



Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Evaluatie van methaanemissieberekeningen en -metingen in de veehouderij

| WOt-technical report 54

K. Groenestein & J. Mosquera



WAGENINGENUR
For quality of life

Evaluatie van methaanemissieberekeningen en -metingen in de veehouderij

Dit Technical report is gemaakt conform het Kwaliteitshandboek van de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.

De reeks 'WOt-technical reports' bevat onderzoeksresultaten van projecten die kennisorganisaties voor de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu hebben uitgevoerd.

WOt-technical report 54 is het resultaat van een onderzoeksopdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken (EZ).

Evaluatie van methaanemissie- berekeningen en -metingen in de veehouderij

K. Groenestein & J. Mosquera

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Wageningen, december 2015

WOt-technical report 54

ISSN 2352-2739

Referaat

Groenestein, K. & J. Mosquera (2015). *Evaluatie van methaanemissieberekeningen en -metingen in de veehouderij*. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-technical report 54. 31 blz.; 4 tab.; 30 ref.

Wageningen UR Livestock Research heeft een deskstudie uitgevoerd om te analyseren waarom berekende en gemeten methaanemissies verschillen en doet aanbevelingen voor nader onderzoek. Het blijkt dat zowel aan de kant van de meetwaarden als aan de kant van de berekeningen vragen kunnen worden gesteld. De aanbevelingen betreffen een nadere beschouwing van mestsamenstelling (met name organische stof (OS), de fractie van de organische stof die afbreekbaar is (Bo) en het deel van de afbreekbare fractie die daadwerkelijk wordt afgebroken tot CH₄ (MCF)) met in achtneming van Nederlandse omstandigheden. Tevens wordt geadviseerd te bestuderen wat de oorzaak kan zijn van de grote variatie in gemeten methaanemissie met oog voor de leeftijd van de mest, effect van ammoniakemissie-reducerende maatregelen, mestmanagement en enterische methaanemissie door varkens.

Trefwoorden: Methaanemissie, veehouderij, mest, enterische methaanvorming, metingen, berekeningen.

Abstract

Groenestein, K. & J. Mosquera (2015). *Evaluation of methane emission calculations and measurements in livestock farming*. Statutory Research Tasks Unit for Nature & the Environment (WOT Natuur & Milieu), Wot-technical Report 54. 31 pp; 4 tab.; 30 ref.

Wageningen UR Livestock Research carried out a desk study to analyse why calculated methane emissions differ from actual measured emissions and makes recommendations for further research. The study indicates that the accuracy of both the calculated and measured emissions can be questioned. The recommendations are to re-examine the composition of manure (particularly organic matter (OM), the biodegradable fraction of organic matter (Bo) and the part of the biodegradable fraction that is actually broken down into CH₄ (MCF) with regard to conditions in the Netherlands. A further recommendation is to investigate the possible causes of the wide variation in measured methane emissions, giving consideration to the age of the manure, the effect of ammonia-reducing measures, manure management and enteric methane emission by pigs.

Keywords: Methane emission, livestock farming, manure, enteric methane formation, measurements, calculations

© 2015

Wageningen UR Livestock Research

Postbus 65, 8200 AB Lelystad

Tel: (0320) 23 82 38; e-mail: info.livestockresearch@wur.nl

De reeks WOt-technical reports is een uitgave van de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, onderdeel van Wageningen UR. Dit report is verkrijgbaar bij het secretariaat. De publicatie is ook te downloaden via www.wageningenUR.nl/wotnatuurenmilieu.

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Postbus 47, 6700 AA Wageningen

Tel: (0317) 48 54 71; e-mail: info.wnm@wur.nl; Internet: www.wageningenUR.nl/wotnatuurenmilieu

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervaelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Woord vooraf

Nederland rapporteert nationaal en internationaal de emissies van broeikasgassen uit de landbouw in het kader van diverse protocollen en regelingen (o.a. Kyoto protocol, E-PRTR (European Pollutant Release Transfer Register)). Emissieregistratie (ER) is verantwoordelijk voor de jaarlijkse vaststelling van de emissiegegevens. Uit een gezamenlijke studie van Wageningen Livestock Research (WLR) en Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) bleek dat de emissiefactoren aan de hand van gemeten methaanemissie uit de stal niet gelijk waren aan de emissiefactoren die berekend werden volgens de National Inventory Report (NIR) methodiek. Het is belangrijk om te begrijpen waar die verschillen door veroorzaakt worden. Dit is nodig om te beoordelen of aanpassingen in de NIR-methodiek noodzakelijk zijn. ER heeft daarom WLR opdracht gegeven uit te zoeken waardoor deze verschillen veroorzaakt werden. Dit rapport bevat de resultaten van een deskstudie en bevat aanbevelingen tot nader onderzoek.

Karin Groenestein
Projectleider

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Methaanvorming door veehouderij	13
3 Enterische emissiefactor	15
3.1 Melkvee	15
3.1.1 Berekening	15
3.1.2 Meting	15
3.1.3 Verschil	16
3.2 Vleesvarkens	17
3.2.1 Berekening	17
3.2.2 Meting	17
3.2.3 Verschil	17
4 Methaan uit mest	19
4.1 Melkvee	19
4.1.1 Berekeningen	19
4.1.2 Metingen	20
4.1.3 Verschil	20
4.2 Vleesvarkens	21
4.2.1 Berekeningen	21
4.2.2 Metingen	22
4.2.3 Verschil	22
5 Conclusies	23
6 Aanbevelingen	25
Literatuur	27
Verantwoording	29

Samenvatting

Nederland rapporteert nationaal en internationaal de emissies van broeikasgassen uit de landbouw in het kader van diverse protocollen en regelingen (o.a. Kyoto protocol, E-PRTR (European Pollutant Release Transfer Register)). Emissieregistratie (ER) is verantwoordelijk voor de jaarlijkse vaststelling van deze emissiegegevens. Uit een gezamenlijke studie van Wageningen Livestock Research (WLR) en Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) bleek dat de emissiefactoren aan de hand van gemeten methaanemissie uit de stal niet gelijk waren aan de emissiefactoren die berekend werden volgens de National Inventory Report (NIR) methodiek. De verschillen betroffen vooral melkvee en vleesvarkens. Het is belangrijk om uit te zoeken waar die verschillen door veroorzaakt worden, om te beoordelen of aanpassingen in de NIR-methodiek noodzakelijk zijn. Wageningen UR Livestock Research heeft een deskstudie uitgevoerd om dit te analyseren. Aangezien melkvee en varkens volgens de NIR een grote bijdrage leveren aan de nationale methaanemissie door de veehouderij, werd deze analyse alleen op deze twee diercategorieën uitgevoerd.

Op basis van de analyse van de verschillen tussen de door de NIR berekende methaanemissiefactoren en de emissiefactoren gebaseerd op stalmetingen voor melkkoeien en vleesvarkens worden de volgende conclusies getrokken:

- Er is geen reden te twijfelen aan de berekening van de enterische methaanemissies van melkkoeien als maat voor de gemiddelde enterische methaanemissie van de Nederlandse koe.
- De default-factor voor de enterische methaanemissie van vleesvarkens is substantieel lager dan de gemeten waarde, maar dit verschil is gering wanneer dit vergeleken wordt met de verschillen in de emissies uit de mest. De aanname dat de enterische emissie van zeugen en biggen gelijk zijn aan de enterische emissie van vleesvarkens, is onterecht.
- De gemeten emissie uit de mest in reguliere stallen wordt overschat omdat geen rekening wordt gehouden met eventueel lagere temperaturen bij buitenopslag. Dit geldt vooral voor vleesvarkens.
- Het is de vraag of de laboratoriumanalyses die de basis zijn voor de organische stofgehalten van de mest representatief zijn voor de mest van melkkoeien c.q. vleesvarkens.
- De gemeten variatie in methaanemissie tussen stallen was groot. De oorzaken waren niet te benoemen.
- De opslagtermijn die de wet hanteert voor aan te leggen mestopslagcapaciteit is toegenomen van 6 naar 7 maanden. Hiermee werd geen rekening gehouden in de NIR-berekeningen.
- Voor de schatting van de methaanemissie uit mest is de leeftijd van de mest van belang. In de berekeningen wordt deze maat bepaald door opslagcapaciteit. Dit is niet een goede maat voor de leeftijd van de mest. Dit geldt voor zowel rundvee- als vleesvarkensdrijfmest.
- De schattingen van de fractie van de organische stof die afbreekbaar is (Bo) en het deel van de afbreekbare fractie die daadwerkelijk wordt afgebroken tot CH₄ (MCF) van zowel rundvee- als vleesvarkensdrijfmest zijn gedateerd en ontwikkelingen wat betreft mestmanagement en voermanagement geven aanleiding om te veronderstellen dat dit de laatste decennia is veranderd. Hierbij kan er niet vanuit worden gegaan dat internationale data representatief zijn voor de Nederlandse situatie.

Op basis van deze conclusies kunnen de volgende aanbevelingen voor onderzoek worden gedaan:

- Nader onderzoek naar de hoeveelheid en samenstelling van rundvee- en varkensdrijfmest. Meer specifiek gaat het om de geproduceerde mesthoeveelheid in de stal en in de weide (indien van toepassing), het OS-gehalte, de Bo en de MCF, waarbij de specifieke Nederlandse omstandigheden in acht worden genomen.
- Nader onderzoek naar gemeten variatie in methaanemissie tussen stallen is gewenst.
- Nader onderzoek naar de enterische methaanemissie van zeugen en biggen.
- Nadere beschouwing van de aanname dat mestopslagcapaciteit representatief is voor de leeftijd van de mest als bepalende factor voor de emissie van methaan uit opgeslagen mest.
- Nadere beschouwing van mestmanagement in stallen, met en zonder emissiereducerende maatregelen.

1 Inleiding

Emissieregistratie (ER) is verantwoordelijk voor de jaarlijkse vaststelling van een dataset met eenduidige emissiegegevens waarover consensus bestaat en die voldoen aan de criteria: actualiteit, juistheid, volledigheid, transparantie, vergelijkbaarheid, consistentie en nauwkeurigheid. Het doel is om een geïntegreerd systeem op te zetten waarbij emissies naar alle compartimenten in kaart konden worden gebracht om het milieubeleid gericht invulling te kunnen geven en de resultaten daarvan te kunnen monitoren.

Uit een gezamenlijke studie van Wageningen Livestock Research (WLR) en Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) bleek dat de emissiefactoren aan de hand van gemeten methaanemissie uit de stal niet gelijk waren aan de emissiefactoren die berekend werden volgens de National Inventory Report (NIR) methodiek (Groenestein *et al.*, 2012). Tegelijkertijd bleek dat de relatieve bijdrage van rundvee aan de nationale methaanemissie op basis van gemeten cijfers lager was dan op basis van de NIR-cijfers en die van varkens juist hoger. ER wil graag weten waar die verschillen door veroorzaakt worden om te kunnen beoordelen zodat zij zelf kan beoordelen of de NIR methodiek een update behoeft.

De verschillen betroffen vooral melkvee en vleesvarkens. Daarom zal deze rapportage zich toespitsen op deze twee diercategorieën, mede omdat melkvee en varkens volgens de NIR een grote bijdrage leveren aan de nationale methaanemissie door de veehouderij (rundvee (82%), varkens (13%), andere diersoorten (5%); Coenen *et al.*, 2013). Om uit te gaan van de meest recente inzichten is in onderhavige studie gebruik gemaakt van de meest recente NIR-berekeningen van Coenen *et al.* (2013) en niet die van Van der Maas *et al.* (2011) zoals in Groenestein *et al.* (2012).

In dit rapport is alleen gekeken naar de methaanemissiefactoren voor reguliere stallen. Er is dus geen rekening gehouden met mogelijke reducties van methaanemissie door systemen die als doel hebben de ammoniakemissie te reduceren.

2 Methaanvorming door veehouderij

Methaan (CH₄) ontstaat als stofwisselingsproduct van bacteriën die alleen onder anaerobe omstandigheden gedijen. In de veehouderij zijn twee methaanbronnen te onderscheiden: het dier (pens- en darmfermentatie) en de mest (fermentatie van organische stof). Wanneer het herkauwers betreft, zoals melkkoeien, is de pensfermentatie veruit de grootste bron. Coenen *et al.* (2013) publiceerden dat 71% van de CH₄ een dierlijke oorsprong had (enterisch) en dat 89% daarvan van rundvee kwam. Wanneer het om eenmagige dieren gaat, zoals het varken, komt veel minder enterische methaan vrij en is dan afkomstig van dikke darmfermentatie. De tweede bron, voor zowel melkvee als vleesvarkens, is de mest. Deze is afhankelijk van de hoeveelheid organische stof die wordt afgebroken in de mest en de methanogene activiteit van de bacteriën. Dit hangt weer af van de hoeveelheid afbreekbare organische stof en hoe gunstig de omstandigheden voor de bacteriën zijn om deze af te breken. Groenestein *et al.* (2012) vergeleken gemeten en berekende emissiefactoren van rundvee, varkens en pluimvee. Vooral de verschillen tussen melkvee en vleesvarkens waren substantieel.

Bij de beoordeling van de verschillen tussen de berekende en de gemeten waarden zal per diercategorie afzonderlijk gekeken worden naar de enterische oorsprong van methaan en naar de methaan uit mest. Tabel 1 laat zien wat berekend en gemeten het onderscheid is tussen enterische emissies en emissies uit mest. De NIR-waarden uit Tabel 1 komen niet overeen met die van Groenestein *et al.* (2012) omdat bij de analyse van de verschillen rekening gehouden wordt met de meest recente inzichten, zijnde de NIR die in 2013 is uitgevoerd met data van 2012.

De NIR-methodiek publiceert de data voor huisvesting inclusief opslag van de mest buiten de stal. De metingen betreffen stalmetingen. Tijdens de metingen wordt aangenomen dat bij reguliere stallen zonder ammoniakemissie-reducerende maatregelen, de mestopslagcapaciteit onder de roosters in de stal volstaat en dat de hoeveelheid mest die buiten opgeslagen wordt verwaarloosbaar is.

Tabel 1

*Methaanemissiefactoren (kg/jaar per dierplaats) van melkvee en vleesvarkens berekend volgens de NIR (Coenen *et al.*, 2013) en op basis van metingen (Groenestein *et al.*, 2012)*

Dier	Bron	NIR	Metingen
Melkvee permanent opstallen	Enterisch	-	105
	Mest	-	37
Melkvee stal en weide	Enterisch	128	105
	Mest	43	22
Vleesvarkens	Enterisch	1,5	2,2
	Mest	4,2	14,0

3 Enterische emissiefactor

3.1 Melkvee

3.1.1 Berekening

Om de enterische emissiefactor te berekenen, wordt voor melkvee in Nederland de Tier 3-methode gehanteerd. Dat betekent dat er een modelberekening aan te pas komt. Deze methode wordt uitgebreid beschreven in *Protocol 12-027 Pens- en darmfermentatie*. Hier wordt volstaan met het benoemen van de meest essentiële uitgangspunten en factoren. De berekening voor 2011 (Coenen *et al.*, 2013) kwam uit op een enterische methaanproductie van 128 kg per melkkoe per jaar met een melkproductie van 8063 kg.

De essentie van het mechanistische model is de berekening van de enterische methaanproductie op basis van de voeropname en de rantsoeneigenschappen om de fermentatieprocessen in de pens en dikke darm te voorspellen (Bannink, 2010). De input van het model zijn nationale statistieken van voeropname en rantsoen-samenstellingen die jaarlijks vastgesteld worden door de Werkgroep Uniformering berekening Mest en mineralencijfers (WUM: CBS, 2013).

Bannink (2010) stelt dat een van de grootste onzekerheden van de methaanemissiefactor veroorzaakt wordt door onzekerheid over de voeropname en de bijdrage van gras- en grasproducten aan het rantsoen. Het grootste deel van het rantsoen van melkvee is ruwvoer (3/4 van de drogestofopname) en daarvan bestaat ongeveer 2/3 uit grasproducten (vers gras, hooi en graskuil). Het verbruik aan graskuil en hooi wordt berekend uit de oogst en de voorraadmutaties. Snijmaïsgebruik wordt berekend op basis van cijfers van de oogst die LEI Wageningen UR een jaar eerder (t-1) heeft verzameld. Ook de samenstelling van de kuilvoerders wordt bepaald aan de hand van die van een jaar eerder (t-1).

Weidegrasopname wordt berekend uit het verschil tussen de behoefte van de dieren en de berekende vervoedering van alle andere voeders. Verder kan nog opgemerkt worden dat er onderscheid gemaakt wordt naar regio omdat rantsoenen nogal verschillen. In Zuid- en Oost-Nederland, gebieden met zandgronden, bevat een rantsoen meer snijmaïs. In Noordwest-Nederland voeren ze meer gras, in 2012 was dat 2033 kg drogestof per koe, ca. 40% meer dan de 1438 kg drogestof in Zuidoost-Nederland (CBS, 2013). Een groter aandeel gras betekent over het algemeen een hogere methaanproductie (Dijkstra *et al.*, 2011). Een andere onzekerheid om de methaanproductie te voorspellen, is het samenspel van factoren die de fermentatieomstandigheden in de pens bepalen. Deze omstandigheden zijn bepalend voor de hoeveelheid vluchtige vetzuren die geproduceerd wordt en de bijbehorende netto hoeveelheid waterstof die vrijkomt en nagenoeg volledig wordt omgezet in methaan (Alemu *et al.*, 2011).

3.1.2 Meting

De meetcijfers worden verkregen aan de hand van protocolaire metingen. Dit protocol is ontwikkeld om op jaarbasis representatief methaanemissie te meten aan een (emissiearm) huisvestingssysteem. Hiervoor wordt op vier verschillende locaties gemeten aan eenzelfde huisvestingssysteem op zes etmalen verspreid over een jaar. De omstandigheden om een betrouwbare schatting te geven voor een gemiddelde emissiefactor zijn in het protocol vastgelegd als landbouwkundige randvoorwaarden. Dit impliceert onder anderen dat het rantsoen van de koeien voor minimaal 50% uit ruwvoer moet bestaan, en minimaal 160 g ruw eiwit per kg drogestof (RE/kg ds) moet bevatten (Groenestein *et al.*, 2011). Daarnaast zijn er onder anderen eisen gesteld aan de melkproductie, de stalbezetting en het aandeel droogstaande koeien en jongvee ouder dan een jaar tijdens de metingen. De emissie wordt vervolgens uitgedrukt per dierplaats. Het aantal dierplaatsen in een stal wordt bepaald door het aantal ligboxen. Een dierplaats vertegenwoordigt dus behalve een melkkoe ook jongvee. Dit jongvee neemt ruim de helft minder op aan drogestof dan een melkkoe en zal ook veel minder methaan produceren.

Ten opzichte van de berekende waarde zal de gemeten enterische emissiefactor dus lager zijn dan de berekende emissiefactor per dierplaats in een stal.

Wanneer op stalniveau gemeten wordt, kan geen onderscheid gemaakt worden in methaan afkomstig van de mest en methaan afkomstig van het dier wanneer een open verbinding is tussen mestkelder en stal. In een reguliere ligboxenstal met roosters is dat meestal het geval. De meetcijfers die Groenestein *et al.* (2012) publiceerden betreffen dus enterische emissies en emissies uit de mest.

Er zijn recent metingen gedaan aan stallen waarbij de kelderemissies verwaarloosbaar was omdat de dieren op een dichte vloer gehuisvest waren. Deze metingen vertegenwoordigen dus alleen de enterische methaanemissie omdat er vanuit gegaan wordt dat voor de mest op de dichte vloer te aerobe omstandigheden gelden om methanogenese op gang te laten komen. De emissie in deze stallen was met een gemiddelde melkproductie van 7975 kg/jr gemiddeld 105 kg per dierplaats (variatiecoëfficiënt 12%) (Mosquera *et al.*, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d, 2012e, 2012f, 2012g). Gemiddeld maakte jongvee 15% van de bezetting uit. Jongvee ouder dan een jaar, neemt 55% minder voer op dan melkvee (R.L.G. Zom, Wageningen UR Livestock Research, mondelinge mededeling). Als we voor het gemak een lineaire relatie veronderstellen tussen het verschil in droge-stofopname en methaanemissie kan voor de melkkoeien een enterische methaanemissie tijdens de metingen van 113 kg verondersteld worden.

3.1.3 Verschil

De endogene methaanemissie van melkkoeien tijdens de metingen (geschat op 113 kg per dierplaats per jaar) was 12% lager dan de door NIR berekende emissie. Tijdens de metingen was 15% van de aanwezige dieren jongvee, met een 55% lagere droge-stofopname per dier dan melkvee, waarmee op stalniveau een ca 7% lagere voeropname gerealiseerd wordt dan wanneer enkel melkkoeien aanwezig zouden zijn (R.L.G. Zom, Wageningen UR Livestock Research, mondelinge mededeling). De lagere droge-stofopname is niet recht evenredig met een lagere methaanemissie, maar droge-stofopname en methaanemissie zijn wel sterk positief gecorreleerd. Bij gelijke omstandigheden als waarmee gerekend wordt, is een lagere methaanemissie tijdens metingen dus een logisch gevolg. Zoals gezegd is voer een onzekere factor in de berekenings-modellen en bovendien lagen de stallen die in dit kader waren gemeten alle in het noordwesten van Nederland. Met een rantsoen met meer gras kan een relatief hogere enterische methaanemissie verwacht worden, wat zou kunnen betekenen dat ten opzichte van het Nederlandse gemiddelde de gemeten 105 kg CH₄ per dierplaats door Mosquera *et al.* (2012) een hoge schatting was.

Echter, er is niet genoeg informatie beschikbaar om kwantitatieve uitspraken te doen over het rantsoen en het aandeel gras daarin van het melkvee op de bedrijven waar gemeten is. Aan de andere kant komen de meetresultaten uit de studie van Groenestein *et al.* (2012) van locaties uit het zuidoosten van Nederland. Gemiddeld wordt daar meer mais gevoerd en mag verwacht worden dat de methaanemissie daardoor wat lager uitvalt. De 142 kg/jaar methaanemissie gemeten per dierplaats uit Tabel 1 kan om die reden dus een relatief lage waarde zijn ten opzichte de meetwaarde die verkregen zou zijn bij gemiddeld Nederlandse stalomstandigheden. Gecombineerd leiden deze twee aspecten tot de conclusie dat de gemeten waarden een lagere schatting van de gemiddelde Nederlandse emissie van een melkkoe opleverden.

Al met al gaat het om de vraag hoe de definitie is van de gemiddelde berekende Nederlandse melkkoe en wat de gemiddelde koe was tijdens de metingen. Gecombineerd leiden de twee bovenstaande benoemde aspecten tot de conclusie dat de gemeten emissie een lage schatting van de gemiddelde Nederlandse emissie van een melkkoe opleverden. Het geeft geen aanleiding om de methodiek zoals beschreven in Protocol 12-027 aan te passen, uitgaande van de toegepaste activiteitendata van WUM en de Landbouwtelling.

3.2 Vleesvarkens

3.2.1 Berekening

In het Protocol 12-027 Pens- en darmfermentatie wordt aangegeven dat om de enterische emissiefactor voor varkens te berekenen in Nederland de Tier 1-methode wordt gehanteerd zoals beschreven in de Good Practice Guidance (GPG) (IPCC, 2001) en de IPPC Guidelines (1997; p. 4.10). Het betreft hier eenmagige dieren, dus is alleen sprake van darmfermentatie. De enterische emissie wordt default bepaald op 1,5 kg per dier, ongeacht of het nu een big, vleesvarken of zeug is. Groenestein (2006) berekende aan de hand van data van Crutzen *et al.* (1986) en Van Rijnen (2003) dat een regulier dieet voor vleesvarkens resulteerde in een methaanemissie van 3-4 g/dag. Op jaarbasis komt dat neer op een emissie van 1,0 tot 1,5 kg per jaar. Wanneer meer ruwe celstof wordt gevoerd zal de methaanemissie toenemen, maar deze berekening laat zien dat de schatting van 1,5 kg enterische methaanproductie per dier voor vleesvarkens een redelijke schatting zal zijn.

3.2.2 Meting

Zoals beschreven in paragraaf 3.1.2 kan alleen enterische emissie van emissie uit de mest onderscheiden worden als de emissie uit de mestkelder uitgeschakeld is. Dit kan door de mestkelder af te sluiten of door de mest frequent uit de stal (en mestkelder) te verwijderen. Dit laatste was bij verschillende metingen het geval en op basis van die cijfers kan geconcludeerd worden dat de gemeten enterische emissie bij vleesvarkens op jaarbasis 2,2 kg per dierplaats was (Mosquera *et al.*, 2010a). Groenestein *et al.* (2012) gingen uit van deze waarde voor de enterische emissie voor vleesvarkens.

3.2.3 Verschil

Het verschil tussen de berekende en de gemeten enterische emissie is met 0,7 kg aanzienlijk ten opzichte van de default factor van 1,5 kg/jaar, maar klein ten opzichte van het geconstateerde totale verschil voor enterische en mest van 10,5 kg (Tabel 1). Toch zou een nadere studie van de enterische methaanemissie gewenst zijn, zeker als de verschillende categorieën varkens worden onderscheiden. Dit zal extra spelen bij zeugen, aangezien die beperkt worden gevoerd. Wanneer die voor welzijn stro tot hun beschikking krijgen, of andere ruwe celstofrijke producten kunnen ze, om het hongergevoel te stillen daar veel van opnemen. Hoeveel is niet bekend, maar met meer ruwe celstof zal de enterische methaanemissie toenemen. Aan de andere kant mag verwacht worden dat de enterische methaanemissie van biggen veel lager zal zijn dan die van de vleesvarkens en de zeugen.

4 Methaan uit mest

4.1 Melkvee

4.1.1 Berekeningen

De berekeningsmethodiek is volgens de Tier 2-methode met land specifieke factoren. Deze is uitgebreid beschreven in *Protocol 12-029 Mest CH₄*. De emissiefactor per kg mest is het product van de hoeveelheid organische stof (OS) in de mest, de fractie van de organische stof die afbreekbaar is (Bo) en het deel van de afbreekbare fractie die daadwerkelijk wordt afgebroken tot CH₄ (MCF). De organische stof wordt per diercategorie bepaald en geschat op basis van chemische metingen zoals gerapporteerd voor het bemestingsadvies van de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen.

Bo wordt uitgedrukt in m³ CH₄/kg OS en de waarden zijn afgeleid uit specifiek Nederlands onderzoek (Zeeman, 1994; Zeeman en Gerbens, 2002). In de NIR (Coenen *et al.*, 2013) wordt voor drijfmest van melkvee een Bo-waarde van 0,25 toegepast. Bij de berekening van de MCF wordt rekening gehouden met de opslagduur en de temperatuur tijdens opslag. Uitgangspunt is een land specifieke MCF van 0,284 bij een mestopslagduur van 6 maanden en een mesttemperatuur van 15°C (Zeeman, 1994). Er wordt verondersteld dat de totale opslagcapaciteit van dierlijke mest 6 maanden is, waarvan 4 maanden in de mestkelder en 2 maanden in de buitenopslag. De NIR veronderstelt dat de opslagcapaciteit gelijk is aan de opslagtijd. Wanneer de opslagtijd kleiner is dan de capaciteit zal de methaanemissie lager zijn. Bij een batchgewijze vulling van de mestopslag zal in ieder geval de mestleeftijd lager zijn dan de opslagtijd en de -capaciteit.

De definitie zoals de NIR hanteert geven dus naar verwachting een hoge schatting van de methaan-emissie uit mest. Aan de andere kant is tegenwoordig een opslagcapaciteit van 7 maanden vereist, een langere opslagtijd veroorzaakt een hogere methaanemissie. Voorts gaat men ervan uit dat de mestopslag op 1 september leeg is en dat de mestkelder vol is voordat mest naar de buitenopslag wordt overgepompt en dat zowel kelder als buitenopslag leeg zijn op 1 maart. Een en ander in verband met het verbod van uitrijden in de wintermaanden. Op basis van de parameters weergegeven in Tabel 2 berekent NIR een methaanemissie uit mest van 43,1 kg per dierplaats op jaarbasis.

De berekeningen gaan uit van een bepaalde hoeveelheid methaan die per kg mest emitteert afhankelijk van de manier waarop die mest wordt opgeslagen. Dat betekent dat de activiteitendata ook mestproductie per dier bevatten. Deze cijfers zijn afkomstig van de WUM, die ze schat op basis van voerrantsoen, drinkwateropname en spoelwater. De laatste update vond plaats op basis van data van Tamminga (2004). CBS (2013) geeft voor 2012 een mestproductie van 26.000 kg, waarvan 2500 kg in de weide in geval van weidegang. Dit komt overeen met de mestproductie van 23.500 kg in de stal die NIR hanteert voor melkkoeien. Berekening met 26.000 kg (permanent opstallen) zou uitkomen op een ca. 10% hogere emissiefactor voor methaan uit mest.

Tabel 2

Parameters en de waarde daarvan waarmee NIR berekeningen uitvoert om methaanemissiefactor uit rundveedrijfmest te berekenen (Coenen et al., 2013).

Parameter	Waarde
Mesthoeveelheid (kg/jaar)	26.000
OS (g/kg)	64
Bo (m ³ CH ₄ /kg OS)	0,25
MCF (fractie van Bo)	0,17

De NIR houdt rekening met vaste mest en met mest die in de weide terecht komt. De vergelijking van Groenestein *et al.* (2012) betrof alleen drijfmest en heeft ook een berekening uitgevoerd in geval van beweiding. De verdeling van de mest over weide en stal is afkomstig van de WUM die dit berekent op basis van de gegevens uit de landbouwtelling en een steekproef naar graslandgebruik (CBS, 2008).

Samenvattend treden variaties van berekende methaanemissies op wanneer de schattingen van de volgende parameters beter zouden kunnen: hoeveelheid mest per koe, OS, Bo en de MCF. De NIR gaat uit van de waarden zoals in Tabel 2 wordt weergegeven. In Nederland heeft de milieuwetgeving, naast de schaalvergroting de laatste 20 jaar wel ander dier- en mestmanagement tot gevolg gehad. Dit heeft effect gehad op onder meer rantsoensamenstelling. Rantsoen, mestproductie en –samenstelling zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Dat kan tot uitdrukking komen in de OS, maar zal ook effect kunnen hebben op de methhoeveelheid, Bo en de MCF.

4.1.2 Metingen

Zoals in paragraaf 3.2.1 vermeld, kunnen meetcijfers geen onderscheid maken tussen enterisch geproduceerde mest en de mest die uit de methaan komt. Deze kan geschat worden door eerst de enterische methaanemissie te berekenen aan de hand van metingen zoals in par. 3.1.2 is beschreven. Dit resulteerde in een enterische emissie van 113 kg per dierplaats per jaar. De gemeten emissie in traditionele stallen met roostervloer was 142 kg per dierplaats per jaar. In die stallen was zowel melkvee als jongvee aanwezig. Wanneer gecorrigeerd wordt voor jongvee (zoals toegelicht in par. 3.1.2) zou de methaanemissie uit de stal (enterisch + mest) 150 kg per melkkoe per jaar zijn. Het verschil met de geschatte enterische emissie in stallen met dichte vloer geeft dan de orde van grootte weer van de methaanemissie uit de mest en die is in dit geval 37 kg per melkkoe per jaar voor permanent opstallen en er van uitgaand dat de gemiddelde omstandigheden waaronder gemeten is vergelijkbaar is gegeven het meetprotocol. Wanneer weidegang wordt toegepast en de methaanemissie uit de mest in de weide op nul wordt ingeschat, dan is het verschil dat toe te schrijven zou zijn aan methaanemissie uit mest 22 kg per melkkoe per jaar.

Bij de berekening van de emissies tijdens beweiden worden dezelfde rekenregels gehanteerd bij de verdeling van de mest over stal en weide als de NIR, namelijk die van de WUM en een steekproef naar graslandgebruik door het CBS (CBS, 2008). Het verschil tussen de gemeten en berekende emissie bij weidegang wordt dus geheel verklaard door het verschil in stalemissies.

4.1.3 Verskil

De methaanemissie uit mest op basis van de gemeten cijfers was 50% lager dan de berekeningen van de NIR (43,1 kg per dierplaats per jaar) gerapporteerd in Coenen *et al.* (2013). De berekende cijfers zijn afhankelijk van de hoeveelheid mest per koe, OS, Bo en de MCF zoals weergegeven in Tabel 2. De gemeten cijfers hebben betrekking op stallen waarin ook jongvee gehuisvest wordt. Die produceren minder mest, namelijk 12 500 kg per jaar volgens de WUM-cijfers (CBS, 2013). Dit is bijna de helft van de 26.000 kg die geschat wordt voor melk- en kalfkoeien. Deze schattingen worden gebaseerd op het voerrantsoen, de drinkwateropname en het verbruik aan spoelwater. De laatste berekeningen zijn gedaan op basis van gegevens uit Tamminga (2004). De gemiddelde gemeten melkkoe, die ook een deel jongvee behelst zal dus theoretisch een lagere methaanemissie uit mest moeten laten zien. Tijdens de metingen was 15% van de dieren jongvee. Op stalbasis is dat ongeveer 8% mest minder dan wanneer enkel rekening wordt gehouden met melkkoeien. Bij gelijkblijvende OS, Bo en MCF zou dit 8% op de berekende emissie uitmaken en resulteren in een methaanemissie uit mest van 40 kg per melkkoe per jaar voor permanent opstallen, en 24 kg per melkkoe per jaar wanneer weidegang wordt toegepast.

De OS van de mest wordt gebaseerd op de cijfers die de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen rapporteert. Den Boer *et al.* (2012) beschrijven dat de samenstelling van dunne rundveedrijfmest wordt bepaald aan de hand van de analyses die BLGG aanlevert onder mestcode 14. Onder deze mestcode wordt rundveedrijfmest getransporteerd van alle categorieën rundvee behalve vleeskalveren. Daarnaast zijn het alleen analyses van monsters van getransporteerde mest. Slechts een kleine fractie van rundveemest wordt getransporteerd. De vraag kan gesteld worden of de samen-

stelling van deze mest representatief is voor wat door een melkkoe geproduceerd wordt. Wanneer de OS onderschat wordt met 10% maakt dit 10% uit op de berekende methaanemissie uit mest.

De Bo en de MCF zijn gebaseerd op cijfers die meer dan 20 jaar geleden zijn vastgesteld. De maximale hoeveelheid afbreekbare OS en de fractie daarvan die daadwerkelijk wordt afgebroken, hangen af van de samenstelling van die OS en het mestmanagement. OS hangt voor een belangrijk deel af van het rantsoen van de koeien. Voor de milieuwetgeving hebben wel veranderingen in rantsoen en mestmanagement plaatsgevonden. De relatie tussen de methaanemissie uit mest en Bo en MCF is lineair. De literatuur geeft aan dat de variatie voor Bo en MCF binnen Europa tussen de 30% en 40% kan zijn (Mosquera & Groenestein, 2013). Tegelijkertijd kan gesteld worden dat mest- en milieuwetgeving in Nederland een eigen dynamiek hebben met gevolgen voor de mestsamenstelling. Daarmee is het de vraag of internationale studies representatief zijn voor de samenstelling van de mest van Nederlandse koeien. Een nadere beschouwing van de schattingen voor zowel de OS als voor de Bo en MCF van rundveedrijfmest lijkt de moeite waard.

4.2 Vleesvarkens

4.2.1 Berekeningen

De berekeningsmethodiek is uitgebreid beschreven in *Protocol 12-029 Mest CH4* en volgt dezelfde methodiek als bij rundveemest. De hoeveelheid mest, OS, Bo en de MCF zijn anders, deze worden in Tabel 3 weergegeven. Daarmee komt de berekende methaanemissie uit vleesvarkensmest op 4,2 kg per dierplaats per jaar. Dit is beduidend lager dan de waarde gerapporteerd in Groenestein *et al.* (2012), door een daling van de OS van 60 kg naar 43 kg OS per 1000 kg mest op basis van bemestingsadviescijfers (Den Boer *et al.*, 2012).

De hoeveelheid vleesvarkensmest is in 1997 voor de laatste keer aangepast in overleg met het Praktijkonderzoek Varkenshouderij en in 2003 geëvalueerd aan de hand van transporten die in het kader van MINAS plaatsvonden (CBS, 2010).

Net als bij rundvee is de bron voor de OS beschreven door Den Boer *et al.* (2012) in naam van de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen. Omdat een groot deel van vleesvarkensmest in Nederland wordt getransporteerd wordt ervan uitgegaan dat de steekproef representatief is voor de vleesvarkenspopulatie en zal deze niet veel af moeten wijken van de werkelijke waarde. Echter, er zijn aanwijzingen dat de getransporteerde mest meer dikke fractie bevat dan de door de vleesvarkens geproduceerde mest (Groenestein *et al.* (2015). Dit zou kunnen betekenen dat de OS, die is berekend op basis van analyses verricht bij BLGG, iets te hoog zou zijn ingeschat, waardoor de berekende emissie uit mest te hoog zou kunnen zijn. Een tweede aspect is dat de mesttransporten zoals die in Nederland plaatsvinden onder de code voor vleesvarkens wel eens vermengd zou kunnen zijn met de veel meer verdunde mest van zeugen die op hetzelfde bedrijf gehouden worden. Een nadere bestudering van de dataset waarop de OS is gebaseerd zou inzicht kunnen geven of dit ook werkelijk aan de hand was.

Tabel 3

*Parameters en de waarde daarvan waarmee NIR berekeningen uitvoert om methaanemissiefactor uit vleesvarkensdrijfmest te berekenen (Coenen *et al.*, 2013).*

Parameter	Waarde
Mesthoeveelheid (kg/jaar)	1100
OS (g/kg)	43
Bo (m3 CH4/kg OS)	0,34
MCF (fractie van Bo)	0,39

Net als bij rundvee zijn de bronnen voor de Bo en de MCF wat gedateerd. Door de lineaire relatie tussen deze factoren en de emissiefactor werkt een verandering met een zelfde orde van grootte door op de methaanemissie. Net als in de rundveehouderij is in de Nederlandse varkenshouderij de laatste 20 jaar veel veranderd. De dynamiek was wel anders dan in de grondgebonden rundveehouderij en werd vooral ingegeven door zorgen over dierenwelzijn, diergezondheid en milieu, waar wetgeving op inspeelde. Een recente literatuurstudie (Mosquera & Groenestein, 2013) geeft een variatie voor Bo van 15% aan. De variatie voor MCF loopt op tot boven de 100%. Een nadere beschouwing van de schattingen voor Bo en MCF van vleesvarkensdrijfmest lijkt wel de moeite waard. Hierbij dient oog te zijn voor de specifieke Nederlandse situatie. Door mest- en milieuwetgeving wordt in Nederland veel mest getransporteerd. Dat was een incentive om minder volume mest te produceren. Dat heeft ervoor gezorgd dat vleesvarkensmest in Nederland een droge stofgehalte heeft van ca. 10%, in de ons omringende landen is dat veel minder (UK bv. 4%). Een hoger droge stofgehalte zal een hoger OS-gehalte veroorzaken met minder mestvolume en kan ook effect hebben op de Bo en de MCF. Als vuistregel kan voor varkensmest gesteld worden dat 70% van de droge stof OS is (P. Hoeksma, Wageningen UR Livestock Research, mondelinge mededeling). Dat zou betekenen dat het OS van de mest ongeveer 70 g/kg zou kunnen zijn.

4.2.2 Metingen

Mosquera *et al.* (2010a) rapporteren een methaanemissie van $16,2 \pm 11,2$ kg per dierplaats per jaar op basis van metingen aan vier stallocaties. De enterische methaanemissie geschat op basis van metingen was 2,2 kg (par. 3.2.2). Daarmee komt de schatting van de emissie uit mest op 14,0 kg. Aan de hand van het berekeningsprotocol dat de NIR hanteert met een OS van 43 g/kg zou dan 45% van de organische stof in de mest omgezet zijn in methaan. Met de Bo en MCF uit Tabel 3 is dat 13%. Stellen we dat de schatting van de OS laag is, en zetten we deze op de in paragraaf 4.2.1 berekende 70 g/kg mest, dan zou op basis van de metingen 27% van de OS omgezet worden in methaan. Dat nadert de 13% beter, maar duidt toch nog op een te lage Bo en/of MCF in Tabel 3.

Als we de metingen tegen het licht houden blijkt dat de spreiding tussen de metingen hoog was. De berekende variatiecoëfficiënt was 70%. Laatstgenoemde berekening met een OS van 70 g/kg zou voor de afzonderlijke metingen variëren van 5% tot 50%. De data geven geen inzicht in de oorzaak van deze variatie.

4.2.3 Verschil

De schatting van de enterische productie is relatief laag ten opzichte van de emissie uit de mest. Deze komt bovendien overeen met wat enterisch verwacht wordt op basis van verteringsmodellen en op basis van wat de IPCC hanteert. Daarom wordt ervan uitgegaan dat deze schatting een niet te grote fout heeft. Het verschil tussen de berekende en de gemeten waarde wordt bij vleesvarkens daarmee vooral bepaald door de emissie van methaan uit de mest.

De metingen worden in de stal verricht en het gemiddelde wordt naar jaarbasis doorgerekend. Aangenomen wordt dat de mestopslagcapaciteit onder de roosters in de stal volstaat en dat de hoeveelheid mest die buiten opgeslagen wordt verwaarloosbaar is. Dat betekent dat de gemiddelde mesttemperatuur tijdens opslag gedurende de metingen hoger is dan die berekend op basis van de NIR die buitenopslag meeneemt. De metingen zijn hoger dan de waarden die geschat zijn op basis van berekeningen. Groenestein *et al.* (2012) berekende dat wanneer alle vleesvarkensmest buiten zou worden opgeslagen, dit de methaanemissie zou reduceren met 43%. Wanneer mest een kwart van de tijd buiten zou worden opgeslagen zou dit ca. 10% minder methaanemissie geven.

Er zijn aanwijzingen dat de gemeten emissie in twee van de vier locaties aan de hoge kant zijn, maar de argumenten in paragraaf 4.2.1 en 4.2.2 geven wel aanleiding om de hoeveelheid mest, de OS, de Bo en de MCF nog eens onder de loep te nemen. Hierbij dient, nog nadrukkelijker dan bij de rundveedrijfmest, oog te zijn voor de typisch Nederlandse situatie. Tegelijkertijd dient onderzocht te worden waardoor de variatie tussen metingen veroorzaakt wordt.

5 Conclusies

Tabel 4 geeft samenvattend de bevindingen van de analyse in deze rapportage weer. Hieruit blijkt dat de verschillen tussen de gemeten en de berekende emissies ogenschijnlijk groter leken dan dat ze zijn. Dit komt omdat de definities van een dier c.q. dierplaats verschilden. Er blijven echter substantiële verschillen, vooral door de verschillen in emissies uit de mest.

Tabel 4

Methaanemissiefactoren (kg/jaar per dierplaats) van melkvee en vleesvarkens berekend volgens de NIR (Coenen et al., 2013) en op basis van meetcijfers. Voor melkvee zijn de meetgegevens gecorrigeerd voor jongvee.

Dier	Bron	NIR	Metingen	NIR vs metingen (%)
Melkvee stal en weide	Enterisch	128	113	12
	Mest	43	24	44
Vleesvarkens	Enterisch	1,5	2,2	-47
	Mest	4,2	14,0	-233

Op basis van de analyse van de verschillen tussen de door de NIR berekende methaanemissiefactoren en de emissiefactoren gebaseerd op stalmetingen voor melkkoeien en vleesvarkens worden de volgende conclusies getrokken:

- Er is geen reden te twijfelen aan de berekening van de enterische methaanemissies van melkkoeien als maat voor de gemiddelde enterische methaanemissie van de Nederlandse koe.
- De default factor voor de enterische methaanemissie van vleesvarkens is substantieel lager dan de gemeten waarde, maar dit verschil is gering wanneer dit vergeleken wordt met de verschillen in de emissies uit de mest. De aanname dat de enterische emissie van zeugen en biggen gelijk zijn aan de enterische emissie van vleesvarkens, is onterecht.
- De gemeten emissie uit de mest in reguliere stallen wordt overschat omdat geen rekening wordt gehouden met eventueel lagere temperaturen bij buitenopslag. Dit geldt vooral voor vleesvarkens.
- Het is de vraag of de laboratoriumanalyses die de basis zijn voor de OS-gehalten van de mest representatief zijn voor de mest van melkkoeien c.q. vleesvarkens.
- De gemeten variatie in methaanemissie tussen stallen was groot. De oorzaken waren niet te benoemen.
- De opslagtermijn die de wet hanteert voor aan te leggen mestopslagcapaciteit is toegenomen van 6 naar 7 maanden. Hiermee werd geen rekening gehouden in de NIR berekeningen.
- Om de methaanemissie uit mest te schatten, is de leeftijd van de mest van belang. In de berekeningen wordt deze maat bepaald door opslagcapaciteit. Dit is niet een goede maat voor de leeftijd van de mest. Dit geldt voor zowel rundvee- als vleesvarkensdrijfmest.
- De schattingen van de Bo en MCF van zowel rundvee- als vleesvarkensdrijfmest zijn gedateerd en ontwikkelingen voor mestmanagement en voermanagement geven aanleiding om te veronderstellen dat dit de laatste decennia is veranderd. Hierbij kan er niet vanuit worden gegaan dat internationale data representatief zijn voor de Nederlandse situatie.

6 Aanbevelingen

Op basis van de conclusies zoals beschreven in Hoofdstuk 5 kunnen de volgende aanbevelingen voor onderzoek worden gedaan:

- Nader onderzoek naar de hoeveelheid en samenstelling van rundvee- en varkensdrijfmest. Meer specifiek gaat het om de geproduceerde mesthoeveelheid in de stal en in de weide (indien van toepassing), het OS-gehalte, de Bo en de MCF, waarbij de specifieke Nederlandse omstandigheden in acht worden genomen.
- Nader onderzoek naar gemeten variatie in methaanemissie tussen stallen is gewenst.
- Nader onderzoek naar de enterische methaanemissie van zeugen en biggen.
- Nadere beschouwing van de aanname dat mestopslagcapaciteit representatief is voor de leeftijd van de mest als bepalende factor voor de emissie van methaan uit opgeslagen mest.
- Nadere beschouwing van mestmanagement in stallen, met en zonder emissiereducerende maatregelen.

Literatuur

- Alemu, A. W., J. Dijkstra, A. Bannink, J. France, and E. Kebreab (2011). Rumen stoichiometric models and their contribution and challenges in predicting enteric methane production. *Animal Feed Science and Technology* 166–167: 761–778.
- Bannink, A. (2010). Methane emissions from enteric fermentation by dairy cows, 1990–2008. Background document on the calculation method and uncertainty analysis for the Dutch National Inventory Report on Greenhouse Gas emissions, ASG Report, Lelystad, Nederland.
- CBS (2008). Graslandgebruik 2008. Benaderd via www.cbs.nl, december 2013
- CBS (2010). Gestandaardiseerde berekeningsmethode voor dierlijke mest en mineralen: Standaardcijfers 1990–2008, Den Haag, 81 pp.
- CBS (2013). Dierlijke mest en mineralen 2012. Rapport van de Werkgroep Uniformering berekening Mest en mineralencijfers (WUM). Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag, 38 pp.
- Coenen, P.W.H.G., C.W.M. van der Maas, P.J. Zijlema, E.J.M.M. Arets, K. Baas, A.C.W.M. van den Berghe, J.D. te Biesebeek, A.T. Brandt, G. Geilenkirchen, K.W. van der Hoek, R. te Molder, R. Dröge, J.A. Montfoort, C.J. Peek & J. Vonk (2013). Greenhouse gas emissions in The Netherlands 1990–2011. National Inventory Report 2013. RIVM Report 680355013/2013.
- Crutzen, P. J., I. Aselmann & W. Seiler (1986). Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus* 38B: 271–284.
- Dijkstra, J., O. Oenema, and A. Bannink (2011). Dietary strategies to reducing N excretion from cattle: implications for methane emissions. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3: 414–422.
- Groenestein, C.M., J. Mosquera & N.W.M. Ogink (2011). Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Wageningen Livestock Research Rapport 493.
- Groenestein, K., J. Mosquera & S. Van der Sluis (2012): Emission factors for methane and nitrous oxide from manure management and mitigation options, *Journal of Integrative Environmental Sciences*, <http://dx.doi.org/10.1080/1943815X.2012.69899>
- Groenestein, K., P. Bikker, P. Hoeksma, R. Zom & C. van Bruggen (2015). Excretieforfaits van mest: verschillen tussen berekende en gemeten N/P2O5 ratio's in mest. Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 748. 36 blz.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Emission Inventories, Three volumes: Reference Manual, Reporting Guidelines and Workbook. IPCC/OECD/IEA. IPCC WG1 Technical Support Unit, Hadley Centre, Meteorological Office, Bracknell, United Kingdom.
- IPCC (2001). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, IPCC-TSU NGGIP, Japan.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, A. Winkel, E. Lovink, N.W.M. Ogink & A.J.A. Aarnink (2010a). Fijnstofemissie uit stallen: vleesvarkens. Wageningen UR Livestock Research Rapport 292.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, A. Winkel, J.W.H. Huis in 't Veld, F.A. Gerrits, N.W.M. Ogink & A.J.A. Aarnink (2010b). Fijnstofemissie uit stallen: melkvee. Wageningen UR Livestock Research Rapport 296.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert & N.W.M. Ogink (2012a). Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag en afdichtflappen in de roosterspleten. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen UR Livestock Research Rapport 610.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert & N.W.M. Ogink (2012b). Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag en afdichtflappen in de roosterspleten. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen UR Livestock Research Rapport 612.

-
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert & N.W.M. Ogink (2012c). Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met het "vrije keuze" systeem. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen UR Livestock Research Rapport 614.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert & N.W.M. Ogink (2012d). Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met het "vrije keuze" systeem. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen UR Livestock Research Rapport 615.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert & N.W.M. Ogink (2012e). Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met het "vrije keuze" systeem. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen UR Livestock Research Rapport 616.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert & N.W.M. Ogink (2012f). Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met het "vrije keuze" systeem. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen UR Livestock Research Rapport 617.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, J.P.M. Ploegaert & N.W.M. Ogink (2012g). Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van cassettes in de roosterspleten. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen UR Livestock Research Rapport 653.
- Mosquera, J. & C.M. Groenestein (2013) Onzekerheden MCF en Bo parameters voor het bepalen van methaanemissies uit mest. Wageningen UR Livestock Research, interne notitie.
- Protocol 12-027 Pens- en darmfermentatie (2011).
[http://www.emissieregistratie.nl/ERPUBLIEK/documenten/Lucht%20\(Air\)/IPCC%20protocollen/Greenhouse%20gasses%20protocol/4A_CH4_enteric_fermentation_NIR2011.pdf](http://www.emissieregistratie.nl/ERPUBLIEK/documenten/Lucht%20(Air)/IPCC%20protocollen/Greenhouse%20gasses%20protocol/4A_CH4_enteric_fermentation_NIR2011.pdf), last assessed januari 2014.
- Protocol 12-029 Mest CH4 (2011).
[http://www.emissieregistratie.nl/ERPUBLIEK/documenten/Lucht%20\(Air\)/IPCC%20protocollen/Greenhouse%20gasses%20protocol/4B_CH4_manure_NIR2011.pdf](http://www.emissieregistratie.nl/ERPUBLIEK/documenten/Lucht%20(Air)/IPCC%20protocollen/Greenhouse%20gasses%20protocol/4B_CH4_manure_NIR2011.pdf), last assessed januari 2014.
- Rijnen, M.M.J.A. (2003). Energetic utilization of dietary fiber in pigs. Thesis Wageningen University, ISBN 90-5808-866-9, Wageningen, NL, 160 pp.
- Tamminga, S., F. Aarts, A. Bannink, O. Oenema, G.J. Monteny (2004). Actualisering van geschatte N en P excreties door rundvee. Reeks Milieu en Landelijk gebied 25. Wageningen.
- Van der Maas, C.W.M., Coenen P.W.H.G., Zijlema P.J., Baas K., van den Berghe G., te Biesebeek J.D., Brandt A.T., Geilenkirchen G., van der Hoek K.W., te Molder R, 2011. Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990–2009. Bilthoven (NL): National Inventory Report. RIVM Report No.: 680355004/2011.
- Zeeman, G. (1994). Methane production and emission in storages for animal manure. Fertilizer Research 37, p. 207-211.
- Zeeman, G., and S. Gerbens (2002). CH4 emissions from animal manure. In: Background Papers IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. IPCC.

Verantwoording

Dit project is uitgevoerd in opdracht van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) ten behoeve van de taken die uitgevoerd worden voor het project Emissieregistratie (ER). Het doel van ER is, ter onderbouwing van milieubeleid, jaarlijks vast te stellen wat de uitstoot van verontreinigende stoffen naar lucht, water en bodem is. De kwaliteit van de uitvoering is geborgd door de eisen die gesteld worden aan de ISO certificering 9001-2008 van Wageningen UR Livestock Research. Dank is verschuldigd aan J. van de Kolk (Alterra, Wageningen UR) voor de externe review.

Verschenen documenten in de reeks Technical reports van de Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

WOT-technical reports zijn verkrijgbaar bij het secretariaat van Unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu te Wageningen. T 0317 – 48 54 71; E info.wnm@wur.nl

WOT-technical reports zijn ook te downloaden via de website www.wageningenUR.nl/wotnatuurenmilieu

1	Arets, E.J.M.M., K.W. van der Hoek, H. Kramer, P.J. Kuikman & J.-P. Lesschen (2013). <i>Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector for the UNFCCC and Kyoto Protocol. Background to the Dutch NIR 2013.</i>	14	Beltman, W.H.J., M.M.S. Ter Horst, P.I. Adriaanse, A. de Jong & J. Deneer (2014). <i>FOCUS_TOXSWA manual 4.4.2; User's Guide version 4.</i>
2	Kleunen, A. van, M. van Roomen, L. van den Bremer, A.J.J. Lemaire, J.-W. Vergeer & E. van Winden (2014). <i>Ecologische gegevens van vogels voor Standaard Gegevensformulieren Vogelrichtlijngebieden.</i>	15	Adriaanse, P.I., W.H.J. Beltman & F. Van den Berg (2014). <i>Metabolite formation in water and in sediment in the TOXSWA model. Theory and procedure for the upstream catchment of FOCUS streams.</i>
3	Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, B.J. de Haan, J.F.M. Huijsmans, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2014). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw in 2012. Berekeningen van ammoniak, stikstofoxide, lachgas, methaan en fijn stof met het model NEMA</i>	16	Groenestein, K., C. van Bruggen en H. Luesink (2014). <i>Harmonisatie diercategorieën</i>
4	Verburg, R.W., T. Selnes & M.J. Bogaardt (2014). <i>Van denken naar doen; ecosysteemdiensten in de praktijk. Case studies uit Nederland, Vlaanderen en het Verenigd Koninkrijk.</i>	17	Kistenkas, F.H. (2014). <i>Juridische aspecten van gebiedsgericht natuurbeleid (Natura 2000)</i>
5	Velthof, G.L. & O. Oenema (2014). <i>Commissie van Deskundigen Meststoffenwet. Taken en werkwijze; versie 2014</i>	18	Koeijer, T.J. de, H.H. Luesink & C.H.G. Daatselaar (2014). <i>Synthese monitoring mestmarkt 2006 – 2012.</i>
6	Berg, J. van den, V.J. Ingram, L.O. Judge & E.J.M.M. Arets (2014). <i>Integrating ecosystem services into tropical commodity chains- cocoa, soy and palm oil; Dutch policy options from an innovation system approach</i>	19	Schmidt, A.M., A. van Kleunen, L. Soldaat & R. Bink (2014). <i>Rapportages op grond van de Europese Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn. Evaluatie rapportageperiode 2007-2012 en aanbevelingen voor de periode 2013-2018</i>
7	Knegt de, B., T. van der Meij, S. Hennekens, J.A.M. Janssen & W. Wamelink (2014). <i>Status en trend van structuur- en functiekenmerken van Natura 2000-habitattypen op basis van het Landelijke Meetnet Flora (LMF) en de Landelijke Vegetatie Databank (LVD). Achtergronddocument voor de Artikel 17-rapportage.</i>	20	Fey F.E., N.M.A.J. Dankers, A. Meijboom, P.W. van Leeuwen, M. de Jong, E.M. Dijkman & J.S.M. Cremer (2014). <i>Ontwikkeling van enkele mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee, situatie 2013.</i>
8	Janssen, J.A.M., E.J. Weeda, P.C. Schipper, R.J. Bijlsma, J.H.J. Schaminée, G.H.P. Arts, C.M. Deerenberg, O.G. Bos & R.G. Jak (2014). <i>Habitattypen in Natura 2000-gebieden. Beoordeling van oppervlakte representativiteit en behoudsstatus in de Standard Data Forms (SDFs).</i>	21	Hendriks, C.M.A., D.A. Kamphorst en R.A.M. Schrijver (2014). <i>Motieven van actoren voor verdere verduurzaming in de houtketen.</i>
9	Ottburg, F.G.W.A., J.A.M. Janssen (2014). <i>Habitatrichtlijnsoorten in Natura 2000-gebieden. Beoordeling van populatie, leefgebied en isolatie in de Standard Data Forms (SDFs)</i>	22	Selnes, T.A. and D.A. Kamphorst (2014). <i>International governance of biodiversity; searching for renewal</i>
10	Arets, E.J.M.M. & F.R. Veeneklaas (2014). <i>Costs and benefits of a more sustainable production of tropical timber.</i>	23	Dirkx, G.H.P., E. den Belder, I.M. Bouwma, A.L. Gerritsen, C.M.A. Hendriks, D.J. van der Hoek, M. van Oorschot & B.I. de Vos (2014). <i>Achtergrondrapport bij beleidsstudie Natuurlijk kapitaal: toestand, trends en perspectief; Verantwoording casestudies</i>
11	Vader, J. & M.J. Bogaardt (2014). <i>Natuurverkenning 2 jaar later; Over gebruik en doorwerking van Natuurverkenning 2010-2040.</i>	24	Wamelink, G.W.W., M. Van Adrichem, R. Jochem & R.M.A. Wegman (2014). <i>Aanpassing van het Model for Nature Policy (MNP) aan de typologie van het Subsidiestelsel Natuur en Landschap (SNL); Fase 1</i>
12	Smits, M.J.W. & C.M. van der Heide (2014). <i>Hoe en waarom bedrijven bijdragen aan behoud van ecosysteemdiensten; en hoe de overheid dergelijke bijdragen kan stimuleren.</i>	25	Vos, C.C., C.J. Grashof-Bokdam & P.F.M. Opdam (2014). <i>Biodiversity and ecosystem services: does species diversity enhance effectiveness and reliability? A systematic literature review.</i>
13	Knegt, B. de (ed.) (2014). <i>Graadmeter Diensten van Natuur; Vraag, aanbod, gebruik en trend van goederen en diensten uit ecosystemen in Nederland.</i>	26	Arets, E.J.M.M., G.M. Hengeveld, J.P. Lesschen, H. Kramer, P.J. Kuikman & J.W.H. van der Kolk (2014). <i>Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector for the UNFCCC and Kyoto Protocol. Background to the Dutch NIR 2014.</i>
		27	Roller, te J.A., F. van den Berg, P.I. Adriaanse, A. de Jong & W.H.J. Beltman (2014). <i>Surface Water Scenario Help (SWASH) version 5.3. technical description</i>
		28	Schuilings, C., A.M. Schmidt & M. Boss (2014). <i>Beschermde gebiedenregister; Technische documentatie</i>
		29	Goossen, C.M., M.A. Kiers (2015). <i>Mass mapping; State of the art en nieuwe ideeën om bezoekersaantallen in natuurgebieden te meten</i>

30	Hennekens, S.M, M. Boss en A.M. Schmidt (2014). <i>Landelijke Vegetatie Databank; Technische documentatie</i>	47	F.G. Boonstra & A.L. Gerritsen (2015). <i>Systeemverantwoordelijkheid in het natuurbeleid; Input voor agendavorming van de Balans van de Leefomgeving 2014</i>
31	Bijlsma, R.J., A. van Kleunen & R. Pouwels (2014). <i>Structuur- en functiekenmerken van leefgebieden van Vogelrichtlijn- en Habitatrichtlijnsoorten; Een concept en bouwstenen om leefgebieden op landelijk niveau en gebiedsniveau te beoordelen</i>	49	Os, J. van, R.A.M. Schrijver & M.E.A. Broekmeyer (2015). <i>Kan het Natuurbeleid tegen een stootje? Enkele botsproeven van de herijkte Ecologische Hoofdstructuur.</i>
32	Commissie Deskundigen Meststoffenwet (2015). <i>Nut en risico's van covergisting. Syntheserapport.</i>	50	Hennekens, S.M., J.M. Hendriks, W.A. Ozinga, J.H.J. Schaminée & L. Santini (2015). <i>BioScore 2 – Plants & Mammals. Background and pre-processing of distribution data</i>
33	Bijlsma, R.J. & J.A.M. Janssen (2014). <i>Structuur en functie van habitattypen; Onderdeel van de documentatie van de Habitatrichtlijn artikel 17-rapportage 2013</i>	51	Koffijberg K., P. de Boer, F. Hustings, A. van Kleunen, K. Oosterbeek & J.S.M. Cremer (2015). <i>Broedsucces van kustbroedvogels in de Waddenzee in 2011-2013.</i>
34	Fey F.E., N.M.J.A. Dankers, A. Meijboom, P.W. van Leeuwen, J. Cuperus, B.E. van der Weide, M. de Jong, E.M. Dijkman & J.S.M. Cremer (2014). <i>Ecologische ontwikkeling binnen een voor menselijke activiteiten gesloten gebied in de Nederlandse Waddenzee; Tussenrapportage achtste jaar na sluiting (najaar 2013).</i>	54	Groenestein, K. & J. Mosquera (2015). <i>Evaluatie van methaanemissieberekeningen en -metingen in de veehouderij.</i>
35	Kuindersma, W., F.G. Boonstra, R.A. Arnouts, R. Folkert, R.J. Fontein, A. van Hinsberg & D.A. Kamphorst (2015). <i>Vernieuwingen in het provinciaal natuurbeleid; Vooronderzoek voor de evaluatie van het Natuurpact.</i>		
36	Berg van den, F., W.H.J. Beltman, P.I. Adriaanse, A. de Jong & J.A. te Roller (2015). <i>SWASH Manual 5.3. User's Guide version 5</i>		
37	Brouwer, F.M., A.B. Smit & R.W. Verburg (2015). <i>Economische prikkels voor vergroening in de landbouw</i>		
38	Verburg, R.W., R. Michels, L.F. Puister (2015). <i>Aanpassing Instrumentarium Kosten Natuurbeleid (IKN) aan de typologie van het Subsidiestelsel Natuur en Landschap (SNL)</i>		
39	Commissie Deskundigen Meststoffenwet (2015). <i>Actualisering methodiek en protocol om de fosfaattoestand van de bodem vast te stellen</i>		
40	Gies, T.J.A., J. van Os, R.A. Smidt, H.S.D. Naeff & E.C. Vos (2015). <i>Geografisch Informatiesysteem Agrarische Bedrijven (GIAB); Gebruikershandleiding 2010.</i>		
41	Kramer, H., J. Clement (2015). <i>Basiskaart Natuur 2013. Een landsdekkend basisbestand voor de terrestrische natuur in Nederland</i>		
42	Kamphorst, D.A., T.A. Selnes, W. Nieuwenhuizen (2015). <i>Vermaatschappelijking van natuurbeleid. Een verkennend onderzoek bij drie provincies</i>		
43	Commissie Deskundige Meststoffenwet (2015). <i>Advies 'Mestverwerkingspercentages 2016'</i>		
44	Meeuwsen, H.A.M. & R. Jochem (2015). <i>Openheid van het landschap; Berekeningen met het model ViewScope</i>		
45	Groenestein, C.M., J. de Wit, C. van Bruggen & O. Oenema (2015). <i>Stikstof- en fosfaatexcretie van gangbaar en biologisch gehouden landbouwhuisdieren. Herziening excretieforfaits Meststoffenwet 2015</i>		
46	Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2015). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2013. Berekeningen van ammoniak, stikstofoxide, lachgas, methaan en fijn stof met het model NEMA.</i>		



Thema Agromilieu

Wettelijke Onderzoekstaken
Natuur & Milieu
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T (0317) 48 54 71
E info.wnm@wur.nl

ISSN 2352-2739

[www.wageningenUR.nl/
wotnatuurenmilieu](http://www.wageningenUR.nl/wotnatuurenmilieu)



De WOT Natuur & Milieu voert wettelijke onderzoekstaken uit op het beleidsterrein natuur en milieu. Deze taken worden uitgevoerd om een wettelijke verantwoordelijkheid van de minister van Economische Zaken te ondersteunen. De WOT Natuur & Milieu werkt aan producten van het Planbureau voor de Leefomgeving, zoals de Balans van de Leefomgeving en de Natuurverkenning. Verder brengen we voor het ministerie van Economische Zaken adviezen uit over (toelating van) meststoffen en bestrijdingsmiddelen, en zorgen we voor informatie voor Europese rapportageverplichtingen over biodiversiteit.

De WOT Natuur & Milieu is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
