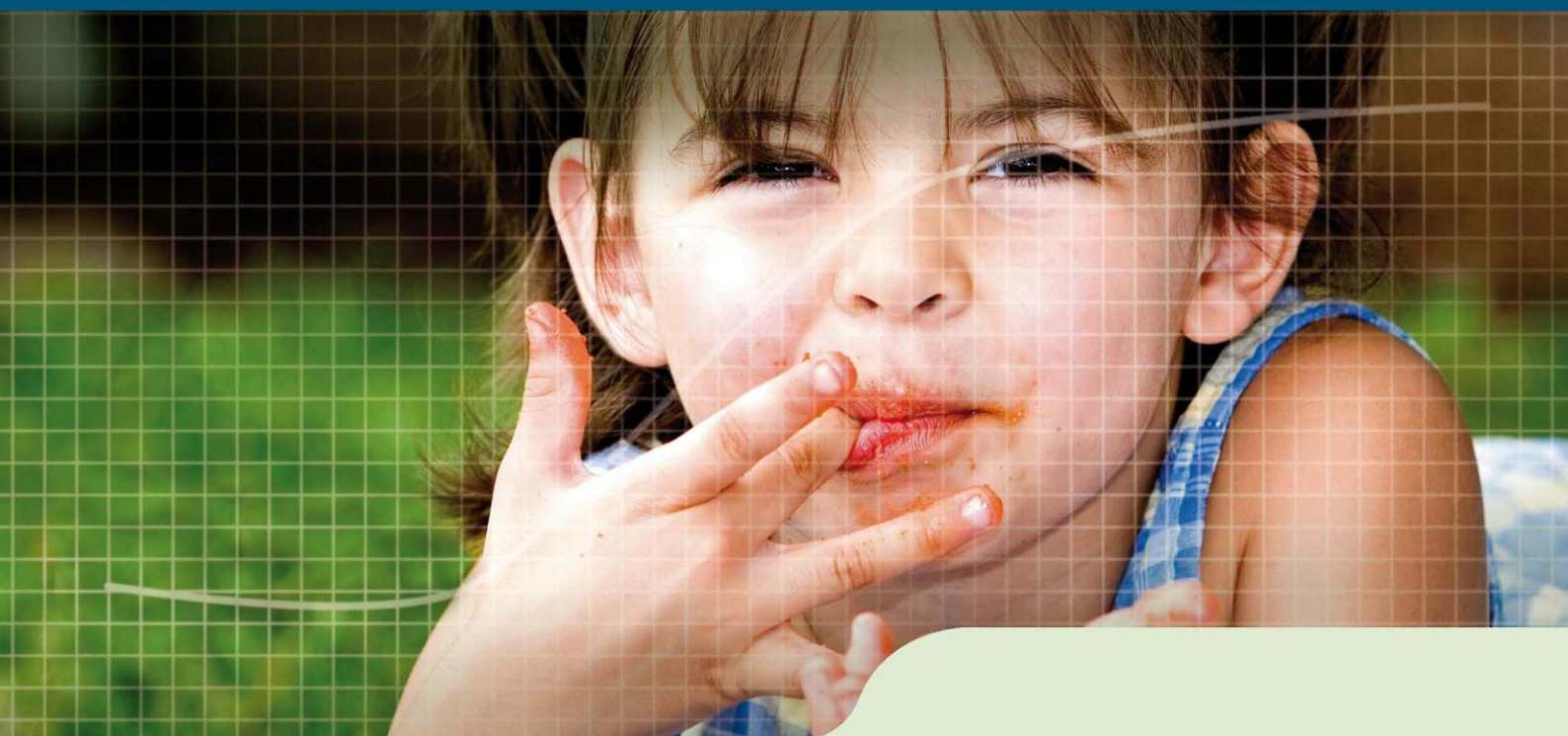


Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 595

Vertering en retentie van fosfor bij varkens gevoerd met brijvoer

Een literatuurstudie

Mei 2012



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR



Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel
van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek,
2012

Overname van de inhoud is toegestaan,
mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

Wageningen UR 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 UR Livestock Research en Central
Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting
Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen
met het Departement Dierwetenschappen van
Wageningen University de Animal Sciences Group
van Wageningen UR (University & Research
centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV
onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze
onderzoeksopdrachten zijn de Algemene
Voorwaarden van de Animal Sciences Group
van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de
Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

A literature study was conducted in order to
determine the potential influence of feeding
liquid diets on the phosphorus retention in
growing pigs. The most important factors
influencing digestibility of phosphorus and its
retention in the body were addressed and
related to specific characteristics of liquid
feeding.

Keywords

Growing pigs, phosphorus, retention, liquid
diets, by-products, phytase

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

P. Bikker
A.W. Jongbloed

Titel

Vertering en retentie van fosfor bij varkens
gevoerd met brijvoer

Rapport 595

Samenvatting

Deze literatuurstudie is uitgevoerd om na te
gaan of het verstrekken van brijvoer met
bijproducten kan resulteren in een hogere
fosforretentie bij vleesvarkens. Hiervoor zijn de
belangrijkste factoren die de vertering en
retentie van fosfor beïnvloeden, beschreven en
gerelateerd aan specifieke kenmerken van
brijvoer.

Trefwoorden

vleesvarkens, fosfor, retentie, brijvoer,
bijproducten, fytase

Rapport 595

Vertering en retentie van fosfor bij varkens gevoerd met brijvoer

P. Bikker

A.W. Jongbloed

Mei 2012

Voorwoord

Op verzoek van het Productschap Diervoeder heeft Wageningen UR Livestock Research een deskstudie uitgevoerd naar de vertering en retentie van fosfor bij varkens gevoerd met brijvoer in vergelijking met droogvoer. We zijn het PDV erkentelijk voor deze opdracht en danken de leden van de werkgroep “Fosfor en mineralen” voor de begeleiding van dit project. We spreken de wens uit dat onze bevindingen door de diervoederindustrie en de varkenshouders gebruikt kunnen worden om de benutting van fosfor bij vleesvarkens verder te verbeteren.

Lelystad, 7 mei 2012
Paul Bikker

Samenvatting

De fosforbenutting op varkensbedrijven wordt berekend op basis van de aanvoer van fosfor in de gebruikte voedermiddelen en de vastlegging (retentie) van fosfor in het dier. Voor de retentie wordt gebruik gemaakt van forfaitaire gehalten in biggen bij opleggen en in vleesvarkens bij slachten. Wanneer de gerealiseerde retentie hoger is dan de forfaitaire waarde wordt de P-benutting onderschat. Deze literatuurstudie is uitgevoerd om na te gaan of het verstrekken van brijvoer aan vleesvarkens resulteert in een hogere P-retentie, zoals in de praktijk soms wordt verondersteld. Om deze vraag te beantwoorden wordt in hoofdstuk 2 de invloed van brijvoeding op de vertering besproken, in hoofdstuk 3 worden kenmerken van natte of vochtrijke voedermiddelen besproken en in hoofdstuk 4 wordt ingegaan op factoren die de fosforretentie beïnvloeden.

In plantaardige grondstoffen is het meeste fosfor aanwezig in de vorm van inositolfosfaat of fytate. Varkens kunnen dit slecht verteren omdat ze het enzym fytase niet zelf produceren. De aanwezigheid van intrinsiek of microbieel fytase speelt een grote rol bij de invloed van brijvoeding. In vitro blijkt dat voorweken alleen in aanwezigheid van fytase een groot effect heeft op de afbraak van fytate-P. Tijdens het voorweekproces kan de aanwezige fytase het fytate-P hydrolyseren zodat er meer orthofosfaat beschikbaar komt. Het effect op de in vivo fosforverteerbaarheid hangt sterk af van het gehalte aan vP en calcium in het voer, omdat de vertering hormonaal gereguleerd wordt. De water:voer verhouding (voer op droge stof basis) lijkt tussen 1:1 en 3:1 weinig of geen effect te hebben op de P-verteerbaarheid. Het effect van voorweken van voer op de P-verteerbaarheid is sterk afhankelijk van de temperatuur, de duur van voorweken, de aanwezigheid van een zuur en van fytase. Er kunnen bij voorweken synergistische effecten optreden als gevolg van de aanwezigheid van organisch zuur en fytase. Hierdoor wordt meer vP gevoerd dan verondersteld. Fermentatie door de aanwezige microflora, vooral melkzuurbacteriën, kan de P-verteerbaarheid van vochtrijke voedermiddelen verbeteren als er voldoende tijd is voor de vorming van microbieel fytase. Hoofdstuk 3 laat zien dat het gebruik van vochtrijke diervoeders voor varkens aanzienlijk is en verder toeneemt. De beschikbaarheid en onderbouwing van verteringscijfers van deze producten verdient nadere aandacht, temeer wanneer ten behoeve van een hoge P-benutting scherper op de norm wordt gevoerd. Er zijn weinig gegevens gepubliceerd en er zijn aanzienlijke verschillen tussen proeven. Verschillende leveranciers houden verschillende waarden aan voor de P-verteerbaarheid van tarwezetmeel. De waarde voor tarwegistconcentraat is gebaseerd op slechts één studie en lijkt zeer hoog. Het is de vraag of hier wellicht een stukje additioneel effect van vochtige voeders zoals in hoofdstuk 2 beschreven, impliciet is verdisconteerd. Informatie over effecten van het opnemen van vochtrijke voeders in rantsoenen op de P-verteerbaarheid en dan met name op eventuele synergistische effecten, zijn ons niet bekend. Dit zou in dierexperimenteel onderzoek moeten worden nagegaan.

Hoofdstuk 4 gaat in op factoren die de fosforretentie beïnvloeden. Gemiddeld wordt bij vleesvarkens 5,0-5,2 g P/kg levend gewicht vastgelegd met een Ca:P verhouding van 1,5-1,7. Circa 78% van het fosfor zit in het skelet, 15% in spierweefsel en de rest in vetweefsel en ingewanden. Resultaten van een viertal studies van Wageningen UR duiden erop de varkens gevoerd met vochtrijke bijproducten 7 tot 16% meer fosfor in hun lichaam vastleggen.

De belangrijkste voerfactor die de P-retentie kan beïnvloeden is de opname aan verteerbaar calcium en fosfor. Een aantal studies laat op basis van de P-balans of analyse van karkas of referentiebotten zien dat de Ca- en P-retentie sterk afhankelijk is van het gehalte aan calcium en verteerbaar fosfor in het voer. De meeste studies duiden op een kromlijnige toename waarbij het effect van extra vP steeds kleiner wordt. Het vP-gehalte waarbij maximale botmineralisatie wordt bereikt ligt duidelijk hoger dan de behoefte voor maximale groeiprestaties.

Daarna komen andere (voer)factoren aan de orde. Kortdurende studies duiden erop dat een verzurend voer met een lage dEB (dieet elektrolytenbalans, Na+K-Cl) een risico geeft op een lagere botmineralisatie en P-retentie ten opzichte van een alkalisch voer met een hoge dEB. Het vetgehalte in het voer lijkt geen belangrijke rol te spelen, maar de aanwezigheid van specifieke vetzuren, met name DHA uit visolie kan een gunstig effect hebben op de botmineralisatie. Er zijn beperkte aanwijzingen dat prebiotica een gunstig effect kunnen hebben, waarschijnlijk door een betere absorptie van mineralen uit het maagdarmkanaal. Studies bij ratten en mensen suggereren een gunstig effect van een beperkte alcoholinname op de botdichtheid, terwijl een hoge alcoholinname juist een negatief effect heeft. Een lage voerfrequentie en niet gelijktijdig verstrekken van calcium en fosfor met de rest van het voer kunnen een negatief effect hebben op de P-retentie. Een hogere groeisnelheid door een hogere voeropname kan resulteren in een lagere botmineralisatie. Dit lijkt een kromlijnig effect wat afneemt naarmate de groeisnelheid toeneemt.

In de discussie worden de bevindingen in samenhang besproken. Een viertal studies van Wageningen UR Livestock Research wijzen op een 7-16% hogere P-retentie op brijvoer. Het is opmerkelijk dat ondanks de beperkte omvang de resultaten steeds dezelfde richting op wijzen. De meest aannemelijke verklaring is dat de varkens via de natte bijproducten meer calcium en verteerbaar fosfor krijgen dan op basis van de samenstelling in rekening wordt gebracht. Ook bij een calcium- en vP-gehalte rond de behoefte kan dit resulteren in een hogere P-retentie. Met name de combinatie van vochtrijke grondstoffen met een hoog (melk)zuurgehalte en de aanwezigheid van intrinsiek en microbieel fytase heeft een gunstig effect op de absorptie van calcium en fosfor. Het is zeer gewenst een betere inschatting te maken van de gehalten en verteerbaarheid van fosfor in deze grondstoffen. Daarbij is met name de vraag hoe het synergistische effect tussen zuur en fytase het best in rekening gebracht kan worden. Van de overige besproken (voer)factoren is onze inschatting dat alleen een hoge electrolytenbalans (dEB) mogelijk een gunstige rol speelt bij een aantal vochtrijke voedermiddelen. Dit is echter niet specifiek gerelateerd aan het verstrekken van brijvoer. We concluderen dat het aannemelijk is dat de P-retentie bij vleesvarkens op brijvoer met vochtrijke voedermiddelen hoger is dan bij het verstrekken van droge rantsoenen, met name door een hoger aanbod aan verteerbaar calcium en fosfor. Het is gewenst de bijdrage van deze vochtrijke producten aan de mineralenvoorziening beter in rekening te brengen zodat de varkens beter naar hun behoefte worden gevoerd. Hierdoor kan de aanvoer van fosfor via het voer worden beperkt en de benutting worden verhoogd.

Summary

The phosphorus utilization on farms with growing-finishing pigs is calculated on the basis of the supply of phosphorus in the feed and the retention of phosphorus in the animal. The retention is based on reference values for the phosphorus content in piglets and slaughter pigs. When the actual retention is higher than these reference values, the P utilisation is underestimated. This literature study was performed to determine whether providing liquid feed with by-products to growing pigs results in a higher P retention, as sometimes assumed in practice. To answer this question, in Chapter 2 the influence of liquid feeding on the digestion of P is addressed. In Chapter 3 characteristics of wet by-products are discussed and Chapter 4 addresses factors that affect the phosphorus retention. In raw materials of plant origin most phosphorus is present in the form of phytate or inositolphosphate with poor digestibility in pigs because of lack of the enzyme phytase. The presence of intrinsic or microbial phytase in the diet plays a major role in the effect of liquid feeding. In vitro studies show that steeping of feed ingredients only improves degradation of phytate-P in the presence of phytase. During steeping phytate-P is hydrolysed and more orthophosphate becomes available. The effect on the in vivo digestibility of phosphorus depends on the content of digestible P and Ca in the feed, because of the hormonal control of digestion. A water:feed ratio (feed on dry matter basis) between 1:1 and 3:1 seems to have little or no effect on the P digestibility. The effect of steeping on the P digestibility depends on the temperature, duration, the presence of (organic) acid and phytase. The combination of phytase and organic acids may have synergistic effects on the P digestibility, resulting in an oversupply of digestible phosphorus. Fermentation by microbiota, mainly lactic acid bacteria, may improve the P digestibility of wet feed ingredients provided there is sufficient time for the production of microbial phytase.

Chapter 3 shows that the total usage of wet feed ingredients for pigs is significant and still increasing. The availability and substantiation of digestibility values of these products deserve further attention, particularly when the total dietary P content is reduced to improve the P-utilisation. Only a limited number of digestibility studies has been published and significant differences between studies have been observed. Different values for the P digestibility of wheat starch are being used in practice, whereas the digestibility value used for wheat yeast concentrate is based on one study only and seems quite high. It might be that this value was affected by interactions with other ingredients from the basal diet in the digestibility study. Information about effects of including moist ingredients in pig rations on the P digestibility and in particular on possible synergistic effects, is lacking. Experimental research is required to establish these effects.

Chapter 4 describes factors that affect the phosphorus retention. On average, in growing pigs 5.0-5.2 g P/kg live weight is retained, with a Ca:P ratio of 1.5-1.7. Approximately 78% of the phosphorus is in the skeleton, 15% in muscle tissue and the rest in adipose tissue and intestines. Results from four studies of Wageningen UR indicate that pigs fed with liquid by-products retained 7 to 16% more phosphorus in their body.

The main factor influencing the P retention is the intake of digestible phosphorus and calcium. A number of studies based on determination of the P balance or analysis of carcass or reference bones indicate that Ca and P-retention is highly dependent on the calcium and digestible phosphorus content in the feed. Most studies indicate a curvilinear increase in P retention with a diminishing effect of extra digestible P. The digestible phosphorus content required for maximum bone mineralisation is higher than the need for maximum growth performance.

Subsequently, other (feed)factors are addressed. Short-term studies suggest that an acidifying diet with low dEB (dietary electrolyte balance, $\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-$) may induce a relatively low bone mineralisation and P retention compared to an alkaline diet. The fat content in the feed seems to be of minor importance, but the presence of specific fatty acids, particularly DHA from fish oil may have a beneficial effect on bone mineralisation. There are limited indications that the use of prebiotics may have a beneficial effect, probably by a better absorption of minerals from the gastrointestinal tract. Studies in rats and humans suggest a beneficial effect of a low alcohol intake on the bone mineral density, while a high alcohol intake has a negative effect. A low feeding frequency and not simultaneous supply of calcium and phosphorus with the rest of the diet may have a negative impact on the P retention. A higher feed allowance and growth rate may result in a lower bone mineralisation. This seems to be a curvilinear effect and diminishing as the growth rate increases.

In the discussion the results of the different chapters are combined and interpreted. Four studies of Wageningen UR Livestock Research suggest a 7-16% higher P-retention on liquid feed. It is remarkable that despite the limited size of these studies the results point in the same direction. The

most plausible explanation is that the pigs fed liquid by-products receive more calcium and digestible phosphorus than expected on the basis of the diet composition. Also when calcium and phosphorus are supplied at a level close to the requirements, this can result in a higher P retention. Especially the combination of liquid feed ingredients with a high acid content and the presence of intrinsic and microbial phytase may improve the absorption of calcium and phosphorus. Consequently, a better assessment of the level and digestibility of phosphorus in these products is required. Especially the question how to quantify the synergistic effect of a low pH and the presence of phytase and how to use this information in diet formulation deserves further attention. We expect that the other (feed)factors discussed in chapter 2-4 do not play a major role in explaining beneficial effects of liquid by-products on P retention. A high dietary electrolyte balance (dEB) may contribute to a beneficial effect of certain liquid by-products, but this would not be exclusive for liquid feeding. We conclude that it is reasonable to assume that the P retention in growing pigs fed liquid by-products is higher than in pigs fed dry rations, mainly because of a higher supply of digestible phosphorus and calcium. It is required to better quantify the contribution of these wet by-products to the mineral supply in order to formulate diets that more closely meet the requirements of the pigs. This would allow a reduction of the phosphorus supply in the feed and an increase of the phosphorus utilisation on the pig farms.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
1.1	Inleiding	1
1.2	Doel	1
1.3	Werkwijze	1
2	Invloed van brij van droogvoer op de P-vertering	2
2.1	Intrinsiek en toegevoegd fytase en grondstoffensamenstelling van het voer	2
2.2	vP-gehalte in het voer	2
2.3	Water/voer verhouding	2
2.4	Voorweken en voorweektijd	2
2.4.1	In vitro onderzoek met voorweken van voeders	3
2.4.2	In vivo verteerbaarheid na voorweken	3
2.4.3	Temperatuur en pH	4
2.4.4	Conclusies voorweken	4
2.5	Fermentatie	4
2.6	(An)organische zuren	5
2.7	Electrolytenbalans	6
2.8	Invloed overige mineralen	6
2.9	Overige factoren	6
2.10	Conclusie	6
3	Invloed van rantsoenen met natte bijproducten op de P-vertering	8
3.1	Invloed van natte grondstoffen algemeen	8
3.2	Aandeel (natte) grondstoffen	8
3.3	Specifieke kenmerken van vochtrijke producten	8
3.4	Conclusies	10
4	Invloed van rantsoenenkenmerken op de P-retentie	11
4.1	Calcium en fosforgehalte in het lichaam	11
4.2	Invloed van brijvoer met bijproducten op de P-retentie	11
4.3	Invloed van P-gehalte in het voer op de P-retentie in het dier	13
4.3.1	Invloed van het P-gehalte in het voer op de P-retentie, balansproeven	13
4.3.2	Invloed van vP-gehalte op P-retentie, botkenmerken	15
4.3.3	Invloed van vP-gehalte op P-retentie, karkasanalyses	16
4.4	Invloed van fytaatgehalte in grondstoffen	17
4.5	Invloed van calcium op de P-retentie	17
4.6	Invloed van de electrolytenbalans	17
4.7	Invloed van vetten en vetzuren	18
4.8	Invloed van prebiotica	19
4.9	Invloed van alcohol	20
4.10	Invloed van voerfrequentie	20

4.11 Invloed van natte rantsoenen zonder bijproducten	21
4.12 Invloed van groeisnelheid	21
5 Discussie en conclusies	23
5.1 Inleiding	23
5.2 Invloed van verteerbaar fosfor en calcium op de fosforretentie	23
5.3 Invloed van brijvoer op vertering en absorptie van calcium en fosfor	23
5.4 Inrekenen van effecten van brijvoer op de fosforvoorziening	24
5.5 Overige invloedsfactoren in relatie tot brijvoer	25
Literatuur	27
Bijlagen.....	31
Bijlage 1 Opdracht van PDV	31
Bijlage 2 Afzet van vochtrijke voedermiddelen in Nederland in 2009 en 2010.....	33
Bijlage 3 Nutriëntgehalten (g/kg ds) van een aantal belangrijke vochtrijke diervoeders	34

1 Inleiding

1.1 Inleiding

In het Akkoord Voerspoor (december 2010) van LTO Nederland en Nevedi is opgenomen dat voor alle dierlijke sectoren kengetallen gebaseerd op P-benutting worden ontwikkeld en vervolgens geïntroduceerd met als doel de fosfaatproductie in mest te verlagen. Het kengetal P-benutting brengt tot uitdrukking de afvoer van P via dierlijke producten versus de totale aanvoer van P via diervoeders. De afvoer in dierlijke producten is in de varkenshouderij gebaseerd op een forfaitair P-gehalte in het dier gebaseerd op experimenteel onderzoek en modelmatige verwerking hiervan o.a. door Jongbloed en Kemme (2002). De aanname hierbij is dat de rantsoensamenstelling geen wezenlijke invloed heeft op het P-gehalte in het varken. Als bezwaar hiertegen is door de Overleggroep Producenten Natte Veevoeders (OPNV) ingebracht dat de P-retentie in varkens gevoerd met natte rantsoenen (brijvoer) tot 18% hoger kan zijn dan in varkens gevoerd met droge rantsoenen. Door een eventuele onderschatting van het P-gehalte in het dier zou het kengetal P-benutting, berekend als $P\text{-retentie} / P\text{-aanvoer}$, eveneens worden onderschat.

1.2 Doel

Het doel van deze literatuurstudie is na te gaan of en in welke mate het type rantsoen (droog vs. nat) invloed heeft op de vertering en retentie van fosfor bij varkens, welke mechanismen hieraan ten grondslag liggen en welke factoren hierbij een belangrijke rol spelen. De opdrachtgever heeft hiervoor twee concrete vragen geformuleerd welke zijn weergegeven in bijlage 1.

1.3 Werkwijze

Dit project is uitgevoerd op basis van een deskstudie met de volgende benadering. Een afwijking in P-retentie als gevolg van het type rantsoen kan in theorie op twee mechanismen zijn gebaseerd. Allereerst is het mogelijk dat de verteerbaarheid van fosfor en daarmee de P-voorziening in een nat rantsoen beter is dan in een vergelijkbaar droog rantsoen. Een tweede mogelijkheid is dat de vastlegging van verteerbaar fosfor in het dier positief wordt beïnvloed door een nat rantsoen. Voor een goede beantwoording van deze vraag moet een aantal onderliggende factoren worden onderzocht. De eerste vraag is wat wordt bedoeld met natte rantsoenen. Betreft dit ook een brij van mengvoer en water die direct aan de dieren wordt verstrekt, of alleen na een bepaalde inweektijd? Speelt de samenstelling van het mengvoer een rol waaronder de aanwezigheid van intrinsiek en toegevoegd fytase, gehalte aan (an)organisch zuur en de condities van inweken zoals temperatuur en pH? Betreft dit een rantsoen met vochtrijke grondstoffen, welke, hoeveel, etc. Vervolgens is de vraag waarom een nat rantsoen in een hogere P-retentie zou kunnen resulteren. De meest voor de hand liggende reden hiervoor is een betere P-voorziening, dus een hoger gehalte aan vP in het rantsoen, wat moet blijken uit het eerste deel van de studie. Of dit resulteert in een hogere P-retentie zal mede bepaald worden door het vP-gehalte in het rantsoen en de relatie tussen extra vP in het voer en P-retentie. Bij dit laatste gaat het concreet om de vraag of extra vP bij dieren die volgens de norm worden gevoerd resulteert in een hogere P-aanzet. Hiervoor moet eerst aandacht worden besteed aan de relatie tussen vP-opname en P-retentie, waarna dit effect specifiek voor natte rantsoenen kan worden onderzocht. Daarbij wordt tevens nagegaan of er eventueel andere factoren zijn die kunnen bijdragen aan een hogere P-retentie.

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op factoren die van invloed zijn op de vertering en absorptie van fosfor in natte voeders. In hoofdstuk 3 worden een aantal relevante vochtrijke voeders (co-producten) voor varkens gekarakteriseerd en worden de bevindingen van hoofdstuk 2 op deze producten toegepast. In hoofdstuk 4 worden studies naar de invloed van brijvoer op de P-retentie samengevat en andere factoren die de P-retentie kunnen beïnvloeden besproken. In hoofdstuk 5 worden de resultaten in samenhang bediscussieerd en worden conclusies getrokken.

2 Invloed van brij van droogvoer op de P-vertering

Om inzicht te krijgen in de invloed van brijrantsoenen op de vertering en retentie van fosfor wordt in dit hoofdstuk ingegaan op factoren die een rol spelen op de vertering van brij gebaseerd op droogvoer en water, zonder natte bijproducten. Vanwege de grote rol die fytase hierbij speelt wordt eerst kort ingegaan op de rol van dit enzym. In CVB (2011) is de P-verteerbaarheid vermeld van voedermiddelen voor varkens. Hieruit komt naar voren dat de P-verteerbaarheid sterk afhangt van het soort voedermiddel. Een belangrijke factor daarin is het gehalte aan fytate-P dat in afwezigheid van fytase slecht verteerbaar is voor varkens. In plantaardige grondstoffen is het meeste fosfor aanwezig in de vorm van inositolfosfor of fytate. Varkens kunnen dit slecht verteren omdat ze het enzym fytase, wat nodig is voor de afbraak van fytate, niet zelf produceren. Met intrinsiek of microbieel fytase kan de P-verteerbaarheid sterk verbeterd worden.

2.1 Intrinsiek en toegevoegd fytase en grondstoffensamenstelling van het voer

De P-verteerbaarheid wordt verbeterd wanneer fytase in het voer aanwezig is. Diverse voedermiddelen bevatten van nature fytase wat ook wel intrinsiek fytase wordt genoemd. In eerder onderzoek van Wageningen UR Livestock Research zijn gehalten gevonden voor gerst 300-600 FTU/kg, rogge 1000-3000 FTU/kg, tarwe 700-1000 FTU/kg, tarwegries en ook andere tarweproducten 2000-5000 FTU/kg, triticale 1000-2000 FTU/kg (Jongbloed, 2012). De aanwezigheid van intrinsiek fytase heeft een groot effect op de P-verteerbaarheid. Volgens CVB (2010) is de P-verteerbaarheid met en zonder intrinsiek fytase, van gerst 40 resp. 29%, van rogge 47 resp. 25%, van tarwe 48 resp. 26%, van tarwegries (met 5000 FTU/kg) 37 resp. 20% en van triticale 48 resp. 27%. Indien deze voedermiddelen als zodanig in het brijvoer worden opgenomen blijft de fytase-activiteit behouden tenzij deze van tevoren bij een hoge temperatuur (>80°C) gepelletiseerd of op andere wijze behandeld worden.

Uit tientallen publicaties blijkt dat het toevoegen van microbieel fytase aan varkensvoerders mede in afhankelijkheid van de dosering, een zeer positief effect heeft op de verteerbaarheid van P, Ca en diverse andere mineralen (Jongbloed et al., 2000). In dit rapport zal hier niet verder op worden ingegaan.

2.2 vP-gehalte in het voer

Het effect van voerbehandelingen op de P-verteerbaarheid hangt sterk af van het gehalte aan vP in het voer. Indien het varken onder de P-behoefte wordt gevoerd is er een sterke hormonale stimulans om zoveel mogelijk fosfor te absorberen (Jongbloed, 1987). Indien het varken echter boven de P-behoefte wordt gevoerd is er geen duidelijke hormonale stimulatie en zal de absorptie van fosfor afnemen en zal gelijktijdig meer fosfor met de urine worden uitgescheiden. Ook het calciumgehalte in het voer is van belang omdat de absorptie van calcium en fosfor deels plaatsvindt via dezelfde hormonen. Daarom zullen de resultaten van in vitro onderzoek niet altijd overeenkomen met de resultaten van in vivo onderzoek.

2.3 Water/voer verhouding

Uit een overzicht van Jongbloed et al. (1978) kwam naar voren dat met brijvoeding in vrijwel alle geciteerde proeven (n=44) de groei en voederconversie gelijk of beter waren ten opzichte van droogvoeding. Ook bleek dat er geen verschillen waren in droge stofverteerbaarheid, maar de P-verteerbaarheid werd niet gemeten. Er is echter weinig bekend over het effect van een verschillende water/voer verhouding op de P-verteerbaarheid van het voer. Pedersen and Stein (2010) gebruikten een mais-soja voer in twee water/voer verhoudingen zonder voorweken. De P-verteerbaarheid van het voer als droog voer was 39.0%, bij een 1:1 verhouding was die 40.1% en bij een 3:1 verhouding was die 38,9%. Er was geen enkel verschil in P-verteerbaarheid. Er is verder geen literatuur beschikbaar waarin het effect van de water/voer verhouding op de P-verteerbaarheid wordt gemeld.

2.4 Voorweken en voorweektijd

Van essentieel belang in het onderzoek met voorweken is de vraag of er al dan niet fytase aanwezig is in het voer. Wanneer er geen fytase in het voer aanwezig is, is er nauwelijks effect te verwachten op de hydrolyse van fytinezuur (fytaat) of op de P-verteerbaarheid (Kempe en Jongbloed, 1993). Eerst

wordt het in vitro onderzoek behandeld, waarna de resultaten van proeven met varkens aan de orde komen. Vervolgens wordt ingegaan op het effect van temperatuur en pH bij het voorweken.

2.4.1 In vitro onderzoek met voorweken van voeders

Uit onderzoek van Simons et al. (1990) bleek dat met microbieel fytase (1000 FTU/kg voer; Natuphos®) onder optimale omstandigheden (pH 2,5 en 5,5, bij 40 oC en bij een water:voerverhouding van 2:1) in vitro na 1 uur van mais en sojaschroot 90% of meer van het fytinezuur al aanwezig was als orthofosfaat. Dit betekent dat onder deze omstandigheden het fytinezuur van mais en sojaschroot vrijwel geheel gehydrolyseerd was. Het vrijgemaakte fosfor kan vervolgens door het dier worden verteerd. In vitro onderzoek met 1000 FTU/kg van een mengvoer voor varkens bij kamertemperatuur bij een water:voer verhouding van 2:1, gaf aan dat na 8 uur het fytinezuur vrijwel geheel gehydrolyseerd was en 80% al na 4 uur incubatie (Simons et al., 1990). Blaabjerg et al. (2007) voerden diverse in vitro experimenten uit met een voer dat voornamelijk bestond uit tarwe (56%) en sojaschroot (24%) al dan niet gepelleteerd bij 81oC. De incubatie vond plaats bij 20oC gedurende 4 of 8 uur. Bij 4 uur voorweken was ca. 80% van de hydrolyse van fytfaat al gerealiseerd in vergelijking met 8 uur voorweken. Dit effect kwam waarschijnlijk tot stand onder invloed van intrinsiek fytase in tarwe. Toevoeging van microbieel fytase (500 FTU/kg) gaf een duidelijk hogere hydrolyse van fytfaat.

2.4.2 In vivo verteerbaarheid na voorweken

Uit het overzicht van Kemme en Jongbloed (2003) blijkt dat bij drie voeders zonder fytase bij voorweken de P-verteerbaarheid gemiddeld met 0,6 percentage-eenheden daalde en de Ca-verteerbaarheid gemiddeld 1,9 percentage-eenheden steeg. Bij voorweken van voeders rijk aan intrinsiek fytase (n=9) was de P-verteerbaarheid als gevolg van voorweken gemiddeld 0,1 procent - eenheid lager en de Ca-verteerbaarheid was 1,4 procent-eenheden lager. Het ontbreken van een effect van voorweken op de P-verteerbaarheid kan waarschijnlijk verklaard worden doordat de varkens in de meeste proeven boven hun P-behoefte werden gevoerd. In tabel 1 is het resultaat van voorweken van voer met en zonder toegevoegd microbieel fytase gegeven. In deze proeven werd duidelijk onder de P-behoefte gevoerd.

Tabel 1 Effect van voorweken (overdag 8 uur en 's nachts 15 uur bij een staltemperatuur van 18oC) en microbieel fytase (500 FTU/kg voer) op de Ca- en P-verteerbaarheid (Kemme en Jongbloed, 1993)

	Niet voorweken Geen fytase	Wel voorweken Geen fytase	Niet voorweken Wel fytase	Wel voorweken Wel fytase
Vc-Ca (%)	38,3	36,2	44,2	51,7
Vc-P (%)	26,5	25,3	44,2	52,4

Uit dit onderzoek is af te leiden dat voorweken zonder fytase geen effect heeft op de Ca- en P-verteerbaarheid, maar in aanwezigheid van fytase vindt er bij voorweken een synergistisch effect op de verteerbaarheid van Ca en P plaats. Ook Liu et al. (1997) vonden een dergelijk synergistisch effect. Larsen et al. (1999) voerden een proef uit met varkens waarin het effect van voorweken op de verteerbaarheid en retentie van enkele mineralen werd onderzocht. Het voer bestond uit gerst (70%), erwten (15%) en raapzaadschilfers (15%) en bevatte daardoor een aanzienlijke hoeveelheid intrinsiek fytase. Het voer werd 9 uur voorgeweekt bij 20oC en een water/voer verhouding van 2,5:1. Voorweken leidde tot een aanzienlijke daling van het gehalte aan fytfaat (IP6, 10,7 vs. 5,9 mmol/kg). De P-verteerbaarheid als gevolg van voorweken was niet significant hoger (+ 4,3 %-eenheden) en de Ca-verteerbaarheid werd niet beïnvloed, mogelijk omdat er boven de P-behoefte werd gevoerd. Ook werd de retentie van Ca en P niet beïnvloed door het voorweken.

Lyberg et al. (2005) onderzochten het effect van voorweken van een voer bestaande uit gerst (28%), tarwe (50%), raapzaadschroot (8%) en sojaschroot (11%) bij een laag en hoog P-gehalte (4,1 resp. 6,8 g/kg) op o.a. de P-verteerbaarheid bij varkens. Het voer bevatte circa 750 FTU intrinsiek fytase per kg drogestof. De behandeling met voorweken werd uitgevoerd bij kamertemperatuur in een water/voer verhouding van 3:1, het water had een begintemperatuur van 10oC en werd er slechts 1 uur voorgeweekt. De varkens werden tweemaal per dag gevoerd. De P-verteerbaarheid van het controlevoer en het voorgeweekte voer bij het lage P-gehalte was 42 resp. 47%, en bij het hoge P-gehalte 51 resp. 54%. Het gehalte van IP5 en IP6 bij de voorgeweekte voeders was afgenomen van

3,0 naar 2,7 g/kg onafhankelijk van het P-gehalte. De Ca-verteerbaarheid in beide voeders was alleen bij het lage P-gehalte significant hoger als gevolg van voorweken (55 resp. 59%).

In een andere studie vergeleken Lyberg et al. (2006) het effect van voorweken van een voer met gerst (28%), tarwe (50%), raapzaadschroot (8%) en sojaschroot (11%) en enkele toevoegingen op de P-verteerbaarheid. De behandeling met voorweken werd uitgevoerd in een water/voer verhouding van 3:1. Het water had een begintemperatuur van 10oC en er werd slechts 1 uur voorgeweekt. De varkens werden eenmaal per dag gevoerd. De P-verteerbaarheid van het controlevoer en het voorgeweekte voer was 38 resp. 45%. De hydrolyse van IP6 bij het voorgeweekte voer was 10% vergeleken met het controlevoer van 0% hydrolyse. De Ca-verteerbaarheid in beide voeders was gelijk (53 resp. 54%).

2.4.3 Temperatuur en pH

Zoals uit paragraaf 2.4.1 blijkt heeft de temperatuur een groot effect op de hydrolysesnelheid van het fytinezuur in aanwezigheid van fytase. Carlson and Poulsen (2003) voerden in vitro studies uit met een voer voornamelijk bestaande uit gerst (gerst 52%, tarwe 20% en sojaschroot 24%) of tarwe (tarwe 56%, gerst 15%, sojaschroot 24%) bij 10, 20 en 38oC. In tabel 2 staan enkele resultaten in afhankelijkheid van de incubatietemperatuur.

Tabel 2 Effect van incubatietemperatuur op de in vitro afbraak van fytaat (in % van de beginhoeveelheid) in een gerstrijk voer en een tarwerijk voer (FTU in kg DS) (Carlson and Poulsen, 2003)

Temperatuur en incubatieduur	Gerst 710 FTU	Gerst 130 FTU	Gerst 710+2000 ^a FTU	Gerst 130+2000 FTU	Tarwe 720 FTU	Tarwe 190 FTU	Tarwe 720+900 FTU	Tarwe 190+900 FTU
10°C (8 uur)	48	17	61	61	52	22	60	58
20°C (8 uur)	55	28	60	67	62	53	62	79
38°C (2 uur)	58	30	66	66	72	35	73	68

^a 710 is intrinsiek fytase, 2000 is toegevoegd microbieel fytase

Uit tabel 2 blijkt dat verhoging van de incubatietemperatuur van 10 naar 20oC een gering effect had op de afbraak van fytaat in de voeders, maar een verhoging van 20 naar 38oC had een zeer groot effect zodat al na 2 uur hetzelfde effect op de afbraak werd bereikt vergeleken met 20oC gedurende 8 uur. Alle voeders hadden een pH van 6,0 bij aanvang van de incubaties. In deze proeven bleek dat incubatie in gesloten containers bij 10oC pas na 50 uur leidde tot een geringe daling in pH, bij 20oC werd na 48 uur een pH bereikt van 4,7, maar bij 38oC werd reeds na 12 uur een pH van 4,7 bereikt en na 24 uur was de pH 4,2.

2.4.4 Conclusies voorweken

Uit in vitro onderzoek blijkt dat bij een temperatuur van 30 tot 50oC er in aanwezigheid van fytase een snelle hydrolyse van fytaat is, maar bij 10oC verloopt de hydrolyse traag. In vivo onderzoek laat zien dat bij voorweken van voer zonder de aanwezigheid van fytase de P-verteerbaarheid niet beïnvloed wordt, maar in aanwezigheid van fytase treedt er een duidelijke stijging van de P-verteerbaarheid op. Ondanks het feit dat in vitro fytaat wordt gehydrolyseerd blijkt dat dit in vivo niet hoeft te leiden tot een hogere P-verteerbaarheid. Mogelijk wordt het tijdens het voorweken door fytase gevormde vrij fosfaat gedurende de passage door het maagdarmkanaal weer gebonden aan met name Ca vanwege de vorming van niet-verteerbare Ca-fosfaatcomplexen. Een andere reden is dat er wel onder de P-behoefte wordt gevoerd omdat anders door hormonale regulatie de P-absorptie wordt verminderd. Daarnaast heeft fytase bij niet voorgeweekt voer in het maagdarmkanaal een effect. Het eventuele voordeel van voorweken hangt dus af van het effect van fytase tijdens voorweken ten opzichte van het extra effect van fytase in het maagdarmkanaal.

2.5 Fermentatie

Fermentatie is een dynamisch proces waarin vooral zetmeel en suikers door micro-organismen worden omgezet in fermentatieproducten zoals melkzuur, organische zuren en alcohol (Scholten et al., 1999). Deze auteurs gaan uitvoerig in op het effect van het fermentatieproces op verteerbaarheid van de organische stof en eiwit maar helaas niet op het effect hiervan op de mineralenhuishouding. Door fermentatie worden er diverse organische zuren gevormd welke een effect kunnen hebben op de

P-verteerbaarheid (zie 2.6). Daarnaast kunnen de aanwezige micro-organismen ook fytase produceren wat kan bijdragen aan hydrolyse van het aanwezige fytinezuur. Uit onderzoek bij Wageningen UR Livestock Research van ingekulde granen zoals vochtige mais en corn cob mix (CCM) blijkt dat de P-verteerbaarheid aanzienlijk was toegenomen vergeleken met droge maisproducten die een P-verteerbaarheid hebben van ca. 20% (Jongbloed, 1987). Zo was bij WUR LR de gemiddelde P-verteerbaarheid van twee partijen CCM 55% en die van een partij ingekulde mais 35%. Ook Ross et al. (1983), Boyd et al. (1981) en Fournin et al. (1986) vonden een P-verteerbaarheid voor vochtige mais tussen 40 en 50%. Niven et al. (2007) vonden een duidelijke toename in het gehalte aan oplosbaar P (1,26 g/kg) vergeleken met vers geoogste mais (0,27 g/kg). Pedersen and Stein (2010) gebruikten een mais-soja voer zonder fytase in een water/voer verhouding van 3:1 en lieten het mengsel 24 uur fermenteren. De begintemperatuur van het water was 10°C. Bij elke voeding werd 10% of 50% van het voer in de tanks achtergelaten en weer opnieuw aangevuld. De P-verteerbaarheid van het voer als droog voer was 36,6%, bij 10% restvoer was die 34,1% en bij 50% restvoer was die 37,0%. Het ontbreken van een effect van fermentatie op de P-verteerbaarheid kan veroorzaakt zijn door afwezigheid van fytase, door een lage begintemperatuur van het water en omdat op de behoefte werd gevoerd. Lyberg et al. (2006) vergeleken het effect van fermentatie van een voer bestaande uit gerst (28%), tarwe (50%), raapzaadschroot (8%) en sojaschroot (11%) en enkele toevoegingen op de P-verteerbaarheid. De behandeling met fermentatie werd uitgevoerd in een water/voer verhouding van 3:1, het water had een temperatuur van 10°C en dagelijks werd de helft van het voer in de container vervangen. De varkens werden eenmaal per dag gevoerd. De pH van het gefermenteerde voer was 4.4. De P-verteerbaarheid van het controlevoer en het gefermenteerde voer was 38 resp. 48%. De hydrolyse van IP6 bij het gefermenteerde voer was 80% vergeleken met het controlevoer van 0% hydrolyse. Ook was de Ca-verteerbaarheid hoger (53 resp. 59%).

In de loop van de tijd vindt tijdens opslag bij vochtige (ingekulde) voeders onder invloed van de aanwezige bacterieflora ook hydrolyse van fytinezuur plaats waardoor de P-verteerbaarheid toeneemt. Fermentatie van voer dat intrinsiek of microbieel fytase bevat leidt tot een hogere P-verteerbaarheid, maar in afwezigheid van fytase heeft kortdurende fermentatie geen effect op de P-verteerbaarheid omdat de microflora, die ook fytase produceert, onvoldoende tijd heeft gehad zich te ontwikkelen.

2.6 (An)organische zuren

Kemme en Jongbloed (2003) hebben het effect van organische zuren op de P-verteerbaarheid bij varkens geïnventariseerd. In fytase-arme voeders (zowel intrinsiek als microbieel) werd in 20 experimenten de P-verteerbaarheid bij varkens met gemiddeld 3,2 %-eenheden en de Ca-verteerbaarheid met 3,8 %-eenheden verhoogd. In deze proeven werden diverse doseringen van azijnzuur, boterzuur, citroenzuur, fumaarzuur, melkzuur en mierenzuur gebruikt. Daarna werd het effect van organische zuren in combinatie met microbieel fytase bestudeerd door Kemme en Jongbloed (2003). In de proeven waarbij geen interactie tussen organisch zuur en fytase (250 tot 1000 FTU/kg voer) kon worden aangetoond werd in deze proeven (n=7) de P- en Ca-verteerbaarheid gemiddeld met 4,1 resp. 3,1 %-eenheden verbeterd door het organisch zuur. In twee experimenten was er zelfs een synergistisch effect tussen het organisch zuur (mierenzuur, melkzuur) en fytase (550 resp. 900 FTU/kg voer) en was de P-verteerbaarheid gemiddeld 16,4 %-eenheden beter bij alleen fytase maar 26,6 %-eenheden hoger met organisch zuur en fytase. Het synergistisch effect kan mogelijk verklaard worden door het voeren van voeders ruim onder de P-behoefte. Een samenvatting van de effecten van organische zuren op de Ca- en P-verteerbaarheid is gegeven in tabel 3.

Tabel 3 Effect van organische zuren op de toename van de Ca- en P-verteerbaarheid (VC) van voeders bij varkens (Kemme en Jongbloed, 2003)

Proeven, n	Fytase	Organisch zuur	VC-Ca	VC-P	
20	Geen fytase	diverse	3,8	3,2	
7	Toegevoegd fytase	diverse	3,1	4,1	
2	Toegevoegd fytase	diverse	12,0	26,6	synergistisch effect

2.7 Electrolytenbalans

Mroz et al. (1996) onderzochten het effect van diverse calciumzouten op de vertering en retentie van calcium en fosfor. Vergeleken werden calciumcarbonaat, calciumsulfaat, calciumbenzooat en calciumchloride. De effecten werden bepaald bij een calciumgehalte van 7 en 10 g/kg voer. Gebruik van calciumcarbonaat en calciumsulfaat resulteerde in vrijwel gelijke P-verteerbaarheid, maar van calciumbenzooat en calciumchloride in een lagere P-verteerbaarheid dan de eerstgenoemde calciumbronnen. Voor de retentie van fosfor gaven calciumbenzooat en calciumchloride een lagere waarde dan calciumcarbonaat en calciumsulfaat als calciumbron.

2.8 Invloed overige mineralen

Van de verschillende mineralen is vooral het calciumgehalte van invloed op de P-verteerbaarheid (Jongbloed, 1987; Kemme et al., 1995). Naarmate het calciumgehalte toeneemt neemt de P-verteerbaarheid af. Skoglund et al. (1997) verstrekten een mengvoer bestaande uit gerst, raapzaadschilfers en erwten (70%, 15%, 15%) met een Ca-gehalte van 1,7 of 7,2 g/kg ds aan varkens. Het voer werd al dan niet voorgeweekt gedurende 9 uur bij kamertemperatuur en een water/voer verhouding van 2,5:1. Vlak voor het voeren bleek de IP6 opname (mmol/d) van het controlevoer met 1,7 g Ca/kg en voorgeweekt voer met 1,7 en 7,2 g Ca/kg resp. 15,2, 7,4 en 9,6 te zijn. Tijdens het voorweken was bijna de helft van het IP6 afgebroken. De P-verteerbaarheid van deze voeders was 51, 56 resp. 38%. Er was een kleine verbetering van de P-vertering door het voorweken bij een laag Ca-gehalte, maar een sterk negatief effect bij een Ca-gehalte van 7,2 g/kg ds. In deze proef kwam naar voren dat de hydrolyse van IP6 niet benadeeld werd door het hogere Ca-gehalte in de maag en dunne darm. Larsen et al. (1999) voerden een onderzoek uit met varkens naar het effect van voorweken op de verteerbaarheid en retentie van enkele mineralen. Het voer bestond uit gerst (70%), erwten (15%) en raapzaadschilfers (15%) en er waren twee calciumniveaus (1,7 en 7,2 g/kg ds). Het voer werd 9 uur voorgeweekt bij 20°C en een water/voer verhouding van 2,5:1. Voorweken leidde tot een aanzienlijke daling van het gehalte aan IP6. De daling was iets minder voor het voer met het hoge calciumgehalte (10,5 naar 5,1 mmol/kg ds en 10,9 naar 6,6 mmol/kg ds voor het hoge calciumgehalte). De P-verteerbaarheid in het controlevoer bij het lage calciumgehalte was hoger (55,6%) dan in het voer met het hoge calciumgehalte (38,8%) maar een effect van het voorweken kon niet worden aangetoond. Ook werd de retentie van Ca en P niet beïnvloed door het voorweken. Ook recent in vitro onderzoek van Esmaeilipour et al. (2012) laat zien dat verhoging van het Ca-gehalte van 2, 4, 8 en 12 g/kg de hoeveelheid vrijgemaakt orthofosfaat verminderde van 1,19, 1,12, 1,05 naar 0,97 g/kg voer.

Een overmaat aan ijzer en aluminium is nadelig voor de P-verteerbaarheid omdat ijzer en aluminium gemakkelijk neerslaan met fosfor tot onoplosbare verbindingen (Jongbloed, 1987).

2.9 Overige factoren

Vitamine D en de metaboliëten ervan zijn essentieel voor een goede calcium- en fosforstofwisseling (Jongbloed, 1987). Een goede voorziening van vitamine D via het voer is dan ook onontbeerlijk. Veelal wordt via de premix 1600 tot 2000 IU/kg voer toegevoegd. Ook is vitamine A betrokken bij de vorming van bot en dient in het voer aanwezig te zijn, maar ook een overmaat aan vitamine D is nadelig voor een goede botvorming.

2.10 Conclusie

Er zijn diverse factoren die invloed hebben op de verteerbaarheid van fosfor. De meest relevante in verband met het voeren van vochtrijke voeders zijn beschreven. In plantaardige grondstoffen is het meeste fosfor aanwezig in de vorm van inositolfosfor of fytate. Varkens kunnen dit slecht verteren omdat ze het enzym fytase, wat nodig is voor de afbraak van fytate, niet zelf produceren. De P-verteerbaarheid wordt verbeterd wanneer fytase, zowel intrinsiek als microbieel, in het voer aanwezig is. Het effect van de behandelingen op de P-verteerbaarheid hangt sterk af van het gehalte aan vP en calcium in het voer, omdat de vertering hormonaal gereguleerd wordt. De water:droog voer verhouding lijkt tussen 1:1 en 3:1 weinig of geen effect te hebben op de P-verteerbaarheid. Het effect van voorweken van voer op de P-verteerbaarheid is sterk afhankelijk van de temperatuur, de duur van voorweken, de aanwezigheid van een zuur en de aanwezigheid van fytase. Tijdens het voorweekproces kan de aanwezige fytase het fytate-P hydrolyseren zodat er meer orthofosfaat ontstaat. Er kunnen bij voorweken synergistische effecten optreden als gevolg van de aanwezigheid

van organisch zuur en fytase. Hierdoor wordt meer vP gevoerd dan verondersteld. Bij het voorweken kan fermentatie plaatsvinden door de aanwezige microflora, vooral melkzuurbacteriën, die ook fytase produceren.

3 Invloed van rantsoenen met natte bijproducten op de P-vertering

3.1 Invloed van natte grondstoffen algemeen

Het voeren van rantsoenen met vochtrijke diervoeders aan varkens heeft een lange geschiedenis. In 2010 werd 550.000 ton droge stof afkomstig van vochtrijke voedermiddelen aan varkens vervoerd. Dit is meer dan 10% van het totale verbruik van varkensvoer. Vochtrijke voedermiddelen staan in het teken van duurzaamheid. Bij de productie wordt bespaard op droogkosten, waardoor bedrijven gemakkelijker hun CO2 doelstellingen kunnen realiseren.

Een brijvoerrantsoen met vochtrijke voedermiddelen bestaat uit één of meerdere vochtrijke voedermiddelen en een aanvullend mengvoer. De nutritionele samenstelling van de combinatie van het aanvullende mengvoer met de vochtrijke voeders dient de behoefte van het dier te dekken. Dit wordt gerealiseerd met behulp van optimalisatieprogramma's. Veel meer informatie is o.a. beschreven door Scholten en Rijnen (1998).

3.2 Aandeel (natte) grondstoffen

In Nederland werd in 2010 circa 5,75 miljoen ton aan vochtrijke voedermiddelen vervoerd, waarvan het grootste deel aan varkens (OPNV, 2012; bijlage 2). Tarwezetmeel (187.200 ton ds), tarwegistconcentraat (127.200 ton ds) aardappelstoomschillen (80.730 ton ds) en wei/melkproducten (54.000 ton ds) vertegenwoordigen ca. 80% van het totaal en zijn daarmee de belangrijkste vochtrijke bijproducten voor varkens (OPNV, 2012). Naast deze vier bijproducten worden voor varkens ontsloten aardappelzetmeel, diverse aardappelproducten, bakkerijproducten, bierbostel, biergist, bietenperspulp, corn cob mix, graanspoeling, maisglutenvoer, melkproducten, tarwegistconcentraat en voorgebakken frites gebruikt. De hoeveelheid vochtrijke voedermiddelen in het dagelijkse rantsoen van Nederlandse varkens nam toe van 2,97 miljoen ton in 2009 tot 3,35 miljoen ton in 2010. Deze toename wordt verklaard door een hoger aanbod van tarwezetmeel en tarwegistconcentraat.

3.3 Specifieke kenmerken van vochtrijke producten

Gegevens omtrent nutriëntgehalten en voederwaarde in de belangrijkste vochtrijke diervoeders staan beschreven in tabel 4 en zijn ontleend aan CVB (2011). In bijlage 3 staan gegevens van individuele bedrijven en producten vermeld. Ondanks een sterk toegenomen afzet van tarwegistconcentraat ontbreken voederwaardegegevens hiervan in de Veevoedertabel van het CVB. Uit tabel 4 en bijlage 3 blijkt dat de meeste producten voornamelijk energieleveranciers zijn terwijl tarwegistconcentraat, biergist en in mindere mate wei ook een substantiële hoeveelheid eiwit en fosfor bevatten.

Tabel 4 Nutriëntgehalten van de belangrijkste vochtrijke diervoeders voor varkens in g/kg ds (CVB, 2011)

Product	Aardappel- stoomschillen, zetm. 475-600	Aardappelsnip., voorgebakken rvet 120-180	Biergist, re 400-500	CCM, rc 40-60	Kaaswei, re 175-275	Tarwezetmeel, zetmeel <401
DS, g/kg vers	147	336	107	584	47	256
As	55	29	66	18	117	24
RE	106	70	458	97	209	130
RVET	7	160	34	43	42	34
RC	36	18	10	46	0	18
Zetmeel tot.	598	631	57	619	0	394
Suiker	14	5	30	3	406	218
NSP	143	105	341	161	246	154
Ca	0,9	0,4	2,0	0,1	13,2	0,8
P	2,7	2,3	13,3	3,2	8,2	3,1
IP-P	0,4	0,3	0	2,8	0	0
Na	0,7	1,8	0,5	0,1	6,3	1,6
K	27,0	11,1	18,8	3,9	21,9	6,6
Cl	3,8	1,9	2,7	0,6	18,6	1,8
EB, meq.	616	307	428	90	309	188
S anorg.	-	-	1,4	0,1	-	-
Melkzuur	76	-	-	56	-	50
Azijnzuur	11	-	-	14	-	13
Alcohol	4	-	342	-	-	-
Propionzuur	2	-	-	-	-	-
Boterzuur	2	-	-	-	-	-
EW	1,29	1,71	1,92	1,39	1,14	1,38
VC-P, %	35	50	50	41	82	61
vP	0,9	1,2	6,6	1,3	6,7	1,9

Zeer recent is een literatuurstudie uitgevoerd bij Wageningen UR Livestock Research naar de schijnbare P-verteerbaarheid van een aantal vochtrijke diervoeders (tabel 5).

Tabel 5 Totaal fosfor- en fytaat-P gehalte en de gemiddelde schijnbare P-verteerbaarheid (VC-P) in vochtrijke diervoeders op basis van eerder uitgevoerd onderzoek bij Wageningen UR Livestock Research.

Grondstof	DS, g/kg	Aantal proeven	P, g/kg DS	Fytaat-P, g/kg DS	VC-P, %
Aardappelstoomschillen	145	4	3,1±1,3	0,4±0,1 (2)	27,4±11,5
Bierbostel, ingekuild	244	2	6,9±0,2	3,8±1,1	61,0±1,7
Corn Cob Mix	630	2	3,5±0,2	0,6±0,4	55,3±13,8
Restgist	90	5	13,8±6,5	0,0 (2)	38,5±17,0
Mais, ingekuild	617	1	3,5	1,5	35,0
Maisglutenvoer, ingekuild	424	2	8,5±1,8	5,3±1,0	20,1±6,7
Myceliumspoeling	100	3	14,5±0,3	0,9±0,6	79,8±6,5
Tarwegistconcentraat, Greenwich Gold	199	1	7,6	1,3	60,9
Tarwezetmeel (Bondatar)	251	3	2,4±0,3	0,1 (1)	53,4±18,1

Uit tabel 5 blijkt dat in de meeste producten slechts een klein gedeelte van het totaal fosfor voorkomt in de vorm van fytaat-P. De verhouding fytaat-P:totaal P in de bijproducten is veelal minder dan de helft van het aandeel in de oorspronkelijke droge uitgang producten waar deze waarde meestal 70% of meer is. Daardoor is de VC-P in de vochtrijke bijproducten vaak veel hoger dan in het droge uitgang product. Het aantal verteringsstudies uitgevoerd met vochtige diervoeders is zeer gering en wanneer meerdere proeven zijn uitgevoerd is er een aanzienlijke variatie tussen de verschillende studies. Dit laatste betreft met name de belangrijke producten tarwezetmeel (53±18%) en aardappelstoomschillen (27±12%). Uit bijlage 3 blijkt door de leveranciers voor tarwezetmeel een VC-P tussen 30 en 71% te worden gehanteerd. Met wei zijn geen verteringsproeven uitgevoerd en met tarwegistconcentraat slechts één studie. Voor tarwegistconcentraat wordt een VC-P aangehouden tussen 80 en 86% gebaseerd op een verteringsproef uitgevoerd door Schothorst Feed Research. Het is niet duidelijk waarom deze waarde aanzienlijk hoger is dan de VC-P van 61% voor tarwegistconcentraat in tabel 5.

Uit bijlage 3 is af te leiden dat de vochtrijke voeders in veel gevallen een hoog gehalte aan melkzuur bevatten. Verder is de pH van de meeste vochtrijke producten tussen de 3,5 en 4,5. De elektrolytenbalans dEB is voor de meeste producten relatief hoog. In de tarwegistconcentraten is het sulfaatgehalte tussen de 10 en 18 g/kg droge stof. Bij toevoeging van sulfaat is het gewenst de dEBs te hanteren om het effect hiervan op de elektrolytenbalans te verdisconteren.

3.4 Conclusies

Het gebruik van vochtige diervoeders voor varkens is aanzienlijk en neemt verder toe. De hiervoor beschreven resultaten duiden erop dat de beschikbaarheid en onderbouwing van verteringscijfers van vochtige diervoeders nadere aandacht verdient. Dit is des te meer van belang wanneer ten behoeve van een hoge P-efficiëntie scherper op de norm wordt gevoerd. Er zijn weinig gegevens gepubliceerd en voor zover wel beschikbaar zijn er aanzienlijke verschillen tussen proeven. De vraag is hoe hiermee rekening moet worden gehouden bij het formuleren van voeders en welke variatie er is tussen en binnen productielocaties. Verschillende leveranciers houden verschillen waarden voor de VC-P van tarwezetmeel aan. Het is ons onduidelijk welke de redenen hiervoor zijn. De waarde voor tarwegistconcentraat is gebaseerd op slechts één studie en lijkt zeer hoog. Het is de vraag of hier wellicht een stukje additioneel effect van vochtige voeders zoals in hoofdstuk 2 beschreven, impliciet verdisconteerd is. Informatie over effecten van het opnemen van vochtrijke voeders in rantsoenen op de P-verteerbaarheid en dan met name op eventuele synergistische effecten, zijn ons niet bekend. Dit zou in nader dierexperimenteel onderzoek nagegaan moeten worden. Zoals al eerder is beschreven is een synergistisch effect zeker niet uitgesloten en zou daarmee de verteerbaarheid van P in het rantsoen onderschat kunnen worden.

4 Invloed van rantsoenenkenmerken op de P-retentie

In dit hoofdstuk wordt eerst de retentie van calcium en fosfor kort besproken. Daarna worden studies naar de invloed van brijvoer op de P-retentie samengevat en vervolgens komen een aantal mogelijk onderliggende factoren aan de orde die de vastlegging van fosfor kunnen beïnvloeden.

4.1 Calcium en fosforgehalte in het lichaam

Jongbloed et al. (2003) hebben voor het berekenen van de fosforbehoefte van varkens een review uitgevoerd van onderzoek waarin de vastlegging van calcium en fosfor bij vleesvarkens is bepaald. Op basis hiervan werd vastgesteld dat de retentie geleidelijk toeneemt van 5,40 g per kg EBW (empty body weight, leeg lichaamsgewicht) bij 5 kg LW (levend gewicht) tot 5,47 g/kg EBW bij 115 kg LW. Het aandeel maagdarmvulling bedraagt circa 5-6% van het levend gewicht, zodat omgerekend 5,05 tot 5,17 g P/kg LW wordt vastgelegd van 5-115 kg levend gewicht. De calciumretentie neemt toe van circa 8,3 tot 9,3 g/kg EBW ofwel van 7,7 tot 8,7 g/kg LW. De verhouding Ca:P in het dier neemt toe van circa 1,5 tot 1,7 van 5 tot 115 kg LW. Ten behoeve van een schatting van de forfaitaire P-gehalten in varkens berekenden Jongbloed et al. (2002) een waarde van 5,36 g P/kg LW bij 120 kg levend gewicht. Deze laatste waarde is inclusief maagdarmvulling die bij slachten onderdeel is van het afgevoerde dier.

Uit de publicaties van Jongbloed et al. (2002, 2003) blijkt dat er een aanzienlijke variatie is in P-gehalte in het dier tussen diverse studies. Ook als de invloed van het maagdarmkanaal wordt uitgeschakeld door het P-gehalte per kg EBW uit te drukken varieert deze tussen circa 5,1 en 5,8 in de gebruikte publicaties. In de betreffende onderzoeken werden voeders gebruikt waarvan werd verondersteld dat deze voldoende waren voor vrijwel maximale botmineralisatie. Hierop is de CVB-adviesnorm gebaseerd. In dat geval zou het voeren boven de P-behoefte, bijvoorbeeld met brijrantsoenen, niet resulteren in een wezenlijk hogere vastlegging van fosfor. Het is echter de vraag of de maximale botmineralisatie wel als een soort bovengrens mag worden gehanteerd. In paragraaf 4.3 wordt nader ingegaan op de invloed die het P-gehalte heeft op de P-retentie in het dier.

De globale verdeling van Ca en P in het lichaam is weergegeven in tabel 6 op basis van studies van Moinizadeh (1973) en Jongbloed (1987). De resultaten van deze twee studies komen goed overeen. Calcium wordt voor meer dan 98% vastgelegd in het skelet. Van de fosfor zit circa 77-78% in het skelet, 15% in spierweefsel en de rest in vetweefsel en organen. Calcium en fosfor worden in het skelet vastgelegd als hydroxyapatiet $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$. De gewichtsverhouding tussen Ca en P hierin is 2,15. Wanneer rekening wordt gehouden met het aandeel fosfor wat niet in bot wordt vastgelegd, wordt de theoretische verhouding tussen Ca en P in het lichaam circa 1,7. Dit komt goed overeen met de waarde van 1,5-1,7 zoals bepaald in slachtproeven samengevat door Jongbloed et al. (2003). Voor optimale retentie van fosfor is dus voldoende verteerbaar calcium nodig. Een te hoge Ca/P verhouding in het voer heeft echter een negatief effect op de fosforvertering (Hoofdstuk 2).

Tabel 6 Verdeling van calcium en fosfor in het varken geslacht bij circa 100 kg levend gewicht.

	Moinizadeh (1973)		Jongbloed (1987)	
	Ca	P	Ca	P
Skelet	98,8	78,0	98,9	77,2
Spierweefsel	0,4	15,4	0,4	14,5
Vetweefsel	0,4	3,2	0,3	3,1
Ingewanden	0,2	3,3	0,2 ¹⁾	4,0 ¹⁾

¹⁾ Exclusief 0,2% Ca en 1,4% P in darminhoud.

4.2 Invloed van brijvoer met bijproducten op de P-retentie

Binnen Wageningen UR Livestock Research zijn vier studies gedaan die ingaan op de invloed van brijvoer op de retentie van fosfor.

Jongbloed en Dekker (2003) verzamelden en analyseerden de metacarpus III en IV (linkervoorpoot) van 2x20 vrouwelijke slachtvarkens van twee bedrijven waarvan de één droogvoer verstreekte en de ander brijvoer met bijproducten. Over de rantsoenen zijn verder geen gegevens bekend. Het totaal asgewicht van de metacarpus III en IV was 10,50 en 12,20 g ($P < 0.001$) bij droogvoer en brijvoer. Het

P-gehalte in de as was niet significant verschillend. Het totaal P-gewicht in deze twee botten was respectievelijk 1,94 en 2,25 g, ofwel 16% hoger in de dieren die met vochtrijke voeders waren gevoerd. Na correctie voor een klein verschil in eindgewicht was dit verschil 15%.

Timmerman en Smolders (2004) bepaalden op afdelingsniveau het zogenaamde fosfaatgat, berekend als P-aanvoer via het voer op basis van analyses, afvoer via de mest op basis van analyses en afvoer in slachtvarkens op basis van het forfaitaire gehalte. Deze berekening werd uitgevoerd per afdeling, waarbij droogvoer, droogvoer in brijvorm of brijvoer met bijproducten werd gevoerd. Het gat tussen aanvoer en afvoer bedroeg 1,4% van het aangevoerde fosfor bij droogvoer, 7% bij droogvoer in brijvorm en 8% bij brijvoer met bijproducten. Wanneer dit gat in zijn geheel veroorzaakt zou zijn door een onderschatting van het P-gehalte in de slachtvarkens, dan is een verhoging van circa 12% nodig. Van Krimpen et al. (2008b) bepaalden de P-retentie van vleesvarkens tussen 25 en 115 kg op een rantsoen van droog mengvoer en een rantsoen met in de startfase en de vleesvarkensfase respectievelijk 38,5 en 48,4% natte bijproducten: tarwezetmeel (Bondatar), aardappelstoomschillen (Duynie) en kaaswei (Profarm). De brij werd driemaal daags verstrekt, zonder voorweken, met een geanalyseerd droge stofpercentage van 20-21%. In tabel 7 en 8 is het P-gehalte in het voer en het dier weergegeven. De droge rantsoenen hadden een hoger fytasegehalte dan de brijrantsoenen door een hoger aandeel granen en graanbijproducten en een hoger aandeel toegevoegd fytase. Het bepaalde totaal P-gehalte was duidelijk hoger dan berekend in het brijvoer in de startfase. Het is aannemelijk dat hierdoor ook het vP-gehalte hoger was dan berekend. In de overige rantsoenen kwamen het berekende en bepaalde totale P-gehalte goed overeen. De verteerbaarheid van P is niet bepaald.

Tabel 7 Fosfor- en fytasegehalten in droogvoer- en brijvoerrantsoenen verstrekt om de invloed hiervan op de P-retentie bij vleesvarkens vast te stellen.

	Droogvoer		Brijvoer	
	Startvoer	Eindvoer	Startvoer	Eindvoer
Berekend				
EW	1,25	1,25 (1,27) ¹	1,25	1,25 (1,29) ¹
Totaal P	4,8	5,7	5,4	5,6
Verteerbaar P	2,6	2,5	2,6	2,5
Bepaald				
Totaal P	4,8	5,5	6,1	5,4
Fytase, FTU/kg ds	748	924	264	245

¹ op basis van geanalyseerde nutriëntgehalten.

De groei en EW-conversie waren slechter bij de varkens die brijvoer kregen door een lagere EW-opname en –benutting (Tabel 8). Mede daardoor hadden deze dieren een lager aflevergewicht.

Blijkens het rapport heeft mogelijk een ileitis-infectie (PIA) hierbij een rol gespeeld.

Het P-gehalte (P_{2O5}) per kg gewogen levend gewicht van de dieren die brijvoer kregen (n=6) was aanmerkelijk hoger dan de varkens op droogvoer (n=6): 11,9 versus 10,1 g/kg. Het aandeel organen in het dier was bij brijvoer 1,1% lager (P=0,09) en het aanhoudingspercentage van deze dieren was 2% hoger (Van Krimpen et al., 2008a,b). Dit heeft waarschijnlijk bijgedragen aan het hogere P-gehalte omdat de karkasfractie een hoger P-gehalte heeft dan de orgaanfractie (paragraaf 4.1). Gecorrigeerd naar een gelijk eindgewicht was het P-gehalte circa 15% hoger in de dieren die brijvoer kregen.

Tabel 8 Invloed van het verstrekken van brijvoer en droogvoer op groeiprestaties en P-retentie van vleesvarkens¹

	Droogvoer	Brijvoer	Significantie
EW-opname/d, gecorrigeerd	2,30	2,27	-
Groei, g/d	808	756	< 0,001
EW-conversie, berekend ²	2,84	2,93	< 0,001
EW-conversie gecorrigeerd ³	2,84	3,00	< 0,001
Aflevergewicht, kg (gewogen)	116,7	108,7	-
Karkasgewicht, kg	90,8	86,5	-
Berekend eindgewicht, kg	116,1	111,6	-
Aanhoudingspercentage, %	77,5	79,6	< 0,05
Fosfaat, g/kg LW	10,1	11,9 (11,6) ⁴	< 0,01
Fosfor, g/kg LW	4,4	5,2	< 0,01

1 Groeiprestaties op basis van 12 hokken met 11 dieren per hok per behandeling; karkasgewicht en P-retentie op basis van 6 dieren per behandeling.

2 Gebaseerd op berekend eindgewicht op basis van het in het slachthuis bepaalde karkasgewicht

3 Idem, en gecorrigeerd voor EW in rantsoenen op basis van de geanalyseerde samenstelling

4 Gecorrigeerd naar een gelijk gewogen eindgewicht van 116 kg met een correctie van -0,044 g fosfaat/kg per kg hoger levend eindgewicht.

In aansluiting op deze studie is het fosforgehalte bepaald in 24 vleesvarkens van vier praktijkbedrijven waarvan twee droogvoer en twee brijvoer verstrekten. In deze studie was het P-gehalte in varkens die brijvoer hadden gegeten circa 7% hoger dan in dieren van de droogvoerbedrijven (Van Krimpen et al., 2008, niet gepubliceerde data)

De hiervoor aangehaalde studies waren beperkt van omvang en met name bij de veldstudies ontbrak informatie over de rantsoensamenstelling. Niettemin is het opvallend dat alle vier studies duiden op een circa 10-15% hogere P-retentie in varkens gevoerd op brijvoer met bijproducten.

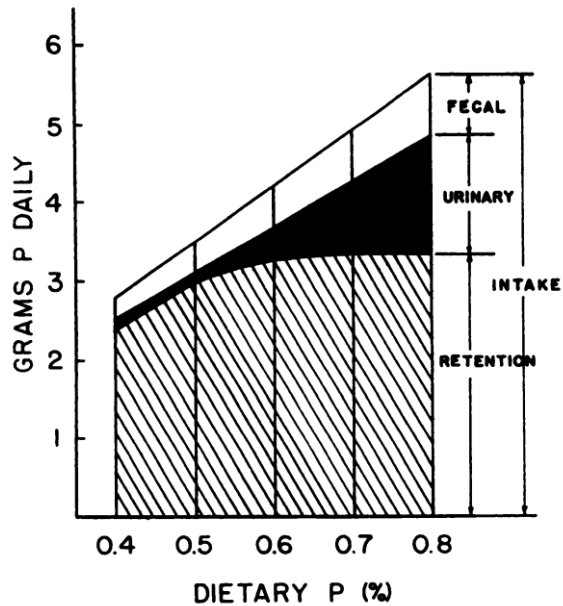
4.3 Invloed van P-gehalte in het voer op de P-retentie in het dier

Bij de berekening van de fosforbehoefte en de afvoer van fosfor in het slachtvarken wordt uitgegaan van een constant P-gehalte in het dier, gebaseerd op vrijwel maximale botmineralisatie. Het is echter de vraag of dit correct is. In deze paragraaf gaan we in op studies waarin het effect van het (verteerbaar) fosfor- en calciumgehalte in het voer op P-retentie is bepaald. Achtereenvolgens geven we enkele voorbeelden van studies waarin gebruik is gemaakt van een balansproef, referentieboten en volledige karkasanalyse.

4.3.1 Invloed van het P-gehalte in het voer op de P-retentie, balansproeven

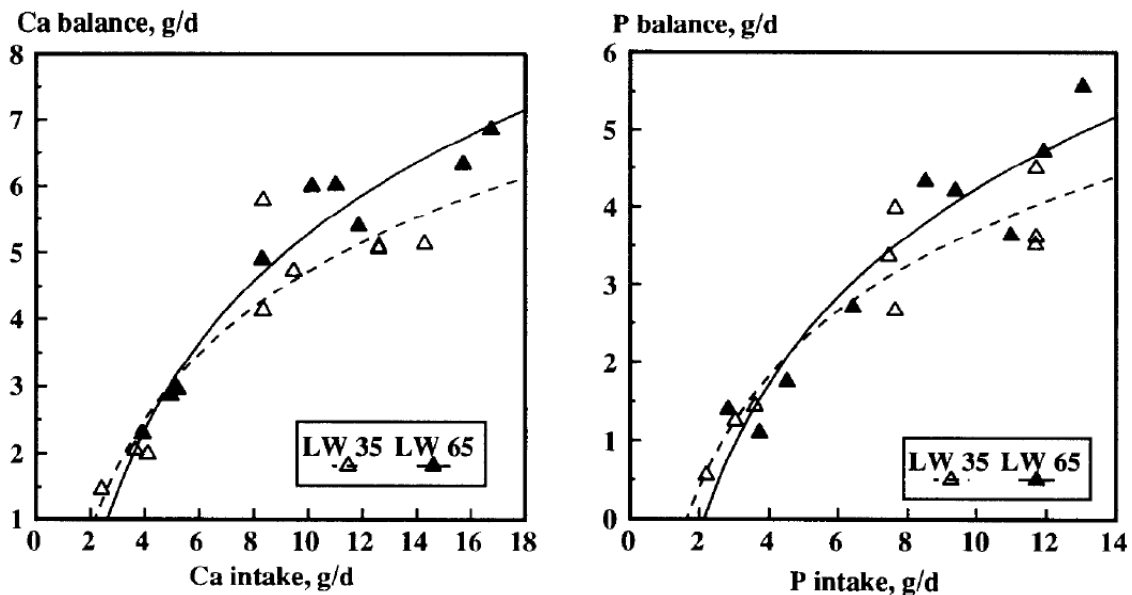
Er is een groot aantal proeven gedaan waarin de retentie van fosfor middels een balans (opname – uitscheiding in mest en urine) is bepaald. Hierbij moet wel aangetekend worden dat een balansproef een zekere overschatting geeft ten opzichte van de P-retentie per kg groei in een slachtproef (Jongbloed, 1987).

Al in de jaren zestig bepaalden Miller et al. (1964a,b) in verschillende studies de invloed van het P-gehalte in het voer bij een vast Ca-gehalte op de P-retentie en mineralisatie van het humerus bot (bovenarm) bij zeer vroeg gespeende biggen tot ca. zes weken leeftijd. In de balansstudie nam de P-retentie kromlijngig toe bij een verhoging van het P-gehalte van 4 tot 6 g totaal P per kg voer gebaseerd op melkproducten (figuur 1). Een hoger P-gehalte resulteerde voornamelijk in een hogere P-uitscheiding in de urine. Het Ca- en P-gehalte in de humerus nam eveneens toe tot circa 6 g P in het voer. Een verdere verhoging resulteerde niet in een hogere P-retentie, wellicht doordat Ca beperkend werd voor botmineralisatie (Miller et al., 1964a,b).



Figuur 1 Invloed van fosforgehalte in het voer op de fosforretentie in een balansproef met vroeggespeende biggen (Miller et al., 1964a)

Deze toename in P-retentie zoals gevonden bij jonge biggen is ook beschreven voor vleesvarkens. Fernàndez et al. (1995) bepaalden in een balansproef met vleesvarkens van 35 en 65 kg de retentie van calcium en fosfor bij een gelijktijdige toename ($\text{Ca:P} = 1,2$) hiervan in het voer door gebruik van calciumcarbonaat (krijt) en monocalciumfosfaat. De retentie van calcium en fosfor in het dier nam kromlijinig toe bij een verhoging van het Ca en P-gehalte in het voer (figuur 2). Bij het hoogste P-gehalte van omgerekend circa 5,0 en 3,6 g vP per EW bij resp. 35 en 65 kg leek er nog geen plateau in retentie bereikt te zijn en was er dus wellicht nog geen sprake van maximale botmineralisatie.



Figuur 2 Invloed van de Ca- en P-opname op de retentie bij vleesvarkens (Fernàndez, 1985)

Ekpe et al. (2002) bepaalden de P-retentie bij voeders met vijf vP-gehalten in vleesvarkens in een balansproef bij een lichaamsgewicht van circa 60 kg. De hoogste P-aanzet werd gevonden bij een voer met een bepaald vP-gehalte van circa 2,5 g/kg voer met 1,10 EW. De berekende P-retentie per kg leeg lichaamsgroei (EBWG) was 6,2 g/kg, wat beduidend hoger is dan de waarde gevonden door Jongbloed et al. (2003) van 5,4 g/kg. Gemiddeld was bij de drie hoogste vP-gehalten in het voer de P-retentie 5,8 g/kg EBWG.

Het effect van het vP-gehalte in het voer op de P-retentie wordt bepaald door het vP-gehalte in het voer ten opzichte van de behoefte. Dit blijkt bijvoorbeeld uit een recent uitgevoerd balans experiment met varkens van 25-55 kg van Gutzwiller et al. (2011) met voeders met een laag en hoog vP-gehalte. Zij vonden bij de dieren van 25 kg een toename in de Ca- en P-retentie bij een verhoging van het Ca- en P-gehalte in het voer. Bij 40 kg was dit effect kleiner en niet significant en bij 55 kg geheel afwezig. Dit duidt erop dat in deze studie het lage Ca- en P-gehalte (circa 2,8-3,0 g vP/EW) voor de jonge dieren niet voldoende was voor maximale botmineralisatie maar voor de oudere dieren waarschijnlijk wel waardoor deze geen verhoging in retentie lieten zien. Voorgaande neemt niet weg dat ook in oudere dieren de botmineralisatie en P-retentie afhangt van het Ca- en P-gehalte in het voer, zoals blijkt uit een studie van Carter et al. (1999). Deze auteurs vonden een sterke stijging in Ca- en P-retentie bij vleesvarkens tussen 75 en 105 kg wanneer het Ca en P-gehalte in het voer werd verhoogd, respectievelijk van 5 tot 10 g en van 4,5 tot 9,0 g/kg. Voor fosfor was dit een verhoging van omgerekend circa 1,6 tot 3,2 g vP/EW, dus ruim boven de huidige behoeftenormen. Door het hogere Ca- en P-gehalte nam de groei toe van 845 tot 895 g/d.

De effecten van het vP-gehalte in het voer, zoals hiervoor beschreven voor het toevoegen van anorganisch fosfaat kunnen ook gerealiseerd worden met behulp van fytase. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de studie van Han et al. (1997) die een hogere P-retentie vonden bij varkens tussen 10 en 90 kg lichaamsgewicht en een hogere metatarsale en metacarpale botsterkte bij een verhoging van het vP-gehalte in het voer door dicalciumfosfaat of fytase van microbiële oorsprong of uit tarwezemelen. Murry et al. (1997) vonden een toename in P-retentie bij gebruik van 500-1000 FTU/kg voer met een laag of hoog P-gehalte bij varkens tussen 25 en 30 kg. Het hoge P-gehalte lag ruim boven de norm voor verteerbaar fosfor. Fytase had bij dit voer dan ook geen effect op de groeiprestaties. Toch resulteerde het toevoegen van fytase wel in een lineaire toename van de P-retentie.

Uit de resultaten van deze selectie aan balansstudies leiden we af dat de Ca- en P-retentie sterk afhankelijk is van de gehalten aan calcium en verteerbaar fosfor in het voer. Zowel bij jonge biggen als oudere vleesvarkens werd een verhoging in de retentie gevonden bij gehalten waarvan werd aangenomen dat deze voldoende waren voor vrijwel maximale botmineralisatie. Vanwege de overschatting in retentie middels een balansproef is het nodig deze resultaten te vergelijken met slachtproeven. Daarop gaan we in de volgende paragrafen in.

4.3.2 *Invloed van vP-gehalte op P-retentie, botkenmerken*

In een aantal relatief recente proeven is de invloed van het mineralengehalte in het voer bepaald aan de hand van kenmerken als gewicht en asgehalte van referentiebotten. Deze proeven zijn veelal uitgevoerd om de effectiviteit van fytase ten opzichte van anorganisch fosfaat vast te stellen. Jendza et al. (2006) vonden bij jonge biggen gedurende zes weken na spenen een lineaire toename in botasgehalte van de metacarpus III en IV (middenhandsbeentjes) bij een verhoging van het vP-gehalte door mononatriumfosfaat of fytase, 250 tot 1000 FTU/kg. Brana et al. (2006) beschrijven een toename in fibula (kuitbeen) asgehalte wanneer dicalciumfosfaat of fytase, 250-10.000 FTU per kg werden toegevoegd aan een voer deficiënt in fosfor. Een hoge dosering fytase (>1000 FTU/kg) resulteerde in een numeriek hoger fibula asgehalte dan een adequaat veronderstelde P-voorziening via dicalciumfosfaat. Augspurger et al. (2009) vonden een toename in het botasgewicht (18%) en –gehalte (9%) van de metacarpus wanneer 1,3 g P uit dicalciumfosfaat of fytase, 500 FTU per kg, werd toegevoegd aan een voer met laag fosforgehalte verstrekt van 24 tot 130 kg lichaamsgewicht. De groei nam met 7% toe door de hogere fosforvoorziening. Deze voorbeeldstudies laten zien dat het asgehalte van referentiebotten toeneemt bij een hoger gehalte aan calcium en fosfor of fytase in het voer.

In de VS zijn eind jaren '90 een aantal proeven uitgevoerd waarbij in de eindfase van het vleesvarkenstraject de mineralenvoorziening drastisch werd verminderd om te besparen op voerkosten en de excretie te verminderen. Een voorbeeld hiervan is de studie van Peter et al. (2001) die in een grootschalig experiment tussen 84 en 123 kg lichaamsgewicht het beschikbaar fosforgehalte in het voer verlaagden van 1,6 naar 0,6 g/kg en alle toegevoegd zink, koper en mangaan verwijderden. Deze verlaging van de mineralenvoorziening had geen enkele effect op de groeiprestaties maar verlaagde wel het asgewicht van de metacarpus met 5-6%. Vergelijkbare effecten werden gevonden door Shaw et al. (2006) die een lager botasgehalte vermeldten wanneer de laatste vier weken voor slachten de premix werd weggelaten en het aandeel toegevoegd krijt en calciumfosfaat werd verlaagd.

De hiervoor beschreven resultaten laten zien dat een toename in de mineralenvoorziening via het voer resulteert in hogere asgehalten (mineralen) in referentiebotten. Deze resultaten zijn gevonden bij jonge biggen en oudere vleesvarkens, zowel onder als boven de behoefte voor maximale groei.

4.3.3 Invloed van vP-gehalte op P-retentie, karkasanalyses

Voor het doel van deze studie geven resultaten van complete karkasanalyse bij verschillende P-gehalten in het voer het meest directe inzicht in de relatie tussen P-opname en -retentie in het dier. Dergelijke studies zijn niet veel uitgevoerd, maar enkele voorbeelden worden hieronder beschreven. Mudd et al. (1969) onderzochten de invloed van verhoging van het Ca- en P-gehalte van het voer door toevoegingen van CaHPO_4 en $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ op de Ca- en P-retentie bij varkens van 23 tot 41 kg. De dieren werden volgens een voerschema gevoerd. De resultaten in tabel 9 laten zien dat de verhoging van het Ca- en P-gehalte in het voer geen invloed had op de (lage) groeiprestaties maar wel resulteerde in een sterke stijging van de retentie van Ca en P en de gehalten hiervan in het dier bij slachten op 41 kg. De resultaten laten een kromlijnige toename zien, waarvan het maximum nog niet is bereikt bij het hoogste Ca- en P-gehalte in het voer.

Tabel 9 Invloed van calcium- en fosforgehalte in het voer van vleesvarkens van 23 tot 41 kg op de mineralengehalten in het dier bij 41 kg en de aanzet per kg groei.

Ca / P, g/kg	3,0 / 3,8	5,8 / 6,8	9,4 / 11,3	11,6 / 14,7	Sign.
Groei, g/d	517	495	520	505	ns
Ca, g bij 41 kg	309	360	396	426	***
P, g bij 41 kg	197	223	236	249	***
P-retentie, g	70	95	108	122	***
Ca retentie, g	98	148	185	215	***
Ca, g/kg groei	5,30	8,23	10,20	11,61	**
P, g/kg groei	3,77	5,28	5,98	6,60	***

In de studies van Ketaren et al. (1993) werden aan varkens tussen 20 en 90 kg semi-synthetische voeders verstrekt met een beschikbaar (available) P-gehalte oplopend van 1 tot 4 g/kg door gebruik van natriumtripolyfosfaat ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$). Het P-gehalte had een klein effect op de groei, niet op de voederconversie, maar het P-gehalte in het leeg gewicht nam wel toe van 6,8 tot 8,5 g/kg droge stof. Deze gehalten zijn lastig te interpreteren omdat het droge stofpercentage in het karkas niet wordt vermeld. Niettemin duiden deze resultaten erop dat de P-behoefte voor maximale botmineralisatie en maximaal P-gehalte in het karkas duidelijk hoger is dan voor maximale groei.

Columbus et al. (2010) bepaalden de vertering en retentie van fosfor van gespeende biggen met voeders met 43-60% high moist corn (HMC, gefermenteerde korrelmais, vergelijkbaar met CCM zonder spil). De gefermenteerde mais werd niet of 24 uur voorgeweekt in combinatie met 62,5 of 125 FTU/kg mais. Het toevoegen van fytase had geen effect op de groeiprestaties maar resulteerde wel in een 19% hogere P-retentie en een 31% hogere Ca-retentie in het lichaam. Dit ging samen met een hoger aandeel oplosbaar P in het duodenum en een numerieke (niet-significante) verhoging van de fecale P-verteerbaarheid. De effecten op het P- en Ca-gehalte in metacarpus bot (voorpoot) en de breeksterkte hiervan waren minder eenduidig. Het effect van fytase was niet afhankelijk van het voorweken van de mais; voorweken had geen effect op de P- en Ca-retentie. Het toevoegen van fytase en voorweken had geen effect op de groei van de dieren. Deze resultaten duiden erop dat een hoger aanbod van verteerbaar P, boven wat nodig is voor maximale groei, de retentie kan verhogen. Dit effect was groter dan op basis van de fecale vertering zou worden verwacht en er was geen aanvullend effect van voorweken.

Tabel 10 Invloed van fytase (63 en 125 FTU/kg mais) en voorweken van gefermenteerde mais (0 of 24 uur) op vertering en retentie van fosfor en retentie van calcium in het hele lichaam en in metacarpus (MC)-bot bij gespeende biggen (Columbus et al., 2010).

Behandeling	CON	63 FTU 0 uur	125 FTU 0 uur	63 FTU 24 uur	125 FTU 24 uur	SEM	Fytase	Weken
P-oplosbaar darm, %	49.8	61.7	68.2	62.9	59.7	4.3	0.01	0.35
P-vertering fecaal, %	60.9	63.4	67.5	64.4	66.3	2.8	0.16	0.97
Groei, g/d	305	311	336	308	318	28	0.75	0.17
P in lichaam, g/kg ds	13.1	15.2	15.8	15.6	15.8	0.5	0.001	0.70
Ca in lichaam, g/kg ds	18.5	23.5	24.7	24.1	24.8	1.1	0.001	0.69
P in MC bot, g/kg ds	54.0	55.1	60.2	56.4	55.5	0.12	0.03	0.07
Ca in MC bot, g/kg ds	114	117	126	119	120	3	0.07	0.33
Botsterkte, kg	32.0	30.8	34.0	30.1	31.8	1.3	0.87	0.11

4.4 Invloed van fytaatgehalte in grondstoffen

Hill et al. (2009) lieten een toename in P-retentie zien wanneer gewone mais en sojaschroot werden vervangen door variëteiten met een laag fytaatgehalte. Bij beide typen had gebruik van fytase nog een additioneel effect op de P-retentie. Vergelijkbare resultaten werden gevonden door Htoo et al. (2007) bij vleesvarkens in de groeifase met gerst met een laag of hoog fytaatgehalte, met en zonder fytase. Sands et al. (2001) vergeleken gewone mais en mais met een laag fytaatgehalte en vonden een toename in P-vertering en -retentie door gebruik van laag-fytaat mais en door toevoeging van fytase aan gewone mais maar niet aan laag-fytaat mais. Deze resultaten laten zien dat bij een gelijk aanbod van fosfor uit vergelijkbare plantaardige grondstoffen het aandeel fytaat en gebruik van fytase grote invloed heeft op de verteerbaarheid en retentie van fosfor. Het effect op P-retentie in deze studies kon worden verklaard door een hogere P-verteerbaarheid.

In de voorgaande paragrafen is een aantal studies aangehaald die laten zien dat een toename in het vP-gehalte in het voer veelal resulteert in een toename in de vastlegging van fosfor in het karkas, zoals gemeten met een P-balans, het asgehalte van een referentiebot of het totaal P-gehalte in het karkas. Een aantal studies vermeldt een lineaire toename, andere duiden op een kromlijnige toename waarbij het effect van extra vP steeds kleiner wordt. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de gebruikte P-gehalten in de voeders ten opzichte van de behoefte van het dier. Het vP-gehalte waarbij maximale botmineralisatie wordt bereikt ligt hoger dan de behoefte voor maximale groeiprestaties.

4.5 Invloed van calcium op de P-retentie

In voorgaande paragrafen is de invloed van het P-gehalte beschreven. Veelal is in deze studies het gehalte aan Ca en P in samenhang verhoogd en is niet altijd duidelijk welke het meest limiterend is. Enerzijds kan een hoog calciumgehalte een negatief effect hebben op de P-retentie door een negatief effect op de vertering van fosfor zoals beschreven in hoofdstuk 2. Anderzijds is er een minimale behoefte aan verteerbaar calcium vanwege de aanzet van calcium en fosfor als hydroxyapatiet in het skelet. Liu et al. (1998) vonden bij een verlaging van de totaal Ca:P verhouding van 1,5 tot 1,0 een lineaire toename van de groei, de fosforvertering en de botsterkte van de metacarpus. De gemeten verhouding tussen vCa en vP bedroeg hierbij 1,55 wat goed overeenkomt met de verhouding van 1,6 in de lichaamsretentie (zie paragraaf 4.1).

4.6 Invloed van de electrolytenbalans

De Ca- en P-stofwisseling is gerelateerd aan het zuur-base evenwicht in het dier. Dit wordt mede bepaald door de kation/anion balans of de dieet electrolyt balans (dEB) van het voer, berekend als $\text{Na}^{++}\text{K}^{+}-\text{Cl}^{-}$ of als $\text{Na}^{++}\text{K}^{+}-\text{Cl}-\text{S}^{2-}$ (dEBS). Een lage dEB werkt verzurend en moet door het dier gebufferd worden omdat de pH van bloed en extracellulaire vloeistof tussen zeer nauwe grenzen wordt gereguleerd. Het skelet bevat een grote voorraad alkalische mineralen (hydroxy-apatiet) waarmee zo nodig een overmaat aan H^{+} -ionen gebufferd kunnen worden. Botcellen zijn zeer gevoelig voor de directe invloed van de pH van de extracellulaire vloeistof. Acidose vermindert de botmineralisatie door osteoblasten en activeert de osteoclasten tot botafbraak om OH^{-} ionen uit

hydroxyapatiet vrij te maken en zo de H⁺-ionen te bufferen (Arnett, 2010). In vitro onderzoek van Arnett (2003) laat zien dat een kleine pH-daling van het extracellulair milieu van circa 7,2 tot 6,9 een sterke verhoging van de calciumresorptie vanuit bot door osteoclasten tot gevolg heeft en de mineralisatie door osteoblasten reduceert of stilt. Bij een hoge pH is juist de activiteit van osteoclasten sterk gereduceerd. Alkalische zouten zoals Ca- en K-(bi)carbonaat en -citraat kunnen op die manier helpen om botresorptie te voorkomen. Een hoog aandeel chloride en zuur in het voer, zoals H₃PO₄ kost het dier buffercapaciteit (HCO₃⁻), maar tegelijk is PO₄³⁻ een sterke remmer van de resorptieactiviteit van osteoclasten. Bovendien wordt PO₄³⁻ in het bloed niet zo nauw gereguleerd als Ca²⁺.

Patience and Chaplin (1997) onderzochten de invloed van de electrolytenbalans (dEB) in het voer op de mineralenstofwisseling in een balansproef bij varkens van 35-45 kg. Een verlaging van de dEB, berekend als Na⁺+K⁺-Cl⁻ van 163 tot -20 meq/kg door vervanging van CaCO₃ door CaCl₂ verlaagde de Ca-retentie zowel absoluut in g/d als relatief (retentie/opname) en verlaagde numeriek (niet significant) de P-retentie. Verhoging van de dEB met Na- en K-bicarbonaat tot 104 meq/kg verhoogde de calciumretentie maar had geen effect op de P-retentie. Mroz et al. (1996) onderzochten in een balansproef de invloed van de electrolytenbalans op de absorptie en retentie van calcium en fosfor. Door een gerichte grondstoffenkeuze verschilden de proefvoerders in dEB (Na⁺+K⁺-Cl⁻) door een verschil in kaliumgehalte. Bij de voeders met een hoge dEB (350 vs. 100) waren de Ca- en P-retentie numeriek respectievelijk 15 en 20% hoger. Door de grote spreiding waren deze effecten niet significant. Vervolgens werd CaCO₃ (krijt) uitgewisseld tegen de verzurende zouten Ca-sulfaat, -benzoaat of -chloride. Benzoëzuur werkt verzurend door de omzetting hiervan in hippuurzuur. Alle verzurende zouten verlaagden de pH van de urine, terwijl benzoaat en chloride tevens de P-retentie verlaagden met respectievelijk 20 en 30% ten opzichte van de voeders met Ca-carbonaat. De effecten op de Ca-retentie waren iets minder eenduidig maar volgden dezelfde trends. Er zijn geen langdurige proeven bekend waarin het effect van de dEB van het voer op de retentie van Ca en P in een slachtproef zijn bepaald.

De effecten van benzoëzuur op het mineralenmetabolisme zijn uitgebreid bestudeerd maar zijn niet erg eenduidig. Sauer et al. (2009) vonden een lineaire toename van de Ca- (58-67%) en P-vertering (46-54%) en -retentie bij opname van 10 en 20 g benzoëzuur in het voer. Er was geen toename in de relatieve retentie van de geabsorbeerde mineralen. De hogere retentie werd dus geheel verklaard door een hogere vertering of absorptie. Daarnaast vonden deze auteurs een geringe toename van 3% in het P-gehalte, maar niet in Ca-gehalte, in femur botas. De pH van bloed werd niet wezenlijk door benzoëzuur beïnvloed en varieerde tussen 7,5 en 7,65. Gutzwiller et al. (2011) vonden een invloed van het toevoegen van 5 of 10 g/kg benzoëzuur aan respectievelijk biggenvoer (<25 kg) en vleesvarkensvoer (>25 kg) op de voeropname, maar geen effect op de relatieve retentie (retentie/opname) van Ca en P. Nørgaard et al. (2010) vonden een kleine toename in de vertering en retentie van Ca en P bij vleesvarkens van 45 kg bij opname van 20 g benzoëzuur per kg voer.

Concluderend geeft een verzurend voer met een lage dEB een risico op een lagere botmineralisatie en P-retentie ten opzichte van een alkalisch voer met een hoge dEB. De effecten zijn echter alleen in enkele kortdurende studies gemeten en er is onvoldoende gekwantificeerd binnen welke grenzen eventuele effecten optreden. In het kader van deze studie kan alleen geconcludeerd worden dat de dEB een invloed zou kunnen hebben op de botmineralisatie wanneer brijrantsoenen een zeer lage (negatief) of zeer hoge (positief) dEB hebben.

4.7 Invloed van vetten en vetzuren

Vetzuren kunnen een invloed hebben op de botmineralisatie. In de literatuur zijn een groot aantal studies beschreven, met name bij ratten, naar de invloed van visolievetzuren (DHA, EPA), geconjugeerd linolzuur (CLA) en de verhouding tussen omega-3 (n-3) en omega-6 (n-6) meervoudig onverzadigde vetzuren (PUFA). Weiler et al. (2007) vonden bij ratten een toename in het mineralengehalte bepaald met röntgenstralen in bot en in het gehele dier wanneer 7% lijnolie in plaats van maisolie in het voer werd opgenomen. Li et al. (2010) vonden bij rattenpuppies een toename van de botdichtheid en het mineralengehalte bij verhoging van de n-3/n-6 verhouding in het voer door toevoeging van DHA. Kruger and Schollum (2005) vonden vergelijkbare effecten, en een hogere Ca-

absorptie en botcalciumgehalte bij uitwisseling van maisolie voor tonijnolie, waarbij dit effect meer door DHA (C22:6n-3) dan door EPA (C20:5n-3), beide visvetzuren, werd veroorzaakt.

Weiler et al. (2000) vonden bij zeer jonge biggen een toename van de mineralendichtheid in de botten door opname van arachidonzuur (AA) en DHA, respectievelijk 0,5 en 0,1% van het totaal aan vetzuren in het rantsoen. De calciumabsorptie werd niet beïnvloed. Mollard et al. (2005) vonden gunstige effecten van deze lage dosering AA plus DHA op botdichtheid en botmassa bij zeer jonge biggen (2-6 kg), maar deze leken weer af te nemen bij een hogere dosering. De effecten op botmassa en -dichtheid gingen samen met een numerieke verhoging van het totaal Ca- en P-gewicht in een femurbot, maar dit effect was niet significant (Mollard and Weiler, 2006). Weiler and Fitzpatrick-Wong (2002) vonden geen effect van het vetgehalte in het voer en de verhouding van n-6/n-3 (4,5 en 9) door gebruik van lijnolie op het botmineralengehalte gemeten met röntgenstralen bij zeer jonge biggen. Kruger et al. (2010) gaan in een review uitvoerig in op de mogelijke en zeer complexe mechanismen die aan de effecten van vetzuren op botontwikkeling ten grondslag kunnen liggen. In essentie dragen n-3 PUFA en met name DHA bij aan de ontwikkeling van osteoblasten (botopbouw) uit stamcellen en remmen deze vetzuren de ontwikkeling van osteoclasten (botaafbraak). Daarnaast vinden effecten plaats door de invloed van vetzuren op een groot aantal signaalstoffen zoals prostaglandines en cytokines, en enzymen.

Ing and Belury (2011) beschrijven in een review de mogelijke mechanismen waarlangs CLA het botmetabolisme beïnvloeden. Deze effecten zijn aangetoond bij kippen en muizen, maar niet bij ratten en niet eenduidig bij varkens. Thiel-Cooper et al. (2001) onderzochten de invloed van 0-1% CLA in het voer bij vleesvarkens en vonden een hoger uitgesneden botgewicht in de karbonade (1,72 vs 1,56 kg) bij varkens van 116 kg die 0,5-1% CLA in het voer hadden gehad. Het mineralengehalte werd echter niet bepaald. Mitchell et al. (2005) vonden geen significant effect van 0,8% CLA bij vleesvarkens tussen 60 en 110 kg op het botgewicht bij slachten. Ostrowska et al. (2003) vonden geen effect van 0-1% CLA in het voer op de asaanzet bij vleesvarkens tussen 60 en 110 kg. Er is dus geen overtuigend bewijs dat gebruik van CLA resulteert in een hogere botmineralisatie bij varkens.

Op basis van deze resultaten is het aannemelijk dat het totale vetgehalte in het voer geen grote rol speelt en dat er een beperkte invloed is van het vetzurenpatroon in het voer op het botmetabolisme, waarbij met name DHA uit visolie een positief effect kan hebben. Er is niet vastgesteld welke bijdrage dit kan leveren aan het Ca- en P-gehalte van de botten. In het algemeen hebben brijrantsoenen waarschijnlijk een lager vetgehalte dan droge voeders, maar dit heeft dus waarschijnlijk geen wezenlijke invloed op het botmetabolisme. Het gehalte aan DHA in het voer is afhankelijk van gerichte opname van visolie en niet specifiek voor brijvoer of droogvoer.

4.8 Invloed van prebiotica

Studies bij mensen en bij ratten met verschillende soorten prebiotica laten zien dat deze een positief effect hebben op de calciumabsorptie en in een beperkt aantal studies ook op botmineralisatie. Als mogelijke redenen worden genoemd: een lagere pH in het maagdarmkanaal resulterend in een betere Ca-oplosbaarheid en een verhoging van het passief transport over de darmwand, een direct effect van de vluchtige vetzuren (VFA) op de calciumabsorptie en een stimulerend effect van boterzuur of andere producten van bacteriële fermentatie die een gunstig effect hebben op de darmcellen en het absorptieoppervlakte vergroten (Cashman 2003, 2006).

Bij vleesvarkens zijn enkele studies gedaan naar de invloed van prebiotica op het mineralenmetabolisme. Rideout and Fan (2004) vonden een numerieke (niet-significante) toename van 3% in de verhouding retentie/opname van Ca en P bij vleesvarkens van 30 kg door opname van 5% inuline in plaats van maiszetmeel. Bij calcium werd dit effect veroorzaakt door een hogere absorptie, bij fosfor door een significant lagere excretie in de urine. Reilly et al. (2010) vergeleken de invloed van een voer met haver of met tarwe plus toegevoegde beta-glucanen op de Ca- en P-retentie bij vleesvarkens van circa 60 kg. De P-retentie was lager en de P-excretie in de urine hoger bij het voer met tarwe. Gezien de hogere excretie van P in de urine lijkt de verteerbaarheid van P bij het tarwevoer niet de beperkende factor, maar een lagere absorptie van calcium. Hoewel grondstofeffecten hier ook een rol kunnen spelen verklaren de auteurs het verschil uit de aanwezigheid van intacte beta-glucanen in

haver die de microbiële groei en VFA-productie in het maagdarmkanaal stimuleren. In deze studie werd dat bepaald en aangetoond in het colon, maar wellicht is dit ook reeds het geval in proximale delen van het maagdarmkanaal.

Er zijn dus ook bij varkens beperkte aanwijzingen dat prebiotica een gunstig effect kunnen hebben op de mineralenretentie door het stimuleren van de fermentatie in het maagdarmkanaal. Het is moeilijk inschatten of dit prebiotisch effect bij brijvoer een grotere rol speelt dan bij droogvoer. Zoals in hoofdstuk 2 en 3 beschreven vindt bij brijvoer al fermentatie plaats voordat het voer wordt opgenomen. Er is daardoor minder substraat beschikbaar in het maagdarmkanaal, maar doordat met brijvoer ook een groot aantal bacteriën wordt opgenomen vindt er wellicht in het maagdarmkanaal zelf ook nog veel fermentatie plaats. Daarnaast komt het gunstige effect van fermentatie in het maagdarmkanaal op pH, productie van VFA en dergelijke deels overeen met de fermentatie voordat het voer wordt opgegeten.

4.9 Invloed van alcohol

Een groot aantal epidemiologische studies bij mensen en modelstudies met ratten tonen aan dat chronisch matige tot zware alcoholconsumptie een negatief effect heeft op de botkwaliteit en bijdraagt aan osteoporose. Dit lijkt te worden veroorzaakt door een ontkoppeling van de normaal samenhangende botopbouw en –afbraak (bone remodelling) waarbij met name de botopbouw wordt geremd en de botafbraak doorgaat of zelfs wordt gestimuleerd (Maurel et al., 2012). In het kader van dit rapport is echter interessant dat de meeste studies erop duiden dat lichte alcoholconsumptie, tot een glas per dag, een gunstig effect heeft op de botmineralendichtheid. Maurel et al. (2012) en Jugdaohsingh et al. (2006) veronderstellen dat dit veroorzaakt zou kunnen worden door een remmend effect op de botafbraak. Maurel et al. (2011) verstrekten aan ratten van 8 tot 16 weken leeftijd circa een kwart van de energie in de vorm van alcohol en vonden een toename in de botdichtheid gemeten met X-ray aan het eind van de studie. Sampson et al. (1999) vonden een toename in asgewicht en dichtheid van de femur maar niet van de tibia bij jonge (4 weken) groeiende ratten die twee maal per week een matige alcoholdosering kregen. Yamamoto et al. (1997) vonden een hogere botdichtheid en –breeksterkte bij groeiende ratten die gedurende bijna zes maanden 5 dagen per week 2 uur toegang hadden tot een 5% ethanol oplossing. Resultaten van Fanti et al. (1997) bij ratten duiden erop dat de effecten van alcohol wellicht afhangen van de leeftijd en seksuele ontwikkeling.

Voor de invloed van brijvoer is het interessant dat lage tot matige alcoholinname kan resulteren in een hogere botmineralendichtheid. De meeste studies zijn bij volwassen ratten en mensen uitgevoerd, maar lijken ook aanwezig bij jonge, groeiende ratten. Het is onduidelijk of dit ook een effect heeft bij jonge groeiende varkens. Er zijn geen vergelijkbare studies naar de invloed van alcohol op de botontwikkeling bij varkens bekend. De vraag is dus of een vergelijkbaar effect bij varkens gevonden kan worden en of de alcoholconsumptie via brijvoer voldoende is om dit effect te realiseren.

4.10 Invloed van voerfrequentie

Brijvoer wordt meestal in enkele voerbeurten verstrekt aan een lange trog terwijl droogvoer meestal semi-onbeperkt aan een brijbak of droogvoerbak wordt verstrekt. Daarom hebben we ook de invloed van het voersysteem op botmineralisatie nagegaan.

Mroz et al. (1994) vergeleken in een balansproef met vleesvarkens van 45 kg voerfrequenties van 1, 2 en 7 voerbeurten per dag, waarbij werd aangenomen dat 7 maaltijden representatief is voor onbeperkt gevoerde varkens. De Ca-retentie nam numeriek toe met de voerfrequentie van 5,5 tot 6,2 g/d en de P-retentie van 3,7 tot 4,0. Bij calcium ging dit samen met een significant hogere verteerbaarheid bij een hogere voerfrequentie. Hoewel de effecten op retentie niet significant waren suggereren de data dat er enig effect kan zijn van voerfrequentie op de retentie van calcium en fosfor. Het is moeilijk deze resultaten te extrapoleren naar de vergelijking tussen brijvoer en droogvoer. Hiervoor is meer informatie nodig over het voeropnamepatroon van (semi)onbeperkt gevoerde varkens.

Pointillart and Guéguen (1993) bestudeerden het effect van het verstrekken van Ca (CaCO_3) en fosfor (NaH_2PO_4) in een compleet (droog) rantsoen, of 's morgen 3 uur voorafgaand aan de ochtendvoerbeurt. Het apart verstrekken van Ca resulteerde in een lagere Ca-absorptie en een hogere P-absorptie, maar een lagere P-retentie. Het tegelijk verstrekken van Ca en P voorafgaand aan de voerbeurt resulteerde eveneens in een lagere Ca-absorptie en -retentie en een hogere P-

vertering, maar niet in een lagere P-retentie. Botsterkte, -gewicht en -asgehalte waren het hoogst bij de controlebehandeling waarin Ca en P gemengd in het voer werden verstrekt. Als mogelijke redenen voor de lagere benutting bij apart verstrekken van de mineralen noemen de auteurs de productie van maagzuur en tragere maaglediging en passage na een complete maaltijd. Daarnaast is de pH in de dunne darm wellicht lager na een maaltijd, dan bij de separate opname van Ca en eventueel P, waardoor de oplosbaarheid van Ca in de dunne darm na een maaltijd beter is (Pointillart et al., 1995). Hoewel sommige van deze resultaten moeilijk verklaarbaar zijn is de algemene conclusie dat een ongelijktijdig aanbod van nutriënten in het maagdarmkanaal een negatief effect kan hebben op de retentie van Ca en P in het dier. Daarnaast was een bijkomende factor dat door het 's morgens separaat verstrekken van Ca en P, deze eenmaal per dag werden verstrekt, terwijl het complete voer tweemaal daags werd verstrekt. Op dit punt sluiten de resultaten aan bij het onderzoek van Mroz et al. (1994) die een klein gunstig effect vonden van een hogere voerfrequentie. In een tweede studie verstrekten Pointillart et al. (1985) Ca apart tussen de twee voerbeurten, 5 uur na de ochtendvoeding en vonden geen effect op de Ca- en P-vertering. De P-retentie en de botsterkte werden echter hierdoor wel negatief beïnvloed.

Voorgaande bevindingen worden ondersteund door onderzoek bij mensen en ratten waarin het verstrekken van een calciumsupplement tegelijk met een (lichte) maaltijd resulteerde in een aanzienlijke verbetering van de Ca-absorptie, ook als de Ca-bron reeds was opgelost in citrussap (Heaney et al., 1989).

4.11 Invloed van natte rantsoenen zonder bijproducten

Lyberg et al (2005) vergeleken het verstrekken van een droog rantsoen met ca. 750 FTU/kg ds met het verstrekken van eenzelfde rantsoen na voorweken bij omgevingstemperatuur gedurende 1 uur bij een water:voer verhouding van 3:1. Het voorweken resulteerde in een numerieke toename van de vertering van Ca en P met 3-5 procenteenheden. Er was een trend ($P < 0.1$) voor een toename in de P-retentie. De P-retentie als percentage van geabsorbeerd P werd niet beïnvloed door het voorweken. Dit betekent dat de hogere P-retentie geheel verklaard kon worden door de hogere verteerbaarheid na voorweken.

Näsi et al. (1995) bepaalden de invloed van gebruik van fytase en van het voorweken met wei gedurende drie uur in warme wei op de absorptie en retentie van fosfor bij vleesvarkens in een balansproef tussen 30 en 70 kg. Beide behandelingen resulteerden in een hogere absorptiecoëfficiënt van fosfor: voorweken +3% (procent-eenheden), fytase +9%. De invloed op de retentie van geabsorbeerd fosfor was voor voorweken 0% en voor fytase -7,5%. De invloed op de retentie van opgenomen fosfor was voor voorweken +2% (niet significant) en voor fytase +4%. De resultaten duiden erop dat zowel voorweken als toevoegen van microbieel fytase resulteerden in een kleine verhoging van de P-retentie. Deze verhoging werd geheel verklaard door een hogere absorptie (vertering) van fosfor. Fytase had het grootste effect op de absorptie, waardoor echter ook de uitscheiding van P in de urine aanmerkelijk werd verhoogd. De absolute P-retentie in gram/dag werd alleen significant verhoogd door fytase en numeriek (niet significant) door voorweken bij een laag calciumgehalte. De calciumretentie werd alleen verhoogd door toevoegen van fytase en dat met name bij de voeders met een laag P-gehalte. Dit duidt erop dat bij deze voeders het P-gehalte beperkend was voor botaanzet. Toevoegen van fytase verhoogde de P-absorptie en retentie en de Ca-retentie, wat duidt op extra botmineralisatie.

Larsen et al. (1999) bestudeerden het effect van gedurende 9 uur inweken van een voer gebaseerd op gerst, erwten en raapzaadschroot en van het calciumgehalte uit krijt op de mineralenbenutting in een balansproef met vleesvarkens van 40-50 kg. De verlaging van het calciumgehalte resulteerde in een hogere P-absorptie maar had geen effect op de P-retentie. Dat laatste zou een gevolg kunnen zijn van een beperkend calciumaanbod. Voorweken had in deze proef geen effect op de opname en retentie van fosfor.

De resultaten van dit kleine aantal studies naar de invloed van voorweken op P-retentie duidt erop dat de gevonden effecten geheel verklaard kunnen worden uit een effect op de verteerbaarheid en absorptie van de mineralen. Dit is reeds uitvoerig besproken in hoofdstuk 2 en 3.

4.12 Invloed van groeisnelheid

De groeisnelheid van vleesvarkens heeft invloed op de botmineralisatie. Een lagere groei zou kunnen resulteren in een hogere mineralisatie. In het onderzoek van Moinizadeh (1973), die dezelfde

hoeveelheid mineralen per dag verstrekke, resulteerde een hogere voergift en groeisnelheid in een duidelijke daling van het Ca- en P-gehalte per kg leeg gewicht (tabel 10). De gehalten in de drogestof en in de asfractie van het skelet en in het spierweefsel (lean tissue) bleven constant. Dit betekent dat de daling veroorzaakt werd door een lager asgehalte als gevolg van een lager aandeel skelet en een hogere vetmassa in het dier, en niet door een verandering van de mineralengehalten binnen de asfractie.

Tabel 10 Invloed van voerniveau op het mineralengehalte in het karkas (EBW) van vleesvarkens (Moinizadeh, 1973)

Voerniveau	2 x M	2,5 x M	3 x M	3,5 x M	4 x M
Groei, g/d	291	539	638	759	773
Ca, g/kg	11,5	9,9	9,3	8,6	8,5
P, g/kg	6,6	6,0	5,6	5,3	5,2

Jongbloed (1987) vond een beperkt effect van voergift en groeisnelheid op het calcium en fosforgehalte in het hele dier. Deze gehalten waren iets hoger bij een lage groeisnelheid. Een laag calciumgehalte en een laag fosforgehalte in het voer resulteerden beide in een laag fosforgehalte in het dier bij slachten. Bikker et al. (1995, 1996) vond een kromlijnige afname in het asgehalte in het karkas en het leeg lichaam bij een toename in voerniveau en groeisnelheid. Het asgehalte daalde bij een toename van de voergift van 1,7 tot 2,7 keer de energetische onderhoudsbehoefte maar bleef daarna constant terwijl de groei verder toenam bij een hogere voergift.

Hendriks and Moughan (1993) verstrekten aan zeugen en beren een semi-synthetisch voer met een calcium- en fosforgehalte dat voldeed aan de geldende adviezen. Het gemiddeld P-gehalte over het gehele gewichtstraject van 25-110 kg was 5,1 g/kg EBW. Bij 110 kg was het P-gehalte in het dier lager, gemiddeld 4,6 g/kg EBW. De dieren hadden een zeer hoge gemiddelde groeisnelheid van 1075 g/d, die kan hebben bijgedragen aan het relatief lage P-gehalte.

Concluderend kan een verhoging van de voergift en groeisnelheid resulteren in een lagere asaanzet en P-retentie per kg lichaamsgewicht. Dit effect is het grootst bij een lage voergift en waarschijnlijk relatief klein bij de variatie in groeisnelheid zoals in de praktijk voorkomt.

5 Discussie en conclusies

5.1 Inleiding

De aanleiding voor deze deskstudie is de veronderstelling op basis van eerdere aanwijzingen dat vleesvarkens op brijvoer meer fosfor in hun lichaam vastleggen dan vergelijkbare dieren op droogvoer. Hierdoor wordt de hoeveelheid fosfor in slachtvarkens onderschat en de fosfaatbenutting (retentie in het dier/opname via het voer) onderschat. We hebben hiervoor de vier studies die binnen Wageningen UR Livestock Research zijn uitgevoerd samengevat. Dit betreft een vergelijkende dierproef met droogvoer en brijvoer, analyse van metacarpusbotten van slachtvarkens en analyse van gehele dieren van praktijkbedrijven en toerekening van een geanalyseerd fosfaatgat. De resultaten duiden erop dat respectievelijk 15, 16, 7 en 12% meer fosfor werd vastgelegd in de dieren die brijvoer kregen. Hierbij kunnen we uiteraard enkele kanttekeningen plaatsen. In de studie van Van Krimpen et al. (2008) werd de vergelijking op slechts 2x6 varkens gebaseerd. Bij de studies met varkens uit de praktijk is alleen bekend dat de dieren droogvoer of brijvoer kregen en is weinig bekend over de rantsoensamenstelling en eventuele andere factoren. Ook is het niet zeker dat de toename aan fosfor in de metacarpus exact gelijk is aan die in het hele karkas. In de studie van Timmermans en Smolders (2004) kunnen ook andere factoren aan het fosfaatgat hebben bijgedragen. Niettemin is het opvallend dat de resultaten van deze studies allemaal in dezelfde richting wijzen, namelijk een 7-16% hoger P-gehalte in varkens die brijvoer kregen.

5.2 Invloed van verteerbaar fosfor en calcium op de fosforretentie

Om meer zekerheid te krijgen dat dit inderdaad een realistisch effect betreft hebben we in de literatuur nagegaan welke factoren een invloed kunnen hebben op de retentie van fosfor in het dier. De belangrijkste factor is zonder twijfel de opname van (verteerbaar) calcium en fosfor via het voer. We hebben een groot aantal studies aangehaald waarin de invloed van de opname van calcium en fosfor in het voer op de P-retentie in een balansproef, het fosfor- of asgehalte in een referentiebot of het P-gehalte in het karkas is bepaald. Veel van deze studies laten zien dat de P-retentie kromlijng toeneemt bij een toename van het calcium- en fosforgehalte in het voer. Het is uiteraard logisch dat bij een P-aanbod onder de behoefte de P-retentie toeneemt bij een verhoging van het P-gehalte in het voer. In sommige studies was dit echter ook het geval bij een berekend vP-gehalte boven de huidige norm, waarvan wordt verondersteld dat deze voldoende is voor bijna maximale botmineralisatie. Het is echter niet zeker dat in de eerder gebruikte studies voor de huidige normstelling daadwerkelijk de maximale botmineralisatie werd gerealiseerd. Daarbij moet bedacht worden dat de maximale botmineralisatie geleidelijk wordt bereikt; er is geen scherp knippunt waarboven een verhoging van het vP-gehalte geen enkel effect meer heeft. We concluderen dat ook bij een vP-gehalte rond de huidige behoeftenorm variatie in vP-gehalte een effect heeft op de P-retentie en het P-gehalte in het karkas. De genoemde kromlijngheid van de respons betekent dat dit effect groter is bij een laag P-gehalte en afneemt bij een hoog P-gehalte. De mogelijke verhoging van het P-gehalte in het karkas door het verstrekken van brijvoer wordt mede bepaald door de gangbare vP-gehalten in droogvoer. De vP-behoefte voor maximale groei is lager dan de behoefte voor maximale botmineralisatie. Bovendien wordt aangenomen dat voor (zwarte) vleesvarkens maximale botmineralisatie niet noodzakelijk is voor een optimale productie (Jongbloed et al., 2003). Wanneer bij de productie van mengvoer bewust vP-gehalten worden gehanteerd die lager zijn dan de berekende behoefte voor maximale botmineralisatie is de ruimte voor een verhoging hiervan op brijvoer uiteraard groter. In het voorgaande hebben we steeds gesproken over de invloed van het vP-gehalte op de maximale botmineralisatie. Dit moet genuanceerd worden. In feite gaat het meestal om het gezamenlijke effect van fosfor en calcium. In veel studies zijn deze gecorreleerd omdat deze in een vaste verhouding worden verhoogd en ook beide nodig zijn in de lichaamsaanzet. De calcium:fosfor verhouding in bot is circa 2,2 en in het hele karkas circa 1,6. Een te laag calciumaanbod resulteert in uitscheiding van fosfor in de urine, een te hoog calciumaanbod heeft een negatief effect op de vertering van fosfor, onder andere door de vorming van calcium-fosforcomplexen in het maagdarmkanaal, en resulteert in een hogere uitscheiding in de mest.

5.3 Invloed van brijvoer op vertering en absorptie van calcium en fosfor

De volgende vraag is of het verstrekken van brijvoer naar verwachting een gunstig effect heeft op de vertering en absorptie van fosfor. Dit lijkt ons op basis van de resultaten in hoofdstuk 2 en 3 wel

aannemelijk. Het verstrekken van brijvoer met bijproducten resulteert in een nat voer met een lage pH. In hoofdstuk 2 hebben we laten zien dat het verstrekken van een nat voer zonder aanwezigheid van fytase weinig effect heeft op de Ca- en P-voorziening. Ook het laten voorweken gedurende enkele uren heeft in deze situatie weinig effect doordat de fermentatie te traag verloopt tenzij dit bij een hogere temperatuur plaatsvindt. Het aanzuren van het voer heeft wel een gunstig effect op de calcium- en fosforvertering, gemiddeld circa 3%, ook bij afwezigheid van fytase. Dit wordt waarschijnlijk met name veroorzaakt door een betere oplosbaarheid van mineralen in een zuur milieu, minder kans op vorming van complexen (co-precipitatie) en gunstige condities voor de vertering. Deze studies zijn veelal uitgevoerd met maximaal enkele procenten toegevoegd organisch zuur. Gezien het hoge gehalte aan met name melkzuur in vochtige diervoeders is het aannemelijk dat dit effect wordt gerealiseerd. Daarnaast is de aanwezigheid van fytase, zoals nu het geval is in vrijwel alle varkensvoer, van groot belang. Dit betreft zowel toegevoegd microbieel fytase als intrinsiek fytase in graanproducten voor zover deze niet te intensief behandeld zijn bij de mengvoerproductie. Fytase is werkzaam in een vochtige omgeving bij een pH tussen circa 2 en 6. Bij droogvoer worden deze condities pas in de maag gerealiseerd en is de tijd waarin fytase actief is relatief kort en kan een deel van het fytinefosfor de maag passeren voordat dit door fytase is afgebroken (Kemme et al., 1998). Door de combinatie van zuur en fytase in de brij kan de afbraak van fytate meteen beginnen vanaf het moment dat de natte producten en het aanvullend mengvoer in de mengtank worden samengevoegd. Tevens draagt dit bij aan gunstige condities in het maagdarmkanaal voor de oplosbaarheid van mineralen, effectiviteit van fytase en voorkomen van de vorming van calciumfosforcomplexen na het vrijmaken van deze mineralen. De resultaten in hoofdstuk 2 laten zien dat met name de combinatie van zuur en fytase een grote bijdrage kan leveren aan de P-verteerbaarheid. Dit effect wordt groter naarmate de voorweektijd toeneemt (tabel 2 en 3). Het uiteindelijke effect wordt mede bepaald door de gehalten aan calcium en fosfor ten opzichte van de behoefte. Bij een overmatige voorziening neemt het voordeel uiteraard af.

5.4 Inrekenen van effecten van brijvoer op de fosforvoorziening

Het voorgaande roept uiteraard de vraag op of deze effecten niet verdisconteerd zijn of moeten worden in het gehalte en de verteerbaarheid van de vochtige diervoeders. Dit is in principe wel gewenst maar niet eenvoudig te realiseren. In de eerste plaats moet worden opgemerkt dat het totaal P-gehalte in bijproducten variabel is en vaak onvoldoende bekend. In het verleden werden bijproducten daarom relatief voorzichtig ingeschat om te voorkomen dat een overschatting zou resulteren in een te lage fosforvoorziening van het dier. Het is zeer gewenst dat de P-gehalten en de variatie hierin zowel in natte als droge producten goed worden ingeschat door procesbeheersing en regelmatige analyses. De laatste jaren worden al veel vaker analyses uitgevoerd en aan afnemers verstrekt. Deze ontwikkeling zal er aan bijdragen dat de totaal P-gehalten steeds beter worden ingeschat. De verteerbaarheid verdient extra aandacht. In hoofdstuk 3 hebben we gesignaleerd dat de P-verteerbaarheid van de vier belangrijkste producten op een zeer gering aantal, deels relatief oude proeven is gebaseerd waarbij de gegevens worden geëxtrapoleerd naar alle leveranciers van de betreffende producten met voorbijgaan aan verschillen in het productieproces en variatie hierin tussen leveranciers en productielocaties.

Echter, ook wanneer de zeer gewenste aanvullende verteringsstudies met vochtige diervoeders worden uitgevoerd is het hiervoor beschreven effect op de P-voorziening niet ondervangen. Het protocol voor verteringsproeven schrijft voor dat in het basisvoer geen fytase aanwezig mag zijn en dat de rantsoenen niet voorgeweekt mogen worden. Op deze wijze wordt een zo nauwkeurig mogelijke schatting verkregen van de verteerbaarheid van de (vochtige) testvoedermiddelen. Het effect van vochtige voedermiddelen door aanzuring van de brij wordt op deze manier waarschijnlijk grotendeels aan het natte product toegerekend maar het additionele effect van vochtige voeders door een hogere effectiviteit van fytase en de synergie tussen fytase en een zuur milieu wordt hierbij niet verdisconteerd. Het eventueel inrekenen van dit effect in een verteringsstudie en de matrixwaarde voor vP van een nat product is echter geen sinecure omdat dit effect afhangt van een groot aantal factoren zoals het gehalte en de bronnen van calcium en fosfor in het basisvoer, het gehalte aan intrinsiek en microbieel fytase, inweektijd, temperatuur, additiviteit van natte producten enz. We concluderen dat er dringende behoefte is aan een betere onderbouwing van het vP-gehalte van vochtige voedermiddelen, maar dat binnen de huidige werkwijze het additionele synergistische effect van zure brij en fytase hierin niet wordt verdisconteerd. Op dit punt is het verstrekken van brijvoer met bijproducten niet vergelijkbaar met het verstrekken van droog voer met een verhoogd vP-gehalte.

5.5 Overige invloedsfactoren in relatie tot brijvoer

Naast de effecten via de calcium- en fosforvoorziening hebben we nagegaan welke overige factoren een invloed kunnen hebben op de botmineralisatie en P-retentie bij varkens. In het nu volgende bespreken we in hoeverre deze bij het verstrekken van brijvoer een rol spelen.

De electrolytenbalans, berekend als dEB met of zonder zwavel ($\text{Na}^{++}\text{K}^{+}-\text{Cl}-\text{S}^{2-}$) of kation/anion balans, kan een invloed hebben op de botmineralisatie. Een voer met een lage dEB werkt verzurend in het metabolisme. De pH van het bloed wordt tussen zeer nauwe grenzen gereguleerd en botafbraak is één van de mechanismen om een verzurend effect te bufferen. De aangehaalde referenties laten zien dat een lage pH een direct effect heeft op de activiteit van osteoblasten en osteoclasten. Er zijn enkele kortdurende balansproeven met varkens uitgevoerd die erop duiden dat een lage dEB in het voer ($<100 \text{ meq/kg}$) de P-retentie kan verlagen ten opzichte van voer met een hoge dEB ($>300 \text{ meq/kg}$). Het is niet duidelijk of dit effect ook over een langere periode plaatsvindt, of dat dan andere mechanismen bij de buffering van zure of alkalische effecten de overhand krijgen. We concluderen op dit moment dat een hoge dEB mogelijk een gunstige bijdrage levert aan een hogere botmineralisatie ten opzichte van een lage dEB. Dit effect is niet specifiek voor natte of droge voeders. In hoofdstuk 3 hebben we wel laten zien dat een aantal belangrijke vochtige voeders een hoge dEB hebben door een relatief hoog Na- en K-gehalte en een relatief laag Cl-gehalte. Dit is in lijn met de conclusies van Van Krimpen et al. (2006). Een hoge dEB in natte rantsoenen zou dus kunnen bijdragen aan een hogere botmineralisatie.

Het vetzurenpatroon in het voer, specifiek het aandeel omega-3 vetzuren, met name DHA, kan een invloed uitoefenen op het botmetabolisme door een effect op de ontwikkeling van osteoblasten en osteoclasten en op de productie van signaalstoffen zoals prostaglandines en cytokines. De effecten zijn met name aangetoond bij ratten maar lijken ook bij biggen aanwezig. Vanuit de beschikbare literatuur is het niet mogelijk een eventueel effect op de P-retentie te bepalen. Het vetzurenpatroon in het voer en het eventuele gehalte aan DHA uit visolie wordt echter niet specifiek bepaald door het gebruik van vochtige diervoeders. Het effect van het vetzurenpatroon lijkt ons dan ook geen wezenlijke bijdrage te leveren aan eventuele verschillen tussen brijvoer en droogvoer.

De aanwezigheid van prebiotica in het voer kunnen een gunstig effect hebben op het mineralenmetabolisme door een hogere absorptie van calcium en/of fosfor vanuit het maagdarmkanaal. Dit effect wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de productie van vluchtige vetzuren die de pH in de darm verlagen (betere oplosbaarheid van mineralen) en als voedingsstof voor de darmcellen fungeren. Het is echter niet aannemelijk dat het gehalte aan prebiotische (fermenteerbare) nutriënten in brijvoer hoger is dan in droogvoer. Het is zelfs aannemelijk dat door fermentatie tijdens opslag het gehalte aan fermenteerbare nutriënten in vochtige voedermiddelen lager is. Hierbij zijn reeds fermentatieproducten, met name melkzuur, gevormd, die eveneens een gunstig effect hebben zoals eerder besproken. We verwachten dat het prebiotische effect in het maagdarmkanaal geen grotere rol speelt bij brijvoer ten opzichte van droogvoer.

Uit humane epidemiologische studies en modelstudies met ratten blijkt dat een matige alcoholinname een gunstig effect kan hebben op de botmineralisatie terwijl een overmatige inname juist risico geeft op botafbraak. De studies zijn echter met name uitgevoerd bij volwassen individuen en daardoor niet zonder meer te vertalen naar groeiende varkens. Daarnaast is het gehalte aan alcohol in de meeste vochtige voeders wellicht te gering om een wezenlijk effect te hebben op de het botmetabolisme. Op dit moment hebben we onvoldoende onderbouwing om te veronderstellen dat alcoholconsumptie van varkens op brijvoer wezenlijk bijdraagt aan een hogere botmineralisatie.

Omdat het verstrekken van brijvoer ook betekent dat een ander voersysteem wordt gebruikt hebben we nagegaan of voerfrequentie en voersysteem een invloed kunnen hebben op de botmineralisatie. Hierbij werd duidelijk dat een zeer lage voerfrequentie (eenmaal per dag) of ongelijktijdig verstrekken van mineralen een ongunstig effect heeft op de mineralenbenutting. Dit lijkt ons niet wezenlijk verschillend tussen het verstrekken van brijvoer in minimaal twee voerbeurten per dag of onbeperkt voeren van droogvoer. Alleen wanneer varkens aan een brijbak of droogvoerbak sterk beperkt gevoerd worden zou dit wellicht kunnen resulteren in de opname van één grote maaltijd. Dit zou meer studie vragen van het voeropnamepatroon.

Ten slotte is de invloed van groeisnelheid onderzocht. Uit verschillende referenties blijkt dat een hogere groeisnelheid kan resulteren in een lagere botmineralisatie. Dit kan enerzijds veroorzaakt zijn doordat een lagere groeisnelheid vaak samengaat met een hogere voederconversie waardoor meer Ca en P per kg groei beschikbaar zijn. Daarnaast is het denkbaar dat bij een hoge groeisnelheid de botmineralisatie de spieraanzet als het ware niet bij kan houden. Deze effecten zijn echter kromlijng. Dit betekent dat ze met name aanwezig zijn bij variatie in groeisnelheid bij een laag niveau en minder bij een hoog niveau. Bovendien zijn er geen wezenlijke verschillen in groeisnelheid tussen varkens op brijvoer en droogvoer. We concluderen dat groeisnelheid daarom geen wezenlijke bijdrage levert aan verschillen in P-retentie op brijvoer en droogvoer.

Conclusies en aanbevelingen

- Op basis van de beschikbare proeven met vochtrijke voeders achten we het aannemelijk dat het verstrekken van rantsoenen met natte bijproducten kan resulteren in een hogere botmineralisatie.
- Dit effect komt met name tot stand door een synergistisch effect van aanzuren, de aanwezigheid van fytase en voorweken op de beschikbaarheid van calcium en fosfor in het dier. Andere factoren zoals een hogere electrolytenbalans, de aanwezigheid van alcohol en het voersysteem spelen waarschijnlijk een ondergeschikte rol.
- De omvang van het effect hangt af van een aantal factoren, waarvan de berekende en gerealiseerde (verteerbaar) fosfor- en calciumgehalten in de vochtrijke voedermiddelen en het totale rantsoen, het fytasegehalte en het voersysteem waarschijnlijk de belangrijkste zijn.
- We adviseren nader onderzoek te doen gericht op het bepalen van het verteerbaar fosfor- en calciumgehalte in vochtrijke voeders en de beste manier om hierbij ook het synergistisch effect van deze producten, fytase en de rest van het rantsoen in rekening te brengen. Met deze kennis kunnen de varkens dichter bij hun behoefte gevoerd worden en is een verbetering van de benutting van fosfor uit het voer mogelijk.

Literatuur

- Arnett, T., 2003. Regulation of bone cell function by acid-base balance. *Proc. of the Nutr. Soc.* 62, 511-520.
- Arnett, T.R., 2010. Acidosis, hypoxia and bone. *Arch. of Biochemistry and Biophysics* 503, 103-109.
- Augspurger, N.R., Spencer, J.D., Webel, D.M., Wolter, B.F., Torrance, T.S., 2009. An *Escherichia coli*-derived phytase can fully replace inorganic phosphorus in maize-soybean meal diets for growing-finishing pigs. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 154, 254-259.
- Bikker, P., Karabinas, V., Verstegen, M.W., Campbell, R.G., 1995. Protein and lipid accretion in body components of growing gilts (20 to 45 kilograms) as affected by energy intake. *J. of Anim. Sci.* 73, 2355-2363.
- Bikker, P., Verstegen, M.W.A., Campbell, R.G., 1996. Performance and Body Composition of Finishing Gilts (45 to 85 Kilograms) as Affected by Energy Intake and Nutrition in Earlier Life: II. Protein and Lipid Accretion in Body Components. *J. of Anim. Sci.* 74, 817-826.
- Blaabjerg, K., Carlson, D., Hansen-Møller, J., Tauson, A.H., Poulsen, H.D., 2007. In vitro degradation of phytate and lower inositol phosphates in soaked diets and feedstuffs. *Livest. Sci.* 109, 240-243.
- Boyd, R.D., Hall, D., Wu, J.F., 1981. Plasma alkaline phosphatase as a criterion for determining biological availability of phosphorus for swine. In: *Proc. Cornell Nutr. Conf. For Feed Manufact.*, 58-63.
- Braña, D.V., Ellis, M., Castañeda, E.O., Sands, J.S., Baker, D.H., 2006. Effect of a novel phytase on growth performance, bone ash, and mineral digestibility in nursery and grower-finisher pigs. *J. of Anim. Sci.* 84, 1839-1849.
- Carlson, D., Poulsen, H.D., 2003. Phytate degradation in soaked and fermented liquid feed – effect of diet, time of soaking, heat treatment, phytase activity, pH and temperature. *Anim. Feed Sci. Technol.* 103, 141-154.
- Carter, S.D., Cromwell, G.L., Colombo, G., Fanti, P., 1999. Effects of Porcine Somatotropin on Calcium and Phosphorus Balance and Markers of Bone Metabolism in Finishing Pigs. *J. of Anim. Sci.* 77, 2163-2171.
- Cashman, K., 2003. Prebiotics and calcium bioavailability. *Current Issues in Intestinal Microb.* 4, 21-32.
- Cashman, K.D., 2006. A prebiotic substance persistently enhances intestinal calcium absorption and increases bone mineralization in young adolescents. *Nutr. Reviews* 64, 189-196.
- Columbus, D., Niven, S.J., Zhu, C.L., de Lange, C.F.M., 2010. Phosphorus utilization in starter pigs fed high-moisture corn-based liquid diets steeped with phytase. *J. of Anim. Sci.* 88, 3964-3976.
- CVB, 2010. CVB Veevoedertabel 2010. Chemische samenstelling en nutritionele waarde van voedermiddelen. Productschap Diervoeder, Den Haag.
- CVB, 2011. Chemische samenstellingen en nutritionele waarden van voedermiddelen. CVB Veevoedertabel 2011. CVB, Productschap Diervoeder, Den Haag.
- Ekpe, E.D., Zijlstra, R.T., Patience, J.F., 2002. Digestible phosphorus requirement of grower pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 82, 541-549.
- Esmaeilipour, O., Van Krimpen, M.M., Jongbloed, A.W., De Jonge, L.H., Bikker, P., 2012. Effects of temperature, pH, incubation time and pepsin concentration on the in vitro stability of intrinsic phytase of wheat, barley and rye. *Anim. Feed Sci. Technol.* (submitted).
- Fanti, P., Monier-Faugere, M.C., Geng, Z., Cohen, D., Malluche, H.H., 1997. Moderately high consumption of ethanol suppresses bone resorption in ovariectomized but not in sexually intact adult female rats. *Alcoholism: Clin. and Exp. Res.* 21, 1150-1154.
- Fernández, J., 1995. Calcium and phosphorus metabolism in growing pigs. I. Absorption and balance studies. *Livest. Prod. Sci.* 41, 233-241.
- Fourdin, A., Fontaine, N., Pointillart, A., 1986. Importance de l'activité phytasique des cereals pour l'utilisation des phytates par le porc: comparaison triticales et maïs. *Journ. Rech. Porc France* 18, 83-90.
- Guo, C-Y; Ward, W., Cairns, P., Atkinson, S. 2000. Comparative Response in Growth and Bone Status to Three Dexamethasone Treatment Regimens in Infant Piglets. *Pediatric Res.* 48:238-243.
- Gutzwiller, A., Hess, H.D., Adam, A., Guggisberg, D., Liesegang, A., Stoll, P., 2011. Effects of a reduced calcium, phosphorus and protein intake and of benzoic acid on calcium and phosphorus metabolism of growing pigs. *Anim. Feed Science and Technol.* 168, 113-121.
- Han, Y.M., Yang, F., Zhou, A.G., Miller, E.R., Ku, P.K., Hogberg, M.G., Lei, X.G., 1997. Supplemental Phytases of Microbial and Cereal Sources Improve Dietary Phytate Phosphorus Utilization by Pigs from Weaning Through Finishing. *J. of Anim. Sci.* 75, 1017-1025.

- Heaney, R.P., Smith, K.T., Recker, R.R., Hinders, S.M., 1989. Meal effects on calcium absorption. *Am. J. of Clin. Nutr.* 49, 372-376.
- Hendriks, W.H., Moughan, P.J., 1993. Whole-body mineral composition of entire male and female pigs depositing protein at maximal rates. *Livest. Prod. Sci.* 33, 161-170.
- Hill, B.E., Sutton, A.L., Richert, B.T., 2009. Effects of low-phytic acid corn, low-phytic acid soybean meal, and phytase on nutrient digestibility and excretion in growing pigs. *J. of Anim. Sci.* 87, 1518-1527.
- Htoo, J.K., Sauer, W.C., Yáñez, J.L., Cervantes, M., Zhang, Y., Helm, J.H., Zijlstra, R.T., 2007. Effect of low-phytate barley or phytase supplementation to a barley-soybean meal diet on phosphorus retention and excretion by grower pigs. *J. of Anim. Sci.* 85, 2941-2948.
- Ing, S.W., Belury, M.A., 2011. Impact of conjugated linoleic acid on bone physiology: Proposed mechanism involving inhibition of adipogenesis. *Nutr. Reviews* 69, 123-131.
- Jendza, J.A., Dilger, R.N., Sands, J.S., Adeola, O., 2006. Efficacy and equivalency of an *Escherichia coli*-derived phytase for replacing inorganic phosphorus in the diets of broiler chickens and young pigs. *J. of Anim. Sci.* 84, 3364-3374.
- Jongbloed, A.W. en Dekker, R.A. 2003. Onderzoek naar het effect van droge mengvoeders of rantsoenen met veel vochtrijke diervoeders op de mineralisatie van het skelet van vleesvarkens. ID Lelystad, rapportnr. 03/0000756.
- Jongbloed, A.W., 1987. Phosphorus in the feeding of pigs: Effect of diet on the absorption and retention of phosphorus by growing pigs. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen, Rapport IVVO-DLO no. 179.
- Jongbloed, A.W., 2012. Persoonlijke mededeling.
- Jongbloed, A.W., Kemme, P.A., Mroz, Z., Diepen, J.Th.M. van, 2000. Efficacy, use and application of microbial phytase in swine production. a review. In: *Biotechnology in the Feed Industry*, Proc. of Alltech's 16th Annual Symposium, T.P. Lyons and K. Jacques (Eds). Nottingham University Press, Nottingham, United Kingdom, p. 111-129.
- Jongbloed, A.W., Kemme, P.A., Van Diepen, J.Th.M., Kogut, J. 2002. De gehalten aan stikstof, fosfor en kalium in varkens vanaf geboorte tot ca. 120 kg lichaamsgewicht en van opfokzeugen. ID-Lelystad rapport no. 2222
- Jongbloed, A.W., Koomans, P., Valk, P.C. van der, Rozemond, P., 1978. Rapport van de studievergadering voer en drinkwatervoorziening van varkens. Rapport IVVO-DLO no. 126.
- Jongbloed, A.W., Van Diepen, Kemme, P.A. 2003. Fosfornormen voor varkens: herziening 2003. CVB-documentatierapport nr. 30. Centraal Veevoederbureau, Lelystad.
- Jugdaohsingh, R., O'Connell, M.A., Sripanyakorn, S., Powell, J.J., 2006. Moderate alcohol consumption and increased bone mineral density: Potential ethanol and non-ethanol mechanisms. *Proc. of the Nutr. Soc.* 65, 291-310.
- Kemme, P.A., Jongbloed, A.W., 1993. Het effect van *Aspergillus niger* fytase, voorweken en leeftijd op de verteerbaarheid van Weende analyse-komponenten, Ca en P bij in grondhokken gehuisveste mestvarkens. Rapport IVVO-DLO no. 245.
- Kemme, P.A., Jongbloed, A.W., Mroz, Z., Beijnen, A.C., 1998. Diurnal variation in degradation of phytic acid by plant phytase in the pig stomach. *Livest. Prod. Sci.* 54:33-44.
- Kemme, P.A., Jongbloed, A.W., 2003. Inventarisatie van effecten van organische zuren en voorweken al dan niet met fytase op de fosfor- en calcium-verteerbaarheid bij varkens. Rapport N&F 03/0028550.
- Kemme, P.A., Jongbloed, A.W., Mroz, Z., Bruggencate, R. ten, 1995. Effect van het gehalte aan Ca en microbieel fytase in twee voeders op de Ca-, Mg- en P-benutting en op de beschikbaarheid van Zn en Cu bij groeiende varkens. Rapport ID-DLO (vestiging Runderweg) no. 288, 42 pp.
- Ketaren, P.P., Batterham, E.S., White, E., Farrell, D.J., Milthorpe, B.K., 1993. Phosphorus studies in pigs. 1. Available phosphorus requirements of grower/finisher pigs. *Br. J. of Nutr.* 70, 249-268.
- Krimpen, M.M. van, Kuijken, N., Binnendijk, G.P. 2008a Effect van elektrolyten/balans in brijvoer en droogvoer op de vleeskwiteit van vleesvarkens. Wageningen UR Animal Sciences Group, vertrouwelijk rapport 120.
- Krimpen, M.M. van, Kuijken, N., Binnendijk, G.P. 2008b. Stikstof- en fosfaatvastlegging in vleesvarkens die brijvoer of droogvoer krijgen. Wageningen UR Animal Sciences Group, vertrouwelijk rapport 121.
- Krimpen, M.M. van, Rommers, J.J., Binnendijk, G.P., Gerris C. 2006. Effect van bijproducten op de slacht- en vleeskwiteit van vleesvarkens. Wageningen UR Animal Sciences Group, PraktijkRapport 52.
- Kruger, M.C., Coetzee, M., Haag, M., Weiler, H., 2010. Long-chain polyunsaturated fatty acids: Selected mechanisms of action on bone. *Progress in Lipid Research* 49, 438-449.

- Kruger, M.C., Schollum, L.M., 2005. Is docosahexaenoic acid more effective than eicosapentaenoic acid for increasing calcium bioavailability? *Prostaglandins Leukotrienes Essent. Fatty Acids* 73, 327-334.
- Larsen, T., Skoglund, E., Sandberg, A.-S., Engberg, R.M., 1999. Soaking and pelleting of pig diets alters the apparent absorption and retention of minerals. *Can. J. Anim. Sci.* 79, 477-483.
- Larsen, T., Skoglund, E., Sandberg, A.S., Engberg, R.M., 1999. Soaking and pelleting of pig diets alters the apparent absorption and retention of minerals. *Can. J. Anim. Sci.* 79, 477-483.
- Li, Y., Seifert, M.F., Lim, S.Y., Salem Jr, N., Watkins, B.A., 2010. Bone mineral content is positively correlated to n-3 fatty acids in the femur of growing rats. *Br. J. of Nutr.* 104, 674-685.
- Liu, J., Bollinger, D.W., Ledoux, D.R., Eilersieck, M.R., Veum, T.L., 1997. Soaking increases the efficacy of supplemental microbial phytase in a low-phosphorus corn-soybean meal diet for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 75, 1292-1298.
- Liu, J., Bollinger, D.W., Ledoux, D.R., Veum, T.L., 1998. Lowering the Dietary Calcium to Total Phosphorus Ratio Increases Phosphorus Utilization in Low-Phosphorus Corn-Soybean Meal Diets Supplemented with Microbial Phytase for Growing-Finishing Pigs. *J. of Anim. Sci.* 76, 808-813.
- Lyberg, K., Lundh, T., Pedersen, C., Lindberg, J.E., 2006. Influence of soaking, fermentation and phytase supplementation on nutrient digestibility in pigs offered a grower diet based on wheat and barley. *Anim. Sci.* 82, 853-858.
- Lyberg, K., Simonsson, A., Lindberg, J.E., 2005. Influence of phosphorus level and soaking of food on phosphorus availability and performance in growing-finishing pigs. *Anim. Sci.* 81, 375-381.
- Lyberg, K., Simonsson, A., Lindberg, J.E., 2005. Influence of phosphorus level and soaking of food on phosphorus availability and performance in growing-finishing pigs. *Anim. Sci.* 81, 375-381.
- Maurel, D.B., Boisseau, N., Benhamou, C.L., Jaffre, C., 2012. Alcohol and bone: Review of dose effects and mechanisms. *Osteoporosis Int.* 23, 1-16.
- Maurel, D.B., Boisseau, N., Ingrand, I., Dolleans, E., Benhamou, C.L., Jaffre, C., 2011. Combined effects of chronic alcohol consumption and physical activity on bone health: Study in a rat model. *Eur. J. of Applied Phys.* 111, 2931-2940.
- Miller, E.R., Ullrey, D.E., Zutaut, C.L., Baltzer, B.V., Schmidt, D.A., Hoefer, J.A., Luecke, R.W., 1964a. Phosphorus requirement of the baby pig. *J. of Nutr.* 82, 34-40.
- Miller, E.R., Ullrey, D.E., Zutaut, C.L., Hoefer, J.A., Luecke, R.W., 1964b. Mineral balance studies with the baby pig: effects of dietary. *J. of nutr.* 82, 111-114.
- Mitchell, A.D., Pursel, V.G., Elsasser, T.H., McMurtry, J.P., Bee, G., 2005. Effects of dietary conjugated linoleic acid on growth and body composition of control and IGF-I transgenic pigs. *Anim. Res.* 54, 395-411.
- Moinizadeh, H.M. 1973. Einfluss unterschiedlicher Energieversorgung auf Mineralstoffansatz und Mineralstoffverteilung im Körper Wachsender Nutztiere. Dissertation Landwirtschaftlichen Fakultät der Georg-August-Universität zu Göttingen.
- Mollard, R.C., Kovacs, H.R., Fitzpatrick-Wong, S.C., Weiler, H.A., 2005. Low levels of dietary arachidonic and docosahexaenoic acids improve bone mass in neonatal piglets, but higher levels provide no benefit. *J. of Nutr.* 135, 505-512.
- Mroz, Z., Jongbloed, A.W., Kemme, P.A., 1994. Apparent digestibility and retention of dietary nutrients bound to phytate complexes as influenced by microbial phytase and feeding regimen in pigs. *J. Anim. Sci.*, 72, 126-132.
- Mroz, Z., Jongbloed, A.W., Vreman, K., Canh, T.T., Diepen, J.Th.M., Kemme, P.A., Kogut, J., Aarnink, A.J.A., 1996. The effect of different dietary cation-anion supplies on excreta composition and nutrient balance in growing pigs. Rapport ID-DLO no. 96.028
- Mudd, A.J., Smith, W.C., Armstrong, D. 1969. Influence of dietary concentration of calcium and phosphorus on their retention in body of growing pig. *J. Agric. Sci.* 73, 189.
- Murry, A.C., Lewis, R.D., Amos, H.E., 1997. The Effect of Microbial Phytase in a Pearl Millet-Soybean Meal Diet on Apparent Digestibility and Retention of Nutrients, Serum Mineral Concentration, and Bone Mineral Density of Nursery Pigs. *J. of Anim. Sci.* 75, 1284-1291.
- Näsi, J.M., Helander, E.H., Partanen, K.H., 1995. Availability for growing pigs of minerals and protein of a high phytate barley-rape seed meal diet treated with *Aspergillus niger* phytase or soaked with whey. *Anim. Feed Science and Technol.* 56, 83-98.
- Niven, S.J., Zhu, C., Columbus, D., Pluske, J.R., De Lange, C.F.M., 2007. Impact of controlled fermentation and steeping of high moisture corn on its nutritional value for pigs. *Livest. Sci.* 109, 166-169.
- Nørgaard, J.V., Fernández, J.A., Sørensen, K.U., Wamberg, S., Poulsen, H.D., Kristensen, N.B., 2010. Effect of benzoic acid supplementation on acid-base status and mineral metabolism in catheterized growing pigs. *Livest. Sci.* 134, 116-118.

- OPNV, 2012. www.opnv.nl.
- Patience, J.F., Chaplin, R.K., 1997. The Relationship among Dietary Undetermined Anion, Acid-Base Balance, and Nutrient Metabolism in Swine. *J. of Anim. sci.* 75, 2445-2452.
- Pedersen, C., Stein, H.H., 2010. Effects of liquid and fermented liquid feeding on energy, dry matter, protein and phosphorus digestibility by growing pigs. *Livest. Sci.* 134, 59-61.
- Peter, C.M., Parr, T.M., Parr, E.N., Webel, D.M., Baker, D.H., 2001. The effects of phytase on growth performance, carcass characteristics, and bone mineralization of late-finishing pigs fed maize-soyabean meal diets containing no supplemental phosphorus, zinc, copper and manganese. *Anim. Feed Science and Technol.* 94, 199-205.
- Pointillart, A., Colin, C., Lacroix, H.C., Guéguen, L., 1995. Mineral bioavailability and bone mineral contents in pigs given calcium carbonate postprandially. *Bone* 17, 357-362.
- Pointillart, A., Fontaine, N., Thomasset, M., Jay, M.E., 1985. Phosphorus utilization, intestinal phosphatases and hormonal control of calcium metabolism in pigs fed phytic phosphorus: Soyabean or rapeseed diets. *Nutr. Rep. Int.* 32, 155-167.
- Pointillart, A., Gueguen, L., 1993. Meal-feeding and phosphorus ingestion influence calcium bioavailability evaluated by calcium balance and bone breaking strength in pigs. *Bone and Mineral* 21, 75-81.
- Reilly, P., Sweeney, T., Smith, A.G., Pierce, K.M., Gahan, D.A., Callan, J.J., O'Doherty, J.V., 2010. The effects of cereal-derived β -glucans and enzyme supplementation on intestinal microbiota, nutrient digestibility and mineral metabolism in pigs. *Livestock Science* 133, 144-147.
- Rideout, T.C., Fan, M.Z., 2004. Nutrient utilisation in response to dietary supplementation of chicory inulin in growing pigs. *J. of the Sci. of Food and Agric.* 84, 1005-1012.
- Ross, R.D., Cromwell, G.L., Stahly, T.S., 1983. Biological availability of the phosphorus in high moisture and pelleted corn. *J. Anim. Sci.* 57, suppl. 1, 96 (abstract).
- Sampson, H.W., Gallager, S., Lange, J., Chondra, W., Hogan, H.A., 1999. Binge drinking and bone metabolism in a young actively growing rat model. *Alcoholism: Clin. and Exp. Res.* 23, 1228-1231.
- Sands, J.S., Ragland, D., Baxter, C., Joern, B.C., Sauber, T.E., Adeola, O., 2001. Phosphorus bioavailability, growth performance, and nutrient balance in pigs fed high available phosphorus corn and phytase. *J. of Anim. Sci.* 79, 2134-2142.
- Sauer, W., Cervantes, M., Yanez, J., Araiza, B., Murdoch, G., Morales, A., Zijlstra, R.T., 2009. Effect of dietary inclusion of benzoic acid on mineral balance in growing pigs. *Livest. Sci.* 122, 162-168.
- Scholten, R.H.J., Rijnen, M.M.J.A., 1998. Het gebruik van vochtrijke bijproducten. Een literatuuronderzoek. Proefverslag nummer P 1.210, Praktijkonderzoek Varkenshouderij.
- Scholten, R.H.J., Van der Peet-Schwering, C.M.C., Verstegen, M.W.A., Den Hartog, L.A., Schrama, J.W., Vesseur, P.C., 1999. Fermented co-products and fermented compound diets for pigs: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 82, 1-19.
- Shaw, D.T., Rozeboom, D.W., Hill, G.M., Orth, M.W., Rosenstein, D.S., Link, J.E., 2006. Impact of supplement withdrawal and wheat middling inclusion on bone metabolism, bone strength, and the incidence of bone fractures occurring at slaughter in pigs. *J. of Anim. Sci.* 84, 1138-1146.
- Simons, P.C.M., Beudeker, R.F., Bos, K.D., Jongbloed, A.W., Kemme, P.A., Slump, P., Verschoor, G.J., Versteegh, H., Wolters, M.G.E., 1990. Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. *Brit. J. Nutr.* 64:525-540.
- Skoglund, E., Larsen, T., Sandberg, A-S., 1977. Comparison between steeping and pelleting a mixed diet at different calcium levels on phytate degradation in pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 77, 471-477.
- Thiel-Cooper, R.L., Parrish Jr, F.C., Sparks, J.C., Wiegand, B.R., Ewan, R.C., 2001. Conjugated linoleic acid changes swine performance and carcass composition. *J. of Anim. Sci.* 79, 1821-1828.
- Timmerman, M. en Smolders, M.A.H.H. 2004 Mineralbalansen bij vleesvarkens op droog- en brijvoer. Wageningen UR Animal Sciences Group, PraktijkRapport 52.
- Weiler, H.A. 2000. Dietary Supplementation of Arachidonic Acid Is Associated with Higher Whole Body Weight and Bone Mineral Density in Growing Pigs. *Pediatric Research.* 47:692-697.
- Weiler, H.A., 2000. Dietary supplementation of arachidonic acid is associated with higher whole body weight and bone mineral density in growing pigs. *Pediatric Research* 47, 692-697.
- Weiler, H.A., Fitzpatrick-Wong, S.C., 2002. Modulation of essential (n-6):(n-3) fatty acid ratios alters fatty acid status but not bone mass in piglets. *J. of Nutr.* 132, 2667-2672.
- Weiler, H.A., Kovacs, H., Nitschmann, E., Bankovic-Calic, N., Aukema, H., Ogborn, M., 2007. Feeding flaxseed oil but not secoisolariciresinol diglucoside results in higher bone mass in healthy rats and rats with kidney disease. *Prostaglandins Leukotrienes Essent. Fatty Acids* 76, 269-275.
- Yamamoto, A., Sekino, A., Tajima, M., Nguyen, V.C., Ezawa, I., 1997. Effect of long-term alcohol administration on bone metabolism in rats. *J. of Nutr. Sci. and Vitaminology* 43, 369-375.

Bijlagen

Bijlage 1 Opdracht van PDV

P/Min-11-06

Opdracht: Relatie tussen type rantsoen (droog versus nat) met verteerbaarheid fosfor en P-retentie in varkens

Aanleiding:

In het Akkoord Voerspoor (december 2010) van LTO Nederland en Nevedi is opgenomen dat voor alle dierlijke sectoren kengetallen gebaseerd op P-benutting worden ontwikkeld en vervolgens geïntroduceerd met als doel de fosfaatproductie in mest te verlagen. Het kengetal P-benutting brengt tot uitdrukking de afvoer van P via dierlijke producten versus de totale aanvoer van P via diervoeders.

P-benutting

De keuze voor de methode 'P-benutting' is gebaseerd op o.a.:

- Voor alle bedrijven in een (deel)sector wordt de afvoer (dierlijke producten) en aanvoer (diervoeders) evenwichtig meegenomen in de berekening van een kengetal op basis van P-benutting. Ten opzichte van het kengetal bruto P-gehalte in diervoeders wordt voorkomen dat bijv. hoog productieve bedrijven met goed ondernemerschap worden 'bestraft';
- Toepassing in de praktijk is mogelijk voor zowel bedrijven met volledige voeders als bedrijven met rantsoenen bestaande uit droge en/of vochtrijke grondstoffen, ruwvoer met aanvullende voeders. Ten opzichte van het kengetal bruto P-gehalte wordt voorkomen dat alleen beperkingen worden opgelegd aan bedrijven met volledige voeders; bijv. in de varkenshouderij;
- De veehouder en zijn adviseur (leverancier diervoeders) kunnen een veelvoud aan mogelijkheden in beschouwing nemen voor het realiseren van het verhogen van de P-benutting op het bedrijf;
- Het streven naar het verhogen van de P-benutting past in het gezamenlijke streven naar het verduurzamen van voedselketens.

In de varkenshouderij ontbreekt het vandaag aan economische of wettelijke (Meststoffenwet) prikkels voor het sturen op P-benutting op bijna alle bedrijven in de varkenshouderij. LTO Varkens en Nevedi hebben daarom een verzoek ingediend bij het Productschap Diervoeders tot het instellen van een algemeen verplichtende verordening met als doel: 1) Het voorkomen van een overschrijding van het in 4^{de} Actieprogramma opgenomen mestplafond voor fosfaat in 2011 en daarna en 2) Het structureel verlagen van het fosfaatoverschot in de varkenshouderij en daarmee het verminderen van de prijsdruk in de mestmarkt. Daarnaast komt een algemene verplichtende verordening tegemoet aan het rechtvaardigheidsgevoel onder de varkenshouders, omdat hiermee alle varkenshouders worden verplicht een bijdrage te leveren aan het verlagen van de fosfaatproductie. Naar verwachting van LTO Varkens en Nevedi werkt dit stimulerend voor het vrijwillige traject.

Bezwaren

Vanuit de Overleggroep Producenten Natte Veevoeders (OPNV) zijn bezwaren geuit tegen het instellen van een verordening 'minimum P-benutting' voor de varkenshouderij. Twee van deze bezwaren richten zich op de methode 'P-benutting' van het Akkoord Voerspoor.

Ten eerste stelt de OPNV dat de bruto P-waarden in grondstoffen niet onderbouwd zijn met data, waarbij onzuiverheden op kunnen treden van 10%. Eerder dit jaar hebben Nevedi en LTO Nederland het belang van een juiste vaststelling van de bruto P-waarden in grondstoffen al geadresseerd bij het PDV. In vervolg hierop heeft het PDV een opdracht verstrekt aan het Centraal Veevoederbureau (CVB) tot het actualiseren van de

P/Min-11-06

CVB-tabel van voedermiddelen. In dit project wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van betrouwbare analysegegevens van voedermiddelen in de praktijk.

Ten tweede stelt de OPNV dat de P-retentie in varkens afhankelijk is van het type rantsoen (droog versus nat), waarbij afwijkingen zijn genoemd tot 18%. Tot nu toe wordt in de berekeningen van de fosfaatproductie uitgevoerd door de Werkgroep Uniformering berekeningswijze Mest- en mineralencijfers (WUM) géén onderscheid gemaakt tussen de forfaitaire P-retentie in varkens gebaseerd op type rantsoen. Aanpassingen in de berekeningswijze zijn mogelijk onder de voorwaarde dat een wetenschappelijke onderbouwing voorhanden is.

Een afwijking in P-retentie als gevolg van het type rantsoen kan in theorie op twee redeneringen zijn gebaseerd. Allereerst is het mogelijk dat de verteerbaarheid van fosfor in een nat rantsoen beter is dan in een vergelijkbaar droog rantsoen. Een tweede mogelijkheid is dat de vastlegging van de verteerbare fosfor in het dier positief wordt beïnvloed door een nat rantsoen. De eerste redenering – betere verteerbaarheid – geeft geen aanleiding tot aanpassing van de forfaitaire waarden in de berekeningswijze van WUM. Hiermee zou namelijk in de rantsoenoptimalisatie rekening moeten worden gehouden. De tweede redenering – positieve invloed op vastlegging fosfor in het dier – zou daar wel aanleiding toe kunnen geven. Hierbij dient wel rekenschap te worden gegeven van het kwantitatieve verschil en de mogelijkheden van het definiëren van type rantsoenen in de praktijk.

Vragen voor literatuuronderzoek:

In het literatuuronderzoek dienen alle studies in beschouwing genomen te worden die zijn uitgevoerd betreffende de relatie tussen het type rantsoen (droog versus nat) met respectievelijk de verteerbaarheid van fosfor én de retentie van fosfor in het dier.

Op basis van het literatuuronderzoek dient een antwoord te worden gegeven op de volgende twee vragen betreffende het type rantsoen (droog versus nat):

- 1) Welke bruikbare informatie hebben deze studies opgeleverd met betrekking tot het maken van een onderscheid in de optimalisatie van het verteerbaar fosfor-gehalte in rantsoenen voor varkens?
- 2) Welke bruikbare informatie hebben deze studies opgeleverd met betrekking tot het maken van een onderscheid tussen de forfaitaire waarden van P-retentie in het varken?

De genoemde vragen moeten evenzeer worden beantwoord voor de genoemde rantsoentypen met toegevoegd microbieel fytase. Hiermee wordt zoveel mogelijk aangesloten aan de huidige standaard.

Bijlage 2 Afzet van vochtrijke voedermiddelen in Nederland in 2009 en 2010.

Product	2009	2010	2010	Aandeel	Varkens
	Afzet, ton product	Afzet, ton product	DS, %	%	ton DS
Graanverwerkende industrie	1.570.000	1.780.000			
Tarwezetmeel	780.000	975.000	19,2	100	187.200
Bierbostel	560.000	560.000	23,0	5	6.440
Verse maisgluten / maisweekwater	140.000	140.000	41,6	10	5.824
Biergist en voerbier	90.000	105.000	12,6	100	13.230
Aardappelverwerkende industrie	1.460.000	1.470.000			
Aardappelpersvezel e.a.	435.000	400.000	16,5	0	0
Aardappelstoomschillen	670.000	690.000	13,0	90	80.730
Aardappelsnippers	145.000	165.000	20,5	0	0
Voorgebakken frites	60.000	75.000	33,4	100	25.050
Aardappelzetmeel	60.000	45.000	20,1	80	7.236
Div. aardappelproducten	90.000	95.000	22,8	50	10.830
Suikerindustrie	494.000	655.000			
Bietenperspulp	466.000	617.000	25,1	0	0
Chichorei perspulp	28.000	38.000	23,3	0	0
Wei/melkproducten	725.000	750.000	7,2	100	54.000
Fermentatie en gist industrie	547.000	825.000			
Tarwegistconcentraat	515.000	800.000	26,5	60	127.200
Overige producten	32.000	25.000	23,0	25	1.438
Diversen	274.000	270.000			
Plantvetten	10.000	4.000	39,0	100	1.560
Graanenergieproducten	50.000	50.000	30,1	100	15.050
Soyaproducten	29.000	28.000	8,7	100	2.436
Producten van groente, fruit en sap bereiding / verwerking	135.000	140.000	17,2	40	9.632
Dranken en suikerwaters	31.000	32.000	2,9	100	928
Overigen	19.000	16.000	9,0	100	1.440
Eindtotaal	5.070.000	5.750.000	19,2		

Bron: OPNV (2012).

Bijlage 3 Nutriëntgehalten (g/kg ds) van een aantal belangrijke vochtrijke diervoeders

Product	DS, g/kg	As	RE	RVET	RC	Zetm tot.	Suiker	NSP	Ca	P	Na	K	Cl	SO4	dEB	dEBS ¹
Aardappelstoomschillen																
Beuker, zetmeel 450	140	84	140	15	78	440	33	288	1,2	2,4	1,2	28	4,6	3,3	639	570
Noliko, Hedimix	140	50	125	20	40	600	5	200	1,0	2,5	0,5	25,0	3,5	-	562	-
Duynie-SUVA Aviko Steenderen	110	75	160	15	70	350	40	234	2,5	2,6	1,0	34,5	5,0	-	785	-
Duynie-SUVA Aviko Cuijk	120	80	135	8	35	520	15	143	1,0	4,2	1,5	31,5	3,0	-	786	-
Duynie. Aardappelvoerzetmeel	130	60	190	40	55	450	10	204	4,7	4,6	1,8	10,5	1,8	-	296	-
Biergist																
Bonda	100	60	450	27	25	200	30	233	2,5	12,6	1,0	18,2	3,2	3,0	419	356
Duynie	140	65	485	30	5	50	20	351	3,4	12,2	0,5	20,0	1,5	-	491	-
Kaaswei, Bonda	40	105	190	60	0	0	450	190	13,0	8,7	7,9	27,2	23,5	7,0	376	231
Tarwegistconcentraat																
Beuker	280	50	240	65	20	55	90	500	2	5,9	2,5	12,8	4,5	3,9	309	228
ODN, Duynie	250	90	285	75	25	45	130	296	1,8	8,4	12,0	23,5	8,0	16,5	897	554
Sastapro, Duynie	250	85	270	75	35	45	130	286	2,0	8,2	16,0	15,5	8,0	17,5	867	503
Bergapro, Duynie	250	95	300	80	10	40	125	267	1,5	8,6	8,0	31,0	8,0	15,0	915	603
Corami BE, Hedimix	280	50	270	60	20	110	125	385	2,5	8,2	6,0	11,4	5,5	-	397	-
Tarwe-Ferm Aalst, Beuker	306	110	295	63	33	7	160	365	2	12,5	17,2	16,9	7,4	41,5	972	109
Tarwezetmeel																
Corami, Beuker	290	48	210	35	33	325	210	172	1,7	4,5	5	12	5	0,9	383	365
Hedistärke, Hedimix	320	35	130	35	35	440	240	120	1,0	4,1	7,2	6,5	7,5	-	268	-
Zeitz, Beuker	110	40	155	30	20	600	30	145	3	4,5	5	9	4,5	<4	321	238
SVG, Hedimix	190	32	110	23	25	500	85	250	1,0	3,5	4,0	7,0	2,5	-	282	-
Amidyn, Hedimix	190	35	190	43	38	305	190	237	2,1	3,4	5,7	7,7	3,5	-	346	-
Hamino Special, Duynie	200	30	135	30	5	460	150	132	1,0	4,0	2,5	9,0	3,5	-	240	-
Tarwezetmeel, Bondatar	260	17	90	34	44	570	110	179	1,0	2,4	1,8	7,0	1,5	0,3	215	209

Bron: OPNV (2012) en individuele bedrijven

¹ dEB in meq/kg ds. Voor het berekenen van de dEBS is alleen gerekend met het sulfaatgehalte

Bijlage 3 vervolg. Vluchtige bestanddelen (g/kg ds), pH en voederwaarde van een aantal belangrijke vochtrijke diervoeders

Product	DS, g/kg	EW	Melkzuur	Azijnzuur	Alcohol	pH	VC-P, %	vP
Aardappelstoomschillen								
Beuker, zetmeel 450	140	1,2	123	-	4	3,5-4,0	35	0,84
Noliko, Hedimix	140	1,33	80	10	-	3,5-4,3	36	0,9
Duynie-SUVA Aviko Steenderen	110	1,20	125	25	10	<4,5	35	0,9
Duynie-SUVA Aviko Cuijk	120	1,24	100	15	5	<4,5	36	1,5
Duynie. Aardappelvoerzetmeel	130	1,28	45	10	2	<4,5	50	2,3
Biergist								
Bonda	100	2,25	-	-	-	-	50	6,3
Duynie	140	1,72	-	-	270	4,0-6,0	50	6,1
Kaaswei, Bonda	40	1,35	79	5	15	3,4-4,3	80	7,0
Tarwegistconcentraat								
Beuker	280	1,24	70	-	-	3,5-4,0	86	5,1
ODN, Duynie	250	1,18	60	5	-	3,5-4,5	86	7,2
Sastapro, Duynie	250	1,19	55	5	-	3,5-4,0	85	7,0
Bergapro, Duynie	250	1,17	70	5	-	3,5-4,5	86	7,4
Corami BE, Hedimix	280	1,35	65	-	-	4,0-4,5	80	6,6
Tarwe-Ferm Aalst, Beuker	306	1,12	23	3	-	3,3-3,7	87	10,9
Tarwezetmeel								
Corami, Beuker	290	1,35	80	0	4	<4,0	30	1,35
Hedistärke, Hedimix	320	1,50	75	-	-	3,5-4,0	71	2,9
Zeitz, Beuker	110	1,46	90	5	-	3,5-4,0	31	1,4
SVG, Hedimix	190	1,36	60	-	-	2,9-3,3	71	2,5
Amidyn, Hedimix	190	1,41	85	-	-	3,7-4,0	71	2,4
Hamino Special, Duynie	200	1,42	65	15	7	3,0-4,0	63	2,5
Tarwezetmeel, Bondatar	260	1,45	62	16	8	3,0-3,5	71	1,7

Bron: OPNV (2012) en individuele bedrijven



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl