

Protocol 0067 Pens- en darmfermentatie
t.b.v. NIR 2010
uitgave maart 2010

4A: CH₄ ten gevolge van pens- en darmfermentatie



Voorwoord

Onder het Kyoto Protocol is Nederland verplicht om een nationaal systeem op te zetten en te onderhouden voor de monitoring van broeikasgassen. Een van de elementen hierin is een transparante en controleerbare beschrijving van de methoden en processen, die daarbij gehanteerd worden. De methoden moeten daarbij voldoen aan de internationale richtlijnen, welke zijn vastgesteld door de Verenigde Naties (UN) en de Europese Unie (EU).

In Nederland wordt aan deze eisen onder meer invulling gegeven in de vorm van Monitoring Protocollen, waarin de methoden en werkprocessen zijn beschreven voor de vaststelling van emissies en de hoeveelheid vastlegging ('sinks') van broeikasgassen. Er zijn protocollen voor ongeveer 40 verschillende bronnen of 'sinks' van broeikasgassen. Dit document beschrijft het protocol voor een van deze bronnen of 'sinks'.

De protocollen zijn opgesteld in een nauw samenwerkingsverband tussen experts vanuit diverse sectoren van de Nederlandse samenleving. Met name de experts van de Emissieregistratie (ER) zijn hier bij betrokken. De ER is een samenwerkingsverband van onder meer CBS, WUR, RIVM en PBL. Tot 31 december 2009 werd dit gecoördineerd door het Planbureau voor de Leefomgeving; per 1 januari 2010 is de coördinatie overgegaan naar RIVM. Aan de protocollen is verder bijgedragen door Agentschap NL, het Ministerie van Landbouw, Natuur & Voedselkwaliteit en het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM).



Planbureau voor de Leefomgeving



Agentschap NL
Ministerie van Economische Zaken



Inhoudsopgave

1	SCOPE EN BELANG VAN EMISSIEBRONNEN/ACTIVITEITEN	4
1.1	SCOPE EN DEFINITIE.....	4
1.2	BELANG EN INVLOEDSFACTOREN	5
1.2.1	<i>Bijdrage aan de totale nationale emissies.....</i>	<i>5</i>
1.2.2	<i>Relevante factoren, van invloed op de emissie.....</i>	<i>5</i>
2	METHODIEK, EMISSIEFACTOREN EN ACTIVITEITENDATA	6
2.1	BEREKENINGSMETHODIEK.....	6
2.2	EMISSIEFACTOREN.....	7
2.3	ACTIVITEITENDATA	9
3	WERKPROCESSEN.....	10
4	KWALITEIT EN VERIFICATIE.....	12
4.1	ONZEKERHEIDSINSCHATTING	12
4.2	KWALITEITSBEWAKING EN -BORING.....	12
4.3	VERIFICATIE	13
4.4	VERBETERPUNTEN T.A.V. DE HUIDIGE BEREKENINGSMETHODIEK.....	13
4.4.1	<i>Historie</i>	<i>13</i>
4.4.2	<i>Toekomst.....</i>	<i>14</i>
5	OVERIGE ASPECTEN	14
5.1	PUNTBRONCRITERIA	14
5.2	STOFPROFIELEN	14
5.3	REGIONALISERING	14
5.4	TUJDGEBONDEN VARIATIES IN DE BRONSTERKTE.....	14
6	REFERENTIES EN AANVULLENDE DOCUMENTEN	15
6.1	REFERENTIES	15
6.2	AANVULLENDE INFORMATIE.....	17



4A: CH₄ Ten gevolge van pens- en darmfermentatie

IPCC Categorie:	4A1, 4A3, 4A4, 4A6, 4A8
NFR Code:	n.v.t.
NOSE Code:	n.v.t.
NACE Code 2008	014

1 Scope en belang van emissiebronnen/activiteiten

1.1 Scope en definitie

Dit protocol beschrijft methodiek en werkprocessen voor de bepaling van de emissies van methaan (CH₄) als gevolg van pens- en darmfermentatie voor de volgende broncategorieën:

- 4A1. rundvee (pens- en darmfermentatie)
- 4A3. schapen (pens- en darmfermentatie)
- 4A4. geiten (pens- en darmfermentatie)
- 4A6. paarden (alleen darmfermentatie)
- 4A8. varkens (alleen darmfermentatie)

De categorieën 4A2. buffels, 4A5. kamelen en lama's en 4A7. (muil)ezels worden in het CRF gerapporteerd als NO (not occurring) (Brandes et al., 2006), omdat deze niet bedrijfsmatig worden gehouden in Nederland en daarom ook niet worden meegenomen in de Landbouwtelling. De categorie 4A9. pluimvee wordt gerapporteerd als NE (not estimated), omdat er geen gegevens beschikbaar zijn over de CH₄-emissies als gevolg van darmfermentatie van deze broncategorie. De bron is echter zeer klein vanwege de anatomie van het maagdarmkanaal (een relatief snelle doorstromingsnelheid van voer) en de relatief hoge voederwaarde van pluimveevoeders die momenteel aan pluimvee wordt verstrekt, wat maakt dat fermentatieve processen een geringe bijdrage leveren in de vertering van het voer. Waarschijnlijk om dezelfde redenen voorzien de IPCC Guidelines niet in een IPCC default-waarde en rapporteren andere landen ook geen emissies onder deze categorie (Brandes et al, 2006).

De SBI codes voor deze activiteiten zijn:

- 0141 en 0142 (fokken en houden van rundvee)
- 0145 (fokken en houden van schapen en geiten)
- 0143 (fokken en houden van paarden)
- 0146 (fokken en houden van varkens)

In het spijsverteringsstelsel van een landbouwhuisdier wordt het door het dier geconsumeerde voer verteerd. Dit levert het dier energie en nutriënten op om te voldoen aan de behoeften voor onderhouds- en productiefuncties. De vertering van het voer vindt plaats in het lumen van de spijsverteringskanaal wat nagenoeg anaeroob is. Een deel van het spijsverteringskanaal huisvest een aanzienlijke populatie micro-organismen die voer of digesta fermenteren. Bij herkauwers (rundvee, schapen en geiten) is dit de pens en de dikke darm, en bij éénmagige dieren (paarden en varkens) is dit alleen de dikke darm. Vooral bij pensfermentatie ontstaan grote hoeveelheden CH₄.

Bij de fermentatie van organisch materiaal ontstaan naast de gesynthetiseerde microbiële massa ook vluchtige vetzuren en waterstofgas als eindproducten. Slechts een klein deel van het gevormde waterstofgas kan weer worden vastgelegd (met microbiële groei, bij de vorming van propionzuur en vertaktketen vluchtige vetzuren, bij de hydrogenering van onverzadigde verbindingen zoals onverzadigde langketen vetzuren) maar het overgrote deel komt vrij in het pensmilieu. Dit vrijkomende waterstofgas



wordt met koolstofdioxide, dat in overmaat aanwezig is in de pens, door methanogenen omgezet in CH_4 en water. Dat deze omzetting van waterstofgas naar CH_4 tamelijk volledig plaatsvindt, blijkt uit het feit dat de relatieve gasdruk van waterstof in het pensmilieu zeer laag is. Een relatief geringe toename van de partiële gasdruk heeft snel een negatieve uitwerking op de fermentatieve afbraak van voer in de pens door een remmend effect op de microbiële activiteit. De pens in rundvee is verantwoordelijk voor ongeveer 90% van de totale CH_4 -productie in rundvee, de rest ontstaat in de dikke darm. Nagenoeg alle CH_4 (99%) verlaat de herkauwer echter via de bek via de ademhaling (via bloed naar de longen) en door het frequent opboeren van pensgassen en herkauwen van een selectief deel van de pensinhoud. De fermentatieprocessen in de pens bepalen dus grotendeel de CH_4 -emissie door herkauwers.

De hoeveelheid geproduceerde CH_4 is afhankelijk van de hoeveelheid voer die de dieren opnemen en de eigenschappen en samenstelling van dit voer (Veen, 2000; Smink et al., 2003; Tamminga et al., 2007). De hoeveelheid voer bepaalt in sterke mate de hoeveelheid fermentatie die optreedt en daarmee de hoeveelheid waterstofgas die omgezet wordt in CH_4 . De eigenschappen van het voer (afbreekbaarheid, snelheid van afbraak, passage naar de darm) bepalen welke fracties van de afzonderlijke componenten in het voer in de pens gefermenteerd worden, en welke fracties ontsnappen aan pensfermentatie en doorstromen naar de dunne darm (Dijkstra et al., 1992). De chemische samenstelling van de gefermenteerde voerfracties bepaalt welke hoeveelheden en welke typen vluchtige vetzuren en welke hoeveelheid waterstofgas gevormd wordt (Bannink et al., 2006), en bepaalt daarmee de hoeveelheid waterstofgas die wordt omgezet in CH_4 (Mills et al., 2001; Bannink et al., 2010).

Op deze wijze is de hoeveelheid en de aard van het opgenomen voer bepalend voor zowel de zogeheten methaanemissiefactor, EF, voor CH_4 (i.e. de hoeveelheid CH_4 in $\text{kg CH}_4/\text{jaar}$ die gevormd wordt in een dier) als de zogeheten methaanconversiefactor, MCF (i.e. de fractie van de bruto energie van opgenomen voer dat wordt omgezet in CH_4).

1.2 Belang en invloedsfactoren

1.2.1 Bijdrage pens- en darmfermentatie aan de totale nationale emissies

De CH_4 -emissie door landbouwhuisdieren die wordt gerapporteerd onder sector 4A Pens- en darmfermentatie levert een bijdrage van 3% aan de totale Nederlandse broeikasgasemissie (Van der Maas et al., 2009). Het overgrote deel van deze emissie is afkomstig van rundvee.

1.2.2 Relevante factoren, van invloed op de CH_4 emissie door landbouwhuisdieren

De CH_4 -emissie ten gevolge van pens- en darmfermentatie is afgenomen tussen 1990 en 2007. Deze reductie is vooral het gevolg van de afname van de veestapel (Van der Maas, 2009). De afname van de melkveestapel in de periode van 1990 tot 2007 met 25% is het resultaat van het hanteren van vaste melkquota in het Europees landbouwbeleid in combinatie met een gestegen melkproductie per koe. De melkproductie per koe steeg tussen 1990 en 2007 met 30%. Het houden van schapen is markteconomisch minder aantrekkelijk geworden ten gevolge van verlaging van de ooi-premie en het aantal schapen is in deze periode met 20% afgenomen. De afname van de varkensstapel met 16% is het gevolg van het Nederlandse mestbeleid.

Voor geiten en paarden is sprake van een toename van de CH_4 -emissie als gevolg van pens- en darmfermentatie in deze periode. Deze is evenredig met de toename van het aantal geiten en paarden, maar blijft gering van omvang ten opzichte van de CH_4 -emissie door rundvee (Van der Maas et al., 2009).

De toename van de melkproductie per melkkoe wordt gerealiseerd door een toename van de voeropname per melkkoe en daardoor ook een toename van de CH_4 -emissie per koe, zij het in veel minder sterke mate



dan de toename van de melkproductie. In combinatie met de afname van de melkveestapel, en minder voer dat benodigd is voor het onderhouden van de melkveestapel, geeft dit een 16% afname van de totale CH₄-emissie als gevolg van pens- en darmfermentatie tussen 1990 en 2007 (Van der Maas et al., 2009). Deze afname is niet alleen een uitkomst van de veranderde melkproductie per koe, maar ook uitkomst van de gewijzigde samenstelling van het melkveerantsoen die heeft plaatsgevonden in deze periode. Het gemiddelde aandeel van graskuil en snijmaïs in de droge stof van een rundveerantsoen steeg, terwijl het aandeel van weidegras, standaard krachtvoer en eiwitrijk krachtvoer daalde (CBS, 2009). Ook de chemische samenstelling van het rantsoen veranderde met een daling van het ruw eiwitgehalte en een stijging van het zetmeel- en celwandgehalte (Bannink, 2010; op basis van CBS, 2009).

2 Methodiek, emissiefactoren en activiteitendata

2.1 Berekeningsmethodiek

De CH₄-emissie als gevolg van pens- en darmfermentatie bij rundvee wordt berekend door vermenigvuldiging van het aantal dieren per diercategorie met een landspecifieke emissiefactor voor die diercategorie. Voor de overige diercategorieën worden de in internationaal verband afgesproken defaultwaarden als emissiefactor toegepast. De totale CH₄-emissie van alle dieren wordt vervolgens berekend door de emissies per diercategorie te sommeren.

$$\text{CH}_4\text{-emissie} = \sum \text{EF}_i * [\text{aantal dieren per diercategorie (i)}]$$

CH₄-emissie : CH₄-emissie voor alle gedefinieerde diercategorieën (i) in kg CH₄/jaar,
EF_i : emissiefactor voor de gedefinieerde diercategorie (i) in kg CH₄/jaar/dier.

Vergelijking met de IPCC GPG methodiek

Voor alle diercategorieën m.u.v. rundvee worden default IPCC emissiefactoren toegepast, in overeenstemming met de IPCC-methode zoals beschreven in de GPG (IPCC, 2001, p4.23). Voor rundvee exclusief melk- en kalfkoeien wordt de Tier 2 methode toegepast, waarbij de bruto energieopname m.b.v. een landspecifieke methode wordt berekend. In deze methode wordt de EF berekend met behulp van de MCF en de bruto energieopname met voer (GE). Voor de MCF worden IPCC defaultwaarden gehanteerd, in overeenstemming met de GPG (IPCC, 2001). Voor melk- en kalfkoeien wordt een landspecifieke Tier 3 benadering toegepast waarbij gebruik wordt gemaakt van een dynamisch simulatiemodel dat het mechanisme van de fermentatieprocessen in het maagdarmkanaal beschrijft. Het model voorspelt de gevolgen van voeding op de microbiële fermentatie en de CH₄-vorming die daarbij optreedt. Het simulatiemodel berekent vanuit voeropname en voerkenmerken (droge stofopname, chemische samenstelling, afbraakkarakteristieken in de pens) de CH₄-vorming in de pens en de dikke darm, en de GE. Het model berekent de MCF op basis van de voorspelde CH₄-emissie en GE. Bij de modelberekeningen wordt dus geen gebruik gemaakt van (vaste) MCF-waarden als aanname of als modelinvoer, wat in de Tier 2 methode wel het geval is.

In paragraaf 2.3 van dit protocol wordt nader ingegaan op de benodigde activiteitendata. De berekeningswijze van de emissiefactoren wordt toegelicht in paragraaf 2.2.



2.2 Emissiefactoren

Alle diercategorieën exclusief rundvee

Voor alle diercategorieën exclusief rundvee wordt een Tier 1 methode toegepast met defaultwaarden voor de emissiefactoren zoals beschreven in de GPG (IPCC, 2001) en de IPPC Guidelines (1997 p.4.10).

Tabel Emissiefactoren

Diersoort	Emissiefactor in kg CH ₄ /dier/jaar
Schapen	8.00
Geiten	5.00
Paarden	18.00
Varkens	1.50

Bron: IPCC, 1997

Rundvee exclusief melk- en kalfkoeien

Rundvee wordt als 'key source' aangemerkt (Van der Maas et al., 2009) en daarom wordt er voor alle rundveecategorieën m.u.v. melk- en kalfkoeien een Tier 2 methode toegepast om de landspecifieke emissiefactoren te berekenen. De emissiefactor luidt in formulevorm:

$$EF_i = (MCF_i \times GE_i \times 365) / 55,65$$

EF_i : Emissiefactor (kg CH₄/dier/jaar) voor diercategorie i,

GE_i : Bruto energie opname (MJ/dier/dag) voor diercategorie i,

MCF_i : Methaanconversiefactor voor diercategorie i (fractie van de bruto energie opname (GE) die door het dier wordt omgezet in CH₄).

Aangenomen wordt dat 1 kg CH₄ een standaard energiegehalte heeft van 55,65 MJ (IPCC, 2001), en de factor 365 is gebruikt om de EF op jaarbasis te berekenen.

Voor de MCF worden defaultwaarden gebruikt zoals beschreven in de GPG (IPCC, 2001). De MCF voor witveeskalfveren is 0,04 en de MCF voor de overige rundveecategorieën (anders dan melk- en kalfkoeien) is 0,06 De bruto energie opname (GE) wordt berekend met de volgende formule:

$$GE_i = DM_i \times 18,45$$

DM_i : Droge stofopname (kg droge stof/dier/dag) voor diercategorie i,

GE_i : Bruto energie opname (MJ/dier/dag) voor diercategorie i.

Aangenomen wordt dat 1 kg droge stof in het rantsoen een bruto energiegehalte heeft van 18,45 MJ/kg droge stof (IPCC, 2001)

Melk- en kalfkoeien

Voor melk- en kalfkoeien wordt een Tier 3 methode gebruikt om een landspecifieke emissiefactor te berekenen. Deze berekening wordt uitgevoerd met een simulatiemodel dat het mechanisme beschrijft van CH₄-vorming als gevolg van microbiële fermentatieprocessen in het maagdkanaal van melk- en kalfkoeien. Het simulatiemodel is ontwikkeld en beschreven in enkele wetenschappelijke (peer-reviewed) artikelen van Dijkstra et al. (1992), Mills et al. (2001) en Bannink et al. (2005, 2008, 2010). Mills et al. (2001) voegden berekeningen voor CH₄ toe aan het model van pensfermentatie van Dijkstra et al (1992), inclusief een weergave van de fermentatieprocessen in de dikke darm. Hierbij werd gebruik gemaakt van de weergave van de vorming van vluchtige vetzuren en waterstofgas volgens Bannink et al. (2006). Meer recent ontwikkelden Bannink et al. (2005, 2008, 2010) een verbeterde weergave van de productie van



vluchtige vetzuren en waterstof door deze onder andere afhankelijk van de zuurgraad van de pensinhoud te maken. Het simulatiemodel is ontwikkeld voor rundvee en wordt als Tier 3 methode toegepast voor de berekening van de CH₄-emissie door melk- en kalfkoeien. Het is in principe ook bruikbaar voor overige rundveecategorieën maar wordt hiervoor niet toegepast.

De EF, GE en MCF bij melk- en kalfkoeien wordt jaarlijks berekend met behulp van het simulatiemodel als Tier 3 methode (Bannink, 2010). Het belangrijkste verschil met de Tier 2 methode volgens de IPCC-methodiek is dat het simulatiemodel als Tier 3 methode de EF voorspelt op basis van voeropname en rantsoeneigenschappen als modelinvoer, zonder gebruik te maken van GE en/of MCF waarden. Een andere belangrijk verschil is dat het simulatiemodel rekening houdt met meerdere rantsoeneigenschappen om de fermentatieprocessen in de pens en dikke darm te voorspellen, in plaats van enkel gebruik te maken van de netto energiewaarde voor melkproductie en onderhoud als rantsoenenkenmerk. Een laatste verschil is dat het simulatiemodel de GE berekent op basis van de droge stofopname en de rantsoensamenstelling.

Op basis van de voorspelde EF en GE berekent het model uiteindelijk een MCF-waarde. De MCF is dus louter een modeluitkomst en wordt niet gebruikt bij de modelberekeningen. Op basis van de gegevens over de emissiefactor (EF) en de bruto energie opname (GE) per jaar kan de MCF worden berekend door:

$$\text{MCF} = \text{EF} \times 55,65 / (\text{GE} \times 365)$$

EF : Emissiefactor (kg CH₄/jaar/dier) berekend met het simulatiemodel,
GE : Bruto energie opname (MJ/dier/dag) berekend door simulatiemodel.
MCF : Methaanconversiefactor (fractie van de bruto energie opname (GE) die wordt omgezet in CH₄). Aangenomen wordt dat 1 kg CH₄ een standaard energiegehalte heeft van 55,65 MJ (IPCC, 2001), en de factor 365 is gebruikt om de GE op jaarbasis te berekenen.

Indien de resultaten van het simulatiemodel in een bepaald jaar niet beschikbaar zijn is er een tweede (vereenvoudigde) methode waarmee de emissiefactor kan worden bepaald waarbij gebruik gemaakt wordt van de MCF en GE/DM gegevens uit de drie voorgaande jaren (als terugvaloptie). Voor de bepaling van de emissiefactor geldt dan de volgende formule:

$$\text{EF} = (\text{DM} \times 365 \times \text{GE} / \text{DM (bruto energiegehalte in de droge stof; gemiddelde jaar n-1 tot jaar n-3)} \times \text{MCF (gemiddelde jaar n-1 tot jaar n-3)}) / 55,65$$

DM : Droge stofopname (kg droge stof/dier/dag),
EF : Emissiefactor (kg CH₄/dier/jaar),
GE : Bruto energie opname (MJ/dier/dag),
MCF : Methaanconversiefactor (fractie van de bruto energie opname (GE) die wordt omgezet in CH₄). Aangenomen wordt dat 1 kg CH₄ een standaard energiegehalte heeft van 55,65 MJ (IPCC, 2001), en de factor 365 is gebruikt om DM op jaarbasis te berekenen.

De emissiefactor wordt nauwkeuriger via laatstgenoemde formule berekend naarmate er minder variatie in rantsoenenkenmerken optreedt tussen de drie opeenvolgende jaren n-3 tot n-1. De MCF is afhankelijk van alle invoergegevens van het simulatiemodel: 1) het niveau van voeropname, 2) de chemische samenstelling van het opgenomen voer, en 3) de afbraakarakteristieken in de pens. De herkomst van deze gegevens wordt beschreven in paragraaf 2.3.



2.3 Activiteitendata

Voor het uitvoeren van de berekening volgens de methode die is beschreven in paragraaf 2.1 van dit protocol is informatie omtrent de dieren aantallen nodig. De basisgegevens en uitgangspunten voor de berekening van de emissiefactoren zijn in paragraaf 2.2 beschreven. In deze paragraaf wordt een meer gedetailleerde beschrijving gegevens van de benodigde gegevens en de herkomst van deze gegevens.

Dieraantallen

De volgende hoofdcategorieën van de veestapel wordt gehanteerd:

- Melk- en kalfkoeien
- Volwassen niet melk- en kalfkoeien
- Jongvee
- Varkens
- Schapen
- Geiten
- Paarden en pony's

Binnen deze hoofdcategorieën worden in Nederland via de jaarlijkse Landbouwtelling verscheidene subcategorieën onderscheiden. In de landbouwtelling worden alle agrarische bedrijven waargenomen waarvan het hoofdbedrijfsgebouw in Nederland is gelegen en die groter zijn dan of gelijk zijn aan 3 Nederlandse grootte-eenheden (nge). Voor deze populatiestatistiek wordt verwezen naar het CBS (2009; www.cbs.nl) en Van der Maas et al. (2009).

In het geval dat er dierziekten optreden in het beschouwde jaar van de landbouwtelling, en om die reden het aantal gemiddeld over het jaar gehouden dieren afwijkt van de telling, stelt de Werkgroep Uniformering berekening Mest- en mineralencijfers (WUM) de dieren aantallen bij en worden deze aangepaste dieren aantallen gebruikt t.b.v. de emissieberekeningen. De WUM berekeningen worden gerapporteerd door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, 2009; www.cbs.nl).

Voeropname en rantsoen rundvee exclusief melk- en kalfkoeien

De droge stofopname DM (kg droge stof/dier/dag) wordt ontleend aan berekeningen door de Werkgroep Uniformering berekening Mest- en mineralencijfers (WUM). De opname van de diverse rantsoencomponenten (graskuil, maïskuil, standaard krachtvoer, eiwitrijk krachtvoer en vochtige diervoeders) wordt per rundveecategorie jaarlijks berekend op basis van nationale statistieken van de hoeveelheden van deze voeders die verhandeld of geproduceerd worden. Deze voeders dekken een deel van de totale energiebehoefte die middels een landspecifieke methode jaarlijks berekend wordt voor de verschillende rundveecategorieën. Vervolgens wordt verondersteld dat het resterende deel van de energiebehoefte wordt gedekt door de opname van weidegras. De WUM berekent vanaf het jaar 1990 jaarlijks de droge stofopname, die ook invoer is voor de berekening van de mestproductie en mineralenexcretie van landbouwhuisdieren (Van Bruggen 2003 t/m 2008). De eerste uitgave verscheen in 1994 (WUM, 1994) en de meest recente met een herziene berekening van de rantsoenen van 1990 tot en met 2008 verscheen in 2009 (CBS, 2009). De totale drogestof opname van het rundvee exclusief melk- en kalfkoeien is weergegeven in het rapport van Smink (2005) en in de bijlagen van de nationale emissieregistratie van broeikasgassen (NIR; Brandes et al., 2006; Van der Maas et al., 2009).

Voeropname en rantsoen melk- en kalfkoeien

Belangrijke invoergegevens voor het simulatiemodel zijn:

- 1) De voeropname zoals berekend door de WUM (CBS, 2009) met dezelfde methode als hierboven beschreven voor de categorie rundvee exclusief melk- en kalfkoeien,



- 2) De chemische samenstelling van de droge stof in de verschillen rantsoencomponenten (weidegras, graskuil, maïskuil, standaard krachtvoer, eiwitrijk krachtvoer en vochtige diervoeders). Een onderscheid wordt gemaakt tussen oplosbare koolhydraten (waaronder suikers), zetmeel, celwanden (hemi-cellulose, cellulose, lignine), ruw eiwit (met onderscheid van de fractie ammoniak), ruw vet en ruwe as. Gegevens omtrent de chemische samenstelling worden ontleend aan nationale statistieken zoals verzameld en aangereikt door het CBS. De gegevens voor ruwvoerders (weidegras, graskuil en maïskuil) worden ontleend aan de gegevens van het BLGG te Oosterbeek waar analyses worden uitgevoerd aan ruwvoerders en bij de diervoederproducenten. De gehanteerde gegevens werden eerder omschreven door Smink et al. (2005). Bij een recente herziening van de WUM-rantsoenen van 1990 tot en met 2008 door het CBS (CBS, 2009) zijn nieuwe berekeningen uitgevoerd en gegevens rondom de chemische samenstelling zijn als bijlage toegevoegd aan de rapportage door Bannink (2010). Een deel van de ingekuilde ruwvoerders wordt niet in hetzelfde jaar gevoerd aan melkvee als het jaar waarin de analyses zijn verricht. Hier wordt niet voor gecorrigeerd in het huidige protocol en er wordt aangenomen dat de jaarlijks aangereikte chemische samenstelling en voederwaardes representatief zijn voor de door WUM berekende rantsoenen (CBS, 2009) voor datzelfde jaar.
- 3) De afbraakcharacteristieken in de pens van zetmeel, ruw eiwit en celwanden. In de rapportage van Bannink (2010) worden eveneens de aannames vermeld voor deze afbraakcharacteristieken (oplosbare fractie, de potentieel afbreekbare fractie, de onafbreekbare fractie en de fractionele afbraaksnelheid van de potentieel afbreekbare fractie).

Deze gegevens variëren met veranderingen in het aandeel van de afzonderlijke rantsoencomponenten (weidegras, graskuil, maïskuil, standaard krachtvoer, eiwitrijk krachtvoer, vochtrijke diervoeders) en met veranderingen in de chemische samenstelling en afbraakcharacteristieken van deze rantsoencomponenten. Ook de fractionele passagesnelheid van fermenteerbaar materiaal en de zuurgraad in de pens en dikke darm zijn belangrijke modelparameters die een grote invloed hebben op de voorspelde CH₄-productie. Het betreft echter interne modelparameters die niet als modelinvoer nodig zijn. Uitgangspunt in dit protocol is dat het simulatiemodel de fractionele passagesnelheid voorspelt als functie van de droge stofopname en de zuurgraad als functie van de concentratie van vluchtige vetzuren (Mills et al., 2001).

3 Werkprocessen

Proces voor raming (t-1)

Voorlopige cijfers voor het jaar (t-1), worden vastgesteld ongeveer medio het jaar (t). Voor de berekening wordt het onderstaande proces gevolgd. De voorlopige data van de werkveldtrekker zijn berekend door extrapolatie van de cijfers van het jaar voorafgaand aan (t-1) [dus (t-2)] op basis van ontwikkelingen in de belangrijkste activiteitendata in het jaar (t-1).

Voor de berekening van CH₄-emissie als gevolg van pensfermentatie worden hiervoor de gegevens over de dieraantallen van het jaar (t-1) vermenigvuldigd met de emissiefactoren zoals die zijn vastgesteld voor het jaar (t-2) (zie proces voor definitieve vaststelling (t-2)).

INPUT	PROCES	OUTPUT	WIE
Voorlopige datawerkveld-trekker (t-1)	Opnemen t-1gegevens in Emissieregistratiedatabase	ER-db met (t-1) data	Werkveldtrekker Overige bkg ER werkgroep landbouw en landgebruik
ER-db met (t-1) data	Controle emissiecijfers: vergelijking met vorige jaren (trend) eventueel aanpassen en documenteren van het geheel	ER-db (t-1) met eventueel aangepaste cijfers	ER werkgroep landbouw en landgebruik



Proces voor definitieve vaststelling (t-2)

De definitieve emissiecijfers voor het jaar (t-2) (zoals beschreven in dit protocol) worden in december van het jaar (t-1) vastgesteld en in het jaar (t) gepubliceerd in de NIR. De berekening gebeurt volgens het onderstaande proces.

INPUT	PROCESSTAP	OUTPUT	WIE
<p>Kentallen t.b.v. emissiefactoren rundvee Droge stofopname (DM) & opname afzonderlijke rantsoencomponenten per rundveecategorie (WUM/CBS)</p> <p>Chemische samenstelling rantsoencomponenten melkkoeien (Bannink, 2010) volgens opgave door CBS en ontleend aan jaarstatistieken van BLGG en diervoederproducenten)</p> <p>MCF overig rundveecat. (IPCC, 1997)</p>	<p>Berekening CH₄-emissiefactoren</p> <p>- Melk- en kalfskoeien m.b.v. simulatiemodel (Dijkstra et al., 1992; Mills et al., 2001; Bannink et al., 2005, 2008 & 2010; Bannink, 2010)</p> <p>- Overige rundveecategorieën m.b.v. $DM \times 18,45 \times MCF / 55,65$</p>	<p>CH₄-emissiefactoren pensfermentatie per Rundvee-categorie:</p> <p>melk- en kalfkoeien (A1)</p> <p>Overige rundveecategorieën (A2)</p>	<p>Werkveldtrekker overige bkg ER werkgroep landbouw en landgebruik</p>
<p>CH₄-emissiefactoren Melk en kalfkoeien (A1) Overig rundveecat. (A2) Overige dieren (IPCC, 1997) (A3)</p> <p>Dieraantallen per diercategorie (Statline CBS, of WUM indien bijstelling t.g.v. dierziekten) (B)</p>	<p>(A1 x B1) (A2 x B2) (A3 x B3)</p>	<p>CH₄-emissie per diercategorie in Excel spreadsheet</p> <p>(C) = C1 + C2 + C3</p>	<p>Werkveldtrekker overige bkg ER werkgroep landbouw en landgebruik</p>
<p>CH₄-emissie</p> <p>(C)</p>	<p>Eerste validatie emissiecijfers via trendanalyse en expert judgement</p>	<p>Gevalideerde emissiecijfers in Excel spreadsheet (=Definitieve data werkveldtrekker (t-2))</p> <p>(D)</p>	<p>Werkveldtrekker overige bkg ER werkgroep landbouw en landgebruik</p>
<p>Definitieve data werkveldtrekker (t-2)</p> <p>(D)</p>	<p>Opnemen t-2 gegevens in Emissieregistratiedatabase</p>	<p>ER-db met (t-2) data</p> <p>(E)</p>	<p>Werkveldtrekker overige bkg ER werkgroep landbouw en landgebruik</p>
<p>ER-db met (t-2) data</p> <p>(E)</p>	<p>Controle en trendanalyse lucht-emissies: afwijkingen verklaren of cijfers aanpassen</p>	<p>Definitief vastgestelde emissiecijfers t-2</p> <p>(F)</p>	<p>TNO</p>



4 Onzekerheid en kwaliteit

4.1 Onzekerheidsinschatting

Jaarlijks wordt voor het indienen van de NIR door de ER een Tier 1 onzekerheidsanalyse uitgevoerd op de broeikasgasinventarisatie volgens de IPCC richtlijnen. De gebruikte aannames en resultaten worden beschreven in een achtergrondrapport bij het National Inventory Report (NIR). In aanvulling hierop worden, voor zover opgenomen in het QA/QC programma voor de betreffende periode, regelmatig in specifieke situaties extra analyses uitgevoerd, waaronder eventuele actualisering van Tier 2 onzekerhedenanalyses. In 2006 is de Tier 2 onzekerheidsanalyse geactualiseerd. Deze analyse toonde aan dat de Tier 1 onzekerheidsanalyse voldoende betrouwbaar is en dat de Tier 2 onzekerheidsanalyse slechts met een tussenpoos van ongeveer 5 jaar hoeft te worden uitgevoerd, tenzij een grote verandering bij een belangrijke bron aanleiding geeft tot een eerdere actualisatie.

Bronspecifieke onzekerheid

De onzekerheidsschatting_{totaal} betreft de wortel van de optelsom van onzekerheid van activiteiten data (AD_{onz}) in het kwadraat en de onzekerheid van de emissiefactor (EF_{onz}) in het kwadraat. De grootte van de totale onzekerheid wordt hierbij voornamelijk bepaald door de grootste onzekerheidsterm, AD_{onz} of EF_{onz} .

$$\text{Onzekerheidsschatting}_{\text{totaal}} = \sqrt{(EF_{onz}^2 + AD_{onz}^2)}$$

De schattingen ten aanzien van de AD_{onz} en EF_{onz} en de totale onzekerheidsschatting die momenteel gehanteerd worden zijn terug te vinden in onderstaande tabel.

IPCC	Categorie	Gas	AD_{onz}	EF_{onz}	Onzekerheid schatting _{totaal}
4A1	Emissie van pens- en darmfermentatie: melk- en kalkkoeien	CH ₄	5	15	16
4A1	Emissie van pens- en darmfermentatie: overig rundvee	CH ₄	5	20	21
4A8	Emissie van pens- en darmfermentatie: varkens	CH ₄	5	50	50
4A	Emissie van pens- en darmfermentatie: overig	CH ₄	5	30	30

De onzekerheid in CH₄-emissies a.g.v. pens- en darmfermentatie is gebaseerd op expert judgement. De onzekerheid in activiteitendata (=dieraantallen) is circa 5% en de onzekerheden in de CH₄-EF van overig rundvee (exclusief melk- en kalkkoeien) en varkens en overige dieren (paarden, schapen en geiten) bedraagt respectievelijk 20, 50 en 30% (Olivier et al, 2009).

De onzekerheid in de CH₄-EF voor pens- en darmfermentatie bij melk- en kalkkoeien is gebaseerd een analyse van de invloed van onzekerheid rondom de invoergegevens voor het simulatiemodel als Tier 3 methode op de voorspelde EF en MCF (Bannink, 2010). Omdat het simulatiemodel niet wordt gebruikt voor overig rundvee is ook de lagere onzekerheid voor melk- en kalkkoeien niet van toepassing voor de categorie overig rundvee.

4.2 Kwaliteitsbewaking en –borging (QA/QC)

De werkveldtrekkers van de ER checken:

1. of basisdata goed zijn gedocumenteerd en overgenomen (check op typfouten, gebruik van juiste eenheden en goede omrekening);
2. of de berekeningen juist zijn uitgevoerd;



3. of aannames consistent zijn, alsmede of specifieke parameters (zoals activiteiten data) consistent zijn gebruikt;
4. of complete en consistente datasets zijn aangeleverd.

Eventuele hieruit voortvloeiende acties worden bijgehouden op een 'actielijst'. Alvorens de dataset wordt vastgesteld, wordt gecheckt of de relevante acties op deze lijst en de QC checks zijn afgehandeld. Vaststelling hiervan vindt plaats in de Werkgroep Emissie Monitoring (WEM), dan wel schriftelijk door een e-mail van de instituutvertegenwoordigers aan de projectleider ER bij PBL.

Bij het toevoegen van nieuwe data wordt door de werkveldtrekker een documentatiesheet ingevuld. Om efficiencyredenen geldt een ondergrens voor verplichte documentatie van wijzigingen van 5% op doelgroepniveau en 0,5% op niveau van het nationale totaal. Deze documentatiesheets vormen een onderdeel van de trendanalyse en van de uiteindelijke vaststelling van de dataset.

De werkveldtrekkers van de ER communiceren per e-mail over deze QC-checks, resultaten en acties. Zij sturen daarvan een afschrift aan de secretaris van de ER, die een logboek bijhoudt en deze e-mails bundelt in een "actielijst". Daarmee wordt expliciet gemaakt dat de benodigde checks en correcties zijn uitgevoerd.

4.3 Verificatie

Om de kwaliteit van de emissiecijfers voor de bronnen in dit protocol te checken worden algemene QA/QC-procedures gevolgd, in lijn met de IPCC guidelines. Deze zijn nader beschreven in het QA/QC programma voor het National System en de jaarlijkse werkplannen van de Emissieregistratie.

- Sectorspecifieke QC

Voor de bronnen in dit protocol worden daarnaast geen aanvullende specifieke verificatieprocedures uitgevoerd.

4.4 Verbeterpunten t.a.v. de huidige berekeningsmethodiek

4.4.1 Historie

In het begin van de negentiger jaren zijn op basis van een voorloper van de IPCC Guidelines eenmalig landspecifieke emissiefactoren afgeleid die betrekking hadden op de situatie omstreeks 1990 (Van Amstel et al., 1993). Dit is later samengevat in Spakman et al. (1997).

Medio 2004 is t.b.v. de NIR 2005 (Klein Goldewijk et al, 2005) in navolging van de IPCC-GPG (IPCC,2001) een update van de emissiefactoren voor rundvee uitgevoerd op basis van de IPCC tier 2 methodiek (Smink et al., 2004). De voornaamste aanpassing was dat, in tegenstelling tot de tot dan toe gehanteerde oude emissiefactoren, bij melk- en kalkkoeien voortaan rekening gehouden werd met de jaarlijkse toename in melkproductie. Verder zijn toen voor de gehele periode 1990 – 2003 de diergewichten en rantsoenen integraal ontleend aan informatie van de WUM.

Tevens is er vanaf de NIR 2005 sprake van een consistente tijdreeks. Bij rundvee zijn hiertoe voor 1990 t/m 1994 de vleeskalveren uitgesplitst in rosé-vleeskalveren en witvleeskalveren (net als voor de navolgende jaren).

Ook is er vanaf dan sprake van een volledige tijdreeks, doordat paarden en pony's als bron zijn toegevoegd.



Het grote bezwaar van de IPCC-Tier 2 methode voor berekening van de CH₄-productie a.g.v. pensfermentatie bij rundvee is dat deze methode geen rekening houdt met het mechanisme van de fermentatieprocessen wat verantwoordelijk is voor de invloed van voeropname en voerkenmerken op de CH₄-productie. Veranderingen in voersamenstelling die in werkelijkheid een verlaging van de CH₄-productie geven, leiden met de IPCC-Tier 2 berekeningen soms tot een hogere berekende CH₄-productie. Dit is bijvoorbeeld het geval bij verhoging van het aandeel maiskuil in het rantsoen. Ook kwam de droge stofopname zoals berekend volgens de IPCC methodiek niet overeen met de droge stofopname zoals de WUM die berekent.

Daarom is t.b.v. de NIR 2006 (Brandes et al, 2006) medio 2005 wederom een update van de emissiefactoren uitgevoerd en ervoor gekozen om de Nederlandse methode voor de berekening van de energie-opname door rundvee (conform de methoden van de WUM) als basis te nemen voor de berekening van de CH₄-productie. Voor melkkoeien werd vanaf dit moment de CH₄-productie berekend m.b.v. het simulatiemodel en voor het overige rundvee m.b.v. standaardwaarden voor energiegehalte in het rantsoen in combinatie met de default MCF van de IPCC (2001). De gebruikte MCF is de IPCC default van 0,06 (m.u.v. een MCF van 0,04 voor witvleeskalveren).

Een andere wijziging begin 2006 betreft de emissiefactor van geiten. Van de vanaf 1993 gebruikte landspecifieke inputdata ten behoeve van de vaststelling van een landspecifieke emissiefactor is geen publicatie beschikbaar. Vanwege de geringe bijdrage van deze bron is geen tier 2 benadering vereist en wordt teruggevallen op de IPCC default emissiefactor.

In 2009 zijn alle emissiefactoren voor rundvee herberekend. In de oude methode werd de droge stof opname niet gecorrigeerd voor voederverliezen. Tegelijkertijd is gebleken dat de efficiëntie waarmee melk- en kalfkoeien voer in melk omzetten lager is waardoor de voeropname hoger moet zijn om de gerealiseerde melkproductie te bereiken. Beide wijzigingen zijn tegelijkertijd doorgevoerd en hebben tevens invloed gehad op de berekeningen van N₂O uit mest en landbouwbodems.

4.4.2 Toekomst

N.v.t.

5 Overige aspecten

5.1 Puntbroncriteria

N.v.t.

5.2 Stofprofielen

N.v.t.

5.3 Regionalisering

N.v.t.

5.4 Tijdgebonden variaties in de bronsterkte

N.v.t.



6 Referenties en aanvullende documenten

6.1 Referenties

Bannink, A., M.C.J. Smits, E. Kebreab, J.A.N. Mills, J.L. Ellis, A. Klop, J. France & J. Dijkstra (2010) Simulating the effects of grassland management and grass ensiling on methane emission from lactating cows. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 148, 55–72.

Bannink, A. (2010), Onderbouwing van de onzekerheid van de geschatte methaanemissie door melkvee in de Nederlandse Emissie Registratie. WoT rapport, Wageningen, the Netherlands (*in druk*).

Bannink, A., J. France, S. Lopez, W.J.J. Gerrits, E. Kebreab, S. Tamminga & J. Dijkstra (2008) Modelling the implications of feeding strategy on rumen fermentation and functioning of the rumen wall. *Animal Feed Science and Technology* 143, 3-26

Bannink, A., J. Kogut, J. Dijkstra, E. Kebreab, J. France, A.M. Van Vuuren & S. Tamminga (2006) Estimation of the stoichiometry of volatile fatty acid production in the rumen of lactating cows. *Journal of Theoretical Biology* 238, 36–51.

Bannink, A., J. Dijkstra, J.A.N. Mills, E. Kebreab & J. France (2005) Nutritional strategies to reduce enteric methane formation in dairy cows. pp. 367-376. In: Emissions from European Agriculture. Eds. T. Kuczyński, U. Dämmgen, J. Webb & A. Myczko. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands.

Brandes L.J, P.G. Ruysenaars, H.H.J. Vreuls, P.W.H.G. Coenen, K. Baas, G. van den Berghe, G.J. van den Born, B. Guis, A. Hoen, R. te Molder, D.S. Nijdam, J.G.J. Olivier, C.J. Peek & M.W. van Schijndel (2006) Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2004, National Inventory Report 2006, MNP report 500080001 / 2006, Bilthoven, the Netherlands.

CBS (2009) Dierlijke mest en mineralen 1990–2008*. Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag, the Netherlands.

Dijkstra, J., H.D.St.C. Neal, D.E. Beever & J. France (1992) Simulation of nutrient digestion, absorption and outflow in the rumen: model description. *Journal of Nutrition* 122, 2239-2256.

Ellis, J.L., J. Dijkstra, E. Kebreab, A. Bannink, N.E. Odongo, B.W. McBride & J. France (2008) Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 146, 213–233.

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

Kebreab, E., J. Dijkstra, A. Bannink & J. France (2009) Recent advances in modeling nutrient utilization in ruminants. *Journal of Animal Science* 87, E111-E122.



Klein Goldewijk, K., J.G.J. Olivier, J.A.H.W. Peters, P.W.H.G. Coenen & H.H.J. Vreuls (2005) Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2003. National Inventory Report 2005. RIVM report 773201009. Bilthoven, the Netherlands.

Mills, J.A.N., J. Dijkstra, A. Bannink, S.B. Cammell, E. Kebreab & J. France (2001) A mechanistic model of whole-tract digestion and methanogenesis in the lactating dairy cow: Model development, evaluation and application. *Journal of Animal Science* 79, 1584-1597.

Olivier J.G.J., L.J. Brandes & R.A.B. te Molder (2009) Uncertainty in the Netherlands' greenhouse gas emissions inventory: Estimate of annual and trend uncertainty for Dutch sources of greenhouse gas emissions using the IPCC Tier 1 approach, PBL-Report 500080013, Bilthoven, the Netherlands (*in druk*).

Smink, W., K.D. Bos, A.F. Fitié, L.J. van der Kolk, W.K.J. Rijm, G. Roelofs & G.A.M. van den Broek (2003) Methaanreductie melkvee. Een onderzoeksproject naar inschatting van de methaanproductie vanuit de voeding en naar de reductiemogelijkheden via de voeding van melkkoeien. FIS rapport in het kader van ROB programma NOVEM, Utrecht, the Netherlands.

Smink, W., W.F. Pellikaan, L.J. van der Kolk & K.W. van der Hoek, 2004. Methaanproductie als gevolg van pensfermentatie bij rundvee berekend middels de IPCC-GPG Tier 2 methode. FIS rapport FS 04 12/RIVM rapport 680.125.001, Wageningen, the Netherlands.

Smink, W., K.W. van der Hoek, A. Bannink & J. Dijkstra (2005) Calculation of methane production from enteric fermentation in dairy cows, Wageningen/Bilthoven, the Netherlands.

Smink, W., 2005. Calculated methane production from enteric fermentation in cattle excluding dairy cows. FIS notitie voor SenterNovem, Wageningen, the Netherlands.

Spakman, J., M.M.J. van Loon, R.J.K. van der Auweraert, D.J. Gielen, J.G.J. Olivier & E.A. Zonneveld (1997) Methode voor de berekening van broeikasgasemissies. Publicatiereeks Emissieregistratie 37. Ministerie van VROM, Den Haag, the Netherlands.

Tamminga, S., A. Bannink, J. Dijkstra & R. Zom (2007) Feeding strategies to reduce methane loss in cattle. ASG report 34, Animal Sciences Group, Wageningen UR, Lelystad, the Netherlands.

Van Amstel, A.R., R.J. Swart, M.S. Krol, J.P. Beck, A.F. Bouwman & K.W. van der Hoek (1993) Methane, the other greenhouse gas. Research and policy in the Netherlands. RIVM report 481507001, Bilthoven, the Netherlands.

Van Bruggen, C. (2003 t/m 2008) Dierlijke mest en mineralen 2001 t/m 2006 (www.cbs.nl), Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag, the Netherlands.

Van der Maas, C.W.M., Coenen, P.W.H.G., Zijlema, P.J., Brandes, L.J., Baas, K., Van den Berghe, G., Van den Born, G.J., Guis, B., Geilenkirchen, G., Te Molder, R., Nijdam, D.S., Olivier, J.G.J., Peek, C.J., Van Schijndel, M.W. & Van der Sluis (2009) Gas emissions in the Netherlands 1990-2007. National Inventory Report 2009. PBL report 500080012 / 2009, Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven, the Netherlands.

Veen, W.A.G. (2000) Veevoedermaatregelen ter vermindering van methaanproductie door herkauwers. Instituut voor de Veevoeding De Schothorst, Lelystad, the Netherlands.



WUM (1994) Uniformering berekening mest en mineralen. Standaardcijfers rundvee, schapen en geiten, 1990 t/m 1992. Werkgroep Uniformering berekening mest- en mineralencijfers (redactie M.M. van Eerd). CBS, IKC-Veehouderij, LAMI, LEI-DLO, RIVM en SLM, the Netherlands.

6.2 Aanvullende informatie

N.v.t.