

Behoefte aan Mg, Na, Cl, K, Fe, J, Mn en Se door varkens: een literatuurstudie voor het CVB

A.W. Jongbloed

Dit onderzoek is gefinancierd door het Productschap Diervoeder binnen het kader van het werkveld Voederwaardering / CVB activiteit.

CVB-Documentatie Rapport nr. 58
oktober 2015

WUR Livestock Research
P.O. Box 338
6700 AH Wageningen
The Netherlands

Inhoudsopgave

1	Verantwoording en aanpak van de literatuurstudie	6
2	Achtergronden voor de vaststelling van de mineralenbehoefte door GfE en NRC	8
2.1	GfE	8
2.2	NRC.....	8
3	Magnesium.....	9
3.1	Functie.....	9
3.2	Magnesiumbehoefte voor varkens volgens GfE	9
3.2.1	Groeiende varkens.....	9
3.2.2	Drachtige zeugen.....	9
3.2.3	Lacterende zeugen	9
3.3	Magnesiumbehoefte voor varkens volgens NRC	10
3.3.1	Groeiende varkens.....	10
3.3.2	Fokzeugen	10
3.4	Overzicht van de Mg-behoefte	11
3.5	Aanvullende informatie en discussie Mg-behoefte	11
3.6	Conclusie en aanbevelingen Mg-behoefte voor CVB	12
4	Natrium.....	14
4.1	Functie.....	14
4.2	Natriumbehoefte voor varkens volgens GfE	14
4.2.1	Groeiende varkens.....	14
4.2.2	Drachtige zeugen.....	14
4.2.3	Lacterende zeugen	14
4.3	Natriumbehoefte voor varkens volgens NRC	15
4.3.1	Groeiende varkens.....	15
4.3.2	Fokzeugen	16
4.4	Overzicht van de Na-behoefte	17
4.5	Aanvullende informatie en discussie Na-behoefte.....	17
4.6	Conclusie en aanbevelingen Na-behoefte voor CVB	18
5.1	Functie.....	20
5.2	Chloorbehoefte voor varkens volgens GfE	20
5.2.1	Groeiende varkens.....	20
5.2.2	Drachtige zeugen.....	20
5.2.3	Lacterende zeugen	20
5.3	Chloorbehoefte voor varkens volgens NRC	20

5.3.1	Groeiende varkens.....	20
5.3.2	Fokzeugen	21
5.4	Overzicht van de Cl-behoefte.....	21
5.5	Aanvullende informatie en discussie Cl-behoefte.....	21
5.6	Conclusie en aanbevelingen Cl-behoefte voor CVB.....	22
6	Kalium	24
6.1	Functie.....	24
6.2	Kaliumbehoefte voor varkens volgens GfE	24
6.2.1	Groeiende varkens.....	24
6.2.2	Drachtige zeugen.....	24
6.2.3	Lacterende zeugen	24
6.3	Kaliumbehoefte voor varkens volgens NRC.....	25
6.3.1	Groeiende varkens.....	25
6.3.2	Fokzeugen	25
6.4	Overzicht van de K-behoefte.....	25
6.5	Aanvullende informatie en discussie K-behoefte.....	25
6.6	Conclusie en aanbevelingen K-behoefte voor CVB.....	26
7	IJzer	28
7.1	Functie.....	28
7.2	IJzerbehoefte voor varkens volgens GfE	28
7.2.1	Zuigende biggen	28
7.2.2	Gespeende biggen, vleesvarkens en fokzeugen	28
7.3	IJzerbehoefte voor varkens volgens NRC.....	29
7.3.1	Zuigende biggen	29
7.3.2	Gespeende biggen, vleesvarkens en fokzeugen	29
7.4	Overzicht van de Fe-behoefte.....	30
7.5	Aanvullende informatie Fe-behoefte en discussie	30
7.6	Conclusie en aanbevelingen Fe-behoefte voor CVB.....	31
8	Jodium.....	33
8.1	Functie.....	33
8.2	Jodiumbehoefte voor varkens volgens GfE.....	33
8.3	Jodiumbehoefte voor varkens volgens NRC	33
8.4	Overzicht van de I-behoefte van varkens	34
8.5	Aanvullende informatie I-behoefte en discussie	34
8.6	Conclusie en aanbevelingen I-behoefte voor CVB.....	35
9	Mangaan	36

9.1 Functie.....	36
9.2 Mangaanbehoefte voor varkens volgens GfE	36
9.3 Mangaanbehoefte voor varkens volgens NRC.....	36
9.4 Overzicht van de Mn-behoefte.....	37
9.5 Aanvullende informatie Mn-behoefte en discussie	37
9.6 Conclusie en aanbevelingen Mn-behoefte voor CVB.....	38
10 Seleen.....	40
10.1 Functie.....	40
10.2 Seleniumbehoefte voor varkens volgens GfE	40
10.3 Seleniumbehoefte voor varkens volgens NRC.....	40
10.4 Overzicht van de Se-behoefte van varkens mg/kg voer	41
10.5 Aanvullende informatie Se-behoefte en discussie.....	41
10.6 Conclusie en aanbevelingen Se-behoefte voor CVB.....	42
11. Literatuur.....	44
12 Bijlagen	52

Gebruikte afkortingen

GfE	Empfehlungen zur Energie und Nährstoffversorgung bei Schweinen van de 'Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie' (Committee for the Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology)
DS	Droge stof
Cl	Chloor
EBW	Leeg gewicht
Fe	IJzer
FCR	Voederconversie
g	gram
I	Jodium
K	Kalium
kg	kilogram
L	Liter
LW	Levend gewicht
Mg	Magnesium
mg	milligram
Mn	Mangaan
Na	Natrium
NRC	National Research Council (USA; Committee on Animal Nutrition, Nutrient Requirements of Swine)
Se	Selenium

1 Verantwoording en aanpak van de literatuurstudie

Deze literatuurstudie naar de mineralenbehoeften van varkens is in opdracht van het Produktschap Diervoeder ten behoeve van de CVB-activiteit uitgevoerd. De mineralen magnesium (Mg), natrium (Na), chloor (Cl), kalium (K), ijzer (Fe), jodium (I), mangaan (Mn) en selenium (Se) zijn in deze studie meegenomen. Elk mineraal wordt afzonderlijk behandeld. Van elk mineraal wordt eerst een beknopte beschrijving van de functies gegeven, waarna de bevindingen van de 'Committee for the Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology' in Duitsland, afgekort GfE, gepubliceerd in Empfehlungen zur Energie und Nährstoffversorgung bei Schweinen (2008) worden beschreven en vervolgens die van de NRC publicatie 'Nutrient Requirements of Swine', afgekort NRC, gepubliceerd in 2012. Voor zover mogelijk is de soort mineralenbron vermeld. Eveneens is het type voer vermeld, omdat in tegenstelling tot een semi-synthetisch voer, bij een praktijkvoer meer complexvorming met andere nutriënten kan plaatsvinden. Voor de eenwaardige elementen geldt dit niet zozeer, maar voor de tweewaardige kationen kan het zeker van belang zijn. In de tekst wordt hierop ingegaan. Indien relevant is een onderverdeling gemaakt in biggen, vleesvarkens, drachtige zeugen en lacterende zeugen. Daarna wordt een overzicht gegeven van de aanbevolen behoefte van GfE en NRC van het besproken mineraal. Vervolgens volgt een paragraaf met eventueel aanvullende informatie en discussie. Tenslotte wordt een conclusie getrokken met een aanbeveling voor het CVB. Hierbij wordt eerst een aanbeveling voor de behoefte als zodanig gegeven, waarna er een aanbeveling volgt inclusief een veiligheidsmarge. Deze is in de meeste gevallen 10%, maar als het erg onzeker is wordt een veiligheidsmarge van 20% aangehouden. Een veiligheidsmarge is nodig om een aantal redenen:

1. De voorgestelde behoefte is gebaseerd op het middelen van een (vaak beperkt) aantal studies. Dit betekent dat de helft van de studies een behoefte groter dan het gemiddelde aangeeft. De standaarddeviatie rond het gemiddelde is een maat voor de betrouwbaarheid van het aanhouden van het gemiddelde als behoefte.
2. Daarnaast is er het feit dat er binnen een studie variatie is tussen de herhalingen van een behandeling. Dus de studie die binnen de set aan beschikbare studies onder 1. – als gemiddelde van de dierprestaties bij een bepaald niveau van het testmineraal – de hoogste behoefte aangaf, bevatte herhalingen die nog hoger uitkwamen.
3. Tenslotte is er het gegeven dat in dosis – respons studies, waar de behoeften vooral op zijn gebaseerd, de experimentele eenheid een groep dieren is, wat betekent dat er binnen een herhaling nog sprake is van een zekere tussendiervariatie. Echter, als groep de experimentele eenheid is, wordt deze tussendiervariatie niet inzichtelijk. Er is daarnaast een beperkt aantal studies met individuele dieren beschikbaar, waar wel zicht is op de tussendiervariatie.
4. In bepaalde gevallen is de aanbevolen behoefte mede gebaseerd op berekeningen waarbij een bepaald absorptiepercentage is aangehouden. Er is echter sprake van een bepaalde onzekerheid wat betreft dit percentage, o.a. vanwege mogelijke tussendiervariatie. Dit is een van de redenen om bij het omzetten van de behoefte in een voedernorm een veiligheidsmarge in te bouwen.

De in dit rapport aangehouden veiligheidsmarge hebben uitsluitend betrekking op de verwachte variatie tussen (populaties van) dieren. Er is geen rekening gehouden met mogelijke andere factoren, zoals variatie in gehalten in voedermiddelen, mengon nauwkeurigheden e.a.

Van vrijwel alle relevante literatuur volgens GfE en NRC is een pdf gemaakt en is de inhoud ervan kritisch gelezen. Er is ook literatuur verzameld over de diverse mineralen vanaf 2004 en deze is eveneens in deze studie verwerkt. In deze aanvullende deskstudie is melding gemaakt van de betrokken diercategorie, het gebruikte basisvoer, indien gegeven het mineraalgehalte in het basisvoer en de toegevoegde hoeveelheid mineraal en de behaalde dierprestaties. In een Excel-file voor elk mineraal is een overzicht gegeven van de behaalde resultaten.

Voor het factorieel benaderen van de mineralenbehoefte van drachtige en lacterende zeugen zijn dezelfde uitgangspunten gehanteerd als door Bikker en Jongbloed (2014) zijn gebruikt bij de beschrijving van de koper- en zinkbehoefte:

- De zeug weegt 200 kg en de toename aan maternaal weefsel gedurende de dracht is 40 kg.
- Het mineraalgehalte in de zeug is afgeleid uit eigen databestanden voor vleesvarkens van 100-160 kg, omdat gegevens in literatuur over de zeugen vrijwel geheel ontbreken.
- De worp biggen weegt 25 kg (18 x 1,4) en het gehalte van het mineraal in de pasgeboren big is afgeleid uit mijn eigen databestanden.
- De maternale aanzet is gelijkmatig verdeeld over de gehele dracht.
- De aanzet in de foeten wordt gedeeld door 35 dagen, omdat die vooral in het laatste derde deel van de dracht plaatsvindt.
- De lacterende zeug weegt 200 kg en neemt tijdens de lactatie 20 kg in gewicht af.
- Er wordt gerekend met een melkproductie van 12 l per dag.
- Het gehalte aan mineraal in de melk is het gemiddelde vanaf dag 3-30 en afkomstig uit eigen databestanden.

In de discussie met de CVB projectgroep 'Mineralen en sporenelementenbehoeften van varkens' (MSV) is gevraagd of zo mogelijk ook informatie over de mineralenstatus van het dier aan het begin van de proef zou kunnen worden toegevoegd en of zou kunnen worden besproken in hoeverre dit van invloed is op de verkregen uitkomsten. Voor groeiende varkens voor alle onderzochte mineralen is dit nagegaan. Behalve voor Na en I, werden voor alle andere elementen de meeste proeven uitgevoerd met gespeende biggen, zodat er geen sprake kan zijn geweest van een stapeling van een element in het dier bij aanvang van een proef.

In de tekst wordt vaak verwezen naar Jongbloed (2013; niet gepubliceerd). Deze verwijzing heeft betrekking op gehalten aan mineralen en sporenelementen in diverse categorieën varkens en in zeugenmelk op basis van alle door hem verzamelde bestaande literatuur. Indien een waarneming 3 x de standaardafwijking was is die waarneming niet meegenomen voor het berekenen van het gemiddelde. Op verzoek van genoemde projectgroep is in Bijlage 1 een statistische verantwoording gegeven van de gehalten aan mineralen en sporenelementen in diverse categorieën varkens en in zeugenmelk die in deze studie zijn gebruikt.

2 Achtergronden voor de vaststelling van de mineralenbehoeften door GfE en NRC

2.1 GfE

Uitgangspunt voor het vaststellen van de behoeftenormen volgens de GfE is de factoriële benadering. Voor groeiende dieren geldt dat op basis van gehalten aan mineralen in het leeg gewicht (EBW) van dieren, onvermijdbare verliezen en absorptiecoëfficiënten van de mineralen, tenslotte op basis van productiegegevens (groei, voeropname en gehalte van het mineraal in het voer) de behoefte per dag wordt geschat. Voor vleesvarkens is het mesttraject opgesplitst en wel tot 80 kg levend gewicht (LW) en na 80 tot 120 kg. $EBW = 0,94 \times LW$ (levend gewicht). In de aanbevelingen geeft GfE soms een range aan. Hierbij geldt het hoogste getal voor het begin van de betreffende groeifase.

Voor fokdieren wordt bij een eerste worpszeug tijdens de dracht rekening gehouden met maternale groei, maar vanaf de tweede pariteit wordt een constant levend gewicht verondersteld. Bij lacterende zeugen wordt op basis van de mineralengehalten in melk en de dagelijkse groei van het toom de behoefte vastgesteld.

2.2 NRC

De mineralenbehoeften zijn geschat op basis van empirische proeven. Dit is gedaan voor zeven gewichtstrajecten bij groeiende varkens (5-7, 7-11, 11-25, 25-50, 50-75, 75-100 en 100-135 kg LW) en voor drachtige en lacterende zeugen. Er zijn formules ontwikkeld voor startbiggen (5-25 kg LW) en voor varkens van 25-135 kg met als model: $\text{behoefte} = a + b \times \ln(LW)$. Door middel van deze vergelijkingen kan de behoefte in het midden van elk gewichtstraject uitgerekend worden. Voor drachtige en lacterende zeugen wordt deze benadering niet toegepast, maar is de dagelijkse behoefte uitgerekend door het gehalte in het voer te vermenigvuldigen met de dagelijkse voeropname.

3 Magnesium

3.1 Functie

Magnesium (Mg) is een belangrijk intracellulair kation en is betrokken bij diverse metabolische processen. Zo is magnesium een co-factor voor veel verschillende enzymen en beïnvloedt het de activiteit van meer dan 300 enzymen die onder meer betrokken zijn bij de energie- en eiwitstofwisseling, de celdeling en de synthese van DNA en RNA. Extracellulair vervult Mg, samen met calcium (Ca), een belangrijke functie bij de geleiding van prikkels door het zenuwstelsel en het correct functioneren van de spieren, en voor botmineralisatie. Magnesium speelt ook een rol bij de secretie van het parathyroid hormoon (PTH), de gevoeligheid van de PTH-receptoren en het vitamine D metabolisme (CVB, 2005). Bot bevat relatief veel Mg.

Tekenen van Mg-tekort zijn hyperirritatie, moeilijkheden om te staan, evenwichtsstoornissen en tetanie gevolgd door dood (NRC, 2012). Mengvoer bevat meestal voldoende Mg om de behoefte te dekken. Daarom worden er in de praktijk geen Mg-gebreksverschijnselen geconstateerd.

3.2 Magnesiumbehoefte voor varkens volgens GfE

3.2.1 Groeiende varkens

Het Mg-gehalte in varkens is afgeleid van een beperkt aantal onderzoeken. Dit zijn Mudd et al. (1969), Moinizadeh (1975), Rymarz (1986), Hendriks en Moughan (1993) en Mahan en Shields (1998). Op basis van deze onderzoeken is voor Mg een aanzet aangehouden van 0,3 g Mg per kg groei voor het gehele groeitraject. Door het ontbreken van literatuur wordt geen rekening gehouden met onvermijdelijke verliezen. Ook kiest GfE geen waarde voor de absorptiecoëfficiënt van Mg, maar dat is volgens haar niet zo erg omdat, zolang er praktische veevoedergrondstoffen worden gebruikt, de voorziening van Mg altijd de Mg-behoefte wel blijkt te dekken. De conclusie is dat er door GfE voor Mg in feite geen behoeftenormen voor groeiende varkens worden gegeven.

3.2.2 Drachtige zeugen

Omdat in de vroege dracht de kwantitatieve aanzet in foeten zeer gering is, wordt in de late dracht op basis van Becker et al. (1979) en Den Hartog et al. (1979) de dagelijkse aanzet aan Mg vastgesteld op 0,2 g. Verder wordt gemeld dat voor gelten rekening moet worden gehouden met maternale aanzet, maar er wordt niet aangegeven hoeveel. Er wordt geen basis gegeven voor de onvermijdelijke verliezen voor Mg. Ook kiest GfE geen waarde voor de absorptiecoëfficiënt van Mg, maar dat is volgens haar niet zo erg omdat, zolang er praktische veevoedergrondstoffen worden gebruikt, de voorziening van Mg altijd de Mg-behoefte wel blijkt te dekken. De conclusie is dat er door GfE geen behoeftenormen voor drachtige zeugen worden gegeven.

3.2.3 Lacterende zeugen

De secretie aan Mg in melk is gebaseerd op Ondersheka (1969), Walkiewicz (1979), Baranow-Baranowski en Bronisz (1979), Maxon en Mahan (1986) en Migdal et al. (1990). Er wordt een gehalte van 0,2 g Mg/kg melk aangehouden. Er wordt geen basis gegeven voor de onvermijdelijke verliezen voor Mg. Ook kiest GfE geen waarde voor de absorptiecoëfficiënt van Mg, maar dat is volgens haar niet zo erg omdat, zolang er praktische veevoedergrondstoffen worden gebruikt, de voorziening van Mg altijd de Mg-behoefte wel

blijkt te dekken. De conclusie is dat er door GfE geen behoeftenormen voor lacterende zeugen worden gegeven.

3.3 Magnesiumbehoefte voor varkens volgens NRC

3.3.1 Groeiende varkens

Op basis van onderzoek van Mayo et al. (1959), Bartley et al. (1961) en Miller et al. (1965b,c,d) is de Mg-behoefte van kunstmatig opgefokte biggen die een semi-synthetisch voer kregen tussen 0,3-0,5 g/kg voer vastgesteld. Mayo et al. (1959) voerden in hun tweede proef gedurende zes weken een semi-synthetisch voeder aan biggen van 5,9-22,5 kg met een Mg-gehalte van 0,07, 0,136, 0,202, 0,268, 0,334 en 0,400 g/kg afkomstig van MgCO₃. De groei op de hoogste dosering was 395 g/d en de FCR was 2,01. Het voer met 0,40 g Mg/kg gaf de beste resultaten. In het derde onderzoek voerden ze semi-synthetische voeders met een gehalte van 0,065, 0,153, 0,241, 0,329, 0,417 en 0,505 g Mg/kg voer aan biggen van 20-42 kg LW gedurende zes weken. De groei op de hoogste dosering was 772 g/d en de FCR was 2,30. Ze concluderen dat de behoefte ligt tussen 0,4 en 0,5 g Mg/kg voer. Bartley et al. (1961) voerden twee series balansproeven uit met biggen (5-10 kg) gedurende 17 dagen. De biggen kregen semi-synthetisch rantsoenen met 0,007, 0,030, 0,221, 0,200 en 0,470 g Mg/kg voer (Mg-bronnen MgCO₃ en MgSO₄). De gemiddelde groei en voederconversie waren 282 g/d resp. 1,10. De auteurs concluderen dat de behoefte voor biggen van 3-6 weken leeftijd 0,40 g Mg/kg voer is. Miller et al. (1965a) concluderen uit hun proeven met biggen van ca. 2-13 kg LW, met een gemiddelde groei en voederconversie van 310 g/d resp. 1,28, die semi-synthetisch voeders kregen met 0,025, 0,075, 0,125, 0,225, 0,325 en 0,425 g Mg/kg (Mg-bronnen MgCO₃ en MgSO₄) dat de minimale Mg-behoefte gedekt wordt met 0,325 g /kg voer, maar 0,425 g/kg voer gaf wel iets betere resultaten. NRC stelt dat de Mg-behoefte bij gespeende biggen en vleesvarkens waarschijnlijk niet hoger is dan van een jonge big, zonder daar echter argumenten voor aan te dragen. De hoeveelheid Mg in een mais-soja rantsoen (1,4-1,8 g/kg) lijkt op basis van het onderzoek van Svajgr et al. (1969) en Krider et al. (1975) voldoende. Svajgr et al. (1969) voerden aan varkens van 17-98 kg LW een mais-soja voer met 1,28 g Mg/kg, zonder of met een toevoeging van 0,1 g Mg/kg (Mg-bron MgO). Er werd geen verschil in groeiprestaties gevonden (groei 815 g/d en voederconversie 2,90). In het onderzoek van Krider et al. (1975) werden varkens van 19-102 kg LW gevoerd met een mais-soja voer (1,6 g Mg/kg) al dan niet aangevuld met 1,1 g Mg/kg afkomstig van MgO. Ook zij vonden geen verschil in performance (groei 685 g/d en voederconversie 3,43).

3.3.2 Fokzeugen

Er is nauwelijks onderzoek gedaan naar de Mg-behoefte bij fokzeugen. In het onderzoek van Harmon et al. (1976) kregen gelten, 16 dieren per behandeling, een semi-synthetisch voer tijdens de dracht met 0,393 of 0,951 g Mg/kg. Tijdens de lactatie kregen deze zeugen 0,15 of 0,73 g Mg/kg voer in de vorm van MgCO₃. Het Mg-gehalte tijdens de dracht had geen enkel effect op de groei tijdens de dracht (59 vs. 54 kg), aantal levend geboren biggen (9,9 vs. 9,1) en het geboortegewicht van de levende biggen (13,9 vs. 12,4 kg). Ook bij de lacterende zeugen werden geen verschillen gevonden in het aantal gespeende biggen (9,3 vs. 8,8) en het toomgewicht bij spenen op 36 dagen (60,2 vs. 56,0 kg). Wel hadden de lacterende zeugen zonder Mg-toevoeging een erg negatieve Mg-balans, terwijl die op 0,73 g Mg/kg vrijwel in evenwicht waren. Er moet wel opgemerkt worden dat bij een voergift van 3,9 kg de gemiddelde melkproductie van deze zeugen, die op d22 en d34 werd gemeten, slechts 2,0 kg/d was.

3.4 Overzicht van de Mg-behoefte

Een overzicht van de Mg-behoefte van varkens volgens GfE en NRC is gegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Overzicht Mg-behoefte (g/kg voer)

Bron	Categorie						
	Groeierende varkens					Fokzeugen	
	5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
GfE	geen	geen	geen	geen	geen	geen	geen
NRC	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6

3.5 Aanvullende informatie en discussie Mg-behoefte

Alhoewel het geen studies betreft omtrent de Mg-behoefte maar toch wel praktisch relevant, zijn recent proeven uitgevoerd om het effect van Mg-verbindingen op de slachtkwaliteit bij vleesvarkens te bestuderen. Er werd daarbij een hoge dosering Mg vlak voor afleveren naar het slachthuis verstrekt (o.a. D'Sousa et al., 1998; Humphreys et al., 2009 en Alonso et al., 2012). In het kader van deze studie wordt hier niet nader op ingegaan.

Het lijkt erop dat in tegenstelling tot Ca en P, er geen duidelijke aanwijzingen zijn dat een hormoon of vitamine direct betrokken is in de absorptie, homeostase of het metabolisme van Mg (Littledike en Goff, 1987; Anonymus, 2005).

Op basis van vier van bovenstaand vermelde proeven bij biggen van 2-22 kg LW met een semi-synthetisch voer (Mayo et al., 1959; Bartley et al., 1961; Miller et al., 1965a) kan een gemiddelde behoefte uitgerekend worden van $0,41 \pm 0,01$ g Mg/kg voer (bijlage 2). Er is helaas geen literatuur bekend waarin de onderhoudsbehoefte voor Mg bij varkens is vastgesteld.

Omdat voor het vaststellen van de Mg-behoefte onderzoek met semi-synthetische voeders noodzakelijk is kan de vraag gesteld worden of de uitkomsten met praktijkvoeders mogelijk heel anders zouden zijn. Hierbij moet dan vooral gekeken worden naar de absorptiecoëfficiënt. Daarom zijn van mengvoeders, waarvan de Ca- en P-balansen zijn gemeten (Jongbloed, 1987), ook de Mg-balansen doorgerekend. Van in totaal 33 mengvoeders voor vleesvarkens was het Mg-gehalte gemiddeld $1,88 \pm 0,45$ g/kg voer zonder toegevoegd Mg. De gemiddelde absorptiecoëfficiënt was $26,1 \pm 3,5\%$ en de gemiddelde retentiecoëfficiënt was $11,5 \pm 2,6\%$. Er wordt dus meer dan de helft van de geabsorbeerde Mg met de urine uitgescheiden, wat duidt op een behoorlijke overmaat aan Mg. Vervolgens is de hoeveelheid geretineerde Mg per kg voer uitgerekend; deze kwam gemiddeld uit op $0,21 \pm 0,05$ g/kg voer. Ook is de hoeveelheid geretineerde Mg/kg voer uitgerekend voor de Mg-balansproeven van Miller et al. (1965b,c,d). Voor deze berekening zijn alleen voeders meegenomen met minimaal 0,33 g Mg/kg omdat anders onder de Mg-behoefte gevoerd wordt. Het gemiddelde Mg-gehalte was $0,44 \pm 0,17$ g/kg voer en de gemiddelde absorptiecoëfficiënt was $60,4 \pm 15,5$ en de gemiddelde retentiecoëfficiënt was $52,8 \pm 15,8$. Vanwege de geringe overmaat aan Mg is het verschil tussen de absorptie- en retentiecoëfficiënt bij Miller et al. (1965b,c,d) veel kleiner dan bij Jongbloed (1987). De gemiddelde hoeveelheid geretineerde Mg/kg voer in de proeven van Miller was $0,22 \pm 0,08$. Opvallend is de goede overeenkomst tussen de geretineerde Mg/kg voer van Jongbloed (1987) en die van Miller et al. (1965b,c,d). Aangezien de absorptiecoëfficiënt van Mg in praktijkvoeders (Jongbloed, 1987) veel lager is dan in semi-synthetische voeders (Miller et al., 1965b,c,d) moet hiermee rekening gehouden worden.

In een recent uitgevoerde serie verteringsproeven met voedermiddelen bij vleesvarkens is ook de verteerbaarheid van Mg gemeten. Bij 44 voeders was de gemiddelde Mg-verteerbaarheid $27,8 \pm 5,45\%$ (Jongbloed en Van Diepen, 2014). Ik stel daarom voor praktijkvoeders een absorptiecoëfficiënt voor van 25%. Om te komen tot een gehalte in praktijkvoer moet $0,22/25 \times 100 = 0,88$ g Mg/kg voer worden aangehouden als behoeftenorm voor Mg bij groeiende varkens.

Voor drachtige zeugen kan de volgende berekening worden gemaakt. De lichaamsaanzet is 40 kg gedurende de dracht met 0,22 g Mg/kg. Verder gaan we uit van 25 kg foeten met 0,29 g Mg/kg (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd). Dit levert 0,28 g Mg/d op. Rekenend met een absorptiepercentage van 25% is bruto 1,14 g Mg/d nodig. Bij een voeropname van 2,5 kg is het gewenste minimumgehalte, zonder rekening te houden met onderhoud, 0,46 g Mg/kg voer.

In de proef van Harmon et al. (1976) werd in lacterende zeugen een absorptiecoëfficiënt in het semi-synthetische voer zonder Mg-toevoeging (0,15 g Mg/kg voer) gemeten van 19,4 en van het voer met Mg-toevoeging (0,73 g Mg/kg voer) 42,4%. In de melk is gemiddeld (n=58) $0,13 \pm 0,03$ g Mg/kg aanwezig (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd). Bij een melkproductie van 12 kg wordt 1,56 g Mg/d in de melk uitgescheiden. Er wordt uitgegaan van een Mg-gehalte in een fokzeug van 0,22 g/kg LW (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd). Mobilisatie van maternaal weefsel van 20 kg over 26 lactatiedagen levert $20 \times 0,22/26 = 0,17$ g Mg/d op. Voor onderhoud aan Mg zijn geen data bekend en dit kan daarom niet in de berekeningen worden meegenomen. We nemen evenals bij de vleesvarkens een absorptiepercentage aan van 25%. Totaal is de bruto Mg-behoefte, dus zonder rekening te houden met onderhoud, $(1,56 - 0,17)/0,25 = 5,56$ g/d. Bij een voeropname van 5,0 kg/dag dient het voer voor lacterende zeugen, zonder rekening te houden met onderhoud, minimaal 1,11 g Mg/kg te bevatten.

Men zou kunnen speculeren over de onderhoudsbehoefte voor Mg. Voor P geldt een onderhoudsbehoefte van 7 mg/kg LW. Aangezien Mg veel minder voorkomt in het dier dan P is een aanname van 2 mg Mg/kg LW misschien niet zo gek, maar is mogelijk nog wel minder. Met zo'n aanname kan mogelijk de Mg-behoefte voor fokzeugen wat beter geschat worden aangezien de proef van Harmon et al. (1976) geen enkel houvast biedt.

3.6 Conclusie en aanbevelingen Mg-behoefte voor CVB

De conclusie is dat de aanbevelingen van de NRC voor vleesvarkens vrij goed onderbouwd zijn, maar die van fokzeugen niet. Alle bruikbare proeven zijn uitgevoerd met semi-synthetische voeders zodat er een vertaalslag nodig is naar praktijkvoeders. Uitgaande van een absorptiecoëfficiënt voor Mg van 25% kan 0,9 g Mg/kg voer worden aangehouden voor de behoeftenorm voor Mg bij groeiende varkens. Omdat de Mg-behoefte voor onderhoud niet bekend is kan moeilijk een schatting van de Mg-behoefte voor fokzeugen gemaakt worden. Zonder rekening te houden met de Mg-behoefte voor onderhoud dient het voer voor drachtige en lacterende zeugen minimaal 0,46 resp. 1,1 g Mg/kg te bevatten. Bij een aanname van 2 mg Mg/kg LW voor onderhoud, zou het voer 1,1 resp. 1,4 g Mg/kg dienen te bevatten.

Voorstel Mg-behoefte van varkens CVB (g/kg voer) zonder veiligheidsmarge

Categorie						
Groeiende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,1	1,4

Voorstel voedernorm CVB (= behoefte van varkens met veiligheidsmarge) voor varkens voor Mg (in g/kg voer). Bij de voedernorm is vooral vanwege de onzekerheid rond het absorptiepercentage, een veiligheidsmarge van 20% aangehouden.

Categorie						
Groeierende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4	1,8

Voor opfokzeugen en -beren kan hetzelfde gehalte als voor vleesvarkens worden aangehouden en voor dekberen hetzelfde gehalte als voor drachtige zeugen.

4 Natrium

4.1 Functie

Natrium (Na) en chloor (Cl) zijn samen het belangrijkste extracellulaire kation en anion in het lichaam. Natrium vervult belangrijke functies bij de instandhouding van de waterbalans, het zuur-base evenwicht en de membraanpotentialen. Naast deze fysiologische functies is dit element tevens essentieel voor de absorptie van onder andere glucose, galactose, de meeste peptiden en aminozuren en galzuren uit het maagdarmkanaal (CVB, 2005).

Zoogdieren kunnen erg zuinig met Na omgaan. Natrium wordt over de gehele lengte van het maagdarmkanaal geabsorbeerd. Ook is er een aantal hormonen (o.a. aldosteron) dat specifiek de Na-absorptie vanuit de darm en de resorptie vanuit de nieren stimuleert, zodat de Na-uitscheiding met mest en urine zeer sterk beperkt kan worden.

Een tekort aan Na geeft verminderde groeiprestaties bij varkens. Varkens kunnen daarentegen hoge Na-gehalten in het voer tolereren, mits ze voldoende drinkwater tot hun beschikking hebben.

4.2 Natriumbehoefte voor varkens volgens GfE

4.2.1 Groeiende varkens

Het Na-gehalte in varkens is afgeleid van een beperkt aantal onderzoeken. Dit zijn Mudd et al. (1969), Moinizadeh (1975), Rymarz (1986), Hendriks en Moughan (1993) en Mahan en Shields (1998). Op basis van deze onderzoeken en het gegeven dat $EBW = 0,94 \times LW$, is door GfE voor varkens tot 80 kg LW een hoeveelheid van 1,2 g Na per kg groei en na 80 kg LW van 1,1 g Na per kg groei aangegeven. Op basis van Lantzsich et al. (1963) die minder dan 1 g Na/kg fecaal water vonden, concludeert GfE een onvermijdelijk verlies van 1 g Na/kg fecaal water. Bij een gemiddelde verteerbaarheid van de DS van 85% en een DS-gehalte in feces van 300 g/kg, wordt per kg DS voer 350 g fecaal water uitgescheiden en dus 0,35 g Na. Er wordt uitgegaan van een absorptiecoëfficiënt voor Na van 90%. De conclusie is dat voor varkens tot 80 kg LW de Na-behoefte (g/d) is: $(\text{groei (kg/d)} \times 1,2 + \text{DS-opname (kg/d)} \times 0,35) / 0,90$, terwijl na 80 kg LW de Na-behoefte in g/d is: $(\text{groei (kg/d)} \times 1,1 + \text{DS-opname (kg/d)} \times 0,35) / 0,90$.

4.2.2 Drachtige zeugen

Omdat in de vroege dracht de kwantitatieve aanzet in foeten zeer gering is, wordt in de late dracht op basis van Becker et al. (1979) en Den Hartog et al. (1979) de dagelijkse aanzet aan Na vastgesteld op 2,0 g. Verder wordt gemeld dat voor gelten rekening moet worden gehouden met een maternale aanzet van 0,6 g/d. Op basis van Lantzsich et al. (1963) die minder dan 1 g Na/kg fecaal water vonden, concludeert GfE een onvermijdelijk verlies van 1 g Na/kg fecaal water. Bij een gemiddelde verteerbaarheid van de DS van 85% en een DS-gehalte in feces van 300 g/kg, wordt per kg DS 350 g fecaal water uitgescheiden en dus 0,35 g Na. Er wordt uitgegaan van een absorptiecoëfficiënt voor Na van 90%. Het zeugenvoer voor de dracht bevat 11 MJ ME/kg.

4.2.3 Lacterende zeugen

De secretie aan Na in melk is gebaseerd op Ondersheka (1969), Walkiewicz (1979), Baranow-Baranowski en Bronisz (1979) en Migdal et al. (1990). Er wordt een gehalte van 0,8 g Na/kg melk aangehouden. Op basis van Lantzsich et al. (1963) die minder dan 1 g Na/kg fecaal water vonden, concludeert GfE een onvermijdelijk verlies van 1 g Na/kg fecaal water. Bij een gemiddelde verteerbaarheid van de DS van 85% en een DS-gehalte in feces van 300

g/kg, wordt per kg DS 350 g fecaal water uitgescheiden en dus 0,35 g Na. Er wordt uitgegaan van een absorptiecoëfficiënt voor Na van 90%. Men gaat uit van 4,1 l zeugenmelk per kg toomgroei en er wordt geen rekening gehouden met eventuele mobilisatie van matернаal weefsel. Het zeugenvoer bevat 13 MJ ME/kg met 88% DS.

4.3 Natriumbehoefte voor varkens volgens NRC

4.3.1 Groeiende varkens

De Na-behoefte van vleesvarkens is op basis van diverse onderzoeken niet hoger dan 0,8-1,0 g Na/kg voer. Meyer et al. (1950) voerden aan varkens van 17-35 kg LW een voer met 0,3, 0,6, 0,9 en 1,7 g Na/kg. Een gehalte van 0,9 g/kg gaf de beste zoötechnische resultaten (groei 626 g/d en FCR 1,99). Alcantara et al. (1980) gaven in hun eerste proef aan varkens van 28-90 kg LW een mais-sojavoer zonder toegevoegd NaCl of een aanvulling van 0,8, 1,6 en 2,5 g/kg. De beste performance (groei 740 g/d en FCR 2,90) werd bereikt met een aanvulling van 1,6 g NaCl/kg (totaal 0,93 g Na/kg). In de tweede proef werd aan biggen van 9-25 kg LW een mais-sojavoer verstrekt met een aanvulling van 0,8, 1,4, 2,0 en 2,5 g NaCl/kg voer. Een toevoeging van 2,0 g NaCl/kg was voldoende (totaal 0,93 g Na/kg) voor optimale groeiprestaties (groei 440 g/d en FCR 1,90). In het onderzoek van Hagsten en Perry (1976) met vleesvarkens van 17-35 kg LW die een mais-sojavoer kregen, werden in de eerste proef Na-niveaus aangelegd van 0,24, 0,52, 0,80 en 1,08 g/kg door het toevoegen van NaCl. Een hoeveelheid van 0,80 g Na/kg gaf de beste resultaten (groei 630 g/d en FCR 2,40). In de tweede proef met varkens van 12-40 kg LW werden de volgende Na-gehalten getoetst: 0,44, 0,56, 0,68 en 0,80 g/kg. Ook hier gaf een hoeveelheid van 0,80 g Na/kg de beste resultaten (groei 570 g/d en FCR 2,53). De derde en vierde proef waren te klein van omvang om conclusies te trekken, behalve dat geen zouttoevoeging heel slechte productieresultaten gaf. In een andere serie proeven van Hagsten et al. (1976) met varkens van 18-91 kg LW op een mais-sojavoer werd in het eerste experiment geen of 0,4, 0,8, 1,2, 1,6, 2,0 en 4,0 g Na/kg voer toegevoegd in de vorm van NaCl. Uit deze proef bleek een Na-gehalte van 1,04 g/kg de beste groeieresultaten te geven (groei 658 g/d en FCR 3,21). In de tweede proef van Hagsten et al. (1976) met varkens van 27-100 kg LW werden dezelfde behandelingen uitgevoerd als in de eerste proef behalve de hoogste dosering. Uit deze proef bleek een Na-gehalte van 1,44 g/kg de beste groeieresultaten te geven (831 g/d en een FCR van 3,08). In beide proeven waren er geen significante verschillen in groei en voederconversie tussen de behandelingen behalve met de voeders waaraan geen NaCl was toegevoegd. Hun conclusie is dat een toevoeging van 0,8 g Na/kg voldoende is en tevens nog een veiligheidsmarge inhoudt. Honeyfield en Froseth (1985) deden een proef met biggen van 8-23 kg LW die een mais-sojavoer kregen, al dan niet aangevuld met NaCl zodat Na-gehalten werden verkregen van 0,24, 1,18 en 1,84 g Na/kg. Met 1,18 g Na/kg voer werden de beste resultaten verkregen (groei 410 g/d en FCR 2,28). In een andere proef van Honeyfield et al. (1985) met vleesvarkens van 36-89 kg LW werden drie Na-niveaus aangelegd nl. 0,32, 0,92 en 1,68 g Na/kg voer. Het voer met 0,92 g Na/kg gaf de beste groeieresultaten (groei 723 g/d en FCR 3,42). Kornegay et al. (1991) voerden aan varkens van 22-110 kg LW een mais-sojavoer met verschillende hoeveelheden gedefluoreerd rotsfosfaat dat veel Na bevat. Hiermee werden de volgende Na-gehalten bereikt: voor de groeifase van 22-67 kg LW 0,6, 1,3, 2,0 en 3,4 g/kg en gedurende de afmestfase van 67-110 kg LW 0,3, 1,0, 1,7, en 3,1 g/kg. Tijdens de groeifase was er numeriek een iets hogere groei bij 1,3 g Na/kg en meer, maar over het hele mesttraject van 22-110 kg LW was de groei het hoogst bij 0,6 g Na/kg van 22-67 kg LW en 0,3 g Na/kg van 67-110 kg LW. De stappen in

Na-gehalte zijn te groot om hieruit conclusies te kunnen trekken over de Na-behoefte. Mahan et al. (1996) voerden twee experimenten uit met biggen gespeend op 23 dagen. In de eerste proef werd een mais-soja-weipoedervoer verstrekt zonder toevoeging van NaCl (2,0 g Na/kg) of een toevoeging van 0,8, 1,6 of 2,4 g Na/kg in de vorm van NaCl gedurende 5 weken (6,6-20,8 kg LW). In deze proef bleek in de eerste week de groei lineair toe te nemen met het Na-gehalte van 74 naar 120 g/d, terwijl de voeropname niet verschillend was. Van 8-14 dagen nam de groei kwadratisch toe (beste bij 4,4 g Na/kg) maar was de voeropname niet verschillend. In de eerste 14 dagen verhoogde een toevoeging van 1,6 g Na/kg de groei van 165 naar 198 g/d, maar van 15-35 dagen was er geen verschil in performance meer afhankelijk van het Na-gehalte. In hun tweede experiment werd hetzelfde basisvoer verstrekt, aangevuld met Na₂HPO₄ (0, 0,8, 1,6 en 2,4 g Na/kg) om na te gaan of het een Na of een gecombineerd Na en Cl effect was in het eerste experiment. Ook in deze proef (6,0-20,8 kg LW) werd gedurende de eerste week de beste groei verkregen bij 4,2 g Na/kg (van 73 naar 106 g/d), maar werd er geen effect van het Na-niveau op de performance gezien gedurende de laatste drie weken. Er werden geen significante verschillen in voeropname waargenomen. In de proeven van Mahan et al. (1996) was dus vooral in de eerste week na spenen het grootste en een consistent positief effect op de groei, terwijl er een duidelijk lagere respons in de tweede week na spenen werd verkregen en daarna helemaal geen effect van het Na-gehalte op de performance. Op grond van de proeven van Mahan et al. (1996) is het aanbevolen Na-gehalte van NRC voor biggen gedurende de eerste 14 dagen na spenen op drie weken verhoogd van 2,0 naar 3,5 g Na/kg. Er moet opgemerkt worden dat als gevolg van de gedroogde wei in hun rantsoenen het Na-gehalte al 2,0 g/kg was, zodat het moeilijk is om de Na-behoefte af te leiden. Mahan et al. (1999) voerden een serie proeven uit met biggen gespeend op 22 dagen en met een rantsoen bestaande uit voornamelijk mais, sojaschroot, plasma eiwit en lactose (Na-gehalte 2,0 g/kg). In het eerste experiment werd het voer al dan niet aangevuld met NaCl (0, 0,8, 1,6 en 2,4 g Na/kg). De proef duurde drie weken (6,5-14,4 kg LW). De eerste 14 dagen werd de hoogste groei behaald bij 3,6 g Na/kg, maar in de derde week gaf 2,8 g Na/kg de beste performance. In de tweede proef werden bij gespeende biggen op 21 dagen zowel Na als Cl gevarieerd met overigens hetzelfde basisvoer als in experiment 1. Het Na-gehalte was 2,0 of 3,4 g/kg en het Cl-gehalte 2,5 of 4,5 g/kg. Vooral een hoger Cl-gehalte had een positief effect op de groei in alle drie weken, maar het hogere Na-gehalte had nauwelijks effect. In balansproeven van Yin et al. (2008) met biggen vanaf 21 kg werd de hoogste P-verteerbaarheid gemeten bij een NaCl-toevoeging van 1,2 g Na aan een mais-sojavoer. Helaas geven zij geen geanalyseerde Na-gehalten in de voeders. In preferentiestudies van Monegue et al. (2011) werd aangetoond dat gespeende biggen voeders met hogere zoutgehalten selecteerden en dat twee weken na spenen de voorkeur voor hogere zoutgehalten afnam. Mede hierdoor zijn door NRC de Na- en Cl-behoeften voor biggen van 5-7, 7-11 en 11-25 kg LW vastgesteld op 4,0/5,0, 3,5/4,5 resp. 2,8/3,2 g/kg.

4.3.2 Fokzeugen

Er zijn zeer weinig proeven met zeugen uitgevoerd om de Na-behoefte vast te stellen. Friend en Wolynetz (1981) deden een preferentiestudie met gelten die al dan niet drachtig waren. Deze auteurs stellen dat 1,2 g Na/kg niet voldoende zou zijn voor drachtige zeugen, terwijl voor lacterende zeugen 2,8 g Na/kg nodig zou zijn. Dit onderzoek komt echter niet erg overtuigend over. Cromwell et al. (1989) deden een studie op diverse locaties met drachtige en lacterende zeugen. In het eerste experiment werd aan een mais (sorghum)-sojavoer 1,0 en 2,0 Na/kg (als NaCl) toegevoegd en in het tweede experiment 0,5 en 1,0 g Na/kg (als

NaCl). In experiment 1 was het geboortegewicht 50 g/big lager bij 1,0 g Na/kg en ook het speengewicht op 21 dagen was iets lager. Het aantal geboren biggen in de eerste worp op het lage Na-gehalte was groter maar in de tweede worp juist lager. Resultaten van het tweede experiment laten geen van deze verschillen zien, behalve een indicatie tot minder geboren en gespeende biggen bij het lage Na-gehalte. Daarom stelt NRC een toevoeging voor van 1,6 g Na/kg voor drachtige en 2,0 g Na/kg voor lacterende zeugen. In hun tabellen wordt dit echter als het totaal Na-gehalte per kg voer aangegeven, wat ook door Cromwell et al. (1989) wordt vermeld. Ondanks dat 1,6 g Na/kg voer voor drachtige zeugen wordt vermeld, geeft NRC in de tabel voor behoeftenormen 1,5 g Na/kg voer aan. Dit getal wordt ook door mij aangehouden.

4.4 Overzicht van de Na-behoefte

Een overzicht van de Na-behoefte van varkens is gegeven in Tabel 2.

Tabel 2. Overzicht van de Na-behoefte (g/kg voer)

Bron	Categorie						
	Groeïende varkens					Fokzeugen	
	5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
GfE	1,7-2,4	1,4-1,7	0,9-1,4	0,9	0,8-0,9	1,2	2,1-2,5
NRC	4,0 / 3,5 *	2,8	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0

*: bij resp. 5-7 en 7-11 kg.

4.5 Aanvullende informatie en discussie Na-behoefte

Het onvermijdelijke verlies van Na zoals aangegeven door GfE is gebaseerd op balansproeven met slechts twee 8^e worpszeugen gedurende de dracht en lactatie (Lantzsich et al., 1963). Deze zeugen kregen in beide stadia dezelfde hoeveelheid voer per dag nl. 4,0 kg met 12,48 g Na. Het Na-gehalte was dus 3,12 g/kg, wat vrij hoog is. Vervolgens wordt het Na-gehalte in de waterfase van de mest berekend, welke behalve voor dag 113, 114 en 115 van de dracht en dag 1 en 2 van de lactatie voor zeug F varieerde van 1,23 tot 2,32 g/kg met een gemiddelde en standaardafwijking van $1,74 \pm 0,34$ (n=28) en voor zeug S varieerde het Na-gehalte van 0,77 tot 1,94 g/kg met gemiddelde en standaardafwijking van $1,30 \pm 0,34$ (n=27). Wanneer alleen de hoeveelheid Na/kg fecaal water wordt berekend bij een negatieve Na-balans (dag 3-15 van de lactatie) is dat voor zeug F $2,04 \pm 0,18$ (n=13) en voor zeug S $1,59 \pm 0,13$ (n=13). Alleen was het Na-gehalte/kg fecaal water bij zeug F lager dan 1,0 g/kg van dag 114 tot dag 2 van de lactatie en bij zeug S van dag 106 tot dag 2 van de lactatie, dus in de overgang van dracht naar lactatie. Toch concludeert GfE dat het onvermijdelijk verlies 1,0 g Na/kg fecaal water is. Dit getal komt als het ware uit de lucht vallen en is mijns inziens niet goed onderbouwd. ARC (1981) komt op basis van gegevens van de proef van Meyer et al. (1950) via extrapolatie tot de conclusie dat het onvermijdelijk verlies 1,14 mg Na/kg LW is. De varkens wogen 25 kg, dus is volgens ARC (1981) het onvermijdelijk Na-verlies 28,5 mg, terwijl volgens GfE bij een opname van 900 g DS het onvermijdelijk verlies 193 mg zou bedragen. Deze waarden liggen ver uit elkaar, zodat de conclusie is dat er geen betrouwbare schatting is voor het onvermijdelijk verlies van Na. De gehalten aan Na in groeiende varkens van GfE zijn gebaseerd op nogal gedateerde gegevens (Mudd et al., 1969; Moinizadeh, 1975; Rymarz, 1986; Hendriks en Moughan, 1993 en Mahan en Shields, 1998). De laatste referentie is gebaseerd op onderzoeksmateriaal gepubliceerd in 1983 (Shields et al., 1983). Het is de vraag of deze Na-gehalten nog steeds kloppen. Op basis van mijn eigen databestanden (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd) is het Na-gehalte bij varkens van 5-80 kg LW $1,04 \pm 0,44$ (n=52) en van 81-130 kg LW $0,81 \pm 0,34$

(n=27), terwijl GfE uitgaat van 1,2 resp. 1,1 g/kg.

GfE gaat uit van een Na-gehalte in zeugenmelk van 0,8 g/kg, maar op basis van veel meer literatuur (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd) kom ik uit op $0,41 \pm 0,14$ (n=49). De hoge Na-gehalten in melk worden gevonden in biest, waarna het gehalte sterk daalt. Ik vond een Na-gehalte in melk tot en met dag 2 van de lactatie van $0,66 \pm 0,13$ (n=34).

Het onderzoek van Mahan et al. (1996; 1999) toont aan dat een hoger Na-gehalte in het voer (gemiddeld $4,1 \pm 0,5$ g/kg; n=3) van biggen die op 21 dagen werden gespeend alleen in de eerste 14 dagen resulteerde in een betere groei, maar daarna had een verhoogd Na-gehalte geen effect meer op de groei en was over het traject van spenen tot 20 kg LW de gemiddelde behoefte (n=4) $2,2 \pm 0,4$ g Na/kg. In het traject van 15 kg LW en meer was de behoefte (n=7) $0,98 \pm 0,22$ g Na/kg (Meyer et al., 1950; Hagsten en Perry, 1976; Hagsten et al., 1976; Alcantara et al., 1980; Honeyfield et al., 1983b; bijlage 3). De Na-behoefte is in het traject vanaf 15 kg LW dus aanmerkelijk lager dan van spenen tot 20 kg LW. Er is op basis van de proeven van Mahan et al. (1996; 1999) geen enkel experimenteel bewijs dat de Na-behoefte duidelijk verhoogd is in het traject van 11-25 kg LW.

In een voederproef van Van Diepen en Lenis (1989) werden vleesvarkens van 35 tot 105 kg LW ad libitum gevoerd met voeders waaraan 0,8, 1,2 of 2,0 g/kg Na in de vorm van NaCl was toegevoegd om het effect op groeiprestaties en wateropname te bestuderen. In het traject van 35 tot 65 kg LW was er geen verschil in groeiprestaties, maar was de water : voerverhouding 2,27, 2,35 resp. 2,39. In het traject van 65 tot 105 kg LW waren de groeiprestaties op het laagste toevoegingsniveau niet significant het beste, terwijl de water : voerverhouding 2,02, 2,20 resp. 2,21 was.

4.6 Conclusie en aanbevelingen Na-behoefte voor CVB

Op basis van de aangehaalde literatuur is een factoriële benadering van de Na-behoefte niet verantwoord. Voor pasgespeende biggen is het de vraag of het verhoogde Na-gehalte volgens NRC moet worden aangehouden omdat in Nederland niet op een leeftijd van 3 weken maar veelal op vier weken wordt gespeend. Bovendien blijkt dat het positieve effect op de groei vooral een Cl-effect is en geen Na-effect. Daarom wordt een Na-behoefte voor biggen voorgesteld van 2,2 g/kg voer. Voor vleesvarkens lijkt 1,0 g Na/kg voldoende. Voor fokzeugen wordt voorgesteld om de NRC te volgen.

Voorstel Na-behoefte van varkens CVB (g/kg voer) zonder veiligheidsmarge

Categorie						
Groeierende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
2,2	2,2	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0

Voorstel voedernorm CVB (= behoefte van varkens met veiligheidsmarge van 10%) voor varkens voor Na (in g/kg voer).

Categorie						
Groeierende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
2,4	2,4	1,1	1,1	1,1	1,6	2,2

Voor de mineralenbehoefte voor opfokzeugen en -beren wordt verwezen naar die voor vleesvarkens en voor die van dekberen kan hetzelfde gehalte als voor drachtige zeugen worden aangehouden.

5 Chloor

5.1 Functie

Chloor komt in hoge concentraties voor in de extracellulaire vloeistof. Samen met het aanwezige bicarbonaat neutraliseert Cl^- het aanwezige natrium (Na^+). Daarom is Cl een belangrijke component van de osmotische druk van de extracellulaire vloeistof. Tevens speelt het een rol bij het handhaven van de waterbalans in dieren. Verder speelt Cl een belangrijke rol bij de ademhaling in de longen. Chloor is het belangrijkste anion van de maagsapsecretie en samen met het waterstofion speelt het een belangrijke rol in de eiwitvertering in de maag.

5.2 Chloorbehoefte voor varkens volgens GfE

5.2.1 Groeiende varkens

Het Cl-gehalte in varkens is afgeleid van het onderzoek van Mudd et al. (1969). Op basis van dit onderzoek en het gegeven dat $\text{EBW} = 0,94 \times \text{LW}$ is voor Cl tot 80 kg LW een hoeveelheid van 1,6 g Cl per kg groei en na 80 kg LW 1,4 g Cl per kg groei aangegeven. Op basis van Lantzsich et al. (1963) die minder dan 1 g Na/kg fecaal water vonden, concludeert GfE een onvermijdelijk verlies van 1,5 g Cl/kg fecaal water. Bij een gemiddelde verteerbaarheid van de DS van 85% en een DS-gehalte in feces van 300 g/kg, wordt per kg DS voer 350 g fecaal water uitgescheiden en dus 0,5 g Cl. Er wordt uitgegaan van een absorptiecoëfficiënt van Cl van 90%. De conclusie is dat er voor varkens tot 80 kg de Cl-behoefte (g/d) is: $(\text{groei (kg/d)} \times 1,6 + \text{DS-opname} \times 0,5)/0,90$, terwijl na 80 kg de Cl-behoefte in g/d is: $(\text{groei (kg/d)} \times 1,4 + \text{DS-opname} \times 0,5)/0,90$. GfE stelt dat door de aannames voor Cl, voor de Cl-behoefte volstaan kan worden door de Na-behoefte te vermenigvuldigen met een factor 1,5.

5.2.2 Drachtige zeugen

Omdat in de vroege dracht de kwantitatieve aanzet in foeten zeer gering is, wordt in de late dracht op basis van Becker et al. (1979) en Den Hartog et al. (1979) de dagelijkse aanzet aan Cl vastgesteld op 2,0 g. Verder wordt gemeld dat voor gelten rekening moet worden gehouden met maternale aanzet. Op basis van Lantzsich et al. (1963) die minder dan 1 g Na/kg fecaal water vonden, concludeert GfE een onvermijdelijk verlies van 1,5 g Cl/kg fecaal water. Bij een gemiddelde verteerbaarheid van de DS in het voer van 85% en een DS-gehalte in feces van 300 g/kg, wordt per kg DS voer 350 g fecaal water uitgescheiden en dus 0,5 g Cl. Er wordt uitgegaan van een absorptiecoëfficiënt voor Cl van 90%.

5.2.3 Lacterende zeugen

De secretie aan Cl in melk is gebaseerd op Onderscheika (1969), Walkiewicz (1979) en Baranow-Baranowski en Bronisz (1979). Er wordt een gehalte van 0,8 g Cl/kg melk aangenomen. Op basis van Lantzsich et al. (1963) die minder dan 1 g Na/kg fecaal water vonden, concludeert GfE een onvermijdelijk verlies van 1,5 g Cl/kg fecaal water. Bij een gemiddelde verteerbaarheid van de DS van het voer van 85% en een DS-gehalte in feces van 300 g/kg, wordt per kg DS voer 350 g fecaal water uitgescheiden en dus 0,5 g Cl. Er wordt uitgegaan van een absorptiecoëfficiënt voor Cl van 90%.

5.3 Chloorbehoefte voor varkens volgens NRC

5.3.1 Groeiende varkens

In de derde proef van Mahan et al. (1996) werd aan biggen, gespeend op 21 dagen, een mais-soja-weipoederrantsoen (4,0 g Cl/kg) verstrekt, aangevuld met 0, 0,5 en 1,0 g Cl/kg in

de vorm van verdund HCl. Gedurende de eerste 14 dagen was de groei het hoogst (216 g/d) bij 5,0 g Cl/kg en de FCR het best (1,50) bij 4,5 g Cl/kg. Over de gehele periode van 35 dagen was er geen verschil in performance tussen alle behandelingen. In de tweede proef van Mahan et al. (1999) werden bij biggen, gespeend op 21 dagen, zowel Na als Cl gevarieerd. Het Na-gehalte was 2,0 of 3,4 g/kg en het Cl-gehalte 2,5 of 4,5 g/kg. Vooral een hoger Cl-gehalte had een positief effect op de groei in alle drie weken, maar het hogere Na-gehalte had nauwelijks effect. In het derde experiment van Mahan et al. (1999) werden bij biggen gespeend op 21 dagen diverse Cl-gehalten getest (2,0, 2,6, 3,2, 3,8 en 4,2 g Cl/kg) door toevoeging van verdund HCl aan het basisvoer. Bij een gehalte van 3,2 g Cl/kg werd de eerste week de beste groei gerealiseerd (156 g/d) maar bij 3,8 g Cl/kg de beste FCR. Over de gehele proef van drie weken was er geen significant verschil meer tussen de behandelingen, maar had de behandeling zonder Cl-toevoeging numeriek de slechtste groeieresultaten. Bij een gehalte van 4,2 g Cl/kg werd de hoogste N-verteerbaarheid behaald in de eerste en tweede week, maar in week drie was dat bij 2,6 Cl/kg. De proeven van Mahan et al. tonen aan dat jonge biggen van ca. 21 dagen oud een hogere Cl-behoefte hebben vanwege een snelle vergroting van Cl-pool die nodig is voor de aanmaak van voldoende HCl. Een verhoging van Cl naar ca. 4 g per kg voer heeft tijdelijke positieve effecten op de eiwitverteerbaarheid en de N-balans. Dit onderzoek geeft ook duidelijk aan dat het Na hierbij geen rol van betekenis speelt.

5.3.2 Fokzeugen

Er is geen literatuur omtrent onderzoek naar de Cl-behoefte bij fokzeugen.

5.4 Overzicht van de Cl-behoefte

Een overzicht van de Cl-behoefte van varkens is gegeven in Tabel 3.

Tabel 3. Overzicht van de Cl-behoefte (g/kg)

Bron	Categorie						
	Groeierende varkens					Fokzeugen	
	5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
GfE	2,5-3,7	2,1-2,5	1,4-2,1	1,3-1,4	1,0-1,3	1,8	3,2-3,8
NRC	4,8	3,2	0,8	0,8	0,8	1,2	1,6

5.5 Aanvullende informatie en discussie Cl-behoefte

Evenals voor Na geldt dat het onvermijdelijk verlies van Cl bij varkens bij GfE slecht onderbouwd is. De 1,5 g Cl/kg fecaal water is in feite op geen enkele manier onderbouwd (misschien is dit getal gekozen vanwege de massaverhouding van Na : Cl in NaCl van 2 : 3, en dat voor Na 1 g/kg fecaal water werd aangenomen). Er worden verder in de literatuur geen waarden voor onvermijdelijk verlies van Cl bij varkens aangegeven, zodat de factoriële benadering voor het schatten van de Cl-behoefte bij varkens, zoals dat door GfE gedaan is, niet verantwoord is. Het Cl-gehalte in groeiende varkens van GfE is gebaseerd op nogal gedateerde gegevens (Mudd et al., 1969). De aangehouden gehalten aan Cl in het karkas zijn veel hoger dan de gehalten in mijn databestanden, welke bij varkens van 5-80 kg $1,07 \pm 0,27$ (n=17) en van 81-130 kg $0,83 \pm 0,21$ (n=9) zijn, terwijl GfE uitgaat van 1,6 resp. 1,4 g/kg LW (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd). Het is zeer waarschijnlijk dat de door GfE aangehouden Cl-gehalten sterk overschat zijn. Het Cl-gehalte in zeugenmelk komt overeen met dat in mijn databestanden dat $0,83 \pm 0,29$ (n=16) is.

De proeven van Mahan et al. (1996; 1999) tonen aan dat bij biggen die op 21 dagen

gespeend zijn vooral de eerste week na spenen een hoog gehalte aan Cl (4-5 g/kg) tot een hogere groeisnelheid leidt, maar over de periode van drie tot vijf weken na spenen is er geen enkel verschil meer in performance tussen de verschillende Cl-gehalten in het voer. De auteurs verklaren het effect van Cl door een mogelijk tekort aan Cl-uitscheiding in de maag. De vraag is of voor Nederlandse omstandigheden waar doorgaans op ca. 28 dagen leeftijd wordt gespeend, dit effect van een hoger Cl-gehalte wel zal optreden en daarom een hoger Cl-gehalte zouden moeten gehanteerd. Voor de normstelling wordt daarom geen rekening gehouden met het effect van extra Cl op de groei bij biggen gespeend op 21 dagen leeftijd. Op basis van drie proeven in het traject van 6-23 kg LW (Honeyfield en Froseth, 1985; Mahan et al., 1999), is het gemiddelde Cl-gehalte $2,9 \pm 1,8$ (n=3), zodat een Cl-gehalte van 2,9 g/kg in het traject van 5-25 kg wordt aanbevolen (bijlage 4).

Voor drachtige zeugen kan de volgende berekening worden gemaakt. De lichaamsaanzet is 40 kg gedurende de dracht met 0,74 g Cl/kg, zodat 0,26 g Cl/d wordt aangezet. Verder gaan we uit van 25 kg foeten met 2,33 g Cl/kg (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd). Dit levert 0,51 g Cl/d. Totaal is dus $0,26 + 0,51 = 0,77$ g Cl/d nodig. Rekening houdend met een absorptiepercentage van 85% is bruto 0,91 g Cl/d nodig. Bij een voeropname van 2,5 kg is het gewenste minimum gehalte, zonder rekening te houden met onderhoud, 0,36 g Cl/kg voer.

Voor lacterende zeugen is de situatie als volgt. In de melk is gemiddeld (n=16) $0,83 \pm 0,29$ g Cl/kg aanwezig (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd). Bij een melkproductie van 12 kg wordt 9,96 g Cl/d in de melk uitgescheiden. Er wordt uitgegaan van een Cl-gehalte in een fokzeug van 0,74 g/kg LW (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd). Mobilisatie van maternaal weefsel van 20 kg over 26 lactatiedagen levert $20 \times 0,74/26 = 0,57$ g Cl/d op. We nemen een absorptiepercentage aan van 85%. Totaal is de bruto Cl-behoefte, dus zonder rekening te houden met onderhoud, $(9,96 - 0,57)/0,85 = 11,04$ g/d. Bij een voeropname van 5,0 kg/dag dient het voer voor lacterende zeugen, zonder rekening te houden met onderhoud, minimaal 2,21 g Cl/kg te bevatten.

5.6 Conclusie en aanbevelingen Cl-behoefte voor CVB

Er zijn maar enkele proeven uitgevoerd om de Cl-behoefte bij biggen en vleesvarkens vast te stellen en bij fokzeugen is er maar één proef uitgevoerd, zodat de afgeleide behoeftenormen voor Cl nogal onzeker zijn. Gegeven het feit dat het Cl-gehalte in vleesvarkens vrijwel gelijk is aan het Na-gehalte, wordt voorgesteld voor vleesvarkens dezelfde aanbevelingen als voor Na te geven. Indien voor drachtige zeugen een endogene Cl-uitscheiding van 5 mg/kg LW wordt aangenomen zou het voer 0,83 g Cl/kg moeten bevatten. Dit is duidelijk lager dan de NRC aanbeveling. Er wordt voorgesteld om de aanbevelingen van NRC voor drachtige fokzeugen te volgen. Voor lacterende zeugen dient het voer volgens bovenstaande berekeningen minimaal 2,2 g Cl/kg voer te bevatten. Indien de endogene Cl-uitscheiding gesteld wordt op 5 mg/kg LW zou het voer $((1,00 + 9,96 - 0,57)/0,85 = 12,22/5$ kg voer = 2,44) 2,4 g Cl/kg dienen te bevatten.

Voorstel Cl-behoefte van varkens CVB (g/kg voer) zonder veiligheidsmarge

Categorie						
Groeiende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
2,9	2,9	1,0	1,0	1,0	1,2	2,4

Voorstel voedernorm CVB (= behoefte van varkens met veiligheidsmarge van 10%) voor varkens voor Cl (in g/kg voer).

Categorie						
Groeiende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
3,2 ¹	3,2	1,1	1,1	1,1	1,3	2,7

¹ bij spenen op 21 dagen komt een verhoging naar ca. 4 g Cl per kg voer tegemoet aan de hogere Cl-behoefte van deze jonge biggen

Voor de Cl-behoefte voor opfokzeugen en -beren wordt verwezen naar die voor vleesvarkens en voor die van dekberen kan hetzelfde gehalte als voor drachtige zeugen worden aangehouden.

6 Kalium

6.1 Functie

Kalium (K) is vooral aanwezig in de intracellulaire vloeistof: van de totale hoeveelheid K in het lichaam bevindt zich minimaal 90 procent intracellulair. De typische verdeling van K over de extra- en intracellulaire vloeistof wordt veroorzaakt door de activiteit van Na/K-pompen die essentieel zijn voor het genereren en in stand houden van membraanpotentialen. Het element K is dan ook nauw verbonden met het functioneren van spieren en zenuwen. Verder is K van belang in relatie tot de osmotische druk en speelt het een belangrijke rol bij het zuur-base evenwicht in het lichaam. Daarnaast is K nodig bij eiwitsynthese en celgroei. Tekenen van een K tekort zijn o.a. verminderde eetlust, ruw haarkleed, lusteloosheid en ataxie.

6.2 Kaliumbehoefte voor varkens volgens GfE

6.2.1 Groeiende varkens

Het K-gehalte in varkens is afgeleid van een beperkt aantal onderzoeken. Dit zijn Mudd et al. (1969), Moinizadeh (1975), Rymarz (1986), Hendriks en Moughan (1993) en Mahan en Shields (1998). Op basis van deze onderzoeken, en het gegeven dat $EBW = 0,94 \times LW$ is voor K tot 80 kg LW een hoeveelheid van 1,9 g K per kg groei en na 80 kg LW 1,7 g K per kg groei aangegeven. Op basis van Lantzsich et al. (1963) die minder dan 1 g Na/kg fecaal water vonden, concludeert GfE een onvermijdelijk verlies van 2 g K/kg fecaal water. Bij een gemiddelde verteerbaarheid van de DS van 85% en een DS-gehalte in feces van 300 g/kg, wordt per kg DS voer 350 g fecaal water uitgescheiden en dus 0,7 g K. Er wordt uitgegaan van een absorptiecoëfficiënt voor K van 90%. De conclusie is dat er voor varkens tot 80 kg LW de K-behoefte (g/d) is: $(\text{groei (kg/d)} \times 1,9 + \text{DS-opname} \times 0,7) / 0,90$, terwijl na 80 kg LW de K-behoefte in g/d is: $(\text{groei (kg/d)} \times 1,7 + \text{DS-opname} \times 0,7) / 0,90$. GfE stelt dat door de aannames voor K, voor de K-behoefte volstaan kan worden met de Na-behoefte te vermenigvuldigen met een factor 2.

6.2.2 Drachtige zeugen

Omdat in de vroege dracht de kwantitatieve aanzet in foeten zeer gering is, wordt in de late dracht op basis van Becker et al. (1979) en Den Hartog et al. (1979) de dagelijkse aanzet aan K vastgesteld op 1 g. Verder wordt gemeld dat voor gelten rekening moet worden gehouden met maternale aanzet. Op basis van Lantzsich et al. (1963) die minder dan 1 g Na/kg fecaal water vonden, concludeert GfE een onvermijdelijk verlies van 2 g K/kg fecaal water.¹ Bij een gemiddelde verteerbaarheid van de DS van 85% en een DS-gehalte in feces van 300 g/kg, wordt per kg DS voer 350 g fecaal water uitgescheiden en dus 0,7 g K. Er wordt uitgegaan van een absorptiecoëfficiënt voor K van 90%.

6.2.3 Lacterende zeugen

De secretie aan K in melk is gebaseerd op Onderscheka (1969), Walkiewicz (1979), Baranow-Baranowski en Bronisz (1979) en Migdal et al. (1990). Er wordt een gehalte van 1,0 g K/kg aangenomen. Op basis van Lantzsich et al. (1963) die minder dan 1 g Na/kg fecaal water vonden, concludeert GfE een onvermijdelijk verlies van 2 g K/kg fecaal water. Bij een gemiddelde verteerbaarheid van de DS van 85% en een DS-gehalte in feces van 300 g/kg,

¹ De oorspronkelijke tekst luidt als volgt: Lantzsich et al. (1963) found Na concentrations of less than 1 g/kg faecal water. The Committee assumes that per kg faecal water 1 g Na, 2 g K and 1.5 g Cl inevitably have to be excreted.

wordt per kg DS voer 350 g fecaal water uitgescheiden en dus 0,7 g K. Er wordt uitgegaan van een absorptiecoëfficiënt voor K van 90%.

6.3 Kaliumbehoefte voor varkens volgens NRC

6.3.1 Groeiende varkens

Uit het balansexperiment met varkens van 17-35 kg LW van Meyer et al. (1950) waarin alleen het Na-gehalte werd gevarieerd, werd een K-behoefte afgeleid van 2,3-2,8 g/kg voer. Mraz et al. (1958) verstrekten een semi-synthetisch basisvoer met een K-gehalte van 0,35 g/kg aangevuld met 0, 2, 4, 6 en 8 g K/kg aan varkens van 18,6-34,5 kg LW. Er werden balansproeven uitgevoerd waarbij cesium-134 intramusculair werd geïnjecteerd. Op basis van het cesium-134 gehalte in nier en hartweefsel werd geconcludeerd dat de K-behoefte ligt tussen 0 en 4 g K/kg en waarschijnlijk lager is dan 2 g K/kg voer. Er zijn geen proeven bekend met varkens van meer dan 35 kg LW. Manners en McCrea (1964) schatten op basis van zuigende biggen van 1-4 kg LW een K-behoefte van 2,7-3,9 g/kg voer. Jensen et al. (1961) voerden een semi-synthetisch voer aan biggen gespeend op 14-18 dagen. Het basisvoer bevatte 0,27 g K/kg. In het eerste experiment met biggen van 4,7-15,8 kg LW werd 0, 1, 2, 3, 4 en 5 g K/kg toegevoegd als K_2CO_3 . De beste groei en voederconversie werden verkregen (318 g/d resp. 1,69) bij een toevoeging van 3 g K/kg voer. In het tweede experiment met een semi-synthetisch basisvoer (0,04 g K/kg) met biggen van 4,7-10,4 kg LW werd 0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0 en 4,5 g K/kg toegevoegd als K_2CO_3 . De beste groei en voederconversie werden verkregen (204 g/d resp. 1,00) bij een toevoeging van 2,5 g K/kg. Ze concludeerden dat 2,6 g K/kg voer voor biggen van 5-10 kg LW de K-behoefte kon dekken. Combs et al. (1985) deden drie experimenten met biggen die een semi-synthetisch voer kregen met vier voeders waarin K-gehalten varieerden van 0,1 tot 8,3 g/kg, door het toevoegen van kaliumacetaat. Op basis van groeisnelheid was in proef 1 met biggen van 4,8-6,5 kg LW het optimale K-gehalte 3,0 g/kg voer, in proef 2 met biggen van 6,1-9,6 kg LW 3,3 g K/kg voer en in proef 3 met biggen van 8,9-14,2 kg LW was het optimale K-gehalte 2,6 g K/kg voer.

6.3.2 Fokzeugen

Er zijn geen proeven bekend met fokzeugen waarin de K-behoefte is onderzocht.

6.4 Overzicht van de K-behoefte

Een overzicht van de K-behoefte van varkens is gegeven in Tabel 4.

Tabel 4. Overzicht K-behoefte (g/kg)

Bron	Categorie						
	Groeierende varkens					Fokzeugen	
	5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
GfE	3,4-4,9	2,8-3,4	1,8-2,8	1,7-1,8	1,5-1,7	2,4	4,2-5,0
NRC	3,0	2,6	2,3	1,9	1,7	2,0	2,0

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de aanbevelingen van NRC en GfE redelijk met elkaar overeenkomen behalve bij lacterende zeugen.

6.5 Aanvullende informatie en discussie K-behoefte

Evenals voor Na en Cl geldt dat het onvermijdelijk verlies van K bij varkens bij GfE slecht onderbouwd is. De 2,0 g K/kg fecaal water is feitelijk op geen enkele manier onderbouwd. Er worden verder in de literatuur geen waarden voor het onvermijdelijk verlies van K bij varkens

aangegeven zodat de factoriële benadering voor het schatten van de K-behoefte bij varkens niet verantwoord is.

Het K-gehalte in groeiende varkens van GfE is gebaseerd op nogal gedateerde gegevens (Mudd et al., 1969; Moinizadeh, 1975; Rymarz, 1986; Hendriks en Moughan, 1993; Mahan en Shields, 1998). De laatste referentie is gebaseerd op onderzoeksmateriaal gepubliceerd in 1983 (Shields et al., 1983). Het is de vraag of de K-gehalten per kg LW van GfE van 1,9 g tot 80 kg LW en 1,7 g na 80 kg LW nog steeds kloppen. De aangehouden gehalten aan K door GfE zijn duidelijk lager dan de gehalten in mijn databestanden, die voor varkens van 5 tot 80 kg LW $2,19 \pm 0,86$ g/kg LW (n=52) en voor varkens van 81 tot 130 kg LW $1,92 \pm 0,81$ g/kg LW (n=29) zijn (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd). Het is zeer waarschijnlijk dat de door GfE aangehouden K-gehalten in varkens onderschat zijn. Het K-gehalte in zeugenmelk komt overeen met mijn gegevens die $0,94 \pm 0,21$ g/kg aangeven (n=51) (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd).

Op basis van vijf voederproeven met biggen van 4 tot 16 kg LW is de gemiddelde optimale K-voorziening $2,94 \pm 0,36$ g/kg voer (Jensen et al., 1961; Combs et al., 1985), terwijl in twee proeven met varkens van 17 tot 35 kg LW het optimale K-gehalte $2,28 \pm 0,39$ g/kg voer was (Meyer et al., 1950; Mraz et al., 1958; bijlage 5).

In de meeste onderzoeken werd een semi-synthetisch basisvoer gebruikt omdat met gangbare grondstoffen in het voer de K-behoefte ruim overschreden wordt. Het gebruik van een semi-synthetisch voer is in dit geval is niet zo erg omdat de verteerbaarheid van K in diverse grondstoffen veelal 90-97% is (Combs en Miller, 1985). Praktijkvoerders in Nederland bevatten meer dan 7 g K/kg.

6.6 Conclusie en aanbevelingen K-behoefte voor CVB

Vrijwel alle proeven omtrent de K-behoefte zijn uitgevoerd bij biggen tot 16 kg LW, zodat er geen onderbouwing is voor varkens van 20-135 kg LW. Ook zijn er geen proeven met fokzeugen uitgevoerd. De aanbevelingen van GfE en NRC komen ondanks de verschillende benaderingen, behalve bij fokzeugen, toch nog vrij goed met elkaar overeen. Daarom worden voor groeiende varkens de door NRC gegeven behoeftenormen als uitgangspunt genomen. Voor drachtige zeugen kom ik zonder rekening te houden met de behoefte voor onderhoud op 0,9 g K/kg voer (foeten: $(25 \times 1,68)/35 + 40 \times 1,64 = 1,78/0,85 = 2,08/2,5 = 0,84$ g K/kg voer en voor lacterende zeugen $(12 \times 0,94 - 20 \times 1,64 = 10,02/0,85 = 11,79/5 = 2,36$ g K/kg voer. Voor lacterende zeugen is de aanbevolen waarde door NRC dus duidelijk te laag. Verder is voor onze berekeningen een fecaal endogene uitscheiding gekozen van 5 mg/kg LW, zodat voor drachtige en lacterende zeugen een K-behoefte van 1,3 resp. 2,6 g/kg voer berekend kan worden.

Voorstel K-behoefte van varkens CVB (g/kg voer) zonder veiligheidsmarge

Categorie						
Groeiende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
3,0	2,6	2,3	1,9	1,7	1,3	2,6

Voorstel voedernorm CVB (= behoefte van varkens met veiligheidsmarge van 10%) voor varkens voor K (in g/kg voer).

Categorie						
Groeierende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
3,3	2,9	2,5	2,1	1,9	1,4	2,9

Voor de K-behoefte voor opfokzeugen en -beren wordt verwezen naar die voor vleesvarkens en voor die van dekberen kan hetzelfde gehalte als voor drachtige zeugen worden aangehouden.

7 IJzer

7.1 Functie

IJzer (Fe) is in het lichaam met name van belang als onderdeel van heem. Deze stof is weer een onmisbare bouwsteen van hemoglobine (Hb) en myoglobine (Mb), de zuurstofbindende eiwitten in respectievelijk rode bloedlichaampjes en spieren. Doordat Mb zuurstof sterker bindt dan Hb, is een efficiënt zuurstoftransport van bloed naar spieren gewaarborgd (CVB, 2005). Verder komt Fe voor in serum als transferrine, in de placenta als uteroferrine, in melk als lactoferrine en in de lever als ferritine en hemosiderine. Ook is Fe nodig voor het goed functioneren van enzymen die betrokken zijn bij het elektronentransport zoals cytochroom oxidase, ferredoxine, myeloperoxidase, katalase, melkzuurdehydrogenase, en de cytochroom-P450 enzymen. Ongeveer 60 procent van het Fe in het lichaam is aanwezig als Hb.

Het meest opvallende verschijnsel van Fe-tekort is bloedarmoede. Het hemoglobinegehalte in bloed is een betrouwbare indicator voor de Fe-status. Een Hb-gehalte van 100 g/l volbloed wordt beschouwd als voldoende. Anemische varkens laten een slechtere groei zien, hebben een ruw haarkleed en bleke slijmvliezen.

Volgens NRC (2005) bedraagt de maximale tolerabele concentratie ca. 3000 mg/kg. De EC (2003a,b, 2005) heeft het wettelijke maximaal toelaatbare gehalte in varkensvoer gesteld op 750 mg/kg.

7.2 IJzerbehoefte voor varkens volgens GfE

7.2.1 Zuigende biggen

Zuigende biggen zijn erg gevoelig voor bloedarmoede. Pasgeboren biggen bevatten 50-60 mg Fe. Zeugenmelk bevat ongeveer 1,6 mg Fe/kg (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd), terwijl gedurende de eerste drie weken 250-350 mg Fe/big nodig is (Becker en Towlerton, 1979). Via de melk komt er dus veel te weinig Fe beschikbaar voor de big, zodat meestal een Fe-injectie van 200 mg Fe als Fe-dextran wordt gegeven op de tweede of derde levensdag. Soms wordt nog meer dan 200 mg Fe per big geïnjecteerd. Voer voor zuigende biggen zou 120 mg Fe/kg DS voer dienen te bevatten, en een melkvervanger niet minder dan 100 mg Fe/kg DS.

7.2.2 Gespeende biggen, vleesvarkens en fokzeugen

Voer voor gespeende biggen zou niet minder dan 100 mg Fe/kg DS dienen te bevatten en bij meer dan 10-15 kg LW zou 80 mg Fe/kg DS voldoende zijn. In hun onderzoek vonden Pallauf en Pippig (1997) met biggen van 10-20 kg, die een mais-sojavoer kregen met 60, 80 of 100 mg Fe/kg als $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dat op basis van o.a. Hb, Hct en Fe-balans 60 mg Fe/kg voldoende was. Verder vermeldt GfE dat NRC (1998) met 100 mg Fe/kg voer aanzienlijk hoger uitkomt, evenals Rincker et al. (2004). Op grond van deze literatuur komt GfE tot minimaal 100 mg Fe/kg DS voer voor jonge biggen, terwijl boven 10-15 kg LW 80 mg Fe/kg DS voldoende is. Voer voor vleesvarkens dient 50-60 mg Fe/kg DS te bevatten.

Op basis van balansproeven van Roth-Maier et al. (1985) is voor drachtige zeugen (2^e-5^e pariteit) afgeleid dat de Fe-behoefte voor onderhoud 100 mg/d is (gewicht zeugen 156-193 kg), waarbij nog 40 mg Fe/d (bruto) komt voor productie. Bij een opname van 2 kg voer is de Fe-behoefte 70 mg Fe/kg voer, maar met een veiligheidsmarge van ruim 10% wordt dat 80 mg Fe/kg voer. Voor lacterende zeugen komen Roth-Maier et al. (1985) tot de conclusie dat de Fe-behoefte, inclusief een veiligheidsmarge van 10% gedekt is met 80 mg Fe/kg DS. Ze komen hiertoe als volgt. Naast een onderhoudsbehoefte van 100 mg Fe/dag komt nog de Fe

voor melkvorming. Voor melkvorming is op basis van 8 kg melk met 1,3 mg Fe/kg 10,4 mg Fe nodig, maar met een benutting van slechts 5% voor melkvorming is dan 200 mg Fe noodzakelijk, totaal dus 300 mg Fe/dag. Bij een voeropname van 5 kg/d is dan 60 mg Fe/kg voer nodig. Met een veiligheidsmarge van 10% komen ze uit op 70 mg Fe/kg voer. Met de gegevens van Roth-Maier et al. (1985) is ook de behoefte van fokberen met 80 mg Fe/kg gedekt.

7.3 IJzerbehoefte voor varkens volgens NRC

7.3.1 Zuigende biggen

Biggen worden geboren met ongeveer 50 mg Fe, maar omdat zeugenmelk slechts 1 mg Fe/kg bevat en voor een kilo groei 21 mg Fe nodig is dient extra Fe in de vorm van een injectie toegediend worden. Een hoeveelheid van 100-200 mg Fe per big wordt aanbevolen.

7.3.2 Gespeende biggen, vleesvarkens en fokzeugen

Matrone et al. (1960) voerden in enkele proeven pasgeboren biggen met koemelk (1,8 mg Fe/kg DS) alleen of aangevuld met 10, 20, 40 of 80 mg Fe/kg DS (als $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Op basis van het Hb-gehalte was in de eerste en tweede proef het voer aangevuld met 40 mg Fe/kg DS nauwelijks voldoende. In de derde proef werd ook nog een dosering met 60 mg Fe/kg DS toegevoegd. Het bleek dat 60 mg Fe/kg DS voldoende was om het Hb-gehalte te handhaven, zodat de behoefte gesteld werd op 60 mg Fe/kg DS. Pickett et al. (1960) deden een dosis-respons proef (15, 30, 40, 50, 60, 65, 70, 80, 90, 100, 115 en 120 mg Fe/kg voer; als $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) met gespeende biggen van 10-14 dagen gedurende 42 dagen met een semi-synthetisch voer met magere melkpoeder (15 mg Fe/kg). Zij vonden bij 60 mg Fe/kg en meer dezelfde groeiprestaties maar bij 80 mg Fe/kg normale Hb- en Hct-waarden. Dus 80 mg Fe/kg is volgens hen voldoende. Ullrey et al. (1960) voerden proeven uit met biggen van 2,5-11,7 kg LW met een melkrantsoen (25 mg Fe/kg DS) met toevoegingen van 0, 50, 100 of 200 mg Fe/kg DS (als $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Op basis van o.a. groeiresultaten, Hb, Hct, plasma Fe komen ze tot de conclusie dat 125 mg Fe/kg DS voldoende is. Harmon et al. (1967) voerden een semi-synthetisch voer (10 mg Fe/kg) aan biggen van 2-10 kg LW zonder en met toevoeging van 42 of 76 mg Fe/kg (als ferri ammoniumcitraat). Bij 52 mg Fe/kg was de groei hetzelfde als bij 86 mg Fe/kg, maar het Hb-gehalte was beter bij 86 mg Fe/kg. In twee latere proeven voerden Harmon et al. (1969) een semi-synthetisch voer met 18, 49, 95 en 142 mg Fe/kg (als $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en FeCO_3) aan biggen van 9,8-26,7 kg LW. Hierbij kwam naar voren dat FeCO_3 minder efficiënt was dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. De conclusie van Harmon et al. (1969) is dat 60-80 mg Fe/kg voldoende is voor varkens van geboorte tot 35 kg LW die een semi-synthetisch voer krijgen. Rincker et al. (2004) voerden een proef uit met biggen van 6-18 kg LW die geen of 25, 50, 100 of 150 mg Fe/kg toegevoegd kregen in de vorm van $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. De basisvoerders 1 en 2 voor de eerste drie weken bevatten 200 mg Fe/kg en het basisvoer 3 voor de laatste twee weken bevatte 98 mg Fe/kg. De groei was 335 g/d en de voederconversie 1,51. Er was een tendens naar een lineair effect op groei en een significant lineair effect van Fe-dosering op het Hb, Hct, plasma Fe en plasma transferrine. Op basis van hun proef werd geconcludeerd dat de behoefte tussen 50 en 100 mg toegevoegd Fe/kg voer voldoende was, maar er was geen verschil tussen 50 en 100 mg/kg toegevoegd Fe voor alle vermelde responsparameters. Het voer zou dus 150 mg Fe/kg dienen te bevatten. Lee et al. (2008) verstrekten gespeende biggen een basisvoer (mais en soja) met 70 mg Fe/kg met 0, 50, 100 en 250 mg toegevoegd Fe/kg voer (als $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) gedurende 28 dagen. Hoe meer Fe de biggen kregen hoe meer diarree in hun onderzoek werd geconstateerd. Toevoeging van 0, 50 en 100 mg Fe/kg gaf geen verschil in groeiresultaten,

alhoewel Hb en Hct iets beter waren bij 50 mg toegevoegd Fe/kg vergeleken met geen toevoeging. Dit zou wijzen op een Fe-behoefte van 70-120 mg Fe/kg. Er wordt gesteld dat de Fe-behoefte afneemt bij het ouder worden van de varkens, omdat het relatieve bloedvolume afneemt bij het ouder worden van de varkens.

Er worden geen proeven met fokzeugen vermeld in NRC.

7.4 Overzicht van de Fe-behoefte

Een overzicht van de Fe-behoefte van varkens is gegeven in Tabel 5.

Tabel 5. Overzicht Fe-behoefte van varkens (mg/kg voer)

Bron	Categorie						
	Groeiende varkens					Fokzeugen	
	5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
GfE	70-106	70-106	44-53	44-53	44-53	70-80	70-80
NRC	100	100	60	50	40	80	80

7.5 Aanvullende informatie Fe-behoefte en discussie

Opgemerkt kan worden dat men (o.a. bij het geven van een Fe-injectie) vooral bij jonge biggen (zuigend en gespeend) geen grote overdosis van de Fe-gift moet toepassen omdat dat de groei van *E. coli* bevordert (Klasing et al., 1980; Knight et al., 1983; Lee et al., 2008). Hb- en Hct-gehalten zijn gevoeliger responsparameters dan groeiprestaties, zodat de Hb- en Hct-gehalten van doorslaggevende betekenis zijn voor het vaststellen van de Fe-status. In de aangehaalde literatuur blijken er grote verschillen naar voren te komen in aanbevolen Fe-gehalten in het voer. Dit kan o.a. komen door de binding van Fe aan componenten in het gebruikte basisvoer (melk, semi-synthetisch of een mais-sojavoer) en de opneembaarheid van de toegevoegde Fe-bron. Zo blijkt uit het rapport voor EMFEMA (Jongbloed et al., 2002) dat bij varkens de bioavailability van $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en $\text{FeSO}_4 \cdot 1\text{H}_2\text{O}$ gelijk is, maar dat die van FeCO_3 vergeleken met $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ slechts 82% is. Ook zijn er grote verschillen in Fe-gehalte in de basisvoerders. In dit verband kan opgemerkt worden dat in natuurlijke grondstoffen, zeker als deze (intensieve) bewerkingen hebben ondergaan, ook elementair Fe afkomstig uit installaties aanwezig kan zijn. Dit geldt ook tijdens het bereiden van mengvoerders (malen, mengen, pelleteren). Alle proeven werden uitgevoerd met biggen tot 20 kg LW. Gemiddeld kom ik op basis van acht proeven uit op een behoefte van 91 ± 33 mg Fe/kg voer (Matrone et al., 1960; Pickett et al., 1960; Ullrey et al., 1960; Harmon et al., 1967; 1969; Pallauf en Pippig, 1997; Rincker et al., 2004; Lee et al., 2008; bijlage 6). Dit gehalte is dicht bij de aanbevelingen van GfE en NRC.

Het is de vraag of de aanbevelingen voor de categorie varkens van 20-135 kg LW juist zijn. De afname in Fe-behoefte voor varkens van 25-100 kg LW is vergeleken met biggen tot 25 kg LW vrij fors en wordt alleen verklaard door NRC als gevolg van de relatieve afname van de hoeveelheid bloed in het dier, maar is niet gedocumenteerd door literatuur. Wel kan ook een deel van de afname van de Fe-behoefte bij een toenemend LW verklaard worden door een verslechtering van de FCR, zodat er meer voer nodig is voor de groei van 1 kg LW. Uit mijn databestanden komt de afname in Fe-gehalte ook naar voren met een Fe-gehalte in varkens van 5 tot 19 kg LW $30,5 \pm 11,7$ mg/kg LW (n=13), in varkens van 20 tot 80 kg LW $22,4 \pm 6,4$ mg/kg LW (n=13) en in varkens van 81 tot 130 kg LW $21,6 \pm 6,2$ mg/kg LW (n=10).

Op basis van de gepubliceerde literatuur met balansproeven met biggen is het gemiddelde

absorptiepercentage $29,4 \pm 13,6$ ($n=17$). Indien ook vier proeven met vleesvarkens worden meegenomen is het gemiddelde absorptiepercentage $26,6 \pm 14,1$ ($n=21$). Twee van deze proeven hadden een heel hoog Fe-gehalte van resp. 4138 en 803 mg/kg voer; in deze proeven werd een veel lager absorptiepercentage gerealiseerd.

Op basis van de aanname van 22,4 mg Fe/kg groei in varkens van 20-80 kg LW (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd), een onderhoudsbehoefte van 0,125 mg Fe/kg LW (Kirchgessner et al., 1982) en een absorptiepercentage van 25, kom ik uit op 52 mg Fe/kg voer bij varkens van 25 kg LW en 27 mg/kg voer bij varkens van 80 kg LW.

Op basis van een onderhoud van 0,125 mg/kg LW, de groei van 25 kg foeten in de laatste 35 dagen van de dracht met een Fe-gehalte van 31,94 mg/kg ($31,9 \pm 7,6$; $n=7$) en een maternale groei van 40 kg met een Fe-gehalte van 19,33 (van 100 tot 160 kg LW is het Fe-gehalte $19,33 \pm 6,86$ mg/kg LW; $n=9$) is netto 54,6 mg/d nodig voor een drachtige zeug. Met een absorptiecoëfficiënt van 20% en een voeropname van 2,5 kg/d kom ik uit op 109 mg Fe/kg voer. Dit is duidelijk hoger dan de 80 mg Fe/kg voer zoals GfE en NRC aangeven. In het onderzoek van Kirchgessner et al. (1982) met lacterende zeugen werd uitgegaan van 1,2 mg Fe/kg melk, terwijl Roth-Maier et al. (1985) uitgaan van 1,3 mg Fe/kg. Jongbloed (2013, niet gepubliceerd) vindt een gemiddeld gehalte van 1,6 mg Fe/kg melk ($1,57 \pm 0,66$; $n=73$). De efficiency voor melkvorming (Fe in voer naar Fe in melk) wordt door Roth-Maier et al. (1985) gesteld op 5% zonder daarvoor argumenten aan te dragen. Deze 5% lijkt erg laag. Misschien stellen ze deze zo laag om op hetzelfde getal uit te komen als Kirchgessner et al. (1982). De vraag is of het hogere Fe-gehalte in de melk reden is om het gewenste Fe-gehalte daarvoor nog hoger te stellen dan 80 mg Fe/kg voer. Op basis van een onderhoud van 0,125 mg/kg LW, de 12 l melk met 1,57 mg Fe/kg en een afname van matернаal weefsel van 20 kg met een Fe-gehalte van 19,33 mg/kg is netto 29,1 mg Fe/d nodig voor een lacterende zeug. Met een absorptiecoëfficiënt van 20% en een voeropname van 5,0 kg/d kom ik uit op 29,1 mg Fe/kg voer. Dit is aanzienlijk lager dan de 80 mg Fe/kg voer zoals GfE en NRC aangeven. Mogelijk is het absorptiepercentage voor Fe bij fokzeugen overschat. Alhoewel Roth-Maier et al. (1985) in hun proeven met drachtige en lacterende zeugen gemiddeld uitkwamen op een absorptiepercentage van $-6,2 \pm 6,3$ ($n=4$) gaan ze in hun berekeningen voor het schatten van de Fe-behoefte bij fokzeugen uit van 20%. Dit geldt voor absorbeerbaar Fe, en niet voor metallisch ijzer, dat nauwelijks absorbeerbaar is. Het gaat dan om ijzer afkomstig uit installaties bij de productie van (ook primaire) voedermiddelen en in het mengvoerbedrijf. Nader onderzoek naar het absorptiepercentage van Fe bij fokzeugen is dan ook erg gewenst.

7.6 Conclusie en aanbevelingen Fe-behoefte voor CVB

Alle proeven zijn bij biggen tot 20 kg uitgevoerd, zodat er geen dierexperimentele onderbouwing is voor varkens van 20-135 kg. De aanbevelingen van GfE en NRC komen vrij goed met elkaar overeen zodat de waarden gemiddeld kunnen worden voor aanbeveling voor CVB.

Voorstel Fe-behoefte van varkens CVB (mg/kg voer) zonder veiligheidsmarge

Categorie						
Groeiende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
100	100	55	50	45	80	80

Voorstel voedernorm CVB (= behoefte van varkens met veiligheidsmarge van 10%) voor varkens voor Fe (in mg/kg voer).

Categorie						
Groeiende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
110	110	60	55	50	90	90

Voor de Fe-behoefte voor opfokzeugen en -beren wordt verwezen naar die voor vleesvarkens en voor die van dekberen kan hetzelfde gehalte als voor drachtige zeugen worden aangehouden.

8 Jodium

8.1 Functie

Jodium (I) is een onmisbaar bestanddeel van de schildklierhormonen T3 (trijodothyronine) en T4 (thyroxine), die de intensiteit van de stofwisselingsprocessen van het dier regelen. Een belangrijk deel van de via de voeding verstrekte I wordt door de schildklier opgenomen, die het vervolgens onder invloed van het hormoon TRH (thyroid releasing hormone) weer afgeeft in de vorm van de hormonen T3 en T4. Samen met andere hormonen zoals groeihormoon, beheersen de thyroid hormonen de oxidatiesnelheid en de eiwitsynthese in alle weefsels. Een I-tekort van langere duur uit zich in duidelijke structuurveranderingen aan de schildklier met uiteindelijk een verminderde hormoonproductie. De jongere dieren ontwikkelen zich dan onvoldoende, onder andere doordat de botgroei achterblijft. Bovendien is dan schade aan de vrucht en vermindering van de vlees- en melkproductie onvermijdelijk.

Volgens NRC (2005) bedraagt de maximaal tolerabele concentratie ca. 400 mg I/kg. De EC (2003a,b, 2005) heeft het wettelijke maximaal toelaatbare gehalte in varkensvoer gesteld op 10 mg I/kg voer.

8.2 Jodiumbehoefte voor varkens volgens GfE

Door het ontbreken van voldoende data is een factoriële benadering van de I-behoefte niet mogelijk. De voorziening van I is van speciaal belang indien raapzaad(producten) worden verstrekt met hoge gehalten aan glucosinolaten, omdat dat de I-behoefte vergroot (Schöne et al., 2001b). Op basis van Cromwell et al. (1975) en Berk et al. (2004) beveelt GfE een gehalte van 0,15 mg I/kg DS voor groeiende varkens aan, met de opmerking dat voor rantsoenen met raapzaad(producten) een hoger gehalte aan I moet worden aangehouden. Iwarsson et al. (1973), die in melk 0,30 mg I/kg aantoonde (dit is het I-gehalte op dag 49 van de lactatie) zijn van mening dat 0,5 mg I/kg voer voldoende is. GfE vindt dit gehalte in het voer voor fokzeugen van 0,50 mg I/kg echter te laag. Schöne et al. (2001a) stellen de I-behoefte voor fokzeugen op 0,60 mg/kg voer om een I-gehalte in de melk van meer dan 0,10 mg/kg te kunnen handhaven. Deze auteurs bevelen een I-gehalte van 1,0 mg/kg aan als het rantsoen voor fokzeugen raapzaadproducten bevat. De GfE stelt 0,60 mg I/kg DS voor als behoeftenorm voor fokzeugen.

8.3 Jodiumbehoefte voor varkens volgens NRC

De NRC is van oordeel dat de I-behoefte niet goed vastgesteld kan worden. Volgens Cromwell et al. (1975) zou in een mais-sojavoer 0,14 mg I/kg voer voldoende zijn voor vleesvarkens. In drie proeven met biggen van 10-34 kg LW, werd aan een basisvoer van mais en soja (0,055 mg I/kg) geen of doseringen van 0,025, 0,05, 0,075, 0,10, 0,15, 0,20 en 0,25 mg I/kg toegevoegd. Er waren geen significante verschillen in groeiprestaties: de gemiddelde groei en voederconversie was 530 g/d respectievelijk 2,24. Er waren wel verschillen in gewicht van de schildklier en opname van ¹³¹I in de schildklier. Er werd een plateauwaarde gevonden van 0,086 mg I/kg voer voor het schildkliergewicht en van 0,132 mg I/kg voer voor ¹³¹I opname. In de vierde proef met varkens van 23-91 kg LW bevatte het basisvoer al 0,14 mg I/kg zodat een toevoeging van 0,1, 0,2 of 0,4 geen enkel verschil in groeiprestaties opleverde (gemiddelde groei en voederconversie 741 g/d resp. 3,45). In een niet overtuigend onderzoek van Andrews et al. (1948) kwam naar voren dat een toevoeging van 0,35 mg I/kg aan een voornamelijk mais-sojavoer voor fokzeugen voldoende was om een I-tekort op te heffen. Volgens NRC wordt de I-behoefte voor biggen en vleesvarkens gedekt met 0,14 mg/kg voer. Dit gehalte geldt eveneens voor drachtige en lacterende

zeugen. Alhoewel door NRC gemeld wordt dat de I-behoefte verhoogd wordt door goitrogene stoffen in raapzaad, lijnzaad, linzen, grondnoten en sojabonen, en daarvan afgeleide producten, wordt geen enkele indicatie gegeven hoeveel die behoefte hiervoor verhoogd moet worden.

8.4 Overzicht van de I-behoefte van varkens

Een overzicht van de I-behoefte van varkens is gegeven in Tabel 6.

Tabel 6. Overzicht I-behoefte van varkens (mg/kg voer)

Bron	Categorie						
	Groeierende varkens					Fokzeugen	
	5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
GfE	0,132	0,132	0,132	0,132	0,132	0,53	0,53
NRC	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14

8.5 Aanvullende informatie I-behoefte en discussie

Uit het onderzoek van Petersen (1979) blijkt dat voederfosfaat ook kan bijdragen aan de I-voorziening (7,6 mg I/kg dicalciumfosfaat). Vooral het gebruik van oude rassen raapzaad, dat als gevolg van de aanwezigheid van glucosinolaat een goitrogene werking heeft, verhoogt de I-behoefte. Er worden tegenwoordig echter veelal dubbel-nul variëteiten (laag erucazuur en laag glucosinolaatgehalte) gebruikt en ook het pelletteren van voeders vermindert het glucosinolaatgehalte duidelijk (Schöne et al., 2006). In een onderzoek van Berk et al. (2004) werd een basisvoer van mais, gerst, tarwe en sojaschroot verstrekt aan vleesvarkens van 27 tot 118 kg LW. In dit onderzoek werd het basisvoer (0,17 mg I/kg) al dan niet aangevuld met 0,5, 1,0, 2,0 en 5,0 mg I/kg. Uit dit onderzoek kwam geen enkel effect van de I-dosering op de groeiprestaties naar voren. In een onderzoek van Li et al. (2012) werd bij vleesvarkens een basisvoer (basisniveau 0,020 mg I/kg) verstrekt, al dan niet aangevuld met 0,13, 4,0 of 10 mg I/kg. In de groeifase van 33 tot 70 kg LW was de groei slechter bij 4,0 en 10 mg I/kg vergeleken met het basisvoer; bij 115 kg waren er geen statistische verschillen meer in groeiprestaties. Op basis van vijf proeven met biggen en vleesvarkens is het gemiddelde I-gehalte voor optimale productieresultaten $0,136 \pm 0,027$ g/kg voer (Cromwell et al., 1975; Berk et al., 2004; Li et al., 2012).

Het onderzoek van Iwarsson et al. (1973) naar het I-gehalte in zeugenmelk toont aan dat dit gehalte hoger is in het begin van de lactatie, nl. 0,58 op dag 7-8, 0,51 op dag 12-14, 0,35 mg I/kg op dag 28 en 0,30 op dag 49 van de lactatie. In mijn eigen onderzoek van de literatuur (n=14) kom ik op gemiddeld $0,43 \pm 0,16$ mg I/kg melk van dag 3-30 (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd). Er is in deze gegevens geen duidelijke aanwijzing voor een duidelijke afname in I-gehalte gedurende de lactatie. Op basis van dezelfde berekeningen als die van GfE kom ik uit op 12 kg melk x 0,43 mg I/kg = 5,16 mg I/dag. Bij een voeropname van 5 kg is dat dan uitgaande van een absorptiepercentage van 75% 1,37 mg I/kg voer. In deze berekening is geen rekening gehouden met de onderhoudsbehoefte voor I noch met afbraak van lichaamsweefsel van de zeug tijdens de lactatie.

Uit de tabel 6 blijkt een goede overeenstemming in de I-behoefte voor groeiende varkens tussen GfE en NRC, maar voor fokzeugen is de behoefte bij GfE bijna viermaal hoger dan bij NRC. Dit grote verschil wordt veroorzaakt door de resultaten van het onderzoek van Schöne et al. (2001a). Op basis van hun balansproeven met lacterende zeugen komen zij tot de conclusie dat 0,6 mg toegevoegd I/kg voer leidt tot een I-gehalte in de melk van meer dan

0,1 mg/kg en tot een goede I-balans in de zeug. Dit gehalte is beduidend lager dan de gemiddelde waarde van 0,43 mg I/kg melk. Daarom stel ik, zoals hierboven is berekend, een I-gehalte in voer voor lacterende zeugen voor van 1,5 mg/kg. Volgens Iwarsson et al. (1973) zou het uierweefsel in staat zijn I in melk te concentreren van 20 tot 45% van de dagelijkse I-gift. Er is geen onderzoek bij drachtige zeugen uitgevoerd.

Als bij processing van het voer hitte wordt toegevoegd kan jodide mogelijk vervluchtigen.

8.6 Conclusie en aanbevelingen I-behoefte voor CVB

Er is weinig onderzoek gedaan naar de I-behoefte voor varkens zodat alleen via de empirische methode een voorzichtige uitspraak kan worden gedaan. De conclusie is dat voor fokzeugen de GfE-aanbevelingen beter onderbouwd zijn dan die van de NRC, zodat we die van GfE kunnen overnemen, behalve voor lacterende zeugen.

Voorstel I-behoefte van varkens CVB (mg/kg voer) zonder veiligheidsmarge

Categorie						
Groeierende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,53	1,37

Voorstel voedernorm CVB (= behoefte van varkens met veiligheidsmarge van 10%) voor varkens voor I (in mg/kg voer).

Categorie						
Groeierende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,58	1,50

Voor opfokzeugen en -beren kan hetzelfde gehalte als voor vleesvarkens worden aangehouden en voor dekberen hetzelfde gehalte als voor drachtige zeugen.

9 Mangaan

9.1 Functie

Als bestanddeel van een aantal enzymen is mangaan (Mn) in het dierlijk lichaam essentieel voor de synthese van chondroïtine sulfaat, als component van mucopolysacchariden in de organische matrix van kraakbeen en beenderen, bij het functioneren van geslachtsorganen (cholesterol synthese), bij de bloedstolling (prothrombine (via glycosyltransferases) en vitamine K) en bij de koolhydraat-, eiwit- en vetstofwisseling. Mangaan is onmisbaar in mitochondriale mangaansuperoxide dismutase (SOD).

Volgens de NRC (2005) bedraagt de maximale tolerabele concentratie ca. 1000 mg Mn/kg. De EC (2003a,b) heeft het wettelijke maximaal toelaatbare gehalte in varkensvoer gesteld op 150 mg Mn/kg.

9.2 Mangaanbehoefte voor varkens volgens GfE

Door het ontbreken van voldoende data is een factoriële benadering van de Mn-behoefte niet mogelijk. Recent onderzoek (Kauer et al., 2005) met verschillende Mn-niveaus (variërend van 0,3 tot 32 mg Mn/kg voer; Mn-bron is $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) toonde voor biggen een optimale behoefte aan van 16 mg Mn/kg voer. Op grond hiervan wordt door GfE een gehalte aan Mn van 15 tot 20 mg Mn/kg DS voer aanbevolen. Voor vleesvarkens wordt 20 mg Mn/kg DS aangehouden, mede met het oog op mogelijke beenproblemen.

Onderbouwing van de Mn-behoefte voor fokzeugen is vrijwel geheel gebaseerd op het onderzoek van Kirchgessner et al. (1980, 1981, 1982, 1983). Kirchgessner et al. (1981) die een praktisch zeugenvoer verstrekten, komen bij drachtige zeugen op basis van resultaten van hun balansproeven uit op een behoefte van 25 mg Mn/kg. Voor lacterende zeugen komen Kirchgessner et al. (1983) uit op 10 mg Mn/kg voer, maar dat is gebaseerd op een melkproductie van 7 l/dag. Op grond van het onderzoek van Kirchgessner wordt door GfE een gehalte in zeugenvoer van 20-25 mg Mn/kg DS aanbevolen, of wel 17,6-22 mg/kg voer.

9.3 Mangaanbehoefte voor varkens volgens NRC

De Mn-behoefte is niet goed onderzocht en is volgens Johnson (1944) vrij laag (7-10 mg/kg). Zij voerden biggen een rantsoen voornamelijk gebaseerd op mais en dierlijke producten. De groeisnelheid in het traject van ca. 15 tot 100 kg LW was echter slechts 540 g/d. Grummer et al. (1950) voerden een mais-soja rantsoen met 12 mg Mn/kg, of dit rantsoen aangevuld met 40, 80 of 160 mg Mn/kg als $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Varkens met een aanvulling van 40 mg Mn/kg hadden de beste technische resultaten, terwijl de resultaten op de voeders met 80 of 160 mg Mn/kg dezelfde waren als op het basisvoer. De conclusie van deze auteurs is dat een semi-synthetisch voer nodig is om de werkelijke Mn-behoefte vast te stellen. Plumlee et al. (1956) voerden biggen en vleesvarkens een semi-synthetisch voer met 0,5-1,5 of 40 mg Mn/kg als MnCl_2 . Er waren geen significante verschillen in groeieresultaten tussen de behandelingen. Wel werden in één proef Mn-gebreksverschijnselen waargenomen bij het laagste Mn-niveau. Ook waren de Mn-gehalten in diverse weefsels veel lager dan van varkens die 40 mg Mn/kg voer kregen. Tomen van gelten die 0,5 mg Mn/kg voer kregen waren erg zwak en groeiden slecht. Leibholz et al. (1962) voerden semi-synthetische voeders met verschillende doseringen aan Mn (0,5 of 0,35 mg Mn/kg in de basisvoeders en deze voeders aangevuld met 40 mg Mn/kg als MnSO_4) aan biggen gespeend op ca. 14 dagen leeftijd (4,3-17,1 kg LW). Ze vonden geen verschil in performance van de biggen op de verschillende behandelingen (groei 367 g/d en $\text{FCR}=1,74$), maar de voederconversie was wel gunstiger bij een toevoeging van 40 mg Mn/kg. Ze concludeerden dat 0,4 mg Mn/kg al voldoende is voor

jonge biggen en dat natuurlijke grondstoffen ruim voldoende Mn bevatten om de Mn-behoefte te dekken. Kayongo-Male et al. (1975) voerden zeugen een voer bestaande uit vooral mais met een Mn-gehalte van 11,2 mg Mn/kg. De biggen werden op vijf dagen leeftijd gespeend en kregen gedurende een week een semi-synthetisch voer met 0,46 mg Mn/kg en na deze week semi-synthetische voeders met resp. 0,46, 2,67 of 6,34 mg Mn/kg als $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). De groei en voederconversie tot dag 28 waren het gunstigst (283 g/d resp. 1,27) bij 2,67 mg Mn/kg voer. De auteurs concluderen dat de Mn-behoefte van biggen op een semi-synthetisch voer waarschijnlijk ligt tussen 3 en 6 mg Mn/kg.

9.4 Overzicht van de Mn-behoefte

In tabel 7 is een overzicht gegeven van de Mn-behoefte

Tabel 7. Overzicht van de Mn-behoefte van varkens (mg/kg voer)

Bron	Categorie						
	Groeïende varkens					Fokzeugen	
	5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
GfE	13,2-17,6	13,2-17,6	17,6	17,6	17,6	17,6-22	17,6-22
NRC	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0	25	25

9.5 Aanvullende informatie Mn-behoefte en discussie

Svajgr et al. (1969) voerden een onderzoek uit met varkens van 17-85 kg LW die o.a. 0, 50 of 100 mg Mn/kg voer kregen in de vorm van MnO. Het basisvoer bevatte 8,1 mg Mn/kg. Uit hun onderzoek kwam naar voren dat de groeisnelheid het laagst was bij 50 mg Mn/kg evenals de voeropname, maar de voederconversie was kwantitatief beter dan bij geen toegevoegd Mn. Op basis van enzymactiviteiten bij biggen van gemiddeld 8 kg LW, die gedurende zes weken een semi-synthetisch voer met 0,59 of 22 mg Mn/kg kregen (Mn-bron is $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), concludeerden Burch et al. (1975) dat 0,59 mg Mn/kg deficiënt was. Apple et al. (2004) deden twee experimenten. In het eerste experiment kregen varkens van 26-120 kg LW een mais-soja voer zonder toegevoegd Mn, en met een toevoeging van 350 of 700 mg Mn/kg (Mn-bron is MnSO_4). In het tweede experiment kregen varkens van 24-107 kg LW een mais-sojavoer zonder of met 20, 40, 80, 160 en 320 mg toegevoegd Mn per kg voer. De basisvoeders bevatten gemiddeld 47 mg Mn/kg. In hun proeven werd geen enkel effect van het Mn-gehalte in het voer op de dierprestaties gemeten. Ook in een proef van Sawyer et al. (2007) waar varkens van 22-114 kg LW een mais-sojavoer kregen van 47, 73, 400 of 420 mg Mn/kg (Mn-bron is MnSO_4) werden geen verschillen in dierprestaties gevonden. Uit een zeer recent dosis-respons onderzoek (zie ook Kauer et al., 2005) met semi-synthetische voeders (0,24, 2, 4, 8, 16 en 32 mg Mn/kg voer; (Mn-bron is MnSO_4)) bij gespeende biggen (7,2-27,1 kg LW) van Pallauf et al. (2012) wordt door hen voorgesteld om de behoefte te schatten op 16 mg Mn/kg voer. Deze waarde past heel goed bij die van GfE. Pallauf et al. (2012) stellen nog dat praktijkvoeders met grondstoffen van plantaardige herkomst (granen en sojaschroot) meestal een hoog intrinsiek Mn-gehalte bevatten, zodat de kans op een Mn-gebrek niet zal voorkomen.

In een proef met fokzeugen vonden Rheaume en Chavez (1989) dat gelten die 10 mg Mn/kg voer kregen tijdens de dracht en lactatie, biggen gaven met een lager geboorte- en speengewicht dan bij fokzeugen met 84 mg Mn/kg voer (Mn-bron is MnO_2). Christianson et al. (1989) voerden gelten vanaf dag 92 van de dracht voeders met 5, 10 of 20 mg Mn/kg en dat gedurende drie pariteiten (Mn-bron niet vermeld). Het geboortegewicht nam toe bij een hoger Mn-gehalte, maar de toomgrootte werd niet beïnvloed. Het aantal eerste

pariteitszeugen dat berig werd in de eerste zeven dagen na spenen was groter bij 20 dan bij 5 mg Mn/kg, maar bij pariteit 2 en 3 waren deze verschillen er niet. In een ander onderzoek van Christianson et al. (1990) kregen vierdeworps zeugen een jaar lang 5 of 20 mg Mn/kg (Mn-bron niet vermeld). Ook in deze proef was het geboortegewicht bij 20 mg Mn/kg hoger dan bij 5 mg Mn/kg.

In de literatuur is slechts een proef beschikbaar met varkens waarin enkele Mn-bronnen met elkaar zijn vergeleken (Kayongo-Male et al., 1980). Hieruit bleek dat MnSO₄, MnCO₃ en MnO nauwelijks verschil in Mn-beschikbaarheid gaven.

Uit tabel 7 blijkt dat op basis van de zeer beperkte literatuur er vooral bij groeiende varkens een groot verschil is in de Mn-behoefte; die van de NRC lijken onderschat, mede omdat de behoeften zijn gebaseerd op semi-synthetische voeders. Echter, ook in het zeer recente onderzoek van Pallauf et al. (2012) werd een semi-synthetisch basisvoer gebruikt. Of het gebruik van dit soort voeders vergeleken met een praktijkvoer consequenties heeft voor de Mn-behoefte is niet aan te geven. Op basis van vier onderzoeken met semi-synthetische voeders is de gemiddelde Mn-behoefte 5,8 ± 6,9 mg/kg, terwijl die voor alle zes proeven 14,0 ± 19,4 is, waarin de proef van Grummer et al. (1950) wel erg afwijkend lijkt met een Mn-behoefte van 52 mg/kg voer. Om meer inzicht te krijgen in het absorptiepercentage van Mn in de voeders is een overzicht gemaakt. Van slechts twee semi-synthetische voeders is die gemeten en was deze 30,2 ± 1,3%. Van alle voeders waarin de Mn absorptie was gemeten was het absorptiepercentage 25,2 ± 15,2% (n=12). Hieruit blijkt geen groot verschil in absorptiepercentage naar voren te komen voor Mn tussen semi-synthetische voeders en voeders voornamelijk gebaseerd op mais en sojaschroot.

Bij fokzeugen zijn er gegevens omtrent het absorptiepercentage van Mn slechts twee referenties (Kirchgessner et al., 1980; Rheume en Chavez, 1989) die voeders met 12 en 90 mg Mn/kg verstrekten. Bij 12 mg Mn/kg werd gemiddeld een negatief absorptiepercentage gevonden, terwijl dit bij 90 mg Mn/kg gemiddeld 5,6 ± 4,3% was (n=4).

9.6 Conclusie en aanbevelingen Mn-behoefte voor CVB

Mede gelet op de aanvullende literatuur besproken in par. 9.5, is de conclusie dat de GfE-aanbevelingen voor de Mn-behoefte meer realistisch zijn dan die van de NRC. Er is onduidelijkheid over het vertalen van de uitkomsten met semi-synthetische voeders naar praktijkvoeders. Het lijkt het meest voor de hand te liggen de aanbevelingen van GfE over te nemen.

Voorstel Mn-behoefte van varkens CVB (mg/kg voer) geen veiligheidsmarge

Categorie						
Groeiende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
18	18	18	18	18	22	22

Voorstel voedernorm CVB (= behoefte van varkens met veiligheidsmarge van 20%) voor varkens voor Mn (in mg/kg voer).

Categorie						
Groeiende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
22	22	22	22	22	26	26

Voor opfokzeugen en -beren kan hetzelfde Mn-gehalte als voor vleesvarkens worden aangehouden en voor dekberen hetzelfde gehalte als voor drachtige zeugen.

10 Seleen

10.1 Functie

Seleen (Se) maakt in het dierlijk organisme met name deel uit van het enzym glutathionperoxidase (GSH-Px). Glutathionperoxidase komt voor in bloed (rode bloedlichaampjes), organen en weefsels en is betrokken bij het onschadelijk maken van peroxiden. Deze peroxiden ontstaan bij normale (vet)stofwisselingsprocessen (lipidenperoxiden) maar ook, tezamen met superoxiden, door de activiteit van witte bloedlichaampjes tijdens bestrijding van infecties. Peroxiden hebben door peroxidatie van onverzadigde vetzuren in membraanlipiden een negatieve invloed op de kwaliteit van intra- en extracellulaire membranen. Bij een Se-tekort kan daarom gemakkelijk schade aan weefsels ontstaan (peroxidatie). In veel onderzoek naar de effecten van Se blijkt ook de vitamine E voorziening van belang te zijn. Bij het voorkómen van schade door peroxiden en vrije radicalen kunnen Se en vitamine E elkaar ten dele vervangen. Verder is aangetoond dat Se een functie heeft in het thyroïde metabolisme, omdat iodothyroïne 5'-deiodinase geïdentificeerd is als een seleno-eiwit (Arthur, 1994).

De eerste biochemische verandering bij een Se-tekort is een afname van de glutathionperoxidase activiteit. Plotselinge dood is een belangrijk kenmerk van Se-tekort. Belangrijke kenmerken van een Se-tekort zijn hepatische necrose, bleekheid en distrofie van skeletspieren (white muscle disease), distrofie van het myocardium (mulberry heart disease), slechtere reproductie, lagere melkproductie en slechtere immuunrespons (NRC, 2012).

Volgens NRC (2005) bedraagt de maximale tolerabele concentratie ca. 4 mg Se/kg voer. In een proef kregen varkens vanaf 25 kg een voer zonder toegevoegd Se of met een toevoeging van 5, 10, 15 en 20 mg Se/kg voer (Kim en Mahan, 2001a). Hun conclusie was dat voeders met 5 mg Se/kg of meer toxisch was. In een andere proef van Kim en Mahan (2001b) waar zeugen vanaf 25 kg LW tot na spenen voeders kregen met 0,3, 3, 7 of 10 mg Se/kg, al bij 7 mg Se/kg slechtere dierprestaties waargenomen.

De EC (2003a,b) heeft het wettelijke maximaal toelaatbare gehalte in varkensvoer gesteld op 0,5 mg Se/kg. Dit mede omdat de range tussen de toxische concentratie en de behoefte aan Se in vergelijking met andere mineralen en sporenelementen erg nauw is.

In deze studie is alleen gekeken naar effecten van een toevoeging van natriumseleniet en niet naar andere Se-bronnen.

10.2 Seleniumbehoefte voor varkens volgens GfE

Pallauf et al. (2002) voerden biggen met een LW van 8,8 tot 34,3 kg LW een praktijkvoer (0,03 mg Se/kg) al dan niet aangevuld met 0,05, 0,10, 0,20 en 0,30 mg Se/kg. Op basis van het GSH-Px activiteit concludeerden ze dat 0,20 mg Se/kg nodig is. In een ander experiment van Walz en Pallauf (2003) werd al een plateauwaarde van het GSH-Px gehalte gevonden bij 0,14 mg Se/kg voer. Voor gespeende biggen wordt een gehalte van 0,20-0,25 mg Se/kg DS voer aanbevolen en voor vleesvarkens 0,15-0,20 mg Se/kg DS voer.

Uit een proef met semi-synthetische voeders leidden Piatkowski et al. (1979) een minimum behoefte voor fokzeugen van 0,1 mg Se/kg voer af, maar GfE beveelt voor praktijkvoerders een gehalte van 0,15-0,20 mg Se/kg DS voer aan voor fokzeugen en fokberen.

10.3 Seleniumbehoefte voor varkens volgens NRC

Er is in de VS veel onderzoek gedaan naar de Se-behoefte van varkens (NRC, 2012) omdat daar in veel gebieden de gronden Se-arm zijn. Door dit onderzoek zijn de Se-behoefte normen voor zowel vleesvarkens als fokzeugen goed onderbouwd (Groce et al., 1971, 1973;

Ullrey, 1974; Young et al., 1976; Glienke en Ewan, 1977; Wilkinson et al., 1977; Mahan en Moxon, 1978a,b,1984; Piatkowski et al., 1979; Meyer et al., 1981; Lei et al., 1998; Mahan et al., 1999; Mahan en Peters, 2004). Behalve het semi-synthetisch voeder dat in het experiment van Piatkowski et al. (1978) werd verstrekt, waren alle andere voeders gebaseerd op mais en sojaschroot.

10.4 Overzicht van de Se-behoefte van varkens mg/kg voer

Een overzicht van de Se-behoefte van varkens is gegeven in Tabel 8.

Tabel 8. Overzicht van de Se-behoefte van varkens (mg/kg voer)

Bron	Categorie						
	Groeïende varkens					Fokzeugen	
	5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
GfE	0,18-0,22	0,18-0,22	0,13-0,18	0,13-0,18	0,13-0,18	0,13-0,18	0,13-0,18
NRC	0,30	0,25	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15

10.5 Aanvullende informatie Se-behoefte en discussie

Het is uit de literatuur bekend dat vitamine E aanwezig moet zijn in de voeders, maar ook dat bij het voorkómen van schade door peroxiden en vrije radicalen vitamine E en Se elkaar deels kunnen vervangen. Daarom is nagegaan of in de vermelde proeven in dit hoofdstuk vitamine E aan het voer was toegevoegd. In een proef van Lei et al. (1998) was dat niet het geval, terwijl in drie proeven (Glienke en Ewan, 1977; Wilkinson et al., 1977 en Mahan en Moxon, 1978a) er geen specifieke melding van wordt gemaakt, wat niet hoeft in te houden dat er geen vitamine E werd toegevoegd aan het voer. Uit tabel 8 blijkt dat de behoeftenormen voor Se bij groeiende varkens en fokzeugen van GfE en NRC vrij goed overeenkomen. Wel zijn die voor varkens tot 50 kg LW van NRC iets hoger dan die van de GfE. Uit de literatuur zijn echter geen duidelijke aanwijzingen voor de hogere NRC-normen voor biggen van 5-11 kg LW. Zo betogen Lei et al. (1998) dat de aanbevelingen van Meyer et al. (1981) mogelijk te hoog zijn (0,35 mg Se/kg), omdat zij alleen een toevoeging hadden van 0,1 en 0,3 mg Se/kg voer. Lei et al. (1998) vinden een toevoeging van 0,2 mg Se/kg voer voldoende, mede omdat ze betwijfelen of een maximaal GSH-Px enzymactiviteit gebruikt zou moeten worden om de Se-behoefte te bepalen.

Tot ca. 1980 werden vooral groeieresultaten als criterium genomen maar daarna is de GSH-Px activiteit vaak ook meegenomen. Deze laatste is een veel gevoeliger responsparameter dan dierprestaties (o.a. Lei et al., 1998). Meyer et al. (1981) voerden aan gespeende biggen van 8-21 kg LW een mais-sojavoer (0,065 mg Se/kg) met de volgende toegevoegde Se-niveaus: 0,1, 0,3, 0,5, 1,0 en 2,0 mg Se/kg voer. Er waren geen significante verschillen in groeieresultaten tussen de behandelingen. Breekpuntanalyses van GSH-Px in plasma voor week 1, 2, 3, 4 en 5 toonden een optimum Se-gehalte van 0,524, 0,400, 0,305, 0,315 resp. 0,285 mg/kg voer. Ze concluderen dat op 35 dagen na spenen 0,35 mg Se/kg nodig is. Adkins et al. (1984) voerden aan biggen van 4,4-9,3 kg LW een semi-synthetisch voer zonder Se-toevoeging (0,02 mg Se/kg) en dit voer aangevuld met 0,025, 0,050, 0,075 en 0,100 mg Se/kg. Een aantal biggen op de eerste twee behandelingen stierven en toonden een typisch Se-vitamine E gebrek. Verder hadden de biggen zonder Se-toevoeging een iets lagere groei. De GSH-Px activiteit in het serum was het hoogst bij een toevoeging van 0,075 mg Se/kg, zodat de Se-behoefte op 0,10 mg Se/kg gesteld kan worden. Het onderzoek van Mahan en Parrett (1996) met vleesvarkens van 22-60 kg LW en van 66-105 kg LW met

toevoegingen van 0,1, 0,3 en 0,5 mg Se/kg aan basisvoerders van mais-soja met 0,058 resp. 0,039 mg Se/kg gaf bij een toevoeging van 0,1 mg Se/kg voer een plateau aan GSH-Px activiteit. Er waren geen verschillen in dierprestaties tussen de verschillende doseringen aan Se, zelfs niet ten opzichte van de basisvoerders. Op basis van de GSH-Px activiteit zou de Se-behoefte gedekt zijn bij 0,16 resp. 0,14 mg Se/kg voer. In dit onderzoek werd bij varkens van 36-53 kg LW tevens de absorptie van Se gemeten, zowel van Na-seleniet en van Se in gist bij toevoegingen van 0,1, 0,2 en 0,3 mg Se/kg voer. Hierbij kwamen geen duidelijke verschillen in Se-absorptie (gemiddeld 75 %) naar voren tussen de twee Se-bronnen. In het onderzoek van Mahan et al. (1999) werd aan varkens van 20-105 kg LW een voer van mais-soja zonder Se-toevoeging (0,065 mg Se/kg) en met een toevoeging van 0,05, 0,10, 0,20 en 0,30 mg Se/kg verstrekt. Er waren geen verschillen in dierprestaties, maar de GSH-Px activiteit bereikte een plateau bij een toevoeging tussen 0,05 en 0,10 mg Se/kg. Tian et al. (2006) voerden varkens van 28-92 kg LW een basisvoer (mais-sojavoer) met 0,06 mg Se/kg en dit basisvoer aangevuld met 0,1, 0,3 en 0,5 mg Se/kg. Het voer zonder Se-toevoeging had numeriek de laagste performance, de laagste serum Se concentratie en de laagste concentraties in lever, vlees, nier en pancreas. Helaas werd geen GSH-Px activiteit bepaald. In een ander onderzoek van Tian et al. (2006b) met varkens van 28-105 kg LW met een basisvoer (mais-sojavoer) van 0,06 mg Se/kg of dit basisvoer aangevuld met 0,1 of 0,3 mg Se/kg gaf het basisvoer numeriek de beste groeieresultaten. Mateo et al. (2007) voerden aan varkens van 34-130 kg LW een mais-sojavoer zonder Se-toevoeging (0,18 mg Se/kg) of met een toevoeging van 0,1, 0,2 of 0,3 mg Se/kg. Zij vonden geen enkel verschil in groeiprestaties tussen de verschillende behandelingen. Wel waren de Se-gehalten in enkele weefsels hoger bij toevoeging van Se aan het voer. Een onderzoek van Speight et al. (2012), waar biggen van 8-25 kg LW mais-sojavoeders kregen zonder Se-toevoeging (gemiddeld 0,070 mg/kg) of voeders met gemiddeld 0,324 mg Se/kg (Na-seleniet) toonde geen enkel verschil in groeiprestaties aan. Een vervolg van deze proef met dieren van 25-137 kg LW en Se-gehalten van 0,028 en 0,292 mg Se/kg voer gaf ook geen verschil in performance. Wel waren in bloed en in diverse organen de Se-gehalten veel lager in de niet-gesupplementeerde varkens.

In het onderzoek van Mahan en Kim (1996) waarbij gelten voer met 0,1 of 0,3 toegevoegd Se/kg voer kregen was er geen verschil in GSH-Px activiteit tussen de twee toevoegingsniveaus. Het Se-gehalte in het basisvoer zonder Se-toevoeging wordt echter niet vermeld. Ook de GSH-Px activiteit in het serum van de biggen op 21 dagen leeftijd was niet verschillend.

Voeders zonder Se-toevoeging bevatten doorgaans 0,03-0,07 mg Se/kg, maar sommige voeders bevatten meer dan 0,1 mg Se/kg. Toevoeging van enig Se lijkt gewenst zowel voor vleesvarkens als voor fokzeugen, zeker in het licht van de GSH-Px activiteit. De gemiddelde Se-behoefte op basis van GSH-Px activiteit voor biggen van 4,4-34 kg LW was ($n=4$) $0,22 \pm 0,10$ (Meyer et al., 1981; Adkins et al., 1984; Lei et al., 1998; Pallauf et al., 2002) en van vleesvarkens van 20-105 kg LW eveneens op basis van GSH-Px activiteit ($n=4$) is $0,14 \pm 0,01$ mg/kg voer (Mahan en Parrett, 1996; Mahan et al., 1999; Walz en Pallauf, 2003).

10.6 Conclusie en aanbevelingen Se-behoefte voor CVB

De conclusie is dat we de behoeftenormen voor Se van GfE en de NRC voor CVB het beste kunnen middelen, behalve voor de categorie van 5-11 kg LW van de NRC, zodat het volgende voorstel wordt gegeven. Overigens geldt dat in alle gevallen de voorziening van vitamine E voldoende moet zijn.

Voorstel Se-behoefte van varkens CVB (mg/kg voer) zonder veiligheidsmarge

Categorie						
Groeierende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
0,25	0,22	0,18	0,15	0,15	0,15	0,15

Voorstel voedernorm CVB (= behoefte van varkens met veiligheidsmarge van 10%) voor varkens voor Se (in mg/kg voer).

Categorie						
Groeierende varkens					Fokzeugen	
5-11 kg	11-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-135 kg	Dracht	Lactatie
0,28	0,24	0,20	0,16	0,16	0,16	0,17

Voor opfokzeugen en -beren kan hetzelfde Se-gehalte als voor vleesvarkens worden aangehouden en voor dekberen hetzelfde gehalte als voor drachtige zeugen.

11 Literatuur

- Adkins, R.S., Ewan, R.C., 1984. Effects of selenium on performance, serum selenium concentration and glutathione peroxidase activity in pigs. *J. Anim. Sci.* 58, 346-350.
- Alcantara, P.F., Hanson, L.E., Smith, J.D., 1980. Sodium requirements, balance and tissue composition of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 50, 1092-1101.
- Alonso, V., Provincial, L., Gil, M., Guillén, E., Roncalés, P., Beltrán, J.A., 2012. Impact of short-term feeding of magnesium supplements on the quality of pork packaged in modified atmosphere. *Meat Sci.* 90, 52-59.
- Andrews, F.N., Shrewsbury, C.L., Harper, C., Vestal, C.M., Doyle, L.P., 1948. Iodine deficiency in newborn sheep and swine. *J. Anim. Sci.* 7, 298-310.
- Anonymus, 2005. Magnesium. In: Mineral tolerance of animals. National Research Council of the National Academies. The National Academic Press, Washington, D.C. Chapter 18, 224-231.
- Apple, J.K., Roberts, W.J., Maxwell, C.V., Boger, C.B., Fakler, T.M., Firesen, K.G., Johnson, Z.B., 2004. Effect of supplemental manganese on performance and carcass characteristics of growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 82, 3267-3276.
- ARC, 1981. Agricultural Research Council. Sodium and chlorine. In: The Nutrient Requirements of Pigs. Commonwealth Agric. Bureaux, Farnham Royal, Slough, p. 252-257.
- Arthur, J.R., 1994. The biochemical functions of selenium: Relationships to thyroid metabolism and antioxidant systems pp 11-20 in Rowett Research Institute Annual Report for 1993. Aberdeen, UK: Rowett Research Institute, Bucksburn.
- Baranow,-Baranowski, S., Bronsz, J., 1979. (The mineral composition of sow milk in different periods of lactation). *Rocz. Nauk. Zoot.* T 6,17-28.
- Bartley, J.C., Reber, E.F., Yuskin, J.W., Norton, H.W., 1961. Magnesium balance study in pigs three to five weeks of age. *J. Anim. Sci.* 20, 137-141.
- Becker, K., Farries, E., Pfeffer, E., 1979. Changes in body composition of pig fetuses during pregnancy. *Arch. Tierernährg.* 29, 561-568.
- Becker, W., Towlerton, R., 1979. Neues bei Prophylaxe und Therapie der Eisenmangelanämie der Saugferkel. *Tierärztl. Umschau* 34, 708-717.
- Berk, A., Leiterer, M., Schöne, F., Zimmermann, Ch., Flachowski, G., 2004. Auswirkungen einer unterschiedlichen Jodversorgung auf die Leistung von Mastschweinen und den Jodstatus der Schilddrüse. In: Anke et al. (eds.) 22. Workshop Macro and Trace Elements, Jena University, Leipzig, 1377-1383.
- Bikker, P., Jongbloed, A.W., 2014. Koper- en zinknormen voor varkens. WUR-LR Rapport 746.
- Burch, R.E., Williams, R.V., Hahn, H.K.J., Jetton, M.M., Sullivan, J.F., 1975. Tissue trace element and enzyme content in pigs fed a low manganese diet. *J. Lab. Clin. Med.* 86, 132-139.
- Christianson, S.L., Peo, E.R., Lewis, A.J., 1989. Effects of dietary manganese levels on reproductive performance of sows. *J. Anim. Sci.* 67 (suppl. 1) , 251 (abstract).

- Christianson, S.L., Peo, E.R., Lewis, A.J., Giesemann, M.A., 1990. Influence of dietary manganese levels on reproduction, serum cholesterol and milk manganese concentration of sows. *J. Anim. Sci.* 68 (suppl. 1) , 368 (abstract).
- Combs, N.R., Miller, E.R., Ku, P.K., 1985. Development of an assay to determine the bioavailability of potassium in feedstuffs for the young pig. *J. Anim. Sci.* 60, 709-714.
- Combs, N.R., Miller, E.R., 1985. Determination of potassium availability in K₂CO₃, KHCO₃, corn and soybean meal for the young pig. *J. Anim. Sci.* 60, 715-719.
- Cromwell, G.L., Sihombing, D.T.H., Hays, V.W., 1975. Effect of iodine levels on performance and thyroid traits of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 41, 813-818.
- Cromwell, G.L., Hall, D.D., Combs, G.E., Hale, O.M., Handlin, D.L., Hitchcock, J.P., Knabe, D.A., Kornegay, E.T., Lindemann, M.D., Maxwell, C.V., Prince, T.J., 1989. Effects of dietary salt level during gestating and lactation on reproductive performance of sows: A cooperative study. *J. Anim. Sci.* 67, 374-385.
- CVB, 2005. Handleiding mineralenvoorziening rundvee, schapen en geiten. Centraal Veevoederbureau, Lelystad.
- Den Hartog, L.A., Zandstra, T., Kemp, B., Verstegen, M.W.A., 1988. Chemical composition of intra uterine tissue in pigs as related to the stage of pregnancy. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 60, 4-7.
- D'Sousa, D.N., Warner, R.D., Leury, B.J., Dunshea, F.R., 1998. The effect of dietary magnesium aspartate supplementation on pork quality. *J. Anim. Sci.* 76, 104-109.
- EC, 2003a. Verordnung (EG) 2003 der Kommission von 25. Juli 2003 zur Änderung der Bedingungen für die Zulassung einer Reihe von zur Gruppe der Spurenelemente zählenden Futterzusatzstoffen. *Amtsbl. Europ. Union L 187*, 11-15.
- EC, 2003b. Verordnung (EG) Nr. 2112/2003 der Kommission vom 1. Dezember 2003 zur Berichtigung der Verordnung (EG) Nr. 1334/2003 zur Änderung der Bedingungen für die Zulassung einer Reihe von zur Gruppe der Spurenelemente zählenden Futterzusatzstoffen. *Amtsbl. Europ. Union L 187*, 22-23.
- EC, 2005. Verordnung (EG) Nr. 1459/2005 der Kommission vom 8. September 2005 zur Änderung der Bedingen für die Zulassung einer Reihe von zur Gruppe der Spurenelemente zählenden Futterzusatzstoffen. *Amtsbl. Europ. Union L 233*, 8-10.
- Friend, D.W., Wolynetz, M.S., 1981. Self-selection of salt by gilts during pregnancy and lactation. *Can. J. Anim. Sci.* 61, 429-438.
- GfE, 2008. Recommendations for the Supply of Energy and Nutrients to Pigs. Committee for Requirements and Standards of the Society of Nutrition Physiology.
- Glienke, L.R., Ewan, R.C., 1977. Selenium deficiency in the young pig. *J. Anim. Sci.* 45, 1334-1340.
- Groce, A.W., Miller, E.R., Keahey, K.K., Ullrey, D.E., Ellis, D.J., 1971. Selenium supplementation of practical diets for growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 32, 905-911.
- Groce, A.W., Miller, E.R., Ullrey, D.E., Keahey, K.K., Ellis, D.J., 1973. Selenium requirements in corn-soy diets for growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 37, 948-956.
- Grummer, R.H., Bentley, O.G., Phillips, P.H., Bohstedt, G., 1950. The role of manganese in growth, reproduction and lactation of swine. *J. Anim. Sci.* 9, 170-175.

- Hagsten, I., Perry, T.W., 1976. Evaluation of dietary salt levels for swine. I. Effect on gain, water consumption and efficiency of feed conversion. *J. Anim. Sci.* 42, 1187-1190.
- Hagsten, I., Cline, T.R., Perry, T.W., Plumlee, M.P., 1976. Salt supplementation of corn-soy diets for swine. *J. Anim. Sci.* 42, 12-15.
- Harmon, B.G., Becker, D.E., Jensen, A.H., 1967. Efficacy of ferric ammonium citrate in preventing anemia in young swine. *J. Anim. Sci.* 26, 1051-1053.
- Harmon, B.G., Liu, C.T., Jensen, A.H., Baker, D.H., 1976. Dietary magnesium levels for sows during gestation and lactation. *J. Anim. Sci.* 42, 860-865.
- Hendriks, W.H., Moughan, P.J., 1993. Whole-body mineral composition of entire male and female pigs depositing protein at maximal rates. *Livest. Prod. Sci.* 33, 161-170.
- Honeyfield, D.C., Froseth, J.A., 1985. Effects of dietary sodium and chloride on growth, efficiency of feed utilization, plasma electrolytes and plasma basic amino acids in young pigs. *J. Nutr.* 115, 1366-1371.
- Honeyfield, D.C., Froseth, J.A., Barke, R.J., 1985. Dietary sodium and chloride levels for growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 60, 691-698.
- Humphreys, J.L., Carlson, M.S., Lorenzen, C.L., 2009. Dietary supplementation of magnesium sulfate and sodium bicarbonate and its effect on pork quality during environmental stress. *Livest. Sci.* 125, 15-21.
- Iwarsson, K., Bentsson, G., Ekman, C., 1973. Iodine content in colostrum and milk of cows and sows. *Acta Vet. Scand.* 14, 254-262.
- Jensen, A.H., Terrill, S.W., Becker, D.E., 1961. Response of young pigs to levels of dietary potassium. *J. Anim. Sci.* 20, 464-467.
- Johnson, S.R., 1944. Studies with swine on low manganese rations of natural foodstuffs. *J. Anim. Sci.* 3, 136-142.
- 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., De Groot, G., Kemme, P.A., Lippens, M., Meschy, F., 2002. Study on the bioavailability of major and trace minerals. Emfema, Brussels, 108 pp.
- Jongbloed, A.W., Van Diepen, J.Th.M., 2014. Verteerbaarheid en voederwaarde van twee basisvoerders en vijf voedermiddelen bij drachtige fokzeugen. LR Rapport 485.
- Kauer, C., Brandt, K., Pallauf, J., 2005. Reduced activity of manganese dependent enzymes in piglets as an indicator of subclinical manganese deficiency. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 14, 122.
- Kayongo-Male, H., Ullrey, D.E., Miller, E.R., 1975. The Mn requirement of the baby pig from sows fed a low Mn diet. *East African Agric. Forestry J.* 41, 157-164.
- Kim, Y.Y., Mahan, D.C., 2001a. Comparative effects of high dietary levels of organic and inorganic selenium on selenium toxicity of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 79, 942-948.
- Kim, Y.Y., Mahan, D.C., 2001b. Prolonged feeding of high dietary levels of organic and inorganic selenium to gilts from 25 kg body weight through one parity. *J. Anim. Sci.* 79, 956-966.

- Kirchgessner, M., Roth-Maier, D.A., Spörl, R., 1980. Cu-, Zn-, Ni- und Mn-Gehalte von Sauenmilch im Verlauf der Laktation bei unterschiedlicher Spurenelementversorgung. *Z. Tierphysiol., Tierernährg., Futtermittelkde.* 44, 233-238.
- Kirchgessner, M., Roth-Maier, D.A., Spörl, R., 1981. Untersuchungen zum Trächtigkeitsanabolismus der Spurenelemente Kupfer, Zink, Nickel und Mangan bei Zuchtsauen. *Arc. Tierernährg.* 31, 21-34.
- Kirchgessner, M., Roth-Maier, D.A., Grassmann, E., Mader, H., 1982. Verlauf der Fe-, Cu-, Zn-, Ni- und Mn-Konzentration in Sauenmilch während einer fünfwöchigen Laktationsperiode. *Arch. Tierernährg.* 32, 853-858.
- Kirchgessner, M., Roth-Maier, D.A., Spörl, R., 1983. Spurenelementbilanzen (Cu, Zn, Ni und Mn) laktierender Sauen. *Z. Tierphysiol., Tierernährg., Futtermittelkde.* 50, 230-239.
- Klasing, K.C., Knight, C.D., Forsight, D.M., 1980. Effects of iron on the anti-coli capacity of sow's milk in vitro and in ligated intestinal segments. *J. Nutr.* 110, 1914-1921.
- Knight, C.D., Klasing, K.C., Forsight, D.M., 1983. E. coli growth in serum of iron dextran-supplemented pigs. *J. Anim. Sci.* 57, 387-395.
- Kornegay, E.T., Lindemann, M.D., Bartlett, H.S., 1991. The influence of sodium supplementation of two phosphorus sources on performance and bone mineralization of growing-finishing swine evaluated at two geographical locations. *Can. J. Anim. Sci.* 71, 537-547.
- Krider, J.L., Albright, J.L., Plumlee, M.P., Conrad, J.H., Sinclair, C.L., Underwood, L., Jones, R.G., Harrington, R.B., 1975. Magnesium supplementation, space and docking effects on swine performance and behaviour. *J. Anim. Sci.* 40, 1027-1033.
- Lantsch, H.J., Gütte, J.O., Molnar, S., Lenkeit, W., 1963. Tägliche Veränderungen der Na-Ausscheidung vor und nach dem Abferkeln beim Schein. *Z. Tierphysiol., Tierernährg., Futtermittelkde.* 18, 1-10.
- Lee, S.H., Shinde, P., Choi, J., Park, M., Ohh, S., Kwon, I.K., Pak, S.I., Chae, B.J., 2008. Effects of dietary iron levels on growth performance, hematological status, liver mineral concentrations, fecal microflora, and diarrhea incidence in weanling pigs. *Biol. Trace Elem. Res.* 126, S57-S68.
- Lei, X.G., Dann, H.M., Ross, D.A., Cheng, W.H., Combs Jr, G.F., Ronecker, K.R., 1998. Dietary selenium supplementation is required to support full expression of three selenium-dependent glutathione peroxidases in various tissues of weanling pigs. *J. Nutr.* 128, 130-135.
- Leibholz, J.M., Speer, V.C., Hays, V.W., 1962. Effect of dietary manganese on baby pig performance and tissue manganese levels. *J. Anim. Sci.* 21, 772-776.
- Li, Q., Mair, C., Schedle, K., Hammerl, S., Schodl, C., Windisch, W., 2012. Effect of iodine source and dose on growth and iodine content in tissue and plasma thyroid hormones in fattening pigs. *Eur. J. Nutr.* 51, 685-691.
- Littledike, E.T., Goff, J., 1987. Interactions of calcium, phosphorus, magnesium and vitamin D that influence their status in domestic meat animals. *J. Anim. Sci.* 65, 1727-1743.
- Mahan, D.C., Moxon, A.L., 1978a. Effect of adding inorganic or organic selenium sources to the diets of young swine. *J. Anim. Sci.* 47, 456-466.

- Mahan, D.C., Moxon, A.L., 1978b. Effect of increasing the level of inorganic selenium supplementation in the postweaning diets of swine. *J. Anim. Sci.* 46, 384-390.
- Mahan, D.C., Moxon, A.L., 1984. Effect of inorganic selenium supplementation on selenosis in postweaning swine. *J. Anim. Sci.* 58, 1216-1221.
- Mahan, D.C., Kim, Y.Y., 1996. Effect of inorganic selenium at two dietary levels on reproductive performance and tissue selenium concentrations in first parity gilts and their progeny. *J. Anim. Sci.* 74, 2711-2718.
- Mahan, D.C., Parrett, N.A., 1996. Evaluating the efficacy of selenium-enriched yeast and sodium selenite on tissue selenium retention and serum glutathione peroxidase activity in grower and finisher diets. *J. Anim. Sci.* 74, 2967-2974.
- Mahan, D.C., Shields, R.G., 1998. Macro and micro mineral composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight. *J. Anim. Sci.* 76, 506-512.
- Mahan, D.C., Cline, T.R., Richert, B., 1999. Effects of dietary levels of selenium-enriched yeast and sodium selenite as selenium sources fed to growing-finishing pigs on performance, tissue selenium, serum glutathione peroxidase activity, carcass characteristics, and loin quality. *J. Anim. Sci.* 77, 2172-2179.
- Mahan, D.C., Peters, J.C., 2004. Long-term effects of dietary organic and inorganic selenium sources and levels on reproducing sows and their progeny. *J. Anim. Sci.* 82, 1343-1358.
- Manners, M.J., McCrea, M.R., 1964. Estimates of the mineral requirements of 2-day weaned piglets derived from data on mineral retention by sow-reared piglets. *Ann. Zootech.* 13, 29-38.
- Mateo, R.D., Spallholz, J.E., Elder, R., Yoon, I., Kim, S.W., 2007. Efficacy of dietary selenium sources on growth and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed diet containing high endogenous selenium. *J. Anim. Sci.* 85, 1177-1183.
- Maxon, P.F., Mahan, D.C., 1986. Dietary calcium and phosphorus for lactating swine at high and average production levels. *J. Anim. Sci.* 63, 1163-1172.
- Mayo, R.H., Plumlee, M.P., Beeson, W.M., 1959. Magnesium requirement of the pig. *J. Anim. Sci.* 18, 264-273.
- Matrone, G., Thomason, E.L., Bunn, C.R., 1960. Requirement and utilization of iron by the baby pig. *J. Nutr.* 72, 459-465.
- Meyer, J.H., Grummer, R.H., Phillips, P.H., Bohstedt, G., 1950. Sodium, chlorine, and potassium requirements of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 9, 300-306.
- Meyer, W.R., Mahan, D.C., Moxon, A.L., 1981. Value of dietary selenium and vitamin E for weanling swine as measured by performance and tissue selenium and glutathione peroxidase activities. *J. Anim. Sci.* 52, 302-311.
- Migdal, W., Koczanowski, J., Kaczmarczyk, J., Klocek, C., Tuz, R., 1990. The effect of a mineral supplement Wisol T-87 on the content of mineral components in sow's milk. *Rocz. Nauk. Zoot. T.* 17, 103-112.
- Miller, E.R., Ullrey, D.E., Zutaut, C.L., Baltzer, V., Schmidt, D.A., Hoefler, J.A., Luecke, R.W., 1965a. Magnesium requirement of the baby pig. *J. Nutr.* 85, 13-20.

- Miller, E.R., Ullrey, D.E., Zutaut, C.L., Hoefler, J.A., Luecke, R.W., 1965b. Comparisons of casein and soy proteins upon mineral balance and vitamin D2 requirement of the baby pig. *J. Nutr.* 85, 347-353.
- Miller, E.R., Ullrey, D.E., Zutaut, C.L., Hoefler, J.A., Luecke, R.W., 1965c. Mineral balance studies with the baby pig: Effects of dietary magnesium level upon calcium, phosphorus, and magnesium balance. *J. Nutr.* 86, 209-212.
- Miller, E.R., Ullrey, D.E., Zutaut, C.L., Hoefler, J.A., Luecke, R.W., 1965d. Mineral balance studies with the baby pig: Effects of dietary vitamin D2 level upon calcium, phosphorus, and magnesium balance. *J. Nutr.* 85, 255-258.
- Monegue, J.S. Lindemann, M.D., Monegue, H.J., Cromwell, G.L., 2011. Growth performance and diet preference of nursery pigs fed varying levels of salt. *J. Anim. Sci.* 89 (Suppl. 2), 66-67. (abstract).
- Mraz, F.R., Johnson, A.M., Patrick, H., 1958. Metabolism of cesium and potassium in swine as indicated by cesium-134 and potassium-42. *J. Nutr.* 64, 541-548.
- Mudd, A.J., Smith, W.C., Armstrong, D.G., 1969. The retention of certain minerals in pigs from birth to 90 kg live weight. *J. Agric. Sci., Camb.* 73, 181-187.
- Moinzadeh, H., 1975. Einfluss unterschiedlicher Energieversorgung auf Mineralstoffansatz und Mineralstoffverteilung im Körper wachsender Nutztiere. *Diss. Sc. Agr.*, Göttingen.
- NRC [National Research Council], 2005. National Research Council: Mineral Tolerance of Domestic Animals. (2nd rev. ed.), National Academy of Sciences, Washington, DC, 496 pp.
- NRC, 1998. Nutrient requirements of swine. National Research Council of the national academies.
- NRC, 2012. Nutrient requirements of swine. National Research Council of the national academies.
- Underscheika, K., 1969. Untersuchungen über Menge und Zusammensetzung der Schweinemilch und der Einfluss dieser Faktoren auf das Wachstum der Ferkel. Beiheft zur Wiener tierärztlichen Monatsschrift, 56. Jahrgang, Heft 10, 40 pp.
- Pallauf, J., Pippig, S., 1997. Effect of phytic acid and phytase on the bioavailability of iron in rats and piglets. In: Fisher et al. (eds.) Proc. 9th Int. Symp. Trace Elements in Man and Animals (TEMA 9). NRC Research Press, Ottawa, 26-28.
- Pallauf, J., Walz, O.P., Fisher, A., Wagner, A., 2002. Selenium requirement of growing pigs determined by different parameters. 11th Internat. Symp. On Trace Elements in Man and Animals (TEMA 11). Berkeley, California, Book of Abstracts, no 258 B, 129.
- Pallauf, J., Kauer, C., Most, E., Habicht, S.D., Moch, J., 2012. Impact of dietary manganese concentration on status criteria to determine manganese requirements in piglets. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 96, 993-1002.
- Petersen, U., Vemmer, H., Oslage, H.J., 1979. Ein Beitrag zur Jodversorgung von Mastschweinen. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* 86, 394-398.
- Piatkowski, T.L., Mahan, D.C., Cantor, A.H., Moxon, A.L., Cline, J.H., Grifo, A.P., 1979. Selenium and vitamin E in semipurified diets for gravid and nongravid gilts. *J. Anim. Sci.* 48, 1357-1365.
- Pickett, R.A., Plumlee, M.P., Smith, W.H., Beeson, W.M., 1960. Oral iron requirement of the early-weaned pig. *J. Anim. Sci.* 19, 1284 (Abstract).

- Plumlee, M.P., Thrasher, D.M., Beeson, W.M., Andrews, F.N., Parker, H.E., 1956. The effects of a manganese deficiency upon growth, development and reproduction of swine. *J. Anim. Sci.* 15, 352-368.
- Rheaume, J.A., Chavez, E.R., 1989. Trace mineral metabolism in nonpregnant, gestating and lactating gilts fed two dietary levels of manganese. *J. Trace Elements in Experiment. Medicine* 3, 231-242.
- Rincker, M.J., Hill, G.M., Link, J.E., Rowntree, J.E., 2004. Effects of dietary iron supplementation on growth performance, hematological status, and whole-body mineral concentrations of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 82, 3189-3197.
- Roth-Maier, D.A., Kirchgessner, M., Spoerl, R., 1985. Fe-Bilanzen gravider und laktierender Zuchtsauen bei unterschiedlicher alimentärer Eisenzufuhr. *Zbl. Vet. Med. A* 32, 739-751.
- Rymarz, A., 1986. Chemical body composition of growing pigs. Ca, P, K, Na and Mg contents in the body. *Pig News and Information* 7, 177-181.
- Sawyer, J.T., Tittor, A.W., Apple, J.K., Morgan, J.B., Maxwell, C.V., Rakes, L.K., Fakler, T.M., 2007. Effect of supplemental manganese on performance of growing-finishing pigs and pork quality during retail display. *J. Anim. Sci.* 85, 1046-1053.
- Schöne, F., Leiterer, M., Hartung, H., Jahreis, G., Tischendorf, F., 2001a. Rapeseed glucosinolates and iodine in sows affect the milk iodine concentration and the iodine status of piglets. *Brit. J. Nutr.* 85, 659-670.
- Schöne, F., Tischendorf, F., Leiterer, M., Hartung, H., Bargholz, J., 2001b. Effects of rapeseed-press cake glucosinolates and iodine on the performance, the thyroid gland and the liver vitamin A status of pigs. *Arch. Tierernährg.* 55, 333-350.
- Schöne, F., Zimmermann, C., Quantz, G., Richter, G., Leiterer, M., 2006. A high dietary iodine increases thyroid iodine stores and iodine concentration in blood serum but has little effect on muscle iodine content in pigs. *Meat Sci.* 72, 365-372.
- Shields, R.G., Mahan, D.C., Graham, P.L., 1983. Changes in swine body composition from birth to 145 kg. *J. Anim. Sci.* 57, 43-54.
- Speight, S.M., Estienne, M.J., Harper, A.F., Barb, C.R., Pringle, T.D., 2012. Effects of organic selenium supplementation on growth performance, carcass measurements, tissue selenium concentrations, characteristics of reproductive organs, and testis gene expression profiles in boars. *J. Anim. Sci.* 90, 533-542.
- Svajgr, A.J., Peo, E.R., Viperman Jr., P.E., 1969. Effects of dietary levels of manganese and magnesium on performance of growing-finishing swine raised in confinement and on pasture. *J. Anim. Sci.* 29, 439-443.
- Tian, J.Z., Yun, M.S., Ju, W.S., Long, H.F., Kim, J.H., Kil, D.Y., Chang, J.S., Cho, S.B., Kim, Y.Y., Han, In.K., 2006a. Effects of dietary selenium supplementation on growth performance, selenium retention in tissues and nutrient digestibility in growing-finishing pigs. *Asian Austr. J. Anim. Sci.* 19, 55-60.
- Tian, J.Z., Yun, M.S., Kong, C.S., Piao, L.G., Long, H.F., Kim, J.H., Lee, J.H., Lim, J.S., Kim, C.H., Kim, Y.Y., Han, In.K., 2006b. Effects of different products and levels of selenium on growth, nutrient digestibility and selenium retention of growing-finishing pigs. *Asian Austr. J. Anim. Sci.* 19, 61-66.

- Ullrey, D.E., Miller, E.R., Thompson, O.A., Ackermann, I.M., Schmidt, D.A., Hofer, J.A., Luecke, R.W., 1960. The requirement of the baby pig for orally administered iron. *J. Nutr.* 70, 187-192.
- Ullrey, D.E., 1974. The selenium deficiency problem in animal agriculture. pp. 275-293. in *Trace Element Metabolism in Animals*, Vol. 2, W.C. Hoekstra, J.W. Suttie, H.E. Ganther, and W. Mertz, eds. Baltimore, MD: University Park Press.
- Van Diepen, J.Th.M., Lenis, N.P., 1989. Effect van het zoutgehalte in mestvarkensvoer op de wateropname en mesterijresultaten. IVVO Rapport nr. 208.
- Walkiewicz, A., 1979. (Content of mineral components in ashes from sow colostrums and milk). *Polskie Archiwum Weterinaryjne* 21, 279-286.
- Walz, O.P., Pallauf, J., 2003. Zum Selenbedarf von Mastschweinen. In: *Kongressband 58*, 114. VDLUFA-Kongress Leipzig. VDLUFA-Verlag Bonn, 380-384.
- Wilkinson, J.E., Bell, M.C., Bacon, J.A., Masincupp, F.B., 1977. Effects of supplemental selenium on swine. I. Gestation and lactation. *J. Anim. Sci.* 44, 224-228.
- Yin, Y., Huang, C., Wu, X., Li, T., Huang, R., Kang, P., Hu, Q., Chu, W., Kong, X., 2008. Nutrient digestibility response to graded dietary levels of sodium chloride in weanling pigs. *J. Sci. Food Agric.* 88, 940-944.
- Young, L.G., Lumsden, J.H., Lun, A., Claxton, J., Edmeades, D.E., 1976. Influence of dietary levels of vitamin E and selenium on tissue and blood parameters in pigs. *Can. J. Compar. Medicine* 40, 92-97.

12 Bijlagen

Bijlage 1. Verantwoording van de getallen voor mineralen en sporenelementen bij diverse categorieën varkens en in zeugenmelk die in deze studie zijn gebruikt (Jongbloed, 2013; niet gepubliceerd).

- Pasgeboren biggen (gehalten in het lichaam)

Mineraal	n	Gemiddeld	SD	Minimum	Maximum	Mediaan
Mg, g/kg	12	0,29	0,05	0,17	0,34	0,31
K, g/kg	13	1,75	0,28	1,15	2,10	1,80
Na, g/kg	12	1,96	0,34	1,24	2,41	1,98
Cl, g/kg	3	2,33	0,48	1,97	2,87	2,15
Fe, mg/kg	7	31,9	7,6	19,6	44,1	30,0
Mn, mg/kg	3	0,59	0,26	0,42	0,89	0,45
Se, mg/kg	2	0,08	0,02	0,07	0,09	0,08

- Zeugenmelk (dag 3 – dag 30) (gehalten in melk)

Mineraal	n	Gemiddeld	SD	Minimum	Maximum	Mediaan
Mg, g/kg	58	0,13	0,03	0,08	0,21	0,12
K, g/kg	51	0,94	0,21	0,36	1,40	0,95
Na, g/kg	49	0,41	0,14	0,21	0,81	0,38
Cl, g/kg	16	0,83	0,29	0,39	1,24	0,90
Fe, mg/kg	73	1,57	0,66	0,52	3,36	1,43
Mn, mg/kg	34	0,10	0,03	0,02	0,19	0,10
Se, mg/kg	20	0,08	0,06	0,03	0,25	0,04
I, mg/kg	14	0,43	0,16	0,11	0,62	0,46

- Varkens van 5-20 kg LW (gehalten in het lichaam)

Mineraal	n	Gemiddeld	SD	Minimum	Maximum	Mediaan
Mg, g/kg	18	0,29	0,12	0,22	0,38	0,29
K, g/kg	15	2,19	0,84	1,86	2,54	2,16
Na, g/kg	15	1,26	0,48	0,89	1,53	1,27
Cl, g/kg	3	1,36	0,25	1,31	1,40	1,35
Fe, mg/kg	13	30,5	11,7	15,4	49,8	31,1
Mn, mg/kg	5	0,22	0,06	0,05	0,40	0,20
Se, mg/kg	2	0,09	0,01	0,08	0,10	0,09

- Varkens van 20-80 kg LW (gehalten in het lichaam)

Mineraal	n	Gemiddeld	SD	Minimum	Maximum	Mediaan
Mg, g/kg	31	0,26	0,10	0,17	0,37	0,26
K, g/kg	37	2,09	0,88	0,93	2,59	2,19
Na, g/kg	37	0,95	0,42	0,57	1,86	0,82
Cl, g/kg	14	1,01	0,28	0,70	1,46	0,95
Fe, mg/kg	13	22,4	6,40	13,9	41,6	18,6
Mn, mg/kg	12	0,32	0,09	0,17	0,70	0,29
Se, mg/kg	10	0,11	0,03	0,08	0,15	0,10

- Varkens van 80-130 kg LW (gehalten in het lichaam)

Mineraal	n	Gemiddeld	SD	Minimum	Maximum	Mediaan
Mg, g/kg	24	0,25	0,10	0,16	0,38	0,24
K, g/kg	29	1,92	0,81	0,88	2,39	1,96
Na, g/kg	27	0,81	0,34	0,57	1,40	0,81
Cl, g/kg	9	0,83	0,21	0,63	1,13	0,88
Fe, mg/kg	10	21,6	6,20	13,3	38,7	17,1
Mn, mg/kg	10	0,26	0,08	0,14	0,69	0,21
Se, mg/kg	7	0,13	0,03	0,09	0,23	0,09

- Varkens van 100-160 kg LW (gehalten in het lichaam)

Mineraal	n	Gemiddeld	SD	Minimum	Maximum	Mediaan
Mg, g/kg	16	0,22	0,09	0,16	0,29	0,23
K, g/kg	13	1,79	0,70	1,42	2,16	1,76
Na, g/kg	14	0,69	0,28	0,56	1,00	0,62
Cl, g/kg	6	0,74	0,21	0,63	1,00	0,66
Fe, mg/kg	9	19,3	6,90	13,0	33,9	15,8
Mn, mg/kg	9	0,20	0,07	0,14	0,28	0,21
Se, mg/kg	7	0,14	0,05	0,09	0,23	0,09

Bijlage 2. Gegevens omtrent proeven in de literatuur met vleesvarkens over de Mg-behoefte.*

Referentie	Dieet	LW range, kg	Duur expt. (dgn.)	Gemiddelde groei, g/d	Gemiddelde FCR	Mg basisvoer, g/kg	Toegevoegd, g/kg	Optimaal Mg gehalte, g/kg	Expt. nr.
Mayo et al., 1959	Semi-synt.	5.9-22.5	42	395	2.01	0.07	0, 0.066, 0.132, 0.198, 0.264, 0.330	0.400	Expt. 2
Mayo et al., 1959	Semi-synt.	20.4-42	42	772	2.30	0.065	0, 0.088, 0.176, 0.264, 0.352, 0.44	0.505	Expt. 3
Bartley et al., 1961	Semi-synt.	5-10	17	282	1.10	0.200	0, 0.27	0.400	Expt. 1
Miller et al., 1965a	Semi-synt.	2.0-12.9	35	310	1.28	0.025	0, 0.10, 0.20, 0.40	0.425	Expt. 1
Miller et al., 1965a	Semi-synt.	2.8-13.0	35	290	1.41	0.075	0, 0.15, 0.25, 0.35, 0.75	0.425	Expt. 2
Svajgr et al., 1969	C+SBM	17.3-86.2	84	815	2.90	1.28	0, 0.1	1.280	
Krider et al., 1975	C+SBM	50-105	70	680	3.43	1.60	0, 1.1		Expt. 1
Krider et al., 1975	C+SBM	28-100	105	685	3.43	1.60	0, 1.1		Expt. 2

*: Toelichting op afkortingen in deze en de volgende bijlagen:

FCR: voerconversie

C: Mais

W: tarwe

B: Gerst

O: Haver

SBM: Sojaschroot

RSE: Raapzaadschilfers

Bijlage 3. Gegevens omtrent proeven in de literatuur met varkens over de Na-behoefte.

Referentie	Dieet	LW range, kg	Duur expt. (dgn.)	Gemiddelde groei, g/d	Gemiddelde FCR	Na basisvoer, g/kg	Toegevoegd, g/kg	Optimaal Na-gehalte, g/kg	Expt. nr.
Meyer et al., 1950	Semi-synt.	14.2-36.2	42	522	1.93	0.05	2.0		Expt. 1
Meyer et al., 1950	Semi-synt.	17.0-35.0	28	626	1.99	0.30	0.3, 0.6, 2.0	0.90	Expt. 2
Alcantara et al., 1980	C+SBM	27.6-89.8	84	740	2.90	0.34	0.0, 0.3, 0.6, 1.0	0.93	Expt. 1
Alcantara et al., 1980	C+SBM	9.4-25.0	50	440	2.11	0.33	0.3, 0.6, 0.8, 1.0	0.93	Expt. 2
Honeyfield en Froseth, 1985	C+SBM	8.5-22.8	35	410	2.28	0.24	0.0, 0.94, 1.60	1.18	Expt. 1
Honeyfield et al., 1985	C+SBM	36.2-89.0	70	723	3.42	0.317	0.0, 0.60, 1.36	0.92	Expt. 2
Kornegay et al., 1991	C+SBM	21.7-110	105	798	2.95	0.10	0.0, 0.45, 1.15, 1.85, 3.25		
Hagsten en Perry, 1976	C+SBM	17.0-34.6	28	630	2.40	0.24	0.0, 0.26, 0.56, 0.84	0.80	Expt. 1
Hagsten en Perry, 1976	C+SBM	12-40	49	632	2.60	0.24	0.24, 0.36, 0.48, 0.60	0.80	Expt. 2
Hagsten et al., 1976	C+SBM	18-91	110	658	3.21	0.24	0, 0.4, 0.8, 1,2, 1.6, 2.0, 4.0	1.04	Expt. 1
Hagsten et al., 1976	C+SBM	27-100	88	831	3.08	0.24	0, 0.4, 0.8, 1,2, 1.6, 2.0	1.44	Expt. 2
Mahan et al., 1996	C+SBM+Weipoeder	6.6-20.8	35	406	1.93	2.00	0, 0.8, 1.6, 2.4	2.00	Expt. 1
Mahan et al., 1996	C+SBM+Weipoeder	6.9-20.5	35	386	1.68	2.00	0, 0.8, 1.6, 2.4	2.00	Expt. 2
Mahan et al., 1999	C+SBM+Lactose	6.5-14.4	21	378	1.49	2.00	0, 0.8, 1.6, 2.4	2.80	Expt. 1
Mahan et al., 1999	C+SBM+Lactose	6.5-11.8	21	253	1.59	2.00	0.0, 1.4	2.00	Expt. 2
Van Diepen en Lenis, 1989	Praktijkvoer	35-105	85	841	2.88	0.80	0.4, 0.8, 1.6	1.00	

Bijlage 4. Gegevens omtrent proeven in de literatuur met varkens over de CI-behoefte.

Referentie	Dieet	LW range, kg	Duur expt. (dgn.)	Gemiddelde groei, g/d	Gemiddelde FCR	CI basisvoer, g/kg	Toegevoegd, g/kg	Optimaal CI gehalte, g/kg	Expt. nr.
Meyer et al., 1950	Semi-synt.	14.2-36.2	42	522	1.93	0.3	3.0		
Honeyfield en Froseth, 1985	C+SBM	8.5-22.8	35	410	2.28	1.03	0.0, 1.13, 2.30	1.03	
Honeyfield et al., 1985	C+SBM	36.2-89.0	70	723	3.42	0.784	0.0, 1.0, 2.2	1.78	
Mahan et al., 1996	C+SBM+ Weipoeder	6.0-20.8	35	423	1.49	4.0	0.0, 0.5, 1.0		Expt. 3
Mahan et al., 1999	C+SBM+ Lactose	6.5-11.8	21	253	1.59	2.5	0.0, 2.0	4.5	Expt. 2
Mahan et al., 1999	C+SBM+ Lactose	6.1-12.4	21	172	1.51	2.0	0.6, 1.2, 1.8, 2.2	3.2	Expt. 3

Bijlage 5. Gegevens omtrent proeven in de literatuur met varkens over de K-behoefte.

Referentie	Dieet	LW range, kg	Duur expt. (dgn.)	Gemiddelde groei, g/d	Gemiddelde FCR	K basisvoer, g/kg	Toegevoegd, g/kg	Optimaal K-gehalte, g/kg	Expt. nr.
Jensen et al., 1961	Semi-synth	4.7-15.8	35	318	1.69	0.27	0, 1, 2, 3, 4, 5	3.27	Expt. 1
Jensen et al., 1961	Semi-synth	4.7-10.4	28	204	1.00	0.04	0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5	2.54	Expt. 2
Combs et al., 1985	Semi-synth	4.4-6.6	14	124		0.14	0, 1.50, 2.59, 4.81	3.00	Expt. 1
Combs et al., 1985	Semi-synth	6.1-9.6	21	167		0.65	0, 0.87, 1.65, 3.91	3.30	Expt. 2
Combs et al., 1985	Semi-synth	8.9-14.3	14	386		1.30	0, 1.1, 3.2, 7.0	2.60	Expt. 3
Meyer et al., 1950	Semi-synth	17-35	28	626	2.00	6.24	0	2.55	Expt. 2
Mraz et al., 1958	Semi-synth	18.6-34.5	25	636		0.35	0, 2, 4, 6, 8	2.00	Expt. 3

Bijlage 6. Gegevens omtrent proeven in de literatuur met varkens over de Fe-behoefte.

Referentie	Dieet	LW range, kg	Duur expt. (dgn.)	Gemiddel-de groei, g/d	Gemiddel-de FCR	Fe basis-voer, mg/kg	Toegevoegd, mg/kg	Optimaal Fe-gehalte, mg/kg	Expt. nr.
Matrone et al., 1960	Melk	1.3-19.3	55	326		2	10, 20, 40, 60, 80	54	Expt. 3
Pickett et al., 1960	Semi-synth.	6-20	42			15	0, 15, 25, 35, 45, 50, 55, 65, 75, 85, 100, 105	80	Expt. 2, 3, 4
Ullrey et al., 1960	Melk	3-12	42	240		15	0, 50, 100, 150	110	
Harmon et al., 1967	Semi-synth.	2-10	28	133		10	42, 76	86	Expt. 4
Harmon et al., 1969	Semi-synth.	9.8-26.7	38	444		18	0, 31, 77, 124	70	Expt. 5, 6
Pallauf&Pippig, 1997	M+SBM	10-20				60	0, 20, 40	60	
Rincker et al., 2004	M+SBM	6-18	35	335	1.51	98	0, 25, 50, 100, 150	150	
Lee et al., 2008	M+SBM	6-12	28	216	1.67	70	0, 50, 100, 250	120	

Bijlage 7. Gegevens omtrent proeven in de literatuur met varkens over de I-behoefte.

Referentie	Dieet	LW range, kg	Duur expt. (dgn.)	Gemiddel-de groei, g/d	Gemiddel-de FCR	I basisvoer, mg/kg	Toegevoegd, mg/kg	Optimaal I gehalte, mg/kg	Expt. nr.
Cromwell et al., 1975	C+SBM	11-34	43	490	2.32	0.055	0, 0.050, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25	0.132	expt. 2
Cromwell et al., 1975	C+SBM	10-34	43	568	2.26	0.055	0, 0.025, 0.050, 0.075, 0.10, 0.15, 0.20	0.086	expt. 3
Cromwell et al., 1975	C+SBM	23-91	41	741	3.45	0.14	0, 0.10, 0.20, 0.40	0.140	expt. 4
Berk et al., 2004	C+B+W+ SBM	27-118	109	837	2.70	0.17	0, 0.5, 1.0, 2.0, 5,0	0.170	
Li et al., 2012	C+SBM	33-115	99	831	2.85	0.02	0.13, 4.0, 10.0	0.150	
Schöne et al., 2001b	W+B+ SBM	24-104	102	780	3.08	0.015	0.125, 0.250		
Schöne et al., 2001b	W+B+ RSE	24-104	111	718	3.16	0.015	0.125, 0.250		

Bijlage 8. Gegevens omtrent proeven in de literatuur met varkens over de Mn-behoefte.

Referentie	Dieet	LW range, kg	Duur expt (dgn)	Gemiddelde groei, g/d	Gemiddelde FCR	Mn basisvoer, mg/kg	Toegevoegd, mg/kg	Optimaal Mn content mg/kg,	Expt. nr.
Johnson, 1944	C+dierlijke prod.	13.8-99.2	157	531	-	8.5	0, 100, 200	8.6	
Grummer et al., 1950	C+SBM	31.6-100.4	124	573	4.22	12	0, 40, 80, 160	52	
Plumlee et al., 1956	Semi-synth.	15.8-88.6	98	743	-	1.5	0, 20.5, 34.0	1.5	Expt. 1
Plumlee et al., 1956	Semi-synth.	19.5-111.7	119	-	-	1.4	0.0, 40.0	1.4	Expt. 2
Leibholz et al., 1962	Semi-synth.	4.3-16.9	35	367	1.74	0.45	0.0, 40		
Kayongo-Male, 1975	Semi-synth.	4-11	30	283	1.27	0.46	0, 2.2, 5.9	4.5	
Pallauf et al., 2012	Semi-synth.	7.2-27.1	42	474	1.45	0.24	0, 2, 4, 8, 16, 32	16	

Bijlage 9. Gegevens omtrent proeven in de literatuur met varkens over de Se-behoefte

Referentie	Dieet	LW range, kg	Duur expt. (dgn.)	Gemiddelde groei, g/d	Gemiddelde FCR	Se basisvoer, mg/kg	Toegevoegd, mg/kg	Optimaal Se gehalte, mg/kg	Expt. nr.	Criterium
Groce et al., 1971	C+SBM	45-87	56	750	3.22	0.04	0, 0.10	0.04	Expt. 1	
Groce et al., 1971	C+SBM	8.9-XX	98	-	-	0.041	0, 0.1, 0.5	0.10	Expt. 2	
Groce et al., 1973	C+SBM	14.4-59.8	77	590	2.86	0.052	0, 0.05, 0.10, 0.20	0.15	Expt. 1	
Ku et al., 1973	C+SBM	7.9-97.9	141	640	2.78	0.042	0, 0.44	0.042	Expt. 1	
Mahan&Moxon, 1978a	C+O+ SBM	6.5-14.9	28	300	1.62	0.055	0, 0.10, 0.30	0.155		
Tian et al., 2006a	C+SBM	28-92	84	842	2.86	0.06	0, 0.1, 0.3, 0.5	0.06		
Tian et al., 2006b	C+SBM	28-105	84	910	2.86	0.06	0, 0.1, 0.3	0.06		
Mateo et al., 2007	C+SBM	34-130	110	888	2.71	0.181	0, 0.1, 0.2, 0.3			
Speight et al., 2012	C+SBM	8.3-24.9	35	475	1.85	0.07	0, 0.324	0.07		
Speight et al., 2012	C+SBM	25-137	108	1033	2.65	0.028	0, 0.292	0.292		
Meyer et al., 1981	C+SBM	8.2-21.4	35	360	1.96	0.065	0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0	0.35		GSH-Px
Adkins et al., 1984	Semi-synt.	4.4-9.3	28	174	2.86	0.020	0.025, 0.050, 0.075, 0.100	0.10		GSH-Px
Mahan & Parrett, 1996	C+SBM	22.2-60	48	792	2.28	0.058	0.0, 0.10, 0.30, 0.50	0.158		GSH-Px
Mahan & Parrett, 1996	C+SBM	65.8-105	42	948	3.01	0.039	0.0, 0.10, 0.30, 0.50	0.139		GSH-Px
Lei et al., 1998	C+SBM	8.0-21.2	35	379	1.63	0.03	0, 0.1, 0.3	0.23		GSH-Px
Mahan et al., 1999	C+SBM	20-105	102	830	2.65	0.06	0.0, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30	0.135		GSH-Px
Pallauf et al., 2002	W+SBM	8.8-34.3	49	548	-	0.03	0, 0.050, 0.10, 0.20, 0.30	0.20		GSH-Px
Walz&Pallauf, 2003		25-90	-	-	-	-	-	0.14		GSH-Px