



RIKILT

WAGENINGEN UR



Opsporing van te hoge koper- en zinkgehaltes in varkensvoer via fecesonderzoek

RIKILT Rapport 2011.018

A.W. Jongbloed, J. de Jong, P. Vereijken en M. van der Voort



Opsporing van te hoge koper- en zinkgehalten in varkensvoer via fecesonderzoek

A.W. Jongbloed¹, J. de Jong¹, P. Vereijken² en M. van der Voort³

Rapport 2011.018

Januari 2012

Projectnummer: 121.71.860.01
BAS-code: WOT-02-004-013
Projecttitel: Juridische eisen met betrekking tot analyse- en bemonsteringsmethoden gebruikt in het opsporingsonderzoek van diervoeders en diervoedergrondstoffen

Projectleider: H.J. van Egmond

¹ **RIKILT – Instituut voor Voedselveiligheid**
Wageningen UR (University & Research centre)
Akkermaalsbos 2, 6708 WB Wageningen
Postbus 230, 6700 AE Wageningen
Tel. 0317 480 256
Internet: www.rikilt.wur.nl

² **Biometris, Wageningen**

³ **Stagiaire bij de NVWA, Den Haag**

Copyright 2012, RIKILT – Instituut voor Voedselveiligheid.

Het is de opdrachtgever toegestaan dit rapport integraal openbaar te maken en ter inzage te geven aan derden. Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het RIKILT – Instituut voor Voedselveiligheid is het niet toegestaan:

- a) *dit door RIKILT – Instituut voor Voedselveiligheid uitgebrachte rapport gedeeltelijk te publiceren of op andere wijze gedeeltelijk openbaar te maken;*
- b) *dit door RIKILT – Instituut voor Voedselveiligheid uitgebrachte rapport, c.q. de naam van het rapport of RIKILT – Instituut voor Voedselveiligheid, geheel of gedeeltelijk te doen gebruiken ten behoeve van het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin;*
- c) *de naam van RIKILT – Instituut voor Voedselveiligheid te gebruiken in andere zin dan als auteur van dit rapport.*

Dit onderzoek is gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, programma WOT Voedselveiligheid, thema Diervoeders

Verzendlijst:

- Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, directie Plantaardige Agroketens en Voedselkwaliteit (E. R. Deckers)
- Nederlandse Voedsel en Waren Autoriteit (J. Hooglugt, C.J.A.M. van der Meijs, M.L.H. Pelk, H.J. Hagen-Lenselink, F.W.J.T. Arts, R.G. Herbes, E. Olde Heuvel, H.A. van der Schee, R.C.M. Theelen)
- Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, directie Kennis en Innovatie (G.J. Greutink)

Bij de totstandkoming van dit rapport is de grootst mogelijke zorgvuldigheid betracht. Tenzij vooraf schriftelijk anders overeengekomen aanvaardt RIKILT – Instituut voor Voedselveiligheid geen aansprakelijkheid voor schadeclaims die worden uitgebracht n.a.v. de inhoud van dit rapport.

Samenvatting voor beleid en toezicht

De nieuwe Voedsel en Waren Autoriteit (nVWA) van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) wil controleren of de voorgeschreven maximale hoeveelheden aan koper (Cu) en zink (Zn) in de voeding bij varkens niet worden overschreden. De vraag is hoe het beste gecontroleerd kan worden of de maximaal toegelaten concentraties aan Cu en Zn in de rantsoenen voor varkens zijn overschreden. In de stal kunnen nl. naast de hoeveelheid Cu en Zn in het mengvoer ook nog spoorelementen via het drinkwater worden gegeven en ook kunnen deze spoorelementen vrijelijk over het mengvoer verstrekt worden. Analyse van het mengvoer alleen is dus niet voldoende. In dit verslag wordt beschreven of het gehalte aan Cu en Zn in de feces van varkens een goede weergave kan geven van de hoeveelheid Cu en Zn die via het voer en het drinkwater is toegediend en wat de nauwkeurigheid van deze schatting is.

Uit het in dit rapport beschreven onderzoek kan geconcludeerd worden dat het gehalte aan Cu en Zn in het mengvoeder kan worden berekend op basis van het gemeten gehalte aan Cu en Zn in de feces en informatie over de kwantitatieve grondstoffensamenstelling van het mengvoeder. Bij een berekend Cu-gehalte van 170 mg/kg voer ligt een 95% betrouwbaarheidsinterval (tweezijdig) bij de worst case benadering tussen 103 en 237 mg/kg voer. Bij een berekend Cu-gehalte van 25 mg/kg is het betrouwbaarheidsinterval 15 tot 35 mg/kg voer. Er kan dus met grote zekerheid aangetoond worden of varkens een rantsoen met 25 of 170 mg Cu/kg hebben gekregen. Voor Zn geldt onder dezelfde uitgangspunten dat bij een voorspeld gehalte van 150 mg/kg voer het betrouwbaarheidsinterval valt tussen 91 en 209 mg/kg voer. Via de berekening kan ook worden nagegaan of varkens naast de hoeveelheid Cu en Zn in het mengvoer ook nog significante hoeveelheden spoorelementen via het drinkwater of via topdressing hebben gekregen.

Technische samenvatting

De nieuwe Voedsel en Waren Autoriteit (nVWA) van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) wil controleren of de voorgeschreven maximale hoeveelheden aan koper (Cu) en zink (Zn) in de voeding bij varkens niet worden overschreden. De vraag is hoe het beste gecontroleerd kan worden of de maximaal toegelaten concentraties aan Cu en Zn in de rantsoenen voor varkens zijn overschreden. In de stal kunnen nl. naast de hoeveelheid Cu en Zn in het mengvoer ook nog spoorelementen via het drinkwater worden gegeven en ook kunnen deze spoorelementen vrijelijk over het mengvoer verstrekt worden. Analyse van het mengvoer alleen is dus niet voldoende. In dit verslag wordt beschreven of het gehalte aan Cu en Zn in de feces van varkens een goede weergave kan geven van de hoeveelheid Cu en Zn die via het voer en het drinkwater is toegediend en wat de nauwkeurigheid van deze schatting is.

Een belangrijk aspect is dat de verteerbaarheid van de droge stof (vc-DS) van het voer bekend is. Immers bij een slechtere verteerbaarheid van de DS wordt meer DS met de feces uitgescheiden waardoor het Cu- en Zn-gehalte in de feces wordt 'verdund'. De vc-DS kan indirect via de grondstoffsamenstelling van het voer geschat worden. De Veevoedertabel geeft geen vc-DS maar wel de vc-OS (organische stof), zodat is nagegaan wat de relatie tussen de vc-OS en vc-DS van mengvoerders voor varkens is. Er is een zeer significant effect voor de vc-OS als voorspeller van de vc-DS. Voor biggen en vleesvarkens samen blijkt dat de gemiddelde standaardafwijking van de vc-DS 1,28 is bij een gemiddelde vc-DS van 81,2%. Op grond van diverse overwegingen wordt voorgesteld om voor de verdere berekeningen de volgende formule te gebruiken:

$$\text{vc-DS} = - 6,94 + 1,0563 \times \text{vc-OS}.$$

Voor fokzeugen kan de volgende schattingsformule worden aangehouden:

$$\text{vc-DS} = - 2,97 + 1,0008 \times \text{vc-OS} \text{ worden aangehouden.}$$

Vervolgens is nagegaan hoe nauwkeurig de vc-OS geschat kan worden op basis van de gegevens voor diverse veevoedergrondstoffen in de Nederlandse Veevoedertabel van het Centraal Veevoederbureau. In de berekeningen is onderscheid gemaakt naar de varkenscategorie. De gemeten vc-OS is in voeders voor biggen van 20 tot 30 kg significant lager (3,3%-eenheid) dan de geschatte vc-OS. Voor biggen van 10 tot 20 kg is het verschil nog groter. De overschatting van de vc-OS bij biggen is duidelijk groter dan die bij de overige klassen. Voor de vleesvarkens is de geschatte vc-OS bij vleesvarkens met indicator slechts 0,5 %-eenheid lager dan de waargenomen vc-OS. De verteerbaarheid van de OS kan nauwkeurig geschat worden uit de gegevens in de Veevoedertabel, maar er moet rekening gehouden worden met een overschatting voor biggen tot 30 kg (ca. 3,3 %-eenheden) en een onderschatting voor fokzeugen die in grondhokken worden gehouden (ca. 0,8 %-eenheden).

Om inzicht te krijgen in de tussenhokvariabiliteit van het Cu- en Zn-gehalte in de DS van de feces zijn resultaten van diverse proeven nader geanalyseerd. Op grond hiervan kan een voorstel worden gedaan hoeveel hokken met varkens op een bedrijf bemonsterd en geanalyseerd moeten worden om tot een verantwoorde steekproef te komen opdat overschrijding van de maximaal toelaatbare gehalten groter dan een vastgestelde waarde Δ met een hoge mate van waarschijnlijkheid statistisch kan worden aangetoond. Op basis van de statistische analyses blijkt deze

spreiding tussen hokken verrassend klein te zijn. Voor Cu en Zn varieerde de variatiecoëfficiënt voor dieren in groepshuisvesting van respectievelijk 4,2 tot 6,3 en van 3,1 tot 5,9. Gezien de lage variatiecoëfficiënten voor zowel Cu als Zn in de DS van de feces in relatie tot de berekende bovengrenzen, kan volstaan worden met één poolmonster van feces van één of desgewenst meerdere hokken in een afdeling. Op basis van een toelaatbaar gehalte van 200 mg Cu/kg DS in de feces is bij een afkeurgrens van 300 mg Cu/kg DS in de feces het risico van ten onrechte afkeuren hooguit 0,1% en bij een afkeurgrens van 250 hooguit 1,0%.

Voor het kunnen schatten van het Cu- en Zn-gehalte in mest aan de hand van het gehalte in het rantsoen, en ook andersom, is het van belang te weten hoeveel van de uitgescheiden hoeveelheid van het mineraal met de urine wordt uitgescheiden. Hiervoor moet nl. worden gecorrigeerd als we alleen de feces bemonsteren. Het blijkt dat er relatief erg weinig Cu en Zn via de urine van varkens wordt uitgescheiden. Gemiddeld onder fysiologische omstandigheden wordt van de totale uitscheiding aan Cu en Zn, 1,0 resp. 1,6% uitgescheiden. Hiermee kan via het gehalte in feces aan deze mineralen het gehalte in het voer nauwkeurig geschat worden.

Voor het berekenen van de retentie aan Cu en Zn in het varken is het gewenst om deze gehalten in het dier te kennen. Het retentiepercentage voor Cu is 1,2 (uitgaande van 20 mg Cu/kg voer) en voor Zn is dat 5,9 (uitgaande van 125 mg Zn/kg voer).

Uit een speciaal voor dit doel opgezette validatieproef blijkt dat, behalve voor de biggenvoerders, de schatting van het Cu- en Zn-gehalte in de voeders op basis van de vc-OS zeer bevredigend was. Een correctie van de vc-OS van biggenvoerders met 3,3 %-eenheid is aan te bevelen omdat er anders een vrij grote systematische fout optreedt in het geschatte gehalte aan Cu en Zn in deze voeders (het verschil in geschat en geanalyseerd gehalte in de biggenvoerders wordt meer dan gehalveerd). Gemiddeld over alle voeders was na correctie van de vc-DS voor biggen het verschil in geanalyseerd en geschat gehalte aan Cu in de voeders $7,8 \pm 12,2$ mg/kg DS en relatief is dat $1,0 \pm 13,8\%$. Voor Zn was er een kleine overschatting van het gehalte in het voer met $-5,1 \pm 16,8$ mg/kg DS en relatief $-3,9 \pm 11,4 \%$. Het Cu- en Zn-gehalte in de verstrekte rantsoenen kan dus vrij nauwkeurig geschat worden uit het Cu- en Zn-gehalte in de feces mits de grondstoffensamenstelling van de voeders bekend is.

Bij de schatting van het Cu- en Zn-gehalte in het voer vanuit het Cu- en Zn-gehalte in de feces is er sprake van een aantal onzekere inputs of afgeleide inputs. Zo is er o.a. onzekerheid in de schatting van de vc-OS op basis van de Veevoedertabel, de schatting van de vc-DS uit de vc-OS en de variatie tussen dieren en hokken. Uit de analyse blijkt dat voor biggen en vleesvarkens de grootste bijdrage aan de variatiecoëfficiënt de schatting van de vc-OS vanuit de Veevoedertabel is. De variatiecoëfficiënt varieert en afhankelijk van de gestelde uitgangspunten, is die minimaal 14% en maximaal 20%. Bij bemonstering van de feces uit twee hokken in plaats van uit één hok vermindert de variatiecoëfficiënt van 14% naar 12%.

Met behulp van de geschatte variatiecoëfficiënt (bij het worst case) is een 95% betrouwbaarheidsinterval (tweezijdig) bij bemonstering van één hok bij een voorspeld Cu-gehalte van 170 mg/kg voer 103 tot 237 mg/kg voer. Bij een verondersteld Cu-gehalte van 25 mg/kg is het betrouwbaarheidsinterval 15 tot 35 mg/kg voer. Er kan dus met grote zekerheid aangetoond worden of varkens een rantsoen met 25 of 170 mg Cu/kg hebben gekregen. Voor Zn is onder dezelfde uitgangspunten bij een voorspeld gehalte van 150 mg/kg voer het betrouwbaarheidsinterval 91 en 209 mg/kg voer.

Inhoudsopgave

Samenvatting voor beleid en toezicht	3
Technische samenvatting	5
1 Inleiding	9
2 Schatting van de verteerbaarheid van de droge stof van het voer voor varkens uit de verteerbaarheid van de organische stof	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Materiaal en methoden	11
2.3 Resultaten	14
2.4 Analyse op alle gegevens	15
2.5 Vleesvarkens en biggen samen	17
2.6 Fokzeugen	20
2.7 Conclusie schatting vc-DS uit de vc-OS	23
3 Nauwkeurigheid van de schatting van de verteerbaarheid van de organische stof in varkensvoer aan de hand van de grondstoffensamenstelling van het voer	24
3.1 Inleiding	24
3.2 Materiaal en methoden	24
3.3 Resultaten	25
3.3.1 Algemeen	25
3.3.2 Effect van het ruwe celstofgehalte op verschil in waargenomen en geschatte VC-OS	25
3.3.3 Schattingsfout van de VC-OS op basis van voersamenstelling met de waargenomen VC-OS	26
3.4 Conclusie	27
4 Schatting van de spreiding en variabiliteit in koper- en zinkgehalte in de feces tussen varkenshokken	29
4.1 Inleiding	29
4.2 Materiaal en methoden	29
4.3 Resultaten	31
4.4 Conclusie toelaatbare spreiding in gehalte aan Cu en Zn in de DS van de feces	32
5 Verdeling uitscheiding van Cu en Zn in feces en urine bij varkens	33
5.1 Inleiding	33
5.2 Resultaten	33
5.3 Conclusies	34
6 Gehalten aan koper en zink in het voer en de retentiepercentages hiervan in varkens	35
6.1 Inleiding	35
6.2 Resultaten	35
7 Validatie van de schatting van het koper- en zinkgehalte in het voer vanuit de feces	36
7.1 Materiaal en methode	36
7.2 Resultaten	37
7.3 Conclusie	40

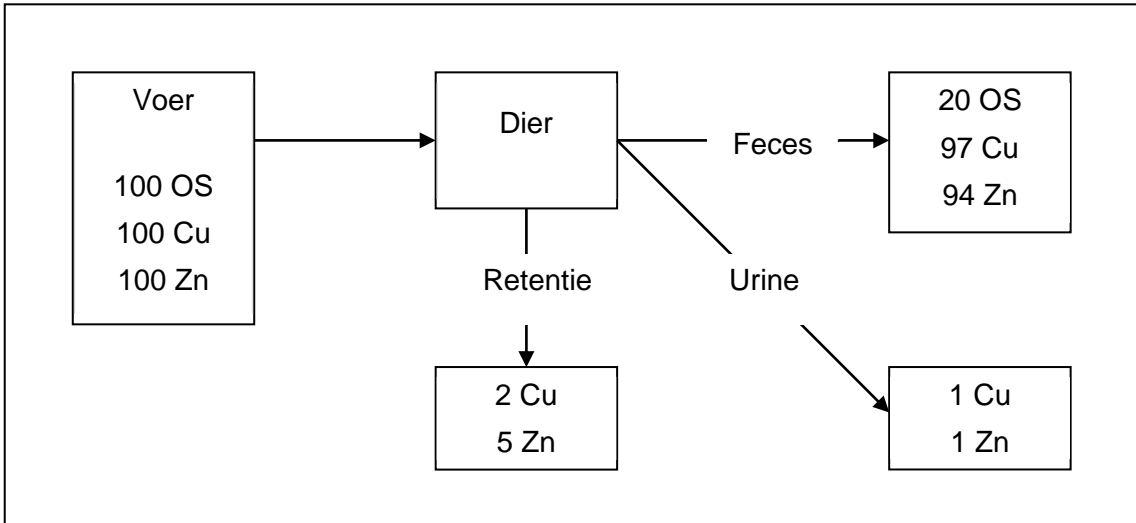
8	Statistische synthese schatting van het Cu- en Zn-gehalte in het voer vanuit de feces.....	41
8.1	Inleiding	41
8.2	Predictie van het Cu-gehalte in het voer	41
8.2.1	De grondstofsamenstelling van het voer en de verteringscoëfficiënten in de CVB tabel	42
8.2.2	Omrekening van de vc-OS naar de vc-DS	42
8.2.3	Predictie van het Cu- en Zn-gehalte in het voer	43
8.3	Berekening van nauwkeurigheid van de predictie van het Cu- en Zn-gehalte.....	44
8.4	Toetsen van maximaal toegelaten gehalten aan Cu en Zn in de rantsoenen.....	45
8.5	Conclusie	46
8.6	Gebruik in de praktijk	47
	Literatuur	49
	Bijlage 2.1	52
	Bijlage 2.2	53
	Bijlage 3.1	54
	Bijlage 4.1	55
	Bijlage 5.1	56
	Bijlage 5.2	56
	Bijlage 8.1	57

1 Inleiding

De nieuwe Voedsel en Waren Autoriteit (nVWA) van het ministerie van Economie, Landbouw en Innovatie wil controleren of de voorgeschreven maximale hoeveelheden aan koper (Cu) en zink (Zn) in de voeding bij varkens niet worden overschreden. Voor biggen tot 12 weken (is 11 weken en 6 dagen) geldt dat er 170 mg Cu/kg voer is toegestaan, waarna het voer 25 mg Cu/kg mag bevatten. Het Zn-gehalte in de voeders voor alle categorieën varkens mag maximaal 150 mg/kg zijn (EU, 2003). Een vermoeden is dat met name bij de overgang van biggen bij 12 weken leeftijd de regels omtrent het Cu-gehalte onvoldoende in acht worden genomen.

De vraag is hoe het beste gecontroleerd kan worden of de maximaal toegelaten concentraties aan Cu en Zn in de rantsoenen voor varkens zijn overschreden. In de stal kunnen nl. naast de hoeveelheid Cu en Zn in het mengvoer ook nog spoorelementen via het drinkwater worden gegeven en ook kunnen deze spoorelementen vrijelijk over het mengvoer verstrekt worden. Analyse van het mengvoer alleen is dus niet voldoende. Van de opgenomen Cu en Zn door varkens wordt erg weinig in de weefsels vastgelegd (ca. 1% voor Cu en ca. 5% voor Zn; zie hoofdstuk 6). Tevens wordt van de uitgescheiden hoeveelheid aan Cu en Zn via feces en urine slechts ca. 2% via de urine uitgescheiden (zie hoofdstuk 5). Dit houdt in dat het merendeel van het opgenomen Cu en Zn via de feces wordt uitgescheiden en daarom moet het gehalte aan deze spoorelementen in de feces een goede parameter zijn voor de opgenomen hoeveelheid met het voer. In Schema 1.1 is dit grafisch weergegeven.

In dit verslag wordt beschreven of het gehalte aan Cu en Zn in de feces van varkens een goede weergave kan geven van de hoeveelheid Cu en Zn die via het voer en het drinkwater is toegediend en wat de nauwkeurigheid van deze schatting is. Eerst wordt de nauwkeurigheid van de schatting van de verteerbaarheid van de droge stof uit de verteerbaarheid van de organische stof beschreven (hoofdstuk 2). Daarna wordt beschreven hoe nauwkeurig de verteerbaarheid van de organische stof van voer bij varkens geschat kan worden aan de hand van de grondstoffen-samenstelling (hoofdstuk 3). Ook wordt de tussenhok variatie nader geanalyseerd (hoofdstuk 4). Vervolgens is bestudeerd welk deel van de uitscheiding in de urine terecht komt (hoofdstuk 5) evenals hoeveel van de verstrekte hoeveelheid aan Cu en Zn in het varken wordt vastgelegd (hoofdstuk 6). Tenslotte worden de resultaten van een validatieproef beschreven op basis van bemonstering van feces op twee varkensbedrijven (hoofdstuk 7). In hoofdstuk 8 wordt ook een statistische synthese beschreven van de schatting van het Cu- en Zn-gehalte in het voer vanuit de gemeten gehalten in feces.



Schema 1.1 Weergave van de belangrijkste processen in het varken in relatie tot het Cu- en Zn-gehalte in voer, dier en uitscheiding in feces en urine (relatieve getallen).

2 Schatting van de verteerbaarheid van de droge stof van het voer voor varkens uit de verteerbaarheid van de organische stof

2.1 Inleiding

De hypothese is dat via bemonstering en analyse van de feces een goede indicatie kan worden verkregen van het gehalte van Cu en Zn in het verstrekte rantsoen. Een belangrijk aspect hierbij is dat de verteerbaarheid van de droge stof (vc-DS) van het voer bekend is. Immers bij een slechtere verteerbaarheid van de DS wordt meer DS met de feces uitgescheiden waardoor het Cu- en Zn-gehalte in de feces wordt 'verdund'. De methode voor het vaststellen van de verteerbaarheid van de voeders voor varkens is uitgebreid beschreven in het verteringsprotocol voor varkens (CVB, 2005). De vc-DS kan via de grondstoffensamenstelling van het voer geschat worden. De gegevens omtrent verteerbaarheid van de grondstoffen zijn weergegeven in de Nederlandse Veevoedertabel van het Centraal Veevoederbureau (CVB, 2007). In deze Veevoedertabel staan wel gegevens over de verteerbaarheid van de organische stof (vc-OS) maar niet van de vc-DS. De vc-DS van het voer kan mogelijk goed worden geschat aan de hand van de grondstoffensamenstelling en de verteerbaarheid van de OS via de Veevoedertabel. In dit hoofdstuk zijn de resultaten hiervan beschreven hoe nauwkeurig dat kan.

2.2 Materiaal en methoden

Als basis voor de uitgevoerde berekeningen dienden verteringsproeven met varkens die in de loop der jaren op Wageningen UR Livestock Research zijn uitgevoerd. Alleen gegevens van verteringsproeven met volledige mengvoeders zijn hiervoor gebruikt en hebben betrekking op proeven die sinds 1975 zijn uitgevoerd met vleesvarkens, biggen en fokzeugen. Het gaat om de volgende soorten verteringsproeven:

1. Op stofwisselingskooien zijn vleesvarkens (30-110 kg) individueel gehuisvest en is gedurende 7 tot 10 dagen de feces kwantitatief verzameld. Op deze manier zijn o.a. de vc-DS en vc-OS van het mengvoer berekend. Hiervan zijn 102 proeven waarvan het gemiddelde en standaardafwijking van de verteerbaarheid bekend zijn. Deze proeven hebben als code **V**.
2. In grondhokken, waar de vleesvarkens (30-110 kg) individueel gehuisvest zijn. Door een mestzakje rondom de anus te plakken wordt de feces verzameld. Via een indicator (Cr_2O_3) wordt de verteerbaarheid uitgerekend. Hiervan zijn er niet zoveel proeven. Deze groep is samengevoegd met vleesvarkens gehuisvest als groep in grondhokken. Hierin zijn de vleesvarkens (25-110 kg) in groepen van gemiddeld vier varkens gehuisvest (het aantal dieren per hok varieerde tussen 1 en 6). Feces worden op twee of drie dagen verzameld (grab sampling) vanaf de vloer van het varkenshok. Via een indicator (Cr_2O_3) wordt de verteerbaarheid uitgerekend. Het is bekend dat de verteerbaarheid van het voer bij varkens in grondhokken wat lager is dan van varkens gehuisvest op stofwisselingskooien (Bakker et al., 1994). Van deze groep zijn er in totaal 46 proeven en hebben de code **Vi**.

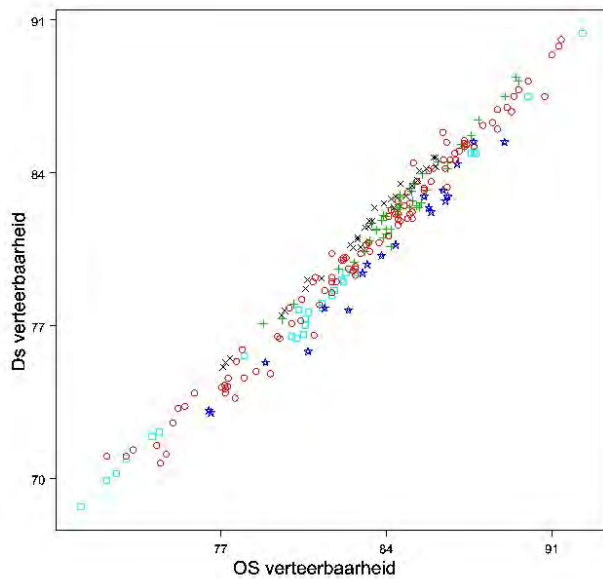
3. In grondhokken, waar biggen (8-30 kg) in groepen van 4 tot 8 gehuisvest (gemiddeld 6,4) worden, zijn 31 verteringsproeven uitgevoerd. Feces worden op twee of drie dagen gedurende 1 à 2 uur in de ochtend en middag verzameld (grab sampling). Via een indicator (Cr_2O_3) wordt de verteerbaarheid uitgerekend. Deze proeven hebben de code **B**.
4. Op stofwisselingskooien zijn fokzeugen (>160 kg) individueel gehuisvest en is gedurende 7 tot 10 dagen de feces kwantitatief verzameld. Zo is er van 19 proeven het gemiddelde en standaardafwijking van de verteerbaarheden bekend. De code voor deze proeven is **Z**.
5. In grondhokken, waar fokzeugen (>160 kg) individueel gehuisvest waren, zijn ook diverse verteringsproeven uitgevoerd. Feces worden op twee of drie dagen gedurende 1 à 2 uur in de ochtend en middag verzameld (grab sampling). Via een indicator (Cr_2O_3) wordt de verteerbaarheid uitgerekend. Van deze groep zijn er in totaal 28 proeven en hebben de code **Zi**.

Gegevens van al deze verteringsproeven zijn ingevoerd in een Excel-file. Dit betreft de chemische samenstelling van het voer (gehalte aan DS, OS, as, ruw eiwit, ruw vet, ruwe celstof, zetmeel, suiker, overige koolhydraten (OK) en niet-zetmeel koolhydraten (NSP)) en de gemiddelde verteerbaarheid van DS en OS per voer. Een overzicht van de belangrijkste kenmerken van de proeven in de onderscheiden diercategorieën en methoden (voortaan proefsoorten genoemd) is weergegeven in Tabel 2.1 terwijl meer details in Bijlage 2.1 staan. De samenhang tussen de vc-OS en vc-DS voor de diverse proefsoorten is in Figuur 2.1 weergegeven.

Tabel 2.1. Enkele gegevens van de verteerbaarheden bij de onderscheiden categorieën dieren.

Proefsoorten	Vleesvarkens op kooi (V)		Vleesvarkens indicator (Vi)		Biggen grondhok (B)		Fokzeugen kooi (Z)		Fokzeugen grondhok (Zi)	
	vc-DS	vc-OS	vc-DS	vc-OS	vc-DS	vc-OS	vc-DS	vc-OS	vc-DS	vc-OS
Aantal	102	102	46	46	31	31	19	19	28	28
Gemiddelde	80.5	83.0	82.5	84.7	81.2	82.9	80.2	83.8	78.1	81.0
SD	1.4	1.4	0.8	0.8	1.3	1.2	1.5	1.6	1.4	1.4
Minimum	70.7	72.2	77.1	78.8	75.1	77.1	73.0	76.5	68.7	71.1
Maximum	90.1	91.4	88.4	89.6	84.7	86.1	85.4	89.0	90.4	92.3
Mediaan	80.8	83.5	82.4	84.6	81.8	83.3	80.7	84.4	77.8	81.0

Uit gegevens in Tabel 2.1 valt te berekenen dat de vc-DS en vc-OS voor alle proefsoorten gemiddeld 80,7 resp. 83,1% zijn. De verteerbaarheden zijn bij de fokzeugen lager dan bij vleesvarkens en biggen. De standaardafwijking van de verteerbaarheden varieert tussen 0,8 en 1,6%-eenheden.



Figuur 2.1. Verband tussen vc-OS en vc-DS bij de onderscheiden categorieën; x=biggen, o=vleesvarkens, +=vleesvarken met indicator, *=zeugen, □=zeugen met indicator.

Met behulp van variantie- en regressieanalyse is nagegaan of het op basis van bovenstaande gegevens statistisch verantwoord is om de vc-DS te schatten uit de vc-OS door alle proefsoorten samen te nemen en/of er onderscheid moet worden gemaakt tussen de diverse proefsoorten. Allereerst zijn de resultaten met het meest uitgebreide model getoetst, i.e. verschillend intercept en helling voor de proefsoorten. Als de toets van verschillende helling of van verschillend intercept niet significant waren ($P > 0.05$) is verder gegaan met een zo eenvoudig mogelijk model.

Het volgende regressiemodel diende als meest uitgebreide model:

$$vc_DS_{ij} = a_i + b_i * vc_OS + \varepsilon_{ij} \quad \text{model M2.1}$$

waarbij vc_DS_{ij} = j-de meting van de respons variabele voor proefsoort i;
 a_i = intercept voor proefsoort i;
 b_i = helling van vc-OS voor proefsoort i;
 ε_{ij} = residuele afwijking van het model.

De afwijkingen ε_{ij} worden verondersteld onafhankelijk en normaal verdeeld te zijn met verwachtingswaarde 0 en standaardafwijking σ .

Onderzocht is of met eenvoudigere modellen dan model M2.1 kan worden volstaan, i.e. model met parallelle lijnen voor de proefsoorten (model 2.2) of hetzelfde lineaire verloop voor alle proefsoorten (model 2.3).

$$vc_DS_{ij} = a_i + b * vc_OS + \varepsilon_{ij}$$

model M2.2

$$vc_DS_{ij} = a + b * vc_OS + \varepsilon_{ij}$$

model M2.3

Verder is de R^2 gegeven wat aangeeft hoeveel procent van de variantie door het model verklaard kan worden; hoe dichter bij de 100% hoe beter. Ook is de standaardafwijking van de regressiecoëfficiënt (se) gegeven.

Naast de schatting van de vc-DS uit de vc-OS is tevens nagegaan of er een nauwkeuriger schatting van de vc-DS kan worden verkregen door ook het asgehalte in de DS van het voer mee te nemen in de regressieanalyse. Van diverse statistische analyses zijn de resultaten gepresenteerd in de vorm van tabellen en grafieken.

2.3 Resultaten

Eerst is getoetst of er verschillen bestaan in de voorspelling van de verwachte vc-DS van biggen tussen en binnen de categorieën vleesvarkens fokzeugen (Tabel 2.2). Het eenvoudigste regressiemodel is model M2.3. In model M2.2 is nagegaan of de constante tussen V en Vi verschilt en in regressiemodel M2.1 is naast een verschil in constante ook nagegaan of de helling tussen V en Vi verschillend is. In Tabel 2.2 zijn ook de schattingen van de regressiecoëfficiënten bij aanpassen van parallelle lijnen aan totale data gepresenteerd, terwijl meer details in Bijlage 2.2 zijn weergegeven.

Tabel 2.2. Resultaten regressieanalyses ter voorspelling van de vc-DS uit de vc-OS van mengvoeders bij de onderscheiden proefsoorten (V=vleesvarkens op kooi, Vi=vleesvarkens met indicator, B=biggen, Z=fokzeugen op kooi, Zi=fokzeugen met indicator; R^2 =% van de verklaarde variantie; a=constante; a_i =constante voor elk afzonderlijke diercategorie; b=regressiecoëfficiënt; b_i =regressiecoëfficiënt voor elk afzonderlijke diercategorie). MSE=mean square error, schatting van de variantie van de punten rond de lijn.

Diercategorie	Regressiemodel nr.	R^2 (%)	MSE	Significante effecten	Opmerkingen
V+Vi	M2.3. $Y=a+b*vc-OS^{1)}$	98,1	0.37	vc-OS	
V+Vi	M2.2 $Y=a_i+b*vc-OS$	98,1	0.36	vc-OS	
V+Vi	M2.1. $Y=a_i+b_i*vc-OS$	98,1	0.37	vc-OS	
B+V+Vi	M2.3. $Y=a+b*vc-OS$	97,7	0.39	vc-OS	
B+V+Vi	M2.2. $Y=a_i+b*vc-OS^{2)}$	98,1	0.31	vc-OS, proefsoort	$B > \{V, Vi\}$
Z & Zi	M2.3. $Y=a+b*vc-OS$	98,3	0.42	vc-OS	
Z & Zi	M2.2. $Y=a_i+b*vc-OS^{2)}$	98,6	0.33	vc-OS, proefsoort	$Z_i > Z$
B, V1.V2, Z, Zi	M2.3. $Y=a+b*vc-OS$	97,2	0.53	vc-OS	
B, V1.V2, Z, Zi	M2.2. $Y=a_i+b*vc-OS^{2)}$	98,3	0.33	vc-OS, proefsoort	$B > \text{overige}$

^{1),2),3)} Geselecteerd voorspellingsmodel voor vc-DS.

De berekeningen voor vleesvarkens geven aan dat er geen aantoonbaar verschil is in intercept en helling in het voorspellingsmodel van de vc-DS uit de vc-OS tussen vleesvarkens die op een verteringskooi (V) worden gehouden of in een grondhok (Vi), waar met behulp van een indicator de verteerbaarheid werd gemeten R^2 is 98,1 resp. 98,1%. De range van de relatieve calibratie fout (%) voor het verwachte vc-DS bedraagt (0.06% - 0.22%) en voor het verwachte vc-DS voor

een nieuw voer bedraagt die tussen de 0.77% en 1.04%). De verwachte vc-DS en de voorspelling van de vc-DS voor een nieuw voer bij vleesvarkens kan dus met een hoge nauwkeurigheid uit de vc-OS worden geschat.

Indien de biggen worden samengenomen met de vleesvarkens blijkt dat er een kleine verbetering optreedt in de nauwkeurigheid van de schatting als de biggen een andere constante hebben dan de vleesvarkens (R^2 is 97,7 resp. 98,1).

Bij de fokzeugen blijkt er een significant ($P < 0,05$) verschil te zijn in de schatting van de vc-DS uit de vc-OS indien Z en Zi apart worden genomen (R^2 is 98,3 resp. 98,6).

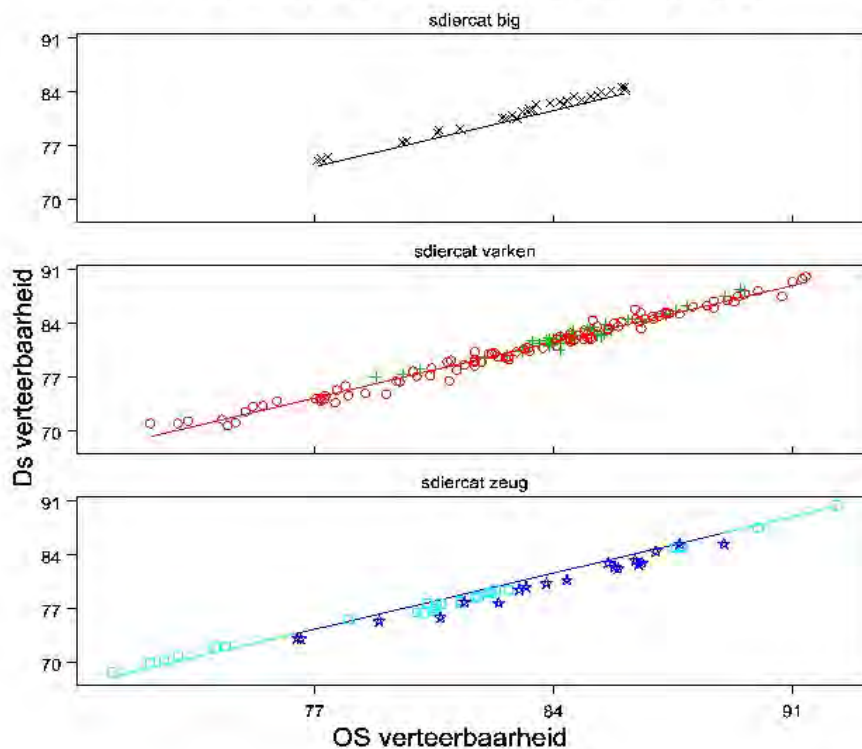
Indien alle proefsoorten met elkaar vergeleken worden dan blijkt dat er een kleine verbetering optreedt in de nauwkeurigheid van de schatting als de biggen een andere constante hebben dan de overige proefsoorten (R^2 is 97,2 resp. 98,3).

2.4 Analyse op alle gegevens

Er is vervolgens onderzocht in hoeverre met één regressiemodel over de diercategorieën kan worden volstaan voor het schatten van de vc-DS uit de vc-OS of dat er verschillende regressiemodellen voor elke diercategorie noodzakelijk zijn. In Figuur 2.2 zijn de waargenomen vc-DS en de gefitte waarden uitgezet tegen vc-OS bij het eenvoudigste regressiemodel (M2.3).

Uit Figuur 2.2 is af te leiden dat de gefitte waarden bij de biggen gemiddeld iets boven de gefitte regressielijn liggen en die van de zeugen er iets onder. Uit de variantieanalyse op alle gegevens blijkt dat de vc-OS een significant effect ($P < 0.001$) heeft op de voorspelling van de vc-DS en dat de proefsoort ook een significant effect ($P < 0.001$) heeft, maar verhoudingsgewijs weinig ten opzichte van de vc-OS (F-waarde 13235 vs. 37). De R^2 van het meest eenvoudige model is 97,2, terwijl het model met opsplitsing naar proefsoort de R^2 98,3 is. Dit wil zeggen dat de opsplitsing voor proefsoort maar een heel klein deel van de variantie verklaart. In Tabel 2.3 zijn de schattingen van de regressiecoëfficiënten bij aanpassen van parallelle lijnen op het totale materiaal gepresenteerd.

ALLE SOORTEN: $vc_dS=a+bvc_OS$



Figuur 2.2. Grafische weergave van de waargenomen vc - DS en de gefitte waarden uitgezet tegen vc - OS bij het eenvoudigste regressiemodel (vc - $DS = a + b \times vc$ - OS); x =biggen, o =vleesvarkens, $+$ =vleesvarken met indicator, $*$ =zeugen, \square =zeugen met indicator.

Tabel 2.3. Schattingen van de parameters uit de regressieanalyse op het totale materiaal.

Parameter	Helling	s.e.	t(220)	Significantie P.
Vc-OS gemiddeld	1.04048	0.00956	108.80	<0.001
Proefsoort Biggen	-5.051	0.799	-6.32	<0.001
Proefsoort Varkens kooi	-5.809	0.796	-7.30	<0.001
Proefsoort Varkens indicator	-5.604	0.815	-6.88	<0.001
Proefsoort Zeug kooi	-6.922	0.812	-8.53	<0.001
Proefsoort Zeug indicator	-6.177	0.782	-7.90	<0.001

Indien we ook het asgehalte in de DS van het voer meenemen, blijkt het asgehalte een significante bijdrage te leveren aan de verklaring van de vc - DS . In het uitgebreide regressiemodel over alle categorieën neemt de R^2 toe van 98,3 naar 98,5%, maar blijkt hierdoor een groot deel van de diergroep-effecten te zijn weggenomen.

Omdat het onderzoek zich speciaal richt op biggen en vleesvarkens zijn de gegevens van die categorieën aan een nadere analyse onderworpen.

2.5 Vleesvarkens en biggen samen

Nadere analyse van de gegevens van de vleesvarkens (zowel kooi als indicator) geeft, zoals eerder vermeld, aan dat er geen enkel significant verschil is in zowel constante als helling tussen V en Vi. De regressievergelijking voor alle vleesvarkens ($V + Vi$) is:

$$vc-DS = - 7,41 (\pm 1,03) + 1,0604 (\pm 0,0124) \times vc-OS; R^2 = 98,1; \quad \text{(F2.1)}$$

waarbij de helling en de constante significant zijn ($P < 0,001$).

Vervolgens zijn de gegevens van de biggen samengevoegd met die van de vleesvarkens en is het uitgebreide regressiemodel inclusief interacties getoetst. De interactie tussen vc-OS en proefsoort was totaal niet significant en is vervolgens uit het model verwijderd. Bij het model waarbij een verschillende constante tussen de proefsoort wordt toegelaten is de constante voor de biggen significant hoger ($P < 0,001$) dan die voor vleesvarkens. Ook is er voor de vc-OS een zeer significant effect ($P < 0,001$). Het effect van de proefsoort is verhoudingsgewijs gering voor de diercategorie (F-waarde 3129 vs. 22); de R^2 was 98,1%. De bijdrage van het opnemen van de proefsoort in het regressiemodel is dus zeer gering.

Bij dit regressiemodel voor vleesvarkens en biggen wordt het volgende resultaat verkregen:

$$vc-DS = - 6,41 (\pm 0,931) + 1,0569 (\pm 0,0122) \times vc-OS - 0,671 \times VIva; R^2 = 97,7 \quad \text{(F2.2)}$$

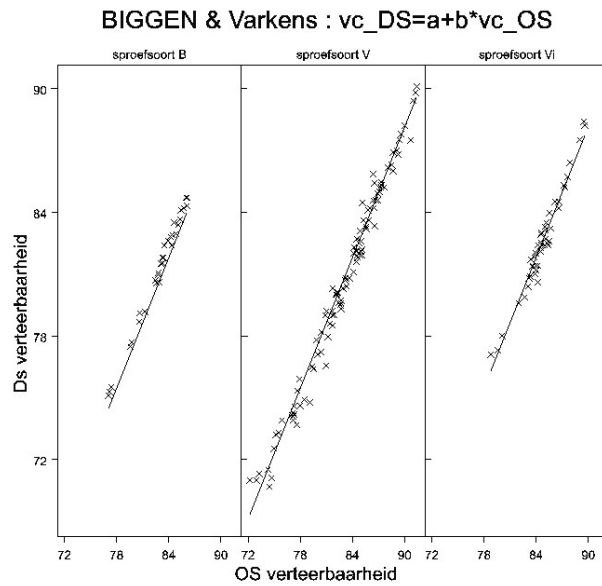
waarbij de constante, helling en proefsoort significant zijn. De constante -0,671 geeft aan dat de vc-DS bij vleesvarkens 0,671 eenheid lager is dan voor de biggen.

Het meest eenvoudige regressiemodel (M2.3) geeft voor vleesvarkens en biggen samen het volgende resultaat:

$$vc-DS = - 6,94 (\pm 1,01) + 1,0563 (\pm 0,0122) \times vc-OS; R^2 = 97,7 \quad \text{(F2.3)}$$

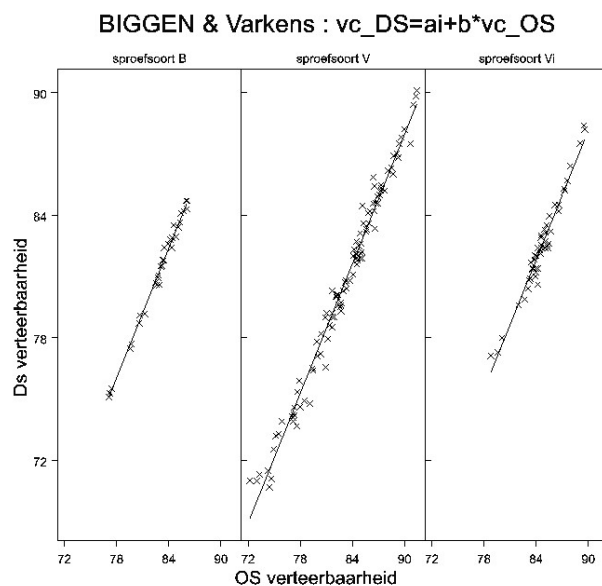
waarbij de constante en helling significant zijn.

Figuur 2.3 geeft het verband tussen de voorspelde vc-DS en de vc-OS weer bij het eenvoudige regressiemodel (M2.3). Uit Figuur 2.3 blijkt bij biggen systematische onderschatting van vc-DS op te treden.



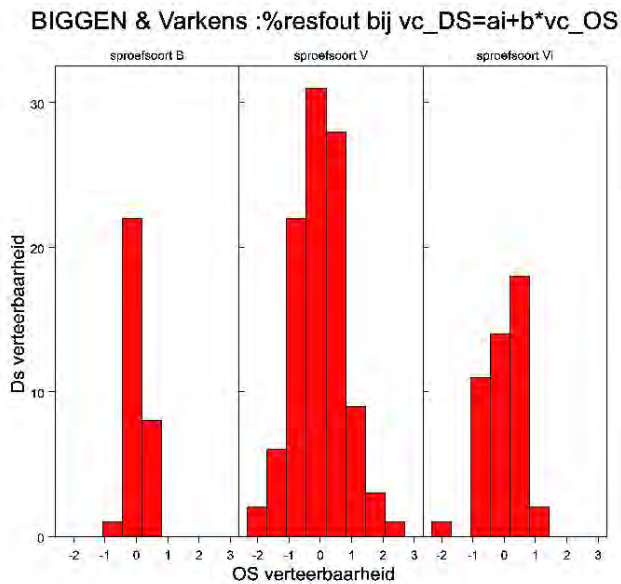
Figuur 2.3. Voorspelde vc-DS (%) uitgezet tegen de vc-OS (%) bij het eenvoudige regressiemodel ($vc-DS = a + b \times vc-OS$).

Figuur 2.4 geeft de voorspelde vc-DS weer uitgezet tegen de vc-OS bij het regressiemodel met evenwijdige lijnen. Het percentage verklaarde variantie in dit model was 98,1%. De procentuele residuele calibratiefouten bij de regressie staan als histogram in Figuur 2.5.



Figuur 2.4. Voorspelde vc-DS (%) uitgezet tegen de vc-OS (%) bij het parallelle lijnen regressiemodel ($vc-DS = a_i + b \times vc-OS$).

Uit Figuur 2.5 blijkt bij het uitgebreide regressiemodel dat de verdeling van de residuele fout bij biggen en vleesvarkens homogeen is. Uit deze figuur valt verder af te leiden dat bij proefsoort V ca. 80% van de waarnemingen ligt tussen -1% en +1%. Bij vleesvarkens is er een grotere residuele variatie dan bij biggen; er is dus een grotere afwijking tussen de geschatte en waargenomen vc-DS uit de vc-OS bij vleesvarkens dan bij biggen. Dit is ook niet zo verwonderlijk omdat er vrij weinig variatie is in grondstoffsamenstelling bij biggen vergeleken met vleesvarkens.



Figuur 2.5. Histogram van de procentuele residuele fouten (resfout) bij de regressie van het het parallelle lijnen model ($vc-DS= ai + b \times vc-OS$) waarbij opsplitsing van gegevens van biggen (B), vleesvarkens-kooi (V) en vleesvarkens-indicator (Vi) heeft plaatsgevonden.

In Tabel 2.4 zijn de berekende schattingen van de vc-DS bij gebruik van de formules voor vleesvarkens (F2.1) en voor vleesvarkens samen met de biggen (F2.2 en F2.3) weergegeven bij de gegeven instelwaarden voor de vc-OS.

Tabel 2.4. Schatting van de vc-DS met de formules F2.1 t/m F2.3 (zie tekst boven en onder).

Formule	Categorie	Dieren	vc-OS	75,0	78,0	81,0	84,0	87,0
F2.1	Vleesvarkens	Vleesvarkens	vc-DS	72,1	75,3	78,5	81,8	84,8
F2.3	Vleesvarkens en biggen	Vleesvarkens en biggen	vc-DS	72,3	75,4	78,6	81,8	85,0
F2.2	Vleesvarkens en biggen	Biggen	vc-DS	72,8	76,0	79,2	82,4	85,5
F2.2	Vleesvarkens en biggen	Vleesvarkens	vc-DS	72,2	75,4	78,5	81,7	84,9
F2.4	Zeugen Z&Zi	Zeugen Z	vc-DS	71,5	74,5	77,5	80,5	83,5
F2.5	Zeugen Z&Zi	Zeugen Zi	vc-DS	72,1	75,1	78,1	81,1	84,1

Uit Tabel 2.4 is af te leiden dat er vrijwel dezelfde vc-DS wordt verkregen met F2.1 en F2.3, maar dat F2.2 vergeleken met F2.3 resulteert in een 0,6%-eenheid hogere vc-DS voor biggen. Dit is niet zo vreemd omdat we over veel meer proeven beschikken met data voor varkens dan met biggen. Dit verschil in vc-DS kan mogelijk verklaard worden door de hogere verteerbaarheid van de as, omdat de biggen een hogere mineralenbehoefte hebben dan vleesvarkens. Het asgehalte in de voeders voor biggen en vleesvarkens is nl. gelijk.

2.6 Fokzeugen

Nadere analyse van de gegevens van de zeugen (zowel kooi als indicator) geeft aan dat er een significant verschil is in constante maar niet in helling tussen Z en Zi.

De regressievergelijkingen voor de zeugen Z en Zi zijn:

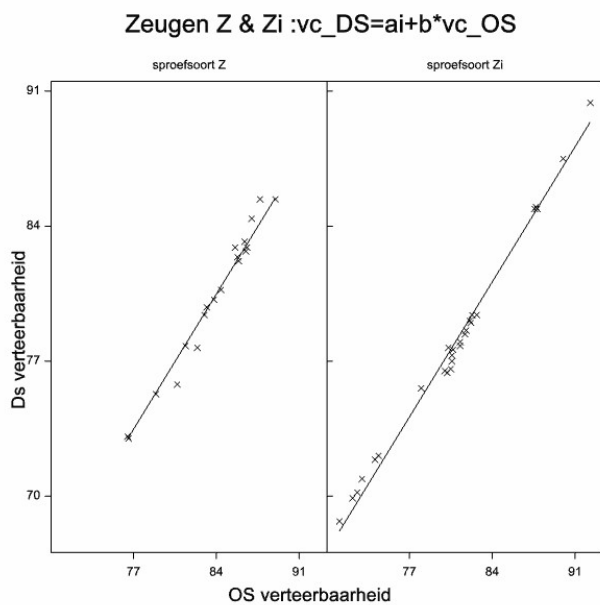
$$\text{vc-DS} = - 2,97 (\pm 1,44) + 1,0008 (\pm 0,0177) \times \text{vc-OS} - 0,634 \times Z; R^2 = 98,6 \quad \text{(F2.4)}$$

terwijl de constante en de helling zeer significant zijn ($P < 0,05$ respectievelijk $P < 0,001$).

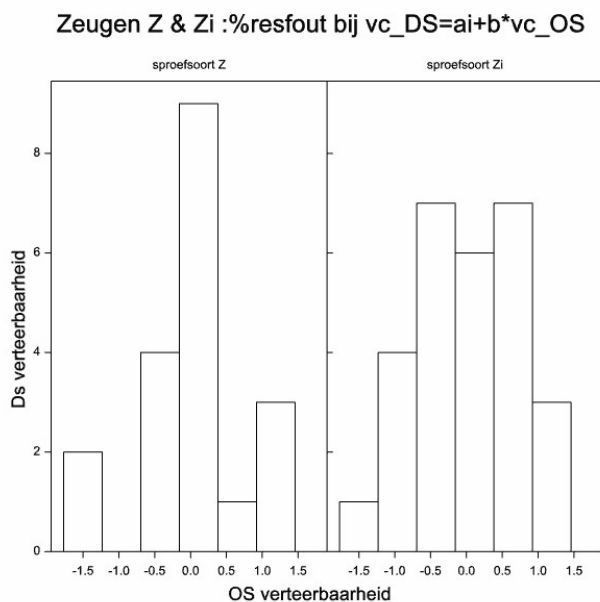
Bij het regressiemodel waarbij een verschillende constante tussen de proefsoort wordt toegelaten is de constante voor de Zi zeugen significant hoger ($P < 0,001$) dan die voor Z. In Tabel 2.4 is uitgerekend wat de schattingen van de vc-DS zijn bij gebruik van de formule voor fokzeugen al dan niet op de kooi met F2.4 bij de gegeven instelwaarden voor de vc-OS. De vc-DS is bij de zeugen met indicator (Zi) 0,6 %-eenheid hoger dan bij de zeugen op de kooi (Z). Aangezien momenteel zeugen alleen maar in grondhokken gehouden worden kan de schattingsformule F2.4 zonder aftrek van de constante (0,634) voor verdere berekeningen worden aangehouden.

$$\text{vc-DS} = - 2,97 (\pm 1,44) + 1,0008 (\pm 0,0177) \times \text{vc-OS} \quad \text{(F2.5)}$$

Figuur 2.6 geeft een weergave van de voorspelde vc-DS uitgezet tegen de vc-OS voor het model M2.2 met parallelle lijnen voor de proefsoorten. Het percentage verklaarde variantie in dit model was 98,6%. De procentuele residuele fouten bij de regressie staan als histogram in Figuur 2.7.



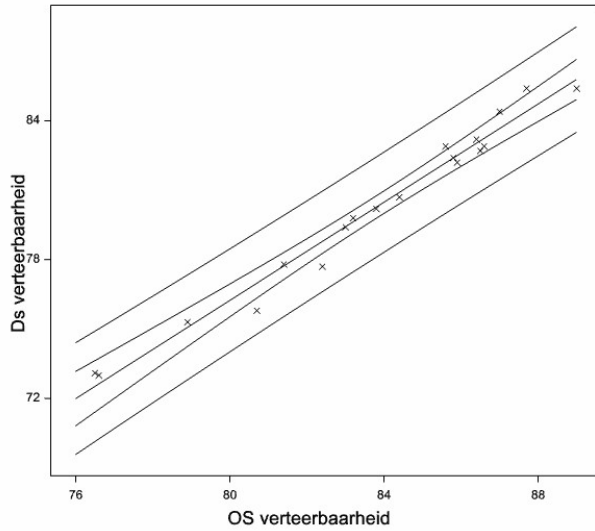
Figuur 2.6. Voorspelde vc-DS uitgezet tegen de vc-OS bij het parallelle lijnen regressiemodel ($vc-DS = ai + b \times vc-OS$).



Figuur 2.7. Histogram van de procentuele residuele fouten (resfout) uit de regressie onder het parallelle lijnen model ($vc-DS = ai + b \times vc-OS$).

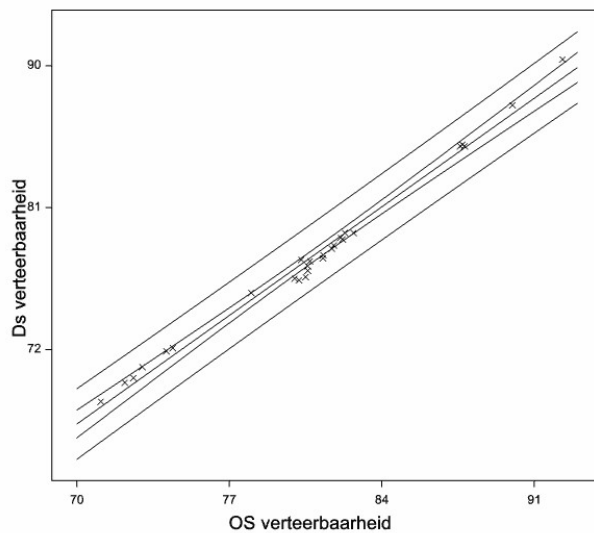
Voor een visuele indruk van de nauwkeurigheid van de gemiddelde vc-DS en van de predictie van de vc-DS van een nieuwe waarneming zijn 95% betrouwbaarheidskrommen voor gemiddelde als individuele waarnemingen berekend. De resultaten van analyse van de zeugen op kooi en van die voor de Zi zeugen zijn weergegeven in Figuur 2.8 resp. 2.9.

Zeugen Z: $vc_DS = -8.65(3.20) + 1.0611(0.0382) * vc_OS$



Figuur 2.8. Gefitte regressielijn voor zeugen op kooi ($vc-DS = -8.65 (\pm 3.20) + 1.0611 (\pm 0.0382) \times vc-OS$; middelste lijn), als 95% betrouwbaarheidskrommen voor de lijn (binnenste krommen) als die voor nieuwe individuele waarnemingen (buitenste krommen).

Zeugen Zi: $vc_DS = -1.56(1.54) + 0.9835(0.0190) * vc_OS$



Figuur 2.9. Gefitte regressielijn voor zeugen Zi ($vc-DS = -1.56 (\pm 1.54) + 0.9835 (\pm 0.0190) \times vc-OS$; middelste lijn), als 95% betrouwbaarheidskrommen voor de lijn (binnenste krommen) als die voor nieuwe individuele waarnemingen (buitenste krommen).

2.7 Conclusie schatting vc-DS uit de vc-OS

Er zijn veel gegevens beschikbaar waaruit de relatie tussen de vc-OS en vc-DS van mengvoeders voor varkens kan worden afgeleid. Dit is gedaan via variantie- en regressieanalyse. Er is een zeer significant effect voor de vc-OS als voorspeller van de vc-DS, terwijl uit de analyse blijkt dat de schatting van de vc-DS bij biggen 0,6%-eenheid hoger is dan bij vleesvarkens. Een dergelijk systematisch effect voor biggen is echter erg klein ten opzichte van het effect van de vc-OS om de vc-DS te voorspellen. Uit de basisgegevens voor biggen en vleesvarkens samen blijkt dat de gemiddelde standaardafwijking van de vc-DS 1,28 is bij een gemiddelde vc-DS van 81,2%. Op grond van deze spreiding, op basis van het feit dat de F-waarde voor het biggeneffect zeer gering is vergeleken met het zeer grote effect van de vc-OS en omdat de bemonstering vooral rond de 30 kg lichaamsgewicht zal plaatsvinden, wordt voorgesteld om voor de verdere berekeningen voor biggen en vleesvarkens formule F2.3 te gebruiken. Deze is:

$$vc-DS = - 6,94 + 1,0563 \times vc-OS.$$

Alhoewel het asgehalte in de DS van het voer ook een significant effect heeft op de voorspelling van de vc-DS is de nauwkeurigheid nauwelijks beter. Bovendien dient het voer daarop geanalyseerd te worden, wat veel extra kosten met zich meebrengt. Daarom wordt voorgesteld het asgehalte niet mee te nemen ter voorspelling van de vc-DS.

Aangezien momenteel zeugen alleen maar in grondhokken gehouden worden kan de schattingsformule F2.5 voor verdere berekeningen voor zeugen worden aangehouden:

$$vc-DS = - 2,97 + 1,0008 \times vc-OS.$$

3 Nauwkeurigheid van de schatting van de verteerbaarheid van de organische stof in varkensvoer aan de hand van de grondstoffensamenstelling van het voer

3.1 Inleiding

Zoals in hoofdstuk 2 is vermeld zijn de gegevens omtrent verteerbaarheid van de grondstoffen weergegeven in de Nederlandse Veevoedertabel van het Centraal Veevoederbureau (CVB, 2007). In deze Veevoedertabel staan gegevens over de verteerbaarheid van de organische stof (vc-OS) van diverse grondstoffen voor varkens. De vc-OS van het voer kan mogelijk goed worden geschat aan de hand van de grondstoffensamenstelling. In dit hoofdstuk staat beschreven hoe nauwkeurig de vc-OS geschat kan worden.

3.2 Materiaal en methoden

Voor dit deel van het onderzoek is gebruik gemaakt van de proeven die beschreven zijn in Hoofdstuk 2. Uit archieven is getracht de precieze grondstoffensamenstelling van deze voeders te achterhalen. Helaas was dat niet voor alle proeven mogelijk. Bij de biggen waren er 31 proeven, maar omdat er 9 proeven met pasgespeende biggen niet zijn meegenomen (te jong) bleven er 22 proeven over bij biggen van 20 tot 30 kg. Bij de vleesvarkens-kooi (V) waren er 80 proeven en bij vleesvarkens indicator (Vi) waren dat er 46. Bij de fokzeugen-kooi (Z) waren er gegevens van slechts 6 proeven geschikt voor ons onderzoek omdat van veel proeven de grondstoffensamenstelling van de voeders niet bekend was. Tenslotte waren er 34 proeven beschikbaar voor de zeugen-indicator (Zi). De vc-OS van de diverse voeders werden berekend met behulp van een hiervoor ontwikkelde rekenfile in Excel. In deze file zijn alle gegevens van de Veevoedertabel (CVB, 2007) opgeslagen. Omdat de kwalificatie van de grondstoffen in de loop van de tijd is veranderd is in veel gevallen aan de hand van de chemische analyse van de grondstof de meest juiste van de huidige Veevoedertabel gekozen. In die gevallen dat er geen specificatie van de grondstof was is de meest waarschijnlijke gekozen. Verder is er nog nagegaan of het berekende eiwitgehalte in het mengvoer dicht in de buurt was van het geanalyseerde eiwitgehalte. Indien het verschil te groot was werd bij een te laag eiwitgehalte bijvoorbeeld een sojaschroot genomen met een hoger gehalte aan ruweiwit. Naast deze gegevens werd tevens het (geanalyseerde) ruwe celstofgehalte (RC) van het mengvoer meegenomen om het verschil in gerealiseerd en geschatte vc-OS van het mengvoer te verklaren. Helaas was niet van alle voeders het RC-gehalte bekend.

Voor onderzoek naar de bepalingfout zijn de verschillen tussen de waargenomen en geschatte vc-OS (Gemeten-Geschat) met ANOVA geanalyseerd onder het model:

$$(vc-OS_{\text{gemeten}} - vc-OS_{\text{geschat}})_{ij} = \mu_i + e_{ij} \quad \text{(M3.1)}$$

Hierin stelt μ_i het verwachte verschil (systematische fout) voor diercategorie i (nl. 1 = big, 2 = vleesvarken kooi, 3 = vleesvarken indicator, 4 = zeug kooi, 5 = zeug indicator) en e_{ij} de

restbijdrage voor voer j in klasse i. Het model neemt aan dat de toevalsbijdrage gemiddeld 0 is en constante variantie gelijk aan σ^2 . Een variant op M3.1 is model 3.2 waarbij de restvariantie niet constant is maar mag verschillen tussen de diercategorieën.

$$(vc - OS_{\text{gemeten}} - vc - OS_{\text{geschat}})_{ij} = \mu_i + e_{ij} \quad \text{(M3.2)}$$

Hierin mag de restvariantie tussen diercategorieën verschillen, i.e. $\text{var}(e_{ij}) = \sigma_i^2$ voor diercategorie i.

Bij de analyse kunnen we ook M3.2 met verschillende restvarianties aanpassen en de nulhypothese van gelijke variantie toetsen tegen alternatief met verschillende restvariantie. Voor aanpassen van M3.2 is de REML-procedure in Genstat gebruikt en een likelihood ratio toets voor toetsen van gelijkheid van variantie. In M3.1 en M3.2 is gebruik gemaakt van de eenvoudigst denkbare error-structuur. Wanneer de voeders in een klasse bestaan uit een aantal basisvoeders plus voor elk basisvoeder een aantal varianten is sprake van variatie tussen basisvoeders en die tussen varianten binnen basisvoeders. Wanneer de tussen basisvoeders variantie niet bestaat of verwaarloosbaar klein is vergeleken bij de binnen variantie kan M3.1 en M3.2 worden gebruikt. De analyseresultaten zijn geldig mits het model de data afdoende beschrijft.

3.3 Resultaten

3.3.1 Algemeen

Een samenvattend overzicht van de belangrijkste kenmerken van de gegevens van dit onderzoek is vermeld in Bijlage 3.1. Uit deze bijlage blijkt dat bij biggen de geschatte vc-OS bij alle voeders hoger is dan de gemeten vc-OS (gemiddeld 3,3%-eenheid). Bij biggen is er dus duidelijk sprake van een overschatting van de vc-OS. Bij vleesvarkens op kooi is de geschatte vc-OS bij alle voeders gemiddeld 1,1%-eenheid hoger dan de gemeten vc-OS en bij de vleesvarkens-indicator is dat gemiddeld 0,5%-eenheid hoger. Bij fokzeugen-indicator is de gemeten vc-OS echter hoger dan de geschatte vc-OS (gemiddeld 0,8%-eenheid). De verschillen in gemeten en geschatte vc-OS bij zeugen kunnen mogelijk verklaard worden omdat er ten behoeve van de Veevoedertabel tot nu toe alleen verteringsproeven met vleesvarkens zijn uitgevoerd; fokzeugen hebben een beter ontwikkeld verteringsstelsel dan biggen en vleesvarkens en kunnen vooral de RC-rijke voeders beter verteren dan biggen en vleesvarkens.

3.3.2 Effect van het ruwe celstofgehalte op verschil in waargenomen en geschatte VC-OS

Om na te gaan of er een verband is tussen verschil in verteerbaarheid (Gemeten-Geschat) en het ruwe celstofgehalte van het voer zijn enkele grafieken gemaakt van deze verschillen (niet getoond). De grafieken laten geen verband zien tussen de VC-OS (Gemeten-Geschat) verteerbaarheid en het ruwe celstofgehalte.

3.3.3 Schattingsfout van de VC-OS op basis van voersamenstelling met de waargenomen VC-OS

Omdat er mogelijk een systematisch verschil is voor de voeders voor biggen, vleesvarkens, zeugen indicator en zeugen op balanskooien is met ANOVA nagegaan of er sprake is van verschillen tussen de klassen van de systematische verschillen voor (Gemeten-Geschat). De schattingen voor de errorvariantie σ_i^2 van de diverse voeders zijn in Tabel 3.1 weergegeven.

Tabel 3.1. Schattingen voor de residuele variantie σ_i^2 van de diverse voeders.

Voeder	Variantie	s.e.
Biggen	4.115	1.270
Vleesvarkens indicator	2.596	0.547
Vleesvarkens balanskooi	4.335	0.690
Zeugen indicator	3.090	0.761
Zeugen balanskooi	4.003	2.531

De REML-likelihood ratio toetsingsgrootte bedraagt 4.19 met 4 vrijheidsgraden. Refererend aan een chi-kwadraatverdeling met 4 vrijheidsgraden geeft deze toets geen significante verschillen aan. Op grond hiervan lijkt het niet constant zijn van de errorvariantie niet belangrijk. Daarom is vervolgens ANOVA onder model (3.1) uitgevoerd. De schatting voor de gepoolde residuele variantie was $\hat{\sigma}^2 = 3.65$. De berekende P-waarde van de F-toets voor verschillen tussen de voederklassen ($P < 0.001$) laat zien dat sprake is van significante verschillen tussen de voederklassen. Vervolgens zijn alle paarsgewijze verschillen in gemiddelden getoetst met een 2-zijdige t-toets met onbetrouwbaarheid $\alpha = 0.05$. Het resultaat is in Tabel 3.2. weergegeven.

Tabel 3.2. Toetsing paarsgewijze verschillen in vc-OS waargenomen (Gemeten) en geschat (Geschat) tussen de voederklassen.

Voederklasse	Vershil (Gemeten-Geschat)	Significantie
Biggen	-3.290	a
Vleesvarkens indicator	-0.505	b
Vleesvarkens balanskooi	-1.155	b
Zeugen indicator	0.754	c
Zeugen balanskooi	3.122	d

Tabel 3.2 laat zien dat het gemiddelde verschil tussen de vc-OS (Gemeten-Geschat) bij biggen significant groter is dan bij de overige voederklassen (gemiddeld 3,3%-eenheid). Dit kan mogelijk verklaard worden omdat verteringsproeven met grondstoffen uitgevoerd worden met vleesvarkens; het verteringsstelsel is bij biggen nl. nog niet volledig ontwikkeld. Voor de vleesvarkens is er geen verschil in vc-OS (Gemeten-Geschat) bij zowel indicator als balanskooi. Aangezien vleesvarkens in de praktijk in grondhokken worden gehouden moeten we vooral kijken naar de schattingen van vleesvarkens met indicator. Het verschil tussen vc-OS (Gemeten-Geschat) is slechts 0,5 %-eenheid, dus is er qua bias een nauwkeurige schatting van de vc-OS mogelijk. De

gemiddelde verschillen van de vleesvarkensklassen zijn significant verschillend van die voor de zeugenklassen. Bij de zeugen is de vc-OS (Gemeten-Geschat) positief hoger (d.w.z. een onderschatting van de gemeten vc-OS), wat verklaard kan worden door het beter ontwikkelde verteringsapparaat. Voor de Veevoedertabel zijn tot nu toe nl. alleen verteringsproeven met vleesvarkens uitgevoerd; fokzeugen kunnen vooral de RC-rijke voeders beter verteren dan vleesvarkens.

Ook zijn de gemiddelde verschillen tussen de twee zeugenvoederklassen significant verschillend van elkaar. Hieraan moet echter niet al te veel betekenis worden toegekend omdat er bij de zeugen op de kooi slechts zes waarnemingen waren.

De predicties voor de gemiddelden, de standaarderror (SE) voor deze predicties en een benaderend 95 % betrouwbaarheidsinterval (gemiddelde \pm 2 x SE) voor de gemiddelde verschillen μ_i uit model(3.1) zijn in Tabel 3.3 weergegeven.

Tabel 3.3. Predicties voor de gemiddelde verschillen tussen de waargenomen en geschatte vc-OS, de standaarderror (SE) en 95 % betrouwbaarheidsinterval (BI) voor de gemiddelde verschillen μ_i uit model 3.1.

Voederklasse	Aantal waarnemingen	Gemiddelde	SE	95% BI
Biggen	22	-3.290	0.4072	-4.10, -2.48
Vleesvarkens indicator	46	-0.505	0.2816	-1.07, 0.06
Vleesvarkens balanskooi	80	-1.155	0.2136	-1.38, -0.73
Zeugen indicator	34	0.754	0.3276	0.10, 1.41
Zeugen balanskooi	6	3.122	0.7798	1.56, 4.68

Op grond van deze betrouwbaarheidsintervallen (Tabel 3.3) kan geconcludeerd worden dat alleen voor vleesvarkens indicator het gemiddelde verschil μ_i niet significant van 0 verschilt. Voor de zeugenvoeders is sprake van een systematisch hogere waargenomen VC-OS vergeleken met de op basis van de voersamenstelling berekende verteerbaarheid. Voor de overige voeders is sprake van een systematisch lagere waargenomen VC-OS vergeleken met de op basis van de voersamenstelling berekende verteerbaarheid. Omdat er slechts zes waarnemingen zijn voor de zeugen op balanskooien en omdat zeugen in de praktijk alleen maar in grondhokken gehuisvest zijn, wordt er in het vervolg geen aandacht meer geschonken aan deze voederklasse.

3.4 Conclusie

Op grond van de resultaten in dit hoofdstuk kan de conclusie getrokken worden dat op basis van de gegevens in de Veevoedertabel (2007) de vc-OS geschat ten opzichte van de waargenomen vc-OS:

- De gemeten vc-OS in voeders voor biggen van 20 tot 30 kg significant lager is (3,3 (se=0.4)%-eenheid) dan de geschatte waarde. Tevens is de overschatting bij biggen duidelijk groter dan die voor de overige klassen. Voor biggen van 10 tot 20 kg is het verschil nog groter;

- Voor de vleesvarkens er geen significante verschillen zijn tussen de indicatormethode en de kooimethode en dat de geschatte vc-OS bij vleesvarkens met indicator slechts 0,5 %- eenheid lager is dan de waargenomen vc-OS;
- De gemiddelden van de vleesvarkensklassen significant verschillen van die voor de zeugenklassen;
- Er tevens significante verschillen zijn in de gemiddelden van de twee zeugenvoederklassen van elkaar;
- De onnauwkeurigheid van de geschatte vc-OS bestaat uit bias en variantie.

De verteerbaarheid van de OS kan vrij nauwkeurig geschat worden uit de gegevens in de Veevoedertabel, maar er moet rekening gehouden worden met een overschatting voor biggen tot 30 kg (ca. 3%-eenheden) en een onderschatting voor fokzeugen die in grondhokken worden gehouden (ca. 0,8 %-eenheden (se=0.3)).

4 Schatting van de spreiding en variabiliteit in koper- en zinkgehalte in de feces tussen varkenshokken

4.1 Inleiding

In hoofdstuk 2 is beschreven hoe betrouwbaar de vc-DS geschat kan worden uit de verteerbaarheid van de organische stof (vc-OS). In dit deel wordt de vraag beantwoord hoe groot de tussenhokvariabiliteit is in het Cu- en Zn-gehalte in de DS van de feces van varkens. Op grond hiervan kan een voorstel worden gedaan hoeveel hokken met varkens op een bedrijf bemonsterd en geanalyseerd moeten worden om tot een verantwoorde steekproef te komen opdat overschrijding van de maximaal toelaatbare gehalten groter dan een vastgestelde waarde Δ met een hoge mate van waarschijnlijkheid statistisch kan worden aangetoond.

4.2 Materiaal en methoden

Als basis voor de berekeningen dienden verteringsproeven die vanaf het jaar 2000 op Wageningen UR Livestock Research zijn uitgevoerd, waarbij naast het volledige mengvoer ook de feces zijn geanalyseerd op het Cu- en Zn-gehalte.

Deze proeven hebben betrekking op proeven met vleesvarkens, biggen en fokzeugen. De proeven met biggen hebben alleen betrekking op dieren in groepshokken; die met vleesvarkens en fokzeugen werden op individuele basis uitgevoerd. De volgende soorten proeven werden uitgevoerd:

- a. Vleesvarkens (55-120 kg) die in individuele grondhokken waren gehuisvest. Feces werden op twee dagen verzameld (grab sampling) vanaf de vloer van het varkenshok dat de avond voor bemonstering van de feces was schoongemaakt. Via een indicator (Cr_2O_3) is de verteerbaarheid uitgerekend. In deze groep is er één experiment uitgevoerd, welke de code **GF** heeft.
- b. In grondhokken, waar biggen (8-40 kg) in groepen van 4 of 7 gehuisvest werden, zijn 3 experimenten uitgevoerd. Feces werden op twee dagen gedurende 1 à 2 uur in de ochtend en middag verzameld (grab sampling). Ook hier geldt dat de avond voor bemonstering van de feces de vloer was schoongemaakt. Via een indicator (Cr_2O_3) is de verteerbaarheid uitgerekend. Deze proeven hebben de code **B**.
- c. In grondhokken, waar fokzeugen (>200 kg) individueel gehuisvest waren, zijn drie experimenten uitgevoerd. Feces werden op twee dagen gedurende 1 à 2 uur in de ochtend en middag verzameld (grab sampling) via rectale stimulatie. Via een indicator (Cr_2O_3) is de verteerbaarheid uitgerekend. Deze proeven hebben de code **Z**.

Gegevens van al deze verteringsproeven zijn ingevoerd in een Excel-file. Dit betreft de chemische samenstelling van het voer (gehalte aan DS, OS, as, ruw eiwit, ruw vet, ruwe celstof, zetmeel, suiker, overige koolhydraten (OK) en niet-zetmeel koolhydraten (NSP), calcium, fosfor, magnesium, natrium, kalium, koper, zink en ijzer) en de verteerbaarheid van DS en OS per voer evenals de gehalten aan Cu en Zn in de feces.

Een overzicht van de belangrijkste kenmerken van de proeven in de onderscheiden dier-categorieën is weergegeven in Tabel 4.1. Deze tabel laat zien dat er gegevens zijn van 7 proeven en dat elke proef twee tijdstippen (series) omvatte die met dezelfde dieren werden uitgevoerd. Het leeftijdsverschil van de dieren in de twee tijdstippen was gemiddeld drie weken. Binnen elke serie varieerde het aantal proefbehandelingen tussen de 6 en 10 voor de biggen en vleesvarkens en voor de fokzeugen van 4 tot 6. Het aantal herhalingen varieerde per behandeling tussen 4 tot 8. In twee proeven met biggen was het Cu-gehalte in de voeders tussen de 111 en 134 mg/kg voer en in de derde biggenproef 19 mg/kg voer. Het Cu-gehalte in de voeders voor vleesvarkens en fokzeugen was tussen de 16 en 29 mg/kg. Het Zn-gehalte in alle voeders schommelde rond de 100 mg/kg, met uitzondering van de derde biggenproef waar dit gehalte 66 mg/kg voer was.

Tabel 4.1. Enkele gegevens van de onderscheiden experimenten.

Proef	1	2	3	4	5	6	7
Proefcode	FA1	FA2	SA3	RN4	RN1	RN2	RN3
Diercategorie	Big	Big	Big	Vleesvarken	Fokzeug, lactierend	Fokzeug, dracht	Fokzeug, dracht
Aantal tijdstippen	2	2	2	2	2	2	2
Aantal voeders	10	10	6	6	5	4	6
Aantal hokken per behandeling	4	4	4	8	6	6	6
Aantal dieren per hok	7	7	4	1	1	1	1
Begingewicht, kg	8	8	7	55	229	200	215
Eindgewicht, kg	24	27	40	120	243	232	254
Cu, mg/kg voer	117-133	111-134	19	16	25	29	23
Zn, mg/kg voer	113-116	111-127	66	97	101	109	100

Het hok was de experimentele eenheid. De verzamelde feces werden binnen een serie per hok over de twee opeenvolgende bemonsteringsdagen gepoold en voor analyse aangeboden. De monsters van het voer en feces werden geanalyseerd op het Chemisch en Endocrinologisch laboratorium van Wageningen UR Livestock Research in Lelystad. De fecesmonsters werden gedroogd bij 70 °C of gevriesdroogd en vervolgens geanalyseerd op het DS-gehalte en het Cu- en Zn-gehalte. Droge stof, as, ruw eiwit, ruw vet en ruwe celstof werden in de voeders geanalyseerd na luchtdrogen volgens AOAC procedures (1984). De gehalten aan Cu en Zn werden bepaald met inductief gekoppeld plasma atoomemissie spectrometrie (ICP-AES). Op basis van de chemische analyses werd het Cu- en Zn-gehalte in de feces omgerekend in de DS.

Met behulp van variantieanalyse is op basis van bovenstaande gegevens uitgerekend hoe groot de tussenhokvariabiliteit is. Hiertoe werden de volgende modellen gebruikt:

Respons = constante + serie + behandeling + serie x behandeling + e,

waarbij respons = responsvariabele (Cu- en Zn- gehalte in de feces);

constante = de constante of overall gemiddelde;

serie = effect van serie binnen een proef;

behandeling = effect van behandeling;

serie x behandeling = interactie tussen de serie en behandeling;

e = de restbijdrage van het model.

Bij het model is aangenomen dat de restbijdragen onafhankelijk normaal verdeeld zijn met verwachtingswaarde 0 en errorvariantie gelijk aan σ^2 .

Daarnaast is het model getoetst zonder de interactie tussen serie x behandeling.

4.3 Resultaten

De variantieanalyse gaf aan dat de interactie tussen serie x behandeling volgens de F-toets niet significant was ($P > 0.05$). Op grond hiervan zijn de resultaten van de analyse onder het model zonder deze interactie uitgevoerd. In Tabel 4.2 zijn de belangrijkste uitkomsten van de variantieanalyses onder het model zonder interactie gepresenteerd.

Tabel 4.2 laat zien dat de schattingen voor de variatiecoëfficiënten voor het gehalte aan Cu en Zn in de DS van feces in de range zijn van 4,2 tot 10,6 resp. 3,1 tot 10,3. De variatiecoëfficiënten in de experimenten met biggen zijn lager dan die van vleesvarkens en zeugen, wat verklaard kan worden omdat er zeven of vier biggen per hok waren gehuisvest in plaats van één dier in het geval van de vleesvarkens en fokzeugen. Er zij uitdrukkelijk vermeld dat de geschatte variatiecoëfficiënten gelden voor de proeven die op Livestock Research zijn uitgevoerd en geanalyseerd.

Tabel 4.2. Error variantie tussen hokken, gemiddelde gehalte in feces en variatiecoëfficiënt voor het Cu- en Zn-gehalte in de DS van de feces met het model zonder interactie.

Element	Expt. nr.	Diercategorie	Aantal dieren per hok	Gehalte, g/kg voer	Gemiddeld gehalte in feces, mg/kg DS	Errorvariantie σ^2 tussen hokken	Variatie-coëfficiënt (%)
Cu	1	Big	7	126	742	1579	5,4
Cu	2	Big	7	121	913	1498	4,2
Cu	3	Big	4	19	178	125	6,3
Cu	4	Vleesvarken	1	16	101	89	9,2
Cu	5	Fokzeug	1	25	123	68	6,7
Cu	6	Fokzeug	1	29	147	126	7,6
Cu	7	Fokzeug	1	23	94,5	101	10,6
Zn	1	Big	7	114	649	1276	5,5
Zn	2	Big	7	116	798	618	3,1
Zn	3	Big	4	66	649	1451	5,9
Zn	4	Vleesvarken	1	97	556	1441	6,8
Zn	5	Fokzeug	1	101	536	1653	7,6
Zn	6	Fokzeug	1	109	537	2134	8,6
Zn	7	Fokzeug	1	100	390	1599	10,3

Verder laat Tabel 4.2 zien dat de variatiecoëfficiënten voor Cu in de eerste twee experimenten met een hoog Cu-gehalte in het voer bij biggen vrijwel dezelfde variatiecoëfficiënten geeft als in de derde proef met biggen met een veel lager Cu-gehalte in het voer. Ook voor Zn kan dezelfde conclusie worden getrokken, dat de variatiecoëfficiënt onafhankelijk is van het Cu- en Zn-gehalte

in het voer. De variatiecoëfficiënten bij de vleesvarkens en fokzeugen zijn iets hoger dan bij de biggen. Waarschijnlijk kan dit verklaard worden doordat bij de biggenproeven 4 tot 7 dieren in een hok waren, terwijl voor de vleesvarkens en fokzeugen er maar een dier per hok aanwezig was. Door een poolmonster van meerdere dieren per hok wordt de variantie verkleind.

Er is ook nagegaan of een opsplitsing in de tijdstippen binnen een proef effect heeft op de hoogte van de variatiecoëfficiënt. De resultaten hiervan staan in Bijlage 4.1. Uit Bijlage 4.1 blijkt dat er geen aanzienlijke verschillen lijken te zijn in variatiecoëfficiënten tussen tijdstip 1 en tijdstip 2. Er moet opgemerkt worden dat de hier vermelde variatiecoëfficiënt diverse fouten bevat, dus niet alleen de tussenhokverschillen, maar ook de bemonsteringsfout en de analysefout. Per laboratorium kunnen deze fouten variëren.

Met behulp van de variatiecoëfficiënten voor het Cu- en Zn-gehalte in de DS van de feces kan de gewenste grens van het gehalte vastgesteld worden. Boven deze grens kan met grote zekerheid gesteld worden dat het maximaal toegelaten gehalte aan Cu of Zn in het voer overschreden is en dat, als het volledig mengvoer in orde is, zeer waarschijnlijk additioneel Cu en Zn is verstrekt.

In de praktijk worden varkens in groepen gehuisvest. In bovenstaande berekeningen werden alleen de biggen in groepen gehuisvest. In de praktijk is het aantal biggen en vleesvarkens per hok minimaal 10, zodat er een meer representatief fecesmonster van meer dieren kan worden verkregen vergeleken met de 4 of 7 dieren in een hok zoals in de proeven van ASG. Hierdoor zal de variatiecoëfficiënt iets lager zijn.

4.4 Conclusie toelaatbare spreiding in gehalte aan Cu en Zn in de DS van de feces

Er is op Wageningen UR Livestock Research een beperkt aantal proeven uitgevoerd waarin het gehalte aan Cu en Zn in de feces vastgesteld is. Op grond van deze gegevens is het mogelijk de spreiding in Cu- en Zn-gehalte in de DS van de feces tussen varkenshokken te schatten. Op basis van de statistische analyses blijkt deze spreiding tussen hokken verrassend klein te zijn. De geschatte variatiecoëfficiënten voor Cu- en Zn-gehalten in de feces DS bevatten eveneens bemonsterings- en analysefouten van de fecesmonsters. Voor Cu en Zn varieerde de variatiecoëfficiënt voor dieren in groepshuisvesting van respectievelijk 4,2% tot 6,3% en van 3,1% tot 5,9%. Voor dieren die individueel gehuisvest waren, varieerde de variatiecoëfficiënt respectievelijk van 6,7% tot 10,6% en van 6,8% tot 10,3%. Bij individueel gehuisveste varkens is de variatiecoëfficiënt dus hoger dan bij varkens in groepshuisvesting.

5 Verdeling uitscheiding van Cu en Zn in feces en urine bij varkens

5.1 Inleiding

Voor het goed kunnen schatten van het Cu- en Zn-gehalte in mest aan de hand van het gehalte in het voer, en ook andersom, is het van belang te weten hoeveel van de uitgescheiden hoeveelheid van het mineraal met de urine wordt uitgescheiden. Hiervoor moet nl. worden gecorrigeerd als we alleen de feces bemonsteren. Daarom is een literatuurstudie uitgevoerd om de verdeling van de Cu- en Zn-uitscheiding in de feces en urine van varkens te kwantificeren.

5.2 Resultaten

Alhoewel er enkele proeven zijn met synthetische voeders zijn deze niet in onze berekeningen meegenomen. Deels is dat omdat ze sterk afwijken van praktijkvoeders en ook omdat er in deze voeders vaak zeer lage gehalten aan Cu en/of Zn werden gebruikt. Voor Cu betrof dat een proef van Okwonko et al. (1979) en voor Zn waren dat proeven van Whitenack en Whitehair (1978), Hankins et al. (1985) en Bobilya et al. (1991). In totaal waren er voor Cu slechts drie geschikte referenties voor het berekenen van de verdeling van de totale uitscheiding via de feces en urine met in totaal 13 behandelingen (Roof en Mahan, 1982; Adeola, 1995; Apgar en Kornegay, 1996).

Voor Zn waren er negen geschikte referenties voor het berekenen van de verdeling van de totale uitscheiding via de feces en urine met in totaal 64 waarnemingen (Adeola et al., 1995; Apgar en Kornegay, 1996; Buff et al., 2005; Damgaard-Poulsen en Larsen, 1995; Hap en Zeman, 1994; Martinez et al., 2005; Morgan et al., 1969; Revy et al., 2002, 2004). Wat betreft het onderzoek van Martinez et al. (2005) is de laatste meetperiode niet meegenomen omdat er werd gewisseld van alle behandelingen naar een laag Zn-gehalte in het voer, waardoor er sterke nawerkingseffecten optreden.

Er is naast de gemiddelde verdeling van de uitscheiding ook nagegaan of de verdeling over feces en urine beïnvloed wordt door het gehalte aan Cu of Zn in het voer. De resultaten voor Cu staan vermeld in Tabel 5.1, terwijl in Bijlage 5.1 meer details staan.

Tabel 5.1. Verdeling van de uitscheiding van Cu via de feces en urine (%) bij varkens.

Item	Cu, mg/kg voer	% in feces	% in urine
Aantal waarnemingen	13	13	13
Minimum	5	96.0	0.1
Maximum	250	100.0	4.0
Gemiddeld	105	99.0	1.0
Mediaan	58	99.4	0.6

Uit Bijlage 5.1 blijkt dat bij voeders met een Cu-gehalte kleiner dan 25 mg/kg voer 2,2% van de totale Cu-uitscheiding in de urine komt, terwijl bij gehalten boven 25 mg Cu/kg voer dat 0,5% is. Het aantal waarnemingen is voor elke categorie echter zo gering dat we voor verdere berekeningen uitgaan van het gemiddelde van 1% wat met de urine wordt uitgescheiden.

In Tabel 5.2 is de gemiddelde verdeling van Zn over feces en urine bij varkens weergegeven, terwijl meer details in Bijlage 5.2 staan vermeld.

Tabel 5.2. Verdeling van de gemiddelde uitscheiding van Zn via de feces en urine (%) bij varkens.

Item	Zn, mg/kg voer	% in feces	% in urine
Aantal waarnemingen	59	59	59
Minimum	27	92.3	0.1
Maximum	4842	100.0	7.7
Gemiddeld	513	98.0	2.0
Mediaan	125	98.4	1.6

Uit Bijlage 5.2 blijkt dat naarmate het Zn-gehalte in het voer toeneemt het percentage van de uitscheiding via de urine afneemt. Gemiddeld komt 2,0% van de uitscheiding in de urine terecht. Aangezien voeders niet meer dan 150 mg/kg mogen bevatten en de ondergrens in Zn-gehalte 50 mg/kg voer is, gaan we voor verdere berekeningen uit van gemiddeld 1,6% wat met de urine wordt uitgescheiden.

5.3 Conclusies

Er wordt relatief erg weinig Cu en Zn via de urine van varkens uitgescheiden. Gemiddeld onder fysiologische omstandigheden wordt van de totale uitscheiding aan Cu en Zn, 1,0 resp. 1,6% uitgescheiden. Hiermee kan via het gehalte in de feces aan deze mineralen het gehalte in het voer nauwkeurig geschat worden.

6 Gehalten aan koper en zink in het voer en de retentiepercentages hiervan in varkens

6.1 Inleiding

Voor het berekenen van de retentie aan Cu en Zn in het varken is het gewenst om deze gehalten in het dier te kennen. Er zijn vrij veel gegevens over het Cu- en Zn-gehalte in het vlees en ook van het Cu-gehalte in de lever. Echter van de gehalten aan Cu en Zn in het hele dier zijn weinig gegevens voorhanden. Er is dan ook een literatuurstudie uitgevoerd om de betreffende gegevens boven tafel te krijgen.

6.2 Resultaten

Vaak is het Cu-gehalte in het varken zo laag dat deze onder de detectiegrens is. Gegevens van het Cu- en Zn-gehalte in varkens zijn gemeld door Jongbloed (1987), Jongbloed et al. (2002a), Jongbloed et al. (2002b), Kirchgessner et al. (1994) en Wiseman et al. (2009). Gegevens van pasgeboren biggen zijn niet in dit overzicht meegenomen omdat die niet als representatief voor de vraagstelling worden beschouwd. Voor het berekenen van de gemiddelde gehalten is geen rekening gehouden met het levend gewicht, welke in de dataset varieerde van 4 tot 125 kg (Tabel 6.1).

Tabel 6.1. Gehalten aan Cu en Zn in een varken (mg/kg levend gewicht).

	Aantal waarnemingen	Gemiddelde	Standaard-afwijking	Minimum	Maximum
Cu	16	0,94	0,23	0,69	1,48
Zn	22	18,2	2,60	14,9	23,3

Uit Tabel 6.1 blijkt dat het gemiddelde Cu-gehalte in een varken van bijna 1,0 mg/kg levend gewicht erg laag is. Het Zn-gehalte in een varken is aanmerkelijk hoger dan het Cu-gehalte en is gemiddeld 18,2 mg/kg levend gewicht.

De gemiddelde Cu- en Zn-gehalten in Tabel 6.1 zijn vervolgens gebruikt voor het berekenen van het retentiepercentage voor deze mineralen in vleesvarkens van 25 tot 115 kg, waarbij dezelfde rekensystematiek is gevolgd als voor het berekenen van de forfaitaire uitscheiding voor N en P (Jongbloed en Kemme, 2005). Er is van uitgegaan dat vleesvarkens 20 kg startvoer krijgen met 170 resp. 150 mg/kg aan Cu en Zn en daarna tot de slacht nog 228 kg ander mengvoer met 25 resp. 150 mg/kg aan Cu en Zn. Op grond van deze uitgangspunten is het retentiepercentage voor Cu en Zn 1,0 resp. 4,6. Omdat niet alle voeders het maximaal toelaatbare gehalte aan Cu en Zn bevatten wordt voor verdere berekeningen uitgegaan van een retentiepercentage voor Cu van 1,1 (uitgaande van 20 mg Cu/kg voer) en voor Zn van 5,5 (uitgaande van 125 mg Zn/kg voer). Indien varkens van opleg tot slachten 170 mg Cu/kg voer zouden krijgen is het retentiepercentage slechts 0,2%.

7 Validatie van de schatting van het koper- en zinkgehalte in het voer vanuit de feces

De studies zoals weergegeven in de voorgaande hoofdstukken werden voornamelijk uitgevoerd aan de hand van voeders in verteringsproeven vanaf 1970 op Wageningen UR Livestock Research. Daarom is tot een actuele validatie besloten door in de zomer van 2008 feces van diverse categorieën varkens te bemonsteren en te analyseren.

7.1 Materiaal en methode

Het aanvullende onderzoek is uitgevoerd op twee bedrijven, waar bemonstering van zowel mengvoer, drinkwater en feces bij diverse categorieën varkens heeft plaatsgevonden. Van deze dieren waren zowel de leeftijd als de grondstoffensamenstelling van het verstrekte voer bekend (Tabel 7.1). Er mocht in geen geval op het moment van bemonstering van de feces nog een ander voer verstrekt zijn en ook geen Cu en Zn via het drinkwater ter beschikking staan. Bovendien moesten de dieren minstens drie dagen het betreffende voer hebben gekregen. De twee geselecteerde bedrijven waren het Praktijkcentrum Sterksel (Wageningen UR Livestock Research) en het varkensbedrijf in Lelystad (Van Beek vof). In het vervolg worden deze bedrijven met A resp. B aangeduid.

Bij het verzamelen van de voermonsters zijn kopieën gemaakt van de labels van het zak- of bulkgoed om vast te leggen om welk voer het precies ging. Dit was nodig voor correspondentie met de mengvoederfabrikant omtrent de precieze grondstoffensamenstelling van de betreffende voeders.

Tabel 7.1. Schema van bemonstering van voeders, feces en water.

Categorie	Soort voer	Tijdstip
Biggen	Speenvoer	ca. 10 dagen na spenen
Biggen	Biggenopfokvoer	ca. 4 weken na spenen
Vleesvarkens	Startvoer	ca. 1 week na opleg
Vleesvarkens	Afmestvoer	ca. 90 kg
Fokzeugen	Dracht	ca. 70-90 dagen dracht
Fokzeugen	Lactatie	ca. 3 weken na werpen

Alle voermonsters zijn geanalyseerd op luchtdroge stof (LDS) in simplo, en in duplo op droge stof (DS), as, Cu en Zn. Op bedrijf A zijn drie watermonsters genomen en op bedrijf B vier. Voor wat betreft biggen en vleesvarkens zijn de fecesmonsters als vers monster (grab-sampling) uit twee willekeurige hokken in dezelfde afdeling genomen. Er is naar gestreefd zoveel mogelijk verse feces te verzamelen. Wanneer dat erg lastig bleek is tevens vers-uitziende feces van de vloer/roosters genomen. Bij de biggen en varkens zijn per hok feces van minimaal 3 tot 4 dieren genomen, waarna deze monsters werden gepoold tot één monster. Van de drachtige zeugen die in groepshuisvesting werden gehouden zijn van twee verschillende groepen feces genomen van drie tot vier dieren per groep en werden deze mestmonsters per groep tot één monster gepoold. Van de lacterende zeugen die individueel in kraamhokken waren gehuisvest, zijn ook van twee

verschillende afdelingen feces genomen van drie tot vier dieren per afdeling en werden deze fecesmonsters per afdeling tot één monster gepoold. Reden om twee hokken te nemen was om inzicht te krijgen in de herhaalbaarheid van de hokken. De mestmonsters zijn getransporteerd en vervolgens in diepvries opgeslagen bij het C&E laboratorium van Wageningen UR Livestock Research totdat chemische analyse plaatsvond.

Bij de voerleveranciers is van de betreffende voeders de precieze grondstoffensamenstelling opgevraagd (vertrouwelijk beschikbaar gesteld).

Vervolgens zijn de volgende stappen ondernomen:

1. Aan de hand van de grondstoffensamenstelling is via de waarden omtrent verteerbaarheid van de organische stof (vc-OS) in de CVB-tabel (2008) van deze grondstoffen geschat wat de vc-OS van het mengvoer zou zijn.
2. De geschatte vc-OS is vervolgens omgerekend naar de vc-DS met de volgende formules:
Voor biggen en vleesvarkens: $vc-DS = - 6,94 + 1,0563 \times vc-OS$ **F2.3**
Voor fokzeugen: $vc-DS = - 2,97 + 1,0008 \times vc-OS$ **F2.5**
3. De analyseresultaten van de voeders en feces zijn omgerekend naar gehalten in de DS.
4. Vervolgens is vanuit het gehalte aan Cu en Zn in de feces en de vc-DS een omrekening gemaakt naar het gehalte in een voer met een DS-gehalte van 880 g/kg voer. De volgende berekeningsformule is gebruikt voor het gehalte in vers voer (F7.1):

$$\text{Gehalte in voer} = \text{gehalte-feces} \times (100/(100-U)) \times (100/(100-R)) \times ((100-vc-DS)/100) \times \text{DSvers} \times 0.001 \quad \mathbf{F7.1}$$

waarbij het gehalte in het voer in mg/kg vers, het gehalte in de feces in mg/kg DS, U = % in urine, R = retentie%, vc-DS in %, DS vers (880 g/kg voer). Voor Cu is U = 1,0 en R = 1,1, en voor Zn is U = 1,6 en R = 5,5. In dit verband kan ook verwezen worden naar Schema 1.1.

7.2 Resultaten

De analyses in het drinkwater gaven waarden onder het detectieniveau voor Cu (<0,03 mg/l). Ook Zn was niet aantoonbaar aanwezig in de watermonsters. Analyseresultaten van de voeders en de feces zijn samengevat weergegeven in Tabel 7.2 en gedetailleerd in Bijlage 7.1.

Uit Tabel 7.2 blijkt dat het speen- en opfokvoer een hoog Cu-gehalte bevatten; wettelijk mag het voer voor biggen tot 12 weken leeftijd 170 mg/kg bevatten. Het startvoer dat een week na opleg werd bemonsterd bevat op bedrijf A 114 mg Cu/kg en op bedrijf B 160 mg Cu/kg. Het zou kunnen dat bij bedrijf A een geleidelijke overgang van een voer van een hoog naar een laag Cu-gehalte wordt nagestreefd, zodat het Cu-gehalte duidelijk lager is dan 170 mg/kg. Het voer voor de overige categorieën dieren bevat ca. 25 mg Cu/kg, maar het Cu-gehalte in het vleesvarkensvoer op bedrijf A is met 38 mg/kg duidelijk te hoog. Het Zn-gehalte in de voeders is in de range van 124 tot 152 mg/kg en voldoet aan de wettelijke eis dat het gehalte niet hoger mag zijn dan 150 mg/kg.

Tabel 7.2. Analyses in voer en feces.

Voer	Bedrijf	Voer				Feces		
		DS, g/kg	As, g/kg	Cu, mg/kg	Zn, mg/kg	As, g/kg DS	Cu, mg/kg DS	Zn, mg/kg DS
Speenvoer	A	888.0	51.4	159	149	112.9	861	787
Opfokvoer	A	895.5	51.5	149	133	115.2	800	668
Startvoer	A	871.2	47.0	114	133	142.2	789	807
Vleesvarkensvoer	A	882.1	46.5	38	152	134.5	212	837
Dragend-zeugenvoer	A	896.2	55.3	29	129	155.3	129	529
Lacto-zeugenvoer	A	888.2	55.7	21	124	196.6	145	768
Speenvoer	B	881.3	50.5	134	120	115.4	659	660
Opfokvoer	B	874.5	51.3	151	128	126.7	783	717
Startvoer	B	882.5	56.9	159	113	134.9	780	751
Vleesvarkensvoer	B	889.4	48.7	20	150	146.0	121	777
Dragend-zeugenvoer	B	884.6	62.4	27	136	148.8	104	602
Lacto-zeugenvoer	B	884.5	64.0	25	130	199.6	139	687

Tabel 7.3. Verteerbaarheden van de voeders en geschat gehalte aan Cu en Zn in voer vanuit de feces (cor. = vc-OS berekend - 3.3).

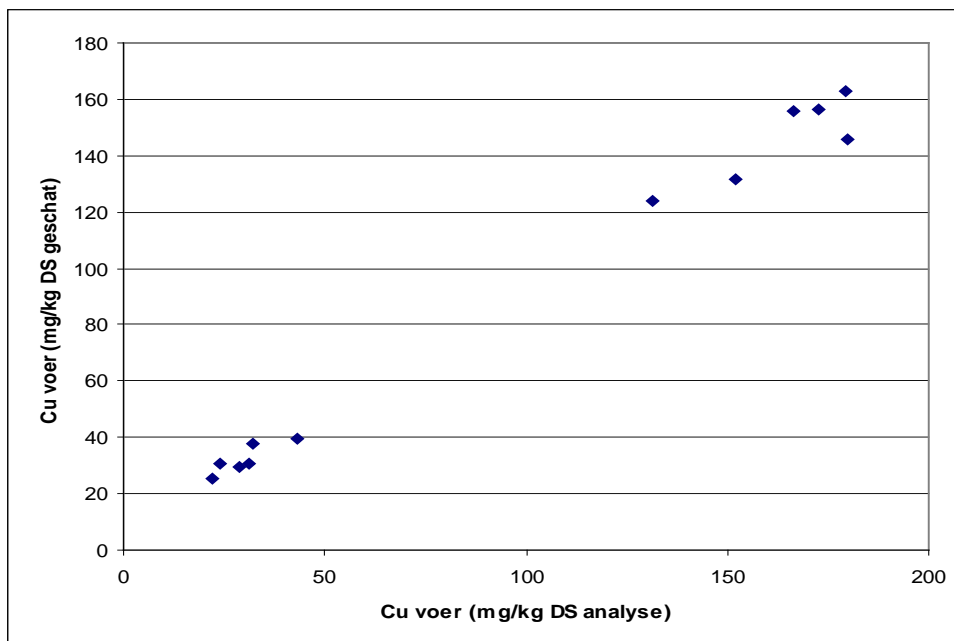
Soort voer	Be-drijf	vc-OS, % berekend	vc-DS, % geschat	Geschat gehalte in voer op basis van feces		Verschil geanalyseerd minus geschat	
				Cu, mg/kg voer	Zn, mg/kg voer	Cu (mg/kg DS voer)	Zn (mg/kg DS voer)
Speenvoer	A	87.0	84.9	116	112	47	41
Speenvoer-cor.	A	83.7	81.5	143	138	17	11
Opfokvoer	A	86.5	84.5	112	98	39	37
Opfokvoer-cor.	A	83.2	81.0	137	120	11	12
Startvoer	A	86.7	84.7	109	117	8	20
Vleesvarkensvoer	A	84.1	81.8	35	144	4	9
Dragend-zeugenvoer	A	74.4	71.4	33	143	-6	-18
Lacto-zeugenvoer	A	82.3	79.4	27	150	-6	-30
Speenvoer	B	86.0	83.9	95	100	44	23
Speenvoer-cor.	B	82.7	80.4	116	122	21	-2
Opfokvoer	B	86.0	83.9	113	109	44	22
Opfokvoer-cor.	B	82.7	80.4	138	133	16	-5
Startvoer	B	83.9	81.7	128	130	34	-20
Vleesvarkensvoer	B	82.1	79.8	22	149	-3	0
Dragend-zeugenvoer	B	74.3	71.4	27	163	0	-31
Lacto-zeugenvoer	B	82.2	79.0	26	135	-1	-6

Er is een groot verschil in het Cu-gehalte in de feces: het gehalte varieert van 104 mg/kg DS tot 861 mg/kg DS. De variatie in het Zn-gehalte in de feces ligt in de range van 529 tot 837 mg/kg DS.

In Tabel 7.3 is de geschatte vc-OS van de voeders vermeld, evenals de geschatte gehalten aan Cu en Zn in de voeders uit de samenstelling van de feces. Voor de speenvoeders en de opfokvoeders zijn twee berekeningen uitgevoerd: eerst met de vc-OS als zodanig en de andere gecorrigeerd met een aftrek van de vc-OS met 3.3 %-eenheden (zie ook Tabel 3.3).

Tabel 7.3 laat zien dat behalve voor de biggenvoeders de schatting van het Cu- en Zn-gehalte in de voeders op basis van de vc-OS weinig afwijkt van de geanalyseerde gehalten. Een correctie van de vc-OS van biggenvoeders met 3,3 %-eenheid is aan te bevelen omdat er anders een vrij grote fout optreedt in het geschatte gehalte aan Cu en Zn in deze voeders (het verschil tussen geanalyseerd en geschat gehalte in het voer wordt meer dan gehalveerd). Gemiddeld over alle voeders is na correctie van de vc-DS voor biggen de onderschatting van het Cu-gehalte $7,8 \pm 12,2$ mg/kg DS en relatief is dat $1,0 \pm 13,8\%$. Voor Zn is er een kleine overschatting van het gehalte in het voer met $-5,1 \pm 16,8$ mg/kg DS en relatief $-3,9 \pm 11,4 \%$.

Het verband tussen het geanalyseerde gehalte aan Cu in voer en het geschatte gehalte in het voer via gehalten in de feces van varkens is weergegeven in Figuur 7.1.



Figuur 7.1. Verband tussen het geanalyseerde gehalte aan Cu in voer en het gehalte via de feces van varkens.

Uit Figuur 7.1 blijkt duidelijk dat er voor Cu twee groepen zijn: één met een laag en één met een hoog Cu-gehalte in zowel voer als feces. Voor Zn is er vanwege de geringe variatie in Zn-gehalte in de voeders geen duidelijk verband tussen het gehalte in het voer en geschat via het gehalte in de feces.

7.3 Conclusie

Er is op twee varkensbedrijven feces verzameld van zes categorieën varkens die allemaal verschillende voeders kregen. De voeders, feces en het water werden geanalyseerd op het gehalte aan DS, Cu en Zn. Tevens werd de grondstoffensamenstelling van de voeders opgevraagd. Uit dit onderzoek blijkt dat, behalve voor de biggenvoeders, de schatting van het Cu- en Zn-gehalte in de voeders op basis van de vc-OS zeer bevredigend was. Een correctie van de vc-OS van biggenvoeders met 3,3 %-eenheid is aan te bevelen omdat er anders een vrij grote fout optreedt in het geschatte gehalte aan Cu en Zn in deze voeders (het verschil wordt meer dan gehalveerd). Gemiddeld over alle voeders was na correctie van de vc-DS voor biggen de onderschatting van het Cu-gehalte gemiddeld $7,8 \pm 12,2$ mg/kg DS en relatief is dat $1,0 \pm 13,8\%$. Voor Zn was er een kleine overschatting van het gehalte in het voer met gemiddeld $-5,1 \pm 16,8$ mg/kg DS en relatief $-3,9 \pm 11,4 \%$. Het Cu- en Zn-gehalte in de verstrekte rantsoenen kan dus vrij nauwkeurig geschat worden uit het Cu- en Zn-gehalte in de feces als de grondstoffensamenstelling van de voeders bekend is.

8 Statistische synthese schatting van het Cu- en Zn-gehalte in het voer vanuit de feces

8.1 Inleiding

In het voorgaande zijn diverse aspecten beschreven om te komen tot een aanvaardbare methode voor het schatten van het Cu- en Zn-gehalte in het verstrekte rantsoen van varkens op basis van het geanalyseerde gehalte aan Cu en Zn in de feces. De eerste stap was het schatten van de verteerbaarheid van de OS (VC-OS) uit die van de samenstellende grondstoffen. Daarna is beschreven hoe nauwkeurig de verteerbaarheid van de organische stof van voer bij varkens geschat kan worden aan de hand van de grondstoffsamenstelling. Vervolgens is de tussenhok variatie nader geanalyseerd. Daarna is bestudeerd hoeveel van de verstrekte hoeveelheid aan Cu en Zn in het varken wordt vastgelegd evenals welk deel van de uitscheiding in de feces en de urine terecht komt. Tenslotte zijn de resultaten van een validatieproef waarin Cu en Zn zowel in feces als in het voer zijn gemeten, beschreven op basis van bemonstering van feces op twee varkensbedrijven en is ingegaan op de hokvariantie en analysefout in deze proef.

Met behulp van de formule F7.1 wordt het gehalte in het voer geschat (zie het vorige hoofdstuk):

$$\text{Gehalte versvoer} = 0.001DS \text{ vers } \frac{100}{100-U} \frac{100}{100-R} \frac{100-vc_{DS}}{100} \text{ gehalte feces}$$

Voor de schatting van het Cu- en Zn-gehalte in het rantsoen vanuit het Cu- en Zn-gehalte in de feces is er sprake van een aantal onzekere inputs of afgeleide inputs. Het is dus van belang te weten hoe onzekerheid in de inputs zich voortplant in onzekerheid in het eindresultaat. Bij de volgende inputs is er sprake van onzekerheid (variatie):

- de schatting van de vc-OS op basis van gegevens in de CVB-tabel;
- de omrekening van de vc-OS naar de vc-DS;
- de tussendier en tussenhokvariantie van het Cu- en Zn-gehalte in de feces;
- de verhouding in de uitscheiding van Cu en Zn in de feces en urine;
- de retentiepercentages voor Cu en Zn in varkens.

In de volgende paragrafen wordt beschreven hoe nauwkeurig het Cu-gehalte in het voer geschat kan worden. Op vergelijkbare wijze kan de nauwkeurigheid van het Zn-gehalte worden berekend.

8.2 Predictie van het Cu-gehalte in het voer

De berekening van het Cu-gehalte in het voer uit het gemeten Cu-gehalte in de feces gebeurt in de volgende drie stappen.

8.2.1 De grondstofsamenstelling van het voer en de verteringscoëfficiënten in de CVB tabel

Uit de grondstoffensamenstelling van het verstrekte mengvoer en de verteringscoëfficiënten in de CVB-Veevoedertabel wordt de verteringscoëfficiënt van de organische stof berekend (VC_{OS}). Deze $VC_{OS_{geschat}}$ wordt geschat uit de grondstoffensamenstelling van het mengvoer en de VC_{OS} van de enkelvoudige veevoedergrondstoffen in de Veevoedertabel. We hebben echter $VC_{OS_{gemeten}}$ nodig. Het verband tussen de $VC_{OS_{geschat}}$ en $VC_{OS_{gemeten}}$ is onderzocht met het volgende model:

$$VC_{OS_{gemeten}} = VC_{OS_{geschat}} + bias + error$$

Bij dit model is aangenomen dat de verwachtingswaarde van de error gelijk is aan 0 en dat de variantie van de error niet verschilt tussen de diercategorieën. Analyse van data uit de in hoofdstuk 2 en 3 beschreven proeven heeft voor de biggen geresulteerd in een significant van 0 verschillende bias van -3,3 (met een se van 0,41; zie hoofdstuk 3.3) en in een geringere niet aantoonbare bias voor de overige proefgroepen. Verder bedraagt de schatting van de gepoolde error variantie 3,65.

Op grond hiervan is in vervolgberekeningen voor de biggen rekening gehouden met een gecorrigeerde $VC_{OS_{geschat}}$, i.e.

$$VC_{OS_{gemeten}} = VC_{OS_{geschat}} - 3,3$$

en

$$VC_{OS_{gemeten}} = VC_{OS_{geschat}} \text{ voor de overige proefgroepen.}$$

8.2.2 Omrekening van de vc-OS naar de vc-DS

Met een lineaire predictieformule wordt uit de VC_{OS} de DS-verteringscoëfficiënt VC_{DS} berekend. Voor biggen en vleesvarkens heeft de calibratie geresulteerd in de volgende predictieformule:

$$VC_{DS_{gemeten}} = -6.94 + 1.0563 VC_{OS_{gemeten}}$$

Calibratie van alleen de Zi data heeft voor zeugen geresulteerd in de predictieformule:

$$VC_{DS_{gemeten}} = -1.56 + 0.9835 VC_{OS_{gemeten}} \text{ voor fokzeugen.}$$

Als maat voor de variantie van de voorspelfout van VC_{DS} wordt genomen de som van de mean square error voor cross validatie (MSECV) en de error variance voor de $VC_{OS_{gemeten}}$. Voor biggen

en vleesvarkens resulteert dit in:

$$MSECV + 3.65 = 0.39 + 3.65 = 4.04.$$

De formule laat zien dat de grootste bijdrage komt van de error variantie. De schatting voor de variantie resulteert in een schatting van de variatiecoëfficiënt (CV) voor $100 - vc_{DS}$ (range van vc_{DS} : 71 - 90, gemiddelde = 82):

$$CV(100 - vc_{DS}) = \frac{se(100 - vc_{DS})}{100 - vc_{DS}} = \frac{\sqrt{4.04}}{18} = 0.11$$

F8.1

De variatiecoëfficiënt voor de schatting van de vc_{DS} is dus 0,11. In onze proeven varieerde het aantal dieren per hok van één tot zeven (Tabel 4.2). Daar kwam naar voren dat bij meer dieren in een hok de variatiecoëfficiënt lager was. Je kunt veronderstellen dat er een meer representatief monster wordt verkregen. Aangezien in de praktijk biggen en vleesvarkens meestal met 8 of meer dieren in een hok worden gehouden kunnen we speculeren dat de door ons geschatte variatiecoëfficiënt van 0,11 overschat is. Hoeveel kunnen we niet zeggen omdat de variatiecoëfficiënt van een hok gestrengeld is met de analysefout.

8.2.3 Predictie van het Cu- en Zn-gehalte in het voer

De predictie van het Cu- en Zn-gehalte in het voer wordt berekend met de formule:

$$\text{Gehalte versvoer} = 0.001DS \text{ vers} \frac{100}{100 - U} \frac{100}{100 - R} \frac{100 - vc_{DS}}{100} \text{gehalte feces}$$

Daarbij hebben de verschillende variabelen de volgende dimensies:

- DS vers: g DS/kg voer;
- Cu/Zn gehalte feces: mg/kg DS;
- Cu/Zn gehalte voer: mg/kg voer.

In Tabel 8.1 zijn gemiddelden, range en variatiecoëfficiënt voor de verschillende input variabelen in de predictieformule voor het Cu- en Zn-gehalte in het voer opgenomen.

Voor de berekende predicties voor het Cu- en Zn-gehalte in het voer op basis van de Cu- en Zn-gehalten in de mest en met R en U als in bovenstaande tabel en DS-vers = 880 wordt verwezen naar Tabel 7.3 van dit rapport. De onzekerheid in de input variabelen heeft uiteraard invloed op de nauwkeurigheid in de voorspelde Cu- en Zn-gehalten in het voer, wat in 8.3 wordt besproken.

Tabel 8.1. Gemiddelden, range en variatiecoëfficiënt voor de verschillende input variabelen in de predictieformule voor het Cu- en Zn-gehalte in het voer (U = deel van uitscheiding in de urine; R = retentie).

Variabele	Gemiddeld	Range	Variatiecoëfficiënt	Wat kunnen we sturen?
DS vers voer, g DS/kg voer	880	870-890	-	-
U voor Cu, % R voor Cu, %	U=1,0 R=1,2	0,1 – 4,0 1,0 – 1,4	- -	-
U voor Zn, % R voor Zn, %	U=1,6 R=5,9	0,1 – 7,7 5,5 – 6,3	- -	-
$100 - vc_{DS}$	18	10 - 29	Zie F8.1	-
Gehalte feces, mg/kg DS Cu Zn	460 716	104-861 529-837	8,9% (3,4% duplo) 5,6%(1,8% duplo)	# dieren voor natte mest mengmonster Resultaten voorhanden voor mestmonsters van 4 à 5 dieren

8.3 Berekening van nauwkeurigheid van de predictie van het Cu- en Zn-gehalte

Naast predictie van het Cu- en Zn-gehalte in vers voer is er ook behoefte aan schatting van de predictiefout, i.e. variantie en bias. De predictieformule (hier beschreven voor Cu maar ook van toepassing op Zn) is het product/quotiënt van een aantal factoren behept met onzekerheid (eventuele bias en variatie). In Mood et al. (1974) worden benaderingsformules voor de verwachtingswaarde, variantie en variatiecoëfficiënt (CV) voor het product van een aantal stochastische variabelen gegeven:

$$CV_{Cu\text{-gehalteversvoer}}^2 \approx CV_{DS\text{vers}}^2 + CV_{100-vc_{DS}}^2 + CV_{Cu\text{ gehalte feces}}^2 - 2r_{DS\text{vers},vc_{DS}} CV_{DS\text{vers}} CV_{100-vc_{DS}} + 2r_{DS\text{vers},Cu\text{-gehalte feces}} CV_{DS\text{vers}} CV_{Cu\text{-gehalte-feces}} - 2r_{vc_{DS},gehalte feces} CV_{100-vc_{DS}} CV_{Cu\text{-gehalte-feces}}$$

De onnauwkeurigheid van DS-vers bedraagt hoogstens 1 à 2% en wordt niet meegenomen bij de berekening van de variatiecoëfficiënt. Voor Cu is de onnauwkeurigheid in U en R zeer laag en wordt daarom verwaarloosd bij de berekening van de nauwkeurigheid van het Cu-gehalte in vers voer. De nauwkeurigheid van het Cu-gehalte in de feces wordt beïnvloed door variatie tussen hokken en de analysefout. De grootte van de variantiecomponent tussen hokken en de error variantie is nl. van belang voor de grootte van de variatie van het Cu-gehalte in de feces en is ook van belang voor de keuze van een efficiënt bemonsteringsschema (aantal hokken, aantal monsters binnen hokken en aantal mengmonsters).

Omdat de bijdrage van U en die van R aan de onnauwkeurigheid zeer laag is evenals voor het DS-gehalte in het voer gaan we verder met een vereenvoudiging en beperken we ons tot de onzekerheid/variantie in voorspelde vc_{DS} en gemeten Cu/Zn-gehalte in de feces. Dit leidt tot de volgende formule:

$$CV_{Cu\text{-gehalteversvoer}}^2 \approx CV_{100-vc_{DS}}^2 + CV_{Cu\text{ gehalte feces}}^2 - 2r_{vc_{DS},gehalte feces} CV_{100-vc_{DS}} CV_{Cu\text{-gehalte-feces}}$$

Bij monstername uit één hok met 8 tot 10 dieren, enkelvoudige bepaling aan het mengmonster van de feces bedraagt de schatting voor de variatiecoëfficiënt van het Cu-gehalte in de mest 0,089.

Als schatting voor het kwadraat van de variatiecoëfficiënt $CV_{100-vc_{DS}}$ is genomen:

$$CV_{100-vc_{DS}}^2 = \frac{MSECV + error\ variance}{(mean(100 - vc_{DS}))^2} = (0.11)^2$$

Bij monstername van feces uit 1 hok met 1 tot 7 dieren als in de proeven waarvan de data voor de analyses gebruikt zijn en een enkelvoudige bepaling aan het mengmonster van de feces bedraagt de schatting voor de variatiecoëfficiënt van het Cu-gehalte in de feces hoogstens 0,089. Dit resulteert in:

$$CV_{Cu-gehalte\ voer}^2 \approx (0.11)^2 + (0.09)^2 - 2r_{vc_{DS},\ gehalte\ feces} 0.11 * 0.09$$

Er zijn voor zover wij weten geen data voorhanden waaruit een schatting voor de correlatie te halen is. Het verwaarlozen van de correlatie term geeft:

$$CV_{Cu-gehalte\ voer}^2 \approx (0.11)^2 + (0.09)^2 = 0.0202$$

Daarbij is de waarde 0,11 hoofdzakelijk het gevolg van de variantie voor het verschil tussen de vc-OS geschat en gemeten. De waarde 0,09 is de bijdrage van het gehalte in de feces. Aangezien uit Tabel 4.2 blijkt dat de variatiecoëfficiënt voor Zn in de feces vrijwel gelijk is aan die van Cu in de feces kan van dezelfde waarde worden uitgegaan.

Voor de variatiecoëfficiënt (ook van toepassing voor Zn) volgt dan als benadering:

$$CV_{Cu-gehalte\ voer} \approx \sqrt{0.0202} = 0.142$$

Voor geval de correlatie niet verwaarloosbaar is, is de variatiecoëfficiënt maximaal als de correlatiecoëfficiënt gelijk is aan -1. De variatiecoëfficiënt (ook van toepassing voor Zn) zou dan bedragen:

$$CV_{Cu-gehalte\ voer} \approx 0.20$$

8.4 Toetsen van maximaal toegelaten gehalten aan Cu en Zn in de rantsoenen

We willen graag toetsen of het Cu-gehalte hoger is dan het toegestane Cu-gehalte in het voer. Dit wil zeggen, we willen de nulhypothese $H_0: \mu = \mu_0$ toetsen tegen alternatief $H_a: \mu \geq \mu_0$.

Daarbij staat μ voor de verwachtingswaarde van het voorspelde Cu-gehalte in het voer en μ_0 voor het toegestane gehalte in het voer. We baseren de toetsing op een betrouwbaarheidsinterval, d.w.z. we berekenen de verzameling van alle waarden van μ waarvoor de nulhypothese niet wordt verworpen.

Onder de aanname dat het Cu/Zn-gehalte normaal verdeeld is, heeft een 95% betrouwbaarheidsinterval (tweezijdig) de vorm:

$$(\text{pred}-1.96*\text{se}(\text{pred}), \infty) = (\text{pred}-1.96* \text{pred} * CV_{\text{Cu-gehalteversvoer}}, \infty) =$$

Het 95% betrouwbaarheidsinterval voor het Cu-gehalte in opfokvoer biggen (Tabel 7.2, bedrijf A) is dan:

$$(\text{pred}-1.96*\text{se}(\text{pred}), \infty) = (137-1.96*0.142*137, \infty) = (99, \infty),$$

Wanneer we van 2 hokken mestmonsters zouden nemen dan hebben we:

$$CV_{\text{Cu-gehalteversvoer}}^2 \approx (0.11)^2 + (0.09)^2 / 2 = (0.11)^2 + (0.0632)^2 = 0.0161$$

$$CV_{\text{Cu-gehalteversvoer}} \approx \sqrt{0.0161} = 0.127$$

In dat geval bedraagt het 95% betrouwbaarheidsinterval:

$$(\text{pred}-1.96*\text{se}(\text{pred}), \infty) = (137-1.96*0.127*137, \infty) = (103, \infty)$$

Aangezien in beide gevallen het maximaal toegestane gehalte van 170 mg/kg voer in het betrouwbaarheidsinterval ligt is de conclusie dat niet is aangetoond dat het gehalte van Cu in voer significant hoger is dan 170, dus dat de maximaal toegelaten grenswaarde is overschreden.

Voor de overige situaties in Tabel 7.3 kunnen op de bovenbeschreven wijze de 95% betrouwbaarheidsintervallen worden berekend. We dienen ons te realiseren dat de manier waarop we tot de 95% betrouwbaarheidsintervallen komen gebaseerd zijn op de omstandigheden zoals die op Livestock Research aanwezig waren (zowel dieren als analyses). Dat houdt o.a. in dat geen feces werden verzameld die erg dun waren (diarrhee). Om de bemonsteringsfout te verkleinen is het aan te bevelen om van minstens twee hokken feces te verzamelen, te meer omdat in de proeven op Livestock Research op twee dagen feces is verzameld.

8.5 Conclusie

Bij de schatting van het Cu- en Zn-gehalte in het voer vanuit het Cu- en Zn-gehalte in de feces is er sprake van een aantal onzekere inputs of afgeleide inputs. De onzekerheid in de inputs plant zich voort in onzekerheid in het eindresultaat. Zo is er o.a. onzekerheid in de schatting van de vc-OS op basis van de Veevoedertabel, de schatting van de VC-DS uit de vc-OS en de tussendier

en hokvariatie. Op basis van de resultaten beschreven in de voorgaande hoofdstukken blijkt dat voor biggen en vleesvarkens de grootste bijdrage aan de variatiecoëfficiënt de schatting van de vc-OS vanuit de Veevoedertabel is. De variatiecoëfficiënt van alle genoemde inputs varieert en afhankelijk van de gestelde uitgangspunten is die minimaal 14% en maximaal 20%. Hierbij is echter de onnauwkeurigheid voor de variatie in het DS-gehalte van het voer, van de uitscheiding in de urine en het retentiepercentage verwaarloosbaar verondersteld. Bij bemonstering van de feces uit twee hokken in plaats van uit één hok vermindert de minimale variatiecoëfficiënt van 14% naar 12% en de maximale variatiecoëfficiënt vermindert dan van 20% naar 18%.

Met behulp van de geschatte variatiecoëfficiënt is een 95% betrouwbaarheidsinterval bij bemonstering van één hok bij een verondersteld Cu-gehalte van 170 mg/kg voer 103 tot 237 mg/kg voer en bij bemonstering van twee hokken is het 95% betrouwbaarheidsinterval 110 tot 230 mg/kg voer. Bij een verondersteld Cu-gehalte van 25 mg/kg is bij het bemonsteren van twee hokken het betrouwbaarheidsinterval 16 tot 34 mg/kg voer. Bij bemonsteren van één hok is het 95% betrouwbaarheidsinterval 15 tot 35 mg/kg voer. Er kan dus met grote zekerheid aangetoond worden of varkens een rantsoen met 25 of 170 mg Cu/kg hebben gekregen. Voor Zn geldt onder dezelfde uitgangspunten (2 hokken) dat bij een voorspeld gehalte van 150 mg/kg voer het betrouwbaarheidsinterval valt tussen 97 en 202 mg/kg voer. Bij bemonsteren van één hok is het 95% betrouwbaarheidsinterval 91 tot 209 mg/kg voer.

8.6 Gebruik in de praktijk

Op het varkensbedrijf wordt één poolmonster van feces van minimaal twee hokken in een afdeling van minimaal 8 varkens genomen. In ieder geval moeten de varkens minstens twee dagen één en hetzelfde voer hebben gekregen. Feces die waterig is (diarree) mag niet bemonsterd worden.

Het gehalte aan Cu en/of Zn in het voer met het bijbehorende 95% betrouwbaarheidsinterval kan via de volgende stappen worden berekend:

Stap 1:

Metten van het droge stofgehalte en het gehalte aan Cu en/of Zn in de feces.

Stap 2:

Opvragen van de grondstoffensamenstelling van het gebruikte mengvoeder op basis van de labelinformatie.

Stap 3:

Aan de hand van de grondstoffensamenstelling berekenen van de verteerbaarheid van de organische stof (vc-OS) van het mengvoer via de waarden omtrent verteerbaarheid van de organische stof (vc-OS) van de grondstoffen in de CVB-tabel (2008).

Stap 4:

Omrekenen van de vc-OS naar de verteerbaarheid van de droge stof (vc-DS) met de volgende formules:

Voor biggen en vleesvarkens: $vc-DS = - 6,94 + 1,0563 \times vc-OS$

Voor fokzeugen: $vc-DS = - 2,97 + 1,0008 \times vc-OS$

Stap 5:

Berekenen van het gehalte aan Cu en/of Zn in het voer via de volgende formule:

$$\text{Gehalte versvoer} = 0.001DS \text{ vers} \frac{100}{100-U} \frac{100}{100-R} \frac{100 - vc_{DS}}{100} \text{ gehalte feces}$$

Voor Cu kan deze formule vereenvoudigd worden tot

$$\text{Cu-gehalte (mg/kg vers voer)} = 0,880 \times 100/(100-1) \times 100/(100-1) \times (100-vc-DS)/100 \times \text{Cu feces (mg/kg DS)}$$

$$\text{Cu-gehalte (mg/kg vers voer)} = 0,880 \times 1.0203 \times (100-vc-DS)/100 \times \text{Cu feces (mg/kg DS)}$$

$$\text{Cu-gehalte (mg/kg vers voer)} = 0,8979 \times (100-vc-DS)/100 \times \text{Cu feces (mg/kg DS)}$$

Voor Zn kan de formule als volgt vereenvoudigd worden:

$$\text{Zn-gehalte (mg/kg vers voer)} = 0,880 \times 100/(100-1,6) \times 100/(100-4,6) \times (100-vc-DS)/100 \times \text{Zn feces (mg/kg DS)}$$

$$\text{Zn-gehalte (mg/kg vers voer)} = 0,880 \times 1,0653 \times (100-vc-DS)/100 \times \text{Zn feces (mg/kg DS)}$$

$$\text{Zn-gehalte (mg/kg vers voer)} = 0,9374 \times (100-vc-DS)/100 \times \text{Zn feces (mg/kg DS)}$$

Stap 6:

Berekenen van het bijbehorende 95% betrouwbaarheidsinterval.

De variatiecoëfficiënt voor Cu en Zn is gelijk zodat voor beide mineralen dezelfde variatiecoëfficiënt geldt. De 95% betrouwbaarheidsinterval wordt uitgaande van bemonstering van twee hokken waarna na pooling één fecesmonster ontstaat, als volgt berekend:

$$\text{Betrouwbaarheidsinterval} = \text{voorspeld gehalte} \pm 1.96 \times \text{variatiecoëfficiënt} \times \text{voorspeld gehalte}$$

$$\text{Betrouwbaarheidsinterval} = \text{voorspeld gehalte} \pm 1.96 \times 0,18 \times \text{voorspeld gehalte}$$

$$\text{Betrouwbaarheidsinterval (2 hokken)} = \text{voorspeld gehalte} \pm 0,353 \times \text{voorspeld gehalte.}$$

In het geval er maar uit één hok mest wordt bemonsterd kan het betrouwbaarheidsinterval berekend worden met de volgende formule:

$$\text{Betrouwbaarheidsinterval (1 hok)} = \text{voorspeld gehalte} \pm 0,392 \times \text{voorspeld gehalte.}$$

Meer voorbeelden van berekeningen van betrouwbaarheidsintervallen worden gegeven in bijlage 8.1.

Literatuur

Adeola, O., 1995. Digestive utilization of minerals by weanling pigs fed copper- and phytase-supplemented diets. *Can. J. Anim. Sci.* 75, 603-610.

Adeola, O., Lawrence, B.V., Sutton, A.L., Cline, T.R., 1995. Phytase-induced changes in mineral utilization in zinc-supplemented diets for pigs. *J. Anim. Sci.* 73, 3384-3391.

AOAC, 1984. Official methods of Analysis (14th Ed.) Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.

Apgar, G.A., Kornegay, E.T., 1996. Mineral balance of finishing pigs fed copper sulfate or a copper-lysine complex at growth-stimulating levels. *J. Anim. Sci.* 74, 1594-1600.

Bakker, G.C.M., Jongbloed, A.W., 1994. The effect of housing system on apparent digestibility in pigs, using the classical and marker (chromic oxide, acid, insoluble ash) techniques, in relation to dietary composition. *J. Sci. Food Agric.*, 64: 107-115.

Bobilya, D.J., Ellersieck, M.R., Gordon, D.T. and Veum, T.L., 1991. Bioavailabilities of zinc from nonfat dry milk, lowfat plain yoghurt, and soy flour in diets fed to neonatal pigs. *J. Agric. Food Chem.* 39: 1246-1251.

Buff, C.E., Bollinger, D.W., Ellersieck, M.R., Brommelsiek, W.A., Veum, T.L., 2005. Comparison of growth performance and zinc absorption, retention, and excretion in weanling pigs fed diets supplemented with zinc-polysaccharide or zinc oxide. *J. Anim. Sci.* 83, 2380-2386.

CVB, 2005. Protocol voor een fecale verteringsproef met groeiende intacte vleesvarkens. Centraal Veevoederbureau, Lelystad.

CVB, 2007. Veevoedertabel. Gegevens over chemische samenstelling, verteerbaarheid en voederwaarde van voedermiddelen. Centraal Veevoederbureau, Den Haag.

Damgaard-Poulsen, H., Larsen, T., 1995. Zinc excretion and retention in growing pigs fed increasing levels of zinc oxide. *Livest. Prod. Sci.* 43, 235-242.

EU, 2003. Commission regulation (EC) No 1334/2003 of 25 July 2003. Amending the conditions for authorisation of a number of additives belonging to the group of trace elements. L 187/11-L 187/15.

Hankins, C.C., Veum, T.L., Reeves, P.G., 1985. Zinc requirement of the baby pig when fed wet-autoclaved spray-dried egg albumen as the protein source. *J. Nutr.* 115, 1600-1612.

Hap, I., Zeman, L., 1994. The effect of the use of various zinc sources on zinc availability in piglets. *Živočišná Výroba*, 343-349.

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., Diepen, J.Th.M. van, 2007. Efficacy of Quantum TM Phytase in diets for piglets on performance and absorbability of phosphorus and mineralization of bones. Confidential report 78 ASG, Lelystad (SA3).

Jongbloed, A.W., Diepen, J.Th.M. van, Bikker, P., Barmentloo, A.M., 2002a. De invloed van het voerniveau op de hoeveelheid stikstof en mineralen in groeiende vleesvarkens. Confidntieel Rapport ID-Lelystad no. 2105.

Jongbloed, A.W., Diepen, J.Th.M. van, Kemme, P.A., Dias, H., 2001. Assessment of the efficacy of microbial phytase derived from *Peniophora lycii* (Ronozyme P) on the performance and digestibility of various minerals in lactating sows. Confidential report ID-Lelystad No. 2126 (RN1).

Jongbloed, A.W., Diepen, J.Th.M., Pinto, S., Lamy, A., Šebek, L., Kemme, P.A., 2000. Assessment of the dose-response relationship between microbial phytase produced by different strains of *Aspergillus niger* ("NPH54" and "FTU-8") and the digestibility of various minerals in piglets. Confidential Report ID-Lelystad nr. 2048 (FA2).

Jongbloed, A.W., Kemme, P.A., 2005. De uitscheiding van stikstof en fosfor door varkens, kippen, kalkoenen, pelsdieren, eenden, konijnen en parelhoeders in 2002 en 2006. Rapport 05/101077, Nutrition and Food, ASG, Lelystad, 101 pp.

Jongbloed, A.W., Klop, A., Barmentloo, M., 2002b. De hoeveelheid mineralen en stikstof in biggen vanaf de geboorte tot 25 kg lichaamsgewicht. ID-Lelystad Rapport no. 2193.

Kemme, P.A., Diepen, J.Th.M. van, Jongbloed, A.W., 2001. Assessment of the efficacy of microbial phytase derived from *Peniophora lycii* (Ronozyme P) on the digestibility of various minerals and performance in gestating sows. Confidential report ID-Lelystad No. 2161 (RN2).

Kemme, P.A., Diepen, J.Th.M. van, Jongbloed, A.W., 2002. The efficacy of microbial phytase SP 1002 with or without supplemented lactic acid or ROXAZYME G2 on the digestibility of various mineral and performance in gestating in sows. Confidential Report ID-Lelystad no. 02-002470 (RN3).

Kemme, P.A., Diepen, J.Th.M. van, Jongbloed, A.W., 2003. A tolerance and digestibility study with Ronozyme P5000 phytase in growing-finishing pigs. Confidential report ID-Lelystad no. 03-0005924 (RN4).

Kemme, P.A., Lynam, M., Diepen, J.Th.M. van, Šebek, L., Jongbloed, A.W., 2000. Assessment of the dose-response relationship between microbial FTU-11 phytase and the digestibility of various minerals in comparison to FTU-8 phytase in piglets. Confidential Report ID TNO Animal Nutrition no. 2039 (FA1).

Kirchgessner, M., Kreuzer, M., Roth, F.X., 1994. Alters- und Geschlechtsbedingte Unterschiede in den Gehalten an Fe, Zn, Cu und Mn verschiedener Körperpartien sowie ihre Retention bei Mastschweinen. Arch. Anim. Nutr. 46, 327-337.

Martinez, M.M., Link, J.E., Hill, G.M., 2005. Dietary pharmacological or excess zinc and phytase effects on tissue mineral concentrations, metallothionein, and apparent mineral retention in the newly weaned pig. Biological Trace Element Res. 105, 97-115.

Mood, A.M, Graybill, F.A., Boes, D.C., 1974. Introduction to the theory of statistics. Tosho Printing Co, Ltd, Tokyo, Japan.

Morgan, D.P., Young, E.P., Earle, I.P., Davey, R.J.,Stevenson, J.W., 1969. Effect of dietary calcium and zinc on calcium, phosphorus and zinc retention in swine. *J. Anim. Sci.* 29, 900-903.

Okonkwo, A.C., Ku, P.K., Miller, E.R., Keahey, K.K., Ullrey, D.E., 1979. Copper requirement of baby pigs fed purified diets. *J. Nutr.* 109, 939-948.

Revy, P.S., Jondreville, C., Dourmad, J.Y. and Nys, Y. 2002. Bioavailability of two sources of zinc in weanling pigs. *Anim. Res.* 51, 315-326.

Revy, P.S., Jondreville, C., Dourmad, J.Y. and Nys, Y. 2004. Effect of zinc supplemented as either an organic or an inorganic source and of microbial phytase on zinc and other minerals utilisation by weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology* 116: 93-112.

Roof, M.D., Mahan, D.C., 1982. Effect of Carbadox and various dietary copper levels for weanling swine. *J. Anim. Sci.* 55,1109-1117.

Whitenack, D.L., Whitehair, C.K., Miller, E.R., 1978. Influence of enteric infection on zinc utilization and clinical signs and lesions of zinc deficiency in young swine. *Am. J. Vet. Res.* 39, 1447-1454.

Wiseman, T.G., Mahan, D.C., St-Pierre, N.R., 2009. Mineral composition of two genetic lines of barrows and gilts from twenty to one hundred twenty-five kilograms of body weight. *J. Anim. Sci.* 87, 2306-2314.

Bijlage 2.1

Gegevens van de voeders en verteerbaarheid bij diverse categorieën varkens.

				Samenstelling voer (g/kg DS)								Verteerbaarheid, %	
				Aantal in groep	Aantal herh.	Gewicht kg	DS	OS	RE	Rvet	Suiker	Zet-meel	RC
Vleesvarkens op kooi													
Aantal waarnemingen	102	102	102	102	102	102	102	65	74	95	74	102	102
Gemiddelde	1.0	4.6	74	871	931	194	47	71	372	60	252	80.5	83.0
SD	0.0	1.7	14	12	12	19	22	22	103	19	66	1.5	1.4
Minimum	1.0	2.0	32	831	903	148	14	32	172	22	123	70.7	72.2
Maximum	1.0	12.0	112	902	961	252	104	134	569	113	377	90.1	91.4
Mediaan	1.0	4.0	74	871	931	195	40	72	376	57	245	80.8	83.5
Vleesvarkens indicator													
Aantal	46	46	46	46	46	46	38	22	22	39	22	46	46
Gemiddelde	2.8	4.1	68	876	941	193	49	60	410	52	232	82.5	84.7
SD	1.8	1.7	22	8	8	20	11	10	64	11	60	0.8	0.8
Minimum	1.0	2.0	35	864	920	142	29	39	289	27	140	77.1	78.8
Maximum	6.0	8.0	108	893	957	228	68	74	502	65	365	88.4	89.6
Mediaan	2.0	4.0	74	875	942	196	48	61	409	53	217	82.4	84.6
Biggen													
Aantal	31	31	31	31	31	31	31	12	12	31	12	31	31
Gemiddelde	6.4	5.5	22	872	942	220	49	78	407	42	182	81.2	82.9
SD	1.3	2.4	7	7	9	11	7	0	13	7	7	1.3	1.2
Minimum	4.0	4.0	10	857	930	201	40	77	396	32	166	75.1	77.1
Maximum	8.0	10.0	30	887	958	233	59	78	430	57	191	84.7	86.1
Mediaan	7.0	4.0	25	872	943	221	48	78	400	41	183	81.8	83.3
Fokzeugen kooi													
Aantal	19	19	19	19	19	19	17	13	13	17	13	19	19
Gemiddelde	1.0	4.2	205	871	924	182	29	70	344	74	299	80.2	83.8
SD	0.0	0.9	19	14	11	22	8	16	81	27	69	1.6	1.5
Minimum	1.0	3.0	179	846	906	139	19	53	142	43	220	73.0	76.5
Maximum	1.0	6.0	240	894	945	214	42	100	460	165	500	85.4	89.0
Mediaan	1.0	4.0	203	871	921	187	27	65	333	69	296	80.7	84.4
Fokzeugen indicator													
N	28	28	28	28	28	28	27	27	27	28	27	28	28
Mean	1.0	7.4	214	884	928	167	63	73	288	90	336	78.1	81.0
SD	0.0	3.6	20	15	11	30	18	9	99	35	98	1.4	1.4
Minimum	1.0	4.0	160	855	896	120	34	55	98	26	134	68.7	71.1
Maximum	1.0	16.0	251	907	948	228	91	100	497	190	551	90.4	92.3
Mediaan	1.0	6.0	213	882	927	154	62	74	243	90	383	77.8	81.0

Bijlage 2.2

Resultaten regressieanalyses ter voorspelling van de vc-DS uit de vc-OS van mengvoeders bij de onderscheiden proefsoorten (V=vleesvarkens op kooi, Vi=vleesvarkens met indicator, B=biggen, Z=fokzeugen op kooi, Zi=fokzeugen met indicator; R^2 =% van de verklaarde variantie; a=constante; ai=constante voor elk afzonderlijke diercategorie; b=regressiecoëfficiënt over de diercategorieen; bi=regressiecoëfficiënt voor elk afzonderlijke diercategorie). MSE=mean square error, schatting van de variantie van de punten rond de regressielijn.

Diercategorie	Model nr.	R ² (%)	MSE	Significante effecten	Opmerkingen
B	M2.3. $Y=a+b*vc-OS$	99,1	0.07	vc-OS	
V+Vi	M2.3. $Y=a+b*vc-OS^{1)}$	98,1	0.37	vc-OS	
V+Vi	M2.2 $Y=ai+b*vc-OS$	98,1	0.36	vc-OS	
V+Vi	M2.1. $Y=ai+bi*vc-OS$	98,1	0.37	vc-OS	
B+V+Vi	M2.3. $Y=a+b*vc-OS$	97,7	0.39	vc-OS	
B+V+Vi	M2.2. $Y=ai+b*vc-OS^{2)}$	98,1	0.31	vc-OS, proefsoort	B>{V,Vi}
Z & Zi	M2.3. $Y=a+b*vc-OS$	98,3	0.42	vc-OS	
Z & Zi	M2.2. $Y=ai+b*vc-OS^{2)}$	98,6	0.33	vc-OS, proefsoort	Zi>Z
B, V1.V2, Z, Zi	M2.3. $Y=a+b*vc-OS$	97,2	0.53	vc-OS	
B, V1.V2, Z, Zi	M2.2. $Y=ai+b*vc-OS^{2)}$	98,3	0.33	vc-OS, proefsoort	B>overige

^{1),2),3)} Geselecteerd voorspellingsmodel voor vc-DS.

Bijlage 3.1

Overzicht van gegevens voor de analyse voor schatting van de vc-OS uit de grondstoffensamenstelling van de mengvoeders voor diverse categorieën varkens.

	Gewicht	RC	vc-OS, gemeten	vc-OS, geschat
	kg	g/kg DS	%	%
Biggen				
Aantal	22	22	22	22
Gemiddelde	26	39	83.3	86.6
SD	3	5	2.8	1.1
Minimum	21	33	77.1	83.9
Maximum	30	51	86.1	87.6
Mediaan	26	38	84.0	87.0
Vleesvarkens op kooi				
Aantal waarnemingen	78	71	80	80
Gemiddelde	73	51	83.6	84.7
SD	15	17	4.4	3.4
Minimum	30	19	72.2	73.4
Maximum	112	100	91.4	91.0
Mediaan	74	48	84.5	84.9
Vleesvarkens indicator				
Aantal	46	39	46	46
Gemiddelde	67	45	84.8	85.3
SD	22	10	2.1	2.5
Minimum	35	23	79.6	77.4
Maximum	108	58	89.6	91.0
Mediaan	74	47	84.6	85.0
Fokzeugen kooi				
Aantal	-	6	6	6
Gemiddelde	-	76	84.8	81.7
SD	-	35	4.4	4.0
Minimum	-	38	76.5	75.4
Maximum	-	143	89.0	87.9
Mediaan	-	69	86.4	81.6
Fokzeugen indicator				
Aantal	-	28	34	34
Mean	-	78	80.8	80.0
SD	-	33	5.6	5.2
Minimum	-	22	71.1	72.4
Maximum	-	167	92.7	90.7
Mediaan	-	80	80.6	81.2

Bijlage 4.1

Variatiecoëfficiënt voor het Cu- en Zn-gehalte in de DS van de feces met het model zonder interactie voor elk tijdstip afzonderlijk.

Mineraal	Expt. nr	Diercategorie	Variatiecoëfficiënt tijdstip 1 (%)	Variatiecoëfficiënt tijdstip 2 (%)
Cu	1	Big	5,3	5,7
Cu	2	Big	5,1	3,6
Cu	3	Big	7,5	5,2
Cu	4	Vleesvarken	10,0	8,6
Cu	5	Fokzeug	6,4	7,3
Cu	6	Fokzeug	7,2	8,1
Cu	7	Fokzeug	9,2	12,4
Zn	1	Big	5,6	5,4
Zn	2	Big	3,0	3,2
Zn	3	Big	6,8	5,0
Zn	4	Vleesvarken	6,9	6,7
Zn	5	Fokzeug	7,3	7,9
Zn	6	Fokzeug	9,4	7,6
Zn	7	Fokzeug	9,0	11,4

Bijlage 5.1

Verdeling van de uitscheiding van Cu via de feces en urine (%) in afhankelijkheid van het Cu-gehalte in het voer bij varkens.

Cu, mg/kg voer	Aantal waarnemingen	% in feces	% in urine
< 25	4	97.8±1.8	2.2±1.8
≥25-100	3	99.6±0.3	0.4±0.3
>100	6	99.5±0.5	0.5±0.5
Alle voeders	13	99.0±1.3	1.0±1.3

Bijlage 5.2

Verdeling van de uitscheiding van Zn via de feces en urine (%) in afhankelijkheid van het Zn-gehalte in het voer bij varkens.

Zn, mg/kg voer	Aantal waarnemingen	% in feces	% in urine
< 50	17	96.6±2.0	3.4±2.0
≥50-150	25	98.4±1.0	1.6±1.0
>150	17	98.8±1.5	1.2±1.5
Alle voeders	59	98.0±1.7	2.0±1.7

Bijlage 8.1

Berekening van het betrouwbaarheidsinterval in afhankelijkheid van het aantal bemonsterde hokken bij twee scenario's.

Berekeningen betrouwbaarheidsinterval bij worst case (r=-1)							
Verondersteld gehalte	Variatiecoëfficiënt						
mg/kg vers voer	%	%	t-waarde	1 hok	1 hok	2 hokken	2 hokken
	1 hok	2 hokken		ondergrens	bovengrens	ondergrens	bovengrens
170	20.0	18.0	1.96	103.4	236.6	110.0	230.0
150	20.0	18.0	1.96	91.2	208.8	97.1	202.9
25	20.0	18.0	1.96	15.2	34.8	16.2	33.8
Berekeningen betrouwbaarheidsinterval bij r=0							
Verondersteld gehalte	Variatiecoëfficiënt						
mg/kg vers voer	%	%	t-waarde	1 hok	1 hok	2 hokken	2 hokken
	1 hok	2 hokken		ondergrens	bovengrens	ondergrens	bovengrens
170	14.2	12.7	1.96	122.7	217.3	127.7	212.3
150	14.2	12.7	1.96	108.3	191.7	112.7	187.3
25	14.2	12.7	1.96	18.0	32.0	18.8	31.2

RIKILT - Instituut voor Voedselveiligheid is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). RIKILT doet onafhankelijk onderzoek naar de veiligheid en kwaliteit van voedsel. Het instituut is gespecialiseerd in de detectie, identificatie, functionaliteit en (mogelijk schadelijke) effectiviteit van stoffen in voedingsmiddelen en diervoeders.

RIKILT adviseert nationale en internationale overheden bij het vaststellen van normen en analyse-methoden. Ook tijdens incidenten en voedselcrises staat RIKILT 24 uur per dag en zeven dagen in de week paraat.

Het Wageningse onderzoeksinstituut is het nationaal referentielaboratorium (NRL) voor melk, genetisch gemodificeerde organismen en vrijwel alle chemische stoffen, en het Europees referentielaboratorium (EU-RL) voor stoffen met hormonale werking.

RIKILT maakt deel uit van verschillende nationale en internationale expertisecentra en netwerken. Het grootste deel van onze opdrachten voeren wij uit voor het ministerie van Economische Zaken, Landbouw & Innovatie en de nieuwe Voedsel en Waren Autoriteit. Andere opdrachtgevers zijn de Europese Unie, de European Food Safety Authority (EFSA), buitenlandse overheden, maatschappelijke organisaties en bedrijven.

Meer informatie: www.rikilt.wur.nl

