Vlaanderen
is landbouw & visserij

KLIMAATMITIGATIE IN LANDBOUW

Een literatuurstudie

2016

DEPARTEMENT
LANDBOUW & VISSERIJ

WWW.VLAANDEREN.BE/LANDBOUW

DEPARTEMENT
LANDBOUW & VISSERIJ

Studie

KLIMAATMITIGATIE IN LANDBOUW

EEN LITERATUURSTUDIE

2016

Ellen Maertens, Linn Dumez en Dirk Van Gijseghem

Vlaanderen
is landbouw en visserij

www.vlaanderen.be

Colofon

Samenstelling

Departement Landbouw en Visserij

Afdeling Monitoring en Studie

Verantwoordelijk uitgever

Jules Van Liefferinge, secretaris-generaal Departement Landbouw en Visserij

Depotnummer

D2016/3241/241

Lay-out

Vlaamse overheid

Voor meer informatie over het rapport kunt u contact opnemen met de auteur(s) van het rapport. Ons e-mailadres is als volgt samengesteld: VOORNAAM.NAAM@LV.VLAANDEREN.BE.

U vindt onze rapporten terug op:

WWW.VLAANDEREN.BE/LANDBOUW/STUDIES

Vermenigvuldiging en/of overname van gegevens zijn toegestaan mits de bron expliciet vermeld wordt:

Maertens E., Dumez L. & Van Gijseghem D. (2016) *Klimaatmitigatie in landbouw*, Departement Landbouw en Visserij, Brussel.

Graag vernemen we het als u naar dit rapport verwijst in een publicatie. Als u een exemplaar ervan opstuurt, nemen we het op in onze bibliotheek.

Wij doen ons best om alle informatie, webpagina's en downloadbare documenten voor iedereen maximaal toegankelijk te maken. Indien u echter toch problemen ondervindt om bepaalde gegevens te raadplegen, willen wij u hierbij graag helpen. U kunt steeds contact met ons opnemen.

Deze publicatie werd door het Departement Landbouw en Visserij met de meeste zorg en nauwkeurigheid opgesteld. Er wordt evenwel geen enkele garantie gegeven omtrent de juistheid of de volledigheid van de informatie in deze publicatie. De gebruiker van deze publicatie ziet af van elke klacht tegen het Departement Landbouw en Visserij of zijn ambtenaren, van welke aard ook, met betrekking tot het gebruik van de via deze publicatie beschikbaar gestelde informatie.

In geen geval zal het Departement Landbouw en Visserij of zijn ambtenaren aansprakelijk gesteld kunnen worden voor eventuele nadelige gevolgen die voortvloeien uit het gebruik van de via deze publicatie beschikbaar gestelde informatie.

INHOUD

Voorwoord 6
Samenvatting 7
1 Inleiding 9
1.1 Klimaatimpact van de Vlaamse landbouw 9
1.2 Internationaal, Europees en Vlaams klimaatbeleid 12
1.3 Methodologie en afbakening van de literatuurstudie 14
2 Enterische methaanmitigatie strategieën bij herkauwers 17
2.1 Voeders en voedermanagement 19
2.1.1 Krachtvoeder 19
2.1.2 Kwaliteit van weidegras en graskuil 20
2.1.3 Oogstmoment van de maïs 21
2.1.4 Bewerken van voeder 21
2.1.5 Precisievoederen en voederanalyses 22
2.1.6 Beweiden 22
2.2 Pensregulatoren: voederadditieven en biologische controle 23
2.3 Productiviteitsstijging door diermanagement, voortplantingsmanagement en bedrijfsmanagement 27
2.3.1 Genetische selectie 27
2.3.2 Managementbenaderingen om productiviteit te bevorderen en enterische methaanintensiteit te verminderen 30
2.3.3 Bedrijfsmanagement 34
2.4 Combinatie van maatregelen 34
2.5 Rapportering 34
3 Stal- en mestmanagement 36
3.1 Voedermanagement 38
3.1.1 Voedermanagement bij runderen 38
3.1.2 Bedrijfsmanagement 39
3.1.3 Nutriëntenarme voeders en verbeterde voedertechnieken bij varkens en pluimvee 40
3.2 Stallen 41
3.2.1 Ammoniakemissiearme stallen voor varkens en pluimvee 41
3.2.2 Rundveestallen 42
3.2.3 Strooiselmanagement in vleesveestallen 43
3.2.4 Beweiden versus opstallen van melkvee 43
3.3 (Externe) mestopslag, mestbewerking en mestverwerking 44
3.3.1 Externe mestopslag en mestbewerking 44
3.3.2 Vergisting van mest 46
3.4 Mestaanwending 48
3.4.1 Technieken voor mestaanwending 48
3.4.2 Precisielandbouw in de akkerbouw 50
3.4.3 Inhibitie van nitrificatie in de bodem 50

3.5 Combinatie van maatregelen 51
3.6 Rapportering 52
4 Energie 53
4.1 Energiebesparing in serres 53
4.2 Energiebesparing in stallen 58
4.3 Energiebesparing bij bewaring 62
4.4 Optimale benutting van fossiele energiebronnen 62
4.5 Productie en gebruik van hernieuwbare energiebronnen 63
4.6 Rapportering 66
5 Conclusies 71
Figuren 72
Tabellen 73
Bronnen 74
Afkortingen 81

VOORWOORD

Klimaatverandering wordt erkend als één van de ernstigste uitdagingen waarmee onze maatschappij - en zeker ook de landbouw - in de 21ste eeuw geconfronteerd wordt. De oorzaak wordt in grote mate gezocht bij de emissie van broeikasgassen zoals koolstofdioxide, dat vaak gerelateerd is aan brandstofgebruik, maar ook bij de emissie van de zogenaamde 'landbouwgassen' methaan en lachgas. De bijdrage die de sector kan leveren situeert zich dan ook op het vlak van energiegebruik en emissies. Daarnaast zal de sector zich moeten aanpassen aan deze klimaatverandering.

De klimaatverandering en de energieproblematiek vertonen vele raakpunten met elkaar en vormen samen sinds jaren voorwerp van het wereldwijde maatschappelijke debat. Dit resulteerde in het Akkoord van Parijs dat tijdens de klimaattop van eind 2015 (COP21) bereikt werd. Klimaatverandering is in se een mondiaal gebeuren en Vlaanderen – ook de Vlaamse landbouw - is in deze context slechts een kleine speler maar kan niettemin zijn bijdrage leveren aan het bereiken van de klimaatdoelstellingen.

Deze literatuurstudie werd opgemaakt ter voorbereiding van de tweede Vlaamse klimaattop. Er wordt een oplijsting gegeven van maatregelen die kunnen bijdragen aan de reductie van de uitstoot van broeikasgassen in de landbouw. Hiervoor werd nationaal en internationaal onderzoek gescreend op maatregelen die de broeikasgasemissies uit veeteelt, stal- en mestmanagement en energiegebruik op het landbouwbedrijf reduceren.

We wensen de stuurgroepleden Sara Ochelen, Julien Matheys, Koen Holmstock, Kevin Grauwels en Inge Van Vynckt te bedanken voor hun zeer gewaardeerde inbreng. Ook de collega's van het ILVO, en in het bijzonder Sam De Campeneere, Nico Peiren en Veerle Van linden, wensen we te danken voor hun input en het grondig nalezen van de nota. Tot slot danken we ook Jasper Wouters, Suzy Van Gansbeke en Evelien Decuypere voor hun medewerking.

SAMENVATTING

In deze nota wordt op basis van een literatuurstudie een overzicht gegeven van maatregelen die in de landbouw genomen kunnen worden om de broeikasgasuitstoot te beperken. Bij het verder uitwerken van het klimaatbeleid dient bovendien de interactie tussen de verschillende maatregelen bekeken te worden, evenals de effecten op andere milieucomponenten, de sociale en economische gevolgen.

Klimaatimpact landbouw

De belangrijkste broeikasgassen in de landbouwsector zijn, in afnemende omvang, methaan (CH_4), lachgas (N_2O) en CO_2. De totale broeikasgasuitstoot bestaat uit energetische emissies, bodememissies, emissies ten gevolge van mestopslag en ten gevolge van verteringsprocessen. Voor elk van deze emissiebronnen worden mitigatiemaatregelen besproken. Maatregelen die impact hebben op de emissies uit landgebruik en bodembeheer komen hier niet aan bod.

Mitigatiemaatregelen

Enterische emissies

Een belangrijk deel van de broeikasgasemissies van de landbouw bestaat uit methaan ten gevolge van verteringsprocessen (voornamelijk bij herkauwers).

In intensieve melkveehouderijsystemen hebben voeders en voedermanagement een bescheiden potentieel om deze enterische methaanemissies per kg meetmelk te reduceren en wordt het reductiepotentieel geschat tussen 2,5 en 15%. De impact zal voornamelijk gerealiseerd worden door een verbeterde voederefficiëntie. Meerdere van deze maatregelen met betrekking tot voeders en voedermanagement kunnen wellicht gecombineerd worden om de enterische methaanintensiteit te verminderen, maar het effect zal niet volledig additief zijn. De implementatie van veel van deze maatregelen zal omwille van praktische en economische redenen enkel gebeuren bij productieve melkkoeien waardoor de reductie in enterische methaanemissie lager zou zijn op kuddeniveau dan op individuele koe-basis.

Ten tweede kunnen ook pensregulatoren de methaanvorming bij vertering beperken. In de melkveesector wordt het huidig potentieel van pensregulatoren voor methaanreductie per kg meetmelk laag (5 %) ingeschat omdat er nog geen goede pensregulatoren op de markt zijn. Onderzoek moet echter verder inzetten op het verhelderen van pensmicrobiële interacties en een betere kennis van het functioneren van de pens om pensregulatoren te ontwikkelen. Naar de toekomst toe lijken vooral 3-nitrooxypropanol en vaccinatie potentieel te hebben.

Ten derde zal genetische selectie voor melkproductie, energie-efficiëntie, ziekteresistentie en warmtetolerantie resulteren in reducties in enterische methaanintensiteit door gestegen melkproductie, verdunning van de energie voor levensonderhoud, en verlaagde vervangingspercentages. De gecombineerde impact van deze genetische benaderingen in intensieve melkveesystemen om de enterische methaanintensiteit te reduceren wordt geschat op 9% tot 19%. Deels manifesteert de reductie zich op koe niveau (hogere melkopbrengst), deels op kudde niveau (lagere opruiming en minder vervangingen).

Ten vierde kunnen management benaderingen, andere dan voeders en voedermanagement, de melkopbrengst verhogen en de opruiming en het vervangingspercentage verminderen. Veel van deze benaderingen zijn additief, maar niet helemaal. Deze verbeteringen in performantie van de dieren en de kudde worden geschat de enterische methaanintensiteit te verminderen met 9% tot 19%, afhankelijk van het genetisch potentieel van de koeien.

Het effect van de hierboven voorgestelde maatregelen zal meestal niet volledig additief zijn en niet alle maatregelen kunnen naast elkaar toegepast worden op de volledige kudde. Door een combinatie te maken van verschillende strategieën kan de enterische methaanemissie in intensieve melkveesystemen naar schatting gereduceerd worden met 15 tot 30% methaan per kg meetmelk.

Emissies uit mest

In mest ontstaan methaan en lachgas doordat bacteriën het organisch materiaal afbreken. Het stal- en mestmanagement heeft een invloed op de vorming en de emissie van deze broeikasgassen.

Ten eerste is er het voedermanagement dat daarin een rol speelt. N_2O-emissies uit mestopslag kunnen verminderd worden door optimalisering van de rantsoensamenstelling, en meer bepaald door een verhoogde stikstofefficiëntie in het voederrantsoen. Hierdoor bevat de geproduceerde mest minder stikstof zodat ook lagere verliezen zullen optreden.

Ten tweede is er de stalstructuur. Die bepaalt grotendeels het type mest dat gevormd wordt, de wijze van mestopslag en mestbehandeling, en dus daarmee ook de mate waarin methaan en lachgas gevormd zullen worden en kunnen vrijkomen. Onder andere het al dan niet instrooien van de stallen en de frequentie waarmee de mest verwijderd wordt uit de stal, bepalen de broeikasgasemissies uit de mest. Er wordt meer methaan gevormd wanneer mest voor langere tijd wordt opgeslagen, dan wanneer mest dagelijks verwijderd wordt. Een roostervloer leidt tot minder broeikasgasemissies dan een volle vloer met strooisel. Ook de temperatuur en de ventilatie hebben invloed op broeikasgasvorming.

Ten derde kan de wijze van mestopslag de broeikasgasemissies uit mest beïnvloeden. Door de mest niet te laten accumuleren maar regelmatig te verwijderen uit de stal en op te slaan in een externe, gesloten mestopslag, verlaagt de uitstoot van broeikasgassen uit de mest, onder andere doordat geen anaerobe omstandigheden worden gecreëerd in de mestkelder en de mest opgeslagen wordt bij een lagere temperatuur. Daarnaast kunnen nog andere technieken worden toegepast op de mestopslag, zoals het aanzuren, verdunnen of scheiden van de mest. Composteren van de dikke fractie en anaerobe behandeling van mengmest (vergisting) kunnen ook emissiereducties opleveren.

Tot slot is ook de manier van mestaanwending van belang. Mogelijks heeft het ammoniakemissiearm aanwenden van mest ook een impact op de broeikasgasemissies. Het optimaal afstemmen van de mestgift op de behoefte van de plant kan de broeikasgasemissies beperken.

Verder onderzoek is nodig voor de precieze kwantificering van de effecten van deze maatregelen en technieken in Vlaanderen.

Energetische emissies

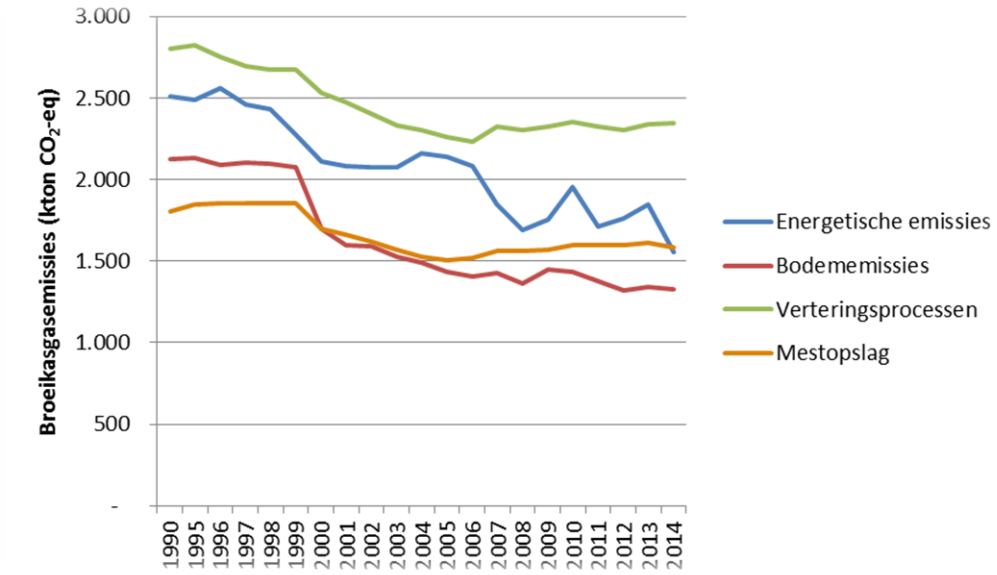
Hoewel de energetische emissies een relatief beperkt aandeel van 23% hebben in de totale Vlaamse landbouw broeikasgasemissies, zijn toch ook hier nog winsten te boeken. Zowel in serres als in stallen en bewaarplaatsen zijn verschillende energiebesparingstechnieken beschikbaar. Voorbeelden zijn energieschermen, rookgascondensoren, energiezuinige ventilatiesystemen, melkvoorkoelers, halveringsschakelaars in zeugenkraamstallen, enz. Daarnaast kan verder ingezet worden op de optimale benutting van de gebruikte (fossiele) energie. En ook de productie en het gebruik van hernieuwbare energie dient verder gestimuleerd te worden.

1 INLEIDING

1.1 KLIMAATIMPACT VAN DE VLAAMSE LANDBOUW

In Vlaanderen is de landbouwsector in 2014 verantwoordelijk voor de uitstoot van 6,9 Mton CO_2-eq of 16% van de niet-ETS emissies. In de periode 1990-2014 heeft de landbouwsector reeds een aanzienlijke daling van broeikasgasuitstoot van 26% gerealiseerd (figuur 1). Deze daling was hoofdzakelijk het gevolg van de afbouw van de veestapel en strengere bemestingsnormen in het kader van het mestbeleid, en productiviteitsstijgingen (melkgift per koe,...) enerzijds en de daling van het energiegebruik door een efficiënter energiegebruik en investeringen in energiebesparende en hernieuwbare technologieën anderzijds. Sinds 2008 zijn de totale broeikasgasemissies in de landbouwsector min of meer gestabiliseerd (Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie).

Figuur 1 Evolutie broeikasgasemissies Vlaamse landbouwsector (Bron: Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie)



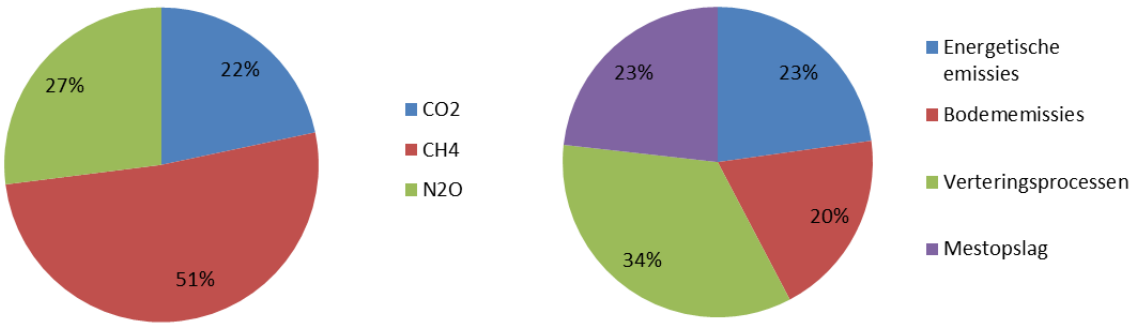
De belangrijkste broeikasgassen in de landbouwsector zijn, in afnemende omvang, methaan (CH_4), lachgas (N_2O) en CO_2 in 2014 (figuur 2). Om de emissies van de drie broeikasgassen met elkaar te kunnen vergelijken worden ze uitgedrukt in CO_2-equivalenten (CO_2-eq). Eén CO_2-equivalent staat gelijk aan het effect dat de uitstoot van één kilogram CO_2 heeft. De uitstoot van één kilo methaan staat gelijk aan 25 CO_2-equivalenten. De uitstoot van één kilo distikstofoxide of lachgas staat gelijk aan 298 CO_2-equivalenten. Dat wil zeggen dat methaan en lachgas sterkere broeikasgassen zijn en de warmte in de atmosfeer beter kunnen vasthouden.

De energetische emissies hebben een relatief beperkt aandeel van 23% (figuur 2). Deze emissies zijn het gevolg van verbranding van fossiele brandstoffen voornamelijk in de glastuinbouw en veehouderij voor verwarming van serres en stallen met aandelen in het landbouw-energieverbruik van respectievelijk 42% en 28% in 2014 (Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie). De land- en tuinbouwsector verbruikte in 2014 zo'n 24,2 PJ energie (inclusief zelfproductie elektriciteit) (Aernouts et al, 2016). De energetische emissies vertoonden het voorbije decennium een dalende trend in

de periode 1990-2014, voornamelijk dankzij inspanningen gericht op rationeel energiegebruik en de aanwending van minder koolstofintensieve brandstoffen in de glastuinbouw.

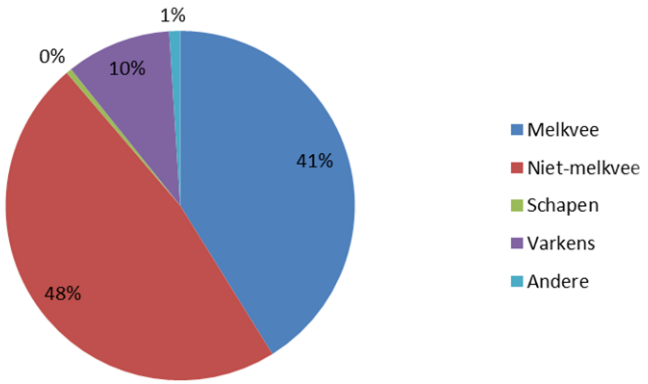
De niet-energetische emissies vertegenwoordigen 77% van de Vlaamse landbouwemissies en zijn voornamelijk afkomstig van mestbeheer, landbeheer en de verteringsprocessen bij het vee (figuur 2).

Figuur 2 Aandelen broeikasgasemissies landbouwsector 2014 (Bron: Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie)



De grootte en de samenstelling van de rundveestapel en in mindere mate de varkensstapel, zijn de drijvende factoren voor de niet-energetische emissies afkomstig van verteringsprocessen (CH_4) en mestopslag en -toediening (CH_4 en N_2O). Tussen 2000 en 2008 daalde de totale Vlaamse veestapel onder meer ten gevolge van het strengere mestbeleid, de opkoopregeling, de dioxinecrisis en de conjunctuur. Dat vertaalde zich in een reductie van de niet-energetische broeikasgasemissies. Vanaf 2008 zijn er lichte wijzigingen in de grootte en de samenstelling van de rundveestapel en de varkensstapel. Wat voornamelijk opvalt is dat in het vooruitzicht van de afschaffing van het melkquotum in 2015, het aantal melkkoeien vanaf 2012 stijgt en het aantal zoogkoeien afneemt.

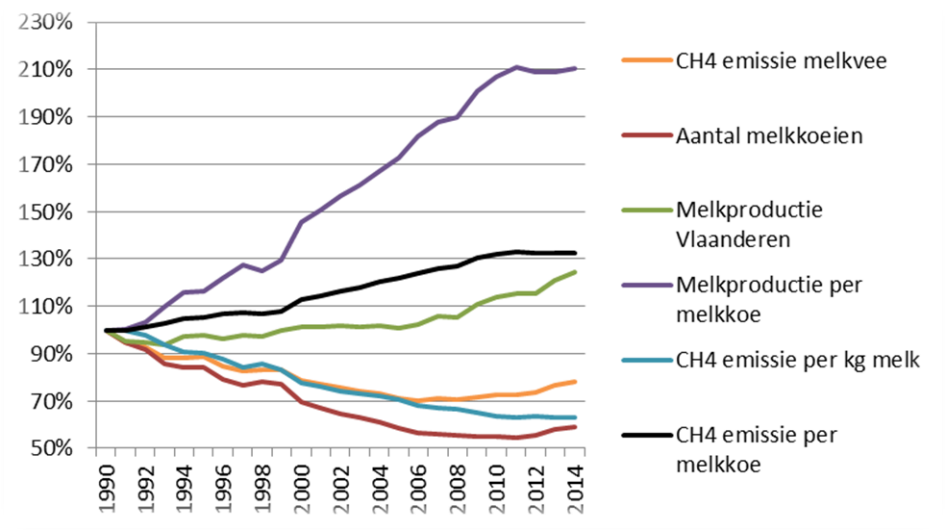
Figuur 3 Aandelen van de verschillende diersoorten in de CH_4-emissies ten gevolge van verteringsprocessen in 2014 (Bron: Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie)



Melkvee= productief melkvee; Niet-melkvee bestaat uit alle overige rundveecategorieën

Rundvee heeft met 89% het grootste aandeel in de emissies ten gevolge van verteringsprocessen (figuur 3). Deze emissies worden tevens bepaald door de productie-efficiëntie van het rundvee. Ter illustratie; in de periode 1990-2014 is de melkveestapel gedaald met 41% terwijl de melkproductie in dezelfde periode met 21% is toegenomen en de totale methaanemissie met 24% is gedaald. Dit kan worden verklaard door een sterk afgenomen methaanemissie per kg melk met 37% in de periode 1990-2014 (figuur 4). Deze daling werd verkregen door verhoging van de productiviteit van het vee via maatregelen zoals het verhogen van de fertiliteit, genetische selectie, het verkleinen van het aandeel 'ongewenst' jongvee, een preventief gezondheids- en dierenwelzijnsbeleid, de verhoging van de rendabiliteit van minder efficiënte bedrijven,... (Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie).

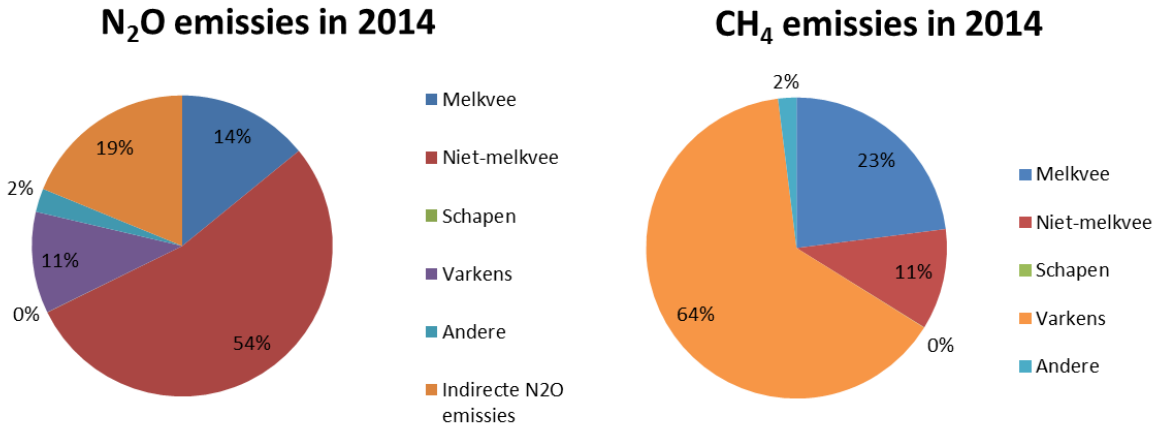
Figuur 4 CH_4-emissies ten gevolge van verteringsprocessen bij melkkoeien 1990-2014 (Bron: Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie)



De N_2O-emissies bij mestopslag zijn in belangrijke mate toe te schrijven aan de rundveestapel met een aandeel van 68% in 2014 (figuur 5). De N_2O-emissies uit mestopslag zijn in de periode 1990-2014 gedaald met 29%. Deze evolutie houdt een direct verband met de evolutie van de veestapel.

De CH_4-emissies bij mestopslag zijn grotendeels toe te schrijven aan de varkensstapel met een aandeel van 64% in 2014 (figuur 5). De evolutie van de CH_4-emissies sluit dan ook zeer nauw aan bij de evolutie van de varkensstapel (Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie).

Figuur 5 Aandelen in de N_2O- en CH_4-emissies uit mestopslag in 2014 (Bron: Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie)



Melkvee= productief melkvee; Niet-melkvee bestaat uit alle overige rundveecategorieën

De N_2O-emissies uit gras- en akkerlandbodem zijn het gevolg van landbouwactiviteiten die stikstof aan de grond toevoegen. De belangrijkste landbouwactiviteiten die de N-input verhogen, zijn het toedienen van kunstmest (minerale N) en dierlijke mest, mestproductie van grazende dieren en gewasresten die na de oogst achterblijven op het land. Het mestbeleid (in combinatie met de hoge kunstmestprijzen in 2009) leidde tot dalende lachgasemissies uit de bodem via een dalend kunstmestgebruik, de toepassing van emissiearme technieken, een geringere nutriënteninhoud van het veevoeder en een toenemende mestverwerking. Globaal genomen zijn de directe N_2O-emissies afkomstig van landbouwactiviteiten op gras- en akkerlandbodem in de periode 1990-2014 met 34% afgenomen (Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie).

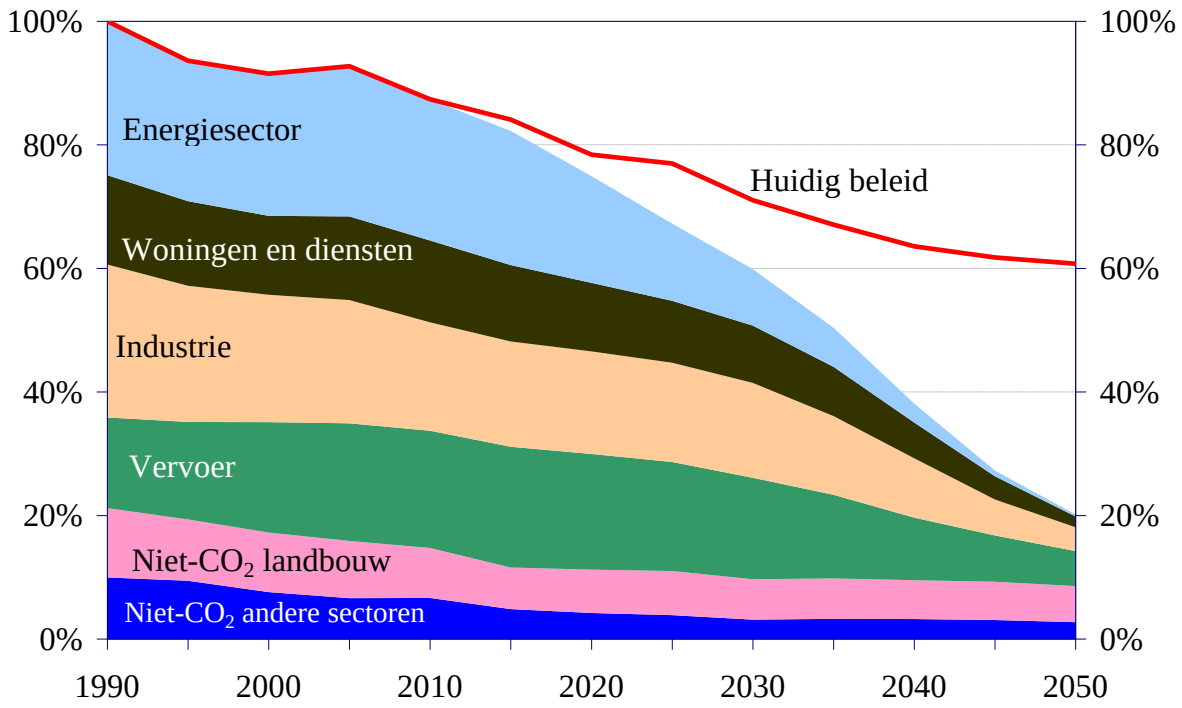
1.2 INTERNATIONAAL, EUROPEES EN VLAAMS KLIMAATBELEID

De klimaatopwarming door de toegenomen uitstoot van broeikasgassen is een mondiale problematiek, die mondiaal dient aangepakt te worden. Het klimaatbeleid situeert zich dan ook op internationaal, Europees, nationaal én Vlaams niveau.

Het Akkoord van Parijs dat tijdens de klimaattop van eind 2015 (COP21) bereikt werd, biedt het nieuwe kader voor het internationaal en nationaal klimaatbeleid in de komende decennia. Centraal in het akkoord staat de doelstelling om de temperatuurstijging te beperken tot ruim onder 2 °C ten opzichte van de pre-industriële periode en zelfs om na te streven om deze temperatuurstijging te beperken tot 1,5 °C. Naast mitigatie bevat het Akkoord van Parijs ook duidelijke afspraken en verplichtingen voor andere domeinen, zoals adaptatie en financiering.

In oktober 2014 bereikten de Europese staatsleiders een akkoord over het Klimaat- en Energiepakket 2030: een bindende, interne broeikasgasreductiedoelstelling van minstens 40% (t.o.v. 1990), een Europees bindende doelstelling voor hernieuwbare energie van minstens 27%, en een indicatieve energie-efficiëntiedoelstelling van minstens 27%. Tegen 2050 wil de EU haar uitstoot verminderen met 80-95% ten opzichte van 1990, als alle ontwikkelde landen zich daartoe inspannen. Vlaanderen heeft zich achter deze doelstelling geschaard. De Europese Routekaart is richtinggevend voor wat dit engagement kan betekenen voor de verschillende sectoren. De Europese landbouwsector moet haar emissies van andere broeikasgassen dan CO_2 tegen 2050 verminderen met 42 tot 49% ten opzichte van 1990 (figuur 6).

Figuur 6 Richtinggevende verdeling van het reductiepad naar een reductie van de EU-uitstoot van broeikasgassen in 2050 met 80% ten opzichte van 1990 (Bron: COM(2011) 112 final[1])



Op 28 juni 2013 keurde de Vlaamse Regering het Vlaams Klimaatbeleidsplan 2013-2020 (VKP) definitief goed. Het plan bestaat uit een overkoepelend luik en twee deelplannen: het Vlaams Mitigatieplan (VMP), om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen, en het Vlaams Adaptatieplan (VAP) om de effecten van klimaatverandering in Vlaanderen op te vangen. Met het VMP wil Vlaanderen de uitstoot van broeikasgassen tussen 2013 en 2020 verminderen om de klimaatverandering tegen te gaan. Tegelijkertijd wordt in dit plan ook de basis gelegd voor verdere inspanningen voor emissiereducties tegen 2050. Binnen alle betrokken sectoren zullen inspanningen moeten geleverd worden om de Europese en Vlaamse doelstellingen te halen. Ook binnen de landbouwsector wordt gezocht naar bijkomende maatregelen.

Er bestaan reeds verschillende beleidsmaatregelen waarmee Vlaanderen inzet op de vermindering van de broeikasgasemissies door de landbouwsector. Zowel Pijler I als Pijler II van het Europees Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB) hebben een belangrijk klimaataccent. Zo zijn er klimaatgerelateerde voorwaarden (onder andere vergroening) gekoppeld aan de directe steun van Pijler I en is 42,3% van het PDPO III-budget (Vlaams Programma voor Plattelandsontwikkeling 2014-2020) gericht op klimaat- en milieudoelstellingen. Enkele PDPO III-maatregelen die focussen op milieu en klimaat zijn VLIF-investeringssteun, agromilieuklimaatmaatregelen, sensibilisering en voorlichting, boslandbouwsystemen, bebossing, ...

De voorbije jaren werd bovendien verder uitvoering gegeven aan het Strategisch Plan Korte Keten, het Strategisch Plan Biologische Landbouw en de preventie van voedselverlies en maximale valorisatie van nevenstromen.

[1] Mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's. Routekaart naar een concurrerende koolstofarme economie in 2050

Voor de reductie van energetische emissies werden tevens concrete maatregelen uitgevoerd zoals onder meer de verlenging van het energieconsulentenproject, het project Enerpedia 2.0, investeringsondersteuning voor een pilootproject restwarmte in een glastuinbouwcluster en de invoering van EPB-eisen voor verwarmde/gekoelde landbouwgebouwen.

Een aantal maatregelen gericht op de reductie van niet-energetische emissies werd opgestart. Een IWT (nu VLAIO) LA traject SMART melken werd opgezet om het toepassen van methaanreducerende (voeder)strategieën op Vlaamse melkveebedrijven te faciliteren door kennisopbouw en kennisverspreiding. Naast energetische maatregelen wordt via het klimaatfondsproject Enerpedia ingezet op sensibilisering en adviesverlening voor het gebruik van kleinschalige vergisting op het landbouwbedrijf. Vanaf 2015 werd er een pilootproject opgestart inzake een pro rata systeem voor digestaat na pocketvergisting, wat kleinschalige vergisting met varkensmest rendabel zou kunnen maken (Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie). Onlangs werd het VLAIO LA-project Pocketpower opgestart om de uitbreiding van pocketvergisting in Vlaanderen te onderzoeken.

Bovenop bovenstaande instrumenten, maatregelen en acties moeten bijkomende maatregelen om de broeikasgasuitstoot van de Vlaamse landbouwsector te verminderen worden overwogen. Deze literatuurstudie wil daartoe een bijdrage leveren.

1.3 METHODOLOGIE EN AFBAKENING VAN DE LITERATUURSTUDIE

Methodologie

Deze nota is het resultaat van een literatuurstudie. Vooreerst werd zoveel mogelijk gewerkt met Vlaamse onderzoeksresultaten. Indien nodig en mogelijk werden ook Nederlandse, andere Europese en internationale bronnen gebruikt. Voorrang werd gegeven aan reviews en onderzoek waarin meerdere systemen vergeleken worden.

Afbakening

Het verminderen van de broeikasgasemissies door de Vlaamse landbouwsector kan gerealiseerd worden door een stijging in productiviteit en efficiëntie, door het implementeren van specifieke technologieën en door een verminderde productie.

Het potentieel van een dalende consumptie van dierlijke landbouwproducten wordt in dit rapport niet verder onderzocht. Verschillende auteurs hebben reeds het mitigatiepotentieel van een dalende consumptie van dierlijke producten door veranderingen in het dieet op mondiaal vlak geraamd (bv. Stehfest et al., 2009; Smith et al., 2013). Daaruit blijkt dat er een belangrijk mitigatiepotentieel is tegen een relatief lage kostprijs ten opzichte van alternatieve mitigatie strategieën. Recent rapporteerden Bryngelsson et al. (2016) uit een analyse van de technologische kant en de vraagzijde dat de voedsel gerelateerde CH_4- en N_2O-emissies in Zweden voldoende gereduceerd kunnen worden om de Europese klimaatdoelen voor landbouw[2] voor 2050 te bereiken. Om de doelen te bereiken is er naast een productiviteitsstijging en een technologische implementatie van specifieke mitigatiemaatregelen een wijziging in het menselijke dieet noodzakelijk. Verder kan een vermindering van de consumptie van dierlijke producten ook een positieve impact hebben op de gezondheid. Een dalende consumptie van

[2] Voor landbouw gerelateerde CH_4 en N_2O emissies, wijst de EU roadmap ongeveer 500 kg CO_2-eq per hoofd per jaar toe voor het 80% reductie scenario (Bryngelsson et al., 2016).

dierlijke producten in een bepaalde regio of continent leidt echter niet noodzakelijk tot een evenredige daling in de productie in een wereldwijde handelsomgeving. In een studie over het mitigatiepotentieel in Europa rapporteerden Bellarby et al. (2013) dat een dalende productie in een regio simpelweg productie kan stimuleren in een andere, waarbij de broeikasgasemissies gedeeltelijk verplaatst worden in plaats van vermeden.

Daarnaast wordt de impact van het verminderen van voedselverspilling op de broeikasgasemissies in deze studie niet verder uitgediept. Ieder jaar produceert de EU-28 ongeveer 88 Mton voedselafval, waarvan 47 Mton door de huishoudens (2012) (Stenmark et al., 2016). In Vlaanderen worden de totale voedselverliezen geschat op 1.936 tot 2.290 kton per jaar (IWV, 2012). Hierbij dient opgemerkt te worden dat zowel de Vlaamse als de Europese cijfers gaan over voedselafval en zowel echt voedselverlies (eetbaar) als nevenstromen (niet eetbaar, bvb schillen, beenderen, ...) omvatten. Nevenstromen zijn onvermijdbaar en sommige kunnen gevaloriseerd worden. Uit een Zweedse analyse van het effect van technologische veranderingen en wijzigingen aan de vraagzijde op de klimaatdoelen van 2050 voor landbouw en voeding, blijkt dat het reduceren van voedselafval (van retail, voedingsdiensten en restaurants, huishoudens) slechts enkele percenten kan bijdragen tot het verminderen van de broeikasgasemissies (Bryngelsson et al. 2016). Anderzijds rapporteerden Bellarby et al. (2013) dat een reductie in voedselafval en een daling van de consumptie van dierlijke producten, gelinkt met een dalende productie, de meest effectieve combinatie van mitigatieopties is voor de veesector in Europa.

De mitigatie opties voor de landbouw die in deze studie verder uitgediept worden, kunnen onderverdeeld worden in volgende categorieën: 1) methaanmitigatie bij herkauwers, 2) stallen en mestmanagement, en 3) energie. Er wordt gefocust op reeds bestaande en potentiële maatregelen. Zowel het effect op broeikasgasemissies als andere effecten worden bekeken.

De studie zal zich beperken tot het niveau van het landbouwbedrijf, namelijk de emissies door de eigen activiteiten. Dit zijn de directe emissies, die Vlaanderen en België per sector in een Europese en internationale context dienen te rapporteren. De aanpak in deze studie is interessant voor beleidsmakers, aangezien het beleid ook per sector en per natie of regio is (Campens et al., 2010). Hoewel indirecte emissies ten gevolge van de productie en het transport van goederen en diensten aangekocht door landbouwbedrijven (bv. geïmporteerde soja en kunstmest) belangrijk zijn (de productie, verwerking en transport van voeders is bijvoorbeeld goed voor 45% van de landbouwemissies op wereldschaal (Gerber et al, 2013)), worden ze hier niet in detail geanalyseerd. Indien een maatregel mogelijks leidt tot een belangrijke verhoging of verlaging van de indirecte uitstoot wordt dit wel vermeld. Verder worden ook emissies tijdens verwerking, distributie, consumptie, transport en afvalverwerking niet in detail besproken. Een levenscyclus (LCA) analyse kan gebruikt worden om deze emissies in rekening te brengen. Zo maakten Sasu-Boakye et al. (2014) gebruik van een levenscyclusanalyse om de impact van lokale eiwitvoederproductie op broeikasgasemissies en landgebruik te evalueren ten opzichte van het gebruik van geïmporteerd eiwitvoeder voor varkensvlees- en koemelkproductie in Zweden. Hun onderzoek toonde dat lokale productie van eiwitvoeders de broeikasgasemissies verminderde met 4,5% en 12%, respectievelijk voor varkens en melkvee maar dat dit ten koste gaat van een stijgend landgebruik in Zweden.

Hoewel directe CO_2-emissies door dieren en mest op bedrijfsniveau niet verwaarlooswaar zouden zijn en kunnen verschillen tussen de opfoksystemen (Philippe & Nicks, 2014), worden ze in de literatuur meestal niet meegenomen bij het in het kaart brengen van broeikasgasemissies. Er wordt immers vanuit gegaan dat ze gecompenseerd worden door CO_2-opname tijdens de fotosynthese van planten die gebruikt worden als voeder. Ook in deze studie worden ze buiten beschouwing gelaten. .

Landbouw heeft een impact op de terrestrische koolstofsinks, door landgebruik, landgebruiksveranderingen en bosbouwactiviteiten. Koolstofsinks zijn opslagplaatsen van atmosferische CO_2, bijvoorbeeld in de vegetatie, in bodems, in oceanen. De rol van LULUCF (Land Use, Land Use Change, and Forestry) in de mitigatie van klimaatverandering wordt reeds lang erkend maar ligt niet binnen de

scope van deze studie. Het potentieel van koolstofopslag in de bodem komt hier bijgevolg niet aan bod. Verschillende beheeropties in de akkerbouw kunnen de koolstofopslag in de bodem bevorderen en/of verdere afbraak van in de bodem aanwezige koolstof tegengaan. Omzetting van akkerland in permanent grasland heeft het meeste effect. Toevoegen van organische stof, in de vorm van compost, stalmestgiften (waarbij een evenwicht gezocht moet worden met het vermijden van nutriëntenverliezen naar grond- en oppervlaktewater) of door het inzaaien van groenbemesters of het achterlaten van gewasresten op het land, heeft een positief effect. Het beperken van grondbewerkingen (ploegen) heeft ook enig positief effect. Op Europese schaal is het potentieel van deze beheeropties vooral afhankelijk van de hoeveelheid koolstof in de bodem, en van de lokale dynamiek van afbraakprocessen onder invloed van bijvoorbeeld het lokale klimaat (Hutjes et al, 2003).

Onderzoek spitst zich meestal toe op afzonderlijke mitigatiemaatregelen. Dit is een nadeel omdat mitigatiemaatregelen elkaar kunnen tegenwerken of versterken. De maatregelen worden bovendien zelden geëvalueerd in het ganse productiesysteem. Emissiereducties worden op bedrijfsniveau bekeken. Daarom is het belangrijk om rekening te houden met 'pollution swapping'. Dat is een daling van de emissie van één broeikasgas terwijl de emissie van een ander stijgt, of er elders in de keten een stijging plaatsvindt van de broeikasgasemissies, of een ander milieuaspect negatief beïnvloed wordt. De maatregelen worden in deze studie afzonderlijk benaderd, maar waar mogelijk worden zowel de risico's van 'pollution swapping' in kaart gebracht als andere (niet bedoelde) effecten.

Sommige maatregelen (ammoniakemissie arme stalsystemen, rationele bemesting, ...) die ingevoerd worden omwille van andere milieu- en natuurdoelstellingen (MAP, PAS, ...), kunnen ook een effect hebben op de uitstoot van broeikasgassen en zullen dus ook aan bod komen.

Rapportering van de broeikasgasemissiecijfers

Voor Vlaanderen zijn de emissiecijfers van de broeikasgassen beschikbaar in het kader van het Vlaams Klimaatplan. Voor de landbouwsector gaat het om methaanemissies ten gevolge van vertering en mestopslag, lachgasemissies ten gevolge van mestopslag en directe en indirecte bodememissies, koolstofdioxide-emissies ten gevolge van het landgebruik en emissies van koolstofdioxide, methaan en lachgas ten gevolge van het brandstofverbruik in de sector. De cijfers worden berekend door de VMM. Ze worden gebruikt voor de officiële rapportering in de nationale emissie-inventaris onder het Kyoto Protocol, waarbij er per (deel)sector wordt gerekend en op nationaal (en gewestelijk) niveau.

In deze studie wordt op het einde van elke hoofdstuk besproken hoe de weergegeven maatregelen (kunnen) meegenomen worden in de rapportering van de broeikasgasemissiecijfers.

2 ENTERISCHE METHAANMITIGATIE STRATEGIEËN BIJ HERKAUWERS

Er werden reeds heel wat mitigatie strategieën onderzocht en er zijn veel mogelijkheden om de enterische methaanemissie te verminderen bij het vee (Martin et al., 2010; Cottle et al., 2011; Knapp et al., 2014). Onderzoek op het vlak van genetica, dierengezondheid, microbiologie, voeding en fysiologie heeft geleid tot vooruitgang. Als mitigatie strategieën geïmplementeerd worden die broeikasgasemissies reduceren maar ook de productie output verminderen, dan zijn de milieueffecten minstens gedeeltelijk te niet gedaan. Daarom is het belangrijk om bij het evalueren van maatregelen ook de broeikasgasemissies per eenheid product te beschouwen. Verder zullen landbouwers niet geneigd zijn om methaan mitigatie strategieën toe te passen die de melkproductie verminderen en is het gezien de stijgende mondiale voedselvraag belangrijk om te focussen op productie-efficiëntie.

Verder wordt benadrukt dat naast de productiviteit van het individuele dier, ook de productiviteit van de veestapel van belang is in het kader van milieuvriendelijkheid. Vanuit het oogpunt van methaanmitigatie is het belangrijk de effecten van maatregelen ook te benaderen op basis van kudde productiviteit. Zo zal bijvoorbeeld het verminderen van het aantal vervangingsvaarzen op een melkveebedrijf een invloed hebben op de methaanemissie per kg vet proteïne gecorrigeerde melk[3] (meetmelk).

Het verteringsproces van herkauwers is een belangrijke producent van methaan (figuur 7). In de pens van herkauwers vindt microbiële fermentatie plaats. Vezels (zetmeel) worden omgezet in suikers door microbiële activiteit van bacteriën, archaea, schimmels en protozoa. Deze suikers worden gefermenteerd tot vluchtige vetzuren die het dier kan opnemen. Onderstaande vergelijkingen geven de suikeromzetting tot vluchtige vetzuren en reductie-equivalenten (zoals metabolisch waterstof) in herkauwers samengevat weer (Knapp et al., 2014):

glucose -> 2 pyruvaat + 4H (suikermetabolisme)

pyruvaat + H_2O -> azijnzuur + CO_2 + 2H

pyruvaat + 4H -> propionzuur + H_2O

2 azijnzuur + 4H -> boterzuur + $2H_2O$

Het metabolische waterstof wordt geconverteerd tot H_2 door bepaalde soorten bacteriën en H_2 wordt omgezet tot methaan door archaeabacteriën in onderstaande gecombineerde reactie. Methaan is op die manier dus een bijproduct van de fermentatie. Niet de koe/herkauwer, maar de micro-organismen vormen methaan uit H_2 en CO_2 die ontstaan tijdens de anaerobe afbraak van het voeder.

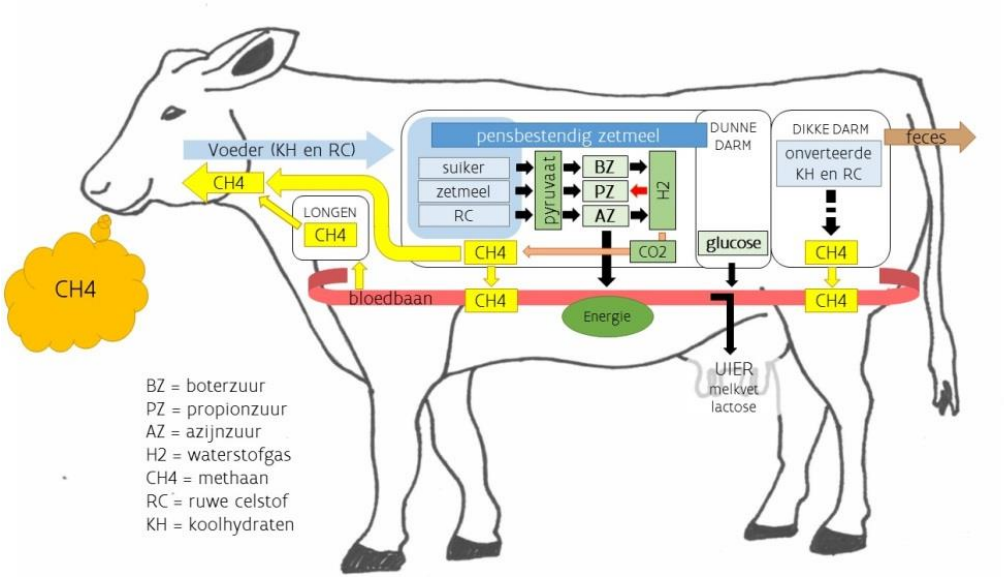
CO_2 + 8H -> CH_4 + $2H_2O$ (methanogenese)

Methaanproductie bij herkauwers is een microbieel gedreven proces om waterstof te verwijderen (figuur 8). Door minder H_2 vorming te realiseren, door H_2 te capteren op een andere manier of door de methaanvormers uit te schakelen kan de methaanvorming gereduceerd worden. Dit kan verwezenlijkt worden door sturing van de voeding, de voederadditieven en van de pensflora zelf, dus van de micro-organismen die in de pens werkzaam zijn. De effectiviteit naar absolute emissies toe, wordt meestal laag of matig ingeschat. Sommige maatregelen kunnen echter de emissie-intensiteit verlagen door de voederefficiëntie en de productiviteit te verbeteren. Rantsoenen kunnen ook de emissies uit mest

[3] De hoeveelheid melk die een koe produceert wordt vaak omgerekend naar de hoeveelheid geproduceerde meetmelk: melk met 4% vet en 3,3 % eiwit

beïnvloeden door de samenstelling van de mest te veranderen: de rantsoensamenstelling en de additieven hebben een invloed op de vorm en samenstelling van N in de urine en de feces, alsook op de hoeveelheid vergistbare organische stof in feces (Gerber et al., 2013b). Daarnaast kan methaan gereduceerd worden door in te zetten op dier- en voortplantingsmanagement.

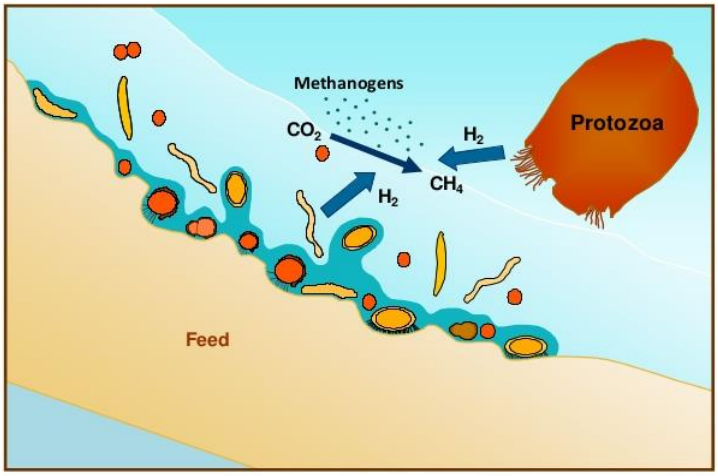
Figuur 7 Schematisch overzicht van de koolhydraatvertering en de methaanproductie in de koe (ILVO, 2015a)



Algemeen gesteld, vindt 90% van de CH_4 vorming plaats in de pensmaag en 10% in de dikke darm. Het methaan wordt daarna uitgescheiden via oprispingen (eten, herkauwen, oprispen), ademhalen en (zeer beperkt) via winden. De hoeveelheid methaan die uitgescheiden wordt hangt grotendeels af van de totale hoeveelheid opgenomen voeder en de verteerbaarheid ervan. De verteerbaarheid wordt bepaald door de soorten en hoeveelheden vezels, zetmeel, suiker, eiwitten en het oliegehalte. Vezels maken voeder minder verteerbaar, zetmeel, suikers, eiwitten en olie maken het meer verteerbaar. Een melkkoe produceert 200 tot 600 g methaan per dag. Dit komt overeen met 6-10% van de bruto energie inname (ILVO, 2015a). Eenmagigen (varkens, paarden, kippen) produceren ook methaan door fermentatie, maar in veel lagere hoeveelheden. Dit komt omdat de fermentatie bij eenmagigen enkel in de dikke darm gebeurt en de productiecapaciteit voor methaan daar veel lager is.

Aangezien in Vlaanderen 89% (2014) van de methaanemissies ten gevolge van verteringsprocessen afkomstig zijn van runderen, wordt hieronder voornamelijk gefocust op maatregelen voor de rundveestapel. Bij screening van de literatuur wordt voornamelijk cijfermateriaal voor de melkveesector gevonden aangezien effecten van maatregelen op melkvee (via de melkproductie) makkelijker meetbaar zijn. Veel van de principes achter de methaanproductie kunnen veralgemeend worden voor alle herkauwers (Knapp et al., 2014). Maar de correcte mitigatie benadering moet aangepast zijn aan de specifieke noden van de dieren en de landbouwers.

Figuur 8 Methaanproductie bij herkauwers: een microbieel gedreven proces om waterstof te verwijderen (Newbold, 2014)



2.1 VOEDERS EN VOEDERMANAGEMENT

Mitigatie van de methaanproductie door voeding is gebaseerd op drie principes: 1) selectie van ingrediënten om het productiepatroon van vluchtige vetzuren te veranderen 2) de passagesnelheid verhogen, waardoor microbiële populaties kunnen wijzigingen en het productiepatroon van vluchtige vetzuren kan veranderen en een deel van de vertering in de darmen plaatsvindt en 3) betere voederkwaliteit kan de productiviteit verhogen en de voederefficiëntie verbeteren (Gerber et al., 2013a; Gerber et al., 2013b; Hristov et al. 2013a; Hristov et al. 2013b; Knapp et al., 2014).

2.1.1 Krachtvoeder

Beschrijving van de maatregel

Indien er meer krachtvoeder gevoederd wordt, en in het bijzonder als het aandeel meer dan 35-40 % bedraagt, kan dit een positief effect hebben op de enterische methaanemissie intensiteit maar het effect zal afhangen van de hoeveelheid toegediend krachtvoeder, de productie respons, het effect op de vezelverteerbaarheid, de penswerking en het melkvetgehalte, de voedingsstatus, het type graan en graanbehandeling (Hristov et al., 2013a).

Bannink & Dijkstra (2012) meldden dat het verlagen van de methaanemissie via het krachtvoeder kan door de eiwitrijke en zetmeelrijke grondstoffen in krachtvoeder te verhogen, ten koste van celwandrijke en suikerrijke producten (tabel 1). Sommige eiwitten en zetmeelbronnen voor krachtvoeder zijn relatief bestendiger tegen afbraak in de pens, maar wel evengoed verteerbaar in de darm van de koe. Ten opzichte van een gemiddeld melkveerantsoen kan zo een één tot vijf procent lagere methaanemissie per liter melk worden behaald bij een aandeel van 25 procent krachtvoeder in het rantsoen. Vet wordt grotendeels verteerd in de darm en mits er niet te veel vet wordt toegevoegd en de voederopname en pensfermentatie wordt geremd, levert vet bovendien veel VEM (Voedereenheid Melk). Verhogen van het vetgehalte in krachtvoeder met acht procent (bij een aandeel van 25 procent krachtvoeder) geeft al snel acht procent minder methaan per liter melk. De combinatie van meer vet en meer (bestendig) eiwit en zetmeel geeft dus een meer dan tien procent lagere uitstoot.

Andere effecten

Indien er geopteerd wordt om meer eiwit te voederen, kan de methaanproductie per liter melk dalen maar kunnen lachgasemissies uit de mest stijgen. Daarnaast is er ook een negatieve impact op NH_3 emissie.

Hogere zetmeel gehaltes in het voederrantsoen kunnen een potentieel destabiliserend effect hebben op de pensfermentatie, de pH en de gehele pensgezondheid en de verteerbaarheid van nutriënten. Als de totale verteerbaarheid van organische stof vermindert door excessieve hoeveelheden zetmeel in het dieet, dan zal de dierlijke productie dalen en de broeikasgasemissie intensiteit stijgen. Daarbovenop zullen de methaanemissies uit mest ook stijgen door een verhoogde concentratie aan beschikbaar substraat en zal dit het methaanmitigatie effect op bedrijfsniveau tegenwerken (Hristov et al., 2013a).

Er dient ook opgemerkt te worden dat krachtvoeders bij de productie gewoonlijk hogere emissies hebben dan ruwvoeder (Frank et al., 2014).

Verder moet de ethische afweging gemaakt worden of je van herkauwers eenmagigen wil maken. Herkauwers maken het immers mogelijk om producten die niet voor menselijke consumptie geschikt zijn om te zetten naar eiwitten die voor de mens bruikbaar zijn (ILVO, 2016b).

Tabel 1 Effect op de methaanemissie van aanpassingen aan een melkveerantsoen met 45% graskuil, 28% maïs, 23% krachtvoeder en 4% bijproducten en een voederopname van 18,1 kg droge stof, melkproductie van 23,5 kg (Bannink & Dijkstra, 2012).

Aanpassing	Effect op methaanemissie	
	g CH_4/koe/dag	g CH_4/kg meetmelk
5 % hogere voederopname	4%	-3%
lichtere snede maaien (2% hoger eiwitgehalte)	-3%	-5%
hogere N-bemesting grasland (2% hoger eiwitgehalte)	-3%	-4%
10% meer maïskuil t.o.v. graskuil	-3%	-4%
8 % meer vet in krachtvoeder (2% meer vet in rantsoen)	-2%	-8%
20 % meer (bestendig) zetmeel in krachtvoeder	-2%	-3%
20 % meer (bestendig) eiwit in krachtvoeder	-2%	-3%

2.1.2 Kwaliteit van weidegras en graskuil

Beschrijving van de maatregel

Voor de voeding van de melkveestapel en het jongvee is een belangrijke hoeveelheid ruwvoeder nodig. Van het ruwvoederareaal bestemd voor het melkvee, zijn gras en maïs het belangrijkst. De methaanuitstoot is sterk afhankelijk van de kwaliteit van weidegras en graskuil (tabel 1). Hoe lichter de maaisnede, hoe minder methaanuitstoot per kg melk. Bij rantsoen bestaande uit gras en een rantsoen op basis van graskuil kan de methaanproductie per kg meetmelk met een lichte (jonge) snede 15 procent en respectievelijk 30 procent lager zijn dan met een zware (oudere) snede (Bannink & Dijkstra, 2015). Ook verlaagt jong en hoog bemest weidegras de methaanuitstoot per kg meetmelk vergeleken met oud, laag bemest gras. In een proef met vers gras resulteerde het hoge bemestingsniveau in meer methaan per kg drogestofopname. Maar vanwege de hogere verteerbaarheid van het gras en de hogere melkproductie was methaan per kg meetmelk toch 5 procent lager.

In een Nederlandse studie werd de kosteneffectiviteit van drie voederstrategieën om enterische methaanproductie bij melkkoeien te reduceren (supplementen met lijnzaad, supplementen met nitraat en vermindering van het rijpheidstadium van gras en kuilgras) vergeleken door het effect op

arbeidsinkomen op bedrijfsniveau en op de broeikasgasemissies op ketenniveau te berekenen (Van Middelaar et al., 2014). De maatregel 'verminderen van het rijpheidstadium van het gras en kuilgras' bestond erin te grazen aan 1.400 kg droge stof per ha i.p.v. aan 1.700 kg droge stof per ha en maaien aan 3.000 kg droge stof per ha i.p.v. aan 3.500 kg droge stof per ha. Volgens het gebruikte model reduceerde deze maatregel de emissies met 11 kg CO_2-eq/ton meetmelk terwijl het arbeidsinkomen op bedrijfsniveau met 463 euro daalde. Verder bleek het de meest kosteneffectieve maatregel te zijn (57 euro/ton CO_2-eq) met het grootste potentieel om in de praktijk te gebruiken omdat de bijkomende kosten gering waren. Anderzijds is deze maatregel weersafhankelijk.

Andere effecten

Alhoewel methaan het belangrijkste broeikasgas is op de melkveebedrijven mag niet vergeten worden dat als grasmanagement verandert, de uitstoot van andere broeikasgassen ook kan wijzigen. Vanaf een bepaald punt zal bijkomende bemesting minder benut worden door het gras wat kan resulteren in een hogere uitstoot door de bodem van een ander broeikasgas, lachgas. Hierbij is niet enkel de dosis belangrijk maar ook de soort meststof, het tijdstip van bemesten en de aanwendingstechniek. Bij de huidige bemestingsnormen is er bij grasland in Vlaanderen nog een marge (kleine 10%) om stikstof toe te dienen zonder bijkomende verliezen te veroorzaken (D'Haene et al., 2014). Daarnaast zal er extra moeten gemaaid worden, wat resulteert in meer emissies uit brandstofgebruik. Ook zullen indirecte emissies door verhoogd kunstmestgebruik stijgen. Uiteindelijk zullen alle voor- en nadelen moeten worden afgewogen.

2.1.3 Oogstmoment van de maïs

Beschrijving van de maatregel

Maïskuilvoeder is de belangrijkste component geworden van het winterrantsoen voor melkvee. Het aandeel in het ruwvoederrantsoen bedraagt op de meeste bedrijven meer dan de helft (De Brabander et al., 2011). De ruwvoederkwaliteit heeft een belangrijk effect op de enterische methaanemissie intensiteit. Hoewel de kwaliteit in Vlaanderen over het algemeen hoog is, is er misschien nog potentieel. De rassenkeuze van de maïs speelt hierin een rol. Verder blijkt er uit onderzoek dat de methaanuitstoot afhangt van het oogstmoment van de maïs (Bannink et al., 2015). Uitstel van het oogstmoment van snijmaïs laat het droge stofgehalte stijgen. Per procent stijging van het droge stofgehalte in snijmaïs in maïsrijke rantsoenen blijkt de methaanvorming per kg meetmelk met bijna 1.5% te dalen. Dit is het gevolg van een toename van het zetmeelgehalte en een daling van de fermenteerbaarheid van het zetmeel in de pens (meer bestendig zetmeel). Een toename van het droge stofgehalte in maïskuil met 5% geeft dus een 8% daling van methaanemissie uit maïskuil. Het laat oogsten van maïs vraagt toch aandacht: enerzijds vergroot wel het risico op te natte oogstomstandigheden met negatieve effecten op de bodemstructuur en mogelijke stijging van de lachgasemissies tot gevolg en het leidt er anderzijds toe dat vanggewassen pas later ingezaaid kunnen worden met mogelijk hogere verliezen van nitraat uit het bodemprofiel tot gevolg.

2.1.4 Bewerken van voeder

Beschrijving van de maatregel

Het bewerken van voeder reduceert de partikelgrootteverdeling van het voeder en verandert de snelheid van fermentatie en doorgang van de partikels door de pens. Het bewerken reduceert waarschijnlijk de enterische methaanproductie per eenheid van dierlijk product maar er moet opgelet worden dat het niet resulteert in een dalende vezelverteerbaarheid. Verder hangt het effect af van het voeder en van de bewerking (Hristov et al., 2013a; Hristov et al., 2013b; Knapp et al., 2014). Een voorbeeld van het bewerken van voeder is de behandeling van tarwe met NaOH als een manier om bestendig zetmeel in het rantsoen te brengen en zo de methaanvorming te reduceren (De Campeneere et al., 2006).

Voor een dergelijke behandeling zijn er de kosten van het product plus de kosten van de voedermengwagen die moet draaien. De technologische mogelijkheden zijn beperkt. Slechts enkele melkveebedrijven voeren deze maatregel uit.

Andere effecten

Het is mogelijk dat de methaanreducties niet groot genoeg zijn om de extra energie behoefte voor de bewerking, en de hiermee geassocieerde broeikasgasproductie te rechtvaardigen (Knapp et al., 2014).

2.1.5 Precisievoederen en voederanalyses

Beschrijving van de maatregel

In diervoeding kan dit verschillende benaderingen hebben, maar hier refereert precisie voederen naar het invullen van de behoeftes van het individuele dier met een gepast rantsoen en onderzoeken hoe het dier ermee omgaat. Een nauwkeurige voorspelling van de behoeftes van het dier en nauwkeurige voederanalyses gaan hand in hand met het minimaliseren van voederafval, een maximale productie en minimale broeikasgasemissies per eenheid van dierlijk product. Precisievoeding heeft waarschijnlijk een indirect effect op methaanemissies door de pens gezond te houden en de microbiële eiwitsynthese te maximaliseren. Daarnaast kan het de overmatige verstrekking van nutriënten voorkomen, wat belangrijk is voor een maximale voederefficiëntie en een dalende methaanemissie-intensiteit.

Een nauwkeurige analyse van de voedersamenstelling is een kritische stap in het proces van precisievoederen. In melkveesystemen kan het monitoren van het kuilvoeder een belangrijk effect hebben op de productie en winstmarges (Hristov et al., 2013b). Precisievoeding kan zowel op individueel niveau als op kuddeniveau bekeken worden. Bij het voederen op kuddeniveau wordt het basis rantsoen vaak geformuleerd op een gemiddelde behoefte. In veel gevallen worden de lager productieve dieren hierdoor op een te hoog niveau gevoederd (luxe-consumptie) (ILVO, 2016b).

2.1.6 Beweiden

Deze maatregel wordt besproken in het hoofdstuk 'Stal- en mestmanagement'.

Veel van deze enterische methaan mitigatiestrategieën zijn mechanistisch gericht op een verbeterde propionzuur/acetaat verhouding van de fermentatie. Alhoewel methanogenen een cruciaal onderdeel zijn van de pensecologie, zou methaan vorming geminimaliseerd moeten worden en de vorming van vluchtige vetzuren gemaximaliseerd. In intensieve melkveehouderijsystemen hebben voeders en voedermanagement een bescheiden potentieel om de enterische methaanemissies per kg meetmelk te reduceren en wordt het reductiepotentieel geschat tussen 2,5 en 15% (Knapp et al., 2014). De impact zal voornamelijk gerealiseerd worden door een verbeterde voederefficiëntie (figuur 9). Meerdere van deze maatregelen m.b.t. voeders en voedermanagement kunnen wellicht gecombineerd worden om de enterische methaanintensiteit te verminderen maar het effect zal niet volledig additief zijn. De implementatie van veel van deze maatregelen zal omwille van praktische en economische redenen enkel gebeuren bij productieve melkkoeien waardoor de reductie in enterische methaan emissie lager zou zijn op kuddeniveau dan op individuele koe-basis.

2.2 PENSREGULATOREN: VOEDERADDITIEVEN EN BIOLOGISCHE CONTROLE

Beschrijving van de maatregel

Momenteel loopt er veel onderzoek naar het gebruik van pensregulatoren. Er bestaat een grote variatie aan additieven die kunnen toegediend worden om methaan te reduceren, zoals chemische remmers, organische zuren en plantaardige stoffen. De werkingsmethode hangt af van het specifieke additief (Castro-Montoya et al., 2012; Gerber et al., 2013a; Hristov et al., 2013a; Hristov et al., 2013b; Knapp et al., 2014; Montoya, 2014).

Veel additieven en inhibitoren onderdrukken methaanvorming met 60% tot 100% in vitro (Knapp et al., 2014). Wanneer deze additieven echter gevoederd worden aan dieren is de reductie meestal niet duidelijk of tijdelijk. Algemene ecologische principes moeten in het achterhoofd gehouden worden wanneer microbiële populaties geviseerd worden. Met de grote diversiteit aan pensmicroben is het erg waarschijnlijk dat het verwijderen of onderdrukken van één groep zal resulteren in een andere groep die zich aanpast om de niche te vullen. Daarnaast moet waterstof via een andere weg verwijderd worden, anders stijgt de concentratie en wordt fermentatie mogelijk onderdrukt, wat zou leiden tot een vermindering van de melkproductie.

Verschillende reviews hebben het potentieel van pensregulatoren op een kwalitatieve basis samengevat (Knapp et al., 2014). Maar veel van deze methaanreductie strategieën werden niet geëvalueerd om een duurzaam en langdurig effect van het additief te bepalen zoals de aangewezen in vivo dosis, of het economisch aspect in termen van melkproductie. Dit zijn belangrijke beschouwingen voor implementatie op grote schaal. Nitraat en 3-nitrooxypropanol zijn momenteel de enige twee voederadditieven die een langdurige reductie van methaan hebben aangetoond zonder negatief effect op de melkproductie (Knapp et al., 2014; Hristov et al. 2015).

- Pens archaea inhibitoren

Onderzoek in dit domein focust zich op chemische componenten met een specifiek remmend effect op pensarchaea. Onder de meest succesvolle componenten die in vivo getest zijn, horen bromochloromethaan, 2-bromoethaan, sulfonaat, chloroform en cyclodextrine. Het lange termijn effect van methaan inhibitoren is echter onzeker en meer data zijn nodig om hun effect op productie vast te stellen. Bovendien kan de acceptatie door de bevolking een drempel vormen omdat deze componenten carcinogeen kunnen zijn (zoals chloroform) (Hristov, 2013a). Desondanks werken onderzoeksgroepen wereldwijd aan het ontwikkelen van natuurlijke of synthetische componenten die methaanvorming in de pens rechtstreeks onderdrukken. Een recent voorbeeld zijn de inspanningen in het onderzoek met 3-nitrooxypropanol (3NOP) (Haisan et al., 2014; Romero-Perez et al., 2015; Duin et al., 2016). De resultaten zijn beloftevol. Zo rapporteerden Hristov et al. (2015) een daling in methaanemissies met 30% bij hoogproductieve melkkoeien die met 3NOP behandeld werden. Het lichaamsgewicht van de behandelde koeien steeg zonder negatief effect op voederopname, melkproductie of melksamenstelling. Het remmend effect bleef behouden gedurende de behandeling. Ook ILVO (ILVO, 2016b) testte het product en stelde een reductie van 15% vast. De lagere reducties in die proef blijken te wijten aan de toedieningswijze. De hoogste reducties worden vastgesteld als 3NOP verspreid in de loop van de dag verstrekt wordt; lagere reducties als het product op beperkte tijdstippen verstrekt wordt zoals in de proef van ILVO. 3NOP wordt in kleine concentraties toegediend. De toegediende stikstof wordt gebruikt door de koe. Verder zou er geen gewenning optreden. In 2016 wordt nog een tweede proef uitgevoerd die specifiek zal ingaan op verschillende toedieningswijzen. Verder werd onlangs het werkingsmechanisme voor de reductie van methaanemissies bij herkauwers door 3NOP ontdekt (Duin et al., 2016). 3NOP is een product van DSM Nutritional Products dat reeds jaren in ontwikkeling is, maar nog

niet goedgekeurd is voor gebruik in de praktijk. Rest nu dus nog de erkenning en de productie op grote schaal van het product. Er wordt verwacht dat dit product ten vroegste 2018-2019 commercieel beschikbaar komt.

- **Exogene enzymen**

Het gebruik van exogene enzymen in herkauwers is intensief bestudeerd de laatste 20 jaar (Grainger & Beauchemin, 2011; Hristov et al., 2013a; Sujani & Seresinhe, 2015). De beschikbaarheid van een brede waaier aan exogene enzymproducten, de ontwikkeling van betere methoden om de enzymactiviteit te evalueren, een gewijzigde kennis van de pensfuncties en de recente vooruitgang in biotechnologie met een verlaagde productiekost van enzymen tot gevolg, hebben het gebruik van exogene enzymen in de rundveesector aangewakkerd. De gebruikte exogene enzymen in het rantsoen van herkauwers kunnen onderverdeeld worden in volgende grote categorieën: fibrinolytisch, amylolytisch en proteolytisch. Deze onderverdeling is gebaseerd op het specifiek substraat waarop de enzymactiviteit inwerkt. De bronnen van deze exogene enzymen bestaan voornamelijk uit drie soorten bacteriën, drie soorten schimmels en enkele gisten. De toedieningswijze kan variëren van toedienen aan het voeder bij de oogst, tot toevoegen bij het inkuilen, of bij het voederen. Het voeder dat gemengd wordt met het enzym kan ook variëren van het ruwvoeder, tot het krachtvoeder, tot een deel van het volledige gemengde rantsoen. Er werd zowel bij melkvee als vleesvee, geiten en schapen al onderzoek uitgevoerd. De effecten op methaanproductie lijken inconsistent maar positieve resultaten op voederopname, verteerbaarheid, groei performantie en andere productieparameters, nutriëntenexcretie uit de mest,... werden gerapporteerd. De factoren die de respons beïnvloeden zijn nog niet ontrafeld. Daarom is verder onderzoek nodig (Sujani & Seresinhe, 2015).

- **Pens defaunering**

Protozoa zijn belangrijke producenten van H_2 die een sleutelrol spelen in de waterstoftransfer tussen de soorten en in de methaanproductie in het microbieel ecosysteem van de pens. Protozoa zijn alomtegenwoordige, doch niet-essentiële bewoners van de pens. De eliminatie van protozoa door een verandering van het pensmilieu is defaunering (Morgavi et al., 2012). Er zijn diverse manieren om de pens te defauneren. Bij een lage pH sterven protozoa af. Met een snelle introductie van een volledig granendieet kan men de pens van rundvee defauneren. Dat lukt ook met oliën en melkvet (Veen, 2000). De respons in methaanproductie door defaunering is echter erg variabel en onzeker waardoor defaunering niet aangeraden kan worden als een methaanmitigatie praktijk (Hristov et al., 2013a). Dit wordt vooral gebruikt voor onderzoeksdoeleinden.

- **Probiotica**

Probiotica zijn verbindingen of micro-organismen die de groei van (andere) gunstige micro-organismen stimuleren. Probiotica worden regelmatig gebruikt als supplementen in diervoeders om de productiviteit en de gezondheid van dieren te verhogen en worden aanvaard door de producenten en de bevolking. Maar studies over het gebruik van probiotica ter reductie van methaanemissie zijn schaars. De op gist gebaseerde producten zijn waarschijnlijk de meest gebruikte probiotica. Gistproducten worden vaak gebruikt om de melkproductie en productie efficiëntie te verbeteren. Maar het gebruik van gistproducten om methaanproductie direct te mitigeren toonde tot dusver geen overtuigende resultaten. Van andere probiotica, zoals lactaat producerende bacteriën, wordt verondersteld dat ze zouden resulteren in een dalende productie van methaan maar deze hypothese moet nog verder getest worden. Verder onderzoek is dus nodig om na te gaan of het gebruik van probiotica een bijdrage kan leveren aan de vermindering van de methaanvorming in de pens (Veen, 2000; Grainger & Beauchemin, 2011; Hristov et al., 2013a; Jeyanathan et al., 2014).

- **Eletronenreceptoren**

Zoals reeds vermeld is methaanproductie een microbieel gedreven proces om H_2 te verwijderen. Door elektronenreceptoren toe te dienen kan H_2 op een andere manier gecapteerd worden. De meest bestudeerde methaan mitigerende middelen in deze categorie zijn fumaraat, nitraten, sulfaten en

nitroethaan (Hristov et al., 2013b). Van Zijderveld et al (2011) rapporteerden dat nitraat aanhoudend de methaanproductie van lacterende melkkoeien deed dalen gedurende vier opeenvolgende perioden van 24 dagen. Een ander issue is de mogelijke toxiciteit van nitraat. Om dit te vermijden zijn een graduele adaptatie van het dier aan nitraat en een eiwitarm dieet cruciaal (Leng, 2008).

Het toevoegen van sulfaat aan het dieet van schapen reduceerde de methaanproductie maar de potentiële effecten op dierengezondheid zijn onduidelijk. Van andere elektronenreceptoren zoals fumaraat en appelzuur wordt het mitigatiepotentieel in vraag gesteld omdat het meestal lager is dan van nitraat en omdat de resultaten inconsistent zijn (Hristov et al, 2013b).

Volgens de eerder vermelde Nederlandse studie (Van Middelaar et al., 2014) reduceerde het toevoegen van een nitraatbron aan het rantsoen (1% van de droge stof opname; 75% nitraat) de emissies met 32 kg CO_2-eq/ton meetmelk maar ook het arbeidsinkomen op bedrijfsniveau met 5.463 euro. Per ton vermeden CO_2-eq kwam dit neer op 241 euro.

- **Vetten**

Op basis van verschillende studies concludeerde Hristov et al. (2013b) dat vetten (plantaardige oliën of dierlijk vet) effectief zijn bij het reduceren van enterische methaanemissie. De haalbaarheid van deze mitigatiemaatregel hangt echter af van de kosteneffectiviteit en van de potentieel negatieve effecten op de productiviteit van de dieren (bv. reductie in verteerbaarheid van vezels) en op het melkvetgehalte van lacterende dieren. Verder is het niet duidelijk of vetten een aanhoudend effect hebben op de methaanproductie (Gerber et al., 2013). Op het ILVO werd hieromtrent reeds onderzoek uitgevoerd met lijnzaad. Bij maïskuilrijke rantsoenen werd een daling van de methaanproductie gerealiseerd (ILVO, 2016b).

De eerder vermelde studie (Van Middelaar et al., 2014) vond voor het toevoegen van geëxtrudeerd lijnzaad aan het dieet (56% lijnzaad, 1 kg/koe per dag in de zomer en 2 kg/koe per dag in de winter) op basis van het gebruikte model een reductie van de emissies met 9 kg CO_2-eq/ton meetmelk en een vermindering van het arbeidsinkomen op bedrijfsniveau met 16.041 euro. Per ton vermeden CO_2-eq kwam dit neer op 2.549 euro.

- **Plantaardige bioactieve componenten**

Deze categorie omvat een variatie aan plantaardige secundaire componenten, meer specifiek tannines (vormen eiwitcomplexen), saponines (natuurlijke zepen) en essentiële oliën en hun actieve ingrediënten. Het toevoegen van plantaardige bioactieve componenten heeft als doel methaanvormers uit te schakelen. Tannines bieden vooruitzichten in het reduceren van etherische methaanemissies maar het effect op verteerbaarheid en productiviteit is niet eenduidig. In een uitgebreide review van het effect van tannines en saponines op methaanproductie bij herkauwers, voornamelijk op basis van in vivo studies, besloten Goel en Makkar (2012), dat het risico van verstoorde penswerking en lagere dierlijke productiviteit groter is met tannines dan met saponines. Thee saponines lijken wat potentieel te hebben maar meer en lange termijn studies zijn nodig vooraleer ze aangeraden kunnen worden voor gebruik. De meeste essentiële oliën of hun actieve ingrediënten reduceren de methaanproductie niet. Wanneer methaanproductie in vivo toch gereduceerd wordt, zijn hun lange termijn effecten nog niet aangetoond (Hristov et al, 2013a). Op het ILVO werden door het gebruik van saponines en essentiële oliën bij rundvee nog geen systematische duidelijke effecten op methaanreductie genoteerd (ILVO, 2016b).

- **Manipulatie van de pensarchaea en bacteriën**

Vaccinatie tegen pensmethanogenen biedt een praktische benadering om de methaanemissies in de veestapel te reduceren. Er is reeds heel wat onderzoek gebeurd naar het onderdrukken van archaea en/of het stimuleren van de acetogene bacteriën in de pens (Hristov et al, 2013b). Vaccins tegen pensarchaea zijn gebaseerd op het concept van een continue toediening van antilichamen aan de pens door het speeksel. Vaccins tegen archaea waren succesvol in vitro maar niet in vivo (Hristov et al., 2013b). Vaccins tegen methaanproductie zullen een brede specificiteit nodig hebben tegen vaak

voorkomende methanogenen in de pens en zullen antilichamen in het speeksel moeten induceren die resulteren in voldoende hoge concentraties van antilichamen in de pens om de methanogene activiteit te reduceren (Wedlock et al., 2013).

- **Early life programming**

Het ILVO onderzoekt in het kader van een Europees project 'Rumen stability' het effect van nutritionele behandelingen tijdens de pre- en postnatale fase op de methaanproductie van de herkauwer op latere leeftijd als gevolg van sturing van de pensflora (ILVO, 2016b). De primaire hypothese van het project is dat de initiële microbiële ontwikkeling in de pens het microbiële ecosysteem op latere leeftijd beïnvloedt (Abecia et al., 2014). De achterliggende doelstelling is om de kosten van strategieën ter vermindering van de methaanuitstoot door herkauwers te verlagen door een kortere behandelingsduur en door supplementatie van lagere dosissen van een voederadditief. Het onderzoek loopt nog maar uit tussentijdse resultaten van de huidige gekozen strategieën blijkt dat de maatregel als kalf veelbelovend lijkt, maar er zijn ook al indicaties dat het bij volwassen koeien weinig effect heeft op methaanemissie.

- **Ionoforen**

Ionoforen zijn verbindingen die invloed uitoefenen op het transport van ionen over celmembranen. Deze verbindingen werken niet direct op de methaanvormende bacteriën, maar zij bevorderen de groei van gramnegatieve bacteriën ten koste van grampositieve waardoor de fermentatie verschuift van azijnzuurvorming naar propionzuurvorming. Daardoor komt minder waterstof vrij voor de vorming van methaan (Veen, 2000). Monensin is het meest onderzochte ionofoor en wordt in Noord-Amerika regelmatig gebruikt in de vleesveesector en recent ook in melkveevoeding. De toevoeging van ionofore antibiotica stuit echter op grote weerstand en is verboden in Europa, omdat men vreest voor de ontwikkeling van resistente bacteriën bij de mens (Hristov et al., 2013b).

Alhoewel sommige studies een langdurig mitigerend effect van monensin op de methaanproductie rapporteren, is het effect van het ionofoor in het algemeen inconsistent. Factoren die een rol kunnen spelen bij het wel of niet optreden van adaptatie aan ionoforen in het rantsoen zijn de diersoort (rund of schaap), het aandeel krachtvoeder in het rantsoen en het voederniveau. Indirect kunnen ionoforen wel bijdragen aan een reductie van de methaanvorming omdat onder invloed van dit soort verbindingen de efficiëntie waarmee voeder in melk wordt omgezet toeneemt. Daardoor daalt de methaanproductie per kg geproduceerde melk (Veen, 2000; Hristov et al., 2013b).

In de melkveesector wordt het huidig potentieel van pensregulatoren voor methaanreductie per kg meetmelk door Knapp et al. (2014) laag (5 %) ingeschat omdat er nog geen goede pensregulatoren op de markt zijn. Onderzoek moet echter verder inzetten op het verhelderen van pensmicrobiële interacties en een betere kennis van het functioneren van de pens om pensregulatoren te ontwikkelen. Voor de toekomst lijken vooral 3-nitrooxypropanol en vaccinatie potentieel te hebben.

2.3 PRODUCTIVITEITSSTIJGING DOOR DIERMANAGEMENT, VOORTPLANTINGSMANAGEMENT EN BEDRIJFSMANAGEMENT

De mitigatieopties die in deze rubriek besproken worden, verlagen de broeikasgasemissie intensiteit door de productiviteit van de kudde te verhogen terwijl de broeikasgasemissie constant gehouden wordt (of proportioneel minder stijgt dan de productiviteit). Voornamelijk in extensieve herkauwers systemen is dit thema erg relevant, maar het biedt ook voor Vlaanderen potentieel. De maatregelen die hier besproken worden hebben echter niet enkel invloed op de enterische methaanemissies maar hebben ook impact op de emissies uit stal en mest.

Ongeveer 50 tot 55% van de stijging in melkproductie in intensieve melkveesystemen de laatste decennia werd bekomen door genetische selectie en de rest door verbetering in managementpraktijken (Knapp et al., 2014). Dieren kunnen hun volledig genetisch potentieel niet bereiken als omgevingsfactoren limiterend zijn. Momenteel is er, ook binnen Vlaanderen, een brede range in gemiddelde melkproductie van de kuddes. Die verscheidenheid weerspiegelt de variatie in genetisch potentieel en de variatie in de omgevingsfactoren, die veranderd kunnen worden door managementpraktijken.

Management kan ook significante effecten hebben op de broeikasgasemissies van varkens en pluimvee. Terwijl deze dieren relatief weinig enterische methaan emitteren, wordt het grootste aandeel van de broeikasgasemissies door de varkens- en pluimveehouderij toegewezen aan de mest in stallen, de mestopslag en de daaropvolgende mestaanwending. Zo kan bv. genetische selectie voor het verbeteren van de voederconversie, dus het reduceren van het volume geproduceerde mest met behoud van de productiviteit van de dieren, een belangrijke strategie worden voor de mitigatie van methaan- en lachgasemissies van deze diercategorieën (Hristov et al., 2013c). Hierbij moet wel de kanttekening gemaakt worden dat de broeikasgasemissies uit de pluimveehouderij in Vlaanderen vele malen kleiner zijn dat uit de varkenshouderij.

2.3.1 Genetische selectie

Beschrijving van de maatregel

Genetische selectie kan een bijdrage leveren aan enterische methaanemissiereductie bij melkvee (Van Engelen et al., 2015). Verschillen tussen individuele dieren in selectie van planten tijdens het grazen, in verteringssnelheden in de pens en in gast-micro-organismen interacties kunnen erfelijk zijn en kunnen dus geschikt zijn voor genetische selectie op dieren met minder enterische methaanemissies per dag of per opname van eenheid droge stof (Knapp et al, 2014). Alhoewel genetische selectie op minder methaanemissies reeds toegepast werd bij schapen en rundvee, zijn er nog weinig resultaten bekend over de relatie tussen methaanemissies en opfok dieren. Onderzoek met Australisch vleesvee toonde aan dat selectie op een lagere methaanproductie een negatieve impact zou hebben op de groei van het vleesvee. Selectie op een gereduceerde methaanproductie per eenheid voederopname of een gereduceerde residuele methaanproductie (dit is het verschil van de waargenomen methaanproductie en de verwachte berekende methaanproductie) zou leiden tot een verlaagde methaanproductie met minimale impact op productiviteit (Donoghue et al., 2015).

Genomische selectie is een veelbelovende methode om dieren te selecteren die minder methaan produceren (de Haas & de Haan, 2011; CRV, 2015; ILVO, 2015b). Het voordeel van genomische selectie is dat je de kenmerken in een referentiepopulatie kunt verzamelen en dat het niet meer noodzakelijk is om van alle nakomelingen gegevens te verzamelen. Wel is er DNA-materiaal van het dier nodig. Verder worden metagenome tools (dit zijn technieken om de samenstelling en de functie van complexe microbiële gemeenschappen te begrijpen) ontwikkeld om het selectieproces te versnellen. Roehe et al. (2016) toonden in een experiment met runderen dat genetische selectie op lage methaanemissie en hoge voederefficiëntie een haalbare optie is aan de hand van een selectiecriterium op basis van metagenome

genen abundantie. Momenteel is dit een tool die voornamelijk voor onderzoeksdoeleinden gebruikt wordt. Op middellange termijn wordt verwacht dat dit ook in de praktijk zijn ingang zal vinden (ILVO, 2016b).

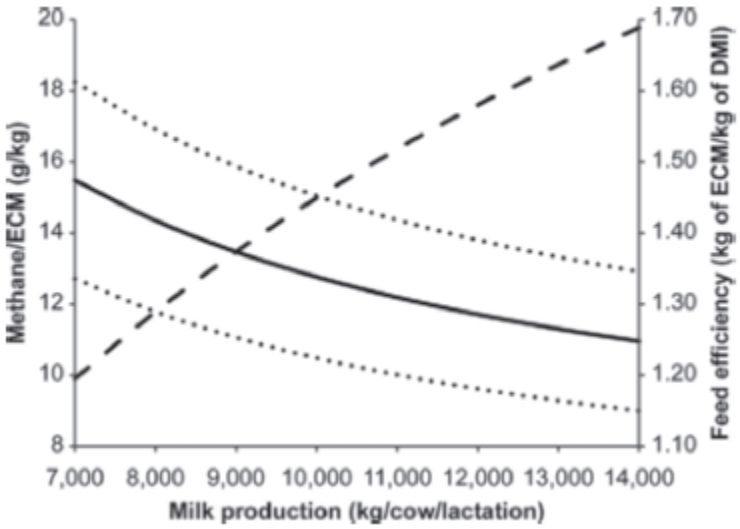
Er is consensus dat het stijgen van de productiviteit van een dier de methaanproductie per eenheid product reduceert (Beauchemin et al., 2008; Clark, 2013; Knapp et al., 2014; Lassen & Løvendahl, 2016). Meer efficiënte melkkoeien zullen meer melk produceren ten opzichte van het opgenomen voeder en de energie verloren als methaan (Knapp et al., 2014). Productie efficiëntie kan verbeterd worden door genetische selectie en managementpraktijken die niet alleen gericht zijn op voeder en het voederen maar ook op voortplanting, warmtestress tolerantie, frequentie van ziektes, opruiming en vervangingspercentage van melkkoeien. Alhoewel de effecten van genetische selectie en managementpraktijken meestal onderzocht worden op basis van individuele koeien is het vanuit het oogpunt van methaanmitigatie belangrijker om dit te benaderen op basis van kudde productiviteit. Genetische selectie en management hebben het potentieel om de opbrengst te verhogen terwijl het aantal te vervangen dieren daalt. Zo draagt het dan bij aan een verminderde methaanproductie door de kudde en een verhoogde meetmelkproductie.

Genetische selectie voor opbrengst en energetische efficiëntie

Alhoewel er al aanzienlijke winst geboekt is in melkproductie door genetische selectie, is er geen indicatie dat het genetisch potentieel voor melkproductie een maximum nadert in intensieve melkveesystemen (Knapp et al. 2014).

Knapp et al. (2014) stelt dat er drie manieren bestaan om op een individuele koe-basis de methaanintensiteit (methaan/meetmelk) te reduceren. Een eerste benadering is om de melkproductie per koe te laten stijgen met corresponderende kleinere stijgingen in droge stof opname, zodat de energie voor levensonderhoud verdund wordt en bruto energie-efficiëntie stijgt. De voorbije tientallen jaren werd vooral hier op ingezet. Maar de reducties in enterische methaan per meetmelkproductie vertonen een patroon met afnemende meeropbrengsten. Een stijging van 100 kg melk per lactatie wordt voorspeld te resulteren in 7,3% reductie methaan/meetmelk bij een productieniveau van 7.000 kg maar slechts in een reductie van 3,1% bij een productieniveau van 13.000 kg (figuur 9). Gelijkaardige bevindingen werden gerapporteerd door Lengers (2012) in een studie van Duitse melkveesystemen.

Figuur 9 Enterische methaanemissie per eenheid van meetmelk (volle en gestippelde lijn) daalt met stijgende productie en met stijgende voederefficiëntie (streeplijn) en kan variëren met ongeveer 20%. De schattingen houden geen rekening met een verbeterde voederkwaliteit of een dalende verteerbaarheid voor hoogproductieve koeien wat de methaanemissie per eenheid van meetmelk verder zou doen dalen. Voorspellingen van methaanproductie werden berekend met een methaanconversiefactor van 5,6 % (volle lijn), 4,6% en 6,6% (Knapp et al, 2014).



Een tweede mogelijkheid is om de lichaamsgrootte te verminderen zonder de melkproductie of –samenstelling te wijzigen, zodat de bruto energie-efficiëntie stijgt zonder de energie voor levensonderhoud te verminderen. De mogelijkheid om de melkproductie op peil te houden terwijl de lichaamsgrootte verkleint is sowieso beperkt door de beperkte hoeveelheid voeder die die kleinere dieren kunnen consumeren. Daarnaast dragen kleinere dieren minder bij tot de vleesvoorziening. In Europa dragen melkkoeien tot de helft bij voor de rundvleesvoorziening. Wereldwijd wordt het aandeel op 57 % geschat. Verder onderzoek is nodig om de mogelijkheden van die benadering af te toetsen. Een derde benadering is door een genetische selectie voor residuele voederopname of residuele vaste uitwerpselen productie[4]; beide zijn een maat voor voederefficiëntie. Er wordt geselecteerd op dieren die meer efficiënt omspringen met nutriënten voor de synthese van melkcomponenten en een vaste lichaamsgrootte. Vermindering van energiekost voor levensonderhoud is hier impliciet aanwezig. Selectie voor residuele voederopname of residuele vaste uitwerpselen productie zal de enterische methaanemissie/meetmelk proportioneel verminderen met de reductie in droge stofopname of stijging in droge stof van de melk.

Garnsworthy et al. (2012 en 2015) rapporteerden dat methaanemissies aanzienlijk variëren tussen koeien onder commerciële omstandigheden. Individuele verschillen bleken consistent en gerelateerd aan de gekende factoren die leiden tot de productie van methaan. Koeien die gelijke hoeveelheden van hetzelfde dieet eten kunnen verschillende methaanemissies (zowel in g/dag als in g/kg droge stof opname) hebben. Verder constateerden ze dat methaan niet noodzakelijk gerelateerd is aan efficiëntie, zodat voorzichtigheid geboden is voor genetische selectie van dieren die een lage uitstoot vertonen. De

[4] Deze definitie van voederefficiëntie identificeert dieren die een groter volume droge stofgehalte van melk produceren met gelijke niveaus van voederopname zonder excessieve mobilisatie van lichaamsweefsel en met verbeterde vruchtbaarheid (Coleman et al., 2010).

methaanconversiegraad varieerde tussen 2% en 12% (de IPCC-waarde bedraagt 6,5%, voor Vlaanderen bedraagt die 6,1%).

Volgens Haas et al. (2011) is het mogelijk om de methaanproductie van een koe in 10 jaar tijd theoretisch te reduceren met 11 tot 26 % door selectie van meer efficiënte koeien en de genetische variatie. Nog grotere reducties zouden mogelijk zijn in een genomisch selectie programma.

Totale productie gedurende de levensduur

Genetische benaderingen die gezondheid, ziekteresistentie, voortplanting, warmtetolerantie verbeteren zullen leiden tot verhoogde individuele levensduur en veestapel productiviteit en zullen de methaanemissies per eenheid melk indirect verlagen (Knapp et al., 2014). De frequentie van veelvoorkomende ziektes bij melkvee is weinig tot matig erfelijk en is positief gecorreleerd met selectie voor verhoogde melkproductie. Hittetolerantie is ook erfelijk. Gedurende het laatste decennium werden selectiecriteria voor melkvee veranderd om ook voortplantingseigenschappen, gevoeligheid voor mastitis en levensduur te bevatten. Al deze zaken kunnen de efficiëntie van de melkproductie verhogen en de methaanemissies verlagen.

Samengevat, genetische selectie voor melkproductie, energie-efficiëntie, ziekteresistentie en warmtetolerantie zullen resulteren in reducties in enterische methaanintensiteit door gestegen melkproductie, verdunning van de energie voor levensonderhoud, en verlaagde vervangingspercentages. De gecombineerde impact van deze genetische benaderingen in intensieve melkveesystemen om de enterische methaanintensiteit te reduceren wordt geschat op 9% tot 19% (Knapp et al, 2014). Deels manifesteert de reductie zich op koe niveau (hogere melkopbrengst), deels op kudde niveau (lagere opruiming en minder vervangingen). Verder zijn de resultaten van genetische selectie, in tegenstelling tot de managementbenadering, permanent. Ze moeten echter wel ondersteund worden door een aangepast management om de gewenste reducties in enterische methaanintensiteit te bekomen.

Andere effecten

Bij genetische selectie voor melkproductie, energie-efficiëntie, ziekteresistentie en warmtetolerantie moet er aandacht zijn om de genetische diversiteit van de Vlaamse veestapel voldoende groot te houden.

Er dient opgemerkt te worden dat bij een hogere melkgift, hogere hoeveelheden krachtvoeder nodig zijn. Krachtvoeders hebben gewoonlijk hogere emissies bij productie dan ruwvoeder. Er is dus een stijging in de emissies van voederproductie bij stijgende melkopbrengst. Frank et al. (2014) rapporteerden dat ondanks het feit dat enterische methaan emissies en broeikasgasemissies uit mestopslag daalden, een verhoging tussen 7.500 tot 10.,000 kg meetmelk geen effect meer heeft op mitigatie van de totale broeikasgasemissies bepaald via een LCA-analyse.

2.3.2 Managementbenaderingen om productiviteit te bevorderen en enterische methaanintensiteit te verminderen

- Dierengezondheid, dalende mortaliteit

Beschrijving van de maatregel

Verminderde melkproductie of verminderde aanzet of minder optimale voederomzetting (en meer emissies) of hogere mortaliteit geven een hogere emissie per geleverd eindproduct op het niveau van de veestapel. Dit is vooral belangrijk op plaatsen met rudimentaire productiesystemen voor vee. Maar ongeacht het ontwikkelingsniveau van het productiesysteem voor vee, leidt dalende mortaliteit tot een

grotere verkoopbare output en lagere broeikasgasemissies per eenheid product. Voor de melkveehouderij vertegenwoordigen klauwproblemen en verwondingen (20%), mastitis (16,5%) en problemen bij het kalven (15,2%) de meest voorkomende oorzaken van sterfte bij volwassen koeien in de VS (Hristov et al., 2013c). Klauwproblemen en mastitis verminderen ook de melkproductie, wat verhoogde broeikasgasemissies per eenheid product tot gevolg heeft. Ook in Vlaanderen zijn de voornaamste redenen voor de afvoer van melkkoeien: onvoldoende productie/onvruchtbaarheid, mastitis en klauwproblemen (Van Aert, 2013). Er wordt geschat dat de helft van de koeien een klauwletsel hebben en een vierde kreupel is. Eén manke koe kost +/- 400 liter melk per lactatie of gemiddeld 53 euro per aanwezige koe. Driekwart van de kosten zijn te vermijden en geven een hogere productie indien voldoende preventieve maatregelen genomen worden. Hierbij is de transitieperiode van droogzetten tot lactatie uiterst belangrijk. Managementverbeteringen die het voorkomen van besmettelijke ziekten en stofwisselingsaandoeningen doen dalen tijdens de transitieperiode, zullen de ongewilde afvoer en verlies door sterfte verminderen en de individuele productiviteit van de koe verhogen. Er wordt geschat dat een daling van de afvoer voor ziekte met 5 % in deze periode in combinatie met een verhoogde melkproductie van 1000 kg/koe per jaar, de methaanemissie per kg meetmelk met 8% tot 12 % doet dalen (Knapp et al., 2014).

- Optimalisatie van slachtleeftijd

Beschrijving van de maatregel

Het gaat hier om emissies te spreiden over kortere of langere levensduur en dus om marginale emissies bij langer aanhouden van de dieren.

- Vruchtbaarheid

Beschrijving van de maatregel

Verminderde vruchtbaarheid verhoogt de broeikasgasemissies van dierlijke productiesystemen; dit is voornamelijk omdat slechte vruchtbaarheid ervoor zorgt dat landbouwers meer dieren per eenheid productie moeten aanhouden en meer vervangingsdieren moeten aanhouden om de kuddegrootte te behouden. Dit blijkt ook uit tabel 2. Goede vruchtbaarheid bij melkvee kan gedefinieerd worden als een koe die tijdig en duidelijk bronstig wordt en die bij de eerste inseminatie drachtig wordt. Het melkvee van vandaag scoort slecht op al deze punten. Het ideaal om een koe ongeveer éénmaal per jaar te laten kalven wordt al lang niet meer gehaald. Waar de tussenkalftijd in 1991 nog zo'n 392 dagen bedroeg, is deze vandaag de dag gestegen naar 420 dagen en meer. Om een goede voedereffficiëntie te bekomen op een bedrijf moeten de koeien gemiddeld 170-180 dagen in lactatie zijn. Deze cijfers behaal je enkel met een tussenkalftijd die lager is dan 395 dagen. Persistente koeien, dit zijn koeien met een vlak verloop van de melkproductie tijdens de lactatie, maken deze rekensom niet veel beter. Naast tussenkalftijd is de afkalfleeftijd van de vaarzen de motor van het bedrijf. Op slechts 25% van de bedrijven kalven de vaarzen af voor de leeftijd van 26 maanden, hoewel de streefwaarde 24 maanden is. Op een vierde van onze bedrijven kalven de vaarzen na een leeftijd van 30 maanden (Passchyn, 2015; http://www.koesensor.be). Uit een analyse van gespecialiseerde Vlaamse melkveebedrijven bleek dat de gemiddelde leeftijd waarop een vaars voor het eerst kalft in de periode 2007-2012 schommelde rond 28 maanden. Bedrijven met een hoog bruto saldo slagen erin vaarzen voor het eerst te laten afkalven op een leeftijd van 27,1 maanden terwijl op de bedrijven met het laagste bruto saldo dit slechts op 29,1 maanden is. Hieruit blijkt dat de afkalfleeftijd ook vanuit economisch perspectief belangrijk is.

- Droogstand

Beschrijving van de maatregel

Goed voortplantingsmanagement zal resulteren in een optimale lengte van droogstand. Tijdens de droogstand krijgt het weefsel van de uier kans om te herstellen. Dit geldt ook voor de melk-producerende cellen. Tot op heden wordt er vooralsnog van uit gegaan dat de optimale lengte van de droogstand ongeveer zes tot acht weken bedraagt. Maar momenteel is er onderzoek aan de Wageningen UR naar het effect van het verkorten (dertig dagen droog) of weglaten van de droogstandsperiode (doormelken). Uit de resultaten van het reeds gevoerde onderzoek blijkt echter dat een kortere droogstand vooral voordelen heeft (http://www.melkvee.nl).

- Stressreductie

Beschrijving van de maatregel

Koeien die vaak of gedurende langere tijd stress ervaren, kunnen niet optimaal produceren. Stresshormonen zijn van invloed op de voederconversie. De melkproductie neemt af en doordat de koe de melk minder makkelijk laat schieten, blijft meer melk achter in het kwartier. Bovendien neemt de weerstand van de koe af waardoor de algehele gezondheid te lijden heeft onder stress. De kans op uierontsteking wordt daarmee aanzienlijk vergroot. Zowel het gedrag van de verzorger of melker als de omgeving (o.a. beschikbaarheid van ligboxen, eet- en drinkplaatsen) is van belang voor het welbevinden van de koe. Borstels kunnen belangrijk bijdragen aan het afvoeren van stress, goed geplaatste hekken die leiden naar logisch geplaatste behandel- of melkruimten dragen bij aan de routine van de dieren. Een melkveehouder die rustig, consequent en voorspelbaar met z'n koeien omgaat, kan een veel hoger rendement behalen (http://www.melkvee.nl). Het voorkomen van stress verhoogt het rendement door een hogere productie en minder transitieziekten, en kan zo bijdragen tot een vermindering van de methaanemissie per eenheid meetmelk.

Ook stress door hitte is een belangrijk thema. Dieren die hittestress ondervinden hebben een lagere droge stofopname, minder gewichtstoename, een dalende melkgift, een lagere vruchtbaarheid en een slechte voortplanting (Knapp et al., 2014, Blackshaw & Blackshaw, 1994). Er wordt beschouwd dat de minimum drempel wanneer dieren hittestress ervaren afhankelijk is van het productieniveau. Knapp et al. (2014) suggereren dat als melkvee geselecteerd wordt op verhoogde melkproductie, hun hittestresstolerantie daalt. Een stijging van 25% in hittestresstolerantie wordt geschat te resulteren in een verminderde opruiming met 2,5%, sterfte met 0,5% en melkproductieverliezen met 1.000 kg/koe per jaar met een netto reductie in methaanemissies per eenheid meetmelk van 10% in intensieve melkveesystemen.

- Verminderen van het aantal vervangingsvaarzen

Beschrijving van de maatregel

Het aantal vervangingsvaarzen dat nodig is, is afhankelijk van het opruimen van oudere koeien in de melk producerende kudde, de leeftijd bij eerste kalving, de mortaliteit van de vaarzen en het opruimen en de mogelijke uitbreiding van het bedrijf (Knapp et al., 2014). Het verminderen van de leeftijd bij de eerste kalving voor goed ontwikkelde vaarzen zal de energievraag verminderen gedurende de groeiperiode, waarin geen melk geproduceerd wordt maar die wel substantieel bijdraagt tot de benodigde energie voor onderhoud van de kudde. Een daling van de mortaliteit van vaarzen heeft ook een significant effect op de methaanreductie omdat dieren die sterven of opgeruimd worden voor hun eerste lactatie een significant gebruik van energie en m vertegenwoordigen zonder dat er bruikbaar voedsel geproduceerd werd. Hoe langer elke producerende melkkoe in de kudde blijft, hoe minder kalveren en vaarzen er nodig zijn voor vervanging en voortplanting. Dit resulteert in een lagere totale

methaanemissie omdat de kudde kleiner is. Het beheersen van de nuttige levensduur en dus het aantal lactaties per koe heeft een impact op methaanemissies. Maar in het algemeen kan men zeggen dat er een afweging is tussen fokken voor een hogere melkopbrengst en het verhogen van de levensduur van de dieren omdat het prestatieniveau verhoogt door het verminderen van de nuttige levensduur. Daarbovenop beïnvloedt de output curve van iedere koe haar economisch nuttige leeftijd en dus haar vervangingssnelheid. Het dalen van de melkproductie van elke koe in een latere lactatiefase heeft ook invloed op de emissie per kg output. Naast een economisch nuttige levenstijd, kan er zo ook een emissie efficiënt aantal lactatieperioden bekomen worden voor elke koe. Veranderingen van de vervangingssnelheid van koeien zijn dus een toepasbare management gerichte reductie strategie bij melkvee productie (Lengers, 2012). Aan de andere kant, zal het dalen van het opruimen van vaarzen en melkkoeien de hoeveelheid vlees dat bijgedragen wordt door de melkveesector doen dalen.

Tabel 2 toont dat het vervangingspercentage de enterische methaanemissies per eenheid meetmelk beïnvloedt. In de Vlaamse melkveesector schommelde het vervangingspercentage lichtjes van jaar tot jaar in de periode 2007-2012. In 2012 werd 33% van de melkveestapel vervangen (Van der Straeten, 2015a). Uit een doorrekening op een typebedrijf blijkt de economische impact van het vervangingspercentage. Een daling van het vervangingspercentage geeft aanleiding tot een sterke daling van de kosten maar dit effect wordt deels tenietgedaan door de lagere opbrengsten uit de verkoop van reforme koeien en nuchtere kalveren (Van der Straeten, 2015b). Daarnaast bleek uit een Nederlands onderzoek op intensieve melkveebedrijven naar voorkeur van landbouwers en kosteneffectiviteit van implementatie van broeikasgas mitigatie maatregelen dat het verminderen van het vervangen van melkkoeien meest belovend is (Vellinga et al., 2011).

Tabel 2 Effect van leeftijd eerste kalving en vervangingspercentage op het aantal nodige vervangingen per 100 koeien en enterische methaanemissies per eenheid meetmelk op kudde niveau (Knapp et al., 2014)

	Leeftijd eerste kalving (maanden)			
vervangingspercentage (%)	22	24	26	28
	Aantal vervangingen nodig per 100 koeien			
25	54	59	64	69
30	65	71	76	82
35	75	82	89	96
40	86	94	102	110
	Bijdrage van vervangingen aan de methaanemissie van de kudde			
25	19,6	21	22,4	23,7
30	22,7	24,2	25,7	27,2
35	25,5	27,2	28,8	30,3
40	28,1	29,9	31,6	33,2

Samengevat, management benaderingen, andere dan voeders en voedermanagement, inclusief stress reductie, ziekteonderdrukking en –behandeling, technologieën om de performantie te verhogen en voortplantingsmanagement, kunnen de melkopbrengst verhogen en de opruiming en het vervangingspercentage verminderen. Veel van deze benaderingen zijn additief, maar niet helemaal. Deze verbeteringen in performantie van de dieren en de kudde worden geschat de enterische methaanintensiteit te verminderen met 9% tot 19%, afhankelijk van het genetisch potentieel van de koeien.

2.3.3 Bedrijfsmanagement

- Gebruik van een kringloopwijzer op melkveebedrijven

Beschrijving van de maatregel

De kringloopwijzer werd in Nederland ontwikkeld en brengt voor een specifiek bedrijf eenvoudig de mineralenkringlopen in beeld. (http://www.mijnkringloopwijzer.nl) De tool werd gemaakt in het kader van de fosfaatproblematiek maar er zijn ook factoren ingebouwd die rekening houden met verschillen in voedersamenstelling, voederopname en verteerbaarheid om variatie in methaanemissie zichtbaar te maken. Zo krijgen individuele melkveehouders een reëler beeld van de methaanemissie door pensfermentatie.

Deze maatregel wordt verder besproken bij stal- en mestmanagement..

2.4 COMBINATIE VAN MAATREGELEN

Het effect van de hierboven voorgestelde maatregelen zal meestal niet volledig additief zijn en niet alle maatregelen kunnen naast elkaar toegepast worden op de volledige kudde. Zo schatten Knapp et al. (2014) dat door een combinatie te maken van verschillende strategieën de enterische methaanemissie in intensieve melkveesystemen gereduceerd kan worden met 15 tot 30% methaan per kg meetmelk. De meeste van de hierboven vermelde opties zijn niet nieuw maar zijn bewezen. Het zijn resultaten van decennia onderzoek in genetica, microbiologie, voeding, fysiologie en diergeneeskunde van wetenschappers overal ter wereld. Ze liggen ook aan de grondslag van het grote verschil in broeikasgasemissie intensiteit tussen intensieve systemen en extensieve systemen. Bij het kiezen van bepaalde strategieën moet ook altijd aandacht zijn voor de impact op andere broeikasgasemissies, andere milieueffecten, economische impact en gemak van implementatie.

2.5 RAPPORTERING

Voor de berekening van de CH_4-emissie door de veeteelt t.g.v. verteringsprocessen worden de IPCC 2006 richtlijnen gehanteerd door de VMM.

Gezien het feit dat runderen (melkvee en niet-melkvee) een key source zijn volgens de IPCC (2001) wordt voor deze dierencategorie een Tier 2 methodologie gehanteerd zoals beschreven in de IPCC 2006 richtlijnen. De dieraantallen komen van de Mestbank van de VLM. Data als gemiddelde gewichten, gewichtstoename, matuur gewicht, melkproductie zijn afkomstig van het Departement Landbouw en Visserij. Die data worden niet jaarlijks aangepast met uitzondering van de melkproductie door melkkoeien. De emissiefactoren voor elke subcategorie van de runderen worden bepaald op basis van de berekende totale energie opname (bruto energie opname) en de methaanconversiefactor voor de respectievelijke subcategorie. In opeenvolgende stappen wordt de totale energie opname berekend. Deze stappen bevatten de verschillende formules voor de berekening van achtereenvolgens de netto energie nodig voor het onderhoud, voor het bekomen van voedsel, voor de groei, enkel voor melk- en zoogkoeien voor de lactatie en enkel voor zoogkoeien voor de dracht. Deze stappen en formules zijn gebaseerd op de IPCC 2006 richtlijnen. De verteerbare energie per veevoedersoort als percentage van de bruto energie opname moet opgevolgd worden en aangepast worden indien nodig. Hetzelfde geldt voor de methaanconversiefactor, de fractie van de bruto energie in voeder geconverteerd naar methaan.

Voor de andere diercategorieën wordt beroep gedaan op de Tier 1 methodologie zoals beschreven in de IPCC 2006 richtlijnen. Deze methode is een eenvoudige vermenigvuldiging van dieraantallen met de overeenkomstige emissiefactor. De dierenaantallen worden verkregen van de Mestbank van de VLM. De toegepaste emissiefactoren zijn default factoren uit het IPCC 2006 en kunnen aangepast worden als regiospecifieke waarden worden bekomen.

3 STAL- EN MESTMANAGEMENT

In mest ontstaan methaan en lachgas doordat bacteriën het organisch materiaal afbreken.

Het grootste deel van de methaanemissie uit mest wordt geproduceerd onder anaerobe omstandigheden gedurende de opslag. Het organische materiaal dat in mest aanwezig is geeft bij anaerobe fermentatie aanleiding tot methaanvorming. Na mestaanwending op het land is er weinig methaanemissie. Daarom liggen de opportuniteiten om de methaanemissie te reduceren voornamelijk in het voorkomen van anaerobe omstandigheden tijdens de mestopslag of in het omzetten van methaan in anaerobe condities (Montes et al. 2013).

Verschillende gelijktijdige processen zijn verantwoordelijk voor de emissie van stikstof gassen uit mest en bodems. Lachgas wordt voornamelijk gevormd door de biologische processen van nitrificatie en denitrificatie (Ecolas, 2006; Signor & Cerri, 2013). Een kleine fractie van het lachgas wordt geproduceerd in niet-biologische processen. De vorming van lachgas is sterk afhankelijk van de condities (water, vorm van de aanwezige N, organische C, temperatuur, microbiële populatie, ...) (Montes et al, 2013).

Hieronder wordt dieper ingegaan op denitrificatie- en nitrificatieprocessen aangezien dit de belangrijkste processen zijn voor de vorming van lachgas in mest en in bodems.

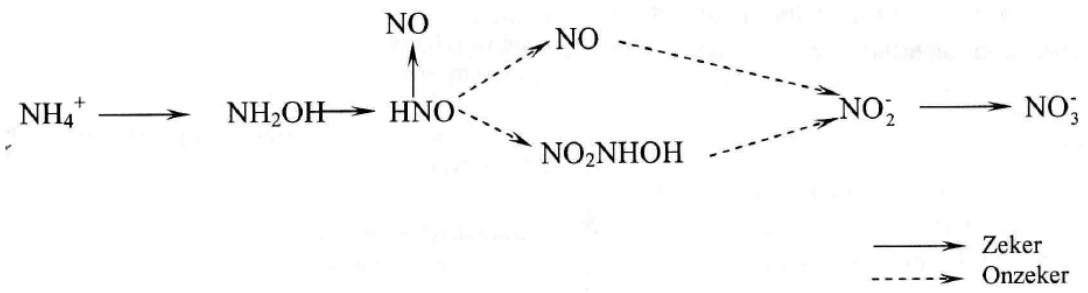
Nitrificatie

Nitrificatie is een aëroob proces, dat vooral uitgevoerd wordt door autotrofe bacteriën (figuur 10).

Autotrofe nitrificeerders gebruiken CO_2 als koolstofbron en verkrijgen hun energie door de oxidatie van ammonium (NH_4^+). Nitrificatie gebeurt in twee stappen. In de eerste stap wordt NH_4^+ geoxideerd tot nitriet (NO_2^-) met NH_2OH als intermediair. Bacteriën die NH_4^+ omzetten in NO_2^- worden ammoniumoxideerders genoemd.

Hun naam krijgt de prefix Nitroso-. In deze groep zijn de Nitrosomonas species de bekendste. In de tweede stap wordt NO_2^- verder geoxideerd tot nitraat (NO_3^-). Deze stap wordt uitgevoerd door nitrietoxiderende bacteriën, aangeduid met de prefix Nitro. In deze groep zijn de Nitrobacter soorten de best gekende.

Figuur 10 Voorstel processchema van nitrificatie (Vanderreydt et al., 2004)



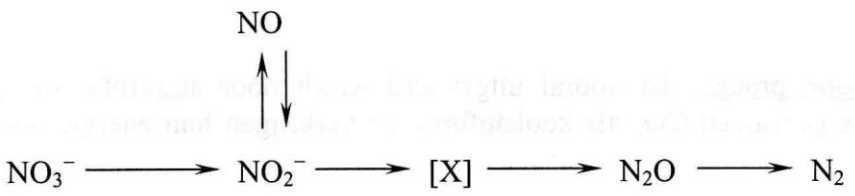
Er zijn twee processen verantwoordelijk voor de N_2O-vorming tijdens nitrificatie:

- Ammoniumoxideerders kunnen NO_2^- gebruiken als alternatieve elektronacceptor indien zuurstof gelimiteerd is en produceren zo N_2O. Dit proces heet biologische denitrificatie.
- De vorming van N_2O kan ook volgen uit de decompositie van intermediaire producten in de nitrificatie zijnde NH_2OH of N_2O^- of de reactie van NO_2^- met organische componenten (bv. amines). Dit proces heet chemodenitrificatie. De hoeveelheid N_2O geproduceerd bij chemodenitrificatie is waarschijnlijk een grootte-orde kleiner dan de hoeveelheid geproduceerd bij biologische denitrificatie (Vanderreydt et al, 2004 in Ecolas, 2006).

Denitrificatie

Denitrificatie kan worden gedefinieerd als een groep van processen waarbij nitriet (NO_2^-) en nitraat (NO_3^-) (figuur 11) worden gereduceerd tot de gasvormige componenten NO, N_2O en N_2. Deze definitie omvat zowel microbiologische als abiotische reacties. Biologische denitrificatie is het belangrijkste proces als bron van N_2O. Vele micro-organismen kunnen NO_3^- gebruiken als primaire elektronenacceptor voor het bekomen van energie uit organische componenten, in omstandigheden waarbij lage zuurstof-beschikbaarheid hun metabolisme beperkt (heterotrofe denitrificatie). De volgende sequentie voor N-oxide reductie werd voorgesteld in Vanderreydt et al, 2004:

Figuur 11 Voorstel processchema van denitrificatie (Vanderreydt et al, 2004)



Algemene vereisten voor denitrificatie houden in:

- de aanwezigheid van micro-organismen die kunnen denitrificeren
- beschikbaarheid van reductans, zijnde organische koolstof
- beperkte O_2 beschikbaarheid (anaërobe of anoxische omstandigheden)
- aanwezigheid van N-oxides: NO_3^-, NO_2^-, NO of N_2O.

Bij denitrificatie in een habitat blootgesteld aan de atmosfeer is de aanwezigheid van zuurstof de belangrijkste beperkende factor voor denitrificatie. In een anaerobische habitat is de beschikbaarheid van NO_3^- de belangrijkste beperkende factor. Indien NO_3^- productie via nitrificatie moeizaam verloopt (bv. onder anaërobe condities), zal het denitrificatieproces eveneens moeizaam verlopen en kunnen denitrificerende micro-organismen zelfs N_2O als elektronacceptor gaan gebruiken wat een consumptie van dit gas oplevert. Organismen die in staat zijn om NO_3^- tot N_2 te reduceren, produceren soms grote hoeveelheden N_2O bij lage zuurstof aanwezigheid of soms helemaal geen. Dit kan veroorzaakt worden door verscheidene factoren. Een van die factoren is de relatieve hoeveelheid beschikbaar reductans (meestal organisch koolstof) ten opzichte van oxidans (N-oxides). Indien meer oxidans dan reductans beschikbaar is zal het oxidans niet volledig opgebruikt worden en zal N_2O niet volledig tot N_2 worden gereduceerd (Ecolas, 2006).

Om lachgas- en methaanemissies uit de landbouw te reduceren zijn voeder- en mestmanagement erg belangrijk. Aanpassingen aan het rantsoen kunnen resulteren in lagere stikstof inhoud van de mest en dus lagere stikstofverliezen. Verder kunnen tal van maatregelen en technologieën de lachgas- en methaanemissies reduceren tijdens de verschillende fasen in het mestbeheer (stallen, externe opslag, mestscheiding, vergisting, mestaanwending). Voor de meeste maatregelen zijn echter nog geen eenduidige emissiefactoren beschikbaar (Chadwick et al, 2011).

Het zo snel mogelijk verwijderen van de mest uit de stal en het niet laten accumuleren van oude mest lijkt de belangrijkste maatregel voor reductie van de broeikasgasemissies (ILVO, 2016b).

Bij het selecteren van strategieën voor mitigatie van methaan en lachgas emissies uit mest is het belangrijk om ammoniakmitigatie mee te nemen. Goede combinaties van mitigatiemaatregelen op bedrijfsniveau zijn noodzakelijk om de impact van veehouderij op de globale emissies van lachgas, methaan en ammoniak te minimaliseren (Hou et al., 2015)

Verschillende van de hieronder beschreven maatregelen, worden in praktijk ingezet ter reductie van de ammoniakemissies. Van een aantal daarvan is aangetoond dat ze ook een effect hebben op de emissies van broeikasgassen. Een aantal maatregelen heeft vermoedelijk een effect, maar dat is nog niet aangetoond, laat staan gekwantificeerd.

3.1 VOEDERMANAGEMENT

N_2O emissies uit mestopslag kunnen verminderd worden door optimalisering van de rantsoensamenstelling, en meer bepaald door een verhoogde stikstofefficiëntie in het voederrantsoen. Hierdoor bevat de geproduceerde mest minder stikstof zodat ook lagere verliezen zullen optreden.

Bij varkens en pluimvee is het gebruik van laageiwitvoeders sterk ingeburgerd (BEMEFA, 2016). In de varkensbedrijven is dit verplicht vanaf een bepaalde bedrijfsgrootte. Ook fasevoedering is een ingeburgerde praktijk bij varkens en pluimvee. Bij runderen zijn er ook mogelijkheden.

3.1.1 Voedermanagement bij runderen

Beschrijving van de maatregel

Het wordt steeds belangrijker om de eiwitefficiëntie verder te verbeteren. Drie opties lijken daarbij kansrijk. In de eerste plaats kan met behulp van rantsoenanalyse en berekeningen de zogenaamde Onbestendige Eiwit Balans[5] (OEB) omlaag gehaald worden. De koe heeft een grote capaciteit om bijvoorbeeld via speeksel stikstof naar de pens te recycleren. Door een lagere OEB daalt met name de uitscheiding van stikstof via de urine. Dat is belangrijk, want stikstof in urine verdwijnt veel gemakkelijker in ongewenste vormen (ammoniak, lachgas) dan stikstof in mest. Een tweede aanknopingspunt ligt in een goede aminozuurbalans. De aminozuur-normen stammen namelijk uit de jaren 70 en het is zeer de vraag of deze nog wel voldoen bij voederen op het scherpst van de snede. Verder onderzoek zal ertoe moeten leiden dat rantsoenen worden opgesteld in functie van de behoeften aan aminozuren en de hoeveelheid darmverteerbare aminozuren in de voedermiddelen, zoals dit nu reeds gebeurt in de varkens- en kippenvoeding (Hubrecht et al., 2013). Tot slot lijken er verbetermogelijkheden te liggen door het gebruik van nieuwe eiwitbronnen in veevoeder, al dan niet

[5] Dit kengetal geeft aan hoeveel eiwit en energie er in de pens beschikbaar komt en of deze twee componenten in balans zijn. Een positieve Onbestendige Eiwit Balans (OEB) betekent dat er relatief meer eiwit in de pens beschikbaar is ten opzichte van de energie. Een negatieve OEB geeft een relatief tekort aan penseiwit aan.

uit restproducten. Daarbij gaat het om een scala aan mogelijke producten, uiteenlopend van tarwegistconcentraat tot insecten (Dijkhuizen, 2013).

Andere effecten

Dijkstra et al (2011) rapporteerden dat het verminderen van het eiwitgehalte in het rantsoen van melkvee, de stikstofexcretie in de urine en in de feces doet dalen, maar dat het effect op methaan minder eenduidig is. Methaanproductie kan dalen als zetmeel of verteerbare nutriënten die bestendig zijn tegen de afbraak in de pens de eiwitten vervangen maar zal stijgen als het vezelgehalte van het rantsoen stijgt. Daardoor kunnen mitigatie opties om de stikstofexcretie in de urine te verminderen, afhankelijk van het vezelgehalte, resulteren in een verhoogde methaanemissie. Ook Bannink et al. (2013) meldden dat simulatiestudies aanwijzen dat de richting en de grootte van veranderingen in enterische methaanemissie afhangen van de gebruikte aanpak om de stikstofexcretie te verminderen. Resultaten geven aan dat er kan verwacht worden dat veranderingen in stikstofexcretie gepaard gaan met veranderingen in enterische methaanemissie en dat gelijktijdige veranderingen elkaar volledig kunnen compenseren voor wat betreft hun bijdrage tot broeikasgasemissie. Trade-offs tussen het niveau en type van stikstofexcretie en enterische methaanproductie moeten goed doorgrond worden en zijn essentieel vooraleer aanbevelingen aan landbouwers gedaan kunnen worden over hoe ze emissies op het bedrijf, waaronder broeikasgasemissies, kunnen reduceren. Indien de nauwkeurigheid van de metingen nog verbetert, is het mogelijk dat melkanalyses in de toekomst gebruikt worden als indicator voor N excretie en enterische methaanemissie. Op bedrijfsniveau worden ureumanalyses in Vlaanderen reeds gebruikt om stikstofverliezen te monitoren. Dit kan echter nog niet als instrument uitgerold worden over alle rantsoenen heen (Van Gansbeke, 2016).

3.1.2 Bedrijfsmanagement

- Gebruik van een kringloopwijzer op melkveebedrijven

Beschrijving van de maatregel

Nutriëntenbeheer op een landbouwbedrijf is een integrale manier om mineralenverliezen tegen te gaan. Hierbij wordt uitgegaan van het principe dat via managementmaatregelen het nutriëntensurplus op het landbouwbedrijf daalt en de nutriëntengebruiksefficiëntie stijgt. Uit de mineralenkringlopen volgen kringloopscores als excreties van stikstof en fosfaat, overschotten van stikstof en fosfaat, mineralenbenuttingen en ammoniakemissies. In het kader van deze nota is ook de stikstofcyclus van belang. Een hogere stikstofgebruiksefficiëntie zal ook leiden tot een daling van de lachgasemissie. Een voorbeeld van een dergelijke benadering is de kringloopwijzer in Nederland. De kringloopwijzer brengt voor een specifiek bedrijf eenvoudig de mineralenkringlopen in beeld. (http://www.mijnkringloopwijzer.nl). Vanaf 2016 moeten alle melkveehouders in Nederland voor hun bedrijf de kringloopwijzer laten opstellen. Verschillen tussen Vlaamse bedrijven kunnen op dit moment nog niet gemonitord worden.

Door het opstellen van een N-input-outputbalans op bedrijfsniveau kan het stikstofmanagement van het bedrijf in kaart worden gebracht en geoptimaliseerd. Deze integrale benadering laat toe om de gehele milieuprestatie van het bedrijf voor het beschouwde nutriënt in te schatten en eventuele "pollution swapping" tussen de compartimenten van de stikstofcyclus te identificeren en te vermijden.

Om de prestatie van een individueel bedrijf, groep bedrijven of een (sub)sector te verbeteren, kunnen bepaalde managementmaatregelen genomen worden ten einde de N-gebruiksefficiëntie te verhogen. Voorbeelden van dergelijke maatregelen zijn het verhogen van de voederefficiëntie door een betere afstemming van het voeder op de behoefte van het dier of het verhogen van de efficiëntie van dierlijke mest door emissiearm aanwenden en het aanpassen van het tijdstip en de dosis van bemesting aan de specifieke gewasbehoefte.

Op basis van de MIRA-studie 'Begroting van stikstof- en fosforstromen in Vlaanderen (Coppens et al., 2013) kan een ruwe inschatting gemaakt worden van de huidige stikstofefficiëntie van de Vlaamse land- en tuinbouw. Voor de plantaardige productie kan op basis van deze studie een efficiëntie van 0,8 worden afgeleid, terwijl dit voor de dierlijke productie 0,6 is.

Andere effecten

Aangezien er in de kringloopwijzer ook factoren ingebouwd zijn die rekening houden met verschillen in voedersamenstelling, voederopname en verteerbaarheid kan ook variatie in methaanemissie zichtbaar gemaakt worden. Zo krijgen individuele melkveehouders een reëler beeld van de methaanemissie door pensfermentatie.

Een bedenking bij dergelijke balanssystemen zoals kringloopwijzer is dat de opvolging erg intensief (administratief + meetsystemen) is en voor sommige posten nog onvoldoende uitgewerkt is (VLM, 2016). Zo is moeilijk om het rantsoen in te schatten bij beweiding (ILVO, 2016b). Het rantsoen bij beweiding hangt immers af van de bemesting van het grasland. De vraag stelt zich hoe dit gemonitord kan worden. De opmaak van de kringloopwijzer zou moeten gebeuren aan de hand van bestaande infostromen om de administratieve last te beperken.

3.1.3 Nutriëntenarme voeders en verbeterde voedertechnieken bij varkens en pluimvee

Beschrijving van de maatregel

Zoals hierboven vermeld wordt de productie van dierlijke mest o.a. bepaald door de voeders waarmee de dieren gevoederd worden. Via nutriëntenarme voeders en verbeterde voedertechnieken, wordt gestreefd naar een verlaging van de hoeveelheid nutriënten in de geproduceerde mest. Dit is een maatregel in kader van het MAP voor varkens en pluimvee. Voor varkensbedrijven is het in bepaalde gevallen bovendien verplicht om de productie met een nutriëntenbalansstelsel te berekenen. Landbouwers die opteren voor een nutriëntenbalansstelsel, werken niet met de forfaitaire uitscheidingsnormen maar met cijfers die dichter aansluiten bij de reële uitscheidingscijfers. Er zijn drie mogelijke nutriëntenbalansstelsels, namelijk regressie, convenant en andere voeders of voedertechnieken. In 2014 werd 15,0 miljoen kg N minder dierlijke mest geproduceerd door de nutriëntenaanpak aan de bron via voeders. Het grootste aandeel hiervan wordt ingenomen door varkens, goed voor 12,7 miljoen kg N minder dierlijke mest. Het gebruik van nutriëntenarme voeders en verbeterde voedertechnieken bij pluimvee zorgt voor 2,3 miljoen kg N minder dierlijke mest. De aanpak wordt voornamelijk gerealiseerd bij andere varkens van 20 tot 110 kg en bij slachtkuikens. Zowel bij varkens als bij pluimvee, wordt de nutriëntenaanpak aan de bron voornamelijk gerealiseerd door het systeem van regressie. De nutriëntenaanpak aan de bron via voeders is verder gestegen in de periode 2007-2014. De toename van de nutriëntenaanpak aan de bron volgt de toename van het aantal varkens en pluimvee. (VLM, Mestrapport 2015 over de mestproblematiek in Vlaanderen, 2015). Door de aanpak aan de bron is de absolute mestproductie minder snel gestegen is dan de toename van varkens en pluimvee.

De verminderde hoeveelheid N in de geproduceerde mest heeft een invloed op de N_2O-emissie uit mest. Hierbij moet wel de kanttekening gemaakt worden dat het gebruik van dierlijke mest gelijk blijft en bijkomende mest verwerkt wordt (uitbreiding mits mestverwerking) (VLM, 2016).

Andere effecten

Een lagere hoeveelheid N in de geproduceerde mest zal ook een gunstig effect hebben op de NH_3 emissies uit mest.

3.2 STALLEN

De stalstructuur bepaalt grotendeels het type mest dat gevormd wordt, de wijze van mestopslag en mestbehandeling, en dus daarmee ook de mate waarin methaan en lachgas (en ammoniak) gevormd zullen worden en kunnen vrijkomen. Onder andere het al dan niet instrooien van de stallen en de frequentie waarmee de mest verwijderd wordt uit de stal, bepalen de broeikasgasemissies uit de mest. Er wordt meer methaan gevormd wanneer mest voor langere tijd wordt opgeslagen, dan wanneer mest dagelijks verwijderd wordt. Een roostervloer leidt tot minder broeikasgasemissies dan een volle vloer met strooisel. Ook de temperatuur en de ventilatie hebben invloed op broeikasgasvorming. Bij herkauwers heeft het staltype relatief minder invloed op de broeikasgasemissies, omdat het grootste deel van de emissies van de dieren zelf komt (Hristov et al, 2013a).

In het algemeen zijn er weinig kwantitatieve gegevens over het effect op broeikasgasemissies voorhanden.

3.2.1 Ammoniakemissiearme stallen voor varkens en pluimvee

Beschrijving van de maatregel

De bouw van ammoniakemissiearme (AEA) stallen is een belangrijke pijler van het Vlaams ammoniakreductiebeleid. Deze stalsystemen beperken de ammoniakemissie en in veel gevallen worden ook de emissies van geur, stof, methaan en lachgas gereduceerd.

Sinds 2003 moeten nieuwe varkens- en pluimveestallen worden gebouwd volgens één van de technieken die worden bepaald in een lijst van stalsystemen[6] voor ammoniakreductie. Voor rundvee geldt die verplichting niet. Stallen waar biologisch wordt geproduceerd moeten ook niet aan de verplichting voldoen.

Het ammoniakemissiearme karakter van stallen wordt bepaald door onder meer:

- snelle verwijdering van de mest;
- beperking van het emitterend mestoppervlak;
- sturing van het mestgedrag;
- gescheiden afvoer van feces en urine;
- mestdroging;
- mestbehandeling (b.v. beluchting, koeling);
- mechanische ventilatie;
- gemakkelijk te reinigen materialen.

Naast deze technieken met brongerichte aanpak bevat de lijst eveneens een aantal nageschakelde of end-of-pipe luchtbehandelingstechnieken ter beperking van ammoniakemissie vanuit de stal.

[6] De lijst met emissiearme stalsystemen is opgenomen in het ministerieel besluit van 31 mei 2011, later aangevuld door middel van andere ministeriële besluiten. Deze lijst bevat ammoniakemissiearme stalsystemen voor volgende diercategorieën: biggen, kraamzeugen, guste en dragende zeugen, vleesvarkens, opfok legkippen, legkippen, slachtkuikenouderdieren, slachtkuikens, opfok slachtkuikenouderdieren. Voor een aantal diercategorieën bestaan er nog geen of onvoldoende aan de praktijk getoetste stalsystemen. Het gaat om beren, kalkoenen, eenden, loopvogels, kwartels, parelhoenderen, ganzen, fazanten, vleesduiven en ander pluimvee.

In 2014 zaten in Vlaanderen meer dan 480.000 biggen in ammoniakemissiearme stalsystemen, bijna 140.000 zeugen, 650.000 vleesvarkens, en 12,5 miljoen stuks pluimvee (op basis van cijfers VLM). In totaal waren er in 2014 bijna 29 miljoen stuks pluimvee en zo'n 6 miljoen varkens in Vlaanderen, waarvan meer dan 430.000 zeugen (Departement Landbouw en Visserij).

Broeikasgasemissiereductie

Mosquera & Hol (2012) hebben voor de Nederlandse ammoniakemissiearme stalsystemen emissiefactoren voor methaan en lachgas bemeten of berekend. Hun onderzoek toont aan dat, na vergelijking met de door Nederland gehanteerde IPCC-emissiefactoren voor standaardstallen, bepaalde ammoniakemissiearme stalsystemen ook de emissie van CH_4 en N_2O verminderen (Mosquera & Hol, 2012). Het gaat met name om systemen die inzetten op het gescheiden afvoeren van feces en urine en op frequente mestafvoer. Sommige systemen leken echter een hogere emissiefactor te hebben dan de gebruikte IPCC-factoren (bijvoorbeeld koeldeksystemen in varkensstallen en verschillende pluimveestaltypes). Voor de luchtwassers wordt een verwijderingsrendement van broeikasgassen van 0% gehanteerd. Hristov et al (2013a) en Van der Heyden et al (2016) signaleren dat luchtwassers die ammoniak afvangen geen methaan verwijderen en zelfs kunnen leiden tot lachgasproductie.

De grote onzekerheid over de emissiefactoren van methaan en lachgas maakt het moeilijk te berekenen hoeveel emissiereductie er gerealiseerd wordt. Om de werkelijke vermeden broeikasgasemissies te kunnen berekenen, moeten er voor alle Vlaamse stalsystemen emissiefactoren worden bepaald.

Andere effecten

Deze stalsystemen beperken de ammoniakemissie en in veel gevallen worden ook de emissies van geur, stof, methaan en lachgas gereduceerd.

De meest recente emissiefactoren voor ammoniak, fijn stof en geur zijn opgenomen in de "Lijst met geactualiseerde emissiefactoren voor ammoniak, geur en fijn stof, Bijlage van het Richtlijnenboek Landbouwdieren" (2015).

In 2014 werd dankzij de AEA stallen in Vlaanderen zo'n 3.200 ton NH_3 minder uitgestoten dan wanneer diezelfde dieren in standaardstallen zouden gehuisvest zijn. Dat is een reductie van 63% ten opzichte van standaardstallen. Voor geur zou zo'n 9,4 miljoen ouE/s vermeden zijn (ouE = Europese geureenheid). Dat is een reductie van 24% ten opzichte van standaardstallen. Wat fijn stof betreft is er 105 ton PM_{10} en 1,81 ton $PM_{2,5}$ vermeden. Dat is een reductie van 6 resp. 18% ten opzichte van standaardstallen.

Een nadelig effect van een luchtwasser is de toename van het energieverbruik van de stal. Die toename is voor een deel toe te schrijven aan het elektriciteitsverbruik van de luchtwasser zelf, maar wordt in hoofdzaak veroorzaakt door extra elektriciteitsverbruik van de mechanische ventilatie, die een veel grotere weerstand ondervindt van het waspakket. Ook het hoge waterverbruik is een knelpunt.

3.2.2 Rundveestallen

Beschrijving van de maatregel

Waar in de varkens- en pluimveehouderij AEA-stalsystemen de ammoniakemissie met minstens 40 tot 50% kunnen reduceren, is dit voor runderen niet het geval. Voor runderen lijken ammoniakemissie reducties van 20 à 45% voorlopig het maximaal haalbare. Ammoniakemissiearme vloersystemen werken op de snelle afvoer van feces en urine van de vloer. Er bestaan verschillende systemen, die allemaal inspelen op het snel en eventueel gescheiden afvoeren van feces en urine en het verhinderen van luchtuitwisseling met de mestkelder. Enkele systemen zijn: mestschuif (die minstens 6 maal per dag schuift), mestrobot, roostervloeren met urinesleuven, met of zonder afdichtflappen in de roosterspleten, geprofileerde vlakke vloer met perforaties, ...

In de Vlaamse rundveehouderij is de toepassing van een ammoniakemissiearme vloer nog zeer beperkt (<1% van de bedrijven). De systemen zijn nog nieuw en moeten nog gestandaardiseerd worden. Bij bepaalde systemen zijn er nog problemen met de werking (ILVO, 2016b).

De vloersystemen worden vooral gebruikt ter reductie van de ammoniakemissie, maar hebben waarschijnlijk ook effect op broeikasgasemissies. Dat is echter (nog) niet gekwantificeerd. Onderzoek is nodig om emissiefactoren voor broeikasgassen te kunnen bepalen. Bij bepaalde maatregelen (bijvoorbeeld mestschuif) hangt de emissiereductie bovendien af van de toepassing in de praktijk (in geval van mestschuif moet die bijvoorbeeld minstens 6 keer per dag schuiven).

Andere effecten

De ammoniakemissiearme vloeren reduceren de ammoniakemissie, alsook in beperkte mate de emissie van geur en van fijn stof. De Vlaamse PAS-lijst[7] bevat een heel aantal ammoniakemissiearme systemen met bijhorende ammoniakemissiereducties. Ook de Nederlandse Rav-lijst (Regeling ammoniak en veehouderij) bevat emissiearme vloersystemen en geeft de bijhorende emissiefactoren voor ammoniak, geur en fijn stof.

Het in bepaalde vloertypes aanwezige rubber of ander zacht materiaal heeft ook een positief effect op dierenwelzijn.

3.2.3 Strooiselmanagement in vleesveestallen

Beschrijving van de maatregel

In de praktijk wordt vleesvee altijd op stro gehuisvest, de (gedeeltelijk) ingestrooide stal is de standaardhuisvesting. Er is dus altijd stromest (naast eventuele mengmest opgevangen in een mestkelder). De emissies van dit type stal worden beïnvloed door het strooiselmanagement. Mogelijk is er emissiereductie (lachgas, methaan en ammoniak) te realiseren door het strooiselmanagement te verbeteren. Dit potentieel is echter niet gekwantificeerd.

Ook andere diersoorten kunnen al dan niet op strooisel gehouden worden. In het algemeen zal het gebruik van strooisel in varkensstallen de broeikasgasemissie verhogen. De emissies zijn weliswaar afhankelijk van het type strooisel, de toegediende hoeveelheid, de verwijdering en het beheer (Philippe & Nicks, 2014).

De kwantificering van de potentiële emissiereductie bij vleesvee dient nog door onderzoek te worden onderbouwd (het reductiepotentieel is niet bekend, noch de mate waarin de beste praktijken nu reeds worden toegepast). Hierbij dienen niet alleen directe emissies op stalniveau te worden begroot, maar ook de toepassing van de dierlijke mest op akker/weide, met name de emissie van broeikasgassen en ammoniak bij toediening en andere milieueffecten zoals het lange termijneffect op bodemvruchtbaarheid.

3.2.4 Beweiden versus opstallen van melkvee

Beschrijving van de maatregel

Onder invloed van schaalvergroting en intensivering van de melkveehouderij is sinds eind jaren negentig een forse verschuiving opgetreden van het weiden van melkkoeien naar opstallen (CBS, 2015).

---

[7] https://www.vlm.be/nl/themas/Mestbank/mest/emissie/Lijst-van-emissiereducerende-maatregelen-in-het-kader-van-PAS/pas-lijst/Paginas/default.aspx Voorbeelden zijn: loopvloer reinigen met mestschuif of mestrobot (en water), combi profiel- en roostervloer voorzien van mestschuif en sproeisysteem, roostervloer voorzien van cassettes in de roosterspleten en reinigen met mestschuif of mestrobot, ...

De emissie van lachgas is bij beweiding van melkvee veel hoger dan bij het uitrijden van mest. De emissie van methaan is bij weidemest juist laag en bij in de stal geproduceerde mest relatief hoog. Uitgedrukt in CO_2-equivalenten wordt de toename in lachgasemissie bij meer beweiding grotendeels gecompenseerd door de afname van methaanemissie uit mest in de stal. De verandering in CO_2-equivalenten is daarbij hooguit enkele tienden van procenten. Meer beweiden leidt dus niet of nauwelijks tot verandering van broeikasgasemissie (CBS, 2015).

Andere effecten

Meer of minder beweiden beïnvloedt de samenstelling van het rantsoen en daarmee ook de methaanemissie uit pens- en darmfermentatie (Van Bruggen & Faqiri, 2015).

De trend naar vaker opstallen van melkkoeien zorgt voor toename van de ammoniakemissie (CBS, 2015). Bij beweiding is er weinig vermenging van urine en feces, waardoor er minder ammoniak geproduceerd wordt. De urine trekt snel in de bodem waardoor ammonium wordt geadsorbeerd aan bodemdeeltjes en minder snel zal vervluchtigen. Vermenging van urine en feces in de stal zorgt voor een relatief hoge emissie. Daarnaast moet de mest die in de stal terechtkomt later uitgereden worden waarbij opnieuw ammoniakemissie optreedt.

Meer beweiding heeft anderzijds een negatief effect op nitraatuitspoeling en mineralenbenutting.

De stalstructuur en het mestbeheer in de stal bepalen grotendeels de vorming en emissies van broeikasgassen. In het algemeen zijn er echter nog maar zeer weinig kwantitatieve gegevens over het effect op broeikasgasemissie voorhanden.

3.3 (EXTERNE) MESTOPSLAG, MESTBEWERKING EN MESTVERWERKING

3.3.1 Externe mestopslag en mestbewerking

Beschrijving van de maatregel

Verschillende factoren hebben een invloed op de vorming en vervluchtiging van methaan en lachgas in mestopslag: diersoort, type mest (mengmest/stalmest), voeder, temperatuur, open/gesloten opslag, duur van de opslag, beluchting, vochtgehalte, zuurtegraad, ...

Door de mest niet te laten accumuleren maar regelmatig te verwijderen uit de stal en op te slaan in een externe, gesloten mestopslag, verlaagt de uitstoot van broeikasgassen uit de mest, onder andere doordat geen anaerobe omstandigheden worden gecreëerd in de mestkelder en de mest opgeslagen wordt bij een lagere temperatuur. Daarnaast kunnen nog andere technieken worden toegepast op de mestopslag, zoals het aanzuren, verdunnen of scheiden van de mest. Composteren van de dikke fractie en anaerobe behandeling van mengmest (vergisting) kunnen ook emissiereducties opleveren (zie 3.3.2).

In Vlaanderen wordt de meeste mest opgeslagen onder de stal. Een beperkt deel wordt extern opgeslagen, soms gekoppeld aan pocketvergisting. Externe opslag van mengmest moet afgesloten zijn van de buitenlucht (met uitzondering van de noodzakelijke beluchtingsgaten).

Type mest. Voor runderen en varkens wordt de methaanemissie uit mengmest een factor 10 hoger ingeschat dan die uit stalmest. De lachgasemissie is dan weer lager uit mengmest dan uit vaste mest, omdat die laatste een hogere N-inhoud heeft. Bovendien vertoont mengmest verzameld onder de stal

niet de combinatie van aerobe en anaerobe omstandigheden, nodig voor de vorming van lachgas (Ecolas, 2006; Hou et al, 2015).

Temperatuur. De methaan- en lachgasemissies nemen toe met stijgende temperatuur. Bij lage temperatuur (< 5-15 °C) is de methaanemissie zeer laag tot nul (Ecolas, 2006; Chadwick et al, 2011). Volgens de meeste auteurs is bij lage temperatuur (< 10°C) geen temperatuurseffect op de lachgasemissie meer meetbaar (Ecolas, 2006).

Aanzuren. De methaanemissie is maximaal bij pH = 7. Aanzuren van mengmest (bijvoorbeeld met zwavelzuur in het Deense Infarm systeem) geeft aanleiding tot een daling van de methaanemissie met 87%. Die daling is toe te schrijven aan de inhibitie van de methanogenese door de zure omstandigheden en de hoge sulfideconcentraties. De reductie van lachgasemissie na toedienen van aangezuurde mest lijkt beperkt (Bussink & van Rotterdam-Los, 2011; Chadwick et al, 2011; Hou et al, 2015).

Aanzuren van mest kent op dit moment geen toepassing in Vlaanderen omwille van onzekerheden over de effecten van bemesting met aangezuurde mest (bijvoorbeeld op het vlak van zwaveldepositie). In Denemarken is de techniek wel goed ingeburgerd en wordt 19% van de mengmest aangezuurd (ILVO, 2016b).

Aerobe behandeling. Aerobe opslag is mogelijk zowel voor mengmest (mengen en beluchten) als voor vaste mest (composteren). Ook de dikke fractie van gescheiden mest kan gecomposteerd worden.

Zowel voor mengmest als voor vaste mest wordt in de meeste gevallen een reductie van de methaanemissie vastgesteld. De emissie van lachgas zou dan weer verhogen bij beluchten. Het composteren van mest leidt immers tot verlies van N (waaronder N_2O en NH_3) en CO_2. Echter, dankzij de verlaging van de methaanemissie zou de totale broeikasgasuitstoot toch verlagen (Ecolas, 2006; Chadwick et al, 2011; Hristov et al, 2013a; Montes et al, 2013; Hou et al, 2015). Beluchten van mest gebeurt, als alternatief voor mestmixen, maar in een zeer beperkt aantal gevallen.

Mestscheiding. Het scheiden van drijfmest in een dunne en een dikke fractie, gevolgd door het composteren van de dikke fractie, reduceert de methaanemissies maar heeft een wisselend effect op lachgas (Hristov et al, 2013a). Kwantificering van de impact van mestscheiding op methaanemissies is niet eenduidig, daar die emissies vooral bepaald worden door de opslagcondities en de kenmerken van de mestfracties (Chadwick et al, 2011). In Vlaanderen wordt op 5-10% van de melkveebedrijven de mest gescheiden.

Andere effecten

Verschillende factoren beïnvloeden ook de ammoniakemissie bij (externe) mestopslag. Ammoniakemissie stijgt met stijgende **temperatuur**, en is sterk afhankelijk van de **stikstofinhoud** van de mest. De **aerobe behandeling** van rundveestromest kan leiden tot een hogere ammoniakemissie (Ecolas, 2006).

Mest gecontroleerd **beluchten** reduceert ammoniak- en geuruitstoot. Onvoldoende gecontroleerde beluchting kan de vorming van sulfiden en andere organische geurcomponenten versterken als er anaerobe zones blijven. Bovendien kan ammoniak gevormd worden bij een te hoge beluchtingsintensiteit (tot 50% van de stikstofinhoud van de mest) (Montes et al, 2013; Hou et al, 2015; Joint Research Centre, 2015).

Aanzuren van varkens- of runderdrijfmest reduceert de ammoniakemissie met 60 tot 90% (Montes et al, 2013; Hou et al, 2015). Een Vlaams reductieijfer van deze techniek is nog niet gekend (Leirs & Bossin, 2016). De daling van de NH_3-emissie uit de gehele mestketen (vanaf stal tot en met toedienen) leidt tot een hoger N-gehalte van de mest bij toedienen. Hierdoor kan bespaard worden op kunstmest-N (Bussink & van Rotterdam-Los, 2011) en zo worden indirect nog meer broeikasgasemissies vermeden.

Het toedienen van aangezuurde mest door middel van injectie verlaagt de broeikasgasemissie (CO_2-eq.) met zo'n 25% (Hou et al, 2015).

Er zijn echter ook andere gevolgen van aanzuren. Bij aanzuren met zwavelzuur wordt het S-gehalte in de mest verhoogd waardoor ook meer S op de bodem wordt gebracht. Bovendien is extra bekalken noodzakelijk.

Over andere mogelijke gevolgen is meer onderzoek nodig. Zo moet worden bekeken of dit geen extra geurhinder geeft. En wegens de aanwezigheid van sterke zuren op het landouwbedrijf, dient voor de veiligheid alles best geautomatiseerd te worden. Bovendien dient ook te worden opgemerkt dat bij gebruik van een pocketvergister het aanzuren pas na de vergisting moet gebeuren. Tot slot moet het (langetermijn-)effect van aangezuurde mest op de bodem verder nagegaan worden (Ecolas, 2006; Montes et al, 2013).

Het **scheiden** van mest heeft ook effect op de emissies na toediening op het land. Toedienen van de dunne fractie leidt tot 18% minder ammoniakemissie dan toedienen van onbewerkte mengmest. De N_2O-emissies na toediening op het land verschillen niet tussen de dunne fractie en onbewerkte mengmest. Bij toediening van de vaste fractie is de N_2O-emissie wel 46% lager dan bij onbewerkte mengmest (Hou et al, 2015).

Behandelde mest kan verwerkt worden tot kunstmestvervanger. Het gebruik hiervan kan het kunstmestgebruik verminderen, waardoor de indirecte broeikasgasemissies ten gevolge van de kunstmestproductie afnemen. Deze procedure is echter vandaag niet toegelaten in Vlaanderen.

3.3.2 Vergisting van mest

Beschrijving van de maatregel

Kleinschalige vergisting of pocketvergisting is een technologie waarmee bedrijfseigen biomassastromen (waaronder mest) anaeroob worden vergist om op het landbouwbedrijf hernieuwbare energie te produceren.

Anaerobe vergisting is een proces waarbij micro-organismen in afwezigheid van zuurstof organisch materiaal omzetten tot biogas en digestaat. Het digestaat is de vergiste biomassa die verder kan worden gebruikt als meststof. Het biogas wordt afzonderlijk opgevangen en vervolgens richting WKK (warmtekrachtkoppeling) gestuurd. De voornaamste componenten van het biogas zijn methaan (CH_4) en CO_2. Het methaan in het biogas wordt meestal verbrand in de motor van de WKK. Deze drijft een generator aan die vervolgens elektriciteit produceert. De warmte uit de motor wordt gebruikt om de reactor op temperatuur te houden, de warmte die overblijft kan verder nuttig op het bedrijf aangewend worden (Enerpedia, 2015a). Technisch gezien kan het geproduceerde gas ook anders gebruikt worden dan in een WKK. Na opzuivering kan het op het net geleverd worden, of de trekker of auto kan er op rijden. Deze toepassingen zijn echter nog niet rendabel (microvergisters.nl).

Voor de rundveesector is pocketvergisting vandaag reeds technisch implementeerbaar (Biogas-E, 2014; Enerpedia, 2015a). Momenteel telt Vlaanderen ongeveer 100 installaties. Van pocketvergisting met enkel varkensmest zijn er in Vlaanderen nog geen praktijkvoorbeelden. Momenteel loopt er een Vlaio (IWT) landbouw-traject door Inagro in samenwerking met UGent die de uitbreiding van pocketvergisting naar andere sectoren (bv. varkens, groenteresten, ...) in Vlaanderen onderzoekt en de vermeden broeikasgasemissies kwantificeert.

Voor een 10 kW-installatie geven 50 (bij gebruik mestschuif) tot 80 (bij roostervloer) runderen voldoende mest (Enerpedia, 2015b). De meeste Vlaamse pocketvergisters hebben een vermogen van 10 kW, een aantal zijn groter en hebben een vermogen van 20 kW (Bioelectrics/ILVO). De komende jaren wordt een verdere opmars van kleinschalige vergisting binnen de landbouwsector verwacht.

Het onderzoek omtrent de vermeden emissies staat echter nog in zijn kinderschoenen (Biogas-E, 2013). Een pocketvergister van 10 kW produceert netto ca. 60.000 kWh elektriciteit per jaar (Enerpedia, 2015b). Pocketvergisting gebeurt op vandaag hoofdzakelijk gecombineerd met een warmtekrachtkoppeling

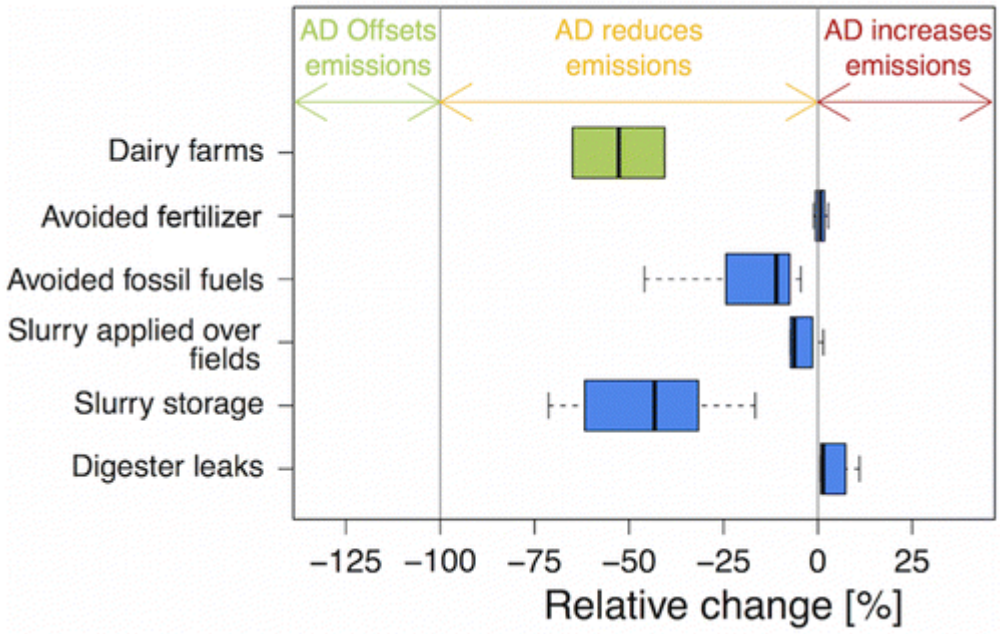
(WKK). Dat wil zeggen dat er zowel elektriciteit als warmte geproduceerd wordt. Als algemene rekenregel wordt gesteld dat 1 m^3 biogas 2 kWh elektriciteit en 3 kWh warmte geeft (ADLO, 2014).

Broeikasgasemissiereductie

Pocketvergisting van mest op bedrijfsniveau wordt genoemd als een maatregel met veel potentieel om broeikasgasemissies uit de mestopslag te beperken (Enerpedia, 2015b). De methaanemissie tijdens de mestopslag wordt immers grotendeels vermeden en het gevormde methaan wordt afgevangen en verbrand tot CO_2. Hoeveel emissie vermeden wordt is afhankelijk van de emissies bij de oorspronkelijke mestopslag, die op hun beurt afhankelijk zijn van het type opslag, de temperatuur, het al dan niet afdekken van de opslag (MacLeod et al, 2015). Bovendien levert vergisting elektriciteit en warmte op en kan het dus een besparing van fossiele brandstoffen betekenen.

Het gebruik van een pocketvergister op het bedrijf heeft niet alleen impact op de emissie van broeikasgassen uit opslag maar ook op emissies door mestaanwending, energiegebruik uit fossiele brandstoffen en op indirecte emissies door vermeden kunstmestgebruik. Uit een meta-analyse van de emissie van broeikasgassen door het gebruik van pocketvergisters op melkveebedrijven bleek dat de mediaan veranderingen in emissies t.o.v. referentie scenario[8] -43% voor mestopslag, -6,3 % voor mestaanwending op het veld, -11% voor energiegebruik van fossiele brandstoffen en +0,4% voor kunstmest bedroegen (figuur 12). Lekken van de vergister verhogen de emissies significant t.o.v. referentiebedrijven (+1,4 %) (Miranda et al., 2015).

Figuur 12 Relatieve veranderingen van de emissie van broeikasgassen op melkveebedrijven met een pocketvergister t.o.v. een referentiescenario (Miranda et al., 2015) (AD = anaerobic digestion)



[8] Broeikasgasemissies referentie scenario: broeikasgasemissies uit mestopslag + broeikasgasemissies uit mestaanwending + broeikasgasemissies uit gebruik van fossiele brandstoffen

Op compartimentniveau was de reductie in methaanemissie uit mestopslag na gebruik van een pocketvergister t.o.v. methaanemissie uit mestopslag in een referentiescenario 78,5%. De verandering in lachgasemissie bij mestaanwending op het veld na gebruik van een pocketvergister bedroeg 38,5% (Miranda et al., 2015). Hou et al. (2015) rapporteerden een lagere reductie van lachgasemissie (25%) na het toedienen van digestaat op het land ten opzichte van toedienen van onbewerkte mengmest. De lachgasemissie is echter sterk afhankelijk van verschillende factoren, zoals temperatuur en bodemvochtgehalte (zie ook 3.4).

Andere effecten

Het is vooral gunstig dat methaan niet vanuit de mestkelder in de lucht komt, maar wordt ingezet als brandstof. Dit voordeel is het grootst bij het gebruik van dagverse mest. Ook kan dit een positieve invloed hebben op het stalklimaat en dus op het welzijn van de dieren en de ondernemer (Wageningen UR, juni 2012c). Andere voordelen zijn het afdoden van pathogenen en onkruidzaden in de mest en de vermindering van geuroverlast tijdens opslag (MacLeod et al, 2015).

Het gebruik van een pocketvergister kan de weidegang verminderen. Voor een optimale werking van de pocketvergister is er immers een dagelijkse aanvoer nodig van een bepaalde hoeveelheid verse mest.

De emissie van NH_3 bij toedienen van digestaat verschilt niet van de emissie bij toedienen van onbewerkte mengmest (Hou et al, 2015).

3.4 MESTAANWENDING

3.4.1 Technieken voor mestaanwending

Beschrijving van de maatregel

Het spreiden van mest leidt tot emissies van onder andere ammoniak, lachgas en methaan. Sinds 2000 moeten dierlijke mest en andere meststoffen in Vlaanderen ammoniakemissiearm op het land worden aangewend, zowel op grasland als op akkers. Dit betekent het beperken van de contacttijd van de meststof met de lucht, waardoor minder ammoniak gevormd wordt. Bovendien dient de mest nauwkeurig gedoseerd en gelijkmatig verspreid te worden. In het mestdecreet is bepaald welke technieken mogen toegepast worden. Het mestdecreet werd goedgekeurd op 22 december 2006 en is sindsdien een aantal keren grondig aangepast. De laatste keer gebeurde dat met na goedkeuring van MAP 5, met het decreet van 12 juni 2015.

- Aanwending van dierlijke mest (rijk aan ammoniakale stikstof):
    - Grasland:
        - Zode-injectie
        - Sleepslangtechniek
        - Sleufkouter
    - Niet-beteelde akkers:
        - Injectie
        - Inwerken binnen 2 uur na spreiden
    - Beteelde akkers:
        - Injectie

    - Sleepslangtechniek
- Aanwending van champost en stalmest arm aan ammoniakale stikstof: onderwerken binnen de 24 uur na het opbrengen

Daarnaast is nog een aantal uitzonderingen opgenomen in het mestdecreet.

Er wordt geschat dat de technieken voor het aanbrengen van mengmest op grasland volgens volgende verhouding worden toegepast: 90,3% zode-injectie, 4,8% sleepslang, 4,8% sleufkouter. Bij het aanbrengen van mengmest op akkerland wordt volgende verdeling van technieken geschat: 2,8% sleepslang, 26,2% mestinjectie, 71% inwerken binnen de 2 uur. Voor vaste mest wordt ervan uit gegaan dat 100% binnen de 2 uur ingewerkt wordt op akkerland (ILVO, 2016b). Er dient wel opgemerkt te worden dat deze inschatting benaderend is.

Broeikasgasemissiereductie

Mogelijks heeft het ammoniakemissiearm aanwenden van mest ook een impact op de broeikasgasemissies. De emissie van lachgas is afhankelijk van verschillende factoren. De N-inhoud en ook de C-inhoud van de mest hebben invloed op de lachgasemissie. Het is vooral de stikstof die nog beschikbaar is na vervluchtiging van ammoniak die de lachgasemissie bepaalt. Daarnaast spelen ook het mesttype (varkens-, pluimvee- of rundermest) en de bodemkenmerken (waterbergingscapaciteit en organische stofgehalte) een rol. Bovendien is de timing van de mesttoediening belangrijk. Toedienen in herfst of winter resulteert in een hogere N_2O-emissie dan toedienen in de lente, door lagere temperatuur en geen/minder groei van de gewassen. De verbodsbepalingen voor het uitrijden van de verschillende mesttypes zoals opgenomen in het MAP 5, hebben als doel de nitraatvervuiling aan te pakken, maar hebben dus ook een positief effect op de lachgasemissies. Ook de mestbewerking of -verwerking (vergisting, scheiding, aanzuren) kan een effect hebben op de lachgasemissies na aanwenden (zie 3.3). Ten slotte heeft ook de methode van mestaanwending een invloed op de lachgasemissie alsook op de methaanemissie (Chadwick et al, 2011).

Door het injecteren van mengmest in de bodem, blijft meer stikstof in de bodem met een verhoogde kans op nitraatuitspoeling tot gevolg, en kan de emissie van lachgas uit de bodem toenemen als de bemesting niet wordt afgestemd op deze hogere beschikbaarheid van stikstof. De ontwerp-BREF-studie over intensieve veeteelt vermeldt volgende gemiddelde emissiefactoren voor N_2O: 0,7% van de totale N bij het uitspreiden van vaste mest, versus 1,02% van de totale N bij het inwerken van vaste mest 4 uur na uitspreiden. Uit een meta-analyse bleek dat statistisch hogere emissies van lachgas (98%) gevonden werden voor injectie/onderwerken van drijfmest in vergelijking met breedwerpig uitspreiden. De totale broeikasgasemissie (in CO_2-equivalenten) is 16% hoger bij injectie dan bij breedwerpig uitspreiden (Hou et al., 2015). Hierbij dient echter opgemerkt te worden dat deze verhoogde lachgasemissies bij injectie van drijfmest relatief klein zijn ten opzichte van de totale broeikasgasemissies van de mestketen. Effecten van het inwerken van vaste mest op lachgasemissie blijken inconsistent en zijn waarschijnlijk afhankelijk van de omstandigheden bij aanwending (Chadwick et al, 2011; Hou et al, 2015; VITO BBT Kenniscentrum, 2016).

Andere effecten

De hierboven beschreven aanwendingsmethoden beperken de ammoniakemissie uit mest. Derden et al (2005b) geven een overzicht van de NH_3-emissiecoëfficiënten van emissiearm aanwenden van mest. Hou et al (2015) geven een overzicht van recent onderzoek naar de reductie van ammoniakemissie bij verschillende mesttoedieningsmethoden.

Algemeen wordt aangenomen dat technieken die nutriëntemissie naar de lucht beperken ook een beperkend effect hebben op eventuele geurhinder (Chadwick et al, 2011; VITO BBT Kenniscentrum, 2016).

3.4.2 Precisielandbouw in de akkerbouw

Beschrijving van de maatregel

Precisielandbouw maakt gebruik van verschillende technologieën die erg nauwkeurige informatie opleveren over de akker en de gewassen, zodat de landbouwer snel kan beslissen om al dan niet plaatsspecifiek en gedifferentieerd te behandelen. Daardoor kan bespaard worden op inputs (meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen), zijn de opbrengsten hoger door maatwerk, is er minder kans op emissies naar het milieu en residuen in de gewassen, enz (MacLeod et al, 2015). Gebruikte technologieën kunnen GPS (*global positioning system*) zijn, GIS (*geographic information system*)-mapping, sensoren, gewas- en bodemmonitoring, satellietdata, ...

De kosteneffectiviteit kan sterk variëren en is afhankelijk van de toegepaste technologie, de grootte van het bedrijf, de teelt, de prijs van inputs, de verminderde emissies en de regio. Door de hoge investeringskost worden precisietechnieken voornamelijk gebruikt op grote bedrijven. Naarmate de prijs van de technologieën zal dalen, en de prijs van inputs stijgt, zullen ook kleinere bedrijven precisielandbouw kunnen toepassen (MacLeod et al, 2015).

De volgende belemmeringen weerhouden Europese landbouwers ervan om precisielandbouwmethoden in te voeren op hun bedrijf: de hoge initiële investeringskost en het daarmee gepaard gaande risico, de vermeende complexiteit van de precisietechnologie en onvoldoende kennis, het feit dat de bruikbaarheid en de voordelen van verschillende toepassingen onvoldoende zijn aangetoond, de incompatibiliteit van verschillende technologieën en leveranciers, en de vrees dat de bestaande toepassingen niet geschikt zijn of niet gebruiksvriendelijk (EIP-AGRI, 2015).

Broeikasgasemissiereductie

Het belangrijkste effect van precisielandbouw op de uitstoot van broeikasgassen is een vermindering van het gebruik van stikstofbemesting en bijgevolg een reductie van de N_2O-emissies uit de bodem. De effecten zijn nog niet nauwkeurig becijferd. Er zijn wel schattingen van de potentiële reductie van de lachgasemissies uit de bodem ten gevolge van bemesting die variëren tussen 5 en 34% (MacLeod et al, 2015).

Andere effecten

Dankzij een verbeterde stikstofefficiëntie zal de uitloging van stikstof en de vervuiling van het grond- en oppervlaktewater afnemen.

Door het gebruik van machines te beperken, kan ook de bodemcompactie verminderen en het brandstofverbruik afnemen waardoor dan weer de broeikasgasuitstoot verlaagt.

Afname van het gewasbeschermingsmiddelengebruik heeft een positief effect op de water- en bodemkwaliteit (MacLeod et al, 2015).

3.4.3 Inhibitie van nitrificatie in de bodem

Beschrijving van de maatregel

Lachgasemissies uit de bodem ontstaan meestal vanuit de toepassing van stikstof in (dierlijke of kunst-) meststoffen op akkers en graslanden en vanuit de rechtstreekse uitscheiding van stikstof door graasdieren. Inhibitoren van nitrificatie kunnen de bodemlachgasemissie reduceren door de omzetting van ammonium naar nitraat te vertragen. Daardoor zal ook de omzetting van nitraat naar N_2O vertraagd worden. Inhibitoren van nitrificatie reduceren dus de lachgasemissies door a) de directe N_2O-emissies te verminderen, b) de uitloging en vervluchtiging van nitraat te verminderen, c) de gewasopbrengst te verhogen en/of het meststoffengebruik te verminderen, d) het aantal bemestingsronden te verminderen, waardoor het energiegebruik voor het veldwerk afneemt (MacLeod

et al, 2015). Nitrificatie-inhibitoren worden vandaag niet vaak gebruikt in Vlaanderen, wegens de relatief hoge aankoopprijs.

Broeikasgasemissiereductie

De inschattingen van het effect op lachgasemissies uit de bodem verschillen naargelang de bron. Recente studies geven een vermindering van de bodemlachgasemissie aan van 30 tot 50%. De effectiviteit van nitrificatie-inhibitoren is weliswaar afhankelijk van de omstandigheden, zoals bodemtemperatuur, vochtgehalte, bodemtype (Montes et al, 2013; MacLeod et al, 2015).

Andere effecten

Het gebruik van meststoffen vermindert. Daaruit volgende potentiële voordelen zijn: minder bodemcompactie door minder meststoftoedieningen, verminderde stikstofuitloging en dus een betere waterkwaliteit (Montes et al, 2013; MacLeod et al, 2015).

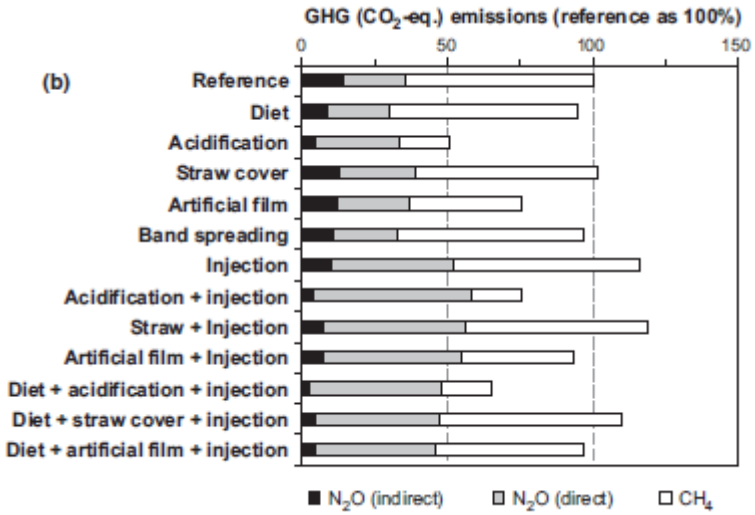
Er zijn ook negatieve effecten gesignaleerd, zoals de mogelijke toxiciteit voor planten en een verhoogde ammoniak vervluchtiging (Montes et al, 2013; MacLeod et al, 2015).

3.5 COMBINATIE VAN MAATREGELEN

Om het uiteindelijke effect van maatregelen op de totale broeikasgasemissie te kennen, moet de gehele mestketen (stal, opslag, aanwending) bekeken worden.

Uit een meta-analyse blijkt bijvoorbeeld dat aanzuren van mengmest de broeikasgasemissies uit opslag met 50% doet dalen. Echter het verlagen van het ruw eiwitgehalte in het voeder, gecombineerd met aanzuren van de mengmest bij opslag en injectie bij mestaanwending leidt uiteindelijk tot zo'n 40% reductie van de CO_2-equivalent emissies in de gehele mestketen (figuur 13) (Hou et al, 2015).

Figuur 13 Impact van mitigatiemaatregelen op broeikasgasemissies van drijfmestsystemen, uitgedrukt als percentage van het referentiesysteem (Hou et al, 2015)



3.6 RAPPORTERING

Methaan: De methaanemissie uit dierlijke mestopslag wordt door VMM berekend op basis van de IPCC 2006 richtlijnen (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories). Daar zowel varkens als runderen keysource categorieën zijn, wordt de Tier 2 methode gehanteerd. De emissiefactoren voor de verschillende diersubcategorieën worden berekend aan de hand van de IPCC 2006 richtlijnen. Het aantal dieren per diersubcategorie wordt opgevraagd bij VLM. Bovendien wordt rekening gehouden met het mestopslagsysteem (mestkelder, vaste mest, weidegang, dry lot) per diersubcategorie.

Voor de overige dieren (schapen, geiten, paarden, ezels, pluimvee) wordt de Tier 1 methode gebruikt. Deze zijn immers geen keysource categorieën. De emissiefactoren zijn overgenomen uit de IPCC 2006 richtlijnen. Het aantal dieren per diersubcategorie wordt jaarlijks opgevraagd bij VLM. Verder wordt geen onderscheid gemaakt in veehouderijsysteem of type mestopslag.

Lachgas: Voor de berekening van de lachgasemissie uit de landbouw wordt de IPCC 2006-methodologie gevolgd. Het model onderscheidt vier lachgasbronnen: rechtstreekse N_2O-emissie uit landbouwgronden, onrechtstreekse N_2O-emissie (als resultaat van N-verliezen uit landbouwgronden en atmosferische depositie van NH_3 en NO_x), N_2O-emissie uit dierlijke mestopslag, en onrechtstreekse N_2O-emissie uit dierlijke mestopslag. Het aantal dieren, alsook de stikstofexcretie per diersubcategorie worden opgevraagd bij VLM. Voor de berekening van de emissie uit dierlijke mestopslag wordt rekening gehouden met het aantal dieren per mestopslagsysteem (mestkelder, vaste mest, weidegang, dry lot).

Als de CH_4- en N_2O-emissiefactoren voor alle ammoniakemissiearme staltypes voor varkens en pluimvee in Vlaanderen gekend zijn, kan deze maatregel vrij eenvoudig opgenomen worden in de klimaatboekhouding.

De effecten van pocketvergisters, ammoniakemissiearme vloersystemen en van aanzuren, temperatuur, beluchten, scheiden, enz zouden pas in rekening kunnen worden gebracht als 1) de emissiereducties van de technieken gekend zijn en 2) de toepassingsgraad in Vlaanderen kan ingeschat worden.

4 ENERGIE

Om energiezuinig te werken, volgt men de basisprincipes van de Trias Energetica. Daarin plaatst men energie besparen voorop, gevolgd door de inzet van duurzame en hernieuwbare energiebronnen en tot slot het zo efficiënt mogelijk inzetten van fossiele brandstoffen om aan de resterende energievraag te voldoen.

4.1 ENERGIEBESPARING IN SERRES

In 2015 bedroeg de oppervlakte groenten onder glas in Vlaanderen 997 ha, fruit onder glas 472 ha en sierteelt (inclusief boomkwekerij) onder glas 510 ha. De totale oppervlakte tuinbouwgewassen onder glas in Vlaanderen in 2015 bedroeg 1.979 ha (Departement Landbouw en Visserij). De meest energie-intensieve groenteteelten zijn komkommer, tomaat, paprika en aubergine.

Beschrijving van de maatregel

Er bestaan verschillende technieken voor het besparen van energie in de serre.

Isoleren van de kas. Het doel van isoleren is ervoor zorgen dat de zonnestraling (van buiten naar binnen) maximaal is, terwijl verliezen door warmtestraling (van binnen naar buiten) minimaal zijn. Isoleren kan door middel van dubbel glas, energieschermen (schermdoeken en folies), zijwandschermen, enz. Het gebruik van diffuus of gecoat glas (= anti-reflectiecoating) bevordert de lichtinstraling in de kas, wat ook rechtstreeks tot een energiebesparing per productie-eenheid leidt[9].

Isoleren van de kas kan het energieverbruik en dus ook de broeikasgasuitstoot beperken. Enkele voorbeelden:

Techniek	*Energiebesparing*
Dubbel glas	15 – 40 % gas/m² tov enkel glas
Gecoat glas	5 – 20 % gas/m² tov enkel glas
Dubbel anti-reflectieglas	25 – 30 % gas/m² tov enkel glas
Eerste beweegbaar scherm	30 %
Folie	25 %
Verduisteringsscherm	50 %

Bron: Derden et al (2005a), Enerpedia (2015b)

In een ADLO project waarbij op zoek werd gegaan naar manieren om het energieverbruik te verminderen op energie-intensieve glasgroentebedrijven (tomaat, paprika, komkommer) zonder over te gaan tot de vervanging van de stookinstallatie, werden volgende resultaten behaald met schermen:

Teelt	*Maatregel*	*% mogelijke energiebesparing*
Tomaat	Beweegbaar scherm + AC - folie	10-20% t.o.v. beweegbaar scherm in de periode van schermen
Paprika	Beweegbaar scherm + AC - folie	15% t.o.v. beweegbaar scherm in de periode van schermen
	Dubbel scherm	30-40% t.o.v. beweegbaar scherm in de periode van schermen
Komkommer	Beweegbaar scherm + AC - folie	10-15% t.o.v. beweegbaar scherm

[9] Voor meer info over de verschillende isolatietechnieken: www.enerpedia.be.

Het energieverbruik in een serre is sterk afhankelijk van de teelt, het areaal en de klimaatomstandigheden. Het Nederlandse netwerk BINternet berekende het gemiddelde aardgasverbruik voor drie categorieën glastuinbouwbedrijven in Nederland:

Glastuinbouw	*Aardgasverbruik (m^3 / m^2 kas) in 2014*
Groentebedrijven	42,3
Snijbloemenbedrijven	39,2
Pot- en perkplantenbedrijven	28,8

Bron: BINternet (Nederland)

Vanaf 2015 is in het kader van de EPB-regelgeving bij nieuwbouw van serres voor energie-intensieve teelten het 1e energiescherm verplicht.

Een schermdoek voor energiebesparing kost 2,25 - 3,65 €/m^2 doek, of 8 - 9,10 €/m^2 inclusief installatie en montage. Een folie kost 0,15 €/m^2 folie (KWIN Glastuinbouw 2014-2015). De meerprijs van anti-reflectieglas ten opzichte van standaard tuinbouwglas ligt momenteel op zo 'n 15 €/m^2, wat voor de meeste telers waarschijnlijk een zeer grote barrière vormt (Enerpedia, 2016).

Rookgascondensor. Een rookgascondensor heeft als doel om warmteverliezen via de rookgassen te beperken. Het plaatsen van condensors bij aardgasketels zorgt ervoor dat rookgassen worden afgekoeld tot onder het dauwpunt. Door de condensatie van de waterdamp in de rookgassen tot vloeibaar water, komt condensatiewarmte vrij. Deze warmte kan worden afgestaan aan water op lagere temperatuur (b.v. retourwater op 30 °C) (Derden et al, 2005a).

Met een rookgascondensor kan 5-10% energie bespaard worden, afhankelijk van de grootte en de ouderdom van de installatie (Enerpedia, 2016).

De prijs van een condensor is afhankelijk van de ketelcapaciteit en bedraagt tussen de 10.000 en 27.000 euro (KWIN Glastuinbouw 2012-2013).

De rookgascondensor wordt reeds veel toegepast in de Vlaamse glastuinbouw.

Energiezuinige verlichting. In de tuinbouw is het gebruik van kunstlicht erop gericht om de kwantiteit en/of kwaliteit van het ingestraalde licht te verbeteren. In functie van de toepassing wordt een onderscheid gemaakt tussen groeilicht (assimilatiebelichting) en stuurlicht. Groeilicht levert licht en warmte en wordt ingezet om hogere groeisnelheden te bereiken, kortere teeltduur, en verbetering van de kwaliteit. Voor deze toepassing worden doorgaans lamptypes met hoge vermogens zoals hogedruknatriumlampen gebruikt. Met stuurlicht wordt de dag-/nachtlengte gemanipuleerd om bepaalde ontwikkelingsfasen van de plant te stimuleren, te verhinderen of te vertragen. Dit gebeurt doorgaans met behulp van gloeilampen of spaarlampen. Door gemis aan stralingswarmte blijken toepassingen met LEDs in vele gevallen te leiden tot een hoger energieverbruik om de serre op temperatuur te houden. Als stuurlicht zouden LEDs wel kunnen gebruikt worden. Er is echter nog onderzoek nodig om de vermindering van energieverbruik en broeikasgasemissie in te schatten (Enerpedia, 2015b). Momenteel (2015-2019) loopt het IWT-project 'LightMan: Management van licht in bedekte teelten' dat onder meer onderzoekt hoe belichting efficiënt ingezet kan worden in beschermde teelten.

Warmtebuffers. Een warmteopslagtank (of buffer) wordt gebruikt om tijdelijk warmte op te slaan. De opgeslagen warmte kan in een volgende periode met warmtevraag weer worden ingezet. Warmteopslag vindt plaats bij centraal CO_2-doseren en bij gebruik van een WKK (Derden et al, 2005a).

Warmtebuffers leiden tot energiebesparing. Uit KWIN gegevens (2003-2004) blijkt dat buffers van 60, 80 en 120 m^3 respectievelijk 8,7; 10,5 en 10,7 m^3 gas per m^2 besparen (Derden et al, 2005a). Op bedrijven met een WKK staan grotere buffertanken. Hier is de energiebesparing groter.

Serres met energie-intensieve teelten beschikken vaak al over een warmtebuffer.

Derden et al (2005a) berekenden de jaarlijkse kost (investeringskost + werkingskost) van een warmteopslagtank. Voor een buffertank van 90, 120 en 350 m^3 bedraagt die jaarlijkse kost respectievelijk 6.728 euro, 7.774 euro, en 11.213 euro (Derden et al, 2005a).

Combinatie van technieken. Op basis van onderzoek in binnen- en buitenland, praktijkvoorbeelden en Vlaamse innovatieprojecten die actueel lopen (EXE-kas, OPTI-kas, gebruik laagwaardige restwarmte) is gebleken dat nog een belangrijke energiebesparing gerealiseerd kan worden door een verder doorgedreven combinatie van betere scherming (kwaliteit schermen en optimale toepassing), ontvochtiging van kaslucht, recuperatie van (latente) warmte en CO_2, gebruik van warmtepompen, diffuus glas, ... met weliswaar een aanzienlijke investeringskost. In Nederland heeft het programma 'Kas als energiebron' de doelstelling om te komen tot een energieneutrale glastuinbouw. Bovenstaande maatregelen worden gegroepeerd onder de verzamelnaam 'Het Nieuwe Telen' omdat deze ook enige stuurmanskunst van de bedrijfsleider verwachten.

Andere effecten

Isoleren van de kas. Door het plaatsen van een scherminstallatie kunnen piekverbruiken worden beperkt; door 's nachts een hogere temperatuur aan te houden in de serre is bij aanvang van de dag (op het moment dat overige energievragers actief worden) minder energie voor opwarming vereist. Het gebruik van schermen heeft eveneens een gunstig effect op het watergebruik. In het geval van assimilatieverlichting hebben schermen als bijkomend voordeel dat ze lichthinder als gevolg van opwaarts gestraald licht kunnen beperken (Derden et al, 2005a). Het beter isoleren van de kas noopt ook tot het herbekijken van de ganse manier van telen in de kas, rekening houdende met parameters als energiebesparing, relatieve vochtigheid, licht, warmte en CO_2-recuperatie, vruchtkwaliteit, ... Heel wat wetenschappelijk en praktijkonderzoek spitst zich daarop toe.

Gebruik van warmtebuffers. Door het gebruik van grootschalige warmtebuffers in de glastuinbouw kan WKK als decentrale productie optimaler ingezet worden ter ondersteuning van de globale elektriciteitsvoorziening en stabiliteit van het net in Vlaanderen.

Belichting. Voor de plantengroei is licht een belangrijke productiefactor indien de andere productiefactoren (water, nutriënten, temperatuur, CO_2) in voldoende mate aanwezig zijn. In de beschermde teelt wordt almaar meer ingezet op belichting om de overige productiefactoren efficiënter in te zetten. Dit kost echter ook energie en het is dus van belang om licht zo duurzaam mogelijk te produceren en te gebruiken.

Er bestaan verschillende technieken voor het besparen van energie in de serre. Vele daarvan worden reeds toegepast in de glastuinbouwsector. Toch is een ruimere toepassing in de sector nog mogelijk. Ook een combinatie van technieken kan ingezet worden om de energie-efficiëntie te optimaliseren en de broeikasgasemissies te verminderen.

Kaderstuk: De EXE-kas of Exergie-efficiënte kas

Met de EXE-kas wordt gestreefd naar een duurzame kas, niet enkel gebaseerd op energiebalansberekeningen, maar ook op het streven naar minimale energiekwaliteitsverliezen. Energieverliezen kunnen worden beperkt door enerzijds een betere isolatie van de serre en anderzijds een energie-efficiënte ontvochtiging. De isolatie gebeurt door middel van Energy Balancing (EB)-schermen. Deze schermen beperken het warmteverlies waardoor een vrijwel sluitende energiebalans van de kas wordt bekomen. De schermen worden ingezet in functie van lichtinstraling, buitencondities en het gewenste binnenklimaat om te komen tot een (bijna) neutrale energiebalans gecombineerd met optimale groeicondities.

De ontvochtiging van de serrelucht gebeurt door een dampwarmtepomp. De dampwarmtepomp zet de overmaat aan vocht in de kaslucht terug om in voelbare warmte. Op die manier wordt energie terug gewonnen.

De combinatie van deze technieken kan een energiebesparing van 60% opleveren indien zowel dag- als nachtschermen worden gebruikt.

De EXE-kas zit momenteel nog in onderzoeksfase. Het project wordt uitgevoerd door het Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek ILVO, Hyplast, E2 Systems, Maurice Kassenbouw, Universiteit Gent, Proefstation voor de Groenteteelt PSKW en Wageningen UR Glastuinbouw.

Meer info: http://www.proefstation.be/project/naar-een-duurzame-kas-met-energy-balancing-schermen-en-dampwarmtepomp-exe-kas

Kaderstuk: Slimme combinaties van landbouwproductiesystemen en andere sectoren

Ook door samenwerking binnen de landbouwsector en met andere sectoren (zoals industrie en huishoudens) kan er energie bespaard worden. Door bedrijven slim in te planten en goed te combineren, kunnen kansen ontstaan voor het benutten van restwarmte of rest-CO_2, het gebruik van reststromen in andere toepassingen, enz. Hieronder worden enkele voorbeeldprojecten besproken.

In 2014 werd het pilootproject "**restwarmte in glastuinbouwcluster**" goedgekeurd. Het gaat om een eenmalige subsidie aan MIROM Roeselare voor de realisatie van een warmtenet tussen de verbrandingsinstallatie en de glastuinbouwcluster Roeselare-West. Met het warmtenet, inclusief randinfrastructuur, wordt restwarmte uitgekoppeld bij de huisvuilverbrandingsoven van MIROM Roeselare en geleverd aan de glastuinbouwcluster Roeselare-West. Van de globale energiebehoefte van 90 GWh, die normaal wordt ingevuld met fossiele brandstoffen, kan voortaan 60 GWh aangeleverd worden door restwarmte van de verbrandingsoven. De uitstootreductie van CO_2 tot 2020 wordt op 112.500 ton geraamd.

Pilootproject Productief Landschap REO Veiling. Het onderzoeks- en voorlichtingscentrum voor land- en tuinbouw Inagro en de provincie West-Vlaanderen beslisten samen een innovatieve serre op het dak van de REO veiling langs de Roeselaarse ring op te richten. In de nieuwe serre van ongeveer 8.000 m^2 groot, zal onderzoek verricht worden naar nieuwe energie- en ruimtebesparende teeltsystemen voor zowel blad- als vruchtgroenten. Met het project van de dakserre koppelt Inagro de nood aan nieuwe en aangepaste infrastructuur voor het onderzoek naar grondloze teelt aan een aantal andere belangrijke maatschappelijke tendensen. Intensief ruimtegebruik, duurzaam energie- en watergebruik, en een geïntegreerd onderzoek naar de verdere verduurzaming van de glastuinbouw staan daarbij voorop. Er zal onder meer een verbinding gemaakt worden met het warmtenet van de nabijgelegen MIROM verbrandingsoven en met de WKK van het onderliggende gebouw van REO Veiling. Daarnaast zullen zonnepanelen zorgen voor eigen energieopwekking. Koeling in de kassen zal gebeuren met natuurlijke ventilatie, aangevuld met adiabatische koeling door hogedrukverneveling.

4.2 ENERGIEBESPARING IN STALLEN

In stallen wordt voornamelijk energie gebruikt voor verwarming, ventilatie/koeling en verlichting.

Beschrijving van de maatregel

Er bestaan verschillende technieken voor het besparen van energie in de stal.

Isoleren van stallen. Optimale isolatie van pluimvee- en varkensstallen voorkomt warmteverlies in de winter en overmatige opwarming in de zomer.

Het effect van de isolatie is afhankelijk van het gebruikte materiaal, de grootte van de stal, de ouderdom van de stal, de ventilatie, enz. Voorbeeld: een goede isolatie van een leghennenstal kan het gasverbruik verminderen met 30 tot 50% (Joint Research Centre, 2015). Volgens BINternet verbruikte een gemiddeld Nederlands leghennenbedrijf met 49.000 leghennen zo'n 30 GJ aardgas in 2014.

Voorkoeling en warmterecuperatie bij melkkoeling. Energiebesparing kan door voorkoeling. Hierbij wordt melk gekoeld voordat die in de melkkoeltank komt. Met voorkoeling kan ca. 40% van de koelkosten worden bespaard. Naast voorkoeling kan ook de warmte die vrijkomt bij het koelen van melk worden benut voor de productie van warm water. Het rendement wordt bepaald door de hoeveelheid warm water die men verbruikt. Hoe meer warm water men kan benutten, hoe hoger het rendement (Van den Pol-Dasselaar et al, 2013).

De energiebesparing wordt in onderstaande tabel ingeschat.

Maatregel	*Energiebesparing*
Melkvoorkoeler (warmtewisselaar)	6-10 kWh besparing per 1000l melk, afhankelijk van ouderdom van de melkkoeltank
Toerentalregeling van de vacuümpomp voor de melkinstallatie	50% besparing door frequentieregeling vacuümpomp
Warmterecuperatiesysteem koelgroep melkkoeltank	6-20 kWh (warmte) besparing per 1000l melk, afhankelijk van ouderdom en grootte van de melkkoeltank

Bron: Departement Landbouw en Visserij naar Enerpedia (2016)

Dankzij de reductie van het elektriciteitsverbruik is er ook een reductie van de broeikasgasemissies van circa 320 g CO_2 per niet-verbruikte kWh.

Melk voorkoelen door middel van een warmtewisselaar is technisch haalbaar in alle melkveebedrijven met een nieuwe melkinstallaties.

Frequentiesturing bij motoren en pompen in de vleesvarkenshouderij levert gemiddeld 25% energiebesparing op (Eskens et al, 2016).

Ventilatiesystemen. Stallen worden geventileerd om verse lucht aan te voeren en gebruikte stallucht af te voeren. Ventilatie is in de eerste plaats gericht op een optimaal binnenklimaat en welzijn van de dieren. Het ventileren van varkens- en pluimveestallen gebeurt bijna steeds op mechanische wijze. Ongeveer de helft van het totale elektrische verbruik op de boerderij gaat hieraan op, bij vleesvarkens zelfs tot 75%. In vele gevallen kan men ventileren met een lager energieverbruik zonder de luchtkwaliteit in gevaar te brengen. Door het optimaliseren van het ontwerp van het ventilatiesysteem in mechanisch geventileerde stallen kan het energieverbruik worden beperkt (Enerpedia, 2015b). Verschillende maatregelen die het energieverbruik van het ventilatiesysteem van varkens- en pluimveestallen kunnen reduceren, staan opgelijst in de 'Code van goede praktijk voor het energie-efficiënt gebruik van mechanische ventilatie in de intensieve veehouderij' van ILVO. In wat hierna volgt focussen we op gelijkstroom- en frequentie-gestuurde ventilatoren.

De potentiële energiebesparing bij gebruik van gelijkstroom- of frequentie-gestuurde ventilatoren wordt in onderstaande tabel weergegeven. Dankzij de reductie van het elektriciteitsverbruik is er ook een

reductie van de broeikasgasemissies van circa 320 g CO_2 per niet-verbruikte kWh. Een inschatting van de reductie van CO_2-emissie wordt eveneens in onderstaande tabel weergegeven.

	Standaard-verbruik voor ventilatie (kWh per dierplaats per jaar)	*Energiebesparing bij gelijkstroom-ventilator (%)*	*CO_2-reductie door elektriciteits-besparing (kg CO_2 per dierplaats per jaar)*	*Energiebesparing bij frequentie-gestuurde ventilatoren (%)*	*CO_2-reductie door elektriciteits-besparing (kg CO_2 per dierplaats per jaar)*
Vleesvarkens	24	55 - 70	4,2 - 5,4	20 - 50	1,5 - 3,8
Legkippen	3,5	30 - 40	0,3 - 0,4	40	0,4

Bron: ILVO, 'Code van goede praktijk voor het energie-efficiënt gebruik van mechanische ventilatie in de intensieve veehouderij', ADLO (2014) en afgeleide berekeningen door Departement Landbouw en Visserij

Energiezuinige verlichting van stallen. Naast het optimaal gebruik van daglicht kunnen voor de tijdgeschakelde verlichting van melkvee-, varkens- en pluimveestallen verschillende soorten lampen gebruikt worden. De meest gangbare zijn de 'T8' en de zuinige 'T5', varianten van TL-lampen. LED of Light Emitting Diodes zijn energiezuinige lampen die een langere levensduur hebben, tot wel drie maal langer dan de zuinige T5-lampen. Gasontladingslampen onder hoge druk kunnen op basis van verschillende grondstoffen gemaakt worden. Natriumlampen hebben het hoogste lichtrendement maar geven geel licht. Metaalhalidegasontladingslampen hebben ook een hoog rendement en geven licht met een witte kleur. Ook kwiklampen geven wit licht, maar hebben een slechter rendement en zijn vanaf 2015 in Europa verboden (ADLO, 2014).

Bij vervanging van kwiklampen door natriumdamplampen of metaalhalidelampen kan een energiebesparing van 45% gerealiseerd worden. De besparing bij LED-verlichting is sterk afhankelijk van de fabrikant en armatuur (Enerpedia, 2016).

In aankoop zijn LED-lampen nog iets duurder, zodat de aankoop ervan voornamelijk in gebouwen met veel branduren wordt aangeraden, zoals voor bepaalde takken in de intensieve veehouderij. LED-verlichting in melkveestallen is in het algemeen financieel niet interessant. Gasontladingslampen zijn dan een beter alternatief in functie van de verhouding kostprijs/lichtsterkte (ADLO, 2014).

Verwarmingslampen voor biggen. Elektrische verwarming van biggennesten met biggenlampen kost veel energie. De lampen verbruiken steeds het volledige vermogen, wat minder nodig is naarmate de dieren ouder worden. Nieuwe technieken maken het mogelijk om het energiegebruik flink te verminderen zonder dat dit ten koste gaat van het comfort van de biggen. De meest simpele en goedkope manier om het energieverbruik van de biggenlampen te verminderen is door toepassing van een halveringsschakelaar. Met een halveringsschakelaar kan het vermogen en daarmee het energiegebruik van de biggenlamp enkele dagen na de biggenworp gehalveerd worden. Een tweede mogelijkheid is het installeren van een dimmer. Er zijn automatische dimmers verkrijgbaar die geschikt zijn voor gebruik in de kraamhokken. Op de dimmer kan een curve ingesteld worden voor de lichtintensiteit. Direct na de biggenworp is de lichtintensiteit maximaal en wordt in een aantal dagen afgebouwd, afhankelijk van de warmtevraag van de biggen. Er bestaan nu ook biggenlampen met een vermogen van 100W in plaats van 150W. Deze lampen zijn uitgerust met een betere reflector, waardoor er tot 30% meer warmte kan afgeleverd worden per verbruikte eenheid energie. In zijn geheel zullen de lampen van 100W ongeveer 10% minder warmte leveren dan de lampen van 150W, maar zullen wel 30% minder energie verbruiken. De meest vergaande vorm van sturing van de biggenlamp is mogelijk met zogenoemde IR-sturing. Bij deze techniek hangt er een infraroodsensor boven de biggen die meet hoe hoog de temperatuur bij de biggen is. Op grond van deze informatie past de IR-sturing de kracht van de 'intelligente' biggenlamp aan.

Bij gebruik van een halveringsschakelaar kan de besparing oplopen tot zo'n 10 kWh per kraamhok per ronde. Bij toepassing van de dimmer of IR-sturing loopt de besparing op tot 15 kWh per hok per ronde (Leaflet Energiebesparing varkens, WUR).

Een halveringsschakelaar heeft een kostprijs van 2 - 10 euro. De kostprijs van een dimmer bedraagt ongeveer 90 euro. Men kan de kostprijs drukken door 1 dimmer te gebruiken om 2 biggenlampen te bedienen (Enerpedia, 2015b). Een regelunit voor IR-sturing kost ongeveer 250 euro. Hiermee is de biggennestverwarming van twee kraamhokken te regelen. Het vervangen van lampen van 150 tot 175 watt door lampen van 100 watt, kost 4,80 euro per stuk (Leaflet Energiebesparing varkens, Wageningen UR; Eskens et al, 2016).

Warmterecuperatie in stallen. Door toepassing van warmterecuperatie uit de stallucht, de mest of uit het spuiwater van luchtwassers door middel van warmtewisselaars, warmtepompen, vloerverwarming, koude-warmte-opslag, enz. kan worden bespaard op ruimteverwarming en –koeling.

Met een warmtewisselaar kan bijvoorbeeld de warmte van de uitstromende stallucht onttrokken worden om daarmee de binnenstromende verse lucht op te warmen. Volgens de leveranciers van warmtewisselaars voor pluimveestallen kan er met deze techniek tot 50% bespaard worden op de stookkosten (Enerpedia, 2015b).

In pluimveestallen kost een warmtewisselaar van 13.700 m^3/u 1,11 euro per dierplaats incl. montage (of 0,90 euro zonder werkuren). Een wisselaar met een capaciteit van 9.400 m^3/u kost 1,05 euro per dierplaats (incl. installeren) of 0,83 euro zonder werkuren. De installatie heeft een levensduur tot 25 jaar (Enerpedia, 2015b).

Andere effecten

Door mechanische ventilatie wordt de stallucht niet alleen optimaal geconditioneerd in termen van temperatuur en relatieve vochtigheid, maar kan die ook nabehandeld worden om de uitstoot van ammoniak, geur en fijn stof te beperken..

Kaderstuk: EPB normen

Vanaf 1 januari 2015 zijn de normen van EPB-regelgeving (Energie Prestatie en Binnenklimaat), volgens de Europese richtlijn, ook van toepassing bij nieuwbouw of grondige renovatie van bepaalde landbouwbedrijfsgebouwen. Het gaat om normen voor isolatie en ventilatie, met als doel het energieverbruik te reduceren en de luchtkwaliteit in de gebouwen te bewaren.

Enkel landbouwbedrijfsgebouwen die behoorlijk wat energie verbruiken voor verwarming, koeling of ventilatie, met name serres voor warme teelten, productieloodsen, bewaarloodsen, varkens- en pluimveestallen, moeten voldoen aan deze specifieke EPB-eisen.

Andere landbouwgebouwen, waar het energieverbruik vrij beperkt en isolatie minder zinvol is, zoals melk- en vleesveestallen, stallen voor kalverhouderij, geiten, schapen en paarden, serres voor koude teelten, machineloodsen, ... worden vrijgesteld van EPB-eisen.

Voor de landbouwgebouwen waarvoor wel specifieke EPB-eisen gelden, zijn er, mits grondige argumentatie, steeds individuele afwijkingen mogelijk.

De normen waaraan de gebouwen moeten voldoen, zijn te vinden via deze link: http://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/voorlichting/energie-en-klimaat/energie .

4.3 ENERGIEBESPARING BIJ BEWARING

Ook de bewaring van land- en tuinbouwproducten vergt heel wat energie. Verschillende van de hierboven beschreven energiebesparende maatregelen, zijn ook toepasbaar op bewaarloodsen. De voornaamste energiebesparende maatregelen bij bewaring hebben betrekking op isolatie, ventilatie, frequentieregelaar op compressor, verlichting, verdamper, condensor, ... (Kamp et al, 2010; ADLO, 2014).

Het energiebesparende effect van deze maatregelen is echter meestal afhankelijk van de specifieke bedrijfssituatie. Onderzoek van Kamp et al (2010) bevestigt dat er hele grote verschillen zijn in energiegebruik per ton product (en dus ook in energiebesparingspotentieel) tussen de bedrijven. Die verschillen zijn te verklaren door andere omstandigheden (omvang bewaring, duur opslag, mate van isolatie), verschillend bewaargedrag en bewaarcomputers. Kamp et al (2010) geven voor verschillende maatregelen een grootteorde van energiebesparingspotentieel bij bewaring, in de sectoren akkerbouw, vollegrondsgroenten en fruitteelt. Voor vele maatregelen blijkt nog verder onderzoek nodig om een uitspraak te kunnen doen over het besparingspotentieel. Er wordt alvast energiebesparingspotentie verwacht van nieuwe klimaatcomputers (besparingspotentieel ca. 5-15%) en klimaatregelingen (5-35%), frequentieregelaars bij ventilatoren (2%), rookgascondensor (8%), koude/warmte-opslag (0-50%), warmtepompen (30%), warmtewisselaars (20%), zonnepanelen (25%), windenergie (50%) enz. (Kamp et al, 2010).

4.4 OPTIMALE BENUTTING VAN FOSSIELE ENERGIEBRONNEN

Beschrijving van de maatregel

WKK. Een WKK (warmte-krachtkoppeling) is een systeem waarbij gelijktijdig warmte en elektriciteit wordt opgewekt, dit in tegenstelling tot een klassieke energievoorziening met een gescheiden productie van elektriciteit (elektriciteitsmaatschappij) en opwekking van warmte (klassieke stookinstallatie). Een WKK is toepasbaar in bedrijven waar naast de warmtebehoefte ook een grote energievraag is (b.v. assimilatieverlichting), zoals in de gespecialiseerde groenteteelt (b.v. vruchtgroententeelt) en de sierteelt (b.v. kasplanten en snijbloemen). De installatie wordt gedimensioneerd op de eigen warmtevraag. De geproduceerde elektriciteit kan worden benut voor eigen gebruik, of kan op het elektriciteitsnet worden geplaatst. Door de gezamenlijke productie van warmte en elektriciteit is er minder brandstof nodig dan bij de gescheiden productie van eenzelfde hoeveelheid warmte en elektriciteit. Daardoor worden er minder broeikasgassen geproduceerd.

WKKs bestaan in alle vermogensklassen (van micro tot mega) en werken zowel op fossiele brandstoffen als op hernieuwbare energiebronnen (biomassa of biogas).

In de glastuinbouw heeft een WKK-installatie nog een bijkomend voordeel. Bij rookgasreiniging kan de CO_2 uit de rookgassen van de verbranding benut worden als CO_2-bemesting voor de planten.

Een correcte toepassing van WKK kan een aanzienlijke primaire energiebesparing (> 30%) opleveren. Rechtstreeks gekoppeld aan deze energiebesparing is de vermindering van de CO_2-emissies die gepaard gaan met de verbranding van brandstoffen. Ook andere schadelijke emissies (NO_x, SO_2, roet,...) worden beperkt.

Volgens een studie van VITO bedroeg het vermogen van de WKK-installaties in de landbouw 415 MW_e in 2014 (Wetzels et al, 2015). Verondersteld dat alle WKKs op aardgas draaien (in de praktijk worden ook andere energiebronnen gebruikt zoals stookolie en biomassa), bedroeg de jaarlijks vermeden CO_2-productie daarmee bij benadering 400.000 ton CO_2.

De ontwikkeling van WKK op aardgas in de Vlaamse glastuinbouw ter vervanging van zware stookolie heeft globaal genomen op Vlaams niveau geleid tot een belangrijke primaire energiebesparing evenals een belangrijke daling in de uitstoot van broeikasgassen. Om een nog verdere daling van de emissies te realiseren, is een overschakeling van gasmotoren op hernieuwbare energiebronnen (zie 4.5) noodzakelijk.

Tractoren/landbouwmachines/landbewerking.

Het energieverbruik voor off-road machines in de landbouw, bosbouw en groenvoorziening bedroeg in 2013 zo'n 3,7 PJ (Aernouts et al, 2015). Een gemiddeld melkveebedrijf (700.000 l melkproductie) verbruikt al gauw 10 à 11.000 liter diesel per jaar voor de landbouwtrekker (Lenders & Deuninck, 2015).

Besparingen zijn nog mogelijk door eenvoudige maatregelen die overigens ook een financieel voordeel opleveren. Op basis van onder meer het demonstratieproject 'Brandstofbesparing zichtbaar maken' is aangetoond dat nog energie bespaard kan worden op basis van optimaal gebruik van de tractor (lager toerental, efficiënt gebruik van de aftakas, goed gebruik van de frontgewichten, juisten bandenkeuze en -spanning, ...), grondbewerkingspraktijken (bodemstructuur, combinatie van werktuigen, ..) en keuzes bij de aankoop van een tractor.

Ook Biggs & Giles (2012) concluderen dat er nog slechts weinig winst te behalen is uit het efficiënter maken van dieselmotoren van tractoren. De brandstofefficiëntie kan wel nog verbeterd worden door andere landbouwpraktijken toe te passen, zoals zaaien zonder of met minimale grondbewerking, optimale perceelsvormen, precisielandbouw, hydrocultuur, enz. (Biggs & Giles, 2012).

Bij geen of minimale grondbewerking wordt brandstof en dus ook broeikasgasemissie uitgespaard dankzij het vermijden van ploegen. De techniek reduceert het brandstofverbruik met 41-89%, afhankelijk van de bron (Biggs & Giles, 2012). De perceelsvorm heeft invloed op het aantal manoeuvres dat nodig is tijdens veldbewerking, op het brandstofverbruik, op het gebruik van nutriënten, en bepaalt dus hoe efficiënt een veld kan bewerkt worden. Bij een ideale perceelsvorm en optimaal traject van de tractoren kan tot 16% van het brandstofverbruik bespaard worden. Door een hogere opbrengst per hectare zorgt ook hydrocultuur voor een hogere brandstofefficiëntie. Dankzij precisielandbouw waarbij opbrengst op het veld wordt gemonitord, kan (beperkt) brandstof en andere inputs bespaard worden, door bijvoorbeeld niet te planten op delen van percelen met een lage opbrengst (Biggs & Giles, 2012).

Andere effecten

WKK. Rechtstreeks gekoppeld aan de energiebesparing door een WKK is de vermindering van andere schadelijke emissies die gepaard gaan met de verbranding van fossiele brandstoffen (NO_x, SO_2, roet,...) (Derden et al, 2005a).

4.5 PRODUCTIE EN GEBRUIK VAN HERNIEUWBARE ENERGIEBRONNEN

Beschrijving van de maatregel

Door de productie en het gebruik van hernieuwbare energie, kan fossiele energie uitgespaard worden. Algemeen kan gesteld worden dat een slimme netinfrastructuur en slim netbeheer noodzakelijk zijn om hernieuwbare energie op het landbouwbedrijf (decentraal) maximale kansen te geven (ILVO, 2016b).

Zonnepanelen en zonneboilers. In een fotovoltaïsche zonnecel wordt licht rechtstreeks omgezet in elektriciteit. Zonnecellen worden aan elkaar gekoppeld in grotere zonnepanelen (PV-modules) (ADLO, 2014). Energie uit zonnepanelen kan in de akkerbouw bijvoorbeeld aangewend worden voor koeling, droging of verwerking van agrarische producten. In de pluimvee- en varkenshouderij onder andere voor verlichting, ventilatoren, voedermachines, computers en andere apparaten. Zonnepanelen zijn

interessant voor bedrijven met een groot dakoppervlak tussen zuidoost en zuidwest (Wageningen UR, 2012b).

Bij zonthermische systemen (zonneboilers) wordt het daglicht via zonnecollectoren omgezet in warmte. Deze warmte kan onder meer worden gebruikt voor de verwarming van sanitair water, de verwarming van het spoelwater in melkveestallen of de vloerverwarming in de kraamstallen bij een varkensbedrijf (ADLO, 2014).

1 m^2 zonnepaneel levert in België ongeveer 120 kWh/jaar op (Wageningen UR, 2012b; ADLO, 2014; Enerpedia, 2015b). De reductie van de broeikasgasemissie is afhankelijk van de brandstof die bespaard wordt. Stel dat deze energie door aardgas zou worden opgewekt, dan zou dat overeenkomen met een CO_2-uitstoot van 21,6 kg CO_2 per m^2 zonnepaneel (veronderstelling: emissie van aardgas = 180 g CO_2/kWh).

Op een vierkante meter in België valt per jaar bijna 1.100 kWh zonne-energie (ADLO, 2014). Een zonneboiler haalt daar 372 kWh bruikbare warmte uit (Jespers et al, 2016). Ook hier is de reductie van de broeikasgasemissie afhankelijk van de brandstof die bespaard wordt. Stel dat deze energie door aardgas zou worden opgewekt, dan zou dat overeenkomen met een CO_2-uitstoot van 67 kg CO_2 per m^2 zonneboiler (veronderstelling: emissie van aardgas = 180 g CO_2/kWh).

Er zijn geen cijfers beschikbaar van het aantal zonnepanelen en zonneboilers in de Vlaamse landbouw. Een studie uitgevoerd in opdracht van het Europees Parlement gaat ervan uit dat 5% van de Europese landbouwbedrijven geschikt is voor de installatie van 100 m^2 zonnepanelen (Domingo et al, 2014).

Houtverbrandingsinstallaties. Op agrarische bedrijven kunnen geautomatiseerde verbrandingsketels worden geïnstalleerd, waarin hout of andere biomassa verbrand wordt voor de productie van warmte. De toevoer van brandstof gebeurt met een gecontroleerde snelheid, zodat de verbranding zo nauwkeurig mogelijk geregeld is. Agrarische bedrijven hebben gewoonlijk een houtgestookte ketel met een capaciteit van tussen de 50 en 500kW (Wageningen UR, 2012a; ADLO, 2014).

Volgens Jespers et al (2016) werd in de landbouwsector in houtverbrandingsinstallaties die enkel warmte produceren (32 installaties), in 2014 270.409 GJ warmte geproduceerd.

Warmtepomp. Duurzame verwarming en koeling zijn te bekomen met een warmtepomp, eventueel gecombineerd met een warmte- en koudeopslag. Met een warmtepomp maakt men gebruik van het gratis warmtepotentieel uit de directe omgeving: de grond, het grondwater, de buitenlucht, de lucht uit het centraal kanaal, het waswater van de luchtwasser, de mest … Warmtepompen zijn geschikt om warmte of koude van de ene naar de andere plaats te brengen, waarbij de warmtepomp laagwaardige warmte omzet in hoogwaardige warmte voor gebruik in vloer-, lucht- of waterverwarming. Hierdoor kan energie worden bespaard (Enerpedia, 2015b).

De warmtepomp zelf verbruikt, afhankelijk van de efficiëntie, een bepaalde hoeveelheid elektriciteit. De efficiëntie van de warmtepomp wordt bepaald door de verhouding van de bruikbare warmte tot de energie-input. Dit wordt uitgedrukt door de COP (Coefficient of Performance). Daar waar een elektrisch verwarmingstoestel 1 kWh elektriciteit omzet in maximum 1 kWh verwarming, wordt bij een warmtepomp met een COP van 4 die ene kWh aangewend om 4 kWh warmte te produceren. Hoe hoger de COP, hoe beter de energieprestatie van een warmtepomp (Enerpedia, 2015b). Omdat de prestatie ook afhankelijk is van de concrete omstandigheden, wordt tevens gewerkt met de SPF of seizoensprestatiefactor. De SPF is de gemiddelde prestatiecoëfficiënt van de warmtepomp, berekend over het ganse stookseizoen en in het specifieke gebouw en wordt bepaald door de COP te vermenigvuldigen met enkele correctiefactoren.

In een biggenstal kan het gebruik van een warmtepomp een energiebesparing opleveren van 50% (Joint Research Centre, 2015). In de akkerbouw en fruitteelt wordt de energiebesparing op 30% geschat (Kamp et al, 2010).

Windenergie. Ook met een windturbine kan elektriciteit geproduceerd worden. Op landbouwbedrijven dient voor de invulling van de eigen energiebehoefte eerder naar kleinschalige en middelgrote windturbines gekeken te worden. Windturbines zetten de kinetische energie van de wind om in mechanische kracht. Een generator zet deze mechanische kracht om in elektriciteit (ADLO, 2014). Volgens een inschatting van Kamp et al (2010) kan toepassing van een windmolen tot 50% verlaging van het elektriciteitsverbruik opleveren.

Hernieuwbare energie bij landbewerking. De huidige tractoren rijden op diesel. Van linden & Herman (2014) ontwikkelden een model voor het bepalen van kengetallen voor het brandstofverbruik (in liter per hectare) voor verschillende teelten en voor verschillende types veldbewerkingen. Uit het model blijkt dat in Vlaanderen boomgaarden de meest energie-intensieve teelten zijn, gevolgd door volleveldsgroenten, suikerbieten, voederbieten en aardappelen. Het brandstofverbruik is onder meer afhankelijk van de kracht van de gebruikte machine. De motorcapaciteit van de tractor speelt een grotere rol dan de textuur van de bodem (licht, zwaar) of de perceelsgrootte (Van linden & Herman, 2014).

Om de broeikasgasuitstoot die gepaard gaat met het dieselverbruik te reduceren, kan overgeschakeld worden op elektrische of hybride aangedreven trekkers of oogstwagens, tractoren op aardgas of tractoren op hernieuwbare energie. Mogelijks te gebruiken hernieuwbare brandstoffen zijn PPO (pure plantaardige olie of koolzaadolie), biodiesel en bio-ethanol, biogas, biomethaan en biocompressed natural gas (bioCNG), elektriciteit, waterstofgasaandrijving, en dual fuel aandrijving (ADLO, 2014).

Voor de hybride tractoren (elektrische en dieselaandrijving) rekent men op toenames in brandstofefficiëntie van 20 tot 30% met de huidige prototypes (ADLO, 2014). Bij gebruik van 100% biodiesel in plaats van fossiele diesel, worden de koolstofemissies met 50% verminderd. Meestal zal echter een mengsel worden gebruikt van 20% biodiesel en 80% fossiele diesel. Ook elektrische voertuigen zijn energie-efficiënter dan voertuigen op fossiele brandstoffen. De broeikasgasuitstoot is uiteraard afhankelijk van de energiebron die gebruikt werd bij de opwekking van de elektriciteit. De markt voor elektrische tractoren ontwikkelt echter zeer traag, onder andere door de moeite die zware elektrische voertuigen soms nog hebben op moeilijke terreinen (Biggs & Giles, 2012).

Het gebruik van hernieuwbare energie bij tractie staat nog in zijn kinderschoenen (ILVO, 2016b).

Ook (kleinschalige) **vergisting** van mest kan energie opleveren (zie 3.3.2).

Andere effecten

Windmolens. Windmolens kunnen een negatief effect op het landschap hebben en kunnen leiden tot protestreacties van omwonenden, wat de plaatsing ervan kan bemoeilijken.

Houtverbrandingsinstallaties. Bij verbranding van hout worden ook luchtpolluenten gevormd zoals fijn stof, NO_x, CO, polycyclische aromatische koolwaterstoffen en dioxines. De uitstoot van deze polluenten neemt toe bij onvolledige verbranding, welke te wijten kan zijn aan een slecht onderhoud of gebruik van de ketel.

Hernieuwbare energie bij landbewerking. Afhankelijk van de alternatieve energiebron die gebruikt wordt, zijn er bijkomende positieve en negatieve effecten. Nadelig aan biodiesel, afgeleid van PPO, zijn bijvoorbeeld de hogere NO_x-emissies. Het specifieke brandstofverbruik en de productiekosten van biodiesel zijn bovendien afhankelijk van de grondstof waaruit de biodiesel geproduceerd is. Er wordt uitgekeken naar de tweede en derde generatie biobrandstoffen die onder meer uit lignocellulosegewassen, organisch biologisch afval en algen geproduceerd zullen worden en daardoor duurzamer zouden zijn.

Biogas heeft bepaalde logistieke en zakelijke voordelen. Zo is er tijdens de introductiefase op de markt steeds de back-up van aardgas voor het merendeel van de investeringen en zijn de bestaande tanks en

pijpleidingen bruikbaar voor de opslag en verdeling van het gas. Een belangrijk nadeel is dat biogas (in tegenstelling tot biomethaan) geen constante samenstelling heeft en het gas erg volumineus is. Dit betekent dat ofwel een grote brandstoftank voorzien moet worden – wat het gewicht van de tractor vergroot en leidt tot meer druk op de bodem en dus een hoger brandstofverbruik –, ofwel onder heel hoge druk moet getankt worden (sterk gecomprimeerd gas), waarbij de veiligheid dan weer een belangrijke rol speelt.

Elektrische motoren verliezen veel minder energie of nutteloos vermogen, kunnen meer koppel leveren dan interne verbrandingsmotoren, en zijn bovendien stil. Een belangrijk nadeel, naast het gewicht van de batterijen, is de autonomie die samenhangt met de capaciteit van de batterijen.

De verbranding van waterstofgas is zuiver: er komt enkel water en warmte vrij. Voorts is de motor stil. Er zijn ook nadelen. Door de aanwezigheid van stikstof in de omgevingslucht kunnen NO_x-en gevormd worden bij de verbranding. Het transport en de opslag van waterstof is complex en er is energie nodig om deze brandstof te produceren. Waterstof kan niet rechtstreeks gebruikt worden in conventionele voertuigen en vereist brandstofcellen of interne verbranding (ADLO, 2014).

4.6 RAPPORTERING

De Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek VITO publiceert jaarlijks de Vlaamse Energiebalans. In dat rapport wordt een volledig overzicht gegeven van het jaarlijkse energieverbruik in Vlaanderen vanaf 1990. Ook de energieverbruiken binnen de landbouwsector worden becijferd. De cijfers uit het rapport vormen mee de basis voor de opmaak van de Vlaamse bijdrage aan de Belgische broeikasgasinventaris die wordt gerapporteerd in het kader van het Europese Monitoring Mechanisme.

De afnames van elektriciteit en aardgas van de landbouwsector zijn gekend vanuit de verplichte rapportering van de afnamegegevens van elektriciteit en aardgas door de netbeheerders aan de Vlaamse overheid. Voor jaren waarbij het gerapporteerde aardgasverbruik door de netbeheerders minder is dan het aardgasverbruik dat gekend is van de zelfproducenten, wordt het verbruik door de netbeheerders gecorrigeerd en gelijkgesteld aan het aardgasverbruik door de zelfproducenten. Sinds de rapportering van de energiebalans 2010 wordt het elektriciteitsverbruik van de totale landbouwsector gelijk gesteld aan de netto-afname van elektriciteit op het elektriciteitsnet, opgegeven door de netbeheerders. Dit omdat een steeds groter wordend aandeel van de elektriciteitsproductie door zelfproducenten in de landbouwsector op het net geplaatst wordt (en dus niet door de landbouwsector zelf verbruikt wordt). Aangezien erg veel zelfproductie-installaties in de landbouw netto-injecteerders in het elektriciteitsnet zijn (d.w.z. ze produceren meer dan ze zelf elektriciteit afnemen van het net) geeft dit als resultaat dat het finaal elektriciteitsverbruik de laatste jaren negatief is voor deze sector. De brandstofinput van de zelfproductie-installaties wordt wel meegeteld bij het finaal verbruik van de landbouwsector.

De cijfers voor biomassa zijn gebaseerd op de verplichte rapporteringen aan VEA en informatie van de GSC (groenestroomcertificaten) en WKC (WKK-certificaten).

Maatregelen die het brandstofverbruik van de landbouw beïnvloeden, zijn dus zichtbaar in de energiebalans.

De omrekening van brandstofverbruik naar broeikasgasemissies gebeurt via emissiefactoren uit de IPCC 2006 richtlijnen.

De emissiereductie van de toegenomen inzet van WKK en groene stroomproductie in de landbouwsector, dat zowel voor eigen gebruik als voor gebruik voor derden dient, komt in de huidige emissie-inventaris niet ten goede aan de landbouwsector maar voornamelijk aan de (ETS) energiesector.

Immers, de brandstofinput van de zelfproductie-installaties worden meegeteld bij het finaal verbruik van de landbouwsector, hoewel niet alle geproduceerde energie door de landbouw zelf wordt verbruikt.

Kaderstuk: biologische landbouw?

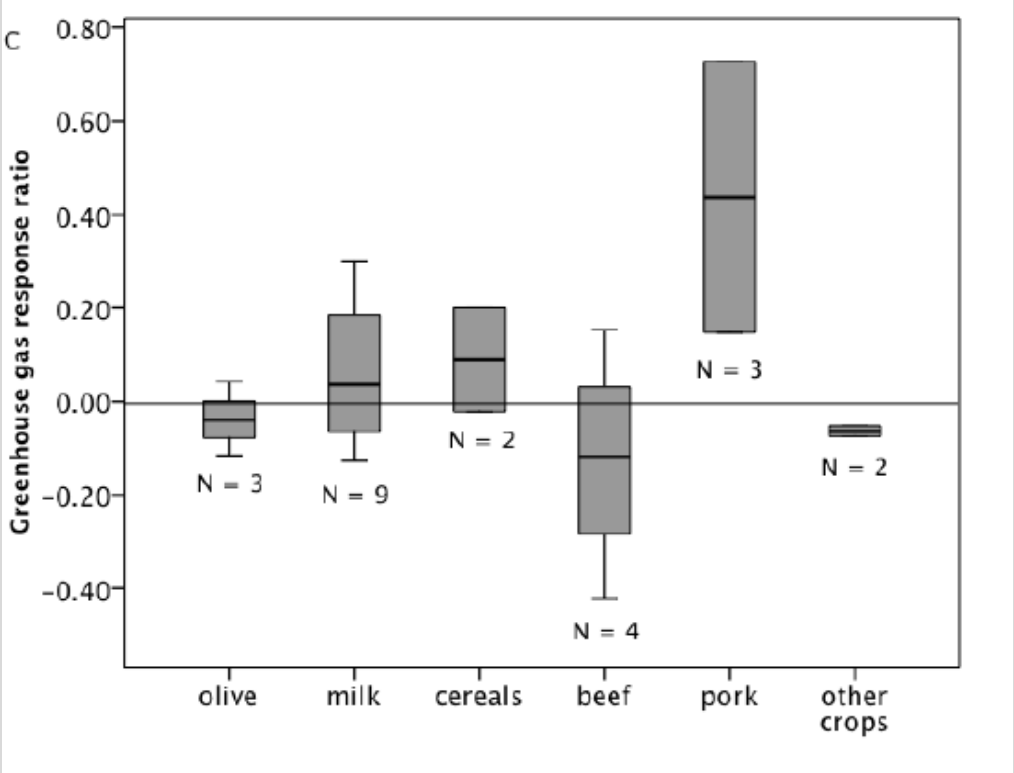
Alhoewel biologische landbouw fundamenteel een verschillend managementsysteem is in vergelijking met gangbare landbouw, wordt het dikwijls naar voor geschoven als een veel belovende mitigatiemaatregel voor de reductie van broeikasgasemissies (Kirchmann et al. 2016). Biologische landbouw wordt internationaal gereglementeerd door de 'Codex Alimentarius' richtlijnen en de basisnormen van de Internationale Organisatie voor Biologische Landbouw Bewegingen (IFOAM). Deze reglementeringen vormen wereldwijd de minimumnormen voor nationale en regionale normen. Daarentegen bestaan er geen overeenkomstige normen voor andere systemen zoals duurzame landbouw, ecologische intensieve landbouw (Kirchmann et al. 2016). Die systemen worden allemaal geclassificeerd als 'gangbaar'. Alhoewel de uitsluiting van pesticiden, kunstmeststoffen en GMO het principiële verschil is tussen biologische en gangbare landbouw, kunnen biologische en gangbare teeltsystemen nog veel meer verschillen op gebied van teeltrotatie, nutriëntvoorziening door mest of andere organische toevoegingen, onkruidbeheersing, bodemmanagement en gewasbescherming. Verschillende studies evalueerden biologische en gangbare landbouwsystemen op het gebied van het verschil in nutriënt- en energie-efficiëntie, en in het bijzonder met betrekking tot het broeikasgasreductie potentieel (Weiske & Michel, 2007).

Levenscyclusanalyses (LCA) volgen een productbenadering om de milieu-impact in te schatten. De emissie van broeikasgassen door landbouwproductie komt voort uit verschillende stappen van de productieketen. Daarom vraagt een benadering van verschillende managementsystemen geïntegreerde analyses van de broeikasemissie die de gehele productieketen coveren, inclusief de levenscyclus van de landbouwinputs (Flessa et al., 2002).

Tuomisto et al. (2012) reviewden studies om de milieueffecten van biologische en gangbare landbouw te vergelijken binnen Europa. LCA indicatoren werden gebruikt om de impact op broeikasgasemissies weer te geven per eenheid product. In een globale vergelijking van de broeikasgasemissies per eenheid product werd er geen impact gevonden van biologische landbouwsystemen ten opzichte van gangbare systemen. Tussen de productgroepen waren er echter duidelijke verschillen in de mediaan respons ratio[10] (Figuur 14). Rundsvlees en sommige teelten hadden lagere emissies per eenheid product, terwijl biomelk, granen en varkensvlees hogere emissies hadden per eenheid product ten opzichte van gangbare landbouw. Organische rundvleesproductie had lagere broeikasgasemissies per eenheid product vergeleken met gangbare landbouw vanwege lagere emissies uit industriële inputs. De hogere broeikasgasemissies door biovarkensproductie werden verklaard door hoge lachgasemissies uit strostrooisel. In de meeste gevallen had biomelkproductie hogere broeikasgasemissies per eenheid product vergeleken met gangbare systemen, wat werd verklaard door hogere methaan- en lachgasemissies en een lagere melkproductie per koe.

[10] Respons ratio: [(impact biologische landbouw per eenheid product/impact gangbare landbouw per eenheid product) – 1]

Figuur 14 Respons ratio** per eenheid product per productgroep voor broeikasgasemissies (Tuomisto et al., 2012)

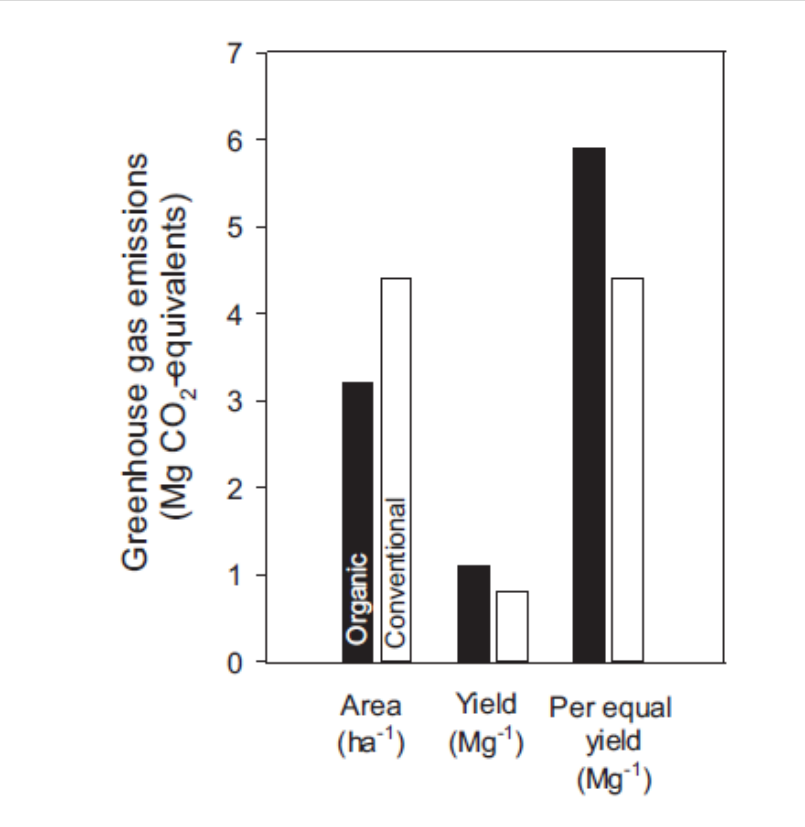


** Respons ratio: [(impact biologische landbouw/impact gangbare landbouw) – 1]

C Lijn door de boxplot: mediaan; boven- en onderkant van de boxplots: boven- en onderkwartiel; positieve waarden: impact van biologische landbouw is groter; negatieve waarden: impact van biologische landbouw is lager; N= aantal waarnemingen

Mondelaers et al. (2009) stelden in een wereldwijde globale meta-analyse van de milieu-impact door biologische en gangbare landbouwsystemen vast dat er geen duidelijke verschillen zijn in de broeikasgasemissies tussen beide managementsystemen wanneer uitgedrukt per eenheid product. Als de broeikasgasemissies echter werden uitgedrukt per oppervlakte eenheid, scoorde de biologische landbouw beter. Als verklarende factoren wordt de lagere veebezetting per ha, maar het hoger gebruik van ruwvoeder per koe – wat de methaanemissies beïnvloedt - aangehaald. Het hogere krachtvoederverbruik in de gangbare landbouw verhoogt de koolstofdioxide-emissies. Gezien het verbod op kunstmest en pesticiden in de biologische landbouw, zijn er geen broeikasgasemissies door de productie van deze inputs. Meer brandstofgebruik gedurende de mechanische onkruidbestrijding werkt dit effect tegen. Flessa et al. (2002) rapporteerden een gelijkaardige conclusie na een vergelijking van de broeikasgasemissies uit een biologisch en een geïntegreerd landbouwsysteem met zowel plantaardige als dierlijke productie uit Zuid-Duitsland. Uit de geïntegreerde analyse bleek dat omschakeling van gangbare naar biologische landbouw leidt tot verminderde emissies per hectare maar oogstgerelateerde emissies werden niet gereduceerd. Kirchmann et al. (2016). meldden op basis van een veldexperiment dat biologische teelt van wintertarwe milieuvriendelijker is dan gangbare wanneer broeikasgasemissies uitgedrukt worden per ha en minder milieuvriendelijk wanneer deze uitgedrukt worden per eenheid van product (figuur 15).

Figuur 15 Broeikasgasemissies van wintertarwe uit een vergelijkende veldstudie tussen een biologisch en een geïntegreerd landbouwsysteem. Gemiddelde biologische tarweoogst was 3 ton ha^{-1} en gemiddelde gangbare tarweoogst was 5,6 ton ha^{-1} . Data van Flessa et al. (2002) gerapporteerd door Kirchmann et al. (2016).



De impact op broeikasgasemissies –en ook op andere milieuaspecten- per eenheid oppervlakte is meestal kleiner in biologische landbouwsystemen dan in gangbare vanwege de lagere opbrengsten en de vereiste om de bodemvruchtbaarheid op te bouwen (Mondelaers et al., 2009; Tuomisto et al., 2012). Dit geldt echter niet altijd wanneer de milieu-impact uitgedrukt wordt per eenheid product. Deze bevindingen suggereren dat de omschakeling van biologische landbouw kan bijdragen tot de reductie van broeikasgassen door landbouw als het landbouwbeleid streeft naar een daling van de productie intensiteit.

Een bemerking is evenwel dat een evaluatie van de milieu-impact van gangbare en biologische landbouwbedrijven met betrekking tot broeikasgasemissies moeilijk is (Weiske & Michel, 2007; Tuomisto et al., 2012). Verschillen in teeltsystemen (teeltrotatie, bodemmanagement, enz.) zoals hierboven aangehaald, liggen mee aan de basis van de verschillende resultaten. Verder stelden Tuomisto et al. (2012) vast dat er een grote variatie is in de milieu-impact binnen een landbouwsysteem. Er bestaat niet zoiets als hét enige biologische of gangbare landbouwsysteem, maar er is een range aan systemen, en zodus hangt het niveau van milieudruk dikwijls meer af van de management keuzes van de landbouwer dan van het algemene landbouwsysteem.

5 CONCLUSIES

Voorliggende literatuurstudie biedt een overzicht van mogelijke klimaatmitigatiemaatregelen in de landbouw en is voor een groot deel samengesteld op basis van internationale literatuur. Momenteel zijn er vooral op het vlak van energiebesparing en in beperkte mate van enterische mitigatiemaatregelen al Vlaamse resultaten ter beschikking. De focus ligt op maatregelen die de broeikasgasemissies uit veeteelt, stal- en mestmanagement en energiegebruik op het landbouwbedrijf reduceren. Maatregelen die impact hebben op de emissies uit landgebruik en bodembeheer worden niet in dit rapport beschreven.

Het grootste aandeel binnen de totale uitstoot van de landbouwsector betreffen niet-energetische emissies, voornamelijk afkomstig uit de rundveehouderij en in mindere mate de varkenshouderij. In Vlaanderen is er voornamelijk hoogproductieve en intensieve veeteelt. Deze veeteeltsystemen hebben een lagere broeikasgasemissie intensiteit dan extensieve systemen (Gerber et al., 2013). Verder heeft de sector de laatste twintig jaar reeds een aanzienlijke daling van broeikasgasuitstoot gerealiseerd. Het reductiepotentieel van niet-energetische emissies (natuurlijke processen) is lager dan dat van de verbranding van fossiele brandstoffen en de mitigatiemaatregelen zijn meestal (hoog)technologisch van aard.

Hoewel de energetische emissies een relatief beperkt aandeel van 23% hebben in de totale Vlaamse landbouw broeikasgasemissies, zijn toch ook hier nog winsten te boeken. Enerzijds dient verder ingezet te worden op het verminderen van het energiegebruik en het verbeteren van de energie-efficiëntie. Verschillende technieken zijn reeds op de markt, maar kennen nog een groeipotentieel in Vlaanderen. Anderzijds moet de omschakeling naar hernieuwbare energie verder worden gestimuleerd.

Bij het kiezen van bepaalde strategieën moet er ook altijd oog zijn voor de impact op andere broeikasgasemissies en andere milieueffecten zoals ammoniakemissie en nitraatuitspoeling. En omdat mitigatiemaatregelen uiteindelijk bij de landbouwers geïmplementeerd worden, moet er bijzondere aandacht gaan naar de financiële en praktische haalbaarheid van de maatregelen. Die haalbaarheid dient samen met de kosteneffectiviteit verder onderzocht te worden.

FIGUREN

Figuur 1 Evolutie broeikasgasemissies Vlaamse landbouwsector (Bron: Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie) 9
Figuur 2 Aandelen broeikasgasemissies landbouwsector 2014 (Bron: Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie) 10
Figuur 3 Aandelen van de verschillende diersoorten in de CH_4-emissies ten gevolge van verteringsprocessen in 2014 (Bron: Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie) 10
Figuur 4 CH_4-emissies ten gevolge van verteringsprocessen bij melkkoeien 1990-2014 (Bron: Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie) 11
Figuur 5 Aandelen in de N_2O- en CH_4-emissies uit mestopslag in 2014 (Bron: Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie) 12
Figuur 6 Richtinggevende verdeling van het reductiepad naar een reductie van de EU-uitstoot van broeikasgassen in 2050 met 80% ten opzichte van 1990 (Bron: COM(2011) 112 final) 13
Figuur 7 Schematisch overzicht van de koolhydraatvertering en de methaanproductie in de koe (ILVO, 2015a) 18
Figuur 8 Methaanproductie bij herkauwers: een microbieel gedreven proces om waterstof te verwijderen (Newbold, 2014) 19
Figuur 9 Enterische methaanemissie per eenheid van meetmelk (volle en gestippelde lijn) daalt met stijgende productie en met stijgende voederefficiëntie (streeplijn) en kan variëren met ongeveer 20%. De schattingen houden geen rekening met een verbeterde voederkwaliteit of een dalende verteerbaarheid voor hoogproductieve koeien wat de methaanemissie per eenheid van meetmelk verder zou doen dalen. Voorspellingen van methaanproductie werden berekend met een methaanconversiefactor van 5,6 % (volle lijn), 4,6% en 6,6% (Knapp et al, 2014) 29
Figuur 10 Voorstel processchema van nitrificatie (Vanderreydt et al., 2004) 36
Figuur 11 Voorstel processchema van denitrificatie (Vanderreydt et al, 2004) 37
Figuur 12 Relatieve veranderingen van de emissie van broeikasgassen op melkveebedrijven met een pocketvergister t.o.v. een referentiescenario (Miranda et al., 2015) (AD = anaerobic digestion) 47
Figuur 13 Impact van mitigatiemaatregelen op broeikasgasemissies van drijfmestsystemen, uitgedrukt als percentage van het referentiesysteem (Hou et al, 2015) 51
Figuur 14 Respons ratio* per eenheid product per productgroep voor broeikasgasemissies (Tuomisto et al., 2012) 69
Figuur 15 Broeikasgasemissies van wintertarwe uit een vergelijkende veldstudie tussen een biologisch en een geïntegreerd landbouwsysteem. Gemiddelde biologische tarweoogst was 3 ton ha^{-1} en gemiddelde gangbare tarweoogst was 5,6 ton ha^{-1} . Data van Flessa et al. (2002) gerapporteerd door Kirchmann et al. (2016) 70

TABELLEN

Tabel 1 Effect op de methaanemissie van aanpassingen aan een melkveerantsoen met 45% graskuil, 28% maïs, 23% krachtvoeder en 4% bijproducten en een voederopname van 18,1 kg droge stof, melkproductie van 23,5 kg (Bannink & Dijkstra, 2012). 20
Tabel 2 Effect van leeftijd eerste kalving en vervangingspercentage op het aantal nodige vervangingen per 100 koeien en enterische methaanemissies per eenheid meetmelk op kudde niveau (Knapp et al., 2014) 33

BRONNEN

Abecia L., Ramos-Morales E., Martínez-Fernandez G., Arco A., Martín-García A.I., Newbold C.J. & Yáñez-Ruiz D.R. (2014) *Feeding management in early life influences microbial colonisation and fermentation in the rumen of newborn goat kids*, Animal Production Science, 54(9), 1449-1454.

ADLO (Afdeling Duurzame Landbouwontwikkeling) (2014) *Energieke landbouw: Watt brengt dat op?!*, Departement Landbouw en Visserij, Brussel.

Aernouts K., Jespers K. & Wetzels W. (2016). Energiebalans Vlaanderen 1990-2014.

Bannink A., Bayissa H. & Dijkstra J. (2015) *Oogstmoment snijmaïs beïnvloedt methaanuitstoot*, Veeteelt, oktober 2015, p34-35.

Bannink A. & Dijkstra J. (2012) *Methaanuitstoot spiegel van rantsoen*, Veeteelt, juli 2012, p12-14.

Bannink A. & Dijkstra J. (2015) *Graskwaliteit beïnvloedt methaanuitstoot flink*, Veeteelt, maart 2015, p30–31.

Bannink A., Ellis J.L., Mach N., Spek J.W. & Dijkstra J. (2013) *Interactions between enteric methane and nitrogen excretion in dairy cows*, Advances in Animal Biosciences, 4(s1), 19-27.

Beauchemin K.A., M. Kreuzer, F. O'Mara & T.A. McAllister (2008) *Nutritional management for enteric methane abatement: A review*. Aust. J. Exp. Agric. 48:21–27.

Bellarby J., Tirado R., Leip A., Weiss F., Lesschen J.P. & Smith P. (2013) *Livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe*. Global change biology, *19*(1), 3-18.

BEMEFA (2016) http://www.bemefa.be/BEMEFA_Convenant_Laag_Nutrient.aspx?__sys=1

Biggs L. & D. Giles (2012) *Current and future agricultural practices and technologies which affect fuel efficiency*, Intelligent Energy Europe. https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/efficient20_review_of_agricultural_practices_and_technologies_en.pdf.

Biogas-E (2013) *Voortgangsrapport 2013*.

Biogas-E (2014) *Voortgangsrapport 2014*.

Blackshaw J.K. & Blackshaw A.W. (1994) *Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review*. Animal Production Science, 34(2), 285-295.

Bryngelsson D., Wirsenius S., Hedenus F. & Sonesson U. (2016) *How can the EU climate targets be met? A combined analysis of technological and demand-side changes in food and agriculture*. Food Policy, 59, 152-164.

Bussink D.W. & van Rotterdam-Los A.M.D (2011) *Perspectieven om broeikasgas- en ammoniakemissies te reduceren door het aanzuren van mest*, Nutriënten Management Instituut NMI bv, Wangeningen.

Campens V., Van Gijseghem D., Bas L. & Van Vynckt I. (2010) *Klimaat en veehouderij,* Departement Landbouw en Visserij, afdeling Monitoring en studie, Brussel en Vlaamse Milieumaatschappij, Aalst.

Castro-Montoya J., De Campeneere S., Van Ranst G. & Fievez V. (2012) *Interactions between methane mitigation additives and basal substrates on in vitro methane and VFA production*. Animal feed science and technology, 176(1), 47-60.

CBS Centraal Bureau voor de Statistiek (2015) *Trends in beweiden en opstallen van melkkoeien en het effect op emissies naar lucht*, webartikel, mei 2015, Den Haag.

Chadwick D., S. Sommer, R. Thorman, D. Fangueiro, L. Cardenas, B. Amon & T. Misselbrook (2011) *Manure management: Implications for greenhouse gas emissions*, Animal Feed Science and Technology 166-167, 514-531.

Clark H. (2013) *Nutritional and host effects on methanogenesis in the grazing ruminant*. Animal 7(Suppl. 1):41–48.

CRV (2015) *Genomic selection in een notedop*. https://www.crv4all.be/fokwaarden/genomic-selection-in-een-notendop/.

Coleman J., Berry D.P., Pierce K.M., Brennan A. & Horan B. (2010) *Dry matter intake and feed efficiency profiles of 3 genotypes of Holstein-Friesian within pasture-based systems of milk production*. Journal of dairy science, 93(9), 4318-4331.

Coppens J., Stas S., Dolmans E., Meers E., Vlaeminck S.E., Buysse J. & Overloop S. (2013) *Begroting van stikstof- en fosforstromen in Vlaanderen*, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij MIRA, MIRA/2013/09, UGent.

Cottle D.J., Nolan J.V. & Wiedemann S.G. (2011) *Ruminant enteric methane mitigation: a review*. Animal Production Science, 51(6), 491-514.

D'Haene K., Salomez J., De Neve S., De Waele J. & Hofman G. (2014) *Environmental performance of nitrogen fertiliser limits imposed by the EU nitrates directive*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 192, 67-79.

De Brabander D., De Campeneere S., Ryckaert I. & Anthonissen A. (2011) *Melkveevoeding*. ILVO mededeling 101, Brussel.

De Campeneere S., De Boever J.L. & De Brabander D.L. (2006) *Comparison of rolled, NaOH treated and ensiled wheat grain in dairy cattle diets.* Livestock Science, 99(2), 267-276.

de Haas Y. & de Haan M. (2011) *Efficiënte koe stoot minder methaan uit*. http://edepot.wur.nl/165424.

Derden A., Goovaerts L., Vercaemst P. & Vrancken K. (2005a) *Beste Beschikbare Technieken voor de glastuinbouw*, Gent, Academia Press.

Derden A., Meynaerts E., Vercaemst P. & Vrancken K. (2005b) *Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor de veeteeltsector*, Gent, Academia Press.

Dijkhuizen A. (2013) http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/247555.

Dijkstra J., Oenema O. & Bannink A. (2011) *Dietary strategies to reducing N excretion from cattle: implications for methane emissions*. Current Opinion in Environmental Sustainability, 3(5), 414-422.

Domingo J., E. De Miguel, B. Hurtado, N. Métayer, J.-L. Bochu & P. Pointereau (2014) *Measures at farm level to reduce greenhouse gas emissions from EU agriculture, note 1*, European Parliament's Committee on Agriculture and Rural Development, Brussel.

Donoghue K.A., Bird-Gardiner T.L., Arthur P.F., Herd R.M. & Hegarty R.F. (2015) *Genetic parameters for methane production and relationships with production traits in Australian beef cattle*. Proc. Assoc. Advmt. Breed. Genet, 21, 114-117.

Duin E.C., Wagner T., Shima S., Prakash D., Cronin B., Yáñez-Ruiz D.R. & Kindermann M. (2016) *Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol.* Proceedings of the National Academy of Sciences, 113(22), 6172-6177.

Ecolas (2006) *Externe mestopslag: inventarisatie van opslagsystemen en bepaling van ammoniak-,lachgas- en methaanemissies uit deze systemen*. Ecolas, in opdracht van: Departement Landbouw en Visserij (Afdeling Monitoring en Studie) en Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (Afdeling lucht,

hinder, risicobeheer, milieu & gezondheid) http://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/studies/2007/externe-mestopslag-inventarisatie-van-opslagsystemen-en.

EIP-AGRI (2015). *Focus Group Precision Farming*, Final Report, 44 pp.

Enerpedia (2015a) *Kleinschalige vergisting. Praktijkvoorbeelden uit binnen- en buitenland*, brochure, http://www.biogas-e.be/sites/default/media/brochures/KleinschaligeVergisting.pdf.

Enerpedia (2015b) www.enerpedia.be.

Enerpedia (2016) persoonlijke communicatie.

Eskens J., Van den Bogaert T., Van Gansbeke S., Vettenburg N., Degroote T. & Vuylsteke I. (2016) *Bespaar Watt op je varken,* Varkensloket. http://www.varkensloket.be/Portals/63/Documents/VA2015_BespaarWatt-WEBSITE.pdf?ver=2016-04-27-154332-957 .

Flessa H., Ruser R., Dörsch P., Kamp T., Jimenez M.A., Munch J.C. & Beese F. (2002) *Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO 2, CH 4, N 2 O) from two farming systems in southern Germany.* Agriculture, Ecosystems & Environment, 91(1), 175-189.

Frank H., Schmid H. & Hülsbergen K.J. (2014) *Greenhouse gas emissions of organic and conventional dairy farms in Germany*. Building Organic Bridges, 2, 505-508.

Garnsworthy P., Craigon J., Hernandez-Medrano J. & Saunders N. (2012) https://colloque4.inra.fr/var/emili2012/storage/fckeditor/file/Documents/ps1/Garnsworthy%20EMILI%202012%20methane.pdf.

Garnsworthy P. (2015) *The 1000 cow study*. http://www.ruminomics.eu/wp-content/uploads/2016/01/_ok.pdf.

Gerber P.J., Hristov A.N., Henderson B., Makkar H., Oh J., Lee C., Meinen R., Montes F., Ott T., Firkins J., Rotz A., Dell C., Adesogan A.T., Yang W.Z., Tricarico J.M., Kebreab E., Waghorn G., Dijkstra J. & Oosting S. (2013a) *Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review*. Animal.Jun;7 Suppl 2:220-34. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23739465.

Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Falcucci A. & Tempio G. (2013b) *Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. http://www.fao.org/3/i3437e.pdf.

Goel G. & H.P.S. Makkar (2012) *Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins*. Trop. Anim. Health Prod. 44:729–739.

Grainger C. & Beauchemin K.A. (2011) *Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production?* Special Issue: Greenhouse Gases in Animal Agriculture - Finding a Balance between Food and Emissions. Animal Feed Science and Technology Volumes 166–167, 23 June 2011, Pages 308–320.

Green R., Milner J., Dangour A.D., Haines A., Chalabi Z., Markandya A. & Wilkinson P. (2015) *The potential to reduce greenhouse gas emissions in the UK through healthy and realistic dietary change*. Climatic Change, 129(1-2), 253-265.

Haas Y., Windig J.J., Calus M.P., Dijkstra J., Haan M., Bannink A. &Veerkamp R.F. (2011) *Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection*. J Dairy Sci. Dec;94(12):6122-34.

Haisan J., Sun Y., Guan L.L., Beauchem K.A., Iwaasa A., Duval S. & Barreda D.R. (2014) *The effects of feeding 3-nitrooxypropanol on methane emissions and productivity of Holstein cows in mid lactation*. J Dairy Sci 97(5):3110–3119.

Hristov A.N., Oh J., Lee C., Meinen R., Montes F., Ott T., Firkins J., Rotz A., Dell C., Adesogan A., Yang W.Z., Tricarico J., Kebreab E., Waghorn G., Dijkstra J. & Oosting S. (2013a) *Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – a review of technical options for non-CO_2 emissions*. In (ed. P Gerber, B Henderson and H Makkar). FAO, Rome, Italy. http://www.fao.org/docrep/018/i3288e/i3288e00.htm.

Hristov A.N., Oh J., Firkins J.L., Dijkstra J., Kebreab E., Waghorn G., Makkar H.P., Adesogan A.T., Yang W., Lee C., Gerber P.J., Henderson B. & Tricarico J.M. (2013b) *Special topics--Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options*. J Anim Sci. 2013 Nov; 91(11):5045-69. doi: 10.2527/jas.2013-6583. Epub 2013 Sep 17.

Hristov A.N., Ott T., Tricarico J., Rotz A., Waghorn G., Adesogan A., Dijkstra J., Montes F., Oh J. & Kebreab E. (2013c) *Special topics--Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options*. J Anim Sci. 2013 November; 91(11): 5095–5113. Published online 2013 September 17. doi: 10.2527/jas.2013-6585.

Hristov A.N., Oha J., Giallongoa F., Fredericka T.W., Harpera M.T., Weeksa H.L., Brancob A.F., Moatec P.J., Matthew H., Deightonc S., Richard O., Williams C., Kindermannd M. & Duval S. (2015) *An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production*. Prodeedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2015, vol. 112 no. 34 10663–10668, doi: 10.1073/pnas.1504124112 http://www.pnas.org/content/112/34/10663.full.

Hutjes R.W.A., Schelhaas M.J., Kruijt B., Nabuurs G.J., Kuikman P.J., Dolfing J. & Brouwer F.M. (2003) *Klimaatverandering en de functies van het landelijk gebied: resultaten van vier jaar klimaatonderzoek*. Alterra.

ILVO (2015a) http://www.ilvo.vlaanderen.be/smartmelken/NL/.

ILVO (2015b) *Thema-nieuwsgolf 'Genomics'* - april 2015. http://www.ilvo.vlaanderen.be/language/nl-BE/NL/Pers-en-media/Nieuwsbrief/Archief-nieuwsbrieven/Thema-nieuwsgolf-Genomics#.V35cDv7VxoI.

ILVO (2016a) Persoonlijke communicatie.

ILVO (2016b) http://www.ilvo.vlaanderen.be/ .

IPCC (2001). 2001 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/

IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/

IWV (Interdepartementale Werkgroep Voedselverlies) (2012) *Voedselverlies in Vlaanderen, synthesedocument*, IWV, Vlaamse Overheid, Brussel.

Jespers K., K. Aernouts & W. Wetzels (2016) *Inventaris hernieuwbare energiebronnen Vlaanderen 2005-2014 Eindrapport*. Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek VITO.

Jeyanathan J., Martin C & Morgavi D.P. (2014) *The use of direct-fed microbials for mitigation of ruminant methane emissions: a review*. animal, 8, pp 250-261. doi:10.1017/S1751731113002085.

Joint Research Centre (2015) *BREF Intensive Rearing of Poultry or Pigs, final draft*, August 2015, European IPPC Bureau.

Kamp J., van Reeuwijk P., Schoorl F. & Montsma M. (2010) *Energiebesparing op het agrarisch bedrijf*, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen.

Kirchmann H., Kätterer T., Bergström L., Börjesson G. & Bolinder M.A. (2016) *Flaws and criteria for design and evaluation of comparative organic and conventional cropping systems*. Field Crops Research, 186, 99-106.

Knapp J.R., Laur G.L., Vadas P.A., Weiss W.P. & Tricarico J.M. (2014) *Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions*, J Dairy Sci. 2014;97(6):3231-61. doi: 10.3168/jds.2013-7234. Epub 2014 Apr 18. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24746124.

KWIN Glastuinbouw (2012-2013) Wageningen UR Glastuinbouw.

KWIN Glastuinbouw (2014-2015) Wageningen UR Glastuinbouw.

Lassen J. & Løvendahl P. (2016) *Heritability estimates for enteric methane emissions from Holstein cattle measured using noninvasive methods*. Journal of Dairy Science.

Leirs H. & Bossin S. (2016) *Goed GeRUND, brochure*. Innovatiesteunpunt, Leuven. http://www.innovatiesteunpunt.be/sites/default/files/file_insert/Eindbrochure%20Goed%20GeRUND.pdf

Lenders S. & Deuninck J. (2015) *Energie-efficiëntie van de Vlaamse melkveebedrijven, resultaten op basis van het landbouwmonitoringsnetwerk 2007-2013*, Beleidsdomein Landbouw en Visserij, Afdeling Monitoring en Studie, Brussel.

Leng R.A. (2008) *The potential of feeding nitrate to reduce enteric methane production in ruminants. A report to the department of climate change*. Commonwealth Government of Australia, Canberra, Australia.

Lengers B. (2012) *Up to date relevant GHG abatement options in German agricultural dairy production systems*. Germany. http://www.ilr.uni-bonn.de/agpo/publ/techPap/Vermeidungsoptionen.pdf.

MacLeod M., V. Eory, G. Gruère & J. Lankoski (2015) *Cost-Effectiveness of Greenhouse Gas Mitigation Measures for Agriculture: A Literature Review*, OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 89, OECD Publishing, Paris. http://dx.doi.org/10.1787/5jrvvkq900vj-en.

Martin C., Morgavi D.P. & Doreau M. (2010) *Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale.* Animal, 4(03), 351-365.

Miranda N.D., Tuomisto H.L. & McCulloch M.D. (2015) *Meta-Analysis of Greenhouse Gas Emissions from Anaerobic Digestion Processes in Dairy Farms*. Environmental science & technology, 49(8), 5211-5219.

Mondelaers K., Aertsens J. & Van Huylenbroeck G. (2009) *A meta-analysis of the differences in environmental impacts between organic and conventional farming*. British food journal, 111(10), 1098-1119.

Montes F., Meinen R., Dell C., Rotz A., Hristov A.N., Oh J., Waghorn G., Gerber P.J., Henderson B., Makkar H.P.S. & Dijkstra J. (2013) *Special Topics – Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options*, J. Anim. Sci. 2013 Nov; 91(11):5070-94.

Montoya J.C. (2014) *The potential of batch in vitro simulations and milk fatty acids to assess rumen methane mitigation.* UGent https://biblio.ugent.be/publication/4251151.

Morgavi D.P., Martin C., Jouany J.P. & Ranilla M.J. (2012) *Rumen protozoa and methanogenesis: not a simple cause–effect relationship*. British Journal of Nutrition, 107(03), 388-397.

Mosquera J. & Hol J.M.G. (2012) *Emissiefactoren methaan, lachgas en PM2,5 voor stalsystemen, inclusief toelichting*, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.

Newbold J. (2014) http://www.slideshare.net/irtacat/30-jamie-newbold-presentation.

Passchyn P. (2015) *Gezond bedrijf als basis voor de toekomst*. http://www.milkadvice.be/uploads/files/FDLOK_MVBE_gezondbedrijf.pdf.

Philippe F.-X. & Nicks B. (2014) *Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure,* Agriculture, Ecosystems and Environment 199 e10–e25.

Roehe R., Dewhurst R.J., Duthie C.A., Rooke J.A., McKain N., Ross D.W. & Wallace R.J. (2016) *Bovine host genetic variation influences rumen microbial methane production with best selection criterion for low methane emitting and efficiently feed converting hosts based on metagenomic gene abundance*. PLoS Genet, 12(2), e1005846.

Romero-Perez A., Okine E.K., McGinn S.M., Guan L.L., Oba M., Duval S.M, Kindermann M. & Beauchemin K.A. (2015) *Sustained reduction in methane production from long-term addition of 3-nitrooxypropanol to a beef cattle diet*. J Anim Sci 93(4):1780–1791.

Signor D. & Cerri C.E.P. (2013) *Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review*. Pesquisa Agropecuária Tropical, 43(3), 322-338.

Smith P., Haberl H., Popp A., Erb K.H., Lauk C., Harper R. & Masera O. (2013) *How much land-based greenhouse gas mitigation can be achieved without compromising food security and environmental goals?.* Global Change Biology, 19(8), 2285-2302.

Sujani S. & Seresinhe R.T. (2015) *Exogenous Enzymes in Ruminant Nutrition: A Review*. Asian Journal of Animal Sciences, 9: 85-99. DOI: 10.3923/ajas.2015.85.99 URL: http://scialert.net/abstract/?doi=ajas.2015.85.99.

Sasu-Boakye Y., Cederberg C. & Wirsenius S. (2014) *Localising livestock protein feed production and the impact on land use and greenhouse gas emissions*. animal, 8(08), 1339-1348.

Stehfest E., Bouwman L., Van Vuuren D.P., Den Elzen M.G., Eickhout B. & Kabat P. (2009) *Climate benefits of changing diet.* Climatic change, 95(1-2), 83-102. http://www.pbl.nl/en/publications/2009/Climate-benefits-of-changing-diet.Smith et al., 2013

Stenmark A., Jensen C., Quested T. & Moates G. (2016) *Estimates of European food waste levels*, Stockholm.

Tuomisto H.L., Hodge I.D., Riordan P. & Macdonald D.W. (2012) *Does organic farming reduce environmental impacts? – A meta-analysis of European research*. Journal of environmental management, *112, 309-320.*

Van Aert (2013) *Klauwproblemen en vruchtbaarheid*. http://www.buitenpraktijk.ugent.be/v2/singlepages/artikelenarchief/artikelenrund/klauwproblemen.pdf.

Van Bruggen F. & Faqiri C. (2015) *Trends in beweiden en opstallen van melkkoeien en het effect op emissies naar lucht*. CBS, Nederland. http://www.cbs.nl/NR/rdonlyres/B44A1806-3534-43AD-8080-159871A20824/0/2015trendsinbeweidenenopstallenvanmelkkoeienenheteffectopemissiesnaarlucht.pdf.

Van den Pol-Dasselaar A., Blonk H., Dolman M., Evers A., de Haan M., Reijs J., Sebek L., Vellinga T. & Wemmenhove H. (2013) *Kosteneffectiviteit reductiemaatregelen emissie broeikasgassen zuivel*, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. http://edepot.wur.nl/274864 .

Van der Heyden C., Brusselman E., Volcke E.I.P. & Demeyer P. (2016) *Continuous measurements of ammonia, nitrous oxide and methane from air scrubbers at pig housing facilities*, Journal of Environmental Management 181 (2016) p163-171.

Van der Straeten B. (2015a) *Rentabiliteits- en kostprijsanalyse melkvee op basis van het Landbouwmonitoringsnetwerk. Boekjaren 2007-2012*, Beleidsdomein Landbouw en Visserij, afdeling Monitoring en Studie, Brussel.

Van der Straeten B. (2015b) *Kostprijsanalyse vervangingsvee van melkvee en de economische impact van het vervangingspercentage: analyses op basis van het Landbouwmonitoringsnetwerk: boekjaren 2009-2012*, Beleidsdomein Landbouw en Visserij, afdeling Monitoring en Studie, Brussel.

van Engelen S., Bovenhuis H., Dijkstra J., van Arendonk J.A.M. & Visker M.H.P.W. (2015) *Short communication: Genetic study of methane production predicted from milk fat composition in dairy cows*. Journal of Dairy Science, 98(11), 8223-8226.

Van Gansbeke S. (2016). Persoonlijke communicatie.

Van linden V. & Herman L. (2014) *A fuel consumption model for off-road use of mobile machinery in agriculture*, Energy, Vol.77, 2014, p 880-889.

Van Middelaar C.E., Dijkstra J., Berentsen P.B.M. & De Boer I.J.M. (2014) *Cost-effectiveness of feeding strategies to reduce greenhouse gas emissions from dairy farming*. Journal of dairy science, 97(4), 2427-2439.

Van Zijderveld S.M., W.J.J. Gerrits, J. Dijkstra, J.R. Newbold, R.B.A. Hulshof & H.B. Perdok (2011) *Persistency of methane mitigation by dietary nitrate supplementation in dairy cows*. J.Dairy Sci. 94:4028–4038.

Vanderreydt I., De Fré R., Swaans W. & Govaerts J. (2004) *Opstellen van procedures voor het meten van lachgas- en ammoniakemissies bij verschillende mestverwerkingstechnieken*. VITO rapport 2004/MIM/R/124.

Vellinga T.V., de Haan M.H.A., Schils R.L.M., Evers A. & van den Pol–Dasselaar A. (2011) *Implementation of GHG mitigation on intensive dairy farms: Farmers' preferences and variation in cost effectiveness*. Livestock Science, 137(1), 185-195.

VITO BBT kenniscentrum (2016) https://emis.vito.be/nl/bbt .

VLM (2016) Persoonlijke communicatie.

Voortgangsrapport 2015, Vlaams klimaatbeleidsplan 2013-2020, luik mitigatie. http://www.vlaamseklimaattop.be/sites/default/files/atoms/files/VR%202016%201504%20MED.%20VORA2015%20-%202%20bijlage.pdf.

Wageningen UR (2012a) *Verbranding: Duurzame warmte door verbranding houtsnippers*. http://edepot.wur.nl/215428 .

Wageningen UR (2012b) *Zonnepanelen : zonnepanelen steeds interessanter* http://edepot.wur.nl/215429 .

Wageningen UR, juni 2012c. *Vergisting: mestvergisting: een ontwikkeling met toekomstperspectief* http://edepot.wur.nl/215431

Wageningen UR (2012d) *BioKennis. Energieverbruik en broeikasgasemissies. Naar een klimaatneutrale bedrijfsvoering: hoe doe je dat?* http://edepot.wur.nl/247296.

Wageningen UR, Animal Sciences Group. *Energiebesparing varkens, Biggen warm houden met minder energie*. Leaflet.

Wedlock D.N., Janssen P.H., Leahy S.C., Shu D. & Buddle B.M. (2013) *Progress in the development of vaccines against rumen methanogens*. Animal. 2013 Jun;7 Suppl 2:244-52.

Weiske A. & Michel J. (2007) *Greenhouse gas emissions and mitigation costs of selected mitigation measures in agricultural production* Final Version 08.01. 2007. Specific targeted research project nSSPE-CT-2004-503604, MEACAP WP3 D15a.

Wetzels W., Aernouts K. & Jespers K. (2015) *Inventaris warmte-krachtkoppeling in Vlaanderen 1990-2014. Eindrapport*. Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek VITO

AFKORTINGEN

AEA	ammoniakemissiearm
COP	coefficient of performance
ETS	Emission Trading System
IFOAM	International Foundation for Organic Agriculture
ILVO	Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IWT	Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie
GMO	Gemeenschappelijke Markt Ordening
GSC	groenestroomcertificaten
LCA	Levens Cyclus Analyse
LULUCF	Land Use Land Use Change and Forestry
OEB	Onbestendige Eiwit Balans
SPF	seizoensprestatiefactor
VITO	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek
VLM	Vlaamse Landmaatschappij
WKC	warmtekrachtcertificaat
WKK	warmtekracht koppeling