

Productie van fosfaatarme veevoedergrondstoffen

Technische en economische evaluatie van zure extractie van fosfaat uit
tarwegries

*Dit project werd gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie
(BO-12.02-006-005) en het Productschap Diervoeder.*

J.J.C.F. van Bon
K.P.H. Meesters
M.M. van Krimpen (WUR Livestock research diervoeding)

Rapportnummer 1291

Colofon

Titel	Productie van fosfaatarme veevoedergrondstoffen. Technische en economische evaluatie van zure extractie van fosfaat uit tarwegries.
Auteur(s)	J.J.C.F. van Bon, K.P.H. Meesters, M.M. van Krimpen.
Nummer	Food & Biobased Research nummer 1291
ISBN-nummer	ISBN 978-94-6173-083-1
Publicatiedatum	Februari 2013
Vertrouwelijk	Nee
OPD-code	11620046
Goedgekeurd door	R. van Ree.

Wageningen UR Food & Biobased Research
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 480 084
E-mail: info.fbr@wur.nl
Internet: www.wur.nl

© Wageningen UR Food & Biobased Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher

Samenvatting

De uitstoot van fosfaat door de Nederlandse veehouderij veroorzaakt milieuproblemen zoals overdadige algengroei in oppervlaktewater. De Europese Unie heeft richtlijnen opgesteld om deze problematiek terug te dringen. Om te voldoen aan deze richtlijn zal de uitstoot van fosfaat in Nederland aanzienlijk verlaagd moeten worden. Het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie wil weten of deze verlaging bereikt kan worden via het voerspoor (door verlaging van het fosfaatgehalte van veevoedergrondstoffen). Met deze kennis kunnen ze de juiste beleidsmaatregelen opstellen om te voldoen aan de fosfaatrichtlijn met minimale financiële schade voor de veehouderijsector.

Eén van de mogelijkheden om de fosfaatuitstoot te verminderen is het verlagen van het fosfaatgehalte in diervoeders. LTO Nederland en NEVEDI hebben toegezegd de fosfaatuitstoot aan te gaan pakken door een betere fosfaatbenutting (voerconvenant). Diervoederproducenten willen hierop inspelen zodat zij op tijd de gewenste voeders in de markt kunnen zetten.

Diervoeders bevatten twee soorten fosfaat: vrij fosfaat en organisch gebonden fosfaat (meestal als fytine). De gebonden fosfaten zijn voor éénmagige dieren zeer slecht beschikbaar en worden grotendeels met de mest uitgescheiden. Door het verlagen van het fytinegehalte van veevoedergrondstoffen kan zonder gezondheidsrisico voor het dier de fosfaatuitstoot aanzienlijk worden verminderd (van Krimpen *et al.*, 2010). Het ligt dus voor de hand om fosfaatverwijdering met name te richten op fytinerijke grondstoffen. In dit onderzoek is enkel gekeken naar fosfaatextractie uit tarwegries, de verwachting is dat andere fytinerijke grondstoffen (zoals bijvoorbeeld raapzaadschroot of DGS) via eenzelfde concept kunnen worden behandeld.

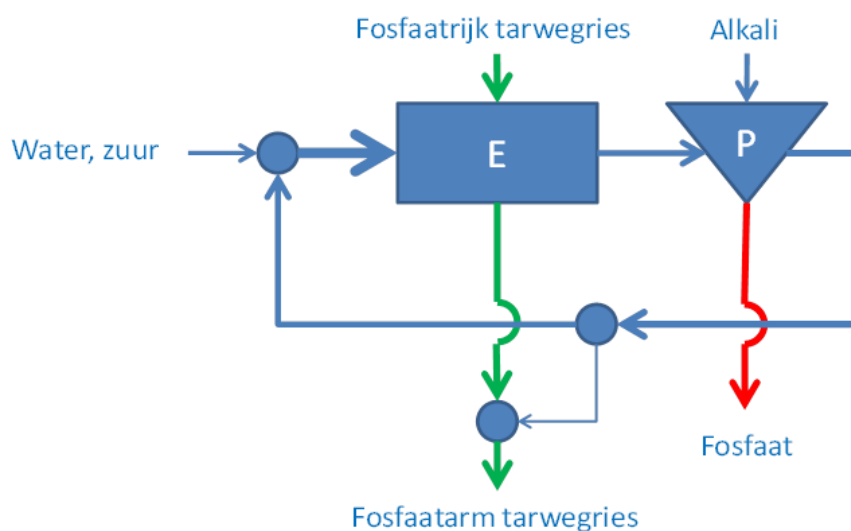
Het onderzoek heeft laten zien dat fosfaat (zowel fytine als andere fosfaten) uit tarwegries verwijderd kunnen worden door zure extractie. Het opgeloste fosfaat kan worden teruggewonnen door toevoeging van calciumhydroxide aan het extract. De technische evaluatie heeft aangetoond dat de extractie ook op grote schaal uitvoerbaar is. De economische evaluatie toont aan dat de kapitaalskosten relatief klein zijn en dat de economie van het proces vooral wordt bepaald door de kosten van de tarwegries en de inkomsten uit natte fosfaatarme tarwegries. Als veehouders kiezen voor fosfaatarme veevoeders om het fosfaatoverschot terug te dringen dan zal inmenging van fytinerijke grondstoffen zoals tarwegries afnemen. Door verwijdering van fosfaat uit tarwegries kan het tarwegries weer aantrekkelijk worden als grondstof voor veevoeders. Het fosfaatarme tarwegries zal een dusdanig hogere waarde krijgen dat fosfaatextractie rendabel kan zijn.

Aangezien het voerspoor een efficiënte methode kan zijn om te voldoen aan de fosfaatrichtlijn zou het jammer zijn als besloten wordt tot verplichte mestverwerking.

De haalbaarheid van fosfaatextractie uit tarwegries is gebaseerd op laboratoriumonderzoek, simulaties, technische en economische procesevaluatie en veevoederoptimalisatie zoals hieronder nader toegelicht.

Een kolom tarwegries is verzadigd met 0.2 M keukenzout. Met twee bedvolumina demi-water kon circa 90% van het zout uit de kolom gewassen worden. Fosfaat kon uit tarwegries worden geëxtraheerd met waterig azijnzuur. De extractie-efficiëntie was iets lager dan bij extractie van keukenzout, maar kan waarschijnlijk worden verhoogd door betere beheersing van de pH. Mathematische modellering van de extractieproef met keukenzout liet zien dat de kolom tarwegries zich gedroeg als 10 gemengde vaten in serie.

Simulatie van onderstaand continu extractieconcept op basis van experimentele data en reële aannamen liet zien dat extractie (E) van 100.0 kg droog tarwegries met 300.0 kg water en 1.34 kg azijnzuur resulteerde in vorming van 401.6 kg fosfaatarm tarwegries. Precipitatie (P) van eluens met 1.41 kg calciumhydroxide gaf 15.0 kg fosfaatrijke slurry.



Figuur 1 Concept extractie (E) fosfaat met azijnzuur en precipitatie (P) met calciumhydroxide.

Door 95% van het eluens te recycleren en de bleed te mengen met het tarwegries ontstond een proces dat alleen product- en geen afvalstromen leverde. Geëxtraheerd tarwegries bevatte het overgrote gedeelte van de componenten uit onbehandeld tarwegries en had een droge stof gehalte van 24 w/w%. Daarnaast is het verrijkt met acetaat terwijl 95% van het fosfaat is verwijderd. Dit maakt deze stroom geschikt als fosfaatarm brijvoer. De fosfaatrijke slurry bevat 31 w/w% droge stof die naast resten oplosbare componenten voor het overgrote gedeelte bestaat uit neergeslagen calciumwaterstoffosfaat. Deze stroom is geschikt als meststof of (dier)voedingssupplement. Zure extractie van fosfaat uit tarwegries kan op industriële schaal (100 kton tarwegries “as is” per jaar) worden uitgevoerd door twee 50 m³ cilindrische tanks parallel uit

fase te gebruiken. Elke volledige extractiebewerking kent een cyclustijd van 2 uur zodat door de schakeling uit fase een continue stroom fosfaatrijk eluens ontstaat bij een effectieve extractietijd van 1 uur. Precipitatie vindt plaats in een 2 meter hoge 137.5 m³ bezinktank met schraper. In- en uitgaande stromen eluens worden op elkaar afgestemd door een 37.5 m³ buffervat in de recycle.

Op basis van de stroomgrootten en –composities uit de simulatie en de blauwdruk voor een full-scale fabriek werd een economische evaluatie gemaakt van extractie van fosfaat uit tarwegries met kolomextractie. Om de investering van 904 k€ in 3 jaar terug te verdienen dient de volledige jaarproductie van 85 kton fosfaatarm tarwegries (droge stof basis) tegen een prijs van 255 €/ton ds te worden afgezet, een waarde stijging van 16 €/ton ds ten opzicht van onbehandeld tarwegries. De vaste kosten, operationele kosten en kosten voor hulpgrondstoffen zijn overigens klein ten opzichte van de inkoop van tarwegries.

Met behulp van Bestmix software (van Krimpen, WUR Livestock research diervoeding) zijn varkensrantsoenen samengesteld. Om te voldoen aan de fosfaatrichtlijn kunnen veehouders op zoek gaan naar fosfaatarme veevoerders. Als gekozen wordt voor een fosfaatlimiet van 4.0 dan is het niet interessant om onbehandeld of fosfaatarm (geëxtraheerd) tarwegries in het rantsoen in te mengen (tegen lage meerkosten kunnen grondstoffen met net iets lagere fosfaatgehalten worden ingemengd). Als gekozen wordt voor een fosfaatlimiet van 3.5 g/kg, dan treedt wel inmenging van fosfaatarm tarwegries op. Fosfaatarm tarwegries wordt nu ingemengd bij een prijs van 385 €/ton ds en lager. Combinatie van deze percentuele inmenging, de totale jaarlijkse consumptie vloeibaar varkensrantsoen in Nederland en de productprijs liet zien dat boven een prijs van 255 €/ton ds er op de Nederlandse markt ook daadwerkelijk voldoende fosfaatarm tarwegries kan worden ingemengd om voldoende inkomsten te kunnen realiseren. De investering in de beoogde fabriek voor fosfaatextractie kan mogelijk binnen 3 jaar terug worden verdiend.

Uitgaande van de veronderstelling dat vochtrijk fosfaatarm tarwegries zich vergelijkbaar gedraagt als andere fermentatief verzuurde vochtrijke bijproducten worden in vergelijking met de verstrekking van droogvoer op basis van een literatuurstudie (van Krimpen) de volgende effecten bij vleesvarkens verwacht: (1) een gunstig effect op de darmgezondheid en daarmee een verminderd antibioticumgebruik. (2) een gunstig effect op de verteerbaarheid van voer zodat er minder nutriënten, waaronder fosfor, worden uitgescheiden via de mest en (3) een neutraal tot verlagend effect op de emissies van broeikasgassen.

Concluderend wordt derhalve gesteld dat limitering van fosfaat in vloeibaar varkensrantsoen tot 3.5 g/kg droge stof resulteert in een waardetoename van fosfaatarm tarwegries waardoor extractie van fosfaat uit grondstof tarwegries op 100 kton/jaar schaal, qua kostprijs en jaarlijkse productie, economisch rendabel kan zijn. In vergelijking met droogvoer worden daarnaast bij vochtrijk fosfaatarm tarwegries positieve effecten verwacht voor diergezondheid en verminderde excretie van mineralen naar het milieu.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	7
2 Experimenteel	9
2.1 Kolomextractie NaCl uit tarwegries	9
2.2 Titratie tarwegries met azijnzuur	11
2.3 Kolomextractie fosfaat uit tarwegries	12
2.4 Precipitatie geëxtraheerd fosfaat met kalkmelk	15
3 Modelling	17
3.1 Theorie	17
3.2 Modelling data NaCl extractie	18
4 Procesontwerp	19
4.1 Inleiding	19
4.2 Simulatie proces	19
4.3 Massabalans	22
5 Equipment	25
5.1 Uitvoering proces industriële schaal	25
5.2 Grootte apparatuur industriële schaal	27
6 Economische evaluatie	29
6.1 Investering apparatuur	29
6.2 Vaste kosten	29
6.3 Operationele kosten	30
6.4 Grondstofkosten en inkomsten calciumwaterstoffosfaat	30
6.5 Evaluatie economie totaal	31
6.6 Bepaling waarde fosfaatarm tarwegries.	31
6.7 Toetsing prijs en afzet fosfaatarm tarwegries	32
7 Neveneffecten fosfaatarm tarwegries in rantsoen vleesvarkens	36
7.1 Fermentatie proces	36
7.2 Verteerbaarheid en darmgezondheid	36
7.3 Ammoniakemissie en fosforverteerbaarheid	36
7.4 Overige neveneffecten	37
7.5 Conclusies neveneffecten fosfaatarm tarwegries	37
8 Conclusies	39
9 Aanbevelingen	41
Referenties	42
Bijlagen	44

1 Inleiding

De uitstoot van fosfaat door de Nederlandse veehouderij veroorzaakt milieuproblemen zoals overdadige algengroei in oppervlaktewater. De Europese Unie heeft richtlijnen opgesteld om deze problematiek terug te dringen. Om te voldoen aan deze richtlijn zal de uitstoot van fosfaat aanzienlijk verlaagd moeten worden. Het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie wil weten of deze verlaging bereikt kan worden via het voerspoor (door verlaging van het fosfaatgehalte van veevoedergrondstoffen). Met deze kennis kunnen ze de juiste beleidsmaatregelen opstellen om te voldoen aan de fosfaatrichtlijn met minimale financiële schade voor de veehouderijsector.

Eén van de mogelijkheden om de fosfaatuitstoot te verminderen is het verlagen van het fosfaatgehalte in diervoeders. LTO Nederland en NEVEDI hebben toegezegd de fosfaatuitstoot aan te pakken door een betere fosfaatbenutting (voerconvenant). Diervoederproducenten willen hierop inspelen zodat zij op tijd de gewenste voeders in de markt kunnen zetten.

Veevoeders worden samengesteld uit verschillende grondstoffen om te voldoen aan de behoeften van het dier (eiwit, energie, mineralen etc.) tegen zo laag mogelijke kosten. Er worden zowel landbouwproducten (tarwe, maïs, voedererwt) als reststromen uit de agro-industrie, de levensmiddelenindustrie en de olie- en vetverwerkende industrie (tarwegries, raapzaadschroot) gebruikt. Als de kosten voor afvoer van mestfosfaat hoog worden, zal er behoefte ontstaan aan fosfaatarme veevoeders. Fosfaatrijke grondstoffen worden dan niet meer opgenomen in het rantsoen. Dit zal met name een probleem worden voor de eigenaren van reststromen: immers de productie van deze reststromen kan niet gestopt worden zonder ook de productie van het hoofdproduct te stoppen. De prijs van deze reststromen zal dus gaan dalen. Op dat moment wordt het voor de veevoederindustrie interessant om deze goedkope grondstoffen op te kopen en de fosfaten te verwijderen door fosfaatextractie.

Diervoeders bevatten twee soorten fosfaat: vrij fosfaat en organisch gebonden fosfaat (meestal als fytine). Deze gebonden fosfaten zijn voor éénmagige dieren zeer slecht beschikbaar en worden grotendeels met de mest uitgescheiden. Door het verlagen van het fytaatgehalte van veevoedergrondstoffen kan zonder gezondheidsrisico voor het dier de fosfaatuitstoot aanzienlijk worden verminderd (Krimpen *et al.*, 2010). Het ligt dus voor de hand om fosfaatverwijdering met name te richten op fytinerijke grondstoffen. In dit onderzoek is gekeken naar fosfaatextractie uit tarwegries, de verwachting is dat andere fytinerijke grondstoffen via eenzelfde concept kunnen worden behandeld.

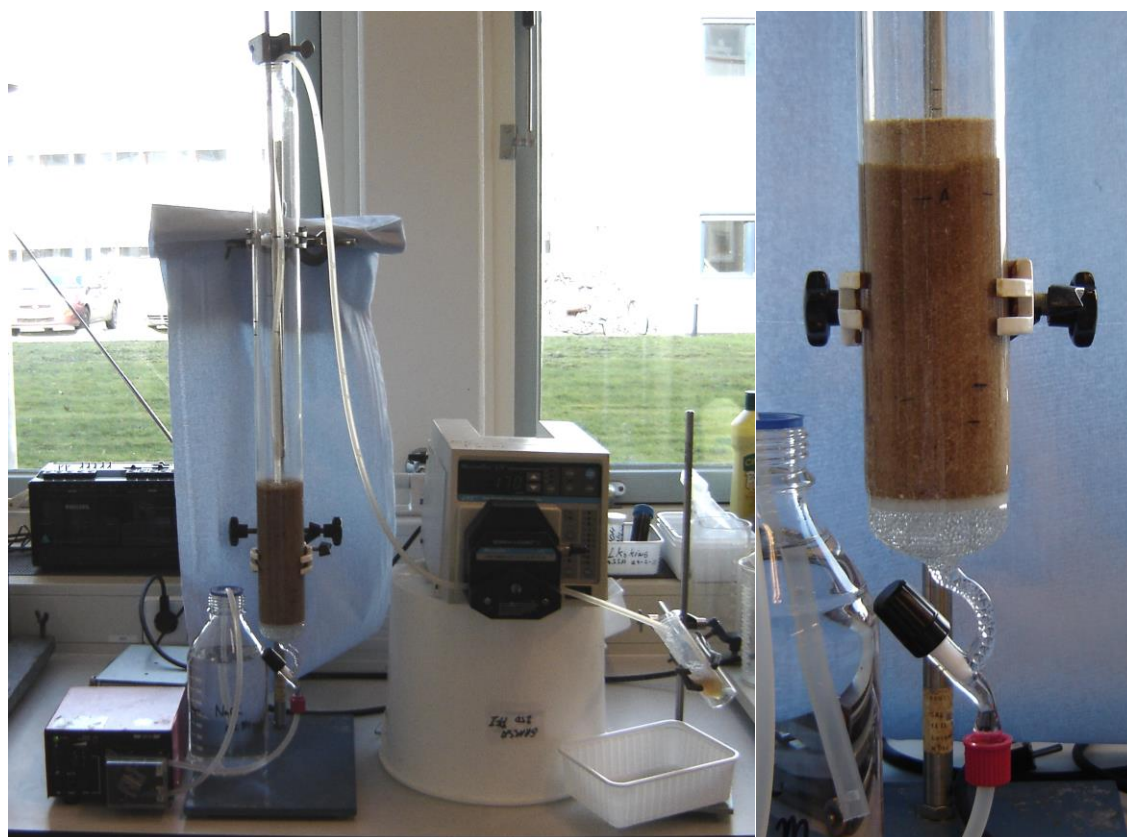
Dit rapport beschrijft de technische en economische evaluatie van fosfaatextractie voor de productie van fosfaatarme veevoedergrondstoffen. Uitgaande van zure fosfaatextractie beschreven in Bioraffinage van mengvoedergrondstoffen (Meesters, 2011) werd kolomextractie

van tarwegries experimenteel bestudeerd. Na modellering werd het volledige proces van fosfaatextractie en -precipitatie gesimuleerd. Vervolgens werd de blauwdruk van een full-scale fabriek gedefinieerd waarna de economie van het proces werd geëvalueerd bij verwaarding van de geëxtraheerde grondstof als fosfaatarm brijvoer in varkensrantsoen. Tenslotte werd een korte literatuurstudie verricht naar neveneffecten van toepassing van vochtrijk fosfaatarm tarwegries in het rantsoen voor vleesvarkens.

2 Experimenteel

2.1 Kolomextractie NaCl uit tarwegries

Extractie uit tarwegries werd bestudeerd met NaCl en tarwegries in de onderstaande set-up (Figuur 2). Een glazen kolom (5.6×65 cm, D \times H) werd eerst tot de glasfrit gevuld met 0.2 M NaCl. Vervolgens werd 100 g tarwegries (87.8 w/w% droge stof) in de kolom gebracht. Het stortgewicht hierbij was 0.44 kg/l. Dit tarwegries werd verzadigd met 0.2 M NaCl door deze oplossing vanaf de onderzijde met een debiet van 538 g/h te doseren. Het vloeistoffront steeg hierbij homogeen in de gepakte kolom die als één geheel intact bleef (Figuur 2). Opname van vloeistof door tarwegries ging gepaard met een stijging van bedhoogte in de kolom van 10.8 naar 16.2 cm. De dichtheid van het verzadigde materiaal nam hierbij toe tot 1.01 kg/l. Na een uur stabiliseren werd circa 30 gram 3 mm glasparsels rustig op de bovenzijde van de kolom tarwegries gestort. Een flexibele slang, gekoppeld aan een tweede pomp, werd 1 mm boven de glasparsels geplaatst. Hiermee werd de bovenliggende vloeistof afgevoerd. Eerst werd 150 g 0.2 M NaCl van onderaf door de kolom gespoeld, daarna werd overgeschakeld op demi-water. In beide gevallen bedroeg het toevoerdebiet 538 g/h. De vrijkomende vloeistof bovenop de kolom werd tegelijkertijd continu afgevoerd en in batches van circa 40 gram gedurende 2.5 uur verzameld.



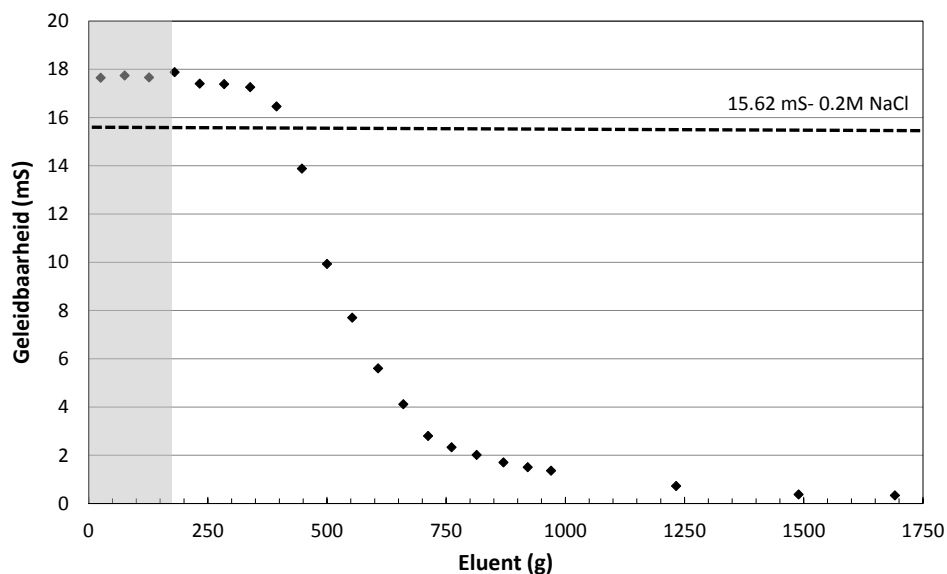
Figuur 2 Overzicht experimentele opzet kolomextractie en beweging vloeistoffront in tarwegries

Ook tijdens de extractie bleef de kolom als geheel intact en de bedhoogte gelijk. De kleur van de geëxtraheerde vloeistof werd langzaam lichter (Figuur 3), waarbij ook de neiging tot schuimvorming minder werd. Aan het eind van het experiment werd de geleidbaarheid van alle samples gemeten. Deze werd uitgezet tegen de totale hoeveelheid eluens (Figuur 4) en tegen het aantal bedvolumes demi-water, waarbij werd gecorrigeerd voor elutie met 0.2 M NaCl in het begin van het experiment (Figuur 5). Een bedvolume demi-water had overigens een massa van 339 g bij een kolomhoogte van 16.2 cm en dichtheid van 1.00. De geleidbaarheid van 0.2 M NaCl bedroeg 15.62 mS.

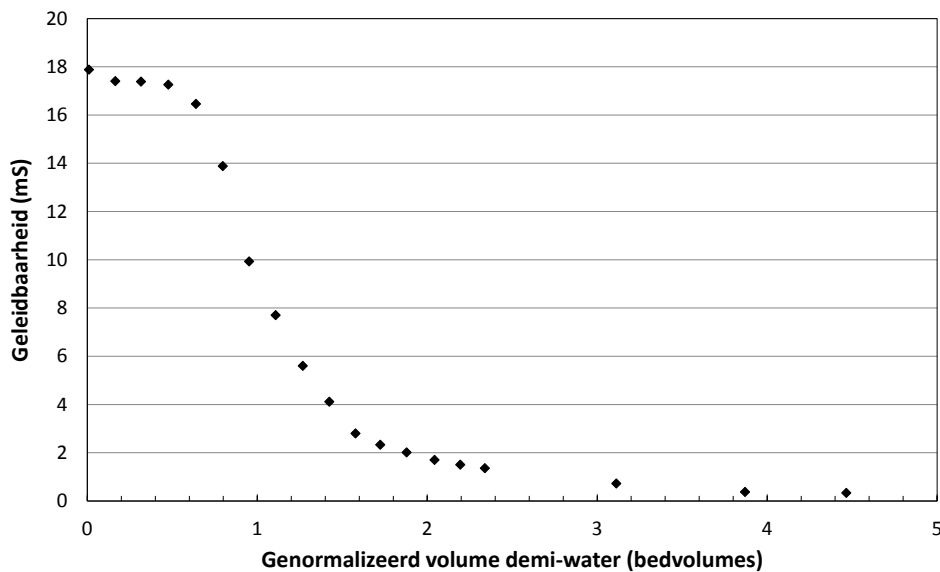


Figuur 3 Kleur en schuimvorming opgevangen eluens.

Het eerste opgevangen eluens gaf een hogere geleidbaarheid dan 0.2 M NaCl. Waarschijnlijk werden in het begin van het experiment naast het toegevoegd NaCl ook andere componenten uitgewassen. Dit komt ook overeen met de ontwikkeling van kleur en schuim in opgevangen samples.



Figuur 4 Kolomextractie NaCl uit tarwegries. Eluens 0.2M NaCl (grijs) en demi-water.



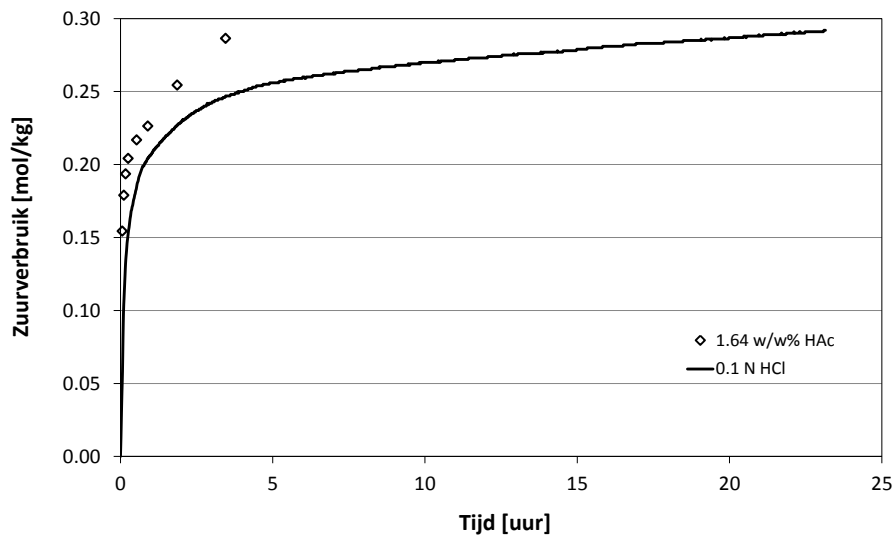
Figuur 5 Kolomextractie NaCl uit tarwegries. Genormaliseerd eluens demi-water.

Figuur 5 laat zien dat na 1 bedvolume demi-water de geleidbaarheid van opgevangen eluens al tot 50% van de beginwaarde was gereduceerd. Na 2 bedvolumes was dit al 90% en was het grootste gedeelte NaCl uit het tarwegries geëxtraheerd. Concluderend kan worden gesteld dat uitwassen van NaCl uit tarwegries met kolomextractie een efficiënt proces is waarbij in deze set-up met twee bedvolumes demi-water veruit het grootste gedeelte NaCl uit het tarwegries werd geëxtraheerd. In hoofdstuk 3 zal deze extractie worden gemodelleerd.

2.2 Titratie tarwegries met azijnzuur

Eerdere experimenten wezen uit dat optimale extractie van fosfaat plaatsvindt bij pH 5.0 (Meesters, 2011). Omdat azijnzuur goedkoop is en een positieve voedingswaarde voor de dieren heeft (in tegenstelling tot HCl, HNO₃ en H₂SO₄) is ervoor gekozen om azijnzuur te gebruiken voor het extraheren van tarwegries. Ook andere organische zuren (bijvoorbeeld melkzuur) kunnen gebruikt worden voor de extractie. Het ligt in de verwachting dat andere organische zuren, met vergelijkbare of grotere zuursterkte, even goed zullen werken (op molbasis).

Het verbruik azijnzuur werd bepaald door 50 g tarwegries (87.8 w/w% droge stof) te suspenderen in 300 g water en met 1.64 w/w% azijnzuur herhaaldelijk te titreren tot pH 5.0.



Figuur 6 Zuurverbruik titratie tarwegries bij pH 5.0 (mol zuur per kg droge stof tarwegries).

Het verbruik van azijnzuur ligt iets hoger dan het verbruik van zoutzuur tijdens een eerder experiment. Dit kan worden verklaard doordat azijnzuur een zwak zuur is met een pKa van 4.75 terwijl HCl een sterk zuur is dat volledig dissocieert. Fosfaatextractie bij pH 5.0 over een periode van 2 uur ging in deze opzet gepaard met een verbruik van 0.25 mol azijnzuur per kilogram droge stof tarwegries. Bij 11 mg fosfor per gram droge stof tarwegries (zie paragraaf 4.2) komt dit overeen met 0.70 mol azijnzuur per mol fosfaat.

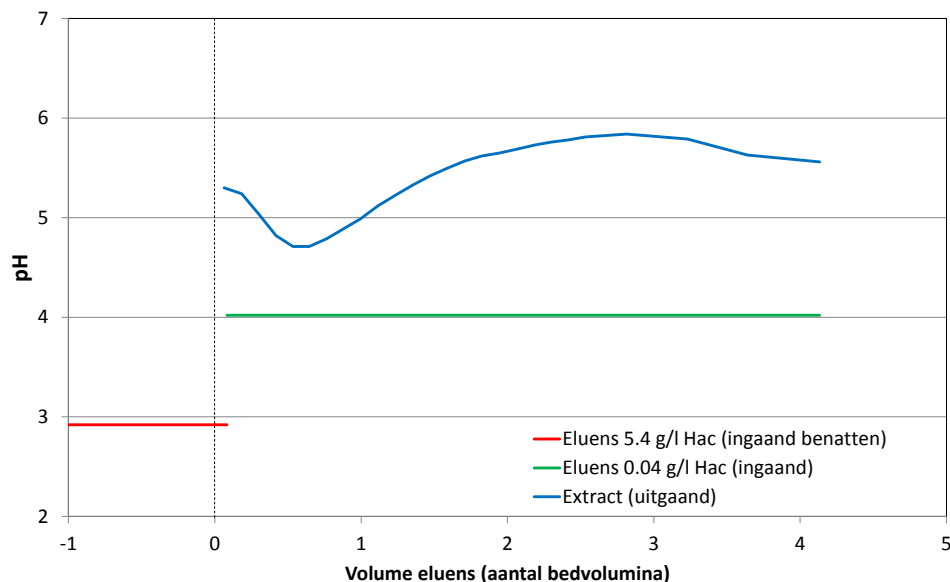
2.3 Kolomextractie fosfaat uit tarwegries

Paragraaf 2.1 beschrijft de succesvolle verwijdering van NaCl uit tarwegries door middel van kolomextractie met water. In deze paragraaf wordt bestudeerd of het fosfaat in tarwegries op vergelijkbare wijze met azijnzuur kan worden geëxtraheerd.

De gebruikte verse batch tarwegries was aanmerkelijk grover qua structuur dan eerder gebruikt materiaal. Daarom werd voor dit experiment de zeeffractie kleiner dan 2 mm gebruikt. Extractie van fosfaat vindt idealiter plaats bij pH 5.0. In dit experiment werd 100 gram tarwegries (87.66 w/w% droge stof) in de kolom gebracht en benat met 5.4 g/l azijnzuur met een debiet van 491 g/h. Bij de verwachte vloeistofopname door tarwegries (paragraaf 2.1) werd de streefdosering azijnzuur voor de gewenste pH (0.25 mol azijnzuur per kilogram droge stof tarwegries, paragraaf 2.2) goed benaderd. Na 1 uur stabiliseren werd het tarwegries verder doorspoeld met 500 g/h 0.04 g/l azijnzuur teneinde de licht zure omstandigheden voor optimale extractie te behouden. De bovenliggende vloeistof werd afgevoerd met een tweede pomp en in batches van circa 45 gram opgevangen. Tijdens het hele experiment bleef de kolom tarwegries stabiel en tijdens

extractie bleef het bed constant 18.1 cm hoog. De niet genoemde details van de proefopzet werden gelijk gekozen aan de opzet beschreven in paragraaf 2.1.

De pH van de diverse vloeistofstromen wordt weergegeven in de onderstaande figuur.



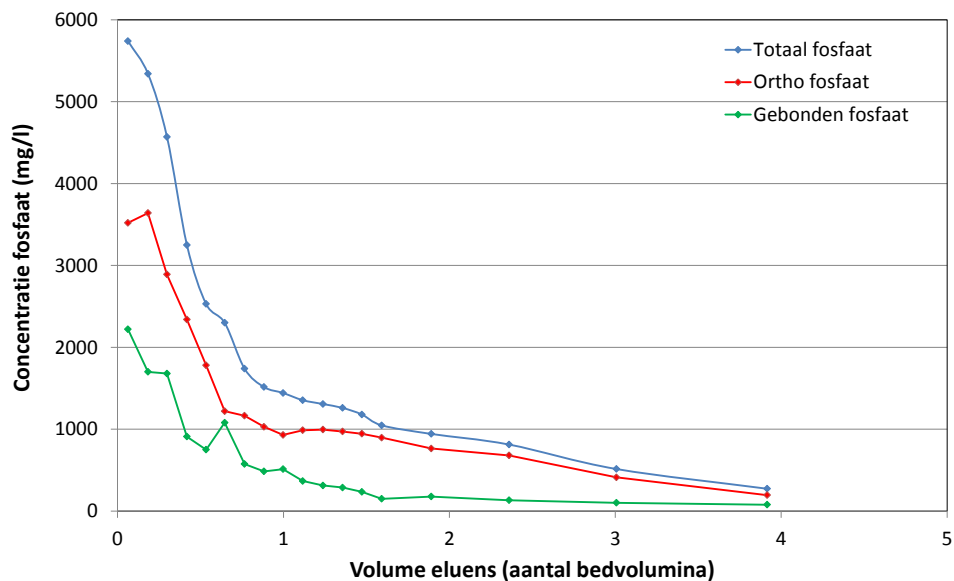
Figuur 7 pH vloeistofstromen bij extractie fosfaat uit tarwegries met azijnzuur.

De stoomgrootte werd genormaliseerd naar aantal bedvolumina eluens. Bij het beginpunt (0 bedvolumina) werd het eerste extract opgevangen. De pH van het extract bleek niet het gehele experiment op de gewenste waarde van 5.0 te liggen. Na anderhalf bedvolume lag deze zelfs hoger dan 5.5 en waren omstandigheden niet meer optimaal voor fosfaatextractie.

De concentratie ortho-fosfaat (vrij fosfaat) en de totale concentratie fosfaat in de verschillende monsters werd bepaald met een Hach Lange LCK 350 test. De hoeveelheid gebonden fosfaat werd uit het verschil berekend. Figuur 8 laat zien dat het concentratieprofiel van totaal fosfaat duidelijk overeenkomstig vertoont het concentratieprofiel van NaCl in dezelfde opzet in Figuur 5. Bij het uitwassen van NaCl blijft de concentratie in het begin echter langer hoog en is er minder sterk sprake van “tailing”.

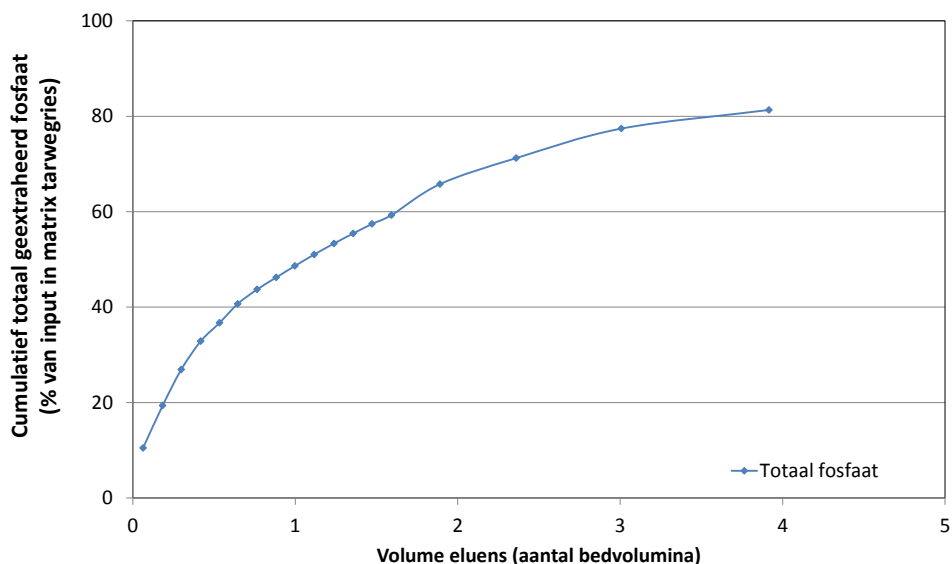
In het begin bevat het extract grofweg 2 delen gebonden fosfaat en 3 delen vrij fosfaat. Naar het eind van de proef bevat het extract relatief steeds meer vrij fosfaat. Hiervoor is een tweetal verklaringen: (1) door stijging van de pH kon fytine niet meer in oplossing gaan, fytine lost immers minder makkelijk op dan CaHPO_4 en (2) het tarwegries bevat fytases die fytine omzetten in vrij fosfaat. Analyse liet zien dat de fytase-activiteit 454 FTU/kg ds tarwegries bedroeg. Binnen 4 uur kan onder optimale omstandigheden derhalve al het gebonden fosfaat worden gehydrolyseerd. Uit de proeven kan niet worden afgeleid in hoeverre beide verklaringen

individueel bijdragen aan de relatief hoge concentratie vrij fosfaat aan het einde van het experiment.



Figuur 8 Concentraties fosfaat tijdens kolomextractie van tarwegries met azijnzuur.

De cumulatieve hoeveelheid geëxtraheerd fosfaat werd nader uitgewerkt in Figuur 9. Hierbij werd uitgegaan van 9.6 mg fosfor per gram droge stof tarwegries, zoals experimenteel werd vastgesteld voor deze nieuwe batch.



Figuur 9 Cumulatieve extractie van fosfaat tijdens kolomextractie van tarwegries. De totale hoeveelheid geëxtraheerd fosfaat werd hierbij uitgedrukt als percentage van de invoer in tarwegries. Deze hoeveelheid was equivalent met 9.6 mg fosfor per g droge stof tarwegries.

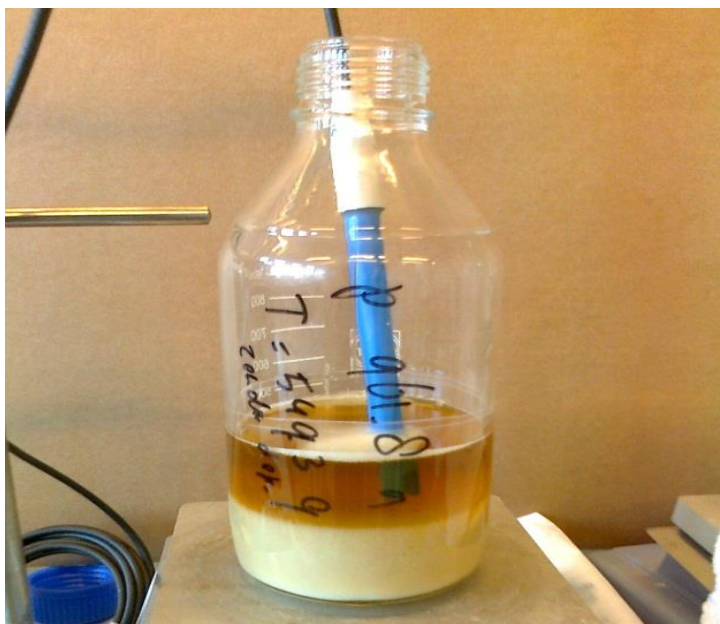
Na twee bedvolumina bleek bijna 70 % van het aanwezig fosfaat uit tarwegries te zijn geëxtraheerd. Na vier bedvolumina was dit iets meer dan 80 %. Deze hoeveelheden blijven iets achter bij de 90 % extractie na grofweg twee bedvolumina eluens die met NaCl werd gevonden. Dit verschil kan wellicht (deels) worden verklaard doordat de pH van het extract tijdens het laatste gedeelte van de extractie buiten het optimale gebied lag.

Concluderend wordt gesteld dat fosfaat redelijk goed uit tarwegries kan worden verwijderd in een opzet die gebruik maakt van kolomextractie met eluens azijnzuur. Het concentratieprofiel van fosfaat tijdens een eerste extractie-experiment komt redelijk overeen met die van NaCl in een simulerend experiment. Verwacht wordt dat door betere beheersing van de pH hetzelfde extractierendement verkregen kan worden als bij extractie van NaCl.

2.4 Precipitatie geëxtraheerd fosfaat met kalkmelk

Een gedeelte van het opgevangen extract werd gebruikt voor bepaling van de concentratie fosfaat. Het resterend monster, opgevangen tijdens extractie met de eerste 1.6 bedvolume eluens, werd samengevoegd. Getracht werd het opgelost fosfaat uit dit monster neer te slaan.

Hiertoe werd het verzamelmonster eerst 8 minuten gecentrifugeerd in een Hermle Z300 centrifuge bij 4000 rpm. Na verwijdering van een kleine hoeveelheid residu werd het supernatant gefiltreerd over een Whatman 595½ filter. De pH van de overgebleven 391 g filtraat werd tenslotte onder continue menging van 5.0 naar 10.0 gebracht door toevoeging van 10.2 g 10.9 w/w% Ca(OH)₂ dispersie. Hierbij ontstond een fijne witte vaste stof die langzaam precipiteerde zoals weergegeven in Figuur 10.



Figuur 10 Precipitatie eluens kolomextractie.

Hoewel niet geanalyseerd, is het zeer waarschijnlijk dat dit precipitaat neergeslagen fosfaat is. Het droge precipitaat bestond uit 65.3 w/w% anorganisch materiaal. Deze hoeveelheid anorganische stof komt uitstekend overeen met de hoeveelheid CaHPO_4 en KH_2PO_4 die zich tijdens precipitatie zou kunnen vormen uit de aanwezige, gemeten, hoeveelheid fosfaat.

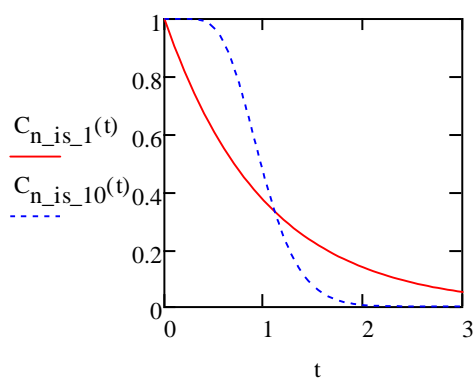
3 Modelling

3.1 Theorie

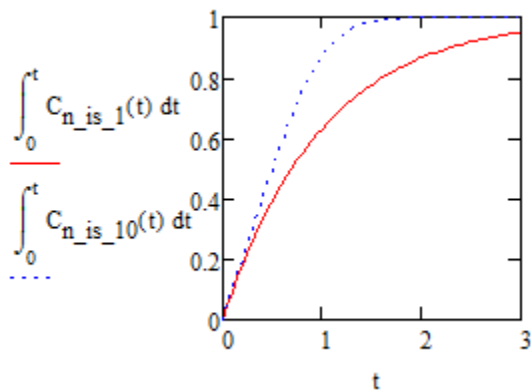
Fosfaat wordt uit de veevoedergrondstof verwijderd door extractie met een zure vloeistof. Voor de bepaling van het benodigde volume van de extractie unit en het benodigde elutievolume, is het noodzakelijk inzicht te verkrijgen in het proces.

De veevoedergrondstof zal gestort worden in een kolom. De zure vloeistof wordt van onder naar boven of van boven naar onder door de kolom geleid. Als de grondstof droog is, zal de grondstof water opnemen en zwellen. Tijdens de doorstroming van de kolom zal het fosfaat in de vloeistof oplossen. Het is te verwachten dat fosfaat een gelijke affiniteit heeft voor het vrije water en het gebonden water ($K = 1$). Bij zeer langzame doorstroming zal de fosfaatconcentratie in de extractievloeistof steeds op evenwicht zijn met de fosfaatconcentratie in de gehydrateerde grondstof. De kolom gedraagt zich dan als een ideale plug flow reactor (of als oneindig veel gemengde tankreactoren in serie). Bij snellere doorstroming zal het evenwicht nog niet volledig ingesteld zijn. De kolom gedraagt zich dan als een beperkt aantal gemengde tankreactoren in serie. Als de kolom nog sneller doorspoeld wordt, dan zal nog slechts 1 gemengde reactor overblijven.

Figuur 11 laat zien hoe de genormaliseerde concentratie geëxtraheerde component zich ontwikkelt als functie van de genormaliseerde tijd (of aantal bedverversingen) bij 1 en 10 evenwichtsstappen in de extractie. Figuur 12 geeft de genormaliseerde hoeveelheid geëxtraheerde component als functie de genormaliseerde tijd. Duidelijk te zien is dat de hoeveelheid water die nodig is om 95% van het fosfaat te extraheren kleiner is naarmate er meerdere evenwichtstrappen zijn. Dit heeft als voordelen dat er (1) minder water nodig is, (2) minder zuur nodig is, (3) een hogere concentratie fosfaat in het extract wordt verkregen en (4) er minder base nodig is voor precipitatie van fosfaat.



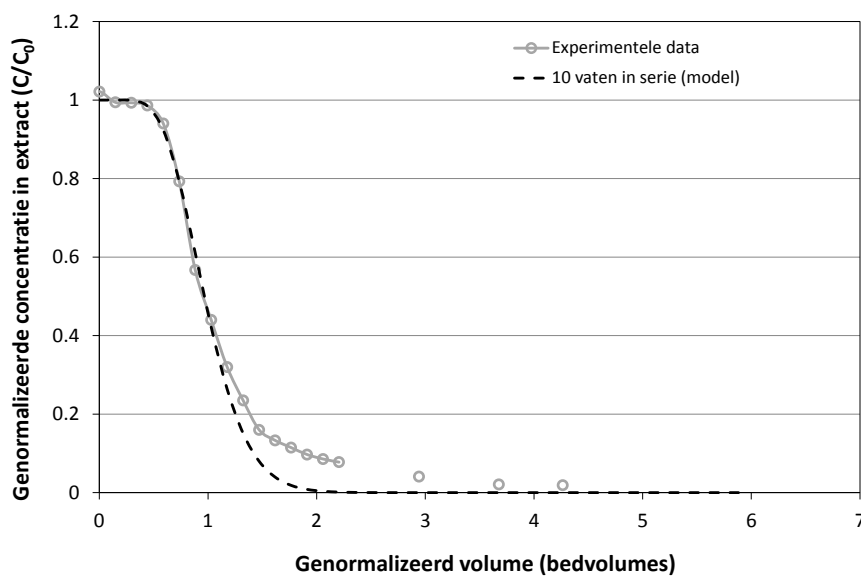
Figuur 11 Genormaliseerde concentratie van geëxtraheerde component als functie van genormaliseerde tijd bij 1 en 10 evenwichtsstappen.



Figuur 12 Genormaliseerde hoeveelheid geëxtraheerde component als functie van genormaliseerde tijd bij 1 en 10 evenwichtsstappen.

3.2 Modelling data NaCl extractie

Het gedrag van een extractiekolom gevuld met tarwegries werd in paragraaf 2.1 gekarakteriseerd met NaCl. Duidelijk is dat de genormaliseerde curve sterke gelijkenis vertoont met het model. De kolom gedraagt zich als 10 gemengde reactoren in serie, maar heeft wel meer tailing dan verwacht mag worden. Deze tailing ontstaat vaak door niet lineaire effecten.



Figuur 13 Vergelijking data NaCl extractie uit kolom tarwegries met model dat 10 vaten in serie beschrijft.

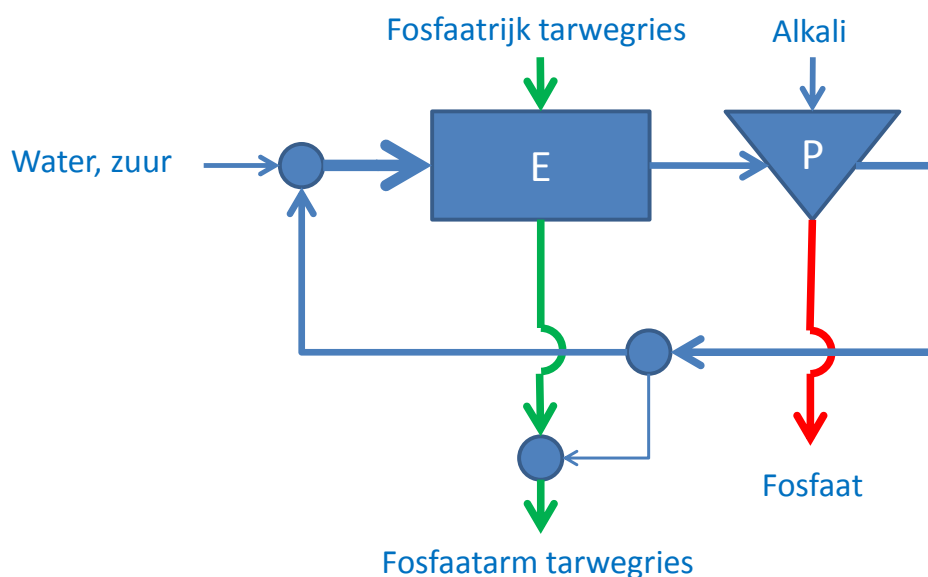
Voor processimulatie in het volgende hoofdstuk kan derhalve worden *aangenomen* dat 95% van het extract kan worden uitgespoeld met anderhalf bedvolume eluens. Dit is in lijn met een eerdere conclusie na NaCl extractie.

4 Procesontwerp

4.1 Inleiding

Bioraffinage van mengvoedergrondstoffen (Meesters, 2011) beschrijft een “Simulated Moving Bed” voor verwijdering van fosfaten, eiwitten en zouten uit tarwegries. De focus van dit rapport ligt op het verwijderen van fosfaat uit tarwegries. Modelleren van extractie van NaCl uit tarwegries in een kolom laat zien dat dit systeem kan worden beschouwd als een aaneenschakeling van meerdere gemengde reactoren. Kolomextractie is eenvoudiger in uitvoering en heeft daarom de voorkeur boven SMB.

Fosfaat wordt in zuur milieu met kolomextractie uit tarwegries geëxtraheerd (E). Vervolgens wordt alkali aan het eluens toegevoegd waarbij het fosfaat neerslaat en wordt afgescheiden (P). Om het watergebruik over dit systeem te beperken wordt het eluens grotendeels gerecycled, de lekstroom uit de recycle wordt met het fosfaatarme tarwegries gemengd. Hierdoor levert het proces geen afval- en alleen productstromen.



Figuur 14 Concept extractie (E) en precipitatie (P) van fosfaat uit tarwegries.

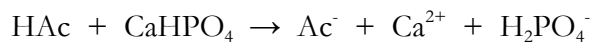
4.2 Simulatie proces

Bovenstaand concept werd met experimentele data van kolomextractie van NaCl uit tarwegries (Hoofdstuk 2) en theoretische aannamen uitgewerkt tot een compleet proces voor extractie en precipitatie van fosfaat. Met SuperPro Designer software (versie 7.0) werd de beste simulatie verkregen door de componenten onder te verdelen in vaste stoffen, opgeloste stoffen en mobiele fase water. De verschillende (oplos)reacties en distributie van componenten bij extractie en

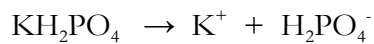
terugwinning van fosfaat werden gesimuleerd door een aaneenschakeling van diverse enkelvoudige bewerkingen. Als een gevolg hiervan bevat de simulatie een groot aantal fictieve materiaalstromen en processtappen.

De simulatie gaat uit van een continu proces. De tarwegries bevat 11 mg/g fosfor dat voor de helft als CaHPO_4 en de andere helft als KH_2PO_4 aanwezig is. Azijnzuur wordt gebruikt om al het fosfaat op te lossen. De overmaat bedraagt 20% voor de oplosreactie van CaHPO_4 . Het oplossen van KH_2PO_4 verbruikt geen zuur.

Reactie 1

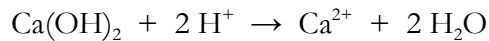


Reactie 2



Daarnaast lossen sommige andere componenten uit het tarwegries ook (deels) op. 95% van de opgeloste componenten wordt geëxtraheerd met anderhalf bedvolume eluens (zoals aangenomen na modellering van extractie van NaCl uit tarwegries (paragraaf 3.2)). Na extractie wordt behandeld vast tarwegries met opgenomen water afgevoerd. Calciumhydroxide wordt toegevoegd om het eluens te neutraliseren en al het fosfaat neer te slaan als calciumwaterstoffosfaat. De overmaat calciumhydroxide bedraagt 1% op het totaal verbruik.

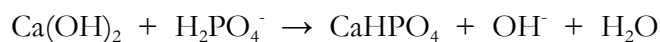
Reactie 3



Reactie 4

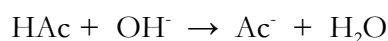


Reactie 5



98% van dit neergeslagen calciumwaterstoffosfaat wordt afgescheiden in een concentratie van 300 g/l. Resterend eluens wordt grotendeels gerecycled om de invoer van water te beperken. Hierbij wordt eerst de overmaat alkali geneutraliseerd met azijnzuur waarbij direct het niet-verwijderde fosfaat weer in oplossing wordt gebracht (Reactie 1).

Reactie 6

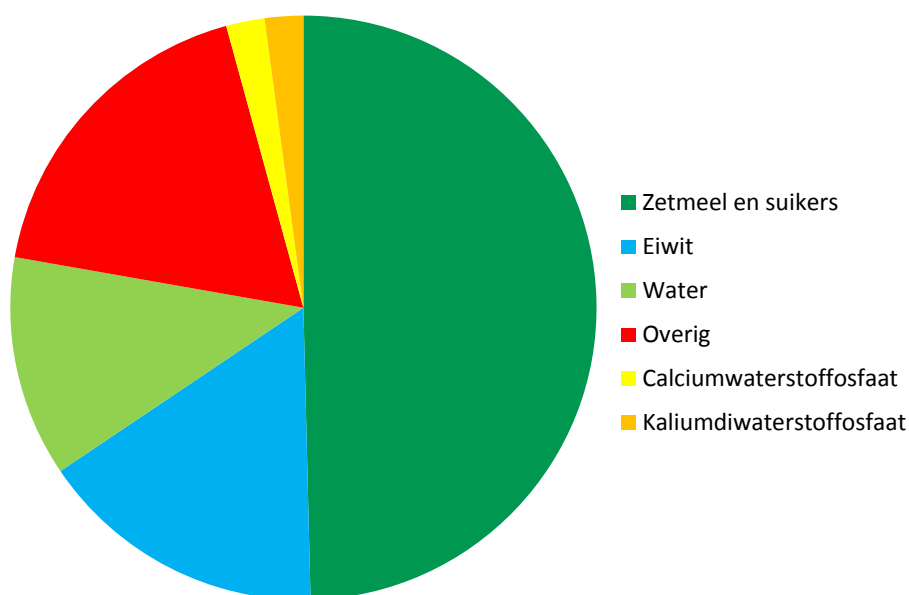


De lekstroom uit de recycle wordt tenslotte met het fosfaatarme tarwegries gemengd. De toevoer van water en recycle eluens werden in deze simulatie zo gekozen dat de hoeveelheid water

afgevoerd met tarwegries en hoeveelheid eluens voor extractie overeenkomen met de experimentele kolomextractie van NaCl uit tarwegries.

De belangrijkste uitgangspunten voor de simulatie worden hieronder nogmaals samengevat:

- Uitvoering
 - Extractie fosfaat met zuur en precipitatie met alkali.
 - Recycle eluens met lekstroom ter beperking invoer water.
 - Combinatie lekstroom recycle met geëxtraheerd fosfaatarm tarwegries.
 - Continu proces.
- Feedstock
 - Tarwegries met 11 mg/g fosfor. 50% CaHPO₄ en 50% KH₂PO₄ op fosfaatbasis. 87.78 w/w% droge stof. Complete samenstelling tarwegries, zie Figuur 15.
- Keuze chemicaliën
 - Selectie azijnzuur op basis van prijs en voedingswaarde voor dieren.
 - Selectie calciumhydroxide op calciumbehoefte neerslagreactie fosfaat en prijs.
- Conversies en efficiënties
 - CaHPO₄ en KH₂PO₄ lossen volledig op.
 - 20% overmaat azijnzuur voor oplosreactie CaHPO₄.
 - Stoichiometrische neutralisatie alkalische recycle met azijnzuur.
 - Diverse componenten lossen ook (deels) op. Anderen blijven vast.
 - 95% extractie-efficiëntie opgeloste componenten bij anderhalf bedvolume eluens.
 - Opgelost fosfaat slaat volledig neer als calciumwaterstoffosfaat.
 - 1% overmaat Ca(OH)₂ voor neerslag fosfaat en volledige neutralisatie zuur eluens.
 - Scheiding 98% geprecipiteerd fosfaat als concentraat van 300 g/l.
- Balans vloeistof
 - Gebaseerd op invoer 100 kg/h droog tarwegries.
 - Uitvoer 276.0 kg/h water geboden aan geëxtraheerd tarwegries (exp. NaCl).
 - Anderhalf bedvolume eluens voor 95% extractie vereist 579.3 kg/h water.
 - Invoer water beperkt tot 300 kg/h.
 - Recycle 95.1% eluens om genoemde stroomgrootten te bereiken (exp. NaCl).



Figuur 15 Samenstelling tarwegries in gewichtsdelen voor simulatie extractie fosfaat met SuperPro designer.

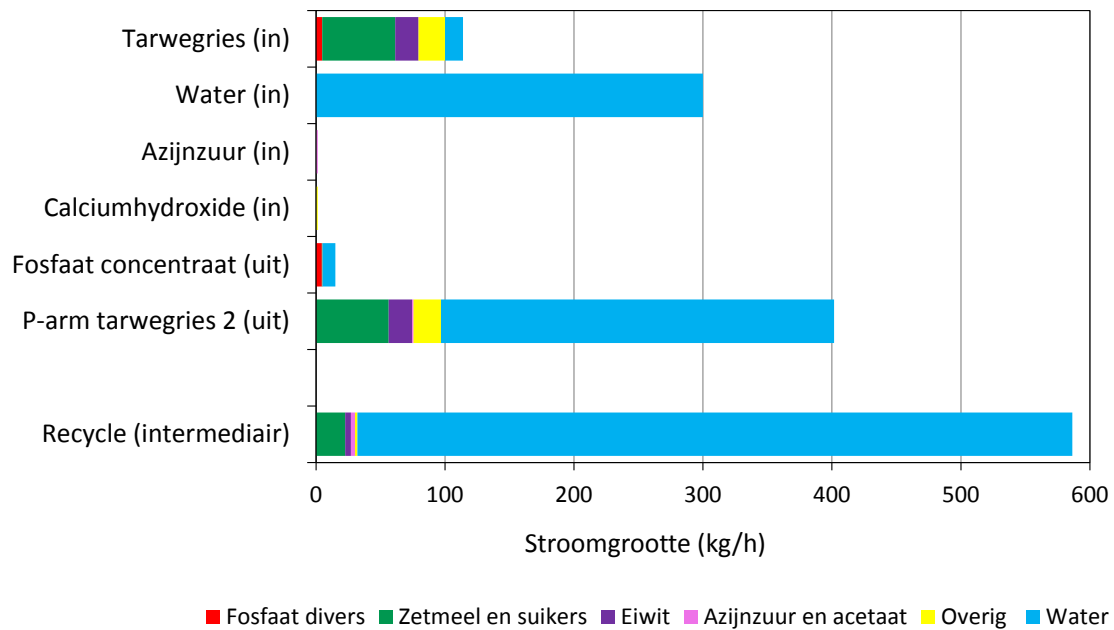
4.3 Massabalans

Figuur 16 geeft een overzicht van de grootte en samenstelling van de belangrijkste processtromen tijdens extractie en precipitatie van fosfaat uit tarwegries. Deze data werden verkregen door simulatie van het proces met SuperPro Designer software (versie 7.0) gebaseerd op de uitgangspunten geformuleerd in de vorige paragraaf. Het vereenvoudigde processchema werd weergegeven in Figuur 14. De massabalans over dit stroomschema werd berekend op basis van invoer van 100 delen droge stof tarwegries elk uur. Onderstaande analyse van deze balans richt zich op fosfaatarm tarwegries 2 waarbij de lekstroom uit de recycle werd gecombineerd met het originele geëxtraheerde tarwegries, fosfaatarm tarwegries 1. In Figuur 1, Figuur 14 en Figuur 19 wordt fosfaatarm tarwegries 2 overigens simpelweg *fosfaatarm tarwegries* genoemd.

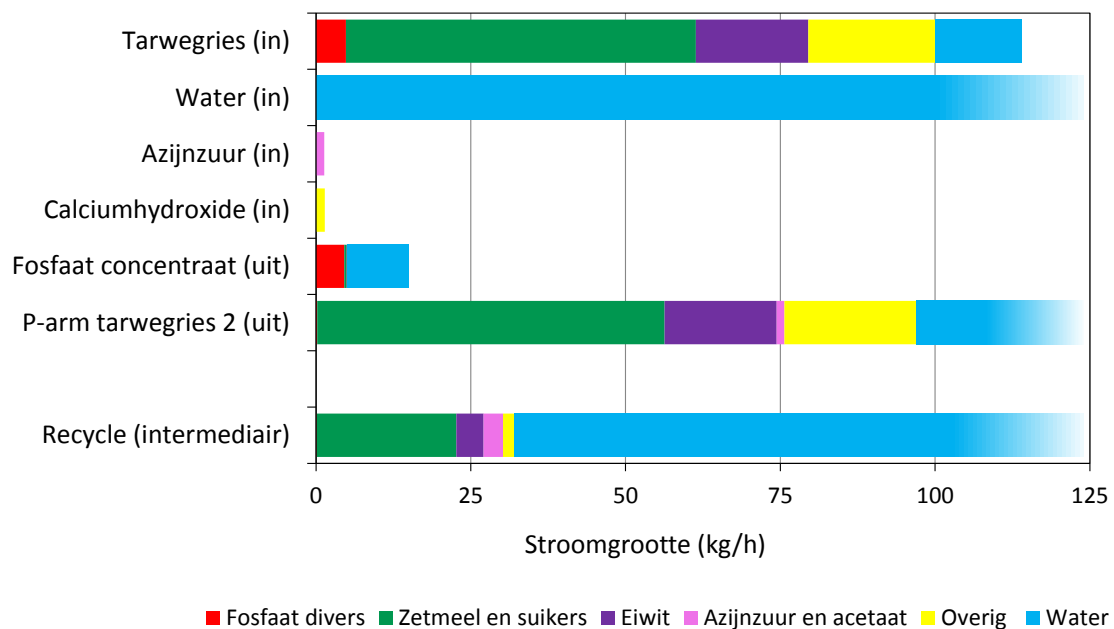
De extractie van fosfaat uit tarwegries levert elk uur 401.6 kg geëxtraheerd tarwegries en 15.0 kg fosfaatrijke slurry bij een invoer van 113.9 kg tarwegries (100.0 kg droge stof), 1.34 kg azijnzuur, 1.41 kg calcium hydroxide en 300.0 kg water. 95.1 w/w% van het eluens (586.5 kg) werd in deze set-up gerecycled.

Behandeld tarwegries bevat 24.1 w/w% droge stof. In vergelijking met onbehandeld tarwegries zijn alle onoplosbare componenten en het overgrote gedeelte van de (niet-fosfaat) oplosbare componenten nog aanwezig. Fosfaat is bijna geheel verwijderd. Het materiaal is verrijkt met acetaatzouten en is tevens licht zuur hetgeen deze compositie geschikt maakt als fosfaatarm brijvoer. De fosfaatrijke slurry bevat 34.1 w/w% droge stof dat voor het overgrote gedeelte uit CaHPO_4 bestaat. De overige componenten zijn restfracties oplosbare componenten uit tarwegries. Deze stroom is geschikt als meststof of voedingssupplement.

A) Samenstelling en grootte processtromen



B) Samenstelling processtromen naast mobiele fase water



Figuur 16 Overzicht grootte en samenstelling belangrijkste processtromen SuperPro simulatie van extractie van fosfaat uit tarwegries bij invoer 100 kg/h DS tarwegries. De recycle lekstroom en fosfaatarm tarwegries 1 worden gecombineerd tot fosfaatarm tarwegries 2. Zie ook Figuur 10. Figuur A geeft de volledige grootte en samenstelling van enkele processtromen, figuur B beschouwt de samenstelling van enkele processtromen naast mobiele fase water.

In de simulatie werd 20 w/w% overmaat azijnzuur gebruikt om CaHPO_4 uit tarwegries op te lossen (Reactie 1) en vervolgens te extraheren. In paragraaf 2.2 werd tijdens titratie bij pH 5.0 over een periode van 2 uur 0.25 mol azijnzuur per kilogram droge stof tarwegries verbruikt. Bij de aangenomen 50/50 verdeling fosfaat over $\text{CaHPO}_4/\text{KH}_2\text{PO}_4$ (P-basis) zou dit overeenkomen met een 41 w/w% overmaat azijnzuur. Op basis van eerder werk (Meesters, 2011) kan echter worden aangenomen dat er nauwelijks minder fosfaat zal worden geëxtraheerd bij een iets hogere pH. Het zuurverbruik zal waarschijnlijk wel duidelijk lager liggen omdat optredende ongewenste reactie van azijnzuur met aanwezig eiwit rond deze pH wordt beperkt.

Het verbruik van zuur door reactie met eiwit kan worden toegelicht met bijvoorbeeld soja-eiwit. Van dit eiwit is bekend dat het 0.8 mol H^+ per kg eiwit kan opnemen tussen pH 4.0 en 6.7. Wanneer in de bovengenoemde set-up de 20 w/w% overmaat azijnzuur volledig werd gedissocieerd en alle (niet voor reactie met fosfaat verbruikte) protonen werden opgenomen door aanwezig eiwit lag deze hoeveelheid op 0.2 mol H^+ /kg eiwit. Het verbruik van zuur door reactie met eiwit uit tarwegries is met 20 w/w% overmaat azijnzuur dus beperkt in vergelijking met de opnamecapaciteit van voorbeeldmateriaal soja-eiwit.

Dezelfde 50/50 verdeling $\text{CaHPO}_4/\text{KH}_2\text{PO}_4$ in onbehandeld tarwegries zorgde er in combinatie met neutralisatie van overmaat zuur in het eluens met calciumhydroxide (Reactie 3) voor dat precipitatie van HPO_4^{2-} in dit eluens met calciumhydroxide werd beperkt door de hoeveelheid OH^- en niet door Ca^{2+} . Al het aanwezige opgeloste H_2PO_4^- werd derhalve neergeslagen met Reactie 4 waardoor Reactie 5 niet plaatsvond.

Simulatie met SuperPro Designer gebaseerd op experimentele data en realistische aannamen liet concluderend zien dat continue extractie van 100.0 kg droog tarwegries met 300.0 kg water en 1.34 kg azijnzuur elk uur resulteerde in vorming van 401.6 kg fosfaatarm tarwegries. Precipitatie van eluens met 1.41 kg calciumhydroxide gaf daarbij 15.0 kg fosfaatrijke slurry. Door 95.1% (586.5 kg/h) van het uitstromend eluens te recyclen kon de invoer van vers water beperkt blijven. De bleed werd met geëxtraheerd tarwegries gemengd waardoor het proces alleen product- en geen afvalstromen leverde.

Behandeld tarwegries met 24.1 w/w% droge stof bevat het overgrote gedeelte van de vaste en oplosbare componenten van het uitgangsmateriaal en toegevoegd acetaat(zout) terwijl het fosfaat bijna geheel verwijderd is. Dit maakt het materiaal geschikt als fosfaatarm brijvoer. De fosfaatrijke slurry bevat 34.1 w/w% droge stof die naast resten oplosbare componenten voor het overgrote gedeelte uit CaHPO_4 bestaat. Deze stroom is geschikt als meststof of voedingssupplement.

5 Equipment

Het concept van extractie en precipitatie van fosfaat uit Figuur 14 werd in vorig hoofdstuk met SuperPro Designer uitgewerkt. Deze *simulatie* geeft inzicht in reële stroomgrootten en -composities van in- en uitgangstromen in dit proces. Dit hoofdstuk behandelt de keuze en grootte van apparatuur benodigd voor het reële proces op volledige industriële schaal. Het concept van zure extractie en precipitatie met alkali blijft gelijk.

5.1 Uitvoering proces industriële schaal

Zure extractie van fosfaat kan plaatsvinden in een cilindrische tank met bolle fronten analoog aan NaCl extractie zoals beschreven in paragraaf 2.1. Dit experiment laat ook zien dat het extractieproces bestaat uit 4 fasen: (1) vullen van de kolom met tarwegries, (2) benatten van tarwegries met zuur eluens, (3) de daadwerkelijke extractie met zuur eluens en (4) lossen van het fosfaatarme tarwegries. In een continu werkende opzet heeft het derhalve de voorkeur om 2 kolommen te gebruiken die volgens onderstaand schema uit fase werken. De daadwerkelijke extractie duurt hierbij 1 uur op een totale cyclustijd van 2 uur. Hierdoor is een continue stroom zuur eluens met opgelost fosfaat uit het extractieproces beschikbaar. Geëxtraheerd tarwegries wordt per batch gelost.

Tijd	Kolom 1	Kolom 2	Totaal flow uit	Totaal flow in	Totaal flow benatten
1 uur	Extractie	Lossen			
		Vullen			
		Benatten			
1 uur	Lossen	Extractie			
	Vullen				
	Benatten				

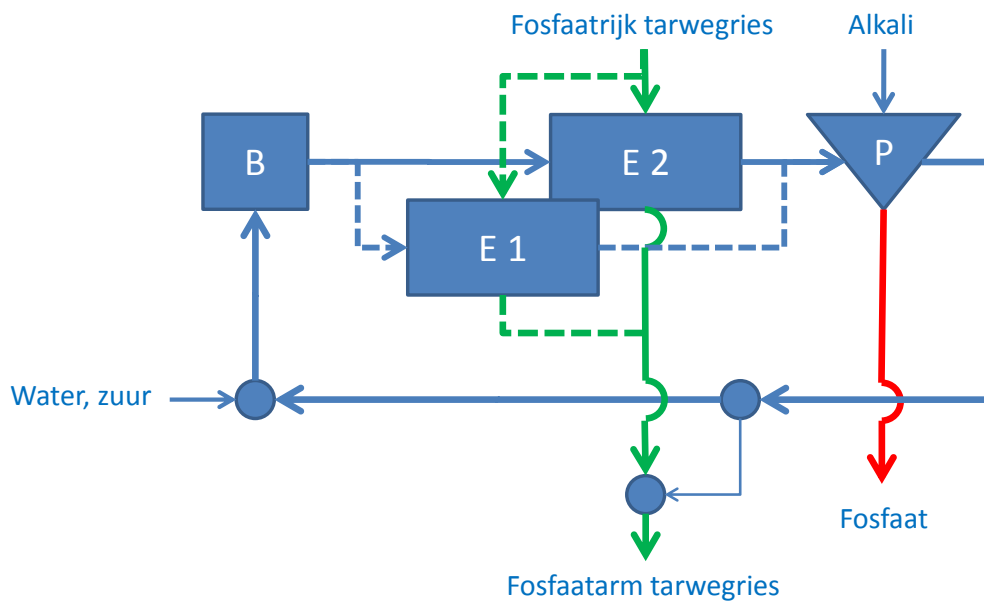
Figuur 17 Fasering operatie 2 parallel geschakelde extractiekolommen.

Precipitatie van calciumwaterstoffosfaat vindt plaats na additie van alkali aan het zure eluens. Calciumhydroxide kan in de praktijk als waterige slurry worden gedoseerd. Terugwinning van fosfaat kan plaatsvinden in een bezinktank. Het eluens wordt in het midden van een tank gedoseerd. Door het verschil in dichtheid zal het calciumwaterstoffosfaat bij geringe opwaartse stroming bezinken waarna het “schone” eluens via de overstroomrand de bezinktank verlaat. Een schraper of rakel verzamelt het geprecipiteerd materiaal op de bodem en voert het af.



Figuur 18 Voorbeeld bezinktank.

Het uitstromende eluens is licht alkalisch door de toepaste overmaat calciumhydroxide. Een klein gedeelte wordt gemengd met geëxtraheerd tarwegries. Het grootste gedeelte zal worden gerecycled. Deze stroom wordt eerst gemengd met vers water en met azijnzuur op de gewenste pH tussen de 5.0 en 5.5 gebracht. Figuur 17 laat zien dat er niet alleen een continue stroom eluens nodig is voor extractie maar dat er tijdelijk ook extra eluens nodig is om tarwegries te benatten. Om de aanvoer van recycle en vers water enerzijds en de wisselende vraag naar eluens met de juiste pH anderzijds op elkaar af te stemmen zal het proces op volledige schaal worden voorzien van een buffervat. Het reële proces ziet er derhalve als volgt uit.



Figuur 19 Extractie en precipitatie op volledige industriële schaal. 2 parallelle extractiekolommen E1 en E2 opereren uit fase. Precipitatie (P) vindt plaats in een bezinktank. Het systeem is voorzien van een buffervat (B).

De uitvoering van het proces op industriële schaal wordt nogmaals puntsgewijs samengevat.

- Uitvoering
 - Parallele schakeling twee extractie-eenheden die uit fase opereren geeft een continue stroom fosfaatrijk eluens.
 - Effectieve extractie kost de helft van de tijd van de totale extractiecyclus.
 - Laden, benatten en lossen gebeurt batchgewijs.
- Extractie
 - Cilindrische tank met bolle fronten.
 - (Azijn)zuur eluens.
- Precipitatie en collectie calciumwaterstoffosfaat
 - Bezinktank met schaper.
 - Calciumhydroxide slurry geeft neerslagreactie.
- Balanceren in- en uitgaande stroom eluens
 - Tijdelijk opslag in buffertank.

5.2 Grootte apparatuur industriële schaal

De grootte van apparatuur in de bovengenoemde opzet voor fosfaatextractie werd berekend bij een schaalgrootte van 100 kton tarwegries “as is” per jaar. De berekening werd gebaseerd op de waterbalans over tarwegries die werd waargenomen tijdens NaCl extractie in paragraaf 2.1 aangevuld met de onderstaande data.

• Stortgewicht tarwegries “as is”:	0.25 kg/l
• Dichtheid benatte kolom tarwegries:	1.00 kg/l
• Wateropname tarwegries “as is”:	3.0 kg/kg
• Anderhalf bedvolume eluens tarwegries “as is”:	5.5 kg/kg
• Dichtheid eluens:	1.0 kg/l
• Werkbare tijd per jaar:	8000 uur
• Inhoud bulkwagen:	50 m ³
• Opwaartse snelheid eluens in bezinktank:	1 m/h
• Verbliftijd bezinktank:	2 uur

Het volume van tarwegries blijft bij benatting gelijk terwijl de dichtheid een factor 4 toeneemt. Derhalve werd het volume van de cilindrische tank gelijk gekozen aan de inhoud van een bulkwagen, 50 m³. Deze koppeling geeft een efficiënte bedrijfsvoering met laden en lossen omdat de bulkwagen in een keer kan worden leeggestort. 100 kton tarwegries “as is” per jaar geeft na benatting 400 kton met een volume van 400000 m³. Met gekozen tankinhoud moeten jaarlijks dus 8000 batches tarwegries worden geëxtraheerd. Dit komt overeen met een effectieve extractietijd van 1 uur. In de besproken uitvoering wordt dit gerealiseerd door twee extracties, elk met een totale cyclustijd van 2 uur, parallel uit fase naast elkaar uit te voeren. Er zijn dus twee 50 m³ cilindrische tanks nodig.

Gebruikte 12.5 ton/h tarwegries geeft bij extractie een debiet van 68.8 m³/h eluens. Bij genoemde maximale opwaartse snelheid heeft de cilindrische bezinktank dus een bodemdiameter van 9.4 meter een inhoud van 137.5 m³ bij 2 uur verblijftijd. De buffertank dient tenslotte de hoeveelheid eluens voor benatting te kunnen bufferen. Bij 12.5 ton tarwegries per batch (2 in 2 uur) is dus een opslagcapaciteit van 37.5 m³ vereist.

Concluderend wordt gesteld dat extractie van fosfaat uit 100 kton tarwegries op industriële schaal kan worden uitgevoerd door twee 50 m³ cilindrische tanks parallel uit fase te gebruiken voor zure extractie. Elke volledige extractiebewerking kent een cyclustijd van 2 uur maar door de schakeling ontstaat een continue stroom fosfaatrijk eluens. Precipitatie vind plaats in een 2 meter hoge 137.5 m³ bezinktank en in- en uitgaande stromen eluens worden op elkaar afgestemd door een 37.5 m³ buffervat te plaatsen in de recycle.

6 Economische evaluatie

De stroomgrootten en –samenstellingen uit de gesimuleerde massabalans in hoofdstuk 4 en de keuze en grootte van apparatuur uit hoofdstuk 5 vormen de basis voor een economische evaluatie van extractie en precipitatie van fosfaat uit tarwegries op een schaalgrootte van 100 kton tarwegries “as is” per jaar. Bij toepassing als fosfaatarm brijvoer voor varkens is het moeilijk om een economische waarde aan geëxtraheerd tarwegries toe te kennen. Daarom werd de productprijs berekend die nodig is om de investering voor bijbehorende fabriek bij afzet van de volledige productie in 3 jaar terug te verdienen. Tenslotte werd deze productprijs getoetst door samen met aanvullend voer een varkensrantsoen samen te stellen. Bijbehorende productafzet werd vergeleken met de totale Nederlandse consumptie van vloeibaar varkensrantsoen.

6.1 Investing apparatuur

Uitgaande van de keuze en schaalgrootte van apparatuur uit hoofdstuk 5 werd de investering berekend. Onderstaande tabel geeft de prijzen van apparatuur waarvan de inhoud veiligheidshalve iets groter werd gekozen. Het totaal werd geschaald met een factor 4 voor installatie op locatie.

Tabel 1 Investeringskosten apparatuur fosfaatextractie 100 kton tarwegries “as is” per jaar

	k€	Referentie
60 m ³ cilindrische tank met bolle fronten – 2 stuks	120	DACE Prijzenboekje 2008, blz 25
40 m ³ cilindrische tank met bolle fronten – 1 stuk	36	DACE Prijzenboekje 2008, blz 25
150 m ³ bezinktank met rakel	70	http://www.emis.vito.be/techniekfiche/bezinken
totaal	226	
Factor installatie (-)	4	
Investeringskosten	904	

6.2 Vaste kosten

De vaste kosten worden gevormd door de posten afschrijving, onderhoud, rente over de investering en personeel. Hierbij werd uitgegaan van de volgende uitgangspunten.

- Afschrijving apparatuur: 10%/jaar
- Onderhoud apparatuur: 4%/jaar
- Rente: 5%/jaar
- Aantal operators: 1
- Loonkosten operator: 40 k€/jaar

De jaarlijks vaste kosten worden gegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 2 Jaarlijkse vaste kosten fosfaatextractie 100 kton tarwegries “as is” per jaar.

	k€/jaar
Afschrijving apparatuur	90
Onderhoud apparatuur	36
Rente apparatuur	45
Personeel	40
Totaal vaste kosten	212

6.3 Operationele kosten

De operationele kosten bestaan uit een schatting van de kosten voor energie en koeling. Dit proces bevat geen onderdelen die bij hoge temperatuur worden uitgevoerd of andere energie-intensieve stappen. De operationele kosten werden geschat op 10 k€/jaar.

6.4 Grondstofkosten en inkomsten calciumwaterstoffosfaat

De materiaalstromen uit de gesimuleerde massabalans in hoofdstuk 4 werden opgeschaald naar een proces dat 100 kton tarwegries “as is” per jaar verwerkt. Met uitzondering van geëxtraheerd tarwegries werd vervolgens aan elke stroom een waarde toegekend.

De grondstofprijzen in Tabel 3 zijn inclusief levering op locatie voor 50 €/ton ds. De waarde van het fosfaatconcentraat werd gebaseerd op zuiver calciumwaterstoffosfaat. De ICIS-prijs van calciumwaterstoffosfaat is gebaseerd op een vast (nagenoeg droog) feed-grade materiaal met een fosfaatgehalte van minimaal 18.5%. Calciumwaterstoffosfaat uit besproken proces heeft een fosfaatgehalte van 22.8% maar is aanwezig als 300 g/l slurry. Aangenomen werd dat de waarde van dit product overeenkomt met eerstgenoemd product.

Tabel 3 Grondstofkosten en inkomsten calciumwaterstoffosfaat bij fosfaatextractie 100 kton tarwegries “as is” per jaar.

Grondstoffen in	Debiet (kton ds/jaar)	Prijs (€/ton ds)	Grondstofkosten (k€/jaar)	Referentie prijs
Tarwegries	87.78	238.73	20956	Van Krimpen, Bestmix database aug. 2011
Azijnzuur totaal	1.18	550.00	647	ICIS price reports, contract prices europe jan. 2011
Calciumhydroxide	1.23	99.86	123	ICIS student, hydrated lime aug. 2006
Water	263.34	0.60	158	
		Totaal	21884	

Producten uit	Debiet (kton ds/jaar)	Prijs (€/ton ds)	Productinkomsten (k€/jaar)	Referentie prijs
Fosfaatarm tarwegries 2	85.09	-	-	
CaHPO ₄	4.00	175.67	703	ICIS student, feed grade min. 18.5% P. aug. 2006
		Totaal	-	

Productinkomsten – grondstofkosten (k€/jaar)	-
---	----------

6.5 Evaluatie economie totaal

Bij bovengenoemde investering (apparatuur, vaste kosten, operationele kosten en grondstoffen) en productinkomsten (exclusief geëxtraheerd tarwegries) dient de jaarlijkse opbrengst van fosfaatarm tarwegries 21704 k€ te zijn om een netto jaarresultaat te krijgen van 301 k€, benodigd om de investering in apparatuur (904 k€) in drie jaar terug te verdienen. Tabel 4 laat verder zien dat de grootste uitgave de inkoop van tarwegries betreft terwijl fosfaatarm (geëxtraheerd) tarwegries de meeste inkomsten moet geven. De inkoop van grondstoffen azijnzuur, calciumhydroxide en water vergt een veel kleinere uitgave die daarbij vergelijkbaar is met de opbrengst door verkoop van calciumwaterstoffosfaat. Daarnaast laat de tabel zien dat de vaste en operationele kosten laag zijn ten opzichte van de grondstofkosten en productinkomsten.

Tabel 4 Evaluatie economie fosfaatextractie 100 kton tarwegries “as is” per jaar.

Inkomsten	(k€/jaar)	Uitgaven	(k€/jaar)
<i>Producten</i>		<i>Grondstoffen</i>	
Fosfaatarm tarwegries 2	21704	Tarwegries	20956
CaHPO ₄	703	Azijnzuur	647
		Calciumhydroxide	123
		Water	158
		<i>Vaste kosten</i>	
		Afschrijving fabriek	90
		Onderhoud fabriek	36
		Rente	45
		Personeel	40
		<i>Operationele kosten</i>	
		Energie, koeling	10
	22407		22105
		Netto resultaat (k€/jaar)	301
		Investeringskosten (k€)	904

6.6 Bepaling waarde fosfaatarm tarwegries.

Tabel 5 laat zien dat bij de gekozen schaalgrootte de gewenste jaarlijkse inkomsten van 21704 k€ kunnen worden verkregen wanneer de volledige jaarproductie van 85.1 kton ds geëxtraheerd tarwegries tegen een prijs van 255.1 €/ton ds kan worden afgezet. De waarde van tarwegries zou derhalve ruim 16 euro per ton droge stof moeten toenemen als gevolg van extractie van een groot gedeelte van het aanwezige fosfaat. De volgende paragraaf toetst of deze prijs en de afzet op de Nederlandse markt reëel zijn.

Tabel 5 Grondstofkosten en productinkomsten fosfaatextractie 100 kton tarwegries “as is” per jaar.

Grondstoffen in	Debiet (kton ds/jaar)	Prijs (€/ton ds)	Grondstofkosten (k€/jaar)	Referentie prijs
Tarwegries	87.78	238.73	20956	Van Krimpen, Bestmix database aug. 2011
Azijnzuur totaal	1.18	550.00	647	ICIS price reports, contract prices europe jan. 2011
Calciumhydroxide	1.23	99.86	123	ICIS student, hydrated lime aug. 2006
Water	263.34	0.60	158	
		Totaal	21884	

Producten uit	Debiet (kton ds/jaar)	Prijs (€/ton ds)	Productinkomsten (k€/jaar)	Referentie prijs
Fosfaatarm tarwegries 2	85.09	255.08	21704	
CaHPO ₄	4.00	175.67	703	ICIS student, feed grade min. 18.5% P. aug. 2006
		Totaal	22407	

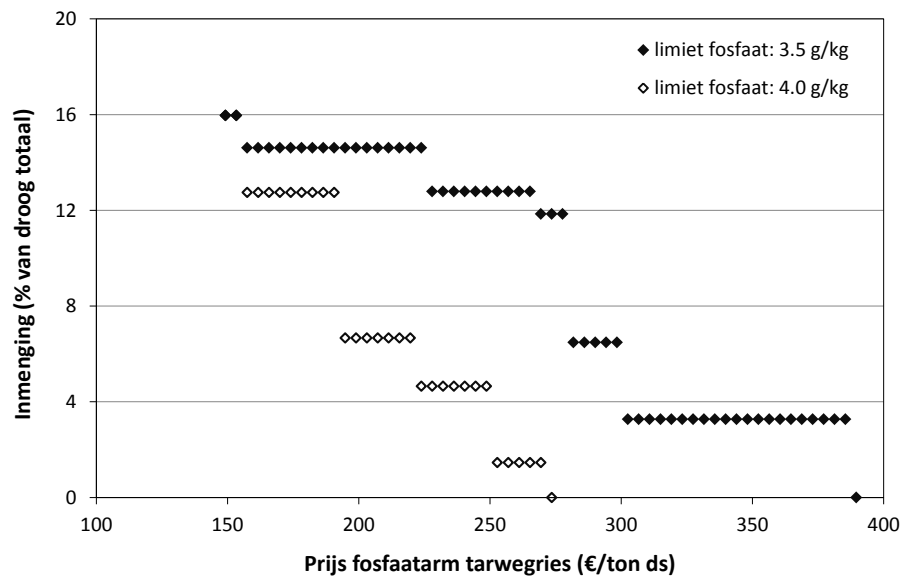
Productinkomsten – grondstofkosten (k€/jaar) 523

6.7 Toetsing prijs en afzet fosfaatarm tarwegries

De benodigde economische waarde van fosfaatarm tarwegries (255.1 €/ton ds) bij gebruik als fosfaatarm brijvoer voor varkens werd getoetst met BESTMIX software (van Krimpen, WUR Livestock research diervoeding). Aan de hand van de totale voedingsbehoefte combineert dit programma brijvoer en aanvullend voer tot een rantsoen. Naast een minimale energiewaarde en aanwezigheid van tal van nutriënten en bouwstoffen is de maximale hoeveelheid fosfaat die het totaal rantsoen mag bevatten een belangrijke voorwaarde bij samenstelling hiervan. Figuur 20 geeft de inmenging van fosfaatarm tarwegries in varkensrantsoen in relatie tot de prijs van eerstgenoemde. In eerste instantie ligt de focus op fosfaatarm tarwegries 2 waarbij de recycle bleed met het geëxtraheerde materiaal werd gemengd. Vooruitlopend op nieuw overheidsbeleid waarbij de hoeveelheid fosfaat in rantsoen beperkt wordt, werden twee scenario's doorgerekend. In de eerste situatie mag de hoeveelheid fosfaat in rantsoen 4.0 g/kg bedragen in de tweede situatie 3.5 g/kg.

Onbehandeld tarwegries heeft een waarde van 238.7 €/ton ds (BESTMIX database, augustus 2011). Samenstelling van een rantsoen met BESTMIX laat zien dat het qua prijs en samenstelling niet interessant is dit materiaal in het rantsoen in te mengen wanneer geen fosfaatarm tarwegries wordt aangeboden (data niet weergegeven).

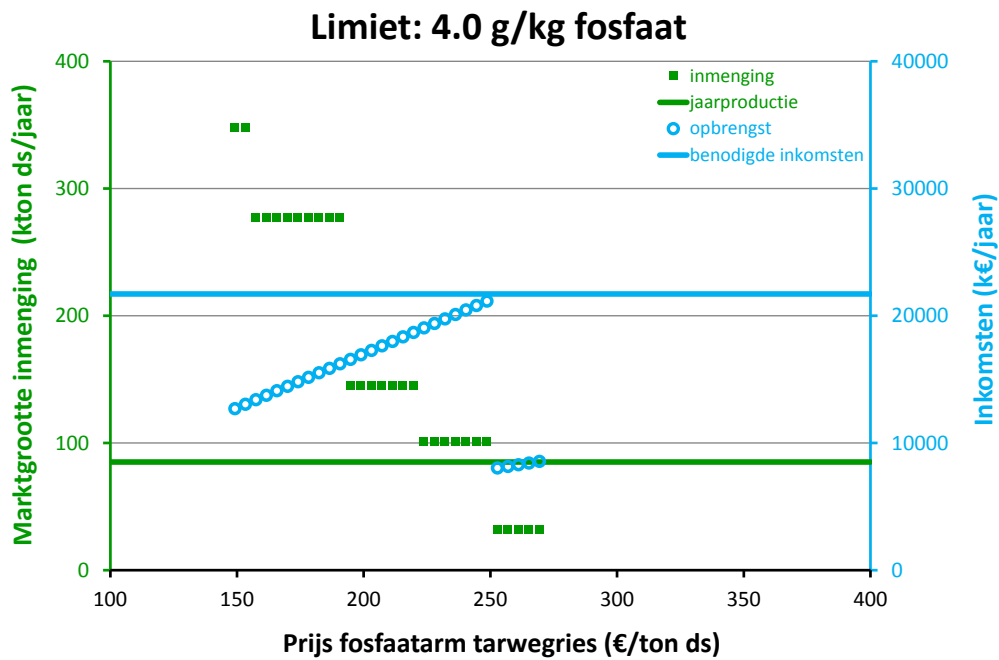
Bij een fosfaatlimiet van 4.0 g/kg rantsoen wordt fosfaatarm tarwegries ingemengd tot een prijs van 269.4 €/ton ds. Bij een limiet van 3.5 g/kg wordt fosfaatarm tarwegries ingemengd tot een prijs van 385.4 €/ton ds. Beperking van de fosfaatlimiet naar 4.0 (en zeker 3.5) g/kg zorgt er dus voor dat fosfaatarm tarwegries ook in brijvoer wordt ingemengd bij een prijs van 255.1 €/ton ds, de eerdergenoemde waarde benodigd voor economisch rendabele extractie van fosfaat.



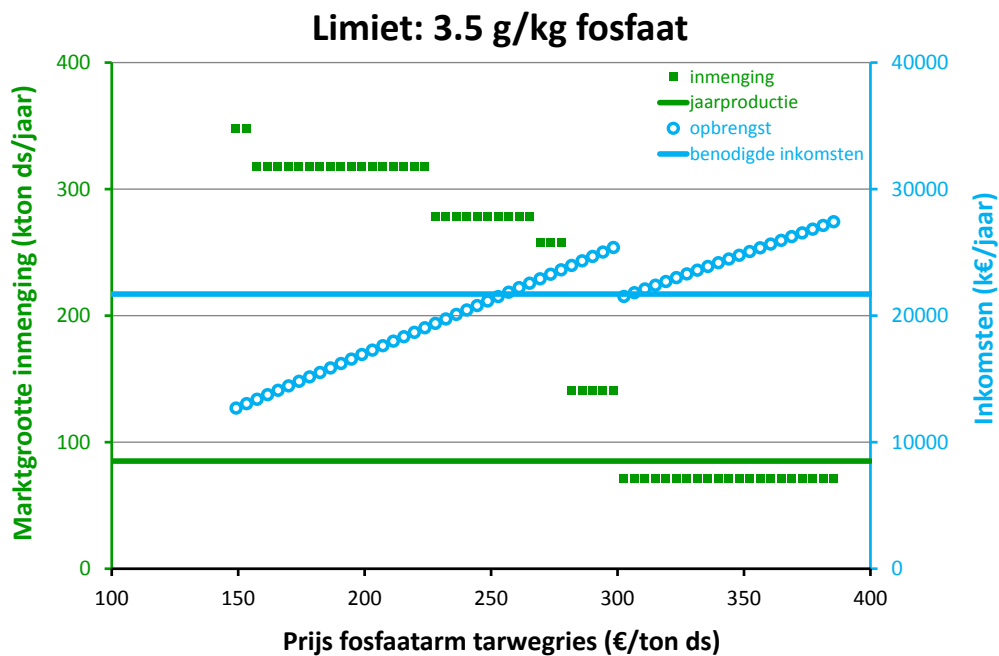
Figuur 20 Inmenging fosfaatarm tarwegries in varkensrantsoen bij verschillende fosfaatlimieten.

De inmenging van fosfaatarm tarwegries in varkensrantsoen in relatie tot de prijs van eerstgenoemde laat een duidelijk stapsgewijs verloop zien. Dit wordt verklaard door de voorwaarden en beperkingen die de BESTMIX software gebruikt om varkensrantsoen samen te stellen. Tussen twee voorwaarden kan de prijs van fosfaatarm tarwegries kennelijk worden verhoogd zonder dat de inmenging wijzigt.

Om de investering in 3 jaar te kunnen terugverdienen is een productprijs van 255.1 €/ton ds nodig bij afzet van de volledige jaarproductie van 85.1 kton ds. Bijlage 1 laat zien dat in Nederland jaarlijks 2.17 miljoen ton droge stof vloeibaar varkensrantsoen wordt gevoerd. Combinatie van de inmenging uit Figuur 20 met deze grootte van de Nederlandse markt resulteert in de hoeveelheid geëxtraheerd tarwegries die jaarlijks in vloeibaar varkensrantsoen kan worden ingemengd in relatie tot de prijs van eerstgenoemde. Combinatie van de inmenging met de productprijs levert de jaarlijkse inkomsten. De inmenging wordt hierbij natuurlijk beperkt tot de jaarlijkse productie van fosfaatarm tarwegries. De relatie tussen productprijs, marktgrootte voor inmenging en jaaropbrengst wordt voor een fosfaatlimiet van 3.5 en 4.0 g/kg rantsoen weergegeven in Figuur 21 en Figuur 22.



Figuur 21 Marktgrootte in Nederland voor inmenging van fosfaatarm tarwegries en jaarlijkse inkomsten bij maximale afzet van product in relatie tot de prijs van fosfaatarm tarwegries bij een fosfaatlimiet van 4.0 g/kg rantsoen.



Figuur 22 Marktgrootte in Nederland voor inmenging van fosfaatarm tarwegries en jaarlijkse inkomsten bij maximale afzet van product in relatie tot de prijs van fosfaatarm tarwegries bij een fosfaatlimiet van 3.5 g/kg rantsoen.

Bij een fosfaatlimiet van 4.0 g/kg kan slechts 31.8 ton ds product per jaar worden afgezet tegen een maximale prijs van 269.4 €/ton ds. De inkomsten van 8559 k€ per jaar zijn dan veel lager dan de 21704 k€ benodigd voor een economisch rendabel extractieproces. De volledige jaarproductie van 85.1 ton ds product kan worden afgezet tegen een prijs van maximaal 248.7 €/ton ds. De benodigde inkomsten worden in deze situatie met 21158 k€/jaar redelijk benaderd. Gezien de onzekerheden in de achterliggende economische evaluatie wordt dit resultaat *op dit moment* als onvoldoende beschouwd voor economisch verantwoorde extractie van fosfaat uit tarwegries.

Bij een fosfaatlimiet van 3.5 g/kg worden de gewenste inkomsten vanaf een prijs van 255.1 €/ton ds geëxtraheerd tarwegries gerealiseerd. De volledige jaarproductie kan hier worden afgezet. Boven een prijs van 298.4 €/ton kan slechts 71.2 van de 85.1 ton ds product jaarlijks worden afgezet. De prijs ligt in dit gebied echter duidelijk boven de genoemde kostprijs waardoor de benodigde inkomsten voor economisch rendabele fosfaatextractie kunnen worden gerealiseerd. Bij de hoogst mogelijke prijs van 385.4 €/ton bedragen de jaarlijkse inkomsten 27427 k€. In dit geval kan een aantrekkelijke winstmarge ontstaan bij extractie van fosfaat uit tarwegries met de gedefinieerde uitgangspunten.

Concluderend wordt gesteld dat limitering van fosfaat in vloeibaar varkensrantsoen tot 3.5 g/kg ds resulteert in een waardetoeename van fosfaatarm tarwegries waardoor extractie van fosfaat uit tarwegries op 100 kton/jaar schaal, qua kostprijs en jaarlijkse productie, economisch rendabel kan zijn.

7 Neveneffecten fosfaatarm tarwegries in rantsoen vleesvarkens

7.1 Fermentatie proces

Bij het proces van het verwijderen van fosfor uit tarwegries wordt gestart met tarwegries als droog product, waarbij een natte stroom P-arm tarwegries overblijft. Onder invloed van vocht wordt een deel van het aanwezige zetmeel in deze stroom door middel van fermentatie omgezet in azijnzuur en melkzuur (Bruininx *et al.* 2001). Binnen 24 uur ontstaat hierbij een product met een stabiele pH van ca. 4.0. In vergelijking met het verstrekken van droogvoer kan het opnemen van vochtrijke bijproducten in het rantsoen gunstige effecten hebben op verteerbaarheid, darmgezondheid en excreties van mineralen naar het milieu. Deze effecten worden hieronder toegelicht, waarbij verondersteld wordt dat gefermenteerd vochtrijk P-arm tarwegries representatief is voor brijvoer.

7.2 Verteerbaarheid en darmgezondheid

Scholten *et al.* (1997) vergeleken de resultaten van varkens die droogvoer kregen met die van varkens die brijvoer kregen. Zij concludeerden dat varkens die brijvoer kregen een aantoonbaar hogere groei en betere energiebenutting vanuit het voer hadden ten opzichte van de varkens die droogvoer kregen. De auteurs veronderstellen dat deze verbeteringen in resultaten deels verklaard kunnen worden door de gunstige effecten van het in brijvoer aanwezige azijnzuur en melkzuur op de darmgezondheid van varkens. De gunstige effecten van melkzuur werden bevestigd in een onderzoek van Smolders *et al.* (2000). Zij vonden minder maagdarmaandoeningen en uitval als gespeende biggen voer kregen waaraan melkzuur was toegevoegd. Ook in een zeer recent verschenen review werd geconcludeerd dat het verstrekken van gefermenteerde producten de verteerbaarheid van nutriënten, zoals organische stof, stikstof, aminozuren, vezels en calcium kan verbeteren (Canibe en Jensen 2012). Ook stelden deze auteurs vast dat brijvoeding een gunstig effect kan hebben op de darmgezondheid, vanwege een verminderd aantal pathogene bacteriën, zoals coliforme bacteriën en Salmonella. Bij fermentatie van tarwegries kunnen gemakkelijk gisten en in beperkte mate ook *E. coli* bacteriën ontstaan (Bruininx *et al.* 2001). Deze micro-organismen hebben mogelijk weer een negatief effect op de darmgezondheid. Bovendien kan dit leiden tot verlies van voederwaarde, omdat koolhydraten dan omgezet worden in alcohol en CO₂ (Scholten en Rijnen 1998; Scholten *et al.* 1999). Mogelijk kan het gebruik van een goede startcultuur (bacteriemengsel) het fermentatieproces in de gewenste richting sturen.

7.3 Ammoniakemissie en fosforverteerbaarheid

In de eerder genoemde studie van Scholten *et al.* (1997) werd geen effect van de wijze van voerverstrekking op de ammoniakemissie gevonden. Vanwege een betere vertering van nutriënten werd verlaging van de ammoniakemissie in de brijvoergevoerde varkens wel verwacht.

Bij de brijvoergroep trad echter meer hokbevuiling op, wat een ongunstig effect had op de ammoniakemissie.

Timmerman en Smolders (2004) vonden dat brijvoergevoerde varkens meer fosfaat vastleggen dan droogvoergevoerde varkens. Zij vonden dat de aanvoer van fosfaat met het voer en de biggen bij brijvoergevoerde varkens groter was dan de afvoer met de vleesvarkens en de mest. Hierdoor ontstond er een fosfaatgat op de mineralenbalans. Voer en mest waren geanalyseerd, maar de fosfaatgehalten van de vleesvarkens waren gebaseerd op de forfaitaire norm. Zij concludeerden dat voor het sluitend krijgen van hun mineralenbalansen de forfaitaire norm voor fosfaatvastlegging bij brijvoergevoerde varkens 15% hoger zou moeten liggen dan bij droogvoergevoerde varkens (14,5 vs. 12,6 g/kg levend gewicht). Uit de literatuur blijkt dat het toevoegen van organische zuren aan droog voer de fosforverteerbaarheid verbetert (Kempe en Jongbloed 2003). Afhankelijk van het soort zuur nam de fosforverteerbaarheid toe met 3,4 tot 10,3 percentage-eenheden. In enkele proeven werd bovendien een synergistisch effect gevonden van de toevoeging van een combinatie van organisch zuur en microbieel fytase, een enzym dat het fytaat-gebonden fosfor voor het varken beschikbaar maakt. De verbeterde fosforverteerbaarheid kan het gevolg zijn van een synergistisch effect van een betere werking van toegevoegd en natuurlijk fytase in aanwezigheid van grote hoeveelheden zuur in een vochtige omgeving. Zoals eerder aangegeven kunnen organische zuren de darmgezondheid bevorderen. Hierdoor verbetert de absorptiecapaciteit, wat eveneens kan bijdragen aan een verbeterde mineralenverteerbaarheid (Partanen and Mroz 1999). De hogere fosfaataanzet in de brijvoergevoerde dieren zou dus goed verklaard kunnen worden door een hogere fosforabsorptie en verteerbaarheid.

7.4 Overige neveneffecten

Onlangs hebben experts ingeschat dat het gebruik van vochtrijke diervoeders in de varkenshouderij gunstige effecten heeft op het stikstof- en fosfaatoverschot, ammoniakemissie, broeikasgasemissies (CO₂, lachgas, methaan), emissies van geur en fijnstof, het sluiten van regionale kringlopen, diergezondheid en het gebruik van diergeneesmiddelen (Van Krimpen 2012). Sommige van deze neveneffecten zijn hierboven verder uitgewerkt. Verder schatten de experts in dat vochtrijke diervoeders geen – of een neutraal – effect hebben op het stikstofgehalte in de bodem/water, watergebruik, waterkwaliteit, de hoeveelheid zware metalen en het dierwelzijn.

7.5 Conclusies neveneffecten fosfaatarm tarwegries

Uitgaande van de veronderstelling dat gefermenteerd P-arm tarwegries zich vergelijkbaar gedraagt als andere vochtrijke bijproducten, wordt geconcludeerd dat het verstrekken van gefermenteerd P-arm tarwegries in vergelijking met droogvoerverstrekking aan varkens:

- een gunstig heeft op de darmgezondheid en als gevolg daarvan op het antibioticumgebruik;

- mede als gevolg daarvan een gunstig effect heeft op de verteerbaarheid van het voer in het algemeen en op fosfor in het bijzonder, zodat er minder onverteerde nutriënten en fosfor via de mest uitgescheiden worden;
- een neutraal tot verlagend effect heeft op de emissies van ammoniak en broeikasgassen.

8 Conclusies

Experimenteel

- Kolomextractie werd met succes toegepast om in de geteste opzet met twee bedvolumina demi-water 90% van opgenomen NaCl uit tarwegries te extraheren.
- Het verbruik azijnzuur bij titratie van een tarwegries slurry op pH 5.0 lag na 2 uur op 0.25 mol azijnzuur per kilogram droge stof tarwegries.
- Kolomextractie van fosfaat uit tarwegries met waterig azijnzuur geeft een vergelijkbaar verloop als eerdergenoemde extractie van NaCl met water.
- Bijna 70 % van het aanwezig fosfaat werd verwijderd met twee bedvolumina eluens. Iets meer dan 80 % werd verwijderd met vier bedvolumina eluens.

Modellering

- De kolom tarwegries gedroeg zich als 10 gemengde vaten in serie. Experimenteel werd iets meer “tailing” waargenomen.

Procesontwerp

- Extractie (E) van 100.0 kg droog tarwegries met 300.0 kg water en 1.34 kg azijnzuur volgens het concept weergegeven in Figuur 14 resulteerde in vorming van 401.6 kg fosfaatarm tarwegries. Precipitatie (P) van eluens met 1.41 kg calciumhydroxide gaf 15.0 kg fosfaatrijke slurry.
- Door 95% van het eluens te recyclen en de recycle bleed te mengen met het tarwegries ontstond een proces zonder afvalstromen.
- De simulatie van het proces heeft laten zien dat geëxtraheerd tarwegries het overgrote gedeelte van de componenten uit onbehandeld tarwegries zal bevatten en een droge stofgehalte zal hebben van 24 w/w%. Daarnaast zal het tarwegries verrijkt zijn met acetaat terwijl 95% van het fosfaat is verwijderd. Dit maakt deze stroom geschikt als fosfaatarm brijvoer.
- De fosfaatrijke slurry bevat 31 w/w% droge stof die naast resten oplosbare componenten voor het overgrote gedeelte bestaat uit neergeslagen calciumwaterstoffosfaat. De stroom is geschikt als meststof of (dier)voedingssupplement.

Equipment

- Zure extractie van fosfaat uit tarwegries kan op industriële schaal (100 kton tarwegries “as is” per jaar) worden uitgevoerd door twee 50 m³ cilindrische tanks parallel uit fase te gebruiken. Elke volledige extractiebewerking kent een cyclustijd van 2 uur.
- Precipitatie vindt plaats in een 2 meter hoge 137.5 m³ bezinktank met schraper.
- In- en uitgaande stromen eluens worden op elkaar afgestemd door een 37.5 m³ buffervat in de recycle.

Economische evaluatie

- Om de investering van 904 k€ voor extractie van 100 kton tarwegries “as is” per jaar in 3 jaar terug te verdienen dient de volledige jaarproductie van 85 kton fosfaatarm tarwegries (droge stof basis) te worden afgezet tegen een prijs van 255 €/ton ds.
- De vaste kosten, operationele kosten en kosten voor hulpgrondstoffen zijn beperkt ten opzichte van de inkoop van tarwegries.
- Bij een fosfaatlimiet van 4.0 g/kg rantsoen is het qua prijs en samenstelling niet interessant om onbehandeld of fosfaatarm (geëxtraheerd) tarwegries in rantsoen in te mengen.
- Bij een fosfaatlimiet van 3.5 g/kg werd fosfaatarm tarwegries ingemengd bij een kostprijs van 385.4 €/ton ds en lager. De benodigde kostprijs van 255 €/ton ds is derhalve reëel.
- De kostprijs en bijhorende afzet op de Nederlandse markt liggen in het gebied waar het mogelijk is om de investering in de beoogde fabriek binnen 3 jaar terug te verdienen.

Neveneffecten fosfaatarm tarwegries in rantsoen vleesvarkens

Uitgaande van de veronderstelling dat vochtrijk fosfaatarm tarwegries zich vergelijkbaar gedraagt als andere fermentatief verzuurde vochtrijke bijproducten worden in vergelijking met de verstrekking van droogvoer de volgende effecten bij vleesvarkens verwacht.

- Een gunstig effect op de darmgezondheid en daarmee een verminderd antibioticumgebruik.
- Een gunstig effect op de verteerbaarheid van voer zodat er minder nutriënten, waaronder fosfor, worden uitgescheiden via de mest.
- Een neutraal tot verlagend effect op de emissies van broeikasgassen.

Vervolgonderzoek is noodzakelijk om deze effecten ook daadwerkelijk aan te tonen.

Concluderend wordt gesteld dat limitering van fosfaat in vloeibaar varkensrantsoen tot 3.5 g/kg droge stof resulteert in een waardetoeename van fosfaatarm tarwegries waardoor extractie van fosfaat uit grondstof tarwegries op 100 kton/jaar schaal, qua kostprijs en jaarlijkse productie, economisch rendabel kan zijn. In vergelijking met droogvoer worden daarnaast bij vochtrijk fosfaatarm tarwegries positieve effecten verwacht voor diergezondheid en verminderde excretie van mineralen naar het milieu.

9 Aanbevelingen

Het is de verwachting dat door betere beheersing van de pH de extractie-efficiëntie verder kan worden verhoogd. Voor een betere beheersing van de pH moet op basis van experimenten een protocol worden ontwikkeld.

Met behulp van nutritioneel onderzoek zou de nutritionele kwaliteit van het geëxtraheerde tarwegries bepaald moeten worden. Verwacht wordt dat het voer een gunstige invloed zal hebben op darmgezondheid, verteerbaarheid en emissie van broeikasgassen. Deze verwachtingen zouden met praktijkonderzoek getoetst moeten worden. Indien daarvoor dierproeven noodzakelijk zijn, dan zal een pilot installatie gebouwd moeten worden om het product in een voldoende groot volume te produceren.

Referenties

- Bruininx, E. M. A. M., P. G. Van Wikselaar, en S. J. W. H. Oude Elferink. 2001. Fermentatiekarakteristieken van veevoedergrondstoffen en een speenvoer. In Rapport 221, edited by Praktijkonderzoek Veehouderij: Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.
- Canibe, N., en B. B. Jensen. 2012. Fermented liquid feed - Microbial and nutritional aspects and impact on enteric disease in pigs. *Animal Feed Science Technology* Article in press.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.021>.
- Kemme, P. A., and A. W. Jongbloed. 2003. Inventarisatie van effecten van organische zuren en voorweken al dan niet in combinatie met fytase op de fosfor- en calciumverteerbaarheid bij varkens. In Rapport Nutrition and Food, edited by Animal Sciences Group van Wageningen UR. Lelystad: Animal Sciences Group van Wageningen UR.
- Meesters, K.P.H., H. v.d. Kolk, Y.W. Sari, C. Zhang, M.E. Bruins, J.P.M. Sanders. 2011. Bioraffinage van mengvoedergrondstoffen. Rapportnummer 1220. Wageningen UR Food and Biobased Research, Wageningen.
- Partanen, K. H., en Z. Mroz. 1999. Organic acids for performance enhancement in pig diets. *Nutrition Research Reviews* 12 (1): 117-145.
- Scholten, R. H. J., A. I. J. Hoofs, en N. Verdoes. 1997. Bijproducten in relatie tot technische resultaten en milieukeurmerken bij vleesvarkens. Rosmalen: Proefverslag P 1.187 Praktijkonderzoek Varkenshouderij.
- Scholten, R. H. J., en M. M. J. A. Rijnen. 1998. Het gebruik van vochtrijke bijproducten; een literatuuroverzicht. Rosmalen: Praktijkonderzoek Varkenshouder, Rosmalen.
- Scholten, R. H. J., C. M. C. van der Peet-Schwering, M. W. A. Verstegen, L. A. den Hartog, J. W. Schrama, en P. C. Vesseur. 1999. Fermented co-products and fermented compound diets for pigs: a review. *Animal Feed Science and Technology* 82 (1-2): 1-19.
[http://dx.doi.org/10.1016/s0377-8401\(99\)00096-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0377-8401(99)00096-6).
- Smolders, M. A. H. H., M. M. Van Krimpen, R. H. J. Scholten, en D. J. P. H. Van de Loo. 2000. Invloed van melkzuur op technische en financiële resultaten en gezondheid van gespeende biggen. In Proefverslag nummer P1.246, edited by Praktijkonderzoek Varkenshouderij. Rosmalen: Praktijkonderzoek Varkenshouderij.

Timmerman, M., en M. A. H. H. Smolders. 2004. Mineralenbalansen bij vleesvarkens op droog- en brijvoer. In PraktijkRapport Varkens 35, edited by Animal Sciences Group van Wageningen UR. Lelystad: Animal Sciences Group van Wageningen UR.

Van Krimpen, M. M. 2012. Inventarisatie van neveneffecten van specifieke voerstrategieën in de veehouderij op andere aspecten elders in de keten. In Intern rapport Januari 2012, edited by Wageningen UR Livestock Research. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.

Van Krimpen, M.M. J.C. Curth-van Middelkoop, L.B.J. Sebek, A.W. Jongbloed, D.W. de Hoop. 2010. Effect van fosforverlaging in melkveerantsoenen en varkensvoerders op fosfaatexcretie via de mest. Rapport / Wageningen UR Livestock Research, ISSN 1570-8616 321. Lelystad : Wageningen UR Livestock Research.

Bijlagen

Bijlage 1 Jaarlijkse hoeveelheid vloeibaar varkensrantsoen in Nederland.

Table 13. Number of pigs per category in the Netherlands (CBS, 2011), proportion of pigs fed liquid diets (CBS, 2008) and the estimated proportion of the consumption of liquid diets per category of pigs.

Pig category	2010	% Liquid feed	Number fed wet feed	kg/DM/ day	kg DM/ year	Total tonnes	% Total
Piglets, total	5123807					-	
Piglets to 20 kg, still with the sow	199469	0	0	0	0	0	0
Piglets to 20 kg, not with the sow	3124338	16	499894	0.6	219	109477	5.0
Breeding pigs, total	1226993	-	-	-	-	-	-
Breeding sows and boars, 20 to 50 kg	122138	34	41527	1.0	365	15157	0.7
Breeding sows, ≥50 kg, not mated	110123	34	37442	1.6	584	21866	1.0
Sows, ≥ 50 kg, mated	755943	20	151189	3.0	1095	165552	7.6
Sows, ≥ 50 kg, with piglets	177254	17	30133	7.0	2555	76990	3.5
Sows, ≥ 50 kg, non-pregnant	50355	20	10071	1.6	584	5881	0.3
Boars, ≥ 50 kg, not yet mating	3946	34	1342	1.5	548	735	0.0
Boars, ≥ 50 kg, mating	7234	34	2460	3.0	1095	2693	0.1
Growing/finisher pigs, total	5904172	33	1948377	2.5	913	1777894	81.7
Grower pigs, 20 to 50 kg	1839971						
Finishers, ≥ 50 kg							
Total	4064201			Total		2176245	100
50 to 80 kg	2023182						
80 to 110 kg	1737549						
110 kg and over	303470						