



Methaanemissie uit mest

Schatters voor biochemisch methaan potentieel (BMP) en
methaanconversiefactor (MCF)

C.M. Groenestein, J. Mosquera, R.W. Melse



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Methaanemissie uit mest

Schatters voor biochemisch methaan potentieel (BMP) en methaanconversiefactor (MCF)

C.M. Groenestein, J. Mosquera, R.W. Melse

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het RIVM

Wageningen Livestock Research
Wageningen, november 2016

Rapport 961

Groenestein, C.M., J. Mosquera, R.W. Melse, 2016. *Methaanemissie uit mest; Schatters voor biochemisch methaan potentieel (BMP) en methaanconversiefactor (MCF)*. Wageningen Livestock Research, Rapport 961.

Samenvatting

In dit rapport worden de resultaten van een deskstudie gepresenteerd om nieuwe BMP- en MCF-waarden voor rundvee-, varkens- en pluimveemest onder Nederlandse omstandigheden vast te stellen en te onderbouwen.

Summary

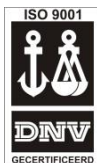
This report presents the results of a desk study performed to determine and justify the use of new BMP and MCF values for cattle, pig and poultry manure under Dutch conditions.

Dit rapport is gratis te downloaden op <http://dx.doi.org/10.18174/401705> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2016 Wageningen Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wageningenUR.nl/livestockresearch. Livestock Research is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.



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

Inhoud

| | | |
|----------|--|-----------|
| | Woord vooraf | 5 |
| | Samenvatting | 7 |
| 1 | Inleiding | 9 |
| 2 | Methaan (CH₄) uit mest | 10 |
| | 2.1 Huidige waarden | 10 |
| | 2.2 Literatuuronderzoek | 10 |
| | 2.2.1 Methaanemissiemeetreeksen van vleesvarkens | 12 |
| | 2.2.2 Methaanemissiemeetreeksen van dragende zeugen | 14 |
| | 2.2.3 Methaanvorming in de afvalwaterzuivering | 16 |
| 3 | Discussie en conclusies | 17 |
| | Literatuur | 19 |
| | Bijlage 1 Overzicht beschikbare data (BMP, in m³ CH₄/kg OS) | 24 |
| | Bijlage 2 Overzicht beschikbare data (MCF-waarden) | 28 |

Woord vooraf

Nederland rapporteert jaarlijks de uitstoot van broeikasgassen. Eén van de bronnen is de emissie van methaan uit dierlijke mest. Dit rapport brengt advies uit over de factoren die gebruikt worden om te berekenen welke fractie van de organische stof in mest omgezet wordt in methaan. Deze studie is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research in opdracht van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), gefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

dr. ir. Karin Groenestein, projectleider

Samenvatting

Nederland rapporteert nationaal en internationaal de emissies van broeikasgassen uit onder meer landbouw in het kader van diverse protocollen en regelingen (o.a. Kyoto protocol, E-PRTR (European Pollutant Release and Transfer Register)). Emissieregistratie (ER) is verantwoordelijk voor de jaarlijkse vaststelling van deze emissiegegevens en rapporteert deze in een National Inventory Report (NIR). Met het National Emission Model for Agriculture (NEMA) worden de emissies naar lucht uit de landbouw berekend, waaronder de methaanemissie uit mest. Omdat berekende en gemeten cijfers nogal van elkaar verschilden (Groenestein et al., 2012), is de methaanemissie uit mest nog eens tegen het licht gehouden. Zom en Groenestein (2015) beschrijven een nieuwe methode om de excretie van organische stof te berekenen op basis van voergegevens en verteringscoëfficiënten. Het deel van de organische stof dat potentieel omgezet wordt in methaan (CH₄) wordt bepaald door het biochemische methaan potentieel (BMP, ook wel B₀) van de mest en het deel van de BMP dat daadwerkelijk wordt omgezet in methaan, weergegeven door de methaanconversiefactor (MCF). De huidige schattingen van de BMP en MCF die in de NIR gehanteerd worden, zijn gedateerd. Ontwikkelingen met betrekking tot mestmanagement en voermanagement geven aanleiding om te veronderstellen dat dit de laatste decennia is veranderd. Daarnaast zijn de waarden zoals die nu worden gehanteerd, en zoals ze in de IPCC Guidelines zijn opgenomen, vooral afkomstig van buitenlandse bronnen. Er kan niet vanuit worden gegaan dat al deze internationale data representatief zijn voor de Nederlandse situatie. Deze deskstudie diende om, op basis van data die representatief wordt geacht voor de Nederlandse situatie, de beste schatters te vinden voor BMP en MCF voor rundvee-, varkens- en pluimveemest. Tabel S1 geeft huidige en geadviseerde waarden weer.

Tabel S1. Huidige en geadviseerde potentiële CH₄-emissie uit mest (BMP) en CH₄-conversiefactor (MCF) voor rundvee, varkens en pluimvee.

| Diersoort | BMP (m ³ CH ₄ /kg OS) | | MCF | |
|---------------------|---|-------------------|--------------------|--------------------|
| | Huidig | Advies | Huidig | Advies |
| Rundvee → drijfmest | 0,25 | 0,22 | 0,17 | 0,17 ¹ |
| → vaste mest | 0,25 | 0,22 | 0,02 | 0,02 |
| → weidemest | 0,25 | 0,22 | 0,01 | 0,01 |
| Varkens → drijfmest | 0,34 | 0,31 | 0,39 | 0,36 |
| → vaste mest | 0,34 | 0,31 | 0,02 | 0,02 |
| Pluimvee | | | | |
| Leghennen | 0,34 | 0,34 ³ | 0,015 ² | 0,015 ² |
| Vleeskuikens | 0,34 | 0,34 ³ | 0,015 ² | 0,015 ² |

¹ MCF = 0,11 voor opslag van mest met natuurlijke korst; MCF = 0,17 voor opslag van mest zonder natuurlijke korst.

² Vaste mest

³ Geen literatuurgegevens gevonden, waarden uit IPCC Guidelines (2006) aangenomen

1 Inleiding

Nederland rapporteert nationaal en internationaal de emissies van broeikasgassen uit onder meer landbouw in het kader van diverse protocollen en regelingen (o.a. Kyoto protocol, E-PRTR (European Pollutant Release and Transfer Register)). Emissieregistratie (ER) is verantwoordelijk voor de jaarlijkse vaststelling van deze emissiegegevens en rapporteert deze in een National Inventory Report (NIR). Met het National Emission Model for Agriculture (NEMA) worden de emissies naar lucht uit de landbouw berekend, waaronder de methaanemissie uit mest. Hierin wordt voor de belangrijkste diercategorieën rundvee, varkens en pluimvee de IPCC Tier 2 procedure gevolgd zoals die is beschreven door Safley et al. (1992): 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 (Biochemisch Methaan Potentieel; B_0 of BMP) en het deel van de afbreekbare fractie die daadwerkelijk wordt afgebroken tot CH_4 (methaanconversiefactor; MCF). In het vervolg van dit rapport zal het acroniem BMP gebruikt worden om de potentiële CH_4 -emissie van mest aan te duiden.

De BMP en de MCF zijn gebaseerd op cijfers die meer dan 20 jaar geleden zijn vastgesteld. De BMP is afhankelijk van de samenstelling van de OS in de mest en wordt daarom beïnvloed door de voersamenstelling en de vertering van het voer. Sommer et al. (2001a) rapporteren een model om de CH_4 -emissie uit mest te bepalen door onderscheid te maken tussen makkelijk (vet, eiwit en koolhydraten) en moeilijk afbreekbare OS (koolhydraten). De MCF wordt bepaald door de omstandigheden waaronder de mest is opgeslagen (mestmanagement). De belangrijkste factoren zijn het effect van temperatuur, het afdekken van de mest (al dan niet door korstvorming), opslagtijd, beschikbaarheid van zuurstof en drogestofgehalte (Husted 1994; Sommer et al., 2001a; Sommer et al., 2004; Dustan, 2002; Massé et al., 2003; Dämmgen et al., 2012). In de loop der jaren hebben veranderingen in rantsoen en mestmanagement plaatsgevonden, o.a. door wetgeving op het gebied van milieu, gezondheid en welzijn, maar ook marktgestuurd. De veronderstelling dat de OS, de BMP en de MCF zijn veranderd is derhalve gerechtvaardigd.

Onlangs is voor de Nederlandse inventarisatie van de emissie van CH_4 de schatting van de OS in mest verbeterd. Eerder werd deze geschat op basis van gemeten gehalten in mestmonsters en geschatte mestvolumes per dier. Zom en Groenestein (2015) beschrijven de nieuwe methode om de excretie van organische stof te berekenen op basis van voergegevens en verteringscoëfficiënten. Het voordeel van deze methode is dat dit de OS productie 'onder de staart' berekent voordat organische stof is afgebroken en de daaruit voortvloeiende emissies van vluchtige organische componenten hebben plaatsgevonden. Een tweede voordeel is dat het met deze methodiek niet nodig is om in de berekening mestvolumes per dier per jaar mee te nemen. Schattingen van mestvolumes zijn over het algemeen onnauwkeurig.

De doelstelling van deze deskstudie is om een betere schatting te geven van de BMP- en MCF-waarden voor rundvee-, varkens- en pluimveemest onder Nederlandse omstandigheden.

2 Methaan (CH₄) uit mest

2.1 Huidige waarden

De NIR publiceert elk jaar de broeikasgasemissies (Coenen et al., 2015). De waarden voor BMP en MCF die gehanteerd worden zijn afkomstig uit Zeeman en Gerbens (2002), Van der Hoek en Van Schijndel (2006) en de IPCC Guidelines (IPCC, 2006). Hierbij wordt opgemerkt dat BMP identiek is aan B₀ in de geciteerde literatuur. In Tabel 1 worden de huidige waarden voor BMP en MCF voor rundvee, varkens en pluimvee weergegeven, zoals gerapporteerd in de NIR (Coenen et al., 2015). Daarnaast wordt de specifieke methaanemissie (εCH₄) in kg CH₄ per kg OS excretie gegeven, berekend als BMP x MCF x dichtheid van methaan (0,67 kg/m³). Voor de andere diersoorten worden Tier 1 IPCC waarden in kg CH₄/dier/jaar gebruikt (IPCC, 2006).

Emissiefactoren voor toediening zijn niet opgenomen. Tijdens toediening vervluchtigt methaan die tijdens opslag is geproduceerd. Deze emissies worden al in de emissiefactor voor mestopslag inbegrepen. Na toediening zal de methaanproductie relatief laag zijn, door de zeer aerobe omstandigheden en gebrek aan inoculum (waardoor de methanogene activiteit niet makkelijk op gang komt). Bovendien kan door droging korstvorming ontstaan, waardoor eventueel gevormde CH₄ weer geoxideerd kan worden naar CO₂. Met andere woorden de emissie van methaan tijdens toedienen wordt verwaarloosbaar geacht.

Tabel 1. Huidige potentiële CH₄-emissie uit mest (BMP), CH₄-conversiefactor (MCF) en specifieke methaanemissie (εCH₄) die gehanteerd worden in de NIR 2015 voor rundvee, varkens en pluimvee.

| Diersoort | BMP | MCF | εCH ₄ |
|---------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| | m ³ CH ₄ /kg OS | | kg CH ₄ /kg OS |
| Rundvee → drijfmest | 0,25 | 0,17 | 0,028 |
| → vaste mest | 0,25 | 0,02 | 0,003 |
| → weidemest | 0,25 | 0,01 | 0,002 |
| Varkens → drijfmest | 0,34 | 0,39 | 0,089 |
| → vaste mest | 0,34 | 0,02 | 0,005 |
| Pluimvee | | | |
| Leghennen | 0,34 | 0,015 ¹ | 3,42 * 10 ⁻³ |
| Vleeskuikens | 0,34 | 0,015 ¹ | 3,42 * 10 ⁻³ |

¹ vaste mest.

2.2 Literatuuronderzoek

In de literatuur zijn diverse studies te vinden die de CH₄-emissie proberen te modelleren op basis van mestsamenstelling, omgevingsfactoren en procesfactoren (Huang et al., 2010, Sommer et al., 2004, Triolo et al., 2011). De beschikbare kennis op dit gebied is op dit moment echter niet voldoende om deze aanpak nauwkeurig toe te kunnen passen. Daardoor is gekozen om in deze deskstudie naar studies te zoeken waar BMP en MCF samen, als een soort van impliciete emissiefactoren (in het Engels: "implied emission factors") kunnen worden beschouwd. Om BMP te schatten is de literatuur geraadpleegd die opgenomen is in Bijlage 1. De gemiddelde BMP's zijn in Tabel 2 samengevat, naast de standaarddeviatie tussen metingen, de laagste en de hoogste gevonden waarden, en het aantal waarden (n). Hierin is onderscheid gemaakt tussen waarden die gebaseerd zijn op studies die in Europa en buiten Europa zijn uitgevoerd. Aangezien pluimvee een kleine bron is voor CH₄, is daar geen literatuur over gevonden. Ook over CH₄-emissies uit weidemest en is geen literatuur gevonden. Hiervoor worden de waarden gebruikt zoals gepubliceerd in de IPCC 2006 Guidelines. Voor rundvee kwam alle data van buiten Europa uit de USA, voor varkens het meeste ook, maar enkele gegevens

kwamen uit Canada en Zuid-Korea. De Europese waarden komen over het algemeen uit de landen met een koeler klimaat, een enkele kwam uit Spanje en een paar uit Frankrijk.

Variatie van de BMP wordt voornamelijk door de samenstelling van de mest veroorzaakt. Echter, andere factoren zoals de aanwezigheid (of afwezigheid) van ent-materiaal (een restant mest, ook wel inoculum genoemd) voorafgaande de metingen, of de incubatietijd, kunnen een extra bron van variatie opleveren. Hoewel het van belang is om te weten of de BMP op een gestandaardiseerde methode bepaald is, met ent-materiaal en verse mest zoals beschreven door Angelidaki et al. (2009), geeft de geraadpleegde literatuur hier vaak geen uitsluitsel over. Als de mest bijvoorbeeld niet vers was bij aanvang van de incubatieproef, zal de schatting van de BMP te laag zijn (De Buissonje en Verheijen, 2014). Wat betreft de incubatieperiode, als die niet 60 maar bijvoorbeeld 125 dagen was, zou de BMP hoger kunnen uitvallen.

De Europese gemiddelde BMP van rundveemest was gelijk aan die van de USA, hoewel de range van de EU-data kleiner was. De gemiddelde BMP van de varkensmest lijkt in Europa duidelijk lager dan die in niet-Europese landen. Het verschil kan echter niet significant genoemd worden.

Tabel 2. Geschatte BMP-waarden ($m^3 CH_4$ per kg OS) in Europa en daarbuiten.

| | Gemiddelde | Standaarddeviatie | Minimum | Maximum | n |
|-----------|------------|-------------------|---------|---------|----|
| Rundvee | | | | | |
| EU | 0,22 | 0,05 | 0,13 | 0,32 | 20 |
| Buiten EU | 0,22 | 0,08 | 0,10 | 0,38 | 22 |
| Varkens | | | | | |
| EU | 0,31 | 0,10 | 0,04 | 0,60 | 23 |
| Buiten EU | 0,40 | 0,09 | 0,23 | 0,52 | 12 |

In Bijlage 2 zijn de data opgenomen die in de literatuur gepubliceerd zijn voor de MCF. De voor Nederland relevante waarden voor drijfmest zijn opgenomen in Tabel 3. Hierbij moet worden opgemerkt dat voor de Nederlandse omstandigheden bij varkens alleen data van mestopslagen zonder korstvorming werd meegenomen in de analyse. Volgens de IPCC (2006) reduceert korstvorming de CH_4 -emissie met 40%. In rundveestallen komt wel een drijfslag op de mest, wat als korst genoemd kan worden. Dit is ook de reden waarom in rundveestallen een roerinstallatie in de put wordt toegepast, om de drijfslag met enige regelmaat te breken zodat de mest uit de kelder kan worden gepompt. In Nederlandse varkensstallen vormt zich over het algemeen een bezinklaag en geen drijfslag op de mest.

Tabel 3. Gemiddelde MCF-waarden voor drijfmest op basis van de literatuur met een omgevingstemperatuur ≤ 20 °C.

| | Gemiddelde | Standaarddeviatie | Minimum | Maximum | n |
|-----------|------------|-------------------|---------|---------|---|
| Rundvee | | | | | |
| EU | 0,11 | 0,10 | 0,03 | 0,37 | 9 |
| Buiten EU | 0,28 | 0,39 | 0,002 | 0,553 | 2 |
| Varkens | | | | | |
| EU | 0,20 | 0,25 | 0,03 | 0,49 | 3 |
| Buiten EU | 0,21 | 0,15 | 0,09 | 0,43 | 4 |

Tabel 3 laat zien dat er weinig data voorhanden zijn. De vaststelling van deze waarden is ook vaak afgeleid, en het is niet altijd te doorgronden wat de experimentele omstandigheden zijn geweest. Vaak betreft het mest in buitenopslagen, hoewel mest in Nederland relatief lang onder de roosters in de stal wordt opgeslagen. In een later stadium wordt de mest overgepompt naar een gesloten opslag buiten de stal (Mol en Hilhorst, 2003; Van de Hoek en Schijndel, 2006). Waar BMP vooral afhankelijk is van de samenstelling van de mest, is MCF afhankelijk van verschillende externe factoren (o.a. temperatuur, ent-percentages, opslagtijd, pH, drogestofgehalte van de mest, korstvorming op de

mest). In Nederland zijn boeren verplicht om de mest minimaal 7 maanden op te kunnen slaan, de duur van het uitrijverbod tijdens de wintermaanden. Als gevolg hiervan zijn jaarrond metingen noodzakelijk om een goede schatting van MCF te kunnen maken, zoals aangegeven in Van der Zaag et al. (2013).

Vanwege de beperkte hoeveelheid data en de beperkte hoeveelheid achtergrondinformatie bij de cijfers die de basis vormen voor de waarden in Tabel 3, is in deze deskstudie een andere aanpak gekozen om de MCF te schatten. Deze aanpak is gebaseerd op het zoeken naar literatuur met beschrijvingen van lange meetreeksen van CH₄-emissies uit stallen met drijfmest. De MCF werd dan afgeleid, uitgaande van een organische stofexcretie zoals berekend door Zom en Groenestein (2015), en een BMP zoals geschat in Tabel 2 voor de EU landen. Dit kon echter alleen voor zeugen en vleesvarkens worden toegepast, aangezien voor andere diercategorieën weinig tot geen data beschikbaar waren. Bovendien zou voor rundvee met een hoog aandeel enterische productie en de rantsoenafhankelijkheid daarvan, de onnauwkeurigheid van deze schatting groot zijn. Voor rundvee is daardoor gekozen om Dämmgen et al. (2012) aan te houden en een MCF-waarde van 0,11 te gebruiken voor opslag van mest met natuurlijke korst (0,17 voor opslag van mest zonder natuurlijke korst). Deze waarden komen vrijwel overeen met, of zijn gelijk aan de waarden uit de IPCC Guidelines (0,10 respectievelijk 0,17; IPCC, 2006).

2.2.1 Methaanemissiemetreeksen van vleesvarkens

De specifieke methaanemissie en de MCF zijn berekend aan de hand van een **OS-productie** van vleesvarkens van **110 kg/jaar per dier** (Zom en Groenestein, 2015) en een **BMP van 0,31 m³ CH₄ per kg OS** (onderhavige studie). Daarnaast is een **enterische CH₄-productie van 1,5 kg/jaar per dier** (IPCC, 2006) aangenomen. Bij de beschikbare literatuurgegevens, wanneer geen leegstand gegeven werd, werd een **leegstand van 5%** op jaarbasis (6 dagen tussen de ronden) aangenomen. Wanneer Livestock Units (LU) werden gebruikt als eenheid voor het aantal dieren, is indien nadere informatie niet beschikbaar was, aangenomen dat een **LU 500 kg** is en dat een gemiddeld **vleesvarkengewicht 70 kg** was. De systemen die in de analyse zijn meegenomen komen overeen met de gangbare systemen in Nederland, zijnde houderijen met varkens op (gedeeltelijke) roostervloer met drijfmestopslag onder de roosters gedurende een maand of langer. Het klimaat in de stal wordt gereguleerd door ventilatie en/of verwarming met een streef temperatuur van de lucht van ca 20°C. Er wordt vanuit gegaan dat de temperatuur van de mest in de kelder onder de roosters 5°C koeler is dan de staltemperatuur (Groenestein et al., 2012).

[A. Haeussermann, E. Hartung, E. Gallmann, T. Jungbluth, 2006. Influence of season ventilation strategy, and slurry removal on methane emissions from pig houses. Agriculture, Ecosystems & Environment 112 \(2006\), pp. 115–121](#)

Een Duitse studie van Haeussermann et al. (2006) beschrijft langdurige metingen gedurende drie productieperioden met mestopslag onder de roosters. De gemiddelde CH₄-emissie uit de stal was 2,46 kg per dier per jaar. Bij een enterische CH₄-productie van 1,5 kg per dier per jaar zou dit betekenen dat in de drie maandelijks productieperiode weinig CH₄ uit mest zou zijn ontstaan. Tussen de productieronden werd de kelder geleegd en schoongemaakt. Met andere woorden, er was bij aanvang van de perioden geen oude mest als ent-materiaal aanwezig. De MCF kan berekend worden op 0,042. Ten opzichte van de Nederlandse situatie waarbij bij aanvang ent-materiaal in de put aanwezig is, is deze waarde dus een onderschatting.

In dezelfde paper wordt een eerder experiment beschreven, ook gedurende drie productieronden met legen van de kelders, maar zonder schoonmaken, zodat altijd enige mest achter bleef als ent-materiaal. Onder deze omstandigheden is een CH₄-emissie van 3,8 kg per dier per jaar gerapporteerd. Emissie uit mest zou daarmee zo'n 2,3 kg per jaar per dier zijn. Dit zou een specifieke CH₄-emissie van 0,021 kg CH₄/kg OS betekenen, en een MCF van 0,101. Echter, op basis van de gepubliceerde cijfers van 96,2 g per dag per LU, zou de emissie op 4,67 kg CH₄ per dier per jaar uitkomen. Dit zou een specifieke methaanemissie van 0,029 kg CH₄/kg OS betekenen, en een MCF van 0,139. Voor de analyse is de berekende emissie van 4,67 kg CH₄ per dier per jaar gebruikt (zie tabel 4).

F.X. Philippe, M. Laitat, B. Canart, M. Vandenheede, B. Nicks, 2007. Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs: kept either on fully slatted floor or on deep litter. *Livestock Science* 111 (2007), pp. 144–152

In Philippe et al. (2007) werden resultaten van emissiemetingen gerapporteerd die in België gedurende vijf groeiperioden aan een kleine eenheid voor 16 varkens met mestopslag onder de roosters zijn uitgevoerd. Tussen elke ronde werden de putten gelegeerd en werd een laagje water van 4 cm in de put gezet, waarmee het nog aanwezige ent-materiaal met 500 liter water werd verdund. De gemiddelde CH₄-productie in deze studie was 16,32 g/dag per varken. Uitgaande van een enterische CH₄-productie van 1,5 kg per dier per jaar en een OS-productie van 110 kg komt dit overeen met een specifieke methaanemissie van 0,038 kg CH₄/kg OS (met een variatie tussen 0,023-0,045 kg CH₄/kg OS) en een MCF van 0,182 (variatie tussen 0,12-0,21). Dit is een lage schatting omdat de mest bij aanvang van de ronde verdund is met 500 l water. Een gemiddelde mestproductie van een vleesvarken is ca. 3 l/d, op de totale hoeveelheid mest per ronde is dat 10% water, maar 16 biggen produceren de eerste dagen nog niet zoveel, dus de verdunning is bij aanvang van de ronde substantieel. Eerder hadden Nicks et al. (2005) in dezelfde unit 18,0 g/dag per vleesvarken gemeten in twee opeenvolgende productieperiodes. Dat zou neerkomen op een specifieke emissie van 0,043 kg CH₄/kg OS en een MCF van 0,207.

A. Costa, M. Guarino, 2009. Definition of yearly emission factor of dust and greenhouse gases through continuous measurements in swine husbandry. *Atmospheric Environment* 43 (2009), pp. 1548–1556
Costa en Guarino (2009) rapporteren metingen die in Italië voor vleesvarkens gedurende een jaar zijn uitgevoerd. Drijfmest was onder de roostervloer opgeslagen, en de mest werd elke 95-100 dagen verwijderd. De gerapporteerde CH₄-emissie was 189,82 g/d LU⁻¹. Gegeven dat LU = 500 kg en het gemiddelde gewicht van een vleesvarken = 70 kg resulteert dit in een emissie van 26,6 g/dag per varken. Omgerekend in OS maakt dit de specifieke methaanemissie van 0,070 kg CH₄/kg OS en een MCF van 0,337.

Z. Palkovicova, M. Knizatova, S. Mihina, J. Broucek, A. Hanus, 2009. Emissions of greenhouse gases and ammonia from intensive pig breeding. *Folia Veterinaria* 53 (2009), pp. 168–170

Palkovicova et al. (2009) hebben in Slowakije twee productieronden gemeten met mestopslag onder de roosters. De mest werd aan het einde van de ronde verwijderd. De gerapporteerde CH₄-emissie was 11,4 kg/jaar per dier. Opvallend was het kleine verschil tussen de ronde in de zomer en in de winter (11,6 versus 11,1 respectievelijk). Er werd geen kwantitatieve informatie gegeven over de temperatuur en ventilatiedebieten. Met een dergelijke emissie, kan een specifieke methaanemissie van 0,090 kg CH₄/kg OS en een MCF van 0,433 berekend worden.

N. Guingand, N. Quiniou, V. Courboulay, 2010. Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions from fattening pigs kept either on partially slatted floor in cold conditions or on fully slatted floor in thermoneutral conditions. *Journées de la Recherche Porcine* 42 (2010), pp. 277–284

Guingand et al. (2010) rapporteren emissies die in twee afdelingen voor vleesvarkens in Frankrijk, van januari tot mei, zijn gemeten. Ze vonden geen verschil tussen een afdeling met volledig roostervloer en een staltemperatuur van 24 °C ten opzichte van een afdeling met gedeeltelijk roostervloer en een staltemperatuur van 18 °C. De gemiddelde CH₄-emissie van die afdelingen was 7,9 g/dag per dier. Dit resulteert in een specifieke methaanemissie van 0,011 kg CH₄/kg OS en een MCF van 0,054. Voor de Nederlandse situatie is dit een onderschatting. Net als in de eerste studie van Haeussermann et al. (2006) werd voor aanvang van de ronde de kelder gelegeerd en schoongemaakt zodat geen ent-materiaal aanwezig was bij aanvang van de ronde.

J. Mosquera, J.M.G. Hol, A. Winkel, E. Lovink, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink, 2010a. Fijnstofemissie uit stallen: vleesvarkens. *Wageningen Livestock Research rapport 292*

Mosquera et al. (2010a) rapporteren de emissies uit vier locaties voor vleesvarkens met traditionele huisvesting, en uit vier locaties met emissiearme huisvesting van vleesvarkens in Nederland. Voor traditionele huisvesting was de gemiddelde CH₄-emissie 15,7 kg/jaar per dierplaats. Dit resulteert in een specifieke methaanemissie van 0,129 kg CH₄/kg OS en een MCF van 0,622.

Tabel 4. Methaanemissie uit mest van vleesvarkensstallen met drijfmestopslag onder de roosters gedurende langdurige metingen (ca. een jaar of meer), herberekend naar kg/jaar per dierplaats, specifieke methaanemissie (CH_4) en MCF. Bij de berekeningen is uitgegaan van een OS-productie van 110 kg/jaar per dier, een BMP van 0,31 m³ CH₄ per kg OS, een enterische CH₄-productie van 1,5 kg/jaar per dierplaats, met een Livestock Unit (LU) van 500 kg, een gemiddeld lichaamsgewicht van vleesvarkens van 70 kg en een leegstand tussen de rondes van 5%.

| nr | Referentie | Gepubliceerd | Eenheid | CH ₄ kg/jaar per dierplaats | CH_4 kg/ (kg OS) | MCF |
|--|---------------------------|--------------|------------------------|--|---------------------------|-------|
| 1 ^a | Haeussermann et al., 2006 | 7,1 | g/dag per dier | 2,46 | 0,009 | 0,042 |
| 2 | Haeussermann et al., 2006 | 96,2 | g/dag per LU | 4,67 | 0,029 | 0,139 |
| 3 ^b | Philippe et al., 2007 | 16,32 | g/dag per dier | 5,66 | 0,038 | 0,182 |
| 4 ^b | Nicks et al., 2005 | 18,0 | g/dag per dier | 6,24 | 0,043 | 0,207 |
| 5 | Costa en Guarino, 2009 | 189,82 | g/dag per LU | 9,21 | 0,070 | 0,337 |
| 6 | Palkovicova et al., 2009 | 11,4 | kg/jaar per dier | 11,4 | 0,090 | 0,443 |
| 7 ^a | Guingand et al., 2010 | 7,9 | g/dag per dier | 2,74 | 0,011 | 0,054 |
| 8 ^c | Mosquera et al., 2010a | 15,7 | kg/jaar per dierplaats | 15,7 | 0,129 | 0,622 |
| Gemiddelde van a en b (schone kelders) | | | | 4,28 | 0,025 | 0,121 |
| Gemiddelde van overig | | | | 10,25 | 0,080 | 0,383 |

a: tussen productieronden werd kelder geleegd en schoongemaakt.

b: tussen productieronden werd kelder geleegd, schoongemaakt en gevuld met enkele cm water.

c: gedurende een jaar 6 dagen verspreid over seizoenen en groeicurven in 4 verschillende stallen.

2.2.2 Methaanemissiemetreeksen van dragende zeugen

Voor zeugen is de beschikbare data nog geringer dan voor vleesvarkens. Neem daarbij dat alleen studies gezocht worden met langdurige metingen en met langdurige mestopslag onder de roosters, en het aantal studies is zeer beperkt. De specifieke methaanemissie en de MCF zijn berekend aan de hand van een **OS-productie** van zeugen van **319 kg/jaar per dier** (Zom en Groenestein, 2015) en een **BMP van 0,31 m³ CH₄ per kg OS** (deze studie). Daarnaast is een **enterische methaanproductie van 1,5 kg/jaar per dier** aangenomen (IPCC, 2006). Wanneer geen leegstand gegeven werd, is een **leegstand van 5%** op jaarbasis aangenomen. Wanneer Livestock Units (LU) werden gebruikt als eenheid voor het aantal dieren, is indien nadere informatie niet beschikbaar was, aangenomen dat een **LU 500 kg** is en dat een gemiddeld **zeugengewicht 200 kg** was.

F.X. Philippe, M. Laitat, J. Wavreille, N. Bartiaux-Thill, B. Nicks, J.F. Cabaraux, 2011. Ammonia and greenhouse gas emission from group-housed gestating sows depends on floor type. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140 (2011), pp. 498–505

Philippe et al. (2011) rapporteren emissies die gemeten zijn gedurende drie perioden in stallen met 10 drachtige zeugen van elk ca. 9 weken. Zij leegden na elke periode de mestput, maakte die schoon en vulde deze met een paar cm water (700 liter). De CH₄-emissie bedroeg gemiddeld 10,12 g/dag per zeug, de variatiecoëfficiënt was relatief laag (12%). Ook hier kan verondersteld worden dat de CH₄-emissie een lage schatting was omdat geen ent-materiaal in de put aanwezig was en de concentratie van de mest zeer laag gezien de initiële verdunning. De MCF werd berekend op 0,030.

A. Costa, M. Guarino, 2009. Definition of yearly emission factor of dust and greenhouse gases through continuous measurements in swine husbandry. *Atmospheric Environment* 43 (2009), pp. 1548–1556

De stal voor dragende zeugen in Costa en Guarino (2009) had dezelfde configuratie als die van de vleesvarkens. Hoe vaak mest werd afgevoerd is niet bekend, de auteurs spraken van een 'low frequency'. De CH₄-emissie varieerde van 30 g/dag per LU tot 322 g/dag per LU. De laagste waarde vond plaats in de koudste maanden, de hoogste waarden in de warmste maanden. Het verschil in

gemiddelde staltemperatuur (beiden 16,1 °C) tussen die perioden was niet significant. De gemiddelde MCF was 0,254 (variatie tussen 0,041 en 0,652).

J.P. Stinn, H. Xin, T.A. Shepherd, H. Li, R.T. Burns, 2014. Ammonia and greenhouse gas emissions from a modern U.S. swine breeding-gestation-farrowing system. *Atmospheric Environment* 98 (2014), pp. 620-628.

Stinn et al. (2014) rapporteren emissies die gedurende 29 maanden gemeten zijn in een stal met dragende zeugen met mestopslag onder de roosters. Twee maal per jaar werd de mest uit opslag verwijderd. De methaanemissie was 232 g/dag per LU. De MCF werd berekend op 0,463.

J. Mosquera, J.M.G. Hol, A. Winkel, G.M. Nijeboer, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink, 2010b. Fijnstofemissie uit stallen: dragende zeugen. Wageningen Livestock Research rapport 294

Mosquera et al. (2010b) rapporteren de emissies uit twee locaties voor dragende zeugen met traditionele individuele huisvesting in Nederland. De gemiddelde CH₄-emissie bedroeg 21,6 kg/jaar per dierplaats. Dit resulteert in een specifieke methaanemissie van 0,063 kg CH₄/kg OS en een MCF van 0,303.

Tabel 5. Methaanemissie uit mest van stallen met dragende zeugen met drijfmestopslag onder de roosters gedurende langdurige metingen (ca. een jaar of meer), herberekend naar kg/jaar per dierplaats, specifieke methaanemissie (εCH₄) en MCF. Bij de berekeningen is uitgegaan van een OS-productie van 319 kg/jaar per dier, een BMP van 0,31 m³ CH₄ per kg OS, een enterische methaanproductie van 1,5 kg/jaar per dierplaats, met een Livestock Unit (LU) van 500 kg, een gemiddeld lichaamsgewicht van zeugen van 200 kg en een leegstand tussen de ronden van 5%.

| nr | Referentie | Gepubliceerd | Eenheid | CH ₄ kg/jaar per dierplaats | εCH ₄ kg/ kg OS | MCF |
|-------------------------|------------------------|--------------|------------------------------|--|----------------------------------|-------|
| 1 ^a | Philippe et al., 2011 | 10,12 | g/dag per dier | 3,51 | 0,006 | 0,030 |
| 2 | Costa en Guarino, 2009 | 132,12 | g/dag per LU | 18,33 | 0,053 | 0,254 |
| 3 | Stinn et al., 2014 | 232 | g/dag per LU | 32,18 | 0,096 | 0,463 |
| 4 ^b | Mosquera et al., 2010b | 21,6 | kg/jaar per dierplaats | 21,60 | 0,063 | 0,303 |
| Gem. a (schone kelders) | | | | 3,51 | 0,006 | 0,030 |
| Gem. overig | | | | 24,04 | 0,071 | 0,340 |

a: tussen productieronden werd kelder geleegd, schoongemaakt en gevuld met enkele cm water.

b: gedurende een jaar 6 dagen verspreid over seizoenen en groeicurven in 2 verschillende stallen.

Zowel Costa en Guarino (2009) als Mosquera et al. (2010b) toonden bij zeugen, net als bij vleesvarkens een grote variatie in de emissies. De specifieke methaanemissie en de MCF van vleesvarkens en zeugen zijn vrijwel gelijk volgens de berekeningen op basis van de meetreeksen waar niet is uitgegaan van schone kelders, al dan niet gevuld met een paar cm water.

Voorgesteld wordt om de MCF-waarden van vleesvarkens en zeugen te poolen en een gemiddelde MCF-waarde voor varkens te gebruiken. De reden hiervoor is de grote variatie in de beschikbare data, en dat de MCF-waarden van vleesvarkens en van zeugen voor normale omstandigheden (0,383 voor vleesvarkens en 0,340 voor zeugen) niet veel van elkaar verschillen. De MCF voor varkens komt daarmee op 0,36.

De huidige MCF voor vleesvarkens is 0,39. Een nieuwe schatting van de MCF van 0,36 op basis van bovenstaande gegevens betekent dat 8% minder van de potentiële CH₄-emissie daadwerkelijk emitteert.

2.2.3 Methaanvorming in de afvalwaterzuivering

Bovenstaand wordt beschreven hoe hoog de CH₄ vorming is uit dierlijke mest. Humane excreties hebben een eigen circuit in de wereld van de afvalwaterzuivering, maar de wetenschap kent veel raakvlakken. Dit hoofdstuk is een quick scan naar die raakvlakken en hoe de methaanemissie zich hier verhoudt tot die van de dierlijke mest. Lastig voor de interpretatie van de cijfers is dat hier indirect gekeken wordt naar de organische stof (OS), omdat hoeveelheden organische stof en CH₄ productie worden uitgedrukt aan de hand van het zuurstofverbruik dat nodig is om de organische stof te oxideren (CZV is Chemisch Zuurstof Verbruik en BZV is Biologisch Zuurstof Verbruik). In onze berekeningen gaan we er vanuit dat **1 g CH₄-CZV gelijk is aan 350 liter CH₄** (onder standaardomstandigheden van 1 atmosfeer en 0 °C). In huishoudelijk afvalwater is de **ratio CZV/OS gelijk aan 365/500 = 1,37** (Metcalf and Eddy Inc., 1991).

Zang et al. (2013) bestudeerden de productie van methaan wanneer glucose als co-substraat wordt toegevoegd om dit proces te versterken. Zij maten dat 40% van de CZV werd omgezet in CH₄-CZV, wat drie maal zoveel was dan zonder glucose. Dat komt neer op 192 liter CH₄ per kg OS. De εCH₄ met glucose was dus 0,13 kg/kg OS, zonder glucose was εCH₄ 0,04 kg/kg OS. Dit is vergelijkbaar met de range die we in varkensmest vonden met actieve methanogenese (Tabel 4 en 5).

Foxon et al. (2010) onderzochten het effect van de belasting ('loading rate') van de reactor van de afvalwaterzuivering. Met een belasting van 0,40 kg COD/m³/dag werd 30% van de COD omgezet in CH₄, bij een hogere belasting (0,74 kg COD/m³/dag) was dat 49%. Omrekening levert een εCH₄ van 0,10 en 0,16 kg/kg OS voor respectievelijk lagere en hogere belasting. Deze range ligt iets boven de range die we voor varkens berekenden.

IPCC 2006 houdt voor een lagoon met opgeslagen huishoudelijk afvalwater een EF aan van 0,05 kg CH₄/kg COD. Omrekening geeft een εCH₄ van 0,07 kg/kg OS. Dit is gelijk aan de berekende εCH₄ voor vleesvarkens- en zeugenmest met actieve methanogenese.

Bovenstaande geeft aan dat de specifieke methaanemissies van mest en afvalwater niet veel verschillen. De overeenkomsten tussen afvalwater en mest is dat beiden organische afvalstoffen bevatten (vooral urine en fecaliën). Het verschil is dat afvalwater humaan is en mest dierlijk. Daarnaast is afvalwater zeer verdund ten opzichte van mest. Blijkbaar zijn deze verschillen met betrekking tot methanogenese niet doorslaggevend.

3 Discussie en conclusies

De resultaten gepresenteerd in deze deskstudie laten zien dat de variatie in CH₄-emissies binnen en tussen verschillende studies zeer groot is. Daarnaast zijn de beschikbare meetreeksen over het algemeen gefocust op het meten van meerdere gasvormige emissies tegelijkertijd. Deze aanpak heeft er voor gezorgd dat beschikbare meetreeksen vaak suboptimaal zijn om CH₄-emissies goed te kunnen schatten of om een goede factoranalyse te doen, omdat niet alle relevante variabelen zijn waargenomen.

De variatie in BMP-waarden wordt voornamelijk door de samenstelling van de mest veroorzaakt. Daarnaast wordt ervan uit gegaan dat de waarden die gerapporteerd zijn in de verschillende studies bepaald zijn bij dagverse mest. Als de mest bijvoorbeeld niet vers was bij aanvang van de incubatieproef, zal de schatting van de BMP te laag zijn (De Buissonje en Verheijen, 2014). Ook de aanwezigheid (of afwezigheid) van ent-materiaal voorafgaande de metingen of de lengte van de incubatieperiode kunnen een extra bron van variatie zijn. In de geraadpleegde literatuur is deze informatie meestal niet (of onvoldoende) te achterhalen. Voor BMP is onderscheid gemaakt tussen waarden uit studies die uitgevoerd zijn in Europa en buiten Europa. Voor de schatting van de BMP onder Nederlandse omstandigheden is alleen data uit Europese studies gebruikt. Op basis van deze data wordt aanbevolen om een BMP van 0,22 m³ CH₄/kg OS voor rundvee en van 0,31 m³ CH₄/kg OS voor varkens te gebruiken (Tabel 6). Er zijn geen literatuurgegevens gevonden om voor pluimvee een nieuwe schatting voor BMP te kunnen maken. Voor deze categorie worden de waarden aangenomen zoals gepubliceerd in de IPCC 2006 Guidelines. Emissiefactoren voor toediening zijn niet opgenomen. De emissie van methaan tijdens toedienen wordt als verwaarloosbaar geacht.

Uit de literatuurstudie bleek dat de specifieke methaanemissie van varkensmest varieerde van 0,009-0,129 kg CH₄ per kg OS. Dit kwam orde grootte overeen met de waarde die berekend kon worden uit diverse studies uit de afvalwaterzuivering. Dat is geruststellend aangezien de processen die een rol spelen in de vorming van methaan in mest ook een rol spelen in de afvalwaterzuiveringsinstallaties met een groot aandeel humane 'mest'. De relatie tussen COD en OS kan echter bij mest wel anders liggen: Vu et al. (2016) maten een COD/OS van 1,5 waar die in de afvalwaterzuivering 1,4 is. Het drogestofgehalte van rioolwater is ook drastisch lager dan die van mest. Om deze waarden inwisselbaar te laten zijn is nader onderzoek nodig. Vooralsnog wordt geadviseerd om vast te houden aan cijfers die afkomstig zijn van onderzoeken naar mest.

Op basis van de beschikbare data wordt voor varkens aanbevolen om een MCF van 0,36 te gebruiken voor zowel vleesvarkens als zeugen (Tabel 6).

Vanwege de beperkte hoeveelheid data die beschikbaar was voor rundvee, is gekozen om Dämmgen et al. (2012) aan te houden en een MCF-waarde van 0,17 te gebruiken voor opslag van mest (zonder korstvorming). Voor pluimvee zijn de huidige Nederlandse MCF-waarden (0,015) aangehouden (IPCC 2006).

Tabel 6. Advies potentiële methaanemissie uit mest (BMP), methaanconversiefactor (MCF) en specifieke methaanemissie (ϵCH_4) van runder-, varkens- en pluimveemest.

| Diersoort | BMP m ³ CH ₄ /kg OS | MCF | ϵCH_4 kg CH ₄ /kg OS | Verskil in ϵCH_4 % |
|---------------------|--|--------------------|--|---------------------------------------|
| Rundvee → drijfmest | 0,22 | 0,17 ¹ | 0,025 | -12 |
| → vaste mest | 0,22 | 0,02 | 0,003 | 0 |
| → weidemest | 0,22 | 0,01 | 0,002 | 0 |
| Varkens → drijfmest | 0,31 | 0,36 | 0,075 | -16 |
| → vaste mest | 0,31 | 0,02 | 0,005 | 0 |
| Pluimvee | | | | |
| Leghennen | 0,34 ³ | 0,015 ² | 3,42 * 10 ⁻³ | 0 |
| Vleeskuikens | 0,34 ³ | 0,015 ² | 3,42 * 10 ⁻³ | 0 |

¹ MCF = 0,11 voor opslag van mest met natuurlijke korst; MCF = 0,17 voor opslag van mest zonder natuurlijke korst.

² Vaste mest

³ Geen literatuurgegevens gevonden, waarden uit IPCC Guidelines (2006) aangenomen

De belangrijke factoren die methaanemissie uit mest beïnvloeden zijn factoren die de afbraak van organische stof onder invloed van micro-organismen beïnvloeden: temperatuur, retentietijd, entmateriaal, pH, beschikbaarheid van zuurstof en natuurlijk de kwaliteit van de af te breken organische stof. Om het effect van diverse variabelen goed te kunnen kwantificeren en in te schatten wat de reductiepotentie is, is aanvullend onderzoek nodig.

Literatuur

- Amon, B., en S. Hörtenhuber (2010). Revision der österreichischen Luftschadstoffinventur (OLI) für NH₃, NMVOC und NO_x, Sektor 4, Landwirtschaft. Umweltbundesamt, 62p. Wenen, Oostenrijk.
- Amon, B., T. Amon, J. Boxberger, en J. Pöllinger (1998). Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from composted and anaerobically stored farmyard manure. Pages 209-216 in Martinez J, Maudet M-N (eds.) Ramiran 98, Proc. 8th Int. Conf. on the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. Rennes, Frankrijk.
- Amon, B., T. Amon, J. Boxberger, en C. Alt (2001). Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60, 103-113.
- Amon B., V. Kryvoruchko, T. Amon, en G. Moitzi (2004). Ammonia, methane and nitrous oxide emission during storage of cattle and pig slurry and influence of slurry additive "Effective Micro-Organisms (EM)" : final report on behalf of Multikraft GmbH, Haiding. University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Department of Sustainable Agricultural Systems. Wenen, Oostenrijk.
- Amon, B., G. Moitzi, M. Schimpl, V. Kryvoruchko, en C. Wagner-Alt (2002). Methane, nitrous oxide and ammonia emissions from management of liquid manures: final report for the Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environmental and Water Management and the Federal Ministry of Education, Science and Culture.
- Angelidaki, I., M. Alves, D. Bolzonella, L. Borzacconi, J.L. Campos, A.J. Guwy, S. Kalyuzhnyi, P. Jenicek, en J.B. van Lier (2009). Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water Science and Technology* 59(5), 927-934.
- Bartlett, H. D., S. P. Persson, en R. W. Regan (1981). Energy production potential of a 100 m³ biogas generator. In: *Agricultural energy Vol. 2: Biomass processing*. ASAE publication No. 5-81. ASAE, St. Joseph, MI 49085, USA.
- Bonmati, A., X. Flotats, L. Mateu, en E. Campos (2001). Study of thermal hydrolysis as a pretreatment to mesophilic anaerobic digestion of pig slurry. *Water Science and Technology* 44(4), 109-116.
- Bryant, M.P., V.H. Varel, R.A. Frobish, en H.R. Isaacson (1976). Biological potential of thermophilic methanogenesis from cattle wastes. In: Schlegel, H.G. (ed), *Seminar on microbial energy conversion*.
- Burford, J. L., F. T. Varani, S. Schellenbach, W. F. Turnacliif, D. Shelley, en B. Pace (1977). Energy potential through bio-conversion of agricultural wastes: Phase II, Final Report to Four Corners Regional Commission. *Bio-Gas of Colorado, Inc.*
- Chae, K.J., A. Jang, S.K. Yim, en I.S. Kim (2008). The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. *Bioresource Technology* 99, 1-6.
- Chen, T.H. (1983). Kinetic analysis of anaerobic digestion of pig manure and its implications. *Biological Wastes* 8, 65-81.
- Chen, T.H., D.L. Day, en M.P. Steinberg (1988). Methane production from fresh versus dry dairy manure. *Biological Wastes* 24, 297-306.
- Chen, Y.R., V.H. Varel, en A.G. Hashimoto (1980). Effect of temperature on methane fermentation kinetics of beef-cattle manure. *Biotechnology and Bioengineering Symposium* 10, 325-339.
- 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, M.M. Nijkamp, E.P. van Huis, G. Geilenkirchen, C.W. Versluijs, R. te Molder, R. Dröge, J.A. Montfoort, C.J. Peek, J. Vonk, en S. Oude Voshaar (2015). Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990-2013. National Inventory Report 2015. RIVM Report 2015-0188, Bilthoven.
- Converse, J. C, J. G. Zeikus, R. E. Graves, en G. W. Evans (1977). Anaerobic degradation of dairy manure under mesophilic and thermophilic temperatures. *TRANSACTIONS of the ASAE* 20(2), 336.
- Costa, A., en M. Guarino (2009). Definition of yearly emission factor of dust and greenhouse gases through continuous measurements in swine husbandry. *Atmospheric Environment* 43, 1548-1556.

-
- Dämmgen, U., B. Amon, N.J. Hutchings, H.D. Haenel, en C. Rösemann (2012). Data sets to assess methane emissions from untreated cattle and pig slurry and solid manure storage systems in the German and Austrian emission inventories. *Agriculture and Forestry Research* 1/2(62), 1-20.
- De Buissonjé, F. en R. Verheijen (2014). Drijfmest verliest snel zijn waarde voor biogas. *V-focus april 2014*, 20-21.
- Dustan, A. (2002). Review of methane and nitrous oxide emission factors for manure management in cold climates. *JTI-rapport Lantbruk & Industri 299*, Uppsala, Zweden.
- Fischer, J.R., D.M. Seivers, en D.C. Fulhage (1975). Anaerobic digestion in swine wastes. In: Jewel, W.J. (ed), *Energy, agriculture and waste management: proceedings of the 1975 Cornell Agricultural Waste Management Conference*. Ann Arbor Science Publishers, 307-316.
- Fischer, J. R., en E. L. Iannotti (1977). Producing methane gas from swine manure in a pilot-size digester. *ASAE paper No. MC77-604*, ASAE, St. Joseph, MI 49085, USA.
- Fischer, J. R., D. M. Sievers, en E. L. Iannotti (1978). Biological and chemical fluctuations during anaerobic digestion of swine manure. *ASAE paper No. 78-4011*, ASAE, St. Joseph, MI 49085, USA.
- Fischer, J. R., E. L. Iannotti, J. H. Porter, en A. Garcia (1979). Producing methane gas from swine manure in a pilot-size digester. *Transactions of the ASAE* 22(2), 370-374.
- Foxon, K.M., C.J. Brouckaer, en C.A. Buckley (2010). Anaerobic digestion of domestic wastewater: the role of alkalinity in the rate and extent of digestion. *Water Practice & Technology* 5 (4). Doi: 10.2166/WPT.2010.098.
- Goossens, W. (1988). "Anaerobe vergisting varkensmest, onderzoek BIMA-vergister te Nistelrode", *IMAG nota 398*. IMAG, Wageningen.
- Groenestein, K., J. Mosquera, en S. Van der Sluis (2012). Emission factors for methane and nitrous oxide from manure management and mitigation options. *Journal of Integrative Environmental Sciences* 9(1), 139-146.
- Guinand, N., N. Quiniou, en V. Courboulay (2010). Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions from fattening pigs kept either on partially slatted floor in cold conditions or on fully slatted floor in thermoneutral conditions. *Journées de la Recherche Porcine* 42, 277-284.
- Hansen, K.H., I. Agelidaki, en B.K. Ahring (1998). Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia. *Water Research* 32, 5-12.
- Hashimoto, A.G. (1983). Conversion of straw-manure mixtures to methane at mesophilic and thermophilic temperatures. *Biotechnology and Bioengineering* 25, 185-200.
- Hashimoto, A.G. (1984). Methane from swine manure: effect of temperature and influent substrate concentration on kinetic parameter (K). *Agricultural Wastes* 9, 299-308.
- Hashimoto, A.G., Y.R. Chen, en V.H. Varel (1980). Theoretical aspects of methane production: state of the art. *Proceedings 4th international symposium on livestock wastes*.
- Hashimoto, A.G., V.H. Varel, en Y.R. Chen (1981). Ultimate methane yield from beef cattle manure: effect of temperature, ration constituents, antibiotics and manure age. *Agricultural Wastes* 3, 241-256.
- Haeussermann, A., E. Hartung, E. Gallmann, en T. Jungbluth (2006). Influence of season ventilation strategy, and slurry removal on methane emissions from pig houses. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112, 115-121.
- Hayes, D.L., W.J. Jewell, S. Dell Orto, K.J. Fanfoni, A.P. Leuschner, en D.F. Sherman (1980). "Anaerobic digestion of cattle manure". In: Stafford, D.A., B.J. Wheatley, D.E. Hughes (eds). *Proceedings of the 1st international symposium on anaerobic digestion*. Cardiff, sept 1979, Londen, Applied Science Publishers.
- Hills, D. J. (1980). Methane gas production from dairy manure at high solids concentration. *Transactions of the ASAE* 23(1), 122-126.
- Homan, E. (1979). "Biogas from Manure", The Pennsylvania State University, Pennsylvania, USA.
- Huang, Q., O. Wohlgemut, N. Cicek, J. France, en E. Kebreab (2010). A mechanistic model for simulating methane emissions from unstirred liquid manure storages. *Canadian Journal of Soil Science* 90, 507-516.
- Husted, S. (1994). Seasonal variation in methane emission from stored slurry and solid manures. *Journal of Environmental Quality* 23, 585-592.
- Iannotti, E.L., J.H. Porter, J.R. Fischer, en D.M. Sievers (1979). Changes in swine manure during anaerobic digestion. *Developments in Industrial Microbiology* 20, 519-520.

-
- IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara & K. Tanabe (Eds.). Published: IGES, Japan.
- Jewell, W. J., H. R. Davis, W. W. Gunkel, D. T. Lathwell, J. H. Martin, Jr., T. R. McCarty, G. R. Morris, D. R. Price, en D. W. Williams (1976). Bioconversion of agricultural wastes for pollution control and energy conservation. Final Report, ERDA-NSF-741222A01. Cornell University, Ithaca, NY, USA.
- Kroeker, E.J., D.D. Schulte, A.B. Sparling, en H.M. Lapp (1979). Anaerobic treatment process stability. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 51, 718-727.
- Kryvoruchko, V., T. Amon, B. Amon, L. Gruber, M. Schreiner, en W. Zolitsch (2004). Influence of nutrient composition on methane production from animal manures and co-digestion with maize and glycerine. <http://www.prairieswine.com/pdf/3596.pdf>.
- KTBL (2010). Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Darmstadt: KTBL.
- Massé D.I., F. Croteau, N.K. Patni, en L. Masse (2003). Methane emissions from dairy cow and swine manure slurries stored at 10 °C and 15 °C. *Canadian Biosystems Engineering* 45(6), 1-6.
- Metcalf and Eddy Inc. (1991). *Waste water engineering: treatment, disposal and reuse*. 3rd ed./ revised by George Tchobanoglous, Frank Burton.
- Mol, G., en M.A. Hilhorst (2003). Methaan-, lachgas- en ammoniakemissies bij productie, opslag en transport van mest. IMAG Rapport 2003-3. IMAG, Wageningen.
- Möller, H.B., S.G. Sommer, en B.K. Ahring (2004a). Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass Bioenergy* 26, 485-495.
- Möller, H.B., S.G. Sommer, en B.K. Ahring (2004b). Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquid manure. *Journal of Environmental Quality* 33, 27-36.
- Morris, G.R. (1976). *Anaerobic fermentation of animal wastes: a kinetic and empirical design evaluation*. Ithaca: Cornell University, USA.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, A. Winkel, E. Lovink, N.W.M. Ogink, en A.J.A. Aarnink (2010a). Fijnstofemissie uit stallen: vleesvarkens. Wageningen Livestock Research Rapport 292. WUR-LR, Lelystad.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, A. Winkel, G.M. Nijeboer, N.W.M. Ogink, en A.J.A. Aarnink (2010b). Fijnstofemissie uit stallen: dragende zeugen. Wageningen Livestock Research Rapport 294. WUR-LR, Lelystad.
- Nicks, B., F.X. Philippe, M. Laitat, F. Farnir, B. Canart, en M. Vandenheede (2005). Gaseous emissions in the raising of fattening pigs on fully slatted-floor or on straw-based deep litter. In: A. Krynski, en R. Wrzesien (eds). *Animal and Environment* (2005). ISAH, 373-377. Warschau, Polen.
- Oechsner, H. (1996). "Gemeinsame Vergärung von Flusssigmist und Speiseabfällen" Tagung: Biogas in de Landwirtschaft, Fachverband Biogas, Kirchberg, 2 - 5 Jan 1996.
- Palkovicova, Z., M. Knizatova, S. Mihina, J. Broucek, en A. Hanus (2009). Emissions of greenhouse gases and ammonia from intensive pig breeding. *Folia Veterinaria* 53, 168-170.
- Park, K.H., A.G. Thompson, M. Marinier, K.Clark, en C. Wagner-Riddle (2006). Greenhouse gas emissions from stored liquid swine manure in a cold climate. *Atmospheric Environment* 40, 618-627.
- Philippe, F.X., M. Laitat, B. Canart, M. Vandenheede, en B. Nicks (2007). Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs: kept either on fully slatted floor or on deep litter. *Livestock Science* 111, 144-152.
- Philippe, F.X., M. Laitat, J. Wavreille, N. Bartiaux-Thill, B. Nicks, en J.F. Cabaraux (2011). Ammonia and greenhouse gas emission from group-housed gestating sows depends on floor type. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140, 498-505.
- Rodhe, L.K.K., J. Ascue, en A. Nordberg (2009). Emissions of greenhouse gases (methane and nitrous oxide) from cattle slurry storage in Northern Europe. http://iopscience.iop.org/1755-1315/8/1/012019/pdf/1755-1315_8_1_012019.pdf.
- Rodhe L., J. Ascue, en A. Nordberg (2010). Greenhouse gas emissions from stored slurry with and without different covers [online]. To be found at http://www.ramiran.net/ramiran2010/docs/Ramiran2010_0194_final.pdf.
- Rodhe, L.K.K., J. Abubaker, J. Ascue, M. Pell, en A. Nordberg (2012). Greenhouse gas emissions from pig slurry during storage and after field application in northern European conditions. *Biosystems Engineering* 113, 379-394.

-
- Rodhe, L.K.K., J. Ascue, A. Willén, B.V. Persson, en A. Nordberg (2014). Greenhouse gas emissions from storage and field application of anaerobically digested and non-digested cattle slurry. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 199, 358-368.
- Safley, L.M., M.E. Casada, J.W. Woodbury, en K.F. Roos (1992). Global Methane Emissions from Livestock and Poultry Manure. US Environmental Protection Agency, Global Change Division, Washington, D.C., February 1992, EPA/400/1091/048.
- Sommer, S.G., S.O. Petersen, en H.T. Sogaard (2001a). Greenhouse gas emission from stored livestock slurry. *Journal of Environmental Quality* 29, 744-751.
- Sommer, S.G., H.B. Moller, en S.O. Petersen (2001b). The reduction of greenhouse gas emissions from manure slurry and organic waste by anaerobic digestion. Danish Institute of Agricultural Sciences, DJF rapport Husdyrbrug 31.
- Sommer, S.G., H.B. Möller, en S.O. Petersen (2002). Reduction in methane and nitrous oxide emission of animal slurry through anaerobic digestion. In: van Ham, J. (ed), *Non-CO₂ greenhouse gases: scientific understanding, control options and policy aspects*. Proceedings of the third international symposium, Maastricht.
- Sommer, S.G., S.O. Petersen, en H.B. Möller (2004). Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 69, 143-154.
- Steed, J., en A.G. Hashimoto (1994). Methane emissions from typical manure management systems. *Bioresource technology* 50, 123-130.
- Stevens, M.A., en D.D. Schulte (1979). Low temperature digestion of swine manure. *Journal of Environmental Engineering Division, ASCE* 105(EE1), 33-42.
- Stinn, J.P., H. Xin, T.A. Shepherd, H. Li, en R.T. Burns (2014). Ammonia and greenhouse gas emissions from a modern U.S. swine breeding-gestation-farrowing system. *Atmospheric Environment* 98, 620-628.
- Summers, R., en S. Bousfield (1980). A detailed study of piggery-waste anaerobic digestion. *Agricultural Wastes* 2, 61-78.
- Timmerman, M., J.W. van Riel, I. Bisschops, en M. van Eekert (2009). Optimaliseren van mestvergisting. ASG Rapport 243. WUR-ASG, Lelystad.
- Triolo, J. M., S.G. Sommer, H.B. Møller, M.R. Weisbjerg, en X.Y. Jiang (2011). A new algorithm to characterize biodegradability of biomass during anaerobic digestion: Influence of lignin concentration on methane production potential. *Bioresource Technology* 102(20), 9395-9402.
- Van der Hoek, K.W., en M.W. van Schijndel (2006). Methane and nitrous oxide emissions from animal manure management, 1990-2003. RIVM report 680125002/2006; MNP report 500080002/2006.
- Van der Zaag, A.C., J.D. MacDonald, L. Evans, X.P.C. Vergé, en R.L. Desjardins (2013). Towards an inventory of methane emissions from manure management that is responsive to changes on Canadian farms. *Environmental Research Letters* 8, 035008: 13 pp.
- Van Lent, A.J.H., en H.J.C. Van Dooren (2001). Perspectieven mestvergisting op Nederlandse melkvee- en varkensbedrijven. IMAG Rapport 194. IMAG, Wageningen.
- Vedrenne, F., F. Beline, en N. Bernet (2005). Evaluation of the methane production of livestock wastes: ultimate productivity and organic matter characterisation. http://static.blog4ever.com/2006/02/126682/artfichier_126682_24254_201004120338758.pdf.
- Vedrenne, F., F. Beline, P. Dabert, en N. Bernet (2008). The effect of incubation conditions on the laboratory measurement of the methane producing capacity of livestock wastes. *Bioresource Technology* 99, 146-155.
- Vu, P.T., R.W. Melse, G. Zeeman, en P.W.G. Groot Koerkamp (2016). Composition and biogas yield of a novel source segregation system for pig excreta. *Biosystems Engineering* 145, 29-38.
- Woodventure (ed). Rinder-Gülle. <http://www.woodventure.de/bioenergie/rohstoffe/guelle/rinderguelle/>.
- Zang, K., T.L.G. Hendrickx, C. Kampman, H. Temmink, en G. Zeeman (2013). Co-digestion to support low temperature anaerobic pretreatment of municipal sewage in a UASB-digester. *Bioresource Technology* 148, 560-566.
- Zeeman, G., en 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.
- Zeeman, G., M.E. Koster-Treffers, en H.D. Halm (1984). "Mestvergisting in Nederland", NOH, Projectenbureau Energieonderzoek.

Zom, R.L.G., en C.M. Groenestein (2015). Excretion of volatile solids by livestock to calculate methane production from manure. RAMIRAN 2015 – 16th International Conference, Rural-Urban Symbiosis, 8 - 10 September 2015, Hamburg, Duitsland.

Bijlage 1 Overzicht beschikbare data (BMP, in m³ CH₄/kg OS)

| Animal category | Country | Feeding | TS (g/kg) | VS (g/kg) | Bo | Reference |
|-----------------|-------------|---|-----------|-----------|------|---|
| cattle | Germany | --- | --- | --- | 0.25 | Baader (1984); reported by Van Lent and Van Dooren (2001) |
| cattle | Germany | --- | --- | --- | 0.19 | Oechsner (1996) |
| cattle | Denmark | --- | --- | --- | 0.22 | Andersen (1980); reported by Van Lent and Van Dooren (2001) |
| cattle | Austria | --- | 174.0 | --- | 0.16 | Kryvoruchko et al. (2004) |
| cattle | Germany | --- | --- | --- | 0.15 | Wood Venture (p.c.) |
| cattle | Denmark | --- | --- | --- | 0.29 | Hansen et al. (1998) |
| cattle | Denmark | --- | --- | --- | 0.22 | Sommer et al. (2001a) |
| cattle | Denmark | variable | 122.5 | 109.7 | 0.16 | Moller et al. (2004a) |
| cattle | France | --- | --- | --- | 0.25 | Vedrenne et al. (2005) |
| cattle | Sweden | 9 kg DM silage, 5 kg cereals, 3.7 kg concentrates | 82.0 | 64.4 | 0.32 | Rodhe et al. (2009) |
| cattle | Denmark | --- | --- | --- | 0.23 | KTBL (2010) |
| cattle | Germany | --- | --- | --- | 0.23 | Wood Venture (p.c.) |
| cattle | Austria | --- | 193.9 | --- | 0.13 | Kryvoruchko et al. (2004) |
| cattle | Austria | --- | 150.4 | --- | 0.14 | Kryvoruchko et al. (2004) |
| cattle | Denmark | 21.6% concentrates, 55.2% roughage, 22.8% barley, 0.4% minerals | 103.2 | 86.3 | 0.25 | Moller et al. (2004b) |
| cattle | Netherlands | --- | --- | --- | 0.25 | Zeeman and Gerbens (2002) |
| cattle | Netherlands | --- | --- | --- | 0.21 | Zeeman et al. (1984) |
| cattle | Sweden | --- | 79.0 | 66.4 | 0.29 | Rohde et al. (2014) |
| cattle | Sweden | --- | 33.0 | 25.1 | 0.26 | Rohde et al. (2014) |
| cattle | France | --- | 76.2 | 58.1 | 0.19 | Vedrenne et al. (2008) |
| cattle | USA | --- | --- | --- | 0.14 | Homan (1979) |
| cattle | USA | --- | --- | --- | 0.19 | Hayes et al. (1980) |
| cattle | USA | --- | --- | --- | 0.21 | Hayes et al. (1979); reported by Van Lent and Van Dooren (2001) |
| cattle | USA | --- | --- | --- | 0.11 | Hills and Stehen (1980); reported by Van Lent and Van Dooren (2001) |
| cattle | USA | --- | --- | --- | 0.22 | Lehman and Wellinger (1980); reported by Van Lent and Van Dooren (2001) |

Vervolg overzicht beschikbare data (BMP, in m³ CH₄/kg OS)

| Animal category | Country | Feeding | TS (g/kg) | VS (g/kg) | Bo | Reference |
|-----------------|---------|--|-----------|-----------|------|-------------------------|
| cattle | USA | --- | --- | --- | 0.24 | Morris (1976) |
| cattle | USA | --- | --- | --- | 0.17 | Bryant et al. (1976) |
| cattle | USA | --- | --- | --- | 0.15 | Hills (1980) |
| cattle | USA | --- | --- | --- | 0.14 | Converse et al. (1977) |
| cattle | USA | --- | --- | --- | 0.14 | Bartlett et al. (1981) |
| cattle | USA | High roughage diet consisting of poor quality alfalfa hay without supplements and grains to simulate cattle rations common in Africa | 201.3 | 173.7 | 0.10 | Chen et al. (1988) |
| cattle | USA | 85% corn, 13% corn silage, 2% soybean-meal-mineral supplement | 73.3 | 63.2 | 0.38 | Hashimoto (1983) |
| cattle | USA | 88% corn, 9% corn silage, 3% soybean meal | --- | 150.0 | 0.33 | Chen et al. (1980) |
| cattle | USA | 88% corn, 9% corn silage, 3% soybean meal | --- | 150.0 | 0.32 | Chen et al. (1980) |
| cattle | USA | 88% corn, 9% corn silage, 3% soybean meal | --- | 150.0 | 0.34 | Chen et al. (1980) |
| cattle | USA | 88% corn, 9% corn silage, 3% soybean meal-mineral supplement | 100.0 | 88.2 | 0.34 | Hashimoto et al. (1981) |
| cattle | USA | 92% corn, 0% corn silage, 8% soybean meal-mineral supplement | 100.0 | 85.1 | 0.17 | Hashimoto et al. (1981) |
| cattle | USA | 40% corn, 53% corn silage, 7% soybean meal-mineral supplement | 100.0 | 87.4 | 0.23 | Hashimoto et al. (1981) |
| cattle | USA | 7% corn, 88% corn silage, 5% soybean meal-mineral supplement | 100.0 | 90.7 | 0.29 | Hashimoto et al. (1981) |
| cattle | USA | --- | --- | --- | 0.22 | Burford et al. (1977) |
| cattle | USA | --- | --- | --- | 0.27 | Jewell et al. (1976) |
| cattle | USA | --- | --- | --- | 0.21 | Hashimoto et al. (1980) |

Vervolg overzicht beschikbare data (BMP, in m³ CH₄/kg OS)

| Animal category | Country | Feeding | TS (g/kg) | VS (g/kg) | Bo | Reference |
|-----------------|-------------|--|-----------|-----------|------|--|
| pigs | Scotland | --- | --- | --- | 0.30 | Hobson et al. (1977); reported by Van Lent and Van Dooren (2001) |
| pigs | Denmark | variable (see paper) | 223.4 | 189.6 | 0.38 | Moller et al. (2004a) |
| pigs | Denmark | variable (see paper) | 311.0 | 246.2 | 0.29 | Moller et al. (2004a) |
| pigs | Scotland | barley-based ration | --- | --- | 0.36 | Summers and Bousfield (1980) |
| pigs | Denmark | --- | --- | --- | 0.30 | Hansen et al. (1998) |
| pigs | Denmark | 24% soybean meal, 49.8% barley, 20% wheat, 6.2% fat and mineral-supplement | 95.5 | 79.9 | 0.35 | Moller et al. (2004b) |
| pigs | Denmark | --- | --- | --- | 0.27 | KTBL (2010) |
| pigs | Germany | --- | --- | --- | 0.29 | Wood Venture (p.c.) |
| pigs | Netherlands | --- | --- | --- | 0.34 | Zeeman and Gerbens (2002) |
| pigs | Sweden | --- | 75.0 | 61.4 | 0.42 | Rodhe et al. (2012) |
| pigs | Denmark | --- | --- | --- | 0.32 | Sommer et al. (2002) |
| pigs | Netherlands | --- | --- | --- | 0.31 | Van der Hoek and van Schijndel (2006) |
| pigs | Netherlands | --- | --- | --- | 0.20 | Goossens (1988) |
| pigs | Switzerland | --- | --- | --- | 0.28 | Wellinger (1980) ; reported by Van Lent and Van Dooren (2001) |
| pigs | Switzerland | --- | --- | --- | 0.20 | Wellinger (1980) ; reported by Van Lent and Van Dooren (2001) |
| pigs | Netherlands | --- | 67.0 | 53.0 | 0.30 | Timmerman et al. (2009) |
| pigs | Netherlands | --- | 30.0 | 20.0 | 0.33 | Timmerman et al. (2009) |
| pigs | Netherlands | --- | 18.0 | 12.0 | 0.60 | Timmerman et al. (2009) |
| pigs | Spain | --- | 45.3 | 33.9 | 0.35 | Bonmati et al. (2001) |
| pigs | France | --- | 32.3 | 24.4 | 0.26 | Vedrenne et al. (2008) |
| pigs | France | --- | 36.9 | 27.7 | 0.32 | Vedrenne et al. (2008) |
| pigs | France | --- | 133.5 | 101.9 | 0.04 | Vedrenne et al. (2008) |
| pigs | France | --- | 69.9 | 49.1 | 0.27 | Vedrenne et al (2008) |
| pigs | USA | corn-based high energy | --- | --- | 0.45 | Fischer et al. (1975) |
| pigs | Canada | corn-based high energy | --- | --- | 0.48 | Stevens and Schulte (1979) |

Vervolg overzicht beschikbare data (BMP, in m³ CH₄/kg OS)

| Animal category | Country | Feeding | TS (g/kg) | VS (g/kg) | Bo | Reference |
|-----------------|-------------|--|-----------|-----------|------|-----------------------|
| pigs | USA | corn-based high energy | --- | --- | 0.44 | Ianotti et al. (1979) |
| pigs | USA | --- | --- | --- | 0.31 | Fischer et al. (1978) |
| pigs | USA | --- | --- | --- | 0.32 | Fischer et al. (1977) |
| pigs | USA | --- | --- | --- | 0.34 | Fischer et al. (1979) |
| pigs | Canada | corn-based high energy | --- | --- | 0.52 | Kroeker et al. (1979) |
| pigs | Canada | --- | --- | --- | 0.30 | Park et al. (2006) |
| pigs | USA | 76.3% ground corn, 19.6% soybean meal, 3.1% mineral-supplement | --- | --- | 0.48 | Hashimoto (1984) |
| pigs | South Korea | --- | --- | --- | 0.44 | Chae et al. (2008) |
| pigs | South Korea | --- | --- | --- | 0.23 | Chae et al. (2008) |
| pigs | USA | corn-based high energy | --- | --- | 0.47 | Chen (1983) |

Bijlage 2 Overzicht beschikbare data (MCF-waarden)

| Animal category | Country | Manure | Crust | Temperature (°C) | MCF | Reference |
|-----------------|---------|-------------------|-------|------------------|-------|-----------------------------|
| cattle | Austria | slurry | y | 5 | 0.097 | Amon and Hortenhuber (2010) |
| cattle | Austria | slurry | y | 20 | 0.372 | Amon and Hortenhuber (2010) |
| cattle | Denmark | slurry | ? | 11 | 0.110 | Sommer et al. (2002) |
| cattle | Denmark | slurry | y | 11.2 | 0.081 | Husted (1994) |
| cattle | Denmark | slurry | ? | 11.2 | 0.110 | Sommer et al. (2001b) |
| cattle | Sweden | slurry | ? | 8.4 | 0.030 | Rodhe et al. (2009) |
| cattle | USA | slurry | ? | 10 | 0.002 | Steed and Hashimoto (1994) |
| cattle | USA | slurry | ? | 20 | 0.553 | Steed and Hashimoto (1994) |
| cattle | USA | slurry | ? | 30 | 0.756 | Steed and Hashimoto (1994) |
| pigs | Austria | slurry | ? | 5 | 0.091 | Amon et al. (2002) |
| pigs | Austria | slurry | y | 5 | 0.033 | Amon and Hortenhuber (2010) |
| pigs | Austria | slurry | y | 20 | 0.039 | Amon and Hortenhuber (2010) |
| pigs | Austria | slurry | n | summer | 0.487 | Amon et al. (2004) |
| pigs | Canada | slurry (4.9% DM) | n | 15 | 0.426 | Masse et al. (2003) |
| pigs | Canada | slurry (4.9% DM) | n | 10 | 0.087 | Masse et al. (2003) |
| pigs | Canada | slurry (11.3% DM) | n | 15 | 0.209 | Masse et al. (2003) |
| pigs | Canada | slurry (11.3% DM) | n | 10 | 0.114 | Masse et al. (2003) |
| pigs | Denmark | slurry | y | 11.2 | 0.320 | Husted (1994) |
| pigs | Denmark | slurry | ? | 11.2 | 0.120 | Sommer et al. (2001b) |
| pigs | Sweden | slurry | n | 8 | 0.026 | Rodhe et al. (2012) |
| pigs | Sweden | slurry | y | 8 | 0.028 | Rodhe et al. (2012) |
| pigs | Sweden | slurry | y | 8 | 0.014 | Rodhe et al. (2012) |
| pigs | Sweden | slurry | n | winter | 0.100 | Rodhe et al. (2010) |
| cattle | Austria | solid manure | n/a | ? | 0.050 | Amon et al. (1998) |
| cattle | Austria | solid manure | n/a | winter | 0.016 | Amon et al. (2001) |
| cattle | Austria | solid manure | n/a | summer | 0.040 | Amon et al. (2001) |
| cattle | Denmark | solid manure | n/a | 22 | 0.022 | Husted (1994) |
| cattle | Denmark | solid manure | n/a | 49.2 | 0.142 | Husted (1994) |
| cattle | USA | solid manure | n/a | 10 | 0.002 | Steed and Hashimoto (1994) |
| cattle | USA | solid manure | n/a | 20 | 0.457 | Steed and Hashimoto (1994) |
| cattle | USA | solid manure | n/a | 30 | 0.655 | Steed and Hashimoto (1994) |

n/a = not applicable; ? = unknown; y = yes; n = no

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research
Postbus 338 6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl [www.wur.nl/
livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research)

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research 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, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research 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.

