar scheidings- en opwerkmethoden

Dick A.J. Starmans en Carola M.C. van der Peet-Schwering

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research als onderdeel van de Publiek Private Samenwerking (PPS) "Circulaire Bio-economie" (TKI-AF-17027), en gefinancierd door de partners in de PPS en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Wageningen Livestock Research
Wageningen, oktober 2020

Rapport 1276

Starmans, D.A.J., C.M.C. van der Peet-Schwering, 2020. *Waardevermeerdering van co-producten uit humane voeding; Literatuuronderzoek naar scheidings- en opwerkmethoden*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1276.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/532558> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties)

Met dank aan Wageningen Food and Biobased Research voor de foto van de laboratorium opstelling op de voorkant van dit rapport.

Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2020
De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1276

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Aanpak	9
2	Overzicht van co-producten	10
3	Technieken	13
	3.1 Generiek: Opdelen en mengen	13
	3.2 Scheiding door zwaartekracht	14
	3.3 Scheiding door filtratie	14
	3.4 Scheiding met membranen	15
	3.4.1 Microfiltratie met poreuze membranen	15
	3.4.2 Ultrafiltratie met poreuze membranen	15
	3.4.3 Nanofiltratie (hyperfiltratie) en omgekeerde osmose met non-poreuze membranen	16
	3.5 Scheiding / behandeling door flocculatie	17
	3.6 Scheiding door centrifugeren	18
	3.7 Scheiding door persen	19
	3.8 Behandeling vloeibare fase door kristallisatie	20
	3.9 Behandeling vloeibare fase door ionenwisseling	22
	3.10 Behandeling vloeibare fase door adsorptie	23
	3.11 Behandeling vaste fase door extractie	23
4	Aanbevelingen	25
	4.1 Strategie bij opwerking	25
	4.1.1 Strategie met voorbeeld-element fosfor	25
	4.2 Maisweekwater	26
	4.3 Bierbostel	27
	4.4 Tarwegistconcentraat	27
	4.5 Weipermeaat	27
5	Conclusies	29
	Literatuur	30
	Bijlage 1 CVB Productinformatieblad Maisweekwater	31
	Bijlage 2 CVB Productinformatieblad Bierbostel	32
	Bijlage 3 CVB Productinformatieblad Tarwegistconcentraat	33
	Bijlage 4 Productinformatieblad lactose- en weipermeaat	34

Woord vooraf

Het onderzoek "Waardevermeerdering van co-producten uit humane voeding; Literatuuronderzoek naar scheidings- en opwerkmethoden" is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research als onderdeel van de Publiek Private Samenwerking (PPS) "Circulaire Bio-economie", en gefinancierd door de partners in de PPS en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. De auteurs bedanken de leden van de werkgroep Feed Karel van der Velden (Nijssen Granico), Martin de Groot (Bonda), Ageeth van der Lee (Feed Design Lab), Gerard Raedts (Vitelio Voeders B.V.), Ad van de Ven (ABZ Diervoeding), Sharon van Schaijk (Agruniek Rijnvallei) en Iris Zweekhorst (Coppens Diervoeding) voor hun waardevolle en inspirerende inhoudelijke bijdrage aan het onderzoek. Met name de kennis van Karel, Martin en Ageeth over co-producten uit de humane voeding was van grote waarde voor een goede uitvoering van het project.

Projectleiders

Carola van der Peet-Schwering en Ellen van Eerden (Schothorst Feed Research)

Samenvatting

De Nederlandse diervoedersector, heeft in samenwerking met andere ketenpartijen, de ambitie om door het opwaarderen van co-producten een grote bijdrage te leveren aan de Nederlandse circulaire economie en verduurzaming van het grondstofgebruik. Co-producten bestaan uit nutriënten (zoals suikers, zetmeel, vetten, eiwitten, vezels en mineralen) die, mits geïsoleerd uit de grondstoffen, mogelijk een hogere voederwaarde hebben en beter ingezet kunnen worden (diergroep specifiek). Anderzijds kunnen co-producten ook nutriënten bevatten (zoals bijv. as en mineralen) die de voederwaarde van het co-product verlagen. Als deze nutriënten uit het co-product geïsoleerd kunnen worden of als anti nutritionele factoren geïnactiveerd kunnen worden, kan daarmee de voederwaarde van het co-product verbeterd worden. Om nutriënten uit co-producten te isoleren is onderzoek nodig naar welke processen/methoden hiervoor geschikt zijn.

In dit rapport is eerst een overzicht gegeven van vochtrijke en droge co-producten uit de levensmiddelenindustrie die gevoerd kunnen worden aan varkens en die mogelijk in aanmerking komen om verder bewerkt te worden. Uit dit overzicht bleek dat de co-producten maisweekwater, bierbostel, tarwegistconcentraat en weipermeaat mogelijk interessant zijn om verder te bewerken. Vervolgens zijn diverse scheidings- en behandeltechnieken beschreven om nutriënten uit co-producten te isoleren. Deze technieken zijn welbeproefd, betrouwbaar en tegen acceptabele kosten te realiseren op praktijkschaal. Tot slot zijn voor de co-producten maisweekwater, bierbostel, tarwegistconcentraat en weipermeaat de meest kansrijke opwerkingstechnieken nader uitgewerkt en onderbouwd. Deze eerste analyse kan als leidraad dienen voor verder onderzoek op laboratorium en praktijkschaal.

1 Aanpak

De Nederlandse diervoedersector, heeft in samenwerking met andere ketenpartijen, de ambitie om door het opwaarderen van co-producten een grote bijdrage te leveren aan de Nederlandse circulaire economie en verduurzaming van het grondstofgebruik. Tijdens het produceren van levensmiddelen ontstaan er naast het hoofdproduct ook andere producten. Dit noemen we co-producten (Grondstoffenwijzer Nevedi, 2019). In de huidige diervoeders worden veel co-producten verwerkt die overblijven, nadat er uit het oorspronkelijke product fracties zijn verwijderd voor humane consumptie. Voorbeelden hiervan zijn tarwegries en aardappelstoomschillen, maar ook bierbostel dat overblijft bij het bierbrouwproces. Daarnaast worden ook neven- of restproducten uit de humane voedselketen (voormalige levensmiddelen) verwerkt in diervoeder. Voorbeelden hiervan zijn o.a. brood, deegwaren, taarten en koekjes, snijresten, snoep en chocolade en (vloeibare) suikerstromen. Het betreft producten zonder gezondheidsrisico's, maar omdat ze bijna de uiterste consumptiedatum hebben bereikt, verkeerd verpakt zijn of afwijkend zijn van vorm of smaak voldoen ze niet meer aan de strenge normen voor humane consumptie.

Co-producten bestaan uit nutriënten (zoals suikers, zetmeel, eiwitten, vetten, vezels en mineralen) die, mits geïsoleerd uit de grondstoffen, mogelijk een hogere voederwaarde hebben en beter ingezet kunnen worden (diergroep specifiek). Anderzijds kunnen co-producten ook nutriënten bevatten (zoals bijv. as, mineralen en vezels) die de voederwaarde van het co-product verlagen. Als deze nutriënten uit het co-product geïsoleerd kunnen worden of als anti nutritionele factoren geïnactiveerd kunnen worden, kan daarmee de voederwaarde van het co-product verbeterd worden.

Om nutriënten uit co-producten te isoleren is onderzoek nodig naar welke processen/methoden hiervoor geschikt zijn. Door co-producten te processen zijn voordelen te behalen op het gebied van verbeteren van transportefficiency, verhogen aandeel co-producten in diervoer, verlagen footprint en gericht inzetten voor specifieke diergroepen.

Het doel van dit literatuuronderzoek is een overzicht geven van processen en technieken die geschikt zijn om nutriënten uit co-producten te isoleren. In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van vochtrijke en droge co-producten uit de levensmiddelenindustrie die gevoerd kunnen worden aan varkens en die mogelijk in aanmerking komen om verder bewerkt te worden. In hoofdstuk 3 worden vervolgens technieken beschreven die kunnen worden toegepast om de concentratie nutriënten te verhogen. Daarnaast worden technieken beschreven die kunnen worden toegepast om de concentratie van opgeloste mineralen (fosfor, as, sulfaat, natrium etc.) in vloeibare co-producten te verlagen. Tot slot worden in hoofdstuk 4 de meest veelbelovende technieken, om nutriënten uit enkele vloeibare co-producten te isoleren, verder onderbouwd.

2 Overzicht van co-producten

Bij het produceren van humane voeding ontstaan producten, zogenaamde co-producten, die niet voor humane consumptie geschikt zijn, maar die wél geschikt zijn om te verwerken in diervoeders. De tabellen 2.1 t/m 2.9 geven een overzicht van beschikbare co-producten, afkomstig uit verschillende takken van de levensmiddelenindustrie. Bij elk co-product is, in nauw overleg met de leden van de werkgroep Feed, aangegeven of het interessant is om het verder te bewerken waarbij of het nutriënt dat uit het co-product geïsoleerd wordt en/of het resterende co-product een betere voederwaarde heeft dan het oorspronkelijke co-product en geschikt is als diervoedergrondstof. Co-producten die in aanmerking komen voor verdere bewerking zijn in lichtgroen aangegeven. Deze producten worden in hoofdstuk 4 nader onder de loep genomen.

Tabel 2.1 Co-producten uit de zetmeel industrie

Zetmeel Industrie			
Product	Vorm	Rijk aan zetmeel, eiwit, vet of vezels	Komt in aanmerking voor verdere bewerking?
Tarwezetmeel	Vloeibaar	Zetmeel	Nee, is goed product, niet te verbeteren
Tarwegluten	Vloeibaar en droog	Eiwit	Nee, is incidenteel product, gaat normaal naar food
Tarweglutenvoer (combinatie van tarwegries en tarwegistconcentraat)	Droog	Eiwit en vezels	Nee, is een combinatie product
Maisglutenvoer	Steekvast en droog	Eiwit en vezels	Nee, is goed product, niet te verbeteren
Maisgluten	Vloeibaar en droog	Eiwit	Nee, is incidenteel product
Maiszetmeel	Droog	Zetmeel	Nee, is goed product, niet te verbeteren
Maisweekwater	Vloeibaar	Eiwit	Mineralen eruit halen, zoals fosfor, is mogelijk interessant om voederwaarde maisweekwater te verhogen. Nagaan welke methoden er zijn om mineralen te halen uit vloeibare, mineraalrijke producten.
Glucose	Vloeibaar	Suikers	Nee, is goed product, niet te verbeteren
Co-producten granen zoals tarwegries, -zemelen, -bloem etc.	Droog	Vezels of zetmeel	Nee, producten hebben een lange houdbaarheid omdat het droge producten zijn; tarwebloem is een incidenteel product.

Tabel 2.2 Co-producten uit de aardappelverwerkende industrie

Aardappelverwerkende Industrie			
Product	Vorm	Rijk aan zetmeel, eiwit, vet of vezels	Komt in aanmerking voor verdere bewerking?
Aardappelstoomschillen (ASS)	Vloeibaar	Zetmeel	Nee, is vrij laagwaardig product. Zetmeel is het meest hoogwaardig in ASS. Bij dun schillen zit er weinig zetmeel in. Verder scheiden is niet echt waardevermeerdering. Als je er al zetmeel uit kunt halen, gaat dit naar food en niet naar feed.
Aardappelzetmeel rauw	Vloeibaar	Zetmeel	Nee, weinig gevoerd aan varkens
Aardappelzetmeel rauw	Steekvast	Zetmeel	Nee, weinig gevoerd aan varkens
Aardappelzetmeel, ontsloten	Vloeibaar	Zetmeel	Nee, is goed product, niet te verbeteren
Aardappelsnippers	Steekvast	Zetmeel	Nee, weinig gevoerd aan varkens
Voorgebakken frites	Steekvast	Zetmeel	Nee, weinig gevoerd aan varkens

Tabel 2.3 Co-producten uit de suiker industrie

Suiker Industrie			
Product	Vorm	Rijk aan zetmeel, eiwit, vet of vezels	Komt in aanmerking voor verdere bewerking?
Bietenperspulp	Steekvast en droog	Vezels	Nee; extractie van rubisco eiwit uit bietenblad is een gepatenteerde techniek. Er ligt hier geen perspectief voor deze werkgroep.
Cichorei perspulp	Steekvast	Vezels	Nee, inuline wordt er al uitgehaald
Melasse	vloeibaar	Suikers	nee

Tabel 2.4 Co-producten uit de bierbrouwerij

Bierbrouwerij			
Product	Vorm	Rijk aan zetmeel, eiwit, vet of vezels	Komt in aanmerking voor verdere bewerking?
Bierbostel	Stapelbaar en droog	Eiwit en vezels	In het deelproject "Verlaging van P-gehalte in grondstoffen" is gekeken of er P uit bierbostel geëxtraheerd kan worden. Dit leek niet succesvol. Is het met een andere techniek wel mogelijk?
Biergist/biergistconcentraat	Vloeibaar en droog	Eiwit	Nee, grootste deel wordt al gedroogd
Biervlokken	Vloeibaar	Eiwit en zetmeel	Nee, kleine stroom
Voerbier	Vloeibaar	Eiwit	Nee, kleine stroom

Tabel 2.5 Co-producten uit de fermentatie industrie

Fermentatie Industrie			
Product	Vorm	Rijk aan zetmeel, eiwit, vet of vezels	Komt in aanmerking voor verdere bewerking?
Tarwegistconcentraat (TGC)	Vloeibaar	Eiwit	Er is onderzocht of fosfor uit (TGC) gehaald kan worden. In sommige varianten TGC (niet alle) zit sulfaat dat is toegevoegd als zwavelzuur tijdens het productieproces om de pH te reguleren. Elders in het proces wordt ook nog natronloog toegevoegd waardoor er in enkele varianten ook veel Na zit. Kunnen sulfaat en natrium eruit gehaald worden om TGC waardevoller te maken?
Gistcelwanden	Vloeibaar	Eiwit (hoogwaardig eiwit)	Nee, is incidenteel product

Tabel 2.6 Co-producten uit de zuivel industrie

Zuivel Industrie			
Product	Vorm	Rijk aan zetmeel, eiwit, vet of vezels	Komt in aanmerking voor verdere bewerking?
Kwarkwei, kaaswei en voerwei	Vloeibaar	Eiwit en suikers	Nee, de zuivelindustrie haalt zelf de waardevolle producten er al uit
Weipermeaat	Vloeibaar	Lactose	Hoe kun je mineralen eruit halen? Kan er nog fosfor en as uitgehaald worden zodat de voederwaarde van weipermeaat toeneemt? Welke technieken zijn er om as eruit te halen?

Tabel 2.7 Co-producten uit de bakkerij en deegwaren industrie en uit de zoetwarenindustrie

Bakkerij en deegwaren industrie			
Product	Vorm	Rijk aan zetmeel, eiwit, vet of vezels	Komt in aanmerking voor verdere bewerking?
Brood, biscuits, wafels, deegwaren	Droog en stapelbaar	Zetmeel	Nee, hebben hoge nutritionele waarde. Onttrekken van nutriënten is niet interessant. Drogen van nattere producten maakt houdbaarheid iets langer, maar past niet in deze PPS. In nutritionele zin ben je niet met waardevermeerdering bezig.
Snoep, chocolade, koek	Droog	Suikers en energie	Nee, zie bakkerijproducten

Tabel 2.8 Co-producten uit groente en fruitafval

Zoetwaren Industrie			
Product	Vorm	Rijk aan zetmeel, eiwit, vet of vezels	Komt in aanmerking voor verdere bewerking?
Appelpulp	Steekvast	Vezels en suikers	Nee, seizoensgebonden. Geen grote volumes, bevat geen interessante nutriënten om eruit te halen.
Erwteneiwit	Vloeibaar	Eiwit en suikers	Nee, seizoensgebonden product
Erwten crème	Vloeibaar	Eiwit en zetmeel	Nee, seizoensgebonden product
Producten van groente bereiding en verwerking	Vloeibaar	Vezels	Nee, Grassa apparaat om sap er uit te halen, en uit de sap de nutriënten te halen is er nog niet. Groenten zijn nat, moeten eerst gedroogd worden, is te duur. Nu gaan de natte producten naar de koeien.
Groenten die op het land blijven liggen		Vezels, suikers en eiwit	Nee, te prematuur; eerst moeten schone groenten rendabel zijn.
Producten van fruit en sap bereiding en verwerking	Vloeibaar	Vezels en suikers	Gaan waarschijnlijk naar vergister en rundvee en mogelijk naar insecten. Verpompbaar product is noodzakelijk!

Tabel 2.9 Co-producten uit de diverse overige industrieën

Diversen			
Product	Vorm	Rijk aan zetmeel, eiwit, vet of vezels	Komt in aanmerking voor verdere bewerking?
Sojaschroot	Droog	Eiwit	Nee
Raapzaadschroot	Droog	Eiwit	Nee
Zonnebloemzaadschroot	Droog	Eiwit	Nee
Sojadrnk	Vloeibaar	Eiwit en vet	Nee, klein volume
Sojapasta	Vloeibaar	Eiwit	Nee, klein volume
Algenpasta	Vloeibaar	Eiwit	Nee, het is nu nog een kleine stroom en wordt m.n. gebruikt voor petfood, aqua en humaan. Verwacht wordt dat het de komende jaren niet interessant is voor gebruik in varkens- of pluimveevoeding.

Uit bovenstaande tabellen blijkt dat de co-producten maisweekwater, bierbostel, tarwegistconcentraat en weipermeaat mogelijk interessant zijn om verder te bewerken. De centrale vraag is: hoe kunnen opgeloste mineralen (fosfor, as, sulfaat, natrium etc.) uit vloeibare producten gehaald worden? Welke processen/methoden/technieken zijn hiervoor geschikt?

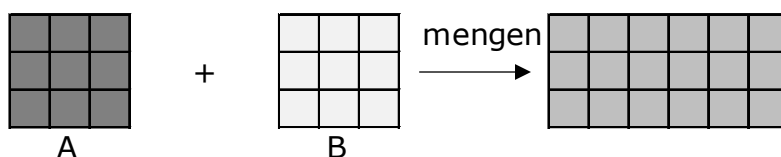
3 Technieken

In dit hoofdstuk worden de mogelijke technieken besproken die gebruikt kunnen worden bij het opwerken van co-producten met een gemengde vloeibare en vaste fase. Afhankelijk van de chemische aard en verdeling van de surplus-nutriënten over de vloeibare en vaste fase in het co-product, is het nodig om deze fasen te scheiden voordat overgegaan kan worden tot behandeling.

Na een generieke paragraaf over opdelen en mengen als meest eenvoudige vorm van scheiding- en behandeltechniek voor het opwerken van producten, worden daarna specifieke scheiding- en behandeltechnieken apart besproken. Hierbij is gebruik gemaakt van Mulder (1992), Perry and Green (1984) en Sinnot (2001).

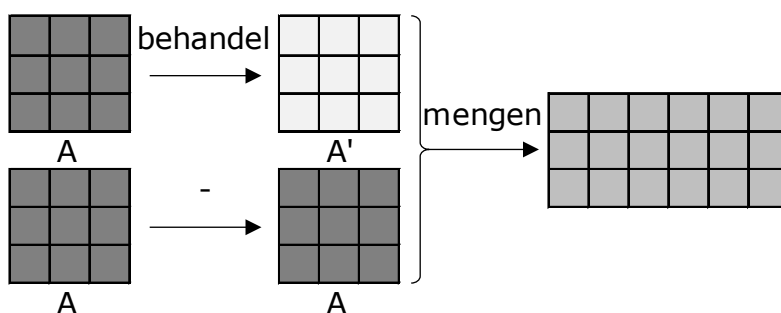
3.1 Generiek: Opdelen en mengen

Veruit de meest eenvoudige oplossing om de concentratie van nutriënten te verminderen is het mengen van een co-product A met een tweede product B dat deze nutriënten niet, of in veel mindere mate bevat. Deze techniek wordt toegepast bij het optimaliseren van mengvoeders en rantsoenen voor varkens. Belangrijk is de homogeniteit van het eindproduct, waardoor de concentratie van de probleemstoffen de veevoer-limiet niet overstijgt.



Opdelen en mengen kan ook worden toegepast zónder een tweede product. Stel we hebben een co-product A waaraan we geen waarde kunnen toekennen omdat het niet als veevoeder gebruikt kan worden omdat de concentratie van één van de samenstellende componenten te hoog is (de probleemstof in dit voorbeeld). Als slechts een deel van co-product A wordt behandeld tot co-product A', dan is het mogelijk om beide co-producten A en A' samen te voegen tot een nieuw co-product waarvan de concentratie van de probleemstoffen zijn teruggebracht tot acceptabele waarden. Hierdoor krijgt het complete product A een waarde, omdat het na een afdoende homogeniserende menging nu geschikt is als voedermiddel.

opdelen



Het grote voordeel van deze toepassing is de schaal van de apparatuur die nodig is voor de opwerking van co-product A: Slechts een deel van de totale massastroom A passeert immers de opwerkingsapparatuur, niet de complete stroom A. Dit heeft een positieve impact op de benodigde investering (aanschaf en onderhoudskosten van de apparatuur) en operationele kosten (vaste lasten

en energiekosten) die nodig zijn voor de beoogde zuivering. De economische afweging voor de zuivering is gestoeld op de waardevermeerdering van de complete stroom A.

3.2 Scheiding door zwaartekracht

De drijvende kracht voor scheiding door zwaartekracht is het verschil in dichtheid tussen de vaste en vloeibare fase. Fysieke factoren van de vaste fase, zoals deeltjesgrootte en de mate van samenhang van individuele deeltjes zijn hierop van invloed. Grote, zware, goed gedefinieerde deeltjes laten zich gemakkelijker scheiden dan kleine, lichtere, of meer vlokkige deeltjes. Het eindresultaat van een scheiding op zwaartekracht in het eerste geval is beduidend beter (hoge dichtheid tot wel 80 massa% van de deeltjes-fase) dan het tweede geval (met een dichtheid van soms maar 10 massa%).

Scheiding door zwaartekracht kan worden uitgevoerd met zogenaamde indikkers en apparatuur voor de klaring (het helder maken) van vloeibare stromen. Er kunnen hulpstoffen worden toegevoegd die de aard van de deeltjes wijzigen, waardoor een beter scheidingsresultaat bereikt kan worden (Bache and Ross, 2007).

3.3 Scheiding door filtratie

Filtratie van een vast-vloeibaar mengsel is een scheiding waar het grootste deel van de vloeibare fase door een poreuze barrière gaat, terwijl de vaste fase wordt tegengehouden. De barrière kan bestaan uit een metalen plaat met gaten ("mesh"), doekmateriaal, papier of zelfs een hoeveelheid vast materiaal (denk hierbij aan de filtratie van drinkwater in de duinen).

Toepasbaarheid van filtratie op co-producten wordt bepaald door de aard van de vaste fase en hoe deze zich gedraagt als deze zich afzet als een extra laag op het barrière materiaal tijdens de filtratie. In alle gevallen is de drijvende kracht voor filtratie de stroomsnelheid keer de totale weerstand tegen transport (de som van de weerstand van de barrière en de verzamelde laag vaste deeltjes).

Bij vlokkige deeltjes worden over het algemeen betere resultaten gekregen als de filtratie langzamer wordt opgestart, bij een lagere vloeistofdruk. Dit type deeltjes wordt op deze manier niet té snel samengedrukt tot een slecht doorlatende laag bovenop het barrière materiaal, waardoor er uiteindelijk meer materiaal kan worden gefiltreerd. Op een overeenkomstige manier kan in sommige gevallen een slecht filterresultaat verbeterd worden door toevoeging van hulpstoffen die een losse, goed doorlatende laag bovenop het barrière materiaal vormen. Voorbeelden hiervan zijn diatomee-aarde (silica-verbinding) en cellulose vezel uit gemalen houtpulp.

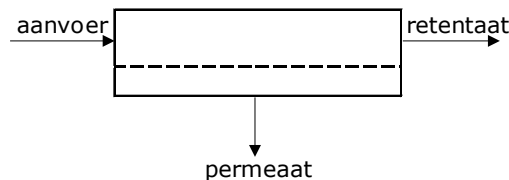
Naarmate de slecht doorlatende laag op het barrière materiaal dikker wordt, neemt de filtratiecapaciteit af. Om het filtratiedebiet op peil te houden kan deze laag worden verwijderd door een mechanische schraper of door middel van een tijdelijk omkeren van de vloeistofstroom. In beide gevallen wordt de 'wasvloeistof' als een apart product opgevangen. Bij een normale scheiding wordt ongeveer 2x het volume van de aangegroeide laag als hoeveelheid wasvloeistof aangehouden. Hiermee kan ongeveer 90% van de aangegroeide laag worden verwijderd.

Om te bepalen welk filtermateriaal het meest geschikt is voor een bepaald vast-vloeibaar mengsel hebben fabrikanten vaak testmateriaal beschikbaar.

Scheiding door filtratie kan worden uitgevoerd in batch of continu. Er zijn veel apparaten ontwikkeld voor specifieke scheidingen door filtratie, waaronder plaat filters, buisfilters, centrifuge-scheiders en scheiders met roterende filterschijven, bandfilters en meer. Om een juiste keuze te kunnen maken moet er onder andere rekening gehouden worden met de aard van het te scheiden mengsel, de gewenste doorzet, de randvoorwaarden die betrekking hebben op de te gebruiken hulpstoffen, de benodigde scheidingsefficiëntie en de toelaatbare hoeveelheid deeltjes in de afgescheiden vloeibare fase.

3.4 Scheiding met membranen

Scheiding met behulp van membranen lijkt op filtratie, maar de deeltjes die door een membraan gaan zijn veel kleiner. De membranen zijn te classificeren in twee groepen: de membranen met gaatjes (poreuze membranen) en membranen zonder gaatjes. Deze twee groepen maken elk op hun eigen manier onderscheid of deeltjes er wel of niet doorheen kunnen. Poreuze membranen maken onderscheid tussen de afmeting van deeltjes, terwijl de non-poreuze membranen onderscheid maken tussen de chemische affiniteit van de deeltjes voor het membraanmateriaal.



Figuur 3.1 Schematische tekening van een membraan module die een aangevoerde stroom opsplijst in permeaat (de stroom die door het membraan ---- is gegaan) en retentaat (de stroom die overblijft).

Net als bij gewone filtratie ontstaat er bij membraanfiltratie tijdens het filtratieproces een laag van moleculen op het membraan die er niet doorheen kunnen. Dit proces van vervuiling, hier genaamd concentratiepolarisatie, vergroot eveneens de weerstand van transport van deeltjes door het membraan. Ook hier kan deze laag worden afgebroken door mechanische reiniging en/of het toepassen van een omgekeerde stroom wasvloeistof.

Een van de grote voordelen van de toepassing van membranen voor het scheiden van materialen is dat het scheidingsproces continu kan worden voortgezet omdat er relatief eenvoudig gewerkt kan worden met meerdere parallel geplaatste units die alternerend in bedrijf en schoongemaakt kunnen worden. Andere voordelen zijn de relatief lage energieconsumptie, de milde procesomstandigheden waaronder de scheiding verloopt, het gemak waarmee kan worden opgeschaald naar behoefte en het niet hoeven toepassen van additieven.

Nadelen van membraanscheidingen zijn concentratiepolarisatie/membraanvervuiling, de relatief korte levensduur van membranen en de lage selectiviteit ten aanzien van de doorstromende deeltjes.

3.4.1 Microfiltratie met poreuze membranen

Microfiltratie membranen hebben gaatjes met een afmeting die ligt tussen 100 en 10000 nm. Ter vergelijking: een mensenhaar van 0.1 mm is 1000x zo groot als het kleinste gaatje in een microfiltratie membraan. Deze afmeting maakt microfiltratie membranen geschikt voor toepassingen waar deeltjes die groter zijn dan 100 nm verwijderd moeten worden uit een vloeistof. Voorbeelden uit de industrie hiervan zijn:

- Sterilisatie van dranken
- Afvalwaterzuivering
- Klaren van fruitsappen, wijn en bier
- Het maken van gezuiverd water

Microfiltratie wordt normaal gesproken uitgevoerd onder een werkdruk die kleiner is dan 2 Bar.

3.4.2 Ultrafiltratie met poreuze membranen

Ultrafiltratie membranen hebben gaatjes met een afmeting die ligt tussen 2 en 50 nm. Met behulp van deze kleine gaatjes kunnen macromoleculen zoals eiwitten en zetmeel worden tegengehouden. De grens hiervan wordt bepaald door de lengte van deze macromoleculen, of daarvan afgeleid, hun

moleculairgewicht. Globaal kan er gezegd worden dat stoffen met moleculairgewichten in de range van 500 tot 2000 gram/mol of hoger kunnen worden tegengehouden. Deze ondergrens is variabel, omdat het transport afhankelijk is van de fysische eigenschappen van het onderhavige macromolecuul. Voorbeelden uit de industrie hiervan zijn:

- Bewerking van melk en wei-producten
- Concentreren van voedselstromen met aardappelzetmeel en eiwit

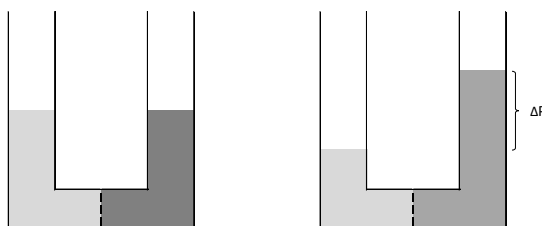
Ultrafiltratie wordt normaal gesproken uitgevoerd onder een werkdruk die ligt tussen 1 en 10 Bar.

3.4.3 Nanofiltratie (hyperfiltratie) en omgekeerde osmose met non-poreuze membranen

Nanofiltratie membranen hebben geen gaatjes. Deze membranen bestaan uit polymeren die een aaneengesloten laag vormen. Transport door dergelijke membranen kan plaatsvinden doordat de moleculen die worden getransporteerd, "oplossen" in deze vaste fase, zich door de nauwe ruimte (< 2 nm) tussen de polymeren bewegen. Dit houdt in dat alleen kleine moleculen het membraan kunnen passeren.

Osmose

Een voorbeeld van nanofiltratie is het transport van water door een membraan met hydrofiele eigenschappen (bijvoorbeeld Cellulose tri-acetaat). Transport van water door membranen heet osmose. Dit is in de natuur een veel voorkomend proces. Water stroomt bij osmose spontaan van een fase met een lage concentratie zout naar een plaats met een hoge concentratie zout. De drijvende kracht hiervoor is entropiewinst: de natuur streeft naar een situatie met de meeste wanorde.



Figuur 3.2 Initiële situatie (links) en situatie na transport van water (rechts) met in lichtgrijs zuiver water en donkerder grijs water opgeloste deeltjes en het gestreepte membraan daartussen

Als een nanofiltratie membraan wordt geplaatst in een systeem met twee compartimenten die zijn gevuld met respectievelijk zuiver water en zout water (figuur 3.2), dan zal er water naar rechts, de zoute kant stromen. Dit gaat niet ongelimiteerd door, omdat er door de stijging van het waterniveau aan de zoute kant, er een tegenwerkende druk ontstaat: in de evenwichtstoestand is de waterkolom gelijk aan de osmotische druk van de deeltjes uit het rechtercompartiment.

Omgekeerde osmose

Bij omgekeerde osmose spreken we letterlijk van het omgekeerde osmose-proces zoals hierboven beschreven. Bij omgekeerde osmose passen we druk toe om het water terug te duwen, tegen de natuurlijke stroom in. Hiervoor moet daarom minimaal de osmotische druk van de zouten in de rechterkolom worden overwonnen. Omgekeerde osmose is dus altijd een methode om water uit een oplossing te halen.

Voorbeelden uit de industrie zijn:

- Waterwinning uit zeewater en brak water
- Productie van zeer zuiver water
- Concentreren van sap, suikeroplossingen en melk
- Het isoleren van water uit dunne mest

Afhankelijk van het aantal deeltjes aan de rechterkant, ligt de werkdruk bij omgekeerde osmose tussen de 15 (waterwinning uit brak water) en 80 Bar (waterwinning uit zeewater).

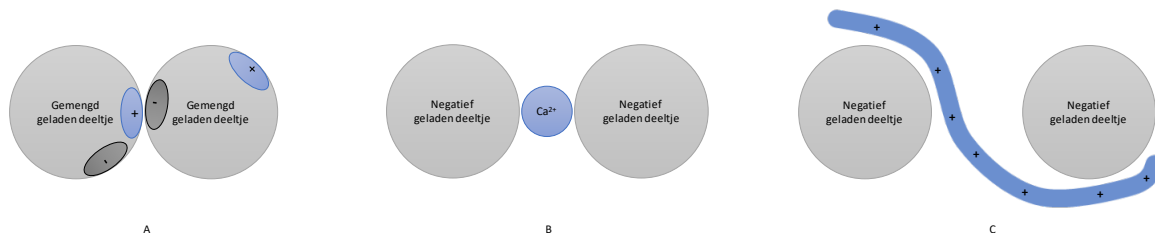
3.5 Scheiding / behandeling door flocculatie

Flocculatie is het concept waarbij de fysische eigenschappen van deeltjes in een waterfase worden veranderd door toevoeging van een hulpmiddel, de zogenaamde flocculant. Het doel van flocculatie is het neerslaan van deeltjes door een 'geholpen samenklontering' waarbij bruggen van fysische en/of chemische aard worden geslagen tussen de deeltjes onderling. De deeltjes kunnen variëren van ionen en atomen (< 1 nm), tot (macro) moleculen (< 10 nm) tot en met zanddeeltjes (< 1 mm) en alles daar tussenin. Uit het grote bereik van de afmeting van de deeltjes in kwestie volgt dat flocculatie een hulpmiddel kan zijn bij diverse scheidingsmethodes. Na behandeling met het flocculant zullen echter de eigenschappen van de gevlokte deeltjes bepalen welke opeenvolgende scheidingsmethode het beste kan worden toegepast (dus niet de eigenschappen van de oorspronkelijke deeltjes).

Bij het toepassen van flocculatie bij ionen, atomen en macromoleculen (de meer "opgeloste" deeltjes) kunnen grovere deeltjes storend zijn. Een voorscheiding is in zo'n geval noodzakelijk. Flocculatie en de daarna uitgevoerde tweede scheiding zijn op zich dan een behandeling geworden van de waterige fase uit de voorscheiding.

Afhankelijk van de eigenschappen van de deeltjes die moeten worden afgescheiden moet er vaak een keuze gemaakt worden uit verschillende flocculanten die op enkele karakteristieke manieren een interactie aan kunnen gaan met de af te scheiden deeltjes. Hierbij kunnen we onderscheid maken in de volgende generieke werkingsprincipes van flocculanten op specifieke soorten deeltjes:

- Deeltjes met lading aan het oppervlak en daarbij gepaard gaande elektrostatische krachten
 - Directe elektrostatische brugvorming (figuur 3.3 A)
Bij deeltjes met een inhomogene ladingsverdeling is het mogelijk dat ze lokaal onderling een interactie aan kunnen gaan (vergelijkbaar met magneetjes op moleculaire schaal).
 - Indirecte elektrostatische flocculatie door brugvorming met ionen (figuur 3.3 B)
Bij deeltjes met een homogene negatieve ladingsverdeling is het mogelijk dat de toevoeging van meerwaardige positieve ionen (zoals Ca^{2+} , Ba^{2+}) een onderlinge brug slaat tussen verschillende deeltjes.
 - Indirecte elektrostatische brugvorming met geladen polymeren (figuur 3.3 C)
Een geladen polymeer kan eenvoudiger een brug slaan tussen deeltjes met een tegengestelde lading. Voorbeeld van geladen polymeren zijn het negatief geladen poly(acrylzuur) (PAA) en het positief geladen poly(diallyl-dimethyl-ammonium) (PDADMA)



Figuur 3.3 Directe brugvorming (A), brugvorming door Ca^{2+} (B) en brugvorming door een positief geladen polymeer zoals bijvoorbeeld PDADMA. (C)

- Deeltjes zonder lading, met onderlinge van der Waals krachten
 - Brugvorming door toevoeging van polymeren
Als gevolg van de affiniteit tussen het toegevoegde polymeer flocculant en de deeltjes, kan het polymeer optreden als de 'lijm' tussen naastgelegen deeltjes. Een veelgebruikt ongeladen polymeer is poly(acrylamide) (PAM).
- Generieke deeltjes (met of zonder lading)

- Co-precipitatie
Tijdens de vorming van een neerslag uit toegevoegde chemicaliën kunnen generieke deeltjes worden ingevangen in deze neerslag. Deze vorm van samenklontering resulteert in aanmerkelijk grotere deeltjes met veelal de karakteristieken van de toegepaste hulpstof.

Factoren die een grote invloed hebben op de vorm en stabiliteit van het eindresultaat van flocculatie zijn:

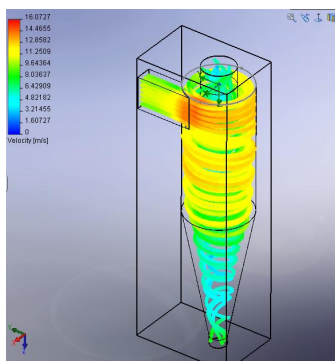
- Mechanische afschuifkrachten
Hoge stroomsnelheden en/of intensief mixen kan desastreus zijn voor de fysische eigenschappen van een behandeld eindproduct: het kan letterlijk kapot gaan door te hard ermee om te springen.
- De toegevoegde concentratie flocculant
Zowel bij toevoeging van teveel als te weinig flocculant wordt de stabiliteit van het eindproduct minder. Zo zal een teveel polymeer flocculant leiden tot coating van de deeltjes, die elkaar als gevolg van sterische hindering gaan afstoten in plaats van samen te klitten.
- De pH en ionsterkte van de vloeistof bij geladen deeltjes
Al naar gelang de pH van de vloeistof kunnen de chemische groepen op deeltjes een meer uitgesproken lading hebben (onder basische condities hebben gebonden zuurgroepen een negatieve lading). De concentratie ionen in de vloeistof (de ionsterkte) heeft een uitwerking op de hoeveelheid tegenionen uit de vloeistof die zich in de buurt van geladen deeltjes bevinden. De karakteristieke lading van de deeltjes is dus afhankelijk van de aangelegde condities.

3.6 Scheiding door centrifugeren

Afhankelijk van het scheidingsmechanisme kunnen centrifuges worden ingedeeld in twee hoofdklassen:

- Centrifuges: werking door mechanische energie
Door de draaibeweging van de buitenwand van het apparaat ontstaat een krachtenveld op de vloeistof die erin aanwezig is. Op grond van hun werkingsprincipe onderscheiden we:
 - Sedimentatie centrifuges
Deze centrifuges maken gebruik van het verschil in dichtheid van de vloeibare en vaste fase. Doordat de vaste (deeltjes-) fase zwaarder is, wordt deze meer naar buiten geslingerd dan de vloeibare fase. In het algemeen wordt gebruik gemaakt van sedimentatie centrifuges als de deeltjes groter zijn dan 150 µm en de koek die zich vormt in de buitenbocht van de centrifuge goed samendrukbaar is.
 - Filtratatie centrifuges
Deze centrifuges maken gebruik van de fysieke afmeting van de deeltjes (de vaste fase). Een poreuze wand in de centrifuge laat de vloeibare fase door, terwijl de vaste fase wordt tegengehouden. In het algemeen wordt gebruik gemaakt van filtratie centrifuges als de achterblijvende fase een open structuur heeft zodat het scheidingsproces zo lang mogelijk door kan gaan.
- Hydrocyclonen: werking door kinetische energie
Door de vaart waarmee de vloeistof tegen een ronde statische wand aanstroomt ontstaat een krachtenveld op de vloeistof. Deeltjes in de vloeistofstroom worden als gevolg van dit krachtenveld naar buiten geslingerd, waardoor er in het centrum van de hydrocycloon minder deeltjes voorkomen. De scheiding van de deeltjesrijke en deeltjesarme fase wordt bewerkstelligd door de plaatsing van een centrale afvoer in het bovenste deel van de cycloon voor de deeltjesarme vloeibare fase en een afvoer aan de onderkant van het apparaat voor de deeltjesrijke fase (figuur 3.4). De werking van een hydrocycloon lijkt in dit opzicht op de werking van een statische uitvoering van een sedimentatiecentrifuge.

De dimensies van cyclonen zijn afhankelijk van veel zaken, onder andere het verschil in dichtheid tussen de af te scheiden (vaste) fase en de dragende (bulk-)fase. Dit maakt dat hydrocyclonen veel kleiner zijn dan cyclonen die gebruikt worden voor de scheiding van deeltjes uit luchtstromen.

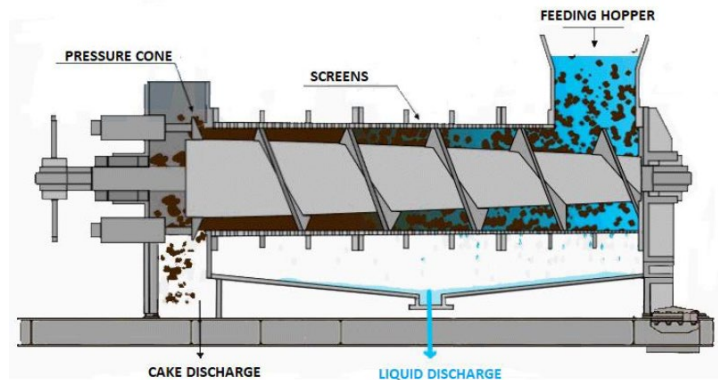


Figuur 3.4 Snelheidsprofiel in een hydrocycloon. De te scheiden stroom komt bovenin links het apparaat binnen en botst tegen de gebogen wand aan. De deeltjesarme vloeistofstroom verlaat het apparaat aan de bovenkant (via het oog van de storm, bij relatief lage snelheid). De deeltjesrijke vloeistofstroom verlaat het apparaat aan de onderkant, waar als gevolg van wrijving met de wand en de taps toelopende vorm van het apparaat, de snelheid eveneens is afgenomen.

3.7 Scheiding door persen

Pers apparatuur kan geclassificeerd worden in drie groepen, de hydraulische pers, de schroefpers en de bandenpers. In alle gevallen wordt mechanische energie gebruikt voor het opbouwen van druk om een waterige fase af te kunnen scheiden. Vanwege de mogelijkheid tot continu bedrijf en hun lagere operationele kosten worden schroefpersen en bandfilterpersen vaker gebruikt voor het ontwateren van materialen dan hydraulische persen.

- **Hydraulische pers**
Bij een hydraulische pers beweegt een plaatvormige stamper door een stalen doos. Het materiaal dat ontwaterd moet worden ligt hetzij direct in deze doos (appelpers voor het maken van cider) of het is eerst in een zak van filterdoek geplaatst, die vervolgens in de stalen doos is geplaatst. De doos is voorzien van groeven op de bodem, waarlangs het persvocht afgevoerd wordt. Om het batchproces een grotere doorzet te geven, kan er ook gebruik gemaakt worden van meer, in elkaar passende stalen dozen. De eerste doos wordt dan de stamper voor de tweede, etc. Er zijn persen die tot 15 van deze dozen in elkaar kunnen drukken met een kracht tot wel 28 MN/m². Een doorzet van 200-300 kg ruw product/uur kan hiermee worden bereikt.
- **Schroefpers**
Drukopbouw op het materiaal door een verkorting van spoed (de afstand tussen de opeenvolgende schroefbladen), de vergroting van de diameter van de schroefas, of een combinatie van beide. Een deel van de behuizing van de schroefpers heeft openingen, waardoor vocht het samengeperste materiaal kan verlaten.

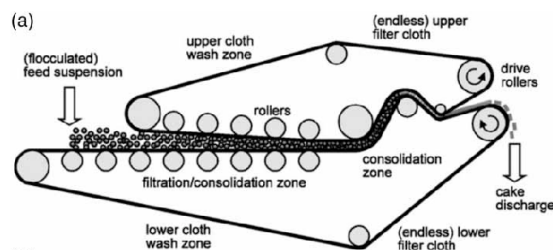


Figuur 3.5 Schematische weergave van een schroefpers¹

Schroefpersen worden industrieel toegepast in de ontwatering van organisch afval en mest.

- Bandfilterpersen

In een bandfilterpers wordt een slurry tussen twee filterdoeken gebracht die elk net als een transportband langs een serie rollen loopt. In het eerste deel stroomt de vloeistoffase nog door de zwaartekracht door het doekmateriaal. In het tweede deel wordt de afstand tussen de beide filterdoeken trapsgewijs door dubbel uitgevoerde rollen kleiner gemaakt waardoor een lichte persdruk ontstaat. In het derde deel worden de doeken samen langs een serie enkele rollen getrokken, waarbij de druk verder toeneemt en er een droger eindproduct ontstaat. Vervolgens worden beide doeken elk weer teruggeleid naar het begin van de pers, het ontwaterde product kan worden opgevangen en verder verwerkt.



Figuur 3.6 Schematische weergave van een bandfilterpers²

Bandfilterpersen worden onder andere industrieel toegepast in de ontwatering van slib, en de bereiding van fruitsappen en wijn.

3.8 Behandeling vloeibare fase door kristallisatie

Kristallisatie, het spontaan neerslaan van zouten uit een oplossing, treedt op als de concentratie van deze zouten boven de kritieke verzadigingswaarde komt. Bij verhoging van de temperatuur lossen meer zouten op, en zal ook deze kritieke verzadigingswaarde hoger worden. Bij een gelijke temperatuur hebben verschillende zouten een verschillende verzadigingswaarde. Ook de mate van afhankelijkheid van de temperatuur is voor elk zout verschillend. Elk zout heeft zo zijn eigen karakteristieke eigenschappen als het gaat om kristallisatie (zie tabel 3.1).

¹ Díaz C., G. García, 2018, "SludgeTreat", EU-project 611593 Report Workpackage 2

² Wakeman, R. J. 2007, "Separation technologies for sludge dewatering." Journal of Hazardous materials no. 144(3): 614-619

Tabel 3.1 Oplosbaarheid van zouten bij verschillende temperatuur.

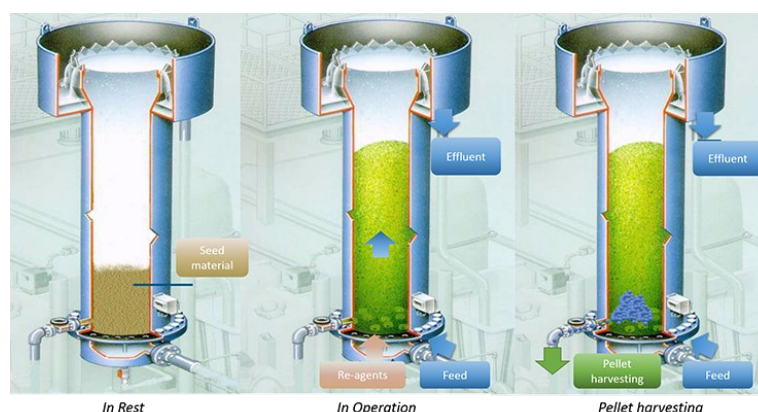
Zout (mineraal)	Oplosbaarheid in koud water (g/100 g water)		Oplosbaarheid in warm water (g/100 g water)	
NaCl	35.7	(0°C)	39.12	(100°C)
NaOH	42	(0°C)	347	(100°C)
CaCl ₂	74.5	(20°C)	159	(100°C)
Ca(OH) ₂	0.186	(0°C)	0.077	(100°C)

Bron: Weast, R.C. "Handbook of Chemistry and Physics - Student Edition", 1988 CRC Press, Boca Raton, Florida.

Er zijn verschillende aanpakken mogelijk om tot kristallisatie te komen:

- Verdamping van het oplosmiddel
Bij deze vorm van kristallisatie worden waterige oplossingen vaak door middel van stoominjectie tot koken gebracht. Door de verdamping van het oplosmiddel komt de concentratie van de zouten in oplossing boven de verzadigingsconcentratie en treedt er kristallisatie op.
- Verlagen van de temperatuur
Bij deze vorm van kristallisatie wordt het koelmiddel vaak direct in contact gebracht met de te behandelen waterige fase om kristallisatie aan het koelende oppervlak van een warmtewisselaar te voorkomen. Voorwaarde is wel dat beide fasen eenvoudig door spontane ontmenging van elkaar te scheiden zijn. Deze methode kan niet worden toegepast bij zoutconcentraties lager dan de oplosbaarheid bij lage temperatuur. Een oplossing van 38 g NaCl in 100 ml kokend water zal bij afkoelen naar 0°C gedeeltelijk neerslaan (er blijft 35.7 g in oplossing, 2.3 g NaCl slaat neer).
- Toevoegen van reagentia waardoor een neerslag ontstaat
Bij deze vorm van kristallisatie worden condities geschapen waaronder specifieke zouten neerslaan. Een voorbeeld is de toevoeging van NaOH aan een oplossing van CaCl₂ (zie tabel 3.1). Er ontstaat een neerslag van het slecht oplosbare Ca(OH)₂ dat kan worden afgescheiden. Wat er daarna overblijft in oplossing is een oplossing met keuzenzout, NaCl. Dit moet toelaatbaar zijn om de gezuiverde vloeistoffase te kunnen gebruiken als voedermiddel.

Een commerciële toepassing van het toevoegen van reagentia bij de opwerking van reststromen is de vorming van pellets in de Crystalactor van Royal Haskoning DHV (figuur 3.7). In de eerste fase wordt er een hoeveelheid ent-kristallen toegevoegd (deze zijn te vergelijken met het stofje waar een oester een parel rond omheen maakt). In de tweede fase wordt de te behandelen vloeistof van onderaf de reactor ingeleid. Hierdoor gaan de ent-kristallen dwarrelen in de oplossing. Omdat er tevens chemicaliën worden gedoseerd, kan er neerslagvorming optreden op de ent-kristallen (de parels/pellets groeien). In de derde fase worden de parels/pellets geoogst, voordat ze problemen kunnen geven door ongebreidelde groei.



Figuur 3.7 Drie fasen in het bedrijf van de Crystalactor van Royal Haskoning DHV.

De belangrijkste horde die genomen moet worden bij alle vormen van kristallisatie is het tegengaan van kristallisatie op ongewenste plaatsen in de apparatuur. Kristallisatie heeft aangroei punten nodig. Als deze gevonden worden in de vorm van onvolkomenheden in pijpmateriaal, bochten, appendages (bevestigingsmateriaal tussen pijpstukken, bochten en afsluiters), dan kunnen er spontaan

ongewenste afzettingen ontstaan die het normale bedrijf van een installatie kunnen lamleggen (zie figuur 3.8).



Figuur 3.8 Dichtgroeien van een stalen pijp met een interne diameter van ongeveer 5 cm door ongewenste calciumcarbonaat (CaCO_3) afzettingen.³

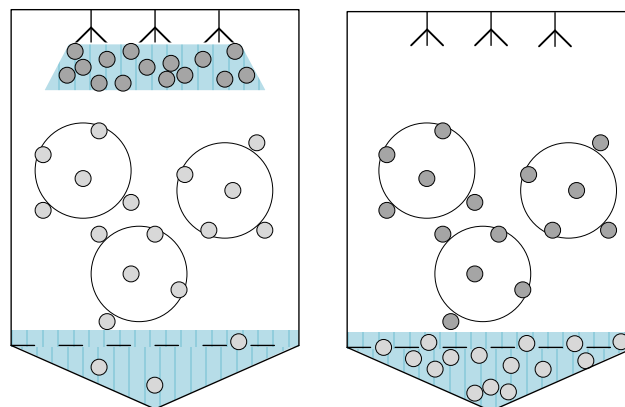
3.9 Behandeling vloeibare fase door ionenwisseling

Ionenwisseling vindt plaats door een vloeistof met ionen in contact te brengen met een hars waaraan zich losgebonden, andere ionen bevinden. Het doel is een uitwisseling op basis van preferentiële binding aan het harsmateriaal onder specifieke condities zoals pH en temperatuur. Afhankelijk van hoe en waar dit contact wordt bewerkstelligd, kan er onderscheid gemaakt worden in:

- Vast bed ionenwisselaar

In een vast bed ionenwisselaar is het harsmateriaal los gestort in een vat dat voorzien is van een bodemplaat met gaatjes waar alleen vloeistof doorheen gaat, de hars blijft op zijn plaats. Tijdens het bedrijf wordt de op te werken vloeistof over de hars heengeleid, waar de uitwisseling van ionen optreedt.

Na verloop van tijd zijn de losgebonden ionen op. Het harsmateriaal wordt dan (vaak in tegengestelde stroomrichting ten opzichte van de te behandelen stroom) geregenereerd met een geconcentreerde oplossing van de losgebonden ionen. Gedurende deze tijd is de ionenwisselaar buiten bedrijf. Vaak worden twee van deze units naast elkaar afwisselend gebruikt enigszins continu door te kunnen gaan met de opwerking.



Figuur 3.9 Schematische weergave van ionenwisseling, met: Grote witte bollen = harsmateriaal, kleine bollen: de uitgewisselde ionen. Links: Het opgewerkte harsmateriaal is klaar om de stroom met uit te wisselen ionen te ontvangen. Rechts: Aan het einde van het proces zijn alle ionen vervangen en moet het harsmateriaal worden geregenereerd. De blauwe op te werken fase bevat alleen de uitgewisselde ionen.

- Onderbroken tegenstroom vast bed ionenwisselaar (bijna volcontinu bedrijf)

³ Bron: Arenda Technologies: <https://blog.orendatech.com/carbonate-scale-hardened-truth>

In sommige systemen wordt het vaste bed op gezette tijden in een korte tijd voor een deel vervangen. Dit stop-go moment geeft een bijna volcontinu bedrijf. De afgescheiden hoeveelheid harsmateriaal wordt verzameld en opgewerkt op dezelfde manier als bij een vast bed ionenwisselaar.

- Slurry ionenwisselaar

Bij een slurry ionenwisselaar wordt het harsmateriaal direct toegevoegd aan de vloeibare fase. Dit resulteert in veel meer bewegingsvrijheid van het harsmateriaal ten opzichte van de rigide wijze van stapeling in een vast bed. Dergelijke systemen lijken enigszins op de in figuur 3.7 beschreven Crystallactor. Voorwaarde is wel dat het soortelijk gewicht van het harsmateriaal groter is dan dat van de passerende vloeistof, anders is een adequate gravimetrische scheiding niet mogelijk.

In elk van de voorgaande processen is de aanwezigheid van vaste deeltjes in de op te werken stroom onwenselijk vanwege de vervuiling van het harsmateriaal. Ook (geladen) polymeren kunnen vast blijven zitten op het harsmateriaal, waardoor het zijn werking onomkeerbaar kan verliezen. Een afdoende voorzuivering van het ruwe product is daarom essentieel.

Als het harsmateriaal veelvuldig blootstaat aan mechanische krachten kan het slijten waardoor harsdeeltjes in het eindproduct kunnen komen.

3.10 Behandeling vloeibare fase door adsorptie

Adsorptie is de binding van ongeladen stoffen aan een oppervlak. Behandeling door adsorptie lijkt in veel opzichten op behandeling door ionenwisseling: Een vast materiaal is in staat om verontreinigingen door van der Waals krachten aan zich te binden. Als het materiaal "vol" is, dan kan het geregenereerd worden onder speciale condities (vaak een hoge pH, of een ander oplosmiddel, al dan niet in combinatie uitgevoerd bij een verhoogde temperatuur).

Als de regeneratiecondities te extreem zijn om aansluitend met adsorptie van de te behandelen vloeistof door te gaan, wordt de regeneratiestap vaak uitgevoerd in aparte apparatuur. Een voorbeeld waarbij dat zo is, is het gebruik van actieve kool in de ontkleuring van suikerwater in het Calgon proces. De granulen actieve kool worden in tegenstroom met het suikerwater in contact gebracht, daarna worden ze afgescheiden, ontwaterd en opgewerkt in een regeneratie-oven bij 925°C. De geregenereerde granulen worden vervolgens opnieuw gebruikt.

Op dezelfde manier als bij de materialen gebruikt bij ionenwisseling, moet er rekening gehouden worden met het feit dat ook de materialen die worden gebruikt bij adsorptie slijten door mechanische krachten en andere cyclische chemisch/fysische belastingen.

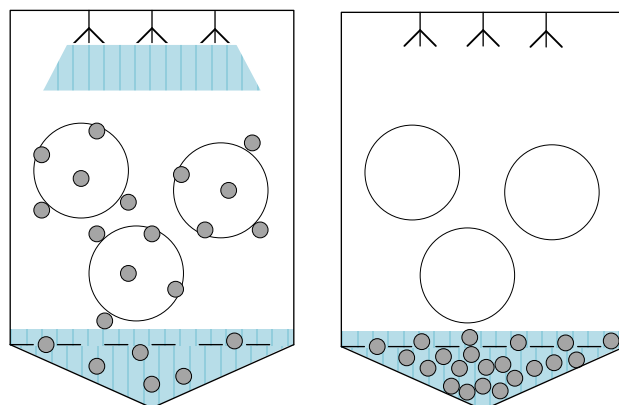
3.11 Behandeling vaste fase door extractie

Net als bij het zetten van koffie of thee of het wassen van kleren, kan een vaste fase behandeld worden door middel van extractie. Hierbij wordt de vaste fase in contact gebracht met een vloeibare fase, onder condities (denk aan verhoogde temperatuur, maar ook ionsterkte, zuurgraad of de aanwezigheid van oppervlakte actieve stoffen, zeep!) waarbij het oplosbare deel van de vaste fase kan worden opgenomen in deze vloeibare fase. In sommige gevallen kunnen stoffen naast een fysische interactie ook door een chemische reactie van de vaste fase worden gescheiden (Oxideren met Vanish oxy-action of de toepassing van enzymen zoals fytase).

Afhankelijk van hoe de vaste fase in contact wordt gebracht met de vloeibare fase kunnen verschillende extractiesystemen worden onderscheiden:

- Extractie met statisch scherm

Bij deze vorm van extractie wordt gebruik gemaakt van een vat met een dubbele bodem die wordt gevormd door een stalen plaat met gaatjes (scherm). Het te extraheren materiaal wordt in het vat geplaatst waarna het wordt beregend met extractievloeistof via een sproeisysteem. Het extract loopt via de gaatjes naar de bodem van het vat, de vaste fase blijft liggen op de stalen plaat met gaatjes.



Figuur 3.10 Schematische weergave van een extractie met een statisch scherm, met: Grote witte bollen = het te extraheren materiaal, kleine bollen = het surplus-nutriënt en in blauw de gebruikte extractievloeistof.

Als alternatief kan de extractievloeistof ook vanuit de bodem het vat in worden gepompt. Hierbij dwarrelt de te extraheren vaste fase in de extractievloeistof, een fenomeen dat eventueel versterkt kan worden door middel van het van onderen doorblazen van samengeperste lucht. Na de extractie kan de vloeistof worden verwijderd via de bodem van het vat. Wederom wordt daarbij de vaste fase tegengehouden door het scherm. Perslucht vanaf de bovenkant van de installatie kan de zeefwerking tijdens de ontwateringsstap verder bekrachtigen.

Beide hierboven beschreven systemen werken discontinu.

- **Extractie met bewegend scherm**
Een scherm kan ook gebruikt worden om een vaste fase als een zeef door een vloeistoffase te bewegen. Installaties met meerdere schermen gemonteerd op een lopende band of aan een ronddraaiende as zijn mogelijk, waardoor meerdere compartimenten gevormd worden die door de extractievloeistof bewegen. Aan het einde van een dergelijke gang wordt het geëxtraheerde product gelost en gaan de schermen weer naar het begin van de installatie. Netto is op deze wijze een continue tegenstroom extractie te bewerkstelligen waarin de vaste en de vloeibare fase beide tegen elkaar in bewegen. Hierdoor komt verse extractievloeistof als eerste in aanraking met de meest geëxtraheerde vaste fase, hetgeen het hoogste extractierendement geeft.

Een alternatief is een bewegend scherm in de vorm van een geperforeerde schroef die langzaam ronddraait in een cilinder waardoorheen het extractiemiddel in tegenstroom wordt gepompt.

4 Aanbevelingen

4.1 Strategie bij opwerking

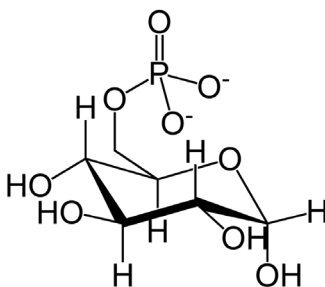
De aanwezigheid van een of meerdere surplus-mineralen kan ervoor zorgen dat er van een product minder opgenomen kan worden in het mengvoer of rantsoen dan gewenst. De scheidings- en behandelingstechnieken beschreven in het vorige hoofdstuk kunnen hulp bieden, mits ingezet op een goede manier. De handelsvolgorde hierin is essentieel en behelst de volgende kenmerkende onderdelen.

Wat?	Over welke surplus-mineralen spreken we?
Waar?	In welke fase (vloeibare of vaste fase) zitten de surplus-mineralen?
Hoe?	Welke chemische vorm en/of binding hebben de surplus-mineralen?
Waardoor?	Zijn er processtappen in de levensmiddelenindustrie die de hoeveelheid van het surplus materiaal veroorzaken?

4.1.1 Strategie met voorbeeld-element fosfor

Wat?

Het mineraal fosfor (P) kan voorkomen als fosfaat-ion (PO_4^{3-}) in de waterige fase of als covalent gebonden fosfaat aan koolhydraten (vb. glucose-6-fosfaat, figuur 4.1). Als het as-gehalte van een co-product wordt bepaald, worden beide vormen van fosfaat omgezet in P_2O_5 waarmee het onderscheid is verdwenen, want van het gerapporteerde element fosfor kan niet meer gezegd worden welk deel bij welke verbinding hoort.



Figuur 4.1 Structuurformule van glucose-6-fosfaat

Waar?

Omdat een elementanalyse (hier in het voorbeeld een fosfor-analyse) van het complete co-product onvoldoende informatie geeft, is het noodzakelijk dat er eerst een poging gedaan moet worden om het co-product te scheiden in een vaste en een vloeibare fase. Op laboratoriumschaal kunnen hiervoor een aantal scheidingstechnieken worden vergeleken op hun toepasbaarheid, en kunnen eventueel hulpmiddelen (flocculanten) worden uitgetest op hun effectiviteit. Het werkingsprincipe van elk van deze technieken zijn beschreven in paragrafen 3.2 t/m 3.7. Van beide fasen wordt vervolgens een aparte elementanalyse gemaakt. Hierna is duidelijk in welke fase het surplus-mineraal aanwezig is.

Het is niet altijd zeker of er een geschikte techniek is, die op een rendabele manier een scheiding op grote schaal kan bewerkstelligen. Veel hangt af van het te behandelen co-product. Ook voorgaande processtappen bij de bereiding van het humane voedingsproduct hebben invloed op de eigenschappen van het resterende co-product (de "waardoor:"-vraag in paragraaf 4.1).

Hoe?

Zit het surplus-mineraal in de vloeibare fase, dan is het hoogstwaarschijnlijk opgelost als zout (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-). Voor de behandeling van een surplus-mineraal in de vloeibare fase zijn pH, temperatuur en oplosbaarheid van groot belang. Technieken voor de opwerking van de vloeibare fase zijn beschreven in paragrafen 3.8 tot en met 3.10.

Als het echter voornamelijk in de vaste fase voorkomt, dan is het waarschijnlijker dat het covalent gebonden is aan de vaste fase. Technieken voor het opwerken van de vaste fase zijn beschreven in paragraaf 3.11.

4.2 Maisweekwater

Mais is een bron van zetmeel en eiwit (gluten). Voordat het gemalen wordt om het zetmeel te winnen, wordt mais geweekt in warm water bij verlaagde pH (toevoeging melkzuur). In dit maisweekwater zitten relatief veel eiwit en zouten (fosfaten, kalium en natrium zouten)⁴. De nutriëntensamenstelling van maisweekwater is weergegeven in bijlage 1.

Melkzuur kan worden toegevoegd in de zure vorm (2-hydroxy-propaanzuur) of als het natriumzout van de geconjugeerde base, Natrium-lactaat dat vervolgens op pH wordt gebracht door aanzuring met zoutzuur. In beide gevallen hebben we dan een zure oplossing met melkzuur. Alleen is er in het tweede geval meer zout in de oplossing aanwezig. In de procesindustrie is het voordehand liggend om met Natrium-Lactaat te werken, want melkzuur zelf heeft de nare eigenschap dat het dimeren kan vormen onder afsplitsing van water, waardoor het moeilijker in oplossing te brengen is. Het negatieve effect van de extra aanwezige hoeveelheid natrium en chloride in het co-product wordt dan voor lief genomen.

Naar verwachting zitten de zouten opgelost in de waterige fase. Dit houdt in dat als het mogelijk is om het eiwit uit de waterige fase te halen, het meest waardevolle deel van het co-product af te scheiden valt van de opgeloste zouten die minder gewenst zijn bij toepassing als voedermiddel. Isolatie van het eiwit uit de waterige fase verdient daarom de voorkeur.

De meest voor de hand liggende methode is de toepassing van een geschikte flocculant in combinatie met een scheidingsmethode voor het isoleren van de eiwitten uit de vloeibare fase. De meest geschikte flocculant zal met behulp van laboratoriumtesten achterhaald moeten worden. Daarbij moet niet alleen gekeken worden naar het rendement van de neerslagvorming, maar ook naar de uiteindelijk verkregen fysische karakteristieken (samendrukbaarheid, ontwateringseigenschappen, soortelijk gewicht) van het gevormde neerslag, omdat deze bepalen welke nageschakelde scheidingstechniek het beste toegepast kan worden.

Net als beschreven onder paragraaf 3.1, hoeft in principe niet de gehele massastroom maisweekwater behandeld te worden en kan het geïsoleerde eiwit aan een deel van de massastroom worden toegevoegd, waardoor de hoeveelheid zouten is gereduceerd.

Als alternatief kan ultrafiltratie gebruikt worden voor de scheiding tussen de zouten en de macromoleculen (zetmeel en eiwitten), zoals beschreven in paragraaf 3.4.3. Deze macromoleculen leveren wel problemen op bij toepassing van deze scheidingsmethode door de vervuiling van het membraanoppervlak.

⁴ Website Overleggroep Producenten Natte Veevoeders: <http://www.opnv.nl>

4.3 Bierbostel

In het proces van bierbrouwen wordt gerst gebruikt. Na kieming onder vochtige condities wordt deze "mout" bij verhoogde temperatuur "geëest", waardoor het zijn kleur krijgt. Vervolgens wordt de mout gemalen en met water gemengd tot "wort", welke onder stapsgewijze verhitting wordt vergist, en tegelijkertijd ook geëxtraheerd. Na filtratie blijven de vaste delen achter. Dit zijn de "gerstedoppen", de bierbostel met een droge stof gehalte van ongeveer 22%. Eiwit afkomstig van de wort tijdens het bierbrouwen, wordt afgescheiden en achteraf toegevoegd aan de bierbostel. Wellicht loont het zich om de vaste delen te behandelen voordat deze eiwitrijke stroom wordt toegevoegd.

In bierbostel is fosfor het surplus-nutriënt (de nutriëntensamenstelling van bierbostel is weergegeven in bijlage 2). Uit het rapport van eerdere experimenten bleek dat de fosfor in de vaste fase zit en daar onder zure condities uit te extraheren viel (Meesters and Van Eerden, submitted). Er werd een kolomextractie bedreven, waarbij de zure extractievloeistof van onder naar boven stroomde. Tijdens dit proces ontstonden preferentiële kanalen waardoor de extractie efficiëntie lager uitkwam dan verwacht.

Aanbeveling is dan ook de extractie in batches uit te voeren, waarbij er meer extractievloeistof wordt gebruikt, zodat de bierbostel in goed contact komt met de extractievloeistof. Net als aangegeven in paragraaf 3.11, kan het doorblazen van lucht deze vloeistof-vast interactie versterken waardoor een betere extractie efficiëntie wordt behaald.

4.4 Tarwegistconcentraat

Fosfaat, Na, K en sulfaat zijn de surplus-nutriënten in tarwegistconcentraat. In sommige varianten tarwegistconcentraat (niet alle) zitten hoge concentraties sulfaat dat is toegevoegd als zwavelzuur tijdens het productieproces om de pH te reguleren. Elders in het proces wordt ook nog natronloog toegevoegd voor de neutralisatie achteraf waardoor er in enkele varianten ook veel natrium zit. In het co-product zijn deze stoffen in een te grote concentratie aanwezig (Na^+ en SO_4^{2-}) en bestaat de wens om deze stoffen eruit te halen. De nutriëntensamenstelling van tarwegistconcentraat is weergegeven in bijlage 3.

In het kader van: "voorkomen is beter dan genezen", is het van belang dat de reden van toevoeging van het zwavelzuur en de natronloog helder is. Zijn er alternatieve behandelingen mogelijk waardoor deze stoffen niet gebruikt hoeft te worden en wegen deze alternatieven op tegen de te maken kosten voor het behandelen van dit co-product? Kan het zwavelzuur vervangen worden door een ander sterk zuur met een "gemakkelijker te verwijderen" geconjugeerde base? Optimalisatie van de hele keten geeft inzicht in de oorzaken en gevolgen van upstream processtappen op downstream producten.

Is er toch een scheiding noodzakelijk, dan kan er gedacht worden aan ultrafiltratie (paragraaf 3.4.3) om de ionen uit de waterige fase te halen. Als het zwavelzuur vervangen zou kunnen worden door zoutzuur, dan levert dit een co-product op met chloride als mogelijk surplus-nutriënt. Naast dat de tolerantie grens voor chloride in diervoeder anders kan liggen dan voor sulfaat, eindigen we met een gemakkelijker te verwijderen ion in het co-product.

4.5 Weipermeaat

Weipermeaat is in verschillende samenstellingen en kwaliteiten beschikbaar en is rijk aan as (natrium, kalium en chloride). Dit zijn bij uitstek ionen die in de waterfase voorkomen. Dit geeft twee strategieën die gevolgd kunnen worden:

Winning vaste fase door flocculatie

Het inmiddels afgelopen patent van Stauffer Chemical Company⁵ maakt melding van de toepassing van hulpstof (flocculant) natrium-lauryl-acetaat, dat ervoor zorgt dat tot 95% van de eiwitten uit het permeaat neerslaan zodat ze kunnen worden afgescheiden van de vloeibare fase door middel van ultracentrifuge. Nadeel van deze techniek is dat een deel van de opgeloste nutriënten zoals aminozuren en kleine suikers met de vloeistoffase worden afgevoerd.

Verwijdering van ionen uit de vloeibare fase

Door middel van ultrafiltratie (paragraaf 3.4.3) kunnen ionen uit de oplossing worden gehaald. Net als beschreven onder paragraaf 3.1, hoeft in principe niet de gehele massastroom weipermeaat op deze wijze behandeld te worden en kan het gezuiverde deel van de massastroom worden toegevoegd, waardoor de hoeveelheid as gereduceerd kan worden.

⁵ US4028317A Patent: "Removal of proteins from liquid acid cheese whey", Stauffer Chemical Company, 1977-1994.

5 Conclusies

In dit rapport zijn de meest basale scheidings- en behandeltechnieken uitgewerkt om nutriënten uit co-producten te isoleren. Deze technieken zijn welbeproefd, betrouwbaar en tegen acceptabele kosten te realiseren op praktijkschaal. De co-producten maisweekwater, bierbostel, tarwegistconcentraat en weipermeaat zijn mogelijk interessant zijn om verder te bewerken. Voor deze vier co-producten is een eerste analyse uitgevoerd die als leidraad kan dienen voor verder onderzoek op laboratorium en praktijkschaal. Hierbij zijn de meest kansrijke opwerkingsstappen genoemd.

Er is niet gekeken naar de allernieuwste hightech oplossingen, omdat deze vaak (nog) te duur en/of te exotisch zijn, waardoor ze niet rendabel kunnen worden toegepast op nevenstromen zoals co-producten. Zo wordt er niet gesproken over extractie met superkritisch CO₂, en worden er geen technieken zoals toepassing van ion-selectieve membranen, ultrasoon geluid of elektrodialyse behandeld.

Van de besproken technieken in de literatuur worden nano- en ultrafiltratie het meest gebruikt voor de verwijdering van ionen uit de waterige fase.

Literatuur

- Bache, D.H. and G. Ross. 2007. Flocs in Water Treatment. ISBN: 1-8433-9063-9
IWA Publishing, London.
- Meesters K.P.H. and E. Van Eerden, submitted. Extraction of rapeseed press and distiller's grain.
- Mulder, M. 1992. Basic Principles of Membrane Technology. ISBN: 0-7923-0978-2
Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Nevedi. 2019. Grondstoffenwijzer Editie 3. Diervoeders voor een circulaire voedselproductie.
- Perry, R.H. and D.W. Green. 1984. Chemical engineers' handbook, sixth edition. ISBN: 0-07-049479-7
Mc Graw Hill, New York.
- Sinnot, R.K. 2001. Coulson & Richardson's Chemical Engineering. Vol. 6. Chemical Engineering Design.
ISBN: 0-7506-4142-8. Butterworth Heinemann, Oxford.
- Weast, R.C. 1987. CRC Handbook of Chemistry and Physics. ISBN: 0-8493-0740-6
CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.

Bijlage 1 CVB Productinformatieblad Maisweekwater



CVB Tabel: Maisweekwater

Laatste wijziging: september 2018

Maisweekwater

Droge stof	473	g/kg
Ruw eiwit	446	g/kg ds
Ruw vet		g/kg ds
Ruwe celstof	4	g/kg ds
Ruw as	177	g/kg ds
Zetmeel tot	3	g/kg ds
Suiker	88	g/kg ds
Ca	0.7	g/kg ds
P	31.7	g/kg ds
Mg	14.2	g/kg ds
K	52.0	g/kg ds
Na	5.6	g/kg ds
Cl	7.4	g/kg ds
VEM	1013	VEM/kg ds
VEVI	1089	VEVI/kg ds
DVE-91	48	g/kg ds
DVE-07	44	g/kg ds
OEB-91	330	g/kg ds
OEB-07	337	g/kg ds
OEB2-07	333	g/kg ds
SW	0.10	

DISCLAIMER

Bron: Federatie Nederlandse Diervoederketen, CVB tabel versie september 2018 Voor specifieke cijfers verwijzen wij U naar de productspecificatie van de leverancier. Revisie datum juni 2019.

Bijlage 2 CVB Productinformatieblad Bierbostel



CVB Tabel:

Bierbostel

Laatste wijziging:

september 2018

	Bierbostel, persbostel	Bierbostel, traditioneel proces DS 175 - 250 g/kg	Bierbostel, traditioneel proces DS > 250 g/kg	
Droge stof	257	222	266	g/kg
Ruw eiwit	258	242	248	g/kg ds
Ruw vet				g/kg ds
Ruwe celstof	180	176	170	g/kg ds
Ruw as	39	42	45	g/kg ds
Zetmeel tot	16	18	18	g/kg ds
Suiker	24	4	5	g/kg ds
Ca	2.6	3.3	4.1	g/kg ds
P	5.7	6.6	6.6	g/kg ds
Mg	2.2	2.2	2.3	g/kg ds
K	0.6	0.5	0.6	g/kg ds
Na	0.1	0.2	0.1	g/kg ds
Cl	0.3	0.4	0.4	g/kg ds
VEM	948	942	955	VEM/kg ds
VEVI	953	948	965	VEVI/kg ds
DVE-91	137	129	132	g/kg ds
DVE-07	146	135	139	g/kg ds
OEB-91	63	56	60	g/kg ds
OEB-07	55	51	54	g/kg ds
OEB2-07	13	14	14	g/kg ds
SW	1.00	1.00	1.00	
EW 2015	0.94	0.85	0.86	EW/kg ds
vP	3.5	4.1	4.1	g/kg ds
SID Lysine	7.1	6.7	6.9	g/kg ds
SID Methionine	4.0	3.8	3.8	g/kg ds
SID Methionine en Cystine	7.4	7.0	7.1	g/kg ds
SID Threonine	6.9	6.5	6.6	g/kg ds
SID Tryptophaan	2.3	2.2	2.2	g/kg ds

DISCLAIMER

Bron: Federatie Nederlandse Diervoederketen, CVB tabel versie september 2018 Voor specifieke cijfers verwijzen wij U naar de productspecificatie van de leverancier. Revisie datum juni 2019.

Bijlage 3 CVB Productinformatieblad Tarwegistconcentraat



CVB Tabel:

Tarwegistconcentraat

Laatste wijziging:

september 2018

	Tarwegistconcentraat RE < 275 g/kg DS	Tarwegistconcentraat RE 275 - 325 g/kg DS	Tarwegistconcentraat RE 325 - 425 g/kg DS	
Droge stof	264	265	268	g/kg
Ruw eiwit	262	293	375	g/kg ds
Ruw vet				g/kg ds
Ruwe celstof	27	20	12	g/kg ds
Ruw as	65	68	72	g/kg ds
Zetmeel tot	16	16	16	g/kg ds
Suiker	130	126	129	g/kg ds
Ca	1.8	1.7	1.4	g/kg ds
P	8.3	8.2	12.1	g/kg ds
Mg	2.0	2.8	4.3	g/kg ds
K	14.4	15.6	19,0	g/kg ds
Na	8.8	5.3	1.1	g/kg ds
Cl	5.7	5.2	2.7	g/kg ds
VEM	1187	1207	1207	VEM/kg ds
VEVI	1298	1321	1314	VEVI/kg ds
DVE-91	142	152	181	g/kg ds
DVE-07	127	136	166	g/kg ds
OEB-91	66	87	139	g/kg ds
OEB-07	83	106	160	g/kg ds
OEB2-07	51	63	91	g/kg ds
SW	0.13	0.11	0.08	
EW 2015	1.14	1.23	1.25	EW/kg ds
vP				g/kg ds
SID Lysine	8.4	9.4	12.1	g/kg ds
SID Methionine	3.3	3.7	4.8	g/kg ds
SID Methionine en Cystine	6.1	6.9	8.9	g/kg ds
SID Threonine	6.3	7.1	9.3	g/kg ds
SID Tryptophaan	2.1	2.3	3.0	g/kg ds

DISCLAIMER

Bron: Federatie Nederlandse Diervoederketen, CVB tabel versie september 2018 Voor specifieke cijfers verwijzen wij U naar de productspecificatie van de leverancier. Revisie datum juni 2019.

Bijlage 4 Productinformatieblad lactose- en weipermeaat

Bron: Bonda, 2020

	Lactosepermeaat (ontsuikerde weipermeaat)	Weipermeaat	Eenheid
Drogestof	300	180	g/kg
Ruw eiwit	83	43	g/kg ds
Ruw vet	0	6	g/kg ds
Ruwe celstof	0	0	g/kg ds
Ruw as	318	125	g/kg ds
Suikers (excl. Lactose)	0	0	g/kg ds
Zetmeel totaal	0	0	g/kg ds
Lactose	458	802	g/kg ds
Ca	27.0	8.0	g/kg ds
Mg	4.8	1.8	g/kg ds
Na	23.4	7.1	g/kg ds
K	72.0	37.7	g/kg ds
Cl	41.0	34.8	g/kg ds
SO₄	91.7	2.2	g/kg ds
S-totaal	1.9	0.7	g/kg ds
P	31.0	8.5	g/kg ds
Melkzuur	5.0	18.3	g/kg ds
Azijnzuur	2.2	9.2	g/kg ds
Ethanol	5.0	2.2	g/kg ds
EW	0.90	1.24	g/kg ds
EW₂₀₁₅	0.93	1.28	g/kg ds
NSP	158	43	g/kg ds
vP	26.0	7.2	g/kg ds
SID lysine	1.8	1.1	g/kg ds
SID methionine	0.4	0.3	g/kg ds
SID cysteine	0.5	0.4	g/kg ds
SID threonine	1.4	1.0	g/kg ds
SID tryptofaan	0.4	0.7	g/kg ds
SID isoleucine	1.2	0.8	g/kg ds
SID arginine	1.0	0.7	g/kg ds
SID phenylalanine	1.1	0.7	g/kg ds
SID histidine	0.5	0.3	g/kg ds
SID leucine	1.7	1.1	g/kg ds
SID tyrosine	2.0	1.2	g/kg ds
SID valine	1.3	0.9	g/kg ds
SID alanine	1.3	0.9	g/kg ds
SID asparagine	2.5	1.7	g/kg ds
SID glutamine	5.8	3.6	g/kg ds
SID glycine	1.9	1.4	g/kg ds
SID proline	4.8	3.0	g/kg ds
SID serine	1.4	1.0	g/kg ds

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research
P.O. Box 338
6700 AH Wageningen
The Netherlands
T +31 (0)317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research creates science based solutions for a sustainable and profitable livestock sector. Together with our clients, we integrate scientific knowledge and practical experience to develop livestock concepts for future generations.

Wageningen Livestock Research is part of Wageningen University & Research. Together we work on the mission: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. A staff of 6,500 and 10,000 students from over 100 countries are working worldwide in the domain of healthy food and living environment for governments and the business community-at-large. The strength of Wageningen University & Research lies in its ability to join the forces of specialised research institutes and the university. It also lies in the combined efforts of the various fields of natural and social sciences. This union of expertise leads to scientific breakthroughs that can quickly be put into practice and be incorporated into education. This is the Wageningen Approach.

